



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 16 de febrero 2022

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

Los suscritos:

Lina María Castro Ramos, con C.C. No. 1.083.919.996,

Brayan Nicolas Palencia Cuellar, con C.C. No. 1.080.936.128,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado Guía didáctica para el análisis y diseño en concreto reforzado presentado y aprobado en el año 2022 como requisito para optar al título de Ingeniero civil;

Autorizamos al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE: **Lina María Castro Ramos**

Firma:

EL AUTOR/ESTUDIANTE: **Brayan Nicolas Palencia Cuellar**

Firma:



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: GUÍA DIDÁCTICA PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO EN CONCRETO REFORZADO

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
PALENCIA CUELLAR	BRAYAN NICOLAS
CASTRO RAMOS	LINA MARIA

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
GOMÉZ PIZANO	DANIEL
VILLAMIZAR CARDONA	SANDRA XIMENA

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero civil

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería civil

CIUDAD: Neiva-Huila

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2022

NÚMERO DE PÁGINAS: 836

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una **X**):

Diagramas Fotografías Grabaciones en discos Ilustraciones en general Grabados
Láminas Litografías Mapas Música impresa Planos Retratos Sin ilustraciones Tablas
o Cuadros

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: Adobe Acrobat Reader o cualquier lector de .pdf

MATERIAL ANEXO: Guías en formato pdf adjuntas en el documento

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Herramienta informática	Computer tool	6. _____	_____
2. Lenguaje de programación	Programming language	7. _____	_____
3. Guía didáctica	Didactic guide	8. _____	_____
4. Concreto reforzado	Reinforced concrete	9. _____	_____
5. _____	_____	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Los softwares implementados en la rama de la ingeniería estructural usualmente son licenciados, costosos y no ofrecen un cálculo detallado para observar cómo se determina el resultado. Así mismo, los textos y códigos de diseño que normalmente se consultan para aclarar inquietudes teóricas y prácticas están escritos de manera tal que generan confusión en los estudiantes debido al alto grado de complejidad que demanda el cálculo estructural. El presente proyecto describe el desarrollo de una guía didáctica destinada a facilitar el aprendizaje de los conceptos que involucran el análisis y diseño de estructuras en concreto reforzado. Esta herramienta informática busca facilitar la comprensión de los aspectos teóricos mostrando paso a paso la derivación de los procedimientos y mediante el desarrollo de ejemplos aplicados, que se ajustan a las disposiciones mínimas requeridas por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Además, la herramienta está desarrollada con los programas Matlab y Google Colaboratory en los lenguajes de programación Matlab y Python. Esto permite que el usuario interactúe dinámicamente y pueda variar contextos y condiciones en cada ejemplo. La visualización del material se realiza a través de una página web de libre acceso. En este sentido, la herramienta está orientada a brindar a la comunidad educativa un instrumento didáctico para mejorar el aprendizaje de la temática de los cursos de concreto reforzado.



ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The software implemented in the branch of structural engineering is usually licensed, expensive, and does not offer a detailed calculation to observe how the result is determined. Likewise, the texts and design codes that are normally consulted to clarify theoretical and practical concerns are written in such a way that they generate confusion in students due to the high degree of complexity that structural calculation demands. This project describes the development of a didactic guide aimed at facilitating the learning of the concepts that involve the analysis and design of reinforced concrete structures. This computer tool seeks to facilitate the understanding of the theoretical aspects, showing step by step the derivation of the procedures and through the development of applied examples that comply with the minimum provisions required by the Colombian Earthquake Resistant Construction Regulation (NSR-10). In addition, the tool is developed with the Matlab and Google Colaboratory programs in the Matlab and Python programming languages. This allows the user to interact dynamically and can vary contexts and conditions in each example. The visualization of the material is done through a free access web page. In this sense, the tool is aimed at providing the educational community with a didactic instrument to improve learning about the subject of reinforced concrete courses.

APROBACIÓN DE LA TESIS

Nombre Jurado: **ALBERT ORTIZ, Ph.D.**

Firma:

Nombre Jurado: **STEFAN LEIVA, Ph.D.**

Firma:



Guía didáctica para el análisis y diseño en concreto reforzado

Brayan Nicolás Palencia Cuellar

Lina María Castro Ramos

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería

Neiva, Colombia

2022

Guía didáctica para el análisis y diseño en concreto reforzado

Brayan Nicolás Palencia Cuellar

Lina María Castro Ramos

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero civil

Ingeniera civil

Director:

Ph.D., Daniel Gómez Pizano

Codirectora:

Ph.Dc., Sandra Ximena Villamizar Cardona

Línea de Investigación:

Estructuras

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería

Neiva, Colombia

2022

Este proyecto está dedicado a mis padres y a mi hermano, quienes con su amor, oraciones, consejos y palabras de aliento han hecho de mí una mejor persona para llegar a cumplir uno de mis grandes sueños.

Nicolás Palencia

Este proyecto de grado es dedicado a mis padres quienes han sido parte fundamental para alcanzar mis metas y son el pilar que me inspira a ser mejor cada día, sin su sacrificio y esfuerzo nada hubiera sido posible. También quiero dedicarlo a mi hermana quien es una persona importante para mí y me ha brindado su apoyo incondicional.

Lina Castro

Agradecimientos

Queremos agradecer a Dios por permitirnos llevar a cabo todo nuestro proceso de formación y brindarnos sabiduría, paciencia, fortaleza y entendimiento. A nuestros padres por el apoyo incondicional en cada momento y los sabios consejos que han logrado impulsar a cada uno para trabajar por el cumplimiento de nuestros sueños.

Agradecemos a nuestro director Daniel Gómez y codirectora Sandra Villamizar por todo el conocimiento y apoyo brindado, lo que hizo posible a través de su acompañamiento en cada etapa el desarrollo de este trabajo.

Así mismo, agradecemos a todas las personas que directa o indirectamente hicieron parte de nuestra formación y contribuyeron con su participación a lo largo de todos estos años en los momentos de dificultad y felicidad.

Resumen

Los softwares implementados en la rama de la ingeniería estructural usualmente son licenciados, costosos y no ofrecen un cálculo detallado para observar cómo se determina el resultado. Así mismo, los textos y códigos de diseño que normalmente se consultan para aclarar inquietudes teóricas y prácticas están escritos de manera tal que generan confusión en los estudiantes debido al alto grado de complejidad que demanda el cálculo estructural. El presente proyecto describe el desarrollo de una guía didáctica destinada a facilitar el aprendizaje de los conceptos que involucran el análisis y diseño de estructuras en concreto reforzado. Esta herramienta informática busca facilitar la comprensión de los aspectos teóricos mostrando paso a paso la derivación de los procedimientos y mediante el desarrollo de ejemplos aplicados, que se ajustan a las disposiciones mínimas requeridas por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Además, la herramienta está desarrollada con los programas Matlab y Google Colaboratory en los lenguajes de programación Matlab y Python. Esto permite que el usuario interactúe dinámicamente y pueda variar contextos y condiciones en cada ejemplo. La visualización del material se realiza a través de una página web de libre acceso. En este sentido, la herramienta está orientada a brindar a la comunidad educativa un instrumento didáctico para mejorar el aprendizaje de la temática de los cursos de concreto reforzado.

Palabras clave: Herramienta informática, lenguaje de programación, guía didáctica, concreto reforzado.

Abstract

The software implemented in the branch of structural engineering is usually licensed, expensive, and does not offer a detailed calculation to observe how the result is determined. Likewise, the texts and design codes that are normally consulted to clarify theoretical and practical concerns are written in such a way that they generate confusion in students due to the high degree of complexity that structural calculation demands. This project describes the development of a didactic guide aimed at facilitating the learning of the concepts that involve the analysis and design of reinforced concrete structures. This computer tool seeks to facilitate the understanding of the theoretical aspects, showing step by step the derivation of the procedures and through the development of applied examples that comply with the minimum provisions required by the Colombian Earthquake Resistant Construction Regulation (NSR-10). In addition, the tool is developed with the Matlab and Google Colaboratory programs in the Matlab and Python programming languages. This allows the user to interact dynamically and can vary contexts and conditions in each example. The visualization of the material is done through a free access web page. In this sense, the tool is aimed at providing the educational community with a didactic instrument to improve learning about the subject of reinforced concrete courses.

Keywords: Computer tool, programming language, didactic guide, reinforced concrete.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	VIII
Lista de figuras	XII
Lista de tablas	XIII
Capítulo 1	14
1. Introducción	14
1.1 Tema.....	15
1.2 Justificación.....	15
1.3 Problema de investigación	16
1.4 Pregunta de investigación.....	16
1.5 Objetivos.....	16
1.5.1 General.....	16
1.5.2 Específicos	16
1.6 Metodología de la investigación	17
1.6.1 Tipo de investigación.....	17
1.6.2 Población.....	18
1.6.3 Muestra	18
1.7 Estructura del documento.....	18
Capítulo 2.....	19
2. Marco de referencia	19
2.1 Marco de antecedentes.....	19
2.2 Marco referencial	21
Capítulo 3.....	23
3. Marco operativo	23
3.1 Programación en Matlab	23
3.1.1 Ventanas de Matlab	23

3.1.1.1. Editor de Matlab.....	23
3.1.1.2. Command window.....	24
3.1.1.3. Current folder.....	25
3.1.1.4. Workspace.....	25
3.1.2 Live script de Matlab	26
3.2 Programación en Google Colaboratory	27
3.2.1 Lenguaje Python	27
3.3 Ingreso y estructura de la página.....	28
3.3.1 Portada principal.....	28
3.3.1.1. Menú horizontal	29
3.3.1.2. Franja de información	30
3.3.1.3. Acceso al módulo de concreto I.....	30
3.3.1.4. Acceso al módulo de concreto II.....	31
3.3.1.5. Caja de herramientas de Matlab.....	32
3.3.1.6. Preguntas	32
3.3.2 Módulo de concreto I.....	33
3.3.3 Módulo de concreto II.....	34
3.3.4 Módulo de contenidos específicos por temas	35
Capítulo 4.....	37
4. Productos asociados y resultados	37
4.1 Estructura de los temas.....	37
4.1.1 Parte 1 Título.....	39
4.1.2 Parte 2 Introducción.....	39
4.1.3 Parte 3 Comando principales usados en el código.....	39
4.1.4 Parte 4 Tabla de contenido	39
4.1.5 Parte 5 Aspectos teóricos del tema.....	39
4.1.6 Parte 6 Ejemplo y desarrollo del tema.....	39
4.1.7 Parte 7 Bibliografía.....	40
4.2 Entregables.....	40
4.3 Análisis e interpretación de la información	41
Capítulo 5.....	47
5. Conclusiones y recomendaciones	47
5.1 Conclusiones.....	47
5.2 Recomendaciones.....	48
Bibliografía	49

Lista de figuras

	Pág.
Figura 3 - 1: Ventana de editor en Matlab.	24
Figura 3 - 2: Ventana de Command Windows de Matlab.....	24
Figura 3 - 3: Ventana que ilustra la sección current folder de Matlab.....	25
Figura 3 - 4: Ventana que ilustra la sección workspace de Matlab.	26
Figura 3 - 5: Portada principal de sitio web.....	29
Figura 3 - 6: Franja de información del sitio web.	30
Figura 3 - 7: Sección para ingreso al módulo de concreto I.....	31
Figura 3 - 8: Sección para ingreso al módulo de concreto II.....	31
Figura 3 - 9: Sección de caja de herramientas de Matlab en el sitio web.	32
Figura 3 - 10: Sección de preguntas en el sitio web.	33
Figura 3 - 11: Módulo de concreto I.	34
Figura 3 - 12: Módulo de concreto II.....	35
Figura 3 - 13: Ejemplo de módulo de temas específicos.	36
Figura 4 - 1: Partes del documento que contienen los temas de la guía didáctica.	38
Figura 4 - 2: Cantidad de visitas del sitio web.....	42
Figura 4 - 3: Duración de la sección.....	43
Figura 4 - 4: Cantidad de visitas por departamento..	44
Figura 4 - 5: Cantidad de visitas por sección de página.....	45
Figura 4 - 6: Cantidad de visitas a través de diferentes dispositivos.....	46

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 3 - 1: Diferencia con funciones y secuencias de comandos de código.....	27
Tabla 3 - 2: Descripción de botones principales del menú.....	29
Tabla 3 - 3: Descripción de botones de descarga e interacción con la guía.. ...	36

Capítulo 1

1. Introducción

Las herramientas tecnológicas son consideradas una agrupación de programas informáticos que permiten facilitar procesos o tareas optimizando tiempo y recursos. La evolución de éstas ha aumentado con el paso del tiempo, logrando llevar al hombre a pensar en un futuro completamente tecnificado. Igualmente, se han considerado de gran importancia para la realización de estudios e investigaciones que ayudan al ser humano a generar soluciones a problemas del día a día en todos los contextos (Euroinnova Business School, 2021).

Debido a los avances tecnológicos de la época actual se tiene la oportunidad de implementar en diversos campos dichas herramientas. En este sentido, es posible la utilización de los software y hardware con avances de alto nivel. Asimismo, la tecnología ha demostrado ser uno de los principales motores que impulsan la vida del ser humano y lo convierten en una versión más práctica y eficiente (Euroinnova Business School, 2021).

En los procesos de formación en los campos de la ciencia e ingeniería, las herramientas tecnológicas también han generado un aporte importante porque permiten un nivel mayor de enseñanza y aprendizaje emplear información de calidad y al permitir que el estudiante interactúe directamente con los conceptos y la práctica desde un mismo ambiente (Rejas, 2019). Por lo anterior, los centros educativos cada vez incentivan el uso de aplicativos de alto nivel para poder cumplir las exigencias que demanda en la actualidad, y de este modo mejorar la calidad de enseñanza de las futuros profesionales (El oficial, 2018).

La ingeniería civil ha estado involucrada con diversos programas informáticos para el desarrollo de diseños y proyectos de construcción. Estas aplicaciones permiten facilitar la

obtención de resultados con el fin de mitigar consecuencias negativas que se llegarían a obtener al materializarse algún error en el procedimiento. También, el uso de herramientas tecnológicas en este ámbito disminuye tiempos de ejecución y mejora la calidad de las obras.

En el análisis y diseño de estructuras en concreto reforzado, los aplicativos tecnológicos permiten obtener respuestas más eficientes y con mayor grado de precisión. Además, garantizan el cumplimiento de requisitos normativos y contractuales que exigen diferentes órganos de control. Por último, el uso de este tipo de herramientas es una práctica positiva que permite a los estudiantes una fácil comprensión de los temas y a los profesionales un buen desarrollo de procesos.

1.1 Tema

Desarrollo de una herramienta informática como apoyo complementario en los procesos de formación y enseñanza para el análisis y diseño de estructuras en concreto reforzado.

1.2 Justificación

El análisis y diseño de estructuras de concreto reforzado en ocasiones resulta ser un proceso complejo porque requiere que el profesional tenga conocimiento pleno de la normativa y experticia. Además, al momento de buscar información es difícil encontrarla de forma detallada y precisa. Los cálculos requeridos para un correcto análisis y diseño de estructuras en concreto implican una serie de procedimientos extensos que pueden resultar en posibles errores debido a vacíos conceptuales. En consecuencia, se pueden generar fallas en los elementos estructurales y por ende poner en riesgo la integridad de las personas.

El presente proyecto tiene un enfoque académico que permite a estudiantes de ingeniería civil tener fácil acceso y comprender de conceptos básicos del análisis y diseño de estructuras de concreto reforzado. Esta herramienta ofrece una guía práctica que fomenta la conceptualización e impulsa al desarrollo de algoritmos para que sean aplicados en diferentes escenarios. Además, la herramienta facilita el acceso a procedimientos para entender los requisitos establecidos en el reglamento colombiano y el contenido temático de los cursos de concreto.

El uso de los softwares Matlab y Google Colab cuentan con un alto grado de precisión a la hora de realizar cálculos. Estos programas logran optimizar tiempo, son de fácil acceso y entregan resultados confiables. Además, los aplicativos permiten que los procesos de formación y aprendizaje resulten más sencillos debido a la forma dinámica como se estructuran los ejemplos y la teoría del contenido temático.

1.3 Problema de investigación

En la actualidad existen diferentes herramientas tecnológicas para facilitar la comprensión en los procesos de formación. Sin embargo, estos programas o aplicaciones son licenciados, costoso y no ofrecen al usuario un análisis detallado de los pasos que realizan para llegar a los resultados. En consecuencia, surge la necesidad de crear una herramienta académica complementaria que apoye y permita hacer revisión de conceptos y ejemplos de manera dinámica que promueva el autoaprendizaje.

1.4 Pregunta de investigación

¿Cómo facilitar la comprensión de los conceptos de análisis y diseño de estructuras en concreto reforzado de una manera didáctica?

1.5 Objetivos

1.5.1 General

Desarrollar una herramienta de apoyo para la comprensión de los conceptos para el análisis y diseño de estructuras en concreto reforzado en concordancia con los requisitos del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

1.5.2 Específicos

- Comprender los requisitos mínimos que establece la NSR-10 para el análisis y diseño de estructuras en concreto reforzado.

- Construir una herramienta programable y de libre acceso para el análisis y diseño de estructuras en concreto reforzado que se ajuste a disposiciones locales, contextos y condiciones específicas establecidas por el usuario.
- Medir el uso de la herramienta a través del flujo de visitas e interacciones de los usuarios con guía didáctica.

1.6 Metodología de la investigación

1.6.1 Tipo de investigación

La investigación desarrollada es de tipo teórica-cualitativa y está basada en los requisitos especificados en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). El proyecto recopila información para el análisis y diseño de estructuras en concreto reforzado mediante una guía didáctica de libre acceso. La metodología aplicada se divide en 3 etapas fundamentales:

Fase 1:

Buscar, estudiar y analizar fuentes correspondientes al análisis y diseño en concreto reforzado. En esta fase se recopila información importante, procedimientos y requisitos para el desarrollo del proyecto.

Fase 2:

Buscar herramientas de programación que permitan el desarrollo de los conceptos y ejemplos de forma dinámica. Además, desarrollar una página web que permita a los usuarios tener una interacción clara con los temas para el análisis y diseño de concreto reforzado.

Fase 3:

Socializar en los cursos de concreto de la Universidad Surcolombiana la guía desarrollada. Luego, medir su aplicación considerando el número de visitas en un determinado tiempo y revisando los tipos de interacción que tuvieron los usuarios en el sitio web.

1.6.2 Población

La población utilizada en el desarrollo de las guías son los estudiantes registrados en los cursos de concreto I y II del programa de ingeniería civil de la Universidad Surcolombiana durante el año 2021.

1.6.3 Muestra

Estudiantes de los cursos de concreto I y II del programa de ingeniería civil de la Universidad Surcolombiana que hacen uso de la herramienta informática y se benefician de la misma.

1.7 Estructura del documento

El presente documento contiene el capítulo I introductorio que relaciona la importancia, los objetivos a lograr y la problemática a solucionar en el proyecto. El capítulo II se denomina marco de referencia y en este se presenta la teoría en la cual se fundamenta el proyecto de grado e incluye la revisión del origen denominada marco de antecedentes. El capítulo III mencionado como el marco operativo describe de forma detallada el diseño de la página web, la organización y elaboración de los temas de la guía. El capítulo IV, llamado productos asociados y resultados describe mediante un ejemplo el contenido de los temas y relaciona los anexos que fueron elaborados en el proyecto. Además, contiene la medición del uso de la página a través del número de visitas, tipo de interacción y lugares de conexión por parte de los usuarios. Finalmente, el capítulo V describe las conclusiones basadas en los objetivos planteados y la elaboración de la guía didáctica en los softwares Matlab y Google Colab.

Capítulo 2

2. Marco de referencia

2.1 Marco de antecedentes

En la actualidad, las herramientas tecnológicas para ingeniería civil se han convertido en soportes importantes que impulsan al desarrollo de esta rama. En este sentido, los cálculos estructurales deben ser precisos y no mostrar errores que conlleven a fallas o colapsos en las edificaciones. De esta forma, el uso de los softwares Python y/o Matlab son adecuados para realizar procedimientos de ingeniería ya que contienen lenguajes propios de programación. Estos aplicativos se pueden observar en forma de libros académicos que proporcionan el análisis de datos e incluso son capaces de elaborar aplicaciones (VISE, 2021). Por lo tanto, las herramientas otorgan resultados confiables que mejoran tareas de ingeniería y generan aportes significativos.

Santana (2010) desarrolló una aplicación en Matlab para optimizar el tiempo y determinar el análisis dinámico estructural. El programa indica que la duración y precisión del cálculo se optimiza en un 80% comparado con un análisis manual. Este proyecto resultó práctico ya que puede ser utilizado por estudiantes e ingenieros sin ninguna dificultad.

Peralta & Vega (2014) elaboraron una herramienta en Matlab para análisis de marcos y armaduras planas fundamentada en el método de rigidez. El aplicativo permite al usuario obtener cálculos rápidos como: fuerzas internas de miembros de la estructura, desplazamientos de nodos y fuerzas externas desconocidas. Los resultados alcanzados son precisos y además simplifican el trabajo manual, promoviendo el uso del lenguaje M de programación.

Salas & Gómez (2019) diseñaron un aplicativo en Matlab que facilita el análisis en estructuras de múltiples grados de libertad. La herramienta modela de manera exitosa y responde favorablemente a la geometría de los pórticos. Además, el programa considera el tiempo de respuesta como ágil al momento del cálculo matricial y la interfaz resultan amigable con el usuario.

Malaver (2014) desarrollo el análisis estructural por el método de elementos finitos asistido por computadora. El software demuestra la similitud de resultados obtenidos a través de Python en un 99.8% de aproximación con los resultados alcanzados en softwares comerciales. El aporte que resulta de la investigación en los aspectos económicos es positivo debido que esta herramienta es de fácil adquisición y no requiere licencia.

Las estructuras metálicas también han sido fuente de investigación para experimentar la utilización de diferentes herramientas tecnológicas. En la Pontificia Universidad Javeriana dos alumnos crearon un software libre para el diseño de conexiones metálicas de acuerdo con la NSR-10. El aplicativo con lenguaje de programación Python diseña conexiones pernadas y soldadas en armaduras y pórticos de estructuras vinculando todos los requisitos normativos (Torres & Ojeda, 2014).

Diaz (2016) utilizó SAP2000 y Matlab para optimizar los conjuntos estructurales considerando los factores ignorados. En este estudio se realiza la estructuración de un procedimiento general para crear diseños óptimos de conjuntos estructurales. La interfaz permite solucionar problemas matemáticos, utilizando los potenciales de los dos softwares.

Matlab también brinda aportes en áreas de monitoreo donde puede ser utilizado en ingeniería para el control y toma de medición de datos específicos en estructuras. En la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil dos estudiantes diseñaron e implementaron un prototipo para el análisis de salud estructural de un puente. En la investigación se empleó una red de sensores inalámbricos utilizando Matlab que permite visualizar el estado de un puente en tiempo real. Se logra evidenciar que el paso de automóviles genera cambios en las señales adquiridas permitiendo conocer si ocurre algún factor anormal en la estructura (Chuva & Vallejo, 2019).

2.2 Marco referencial

Las construcciones de obras verticales que derivan un balance entre economía y seguridad requieren de herramientas tecnológicas para los cálculos. Los aplicativos son necesarios para lograr interpretar los resultados y validar si son adecuados y coherentes con las necesidades del entorno. Sin embargo, la implicación de tener respuestas confiables para posteriormente realizar diseños requiere de ingenieros que comprendan los procedimientos (Peralta & Vega, 2014).

El área de las estructuras de concreto reforzado demandan de una capacidad de análisis y conocimiento de mayor profundidad. En este sentido, es necesario la investigación en el uso de herramientas tecnológicas para agilizar procesos y mejorar el aprendizaje enfocado a nuevas metodologías. Existen diferentes herramientas que desarrollan cálculos estructurales de forma fácil y dinámica, pero, no permiten conocer los procedimientos internos para llegar al resultado (Miranda, 2005).

Para el análisis y diseño de elementos estructurales han obligado a la ingeniería civil a innovar en la creación de herramientas informáticas. En este caso, se hizo necesario para reducir el alto grado de complejidad de los cálculos a una manera más sencilla. Recientemente en varios países se emplean softwares de alto nivel, pero no son comerciales. Además, no todas las personas cuentan con el acceso a dichas herramientas (Salgado, 2000).

Con base a lo mencionado sobre elementos estructurales se expone el ejemplo del diseño de una columna. El número elevado de operaciones que se requieren para calcular conllevan a la necesidad de recurrir al uso de programas que minimicen el tiempo de respuesta. Asimismo, la utilización de herramientas computacionales permite controlar paso a paso posibles errores que no serían visibles a simple vista por el ser humano (Rochel Awad, 2012).

Las herramientas que se emplean para analizar y diseñar elementos estructurales deben basarse de acuerdo con la normativa vigente correspondiente. Es por esto que el reglamento es el encargado de regular las condiciones mínimas que se deben tener en cuenta para las construcciones. En este sentido, las estructuras deben garantizar confiabilidad cuando se presenta actividad sísmica ya que deben preservar la vida e

integridad de las personas. Por tanto, establece los requisitos de carácter técnico y científico para el diseño y construcción de estructuras (AIS, 2010).

Capítulo 3

3. Marco operativo

3.1 Programación en Matlab

Matlab (MATrix LABoratory) es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado con lenguaje de programación propio (Lenguaje M). El software combina un entorno de escritorio en sintonía para los procesos de análisis y diseño iterativos. También, el programa expresa matrices que incluye el Live Editor para crear scripts que combinan código, salida y texto formateado en un cuaderno ejecutable (MathWorks, 2021).

3.1.1 Ventanas de Matlab

El software brinda una serie de ventanas que permiten la interacción con el usuario de una manera amigable. El lenguaje de alto nivel proporciona que la herramienta a través de la interfaz entregue ambientes de mejor entendimiento y fácil utilización. Asimismo, cuenta en una ventana principal y tres de soporte.

3.1.1.1. Editor de Matlab

Consiste en un editor que se ancla en la ventana principal en el cual se pueden crear y editar contenido de scripts. Esta sección está ubicada en la parte superior de la interfaz donde se configura todo lo inherente a esta herramienta. En el apartado se logra ingresar comandos para ejecutarse como se ilustra en la Figura 3-1.

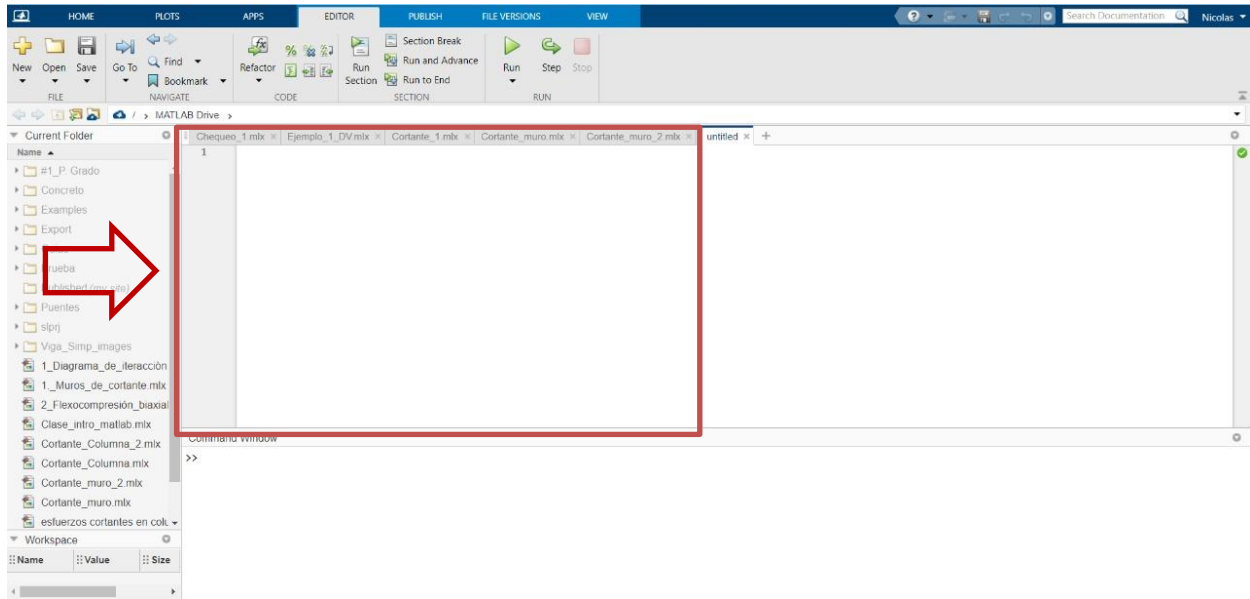


Figura 3 - 1: Ventana de editor en Matlab. Adaptada de (MathWorks, 2021a).

3.1.1.2. Command window

En la ventana command window se ingresan los datos necesarios para poder ejecutar el código satisfactoriamente. El entorno interactúa con el editor para ir generando respuesta a las solicitudes en la lógica del código. La sección se ilustra en la Figura 3-2.

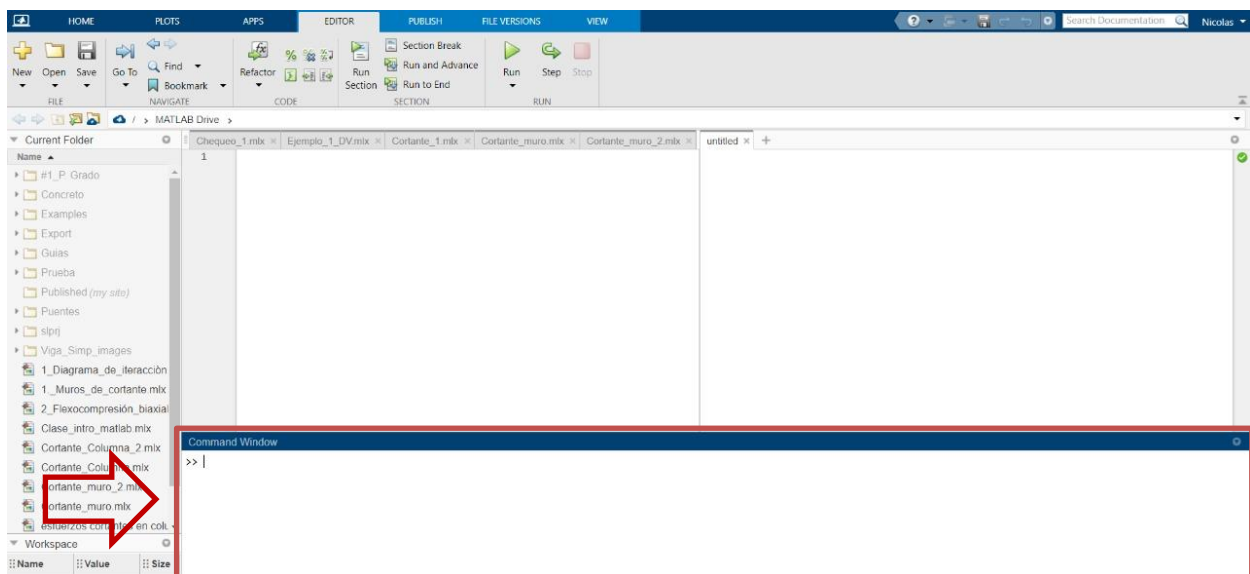


Figura 3 - 2: Ventana de Command Windows de Matlab. Adaptada de (MathWorks, 2021a).

3.1.1.3. Current folder

Current folder es un apartado donde se almacenan y clasifican a través de carpetas todos los archivos que se desean emplear con el software. Esta sección se ubica en el costado izquierdo de la ventana principal de Matlab como se ilustra en la Figura 3-3.

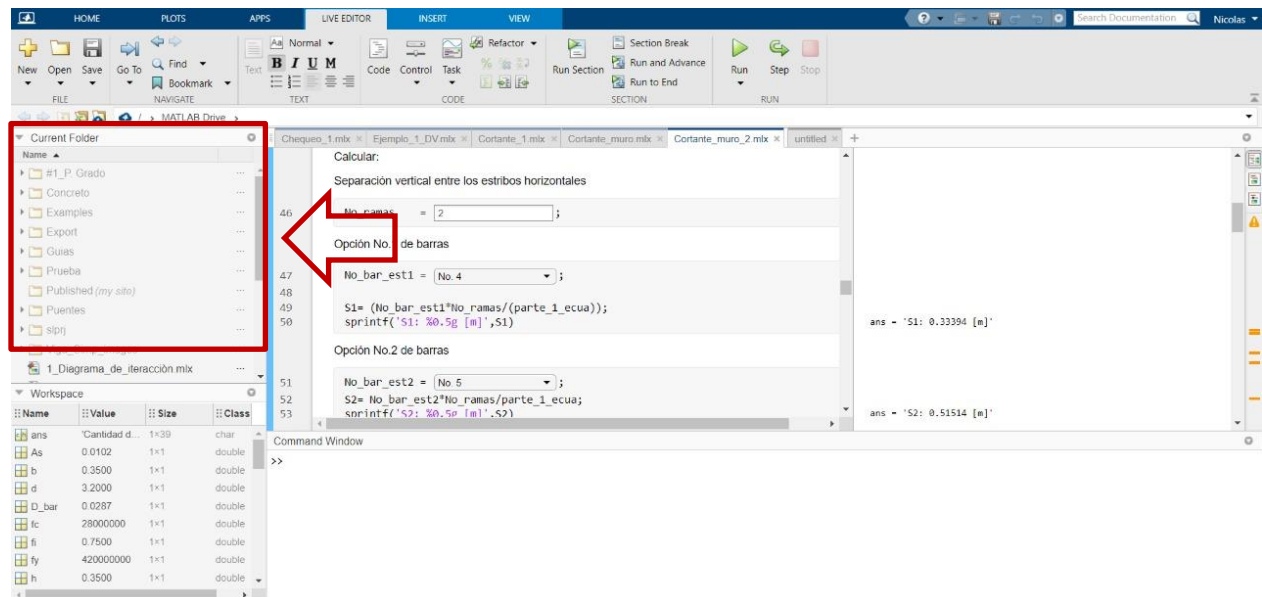


Figura 3 - 3: Ventana que ilustra la sección current folder de Matlab. Adaptada de (MathWorks, 2021a).

3.1.1.4. Workspace

Esta sección muestra al usuario todas las variables que se están ejecutando dentro del entorno de Matlab. El espacio en cuestión se ubica en la parte inferior de la ventana principal de Matlab como se ilustra en la Figura 3-4.

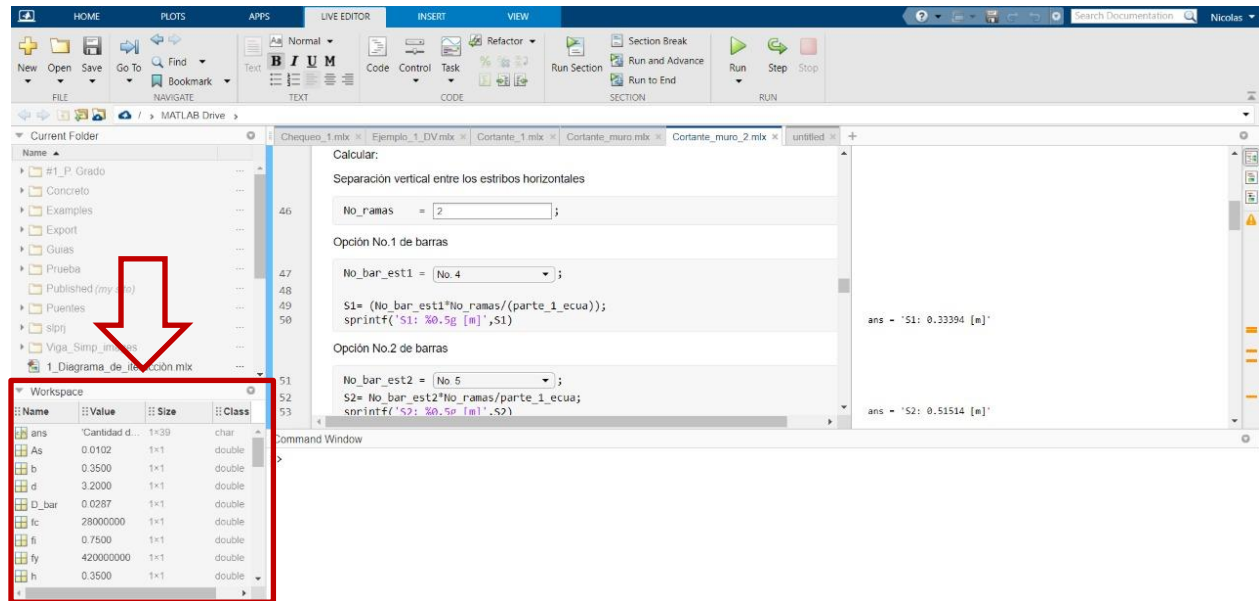


Figura 3 - 4: Ventana que ilustra la sección workspace de Matlab. Tomado de (MathWorks, 2021a).

3.1.2 Live script de Matlab

Son documentos interactivos que combinan código de Matlab con texto, ecuaciones e imágenes en un mismo entorno llamado Live Editor. La función permite analizar problemas visualmente y ejecutar bloques de código de forma individual o como un archivo completo. El formato se puede convertir en archivos tipo HTML, PDF, LaTeX para una posterior publicación (MathWorks, 2021c).

A continuación, se muestra en la Tabla 3-1 la diferencia que existe entre un formato Live Script y Scripts (Código simple) en Matlab:

Aspecto	Funciones de los Live Scripts	Funciones de los Scripts (Código simple)
Formato de archivo	Formato de archivo Code	Formato de archivo de texto sin formato.
Extensión de archivo	.mlx	.m
Pantalla de salida	Live Scripts	Ventana de comandos

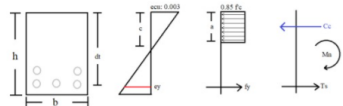
<p>Representación visual</p>	 <p>Ilustración No.6: Diagrama de deformación, esfuerzo y fuerzas.</p> <p>18.1- Determinar valor C Por lo tanto se tiene: $\frac{0.003}{c} = \frac{\epsilon_s}{d-c}$ al despejar la variable $\epsilon_s = \frac{0.003(d-c)}{c}$ como se evidencia, no se tiene el valor de c, por lo que se tiene que determinar. De manera que para esta situación se toma de forma equilibrada $C_c = T_s$.</p> $c = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot \beta_1 \cdot b}$ <pre>c1 = ((As/100*2)*fy)/(0.85*fc*b1*b); % [m] sprintf('c: %0.5g [m]',c1) ans = 'c: 0.21426 [m]'</pre> <p>18.2- Deformación del acero ϵ_s $\epsilon_s = \frac{0.003(d-c)}{c}$</p>	<pre>1 Mu_1 = (Mu*(11_m*2))/24; % [N*m] 2 Mu_3 = (Mu*((11_m+12_m)/2)^2)/10; % [N*m] 3 Mu_5 = (Mu*((12_m+13_m)/2)^2)/10; % [N*m] 4 Mu_7 = (Mu*(13_m*2))/24; % [N*m] 5 6 7 Mu_max_n = [Mu_1 Mu_3 Mu_5 Mu_7]; 8 Mu_n = max(Mu_max_n); 9 sprintf('El momento máximo negativo es de: %0.5g [N*m]',Mu_n) 10 11 d = 0.9*ti; 12 sprintf('d: %0.5g [m]',d) 13 14 k_p = (Mu_p)/(b*(d^2)); 15 sprintf('k_p = %0.5g [N/m^2]',k_p) 16 17 k_n = (Mu_n)/(b*(d^2)); 18 sprintf('k_n = %0.5g [N/m^2]',k_n) 19 20 ro_req_p = ((0.85*fc)/(fy))*1-(1-((2*k_p)/(0.85*fc*fi_1)))^0.5); 21 sprintf('Cuantia + es de: %0.5g ',ro_req_p) 22 23 ro_req_n = ((0.85*fc)/(fy))*1-(1-((2*k_n)/(0.85*fc*fi_1)))^0.5); 24 sprintf('Cuantia - es de: %0.5g ',ro_req_n) 25 26 As_req_p = ro_p*b*d*100^2; % [cm^2] Área de acero requerido. 27 sprintf('Área de acero requerida + es de: %0.5g [cm^2]',As_req_p) 28 29 As_req_n = ro_n*b*d*100^2; % [cm^2] Área de acero requerido.</pre>
------------------------------	---	--

Tabla 3 - 1: Diferencia con funciones y secuencias de comandos de código (MathWorks, 2021c).

3.2 Programación en Google Colaboratory

Google Colab es una herramienta de Google que brinda la opción de escribir y ejecutar código arbitrario de Python. El programa es utilizado principalmente en análisis de datos y educación. Es un servicio alojado de Jupyter Notebook que no requiere de configuración, además es de acceso gratuito para usuarios de Google (Google Colaboratory, 2021).

Los entornos donde se desarrollan código y texto se denominan notebooks de Colab los cuales se ejecutan en lenguaje Python. El software permite incluir imágenes y transformar los archivos a tipo LaTeX y HTML. El almacenamiento que usa Colab es a través de Google Drive el cual se puede compartir con otros usuarios para ser ejecutado en un mismo entorno. Los códigos se ejecutan en los servidores alojados en la nube por Google, donde incluye GPU y TPU para un mejor rendimiento (Google Colaboratory, 2021).

3.2.1 Lenguaje Python

Es un lenguaje de programación que contiene una estructura de datos de alto nivel y un efectivo sistema. Además, dispone de una biblioteca gratuita con formato binario para todas las plataformas principales de los sitios web.

3.3 Ingreso y estructura de la página

La guía didáctica fue elaborada a través de una plataforma de desarrollo web denominada Wix la cual brinda un hosting gratuito. El acceso a la misma se puede realizar desde diferentes dispositivos móviles con solo tener acceso a internet. Esta herramienta permite desarrollar diseños con diferentes plantillas profesionales para una buena impresión. Así mismo, asegura que la web esté libre de amenazas y riesgos ante virus maliciosos (Wix, 2021).

El diseño de la página se realiza con el objeto de mostrar de una manera fácil y dinámica el contenido de la guía elaborada con el software de Matlab. De igual manera, el acceso por parte de los usuarios al contenido interactivo en Google Colab se vuelve más sencillo con un enlace que permite el ingreso directamente. La página almacena la información publicada desde un sistema “en la nube” que proviene de los servicios de Google Drive y Wix.

Para lograr el acceso al sitio web es necesario que se realice a través del siguiente el enlace <https://guiasconcretoingci.wixsite.com/usco> el cual debe ejecutarse directamente desde un navegador con conexión a internet.

3.3.1 Portada principal

La portada principal cuenta con un encabezado que contiene un menú horizontal ubicado en la parte superior derecha. En la parte izquierda se ubica el escudo representativo de la Universidad Surcolombiana. Luego, se ubica el nombre del sitio web con un video de fondo alusivo al contenido (Figura 3-5).



Figura 3 - 5: Portada principal de sitio web. Tomado de Autores

3.3.1.1. Menú horizontal

Contiene el acceso a cuatro botones principales que facilitan la navegación dentro del sitio web, estos se describen en la Tabla 3-6.

Nombre del botón	Descripción	Icono
Inicio	Direcciona hacia la portada principal de la página.	
Guías	Dirige a los módulos de concreto I y II directamente.	
Preguntas frecuentes	Sección donde se observan todas las respuestas a las preguntas que usualmente realizan los usuarios.	
Información	Dirige al espacio donde el usuario puede formular todas las inquietudes correspondientes a la página o contenido de la guía. También direcciona a la bibliografía utilizada para el desarrollo del contenido de la guía.	

Tabla 3 - 2: Descripción de botones principales del menú. Tomado de Autores.

3.3.1.2. Franja de información

Esta sección corresponde a un espacio dentro de la portada principal. La franja cumple la función de dirigir al usuario directamente hacia algunos temas de mayor importancia dentro del portal web. También informa sobre algún acontecimiento importante que se genere en relación con el contenido nuevo que ingrese a la guía como se observa en la Figura 3-6.



Figura 3 - 6: Franja de información del sitio web. Tomado de Autores.

3.3.1.3. Acceso al módulo de concreto I

En la parte central de la portada principal existe el acceso directo al módulo de concreto I. La sección describe brevemente algunos aspectos teóricos de concreto y menciona de forma general el contenido que podrá observar el usuario al ingresar en este a través del botón denominado “Ir a guías” como se evidencia en la Figura 3-7.

CONCRETO I

Gran parte de las obras civiles en Colombia utilizan el concreto y el acero como materiales base para la construcción de diferentes edificaciones. Por lo anterior, resulta de suma importancia para cualquier ingeniero civil comprender los conceptos y procedimientos de diseño de estructuras fabricadas con dichos materiales.

En este sitio se presentan las guías didácticas para el análisis y diseño de elementos en concreto reforzado como vigas rectangulares, losas en una dirección y vigas T. Las guías se desarrollan utilizando los lenguajes de programación Matlab y Python, así como los requisitos establecidos por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).



[Ir a Guías](#)

Figura 3 - 7: Sección para ingreso al módulo de concreto I. Tomado de Autores.

3.3.1.4. Acceso al módulo de concreto II

Esta sección describe brevemente algunos aspectos teóricos de concreto y menciona de forma general el contenido que podrá observar el usuario al ingresar en este a través del botón denominado *Ir a guías* como se observa en la Figura 3-8.

CONCRETO II

El concreto se conoce por ser una mezcla compuesta por cemento, agua, y agregados pétreos. Las proporciones de cada uno de estos componentes deben estar previamente diseñadas. Por su naturaleza explosiva, el concreto es reforzado con varillas de acero para así lograr obtener estructuras con características deseables como resistencia, rigidez y ductilidad.

Este módulo presenta las guías didácticas para el diseño y chequeo de columnas. También se presentan algunas disposiciones para zapatas, muros de cortante y análisis sísmico. Las guías se desarrollan utilizando los lenguajes de programación Matlab y Python, así como los requisitos establecidos por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

[Ir a Guías](#)

Figura 3 - 8: Sección para ingreso al módulo de concreto II. Tomado de Autores.

3.3.1.5. Caja de herramientas de Matlab

Este apartado brinda la opción al usuario de acceder a diferentes soportes relacionados con el software Matlab (Ver Figura 3-9). El manual para obtener la licencia e instalación de esta se puede observar en este apartado. Así mismo, se encuentra un acceso a ejemplos, funciones, bloques, documentación, aplicaciones, videos y respuestas directamente del sitio oficial de Mathworks.



Figura 3 - 9: Sección de caja de herramientas de Matlab en el sitio web. Tomado de Autores.

3.3.1.6. Preguntas

En la parte inferior de la portada principal se ubica una sección diseñada para que los usuarios formulen las preguntas pertinentes acerca del contenido de la guía o el funcionamiento de ésta. La persona debe diligenciar los campos requeridos para posteriormente solicitar a través del botón “Enviar” la solicitud, tal como se muestra en la Figura 3-10.

PREGUNTAS

Para todo tipo de preguntas, comentarios e inquietudes acerca de los temas tratados en las guías, complete la siguiente información:

Nombre y Apellido:

Código:

Email *

Teléfono

Déjanos un mensaje ...

Enviar

Figura 3 - 10: Sección de preguntas en el sitio web. Tomado de Autores.

3.3.2 Módulo de concreto I

El módulo se compone de una portada con el título *Guías Concreto I*. Seguidamente se encuentra una tabla de contenido donde se listan nueve temas con el respectivo acceso a cada uno. En la parte derecha se ubica un video sobre un ensayo para determinar la flexión de la viga de concreto. Finalmente se ubica un botón de retorno a la portada principal del sitio web.

La Figura 3-11 muestra los temas que trata el módulo de concreto I, los cuales están organizados de acuerdo con el contenido programático del curso para el programa de ingeniería civil: Análisis de vigas rectangulares sometidas a flexión, diseño de vigas rectangulares, losas en una dirección, análisis y diseño de vigas T, cortante y tensión diagonal en vigas, adherencia y longitud de refuerzo, respuesta elástica de secciones fisuradas, deflexiones y torsión.

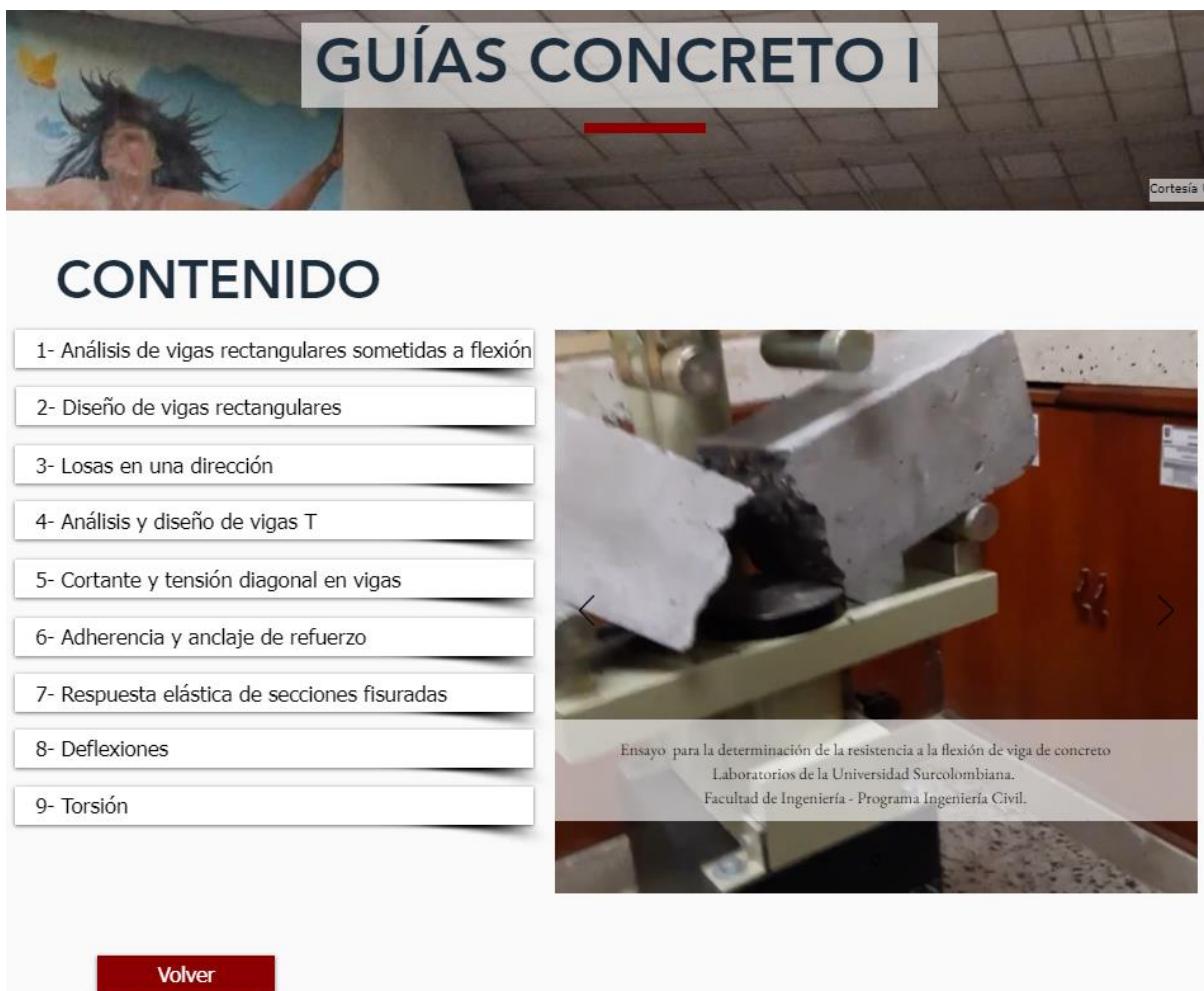


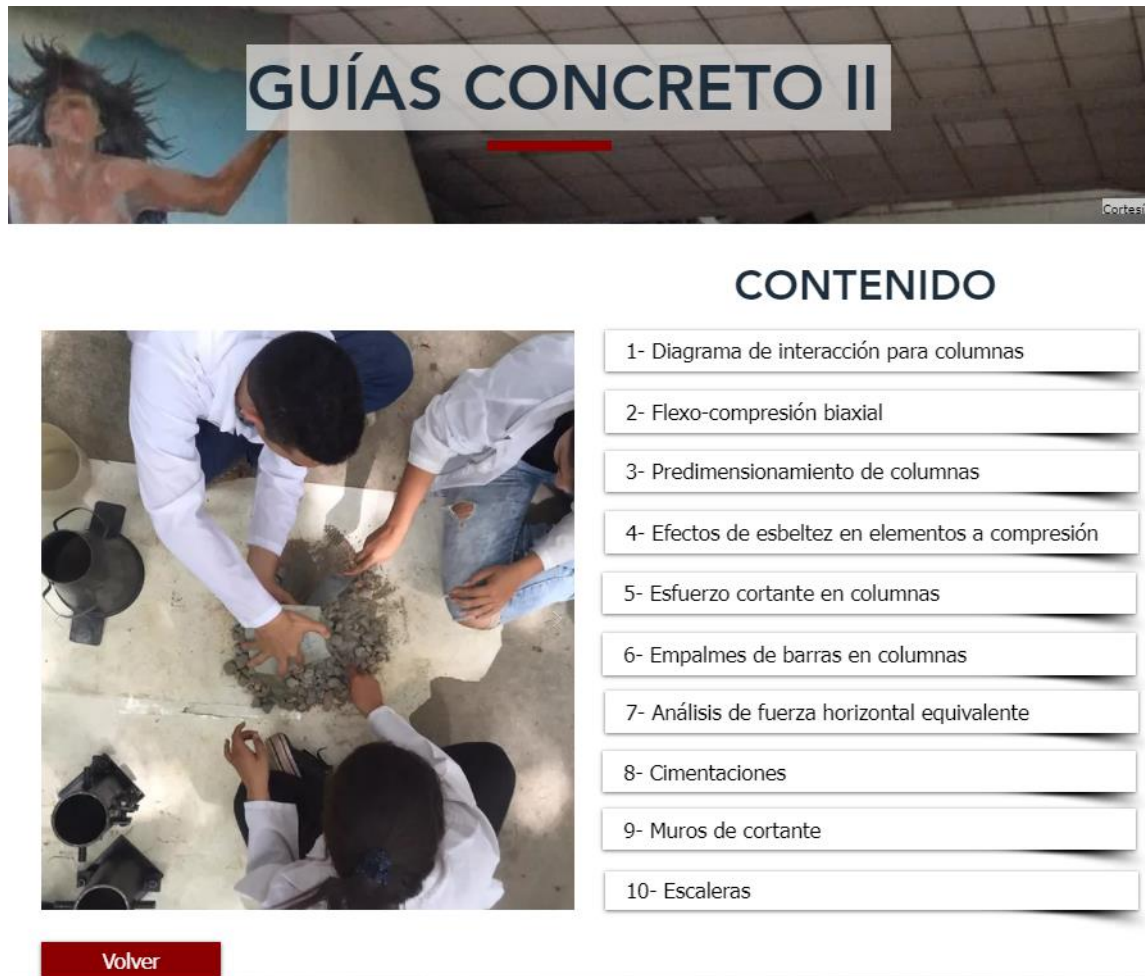
Figura 3 - 11: Módulo de concreto I. Tomado de Autores.

3.3.3 Módulo de concreto II

Está estructurado por una portada con el título “Guías Concreto II”. Luego, se encuentra una tabla de contenido donde se listan diez temas con el respectivo acceso a cada uno. En la parte izquierda del módulo se ubica tres imágenes sobre el laboratorio para diseño de mezclas de concreto. Finalmente se localiza un botón de retorno a la portada principal del sitio web.

Los temas de los cuales trata el módulo de concreto II de la Figura 3-12 se ubican en el orden como se establecen en el micro diseño del curso para el programa de ingeniería civil: Diagrama de interacción, flexo-compresión biaxial, predimensionamiento de columnas, efectos de esbeltez en elementos a compresión, esfuerzo cortante en columnas, empalmes

de barras en columnas, análisis de fuerza horizontal equivalente, cimentaciones, muros de cortante y diseño de escaleras.



GUÍAS CONCRETO II

CONTENIDO

- 1- Diagrama de interacción para columnas
- 2- Flexo-compresión biaxial
- 3- Predimensionamiento de columnas
- 4- Efectos de esbeltez en elementos a compresión
- 5- Esfuerzo cortante en columnas
- 6- Empalmes de barras en columnas
- 7- Análisis de fuerza horizontal equivalente
- 8- Cimentaciones
- 9- Muros de cortante
- 10- Escaleras

Volver

Figura 3 - 12: Módulo de concreto II. Tomado de Autores.

3.3.4 Módulo de contenidos específicos por temas

El módulo está compuesto por un encabezado principal con el título del tema que se va a tratar. La sección se divide en dos columnas, la izquierda contiene un archivo *.pdf* el cual se puede visualizar de forma interactiva. El lado derecho lo conforma un título, una imagen y una breve descripción sobre contenido de la guía. Permite el acceso directo a los documentos como se muestra en la Tabla 3-3.




Tipo de archivo	Descripción	Icono
.pdf	El usuario puede descargar la guía para observar el contenido sin posibilidad de modificarla.	
.mlx	El usuario puede descargar la guía directamente a su ordenador permitiendo ser ejecutada y/o modificada utilizando el lenguaje de programación M.	
Online	Permite el acceso a Google Colab para interactuar en línea con el contenido de la guía. El usuario puede ingresar directamente desde cualquier dispositivo con una cuenta de Google, sin necesidad de instalar programas adicionales.	

Tabla 3 - 3: Descripción de botones de descarga e interacción con la guía. Tomado de Autores.

ANÁLISIS DE VIGAS RECTANGULARES SOMETIDAS A FLEXIÓN

Ejemplo No.1: Análisis de vigas simplemente reforzadas
(Una fila de acero a tracción)

1- Introducción

Para los elementos estructurales ya implementados al momento de producirse una reestructuración es de suma importancia realizar un chequeo para la verificación del estado actual, garantizando que cumplen los requisitos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, por eso tal motivo en la presente guía se muestra el paso a paso de como chequear una viga rectangular con una fila de acero a tracción.

`sis, sismo, sismo s12, format sheet y`

Tabla de contenido

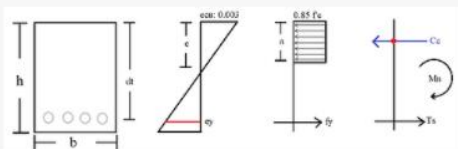
- Ejemplo No.1: Análisis de vigas simplemente reforzadas..... 1
- 1- Introducción..... 1
- 2- Enunciado..... 1
- 3- Desarrollo..... 2
 - 3.1- Datos de entrada..... 2
 - 3.2- Propiedades de los materiales..... 2
 - 3.3- Acero a tracción..... 2
 - 3.4- Recubrimiento..... 3
 - 3.5- Carga axial y momentos mayores..... 3
 - 3.6- Cálculo de..... 3
 - 3.7- Chequeo del Elemento..... 5
 - 3.8- Momento nominal máximo requerido (Mn)..... 10
 - 3.9- Relación entre demanda y capacidad..... 10
- 4- Bibliografía..... 11

2- Enunciado

Determine la resistencia máxima de momento de la viga existente que cuenta con un $M_n = 290 \text{ kN} \cdot \text{m}$ y dimensiones $b = 30 \text{ cm}$ y $h = 30 \text{ cm}$, recubrimiento $r_c = 25 \text{ mm}$, resistencia a la compresión de $f_c = 28 \text{ MPa}$ y deformación máxima de concreto a compresión $\epsilon_c = 0.003$, resistencia específica a la fluencia del acero $f_y = 420 \text{ MPa}$ y un módulo de elasticidad $E_s = 6 \text{ (MDa)}$ y finalmente acero a tracción. 489



Análisis de viga rectangular con una fila de acero a tracción



En la guía presente se da a conocer el paso a paso de como analizar una viga rectangular con una sola fila de acero a tracción teniendo en cuenta los requisitos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Descargar en lenguaje Matlab

Formato PDF 

Formato .mlx 

Uso interactivo en lenguaje Python


Online 

Figura 3 - 13: Ejemplo de módulo de temas específicos. Tomado de Autores.

Capítulo 4

4. Productos asociados y resultados

La guía didáctica para el análisis y diseño de estructuras en concreto reforzado trabaja bajo los requisitos mínimos establecidos en el reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. La herramienta permite la interacción del usuario con los procedimientos detallados, los cuales se encuentran elaborados en los lenguajes de programación Matlab y Python. El aplicativo facilita la comprensión e incentiva a la creación de propios procedimientos por parte de la persona que interactúa en el sitio web.

4.1 Estructura de los temas

Los temas de la guía comprenden una estructura general en la cual el usuario puede avanzar en el contenido de una forma fácil. A continuación, se establece en la Figura 4-1 las partes que contiene el documento en mención.

Título	PARTE 1
<p>1- Introducción</p> <p>En la presente guía se explicará como realizar un analisis de cargas teniendo en cuenta los requerimientos y clasificaciones establecidas por la NSR-10.</p>	PARTE 2
<pre>clc, clear, close all, format shortG</pre>	PARTE 3
<p>Tabla de Contenido</p> <p>Título..... 1</p> <p>1- Introducción..... 1</p> <p>2- Teoría 1</p> <p>3- Ejemplo..... 1</p> <p>4- Desarrollo..... 1</p> <p>5- Bibliografía..... 1</p>	PARTE 4
<p>2- Teoría</p> <p>De acuerdo al B.3.1 de la NSR-10 define las cargas muertas como: La carga muerta cubre todas las cargas de elementos permanentes de construcción incluyendo su estructura, los muros, pisos, cubiertas, cielos rasos, escaleras.a.</p>	PARTE 5
<p>3- Ejemplo</p> <p>Realizar el análisis de cargas de la siguiente estructura. Datos:</p> <p>Acabados:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cielo raso en yeso o concreto • Mortero de nivelación de 2 a 3 cm 	PARTE 6
<p>4- Desarrollo</p> <p>Área (m²)</p> <pre>A = 150; % Área [m^2] y_c = 2400 ; % [kg/m^3]</pre>	
<p>5- Bibliografía</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título B). 	PARTE 8

Figura 4 - 1: Partes del documento que contienen los temas de la guía didáctica. Tomado de Autores.

4.1.1 Parte 1 Título

Es el nombre con el cual se identifica el tema a tratar. Se evidencia en letra color naranja y negrilla sobre el nivel denominado título de texto del software Matlab.

4.1.2 Parte 2 Introducción

Es una sección que se describe el propósito principal con el que va a estar relacionado la temática del documento. Este apartado se encarga de contextualizar al lector de forma breve y puntual sobre el contenido de la guía.

4.1.3 Parte 3 Comando principales usados en el código

Cada documento cuenta en la parte inicial con cuatro comandos que son utilizados por el programa para tener un buen rendimiento y evitar posibles errores en los cálculos. En este sentido, *clc* cumple la función de limpiar la ventana de comandos, pero deja intactos los datos de la interfaz de historia de comandos. *clear* borra todas las variables guardadas para así poder ejecutar varias veces el código. *close all* es usado para cerrar las figuras o gráficos que se tengan dentro del texto. *format* crea estructura al resultado que se calcula en el tema tratado (MathWorks, 2021b).

4.1.4 Parte 4 Tabla de contenido

Es una lista de las secciones que contienen el documento. La tabla de contenido se generada automáticamente por el programa y direcciona a cada tema correspondiente.

4.1.5 Parte 5 Aspectos teóricos del tema

En esta sección se observa la teoría que corresponde al tema a tratar, toda se encuentra descrita detalladamente con base a los requisitos mínimo de la NSR-10.

4.1.6 Parte 6 Ejemplo y desarrollo del tema

Cada una de las guías contiene un ejemplo con el objeto de mostrar de manera detallada cómo se soluciona un ejercicio sobre el análisis o diseño de elementos de concreto reforzado.

4.1.7 Parte 7 Bibliografía

Este apartado es destinado para listar las fuentes que fueron utilizadas en la elaboración de la teórica o ejemplos que contienen el documento.

4.2 Entregables

El presente proyecto genera entregables como instrumentos de aprendizaje para la comunidad educativa. Consisten en una página web con acceso a través del siguiente enlace <https://guiasconcretoingci.wixsite.com/usco>. Así mismo, se relacionan 68 documentos con los temas tratados los cuales se anexan en formato *.pdf* de la siguiente manera:

Módulo concreto I

- Análisis de vigas rectangulares sometidas a flexión, ver anexo A.
- Diseño de vigas rectangulares, ver anexo B.
- Losas en una dirección, ver anexo C.
- Análisis y diseño de vigas T, ver anexo D.
- Cortante y tensión diagonal en vigas, ver anexo E.
- Adherencia y anclaje de refuerzo, ver anexo F.
- Respuesta elástica de secciones fisuradas, ver anexo G.
- Deflexiones, ver anexo H.
- Torsión, ver anexo I.

Módulo concreto II

- Diagrama de interacción para columnas, ver anexo J.
- Flexo-compresión biaxial, ver anexo K.
- Predimensionamiento de columnas, ver anexo L.

- Efectos de esbeltez en elementos a compresión, ver anexo M.
- Esfuerzo cortante en columnas, ver anexo N.
- Empalmes de barras en columnas, ver anexo O.
- Análisis de fuerza horizontal equivalente, ver anexo P.
- Cimentaciones, ver anexo Q.
- Muros de cortante, ver anexo R.
- Escaleras, ver anexo S.

4.3 Análisis e interpretación de la información

La medición del flujo de visitas e interacciones de los usuarios con la guía didáctica se realizó a través del instrumento generado automáticamente por la plataforma de desarrollo web. Esta herramienta permite conocer en profundidad el comportamiento de los usuarios ante el contenido que se publica en la guía. Los resultados se midieron en función de visitas, tiempo de permanencia en el sitio, visitas por ubicación geográfica. Asimismo, cabe mencionar que una de las ventajas de este proyecto es su utilización a través del teléfono móvil. Por lo tanto, se obtuvo los datos referentes a comportamiento de los usuarios con relación al tipo de dispositivo que utilizaron para el ingreso. De igual manera, genera el resultado del tráfico por página de entrada.

Cabe mencionar que una de las maneras utilizadas para dar a conocer el proyecto fue a través de socializaciones en los cursos de Concreto I y Concreto II de la Universidad Surcolombiana. En el ejercicio de las sesiones que se realizaron fueron obtenidas críticas constructivas para la implementación a favor de la mejora de este.

Las figuras que se presentan a continuación muestran el resultado de las mediciones en función de los parámetros descritos anteriormente. De este modo, cabe aclarar lo siguiente:

- La publicación parcial del sitio web se realizó el día 15 de julio de 2021.
- La fecha de inicio que se tomó para la medición de los datos fue el 15 de julio de 2021.
- La fecha de corte de la toma de datos se dio el día 02 de diciembre de 2021.

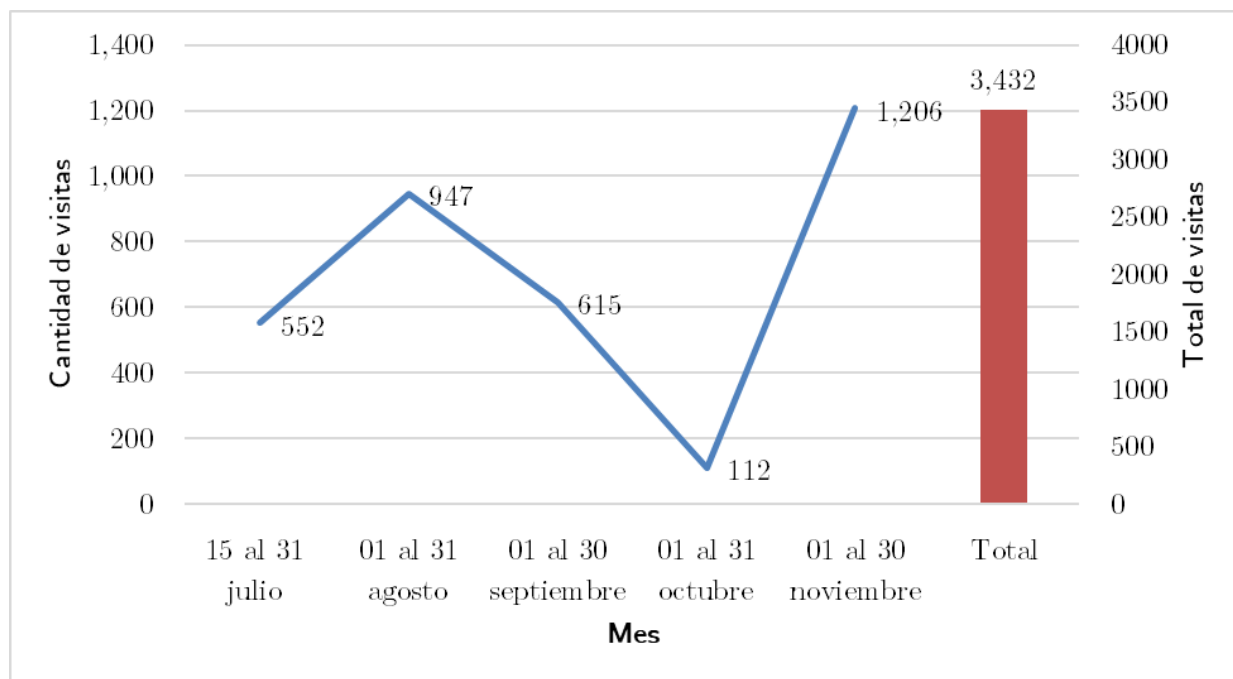


Figura 4 - 2: Cantidad de visitas del sitio web. Tomado de Autores.

La Figura 4-2 contiene información sobre la cantidad de visitas que se han recibido en los últimos 138 días. Se observa que desde la fecha de publicación del sitio web este tuvo un crecimiento en visitas significativo. Sin embargo, presenta decrecimiento entre septiembre y octubre por causa de las vacaciones que se dieron en este tiempo. En el mes de noviembre el sitio aumentó el tráfico de visitas en razón al inicio del periodo académico lo que indica que los estudiantes han utilizado la guía en función de sus deberes formativos. En conclusión, la herramienta informática ha tenido un total de 3432 visitas en el periodo de tiempo mencionado.

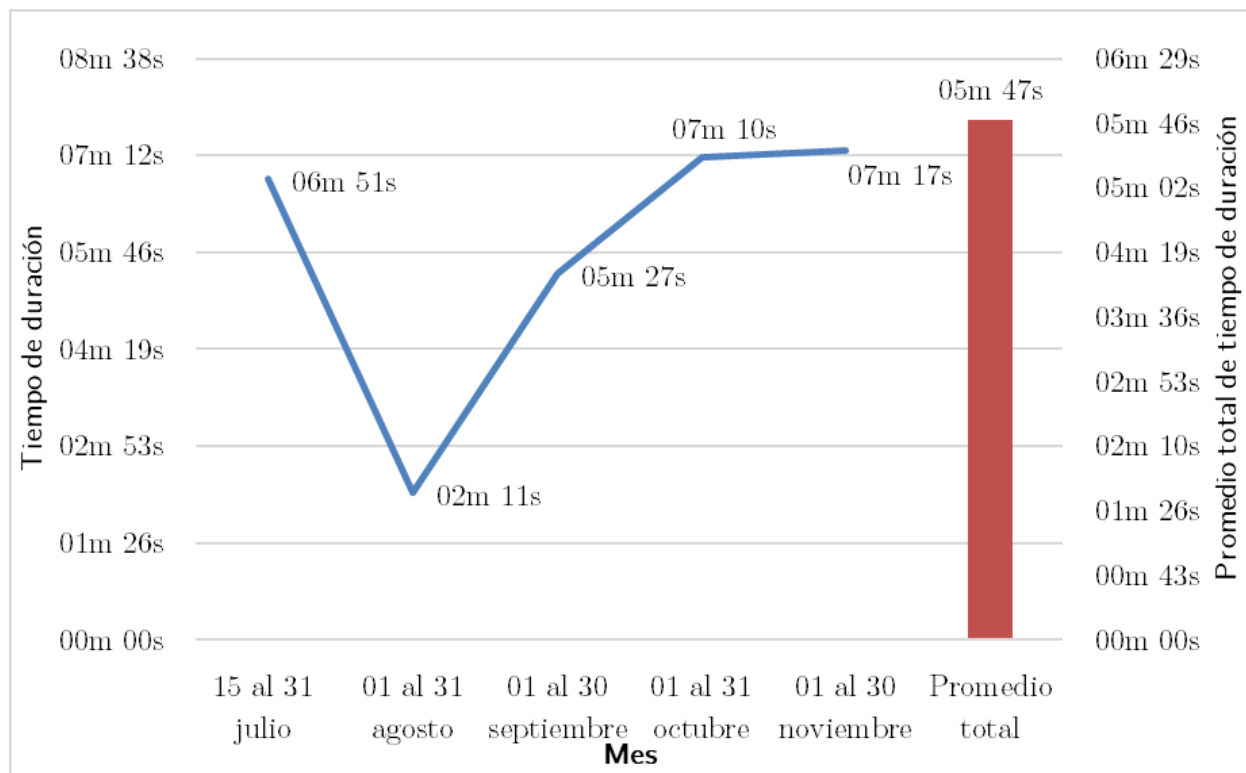


Figura 4 - 3: Duración de la sección. Tomado de Autores.

La Figura 4-3 muestra el promedio de duración por cada sesión que realizan los usuarios a la herramienta informática. El tiempo de permanencia en el sitio es un dato importante debido a que manifiesta que tan amena resulta navegar y hacer uso de esta. Entre julio y agosto el periodo de permanencia en el sitio web decrece. Una de las razones de este comportamiento se debe porque el contenido de la guía en los diferentes módulos era parcial en el periodo mencionado. Sin embargo, desde el mes de septiembre se presentó aumento en la duración de tiempo de las secciones debido a que se inicia con la publicación de más contenido progresivamente. En conclusión, el promedio total de duración de una persona por sección en los últimos 138 días es de aproximadamente 6 minutos.

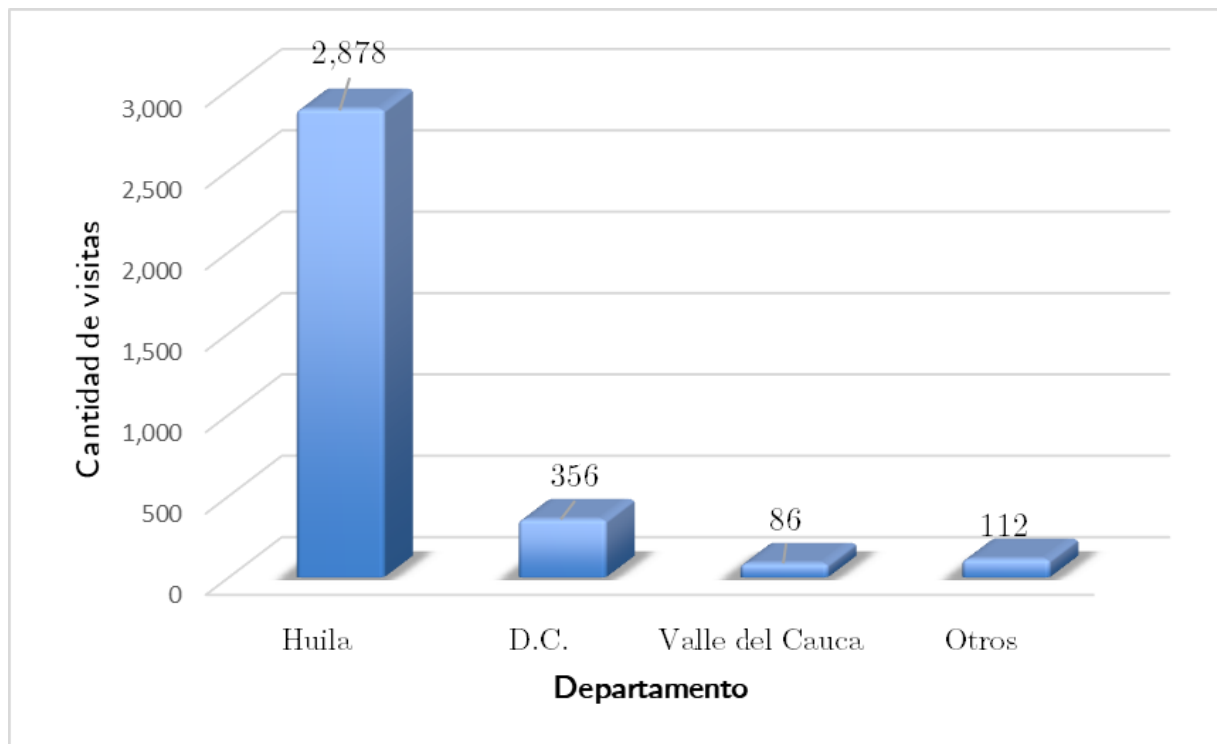


Figura 4 - 4: Cantidad de visitas por departamento. Tomado de Autores.

La Figura 4-4 representa la cantidad de visitas con relación a lugares específicos. Se evidencia un mayor tráfico de ingresos en el departamento del Huila. Seguidamente, la capital del país y el valle del cauca son los sitios de mayor interés en la guía. En este sentido, en el Huila especialmente la ciudad de Neiva cuenta con la población más amplia de estudiantes por lo tanto es el dato que más representa visitas.

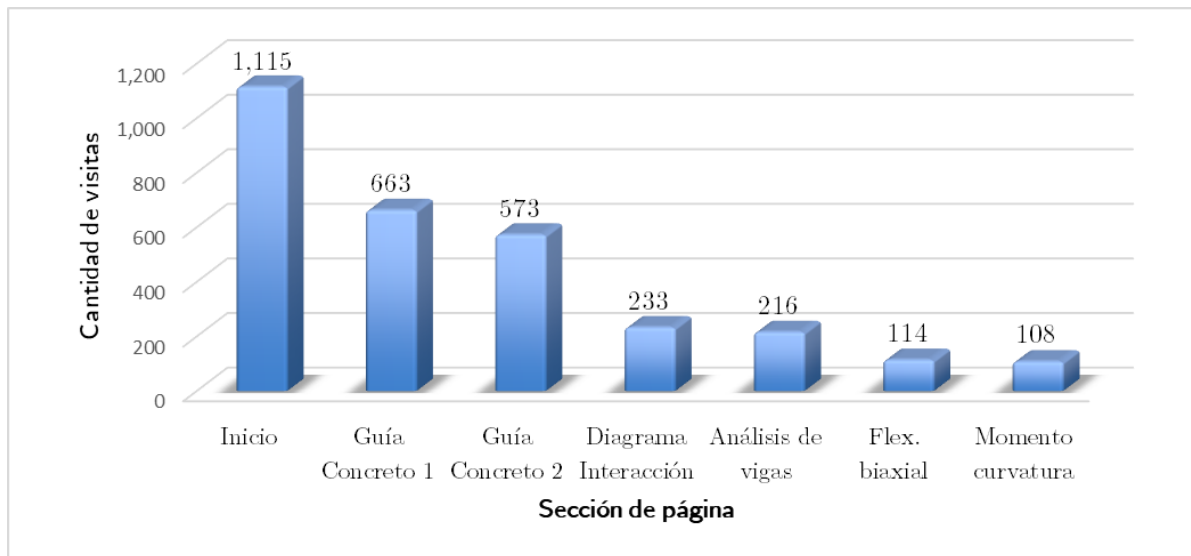


Figura 4 - 5: Cantidad de visitas por sección de página. Tomado de Autores.

La Figura 4-5 muestra información acerca de las secciones que han tenido gran cantidad de visitas durante los últimos 138 días. De tal forma, el número más alto de interacciones se observa en la ventana de inicio, seguido del módulo de concreto I y concreto II. Así mismo, los temas más visitados han sido el diagrama de interacción para columnas, análisis de vigas, flexo compresión biaxial y momento curvatura. Sin embargo, es importante mencionar que dichos contenidos son los que primero se publicaron y más tiempo han durado en el sitio web en comparación de los otros temas.

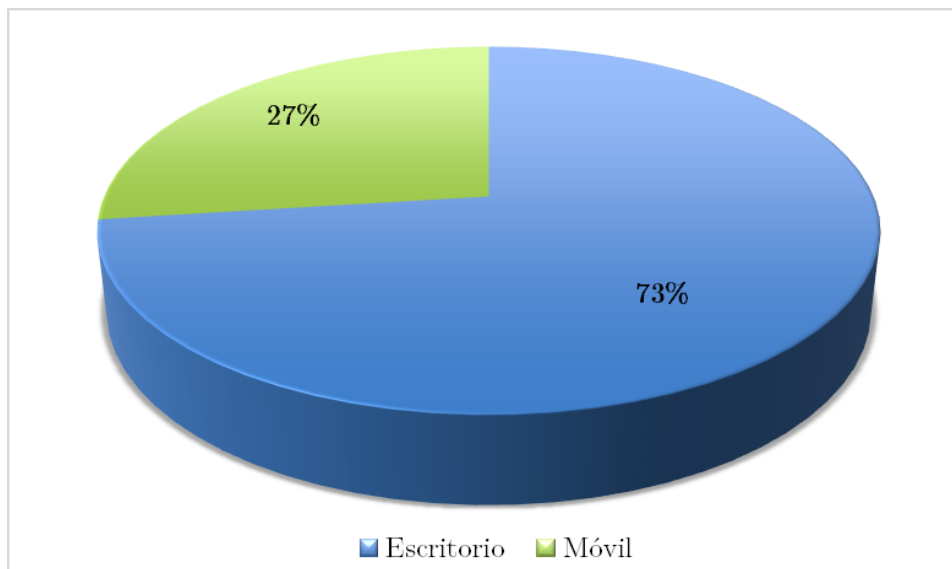


Figura 4 - 6: Cantidad de visitas a través diferentes dispositivos. Tomado de Autores.

Una de las ventajas que posee el presente proyecto es el fácil acceso a los contenidos de la guía para el análisis y diseño en concreto reforzado. En este sentido, el uso de equipos móviles se convierte en una manera adecuada y practica ya que los usuarios pueden hacer uso de esta por medio de tabletas, celulares y computadoras con conexión a internet. Es por lo que la Figura 4-6 muestra el porcentaje de ingresos a través diferentes dispositivos. En este caso el 73% corresponde al uso de equipos de escritorio correspondiente a 2505 visitas y el 27% equivalente al uso de dispositivos móviles con 927 visitas.

Capítulo 5

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

El desarrollo del presente proyecto logró cumplir los objetivos planteados desde el inicio. Se obtiene el resultado más importante que es la construcción de una guía didáctica para el análisis y diseño de estructuras en concreto reforzado, la cual constituye en una herramienta eficiente y de aportes importantes para la comprensión de los temas del cálculo estructural de concreto reforzado.

Finalmente, se muestra una lista de conclusiones obtenidas con la elaboración del presente proyecto, también se mencionan algunas recomendaciones.

- La construcción de la herramienta informática proporciona la comprensión de los aspectos teóricos en los temas orientados al análisis y diseño de estructuras en concreto reforzado. El aplicativo enseña al usuario a través de conceptualizaciones y procedimientos detallados promoviendo al autoaprendizaje.
- El uso de softwares como Matlab y Google Colaboratory proporcionan al usuario un ambiente interactivo que permite ajustar a las necesidades en diferentes escenarios, logrando así incentivar al uso de lenguajes de programación dentro de la rama de la ingeniería civil.
- La guía didáctica fue socializada en los cursos de concreto con el objeto de medir la interacción por parte de los estudiantes, logrando evidenciar un alto flujo de

visitas a la herramienta. Se obtuvo un total de 3.432 visitas en 138 días con un promedio de tiempo por sección de aproximadamente 6 minutos.

- Se construyó una herramienta programable de complemento con fines educativos para estudiantes o usuarios interesado en el análisis y diseño de estructuras en concreto reforzado, con orientación al cumplimiento de los requisitos mínimos establecidos por la NSR-10.

5.2 Recomendaciones

- Aprovechar el uso del software Matlab para los procesos de formación especialmente en la rama de la ingeniería civil debido a los grandes beneficios que aporta a la enseñanza esta herramienta por la versatilidad, fácil acceso, precisión y conocimiento de un nuevo lenguaje de programación.
- Implementar esta metodología de apoyo para otros cursos de gran importancia dentro del programa de ingeniería civil de la universidad Surcolombiana.
- La guía didáctica contiene la explicación detallada a través de ejemplos y teoría de los temas correspondientes para el análisis y diseño en concreto reforzado. Sin embargo, el usuario debe contar con criterio propio orientado al autoaprendizaje con el fin de interactuar con herramienta y llegar a resultados adecuados.
- La interacción correspondiente con las guías dadas en Google Colab es necesario que el usuario tenga acceso a una cuenta de Google.
- A futuro se recomienda medir el impacto de la guía ya que el presente proyecto tuvo un alcance hasta la construcción y puesta en marcha del aplicativo.

Bibliografía

- AIS. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*.
- Chuva, Á. T. M., & Vallejo, J. A. S. (2019). *Diseño e implementación de un prototipo para el análisis de salud estructural de un puente a través de una red de sensores inalámbricos utilizando el software Matlab*. [Tesis de pregrado]. Universidad Politécnica Salesiana.
- Díaz, I. A. N. (2016). *Optimización de conjuntos estructurales considerando los factores usualmente ignorados en la modelación usando la OAPI SAP2000-MatLab*. [Trabajo de diploma]. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas.
- El oficial. (2018). *¿Cómo influye la tecnología en el sector construcción?* El Oficial. <https://eloficial.ec/como-influye-la-tecnologia-en-el-sector-construccion/>
- Euroinnova Business School. (2021, noviembre 25). *Herramientas tecnológicas en Internet. Blog de herramientas tecnológicas en internet*. <https://www.euroinnova.co/blog/herramientas-tecnologicas-en-internet>
- Google Colaboratory. (2021). *Google Colaboratory*. <https://colab.research.google.com/notebooks/welcome.ipynb?hl=es>
- Malaver, C. G. S. (2014). *Análisis estructural por el método de elementos finitos asistido por computadora (Vigas-porticos, placas, solidos de revolución)* [Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/41/T%20005.3%20S159%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- MathWorks. (2021a). *MATLAB*. <https://matlab.mathworks.com/>
- MathWorks. (2021b). *MATLAB para ingenieros*. <http://dea.unsj.edu.ar/control2/matlab%20para%20ingenieros.pdf>

- MathWorks. (2021c). *What Is a Live Script or Function? - MATLAB & Simulink*. Help Center. https://www.mathworks.com/help/matlab/matlab_prog/what-is-a-live-script-or-function.html
- Miranda, P. Z. (2005). *Aplicaciones para análisis y diseño de elementos de concreto reforzado*. 102.
- Peralta, D. L. C., & Vega, F. A. B. (2014). *AEstruct2D V1.0: Una herramienta programada en Matlab para análisis de marcos y armaduras planas fundamentada en el método de rigidez* [Monografía, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua].
- Rejas, J. N. M. (2019). *Aplicación de herramientas tecnológicas para la enseñanza – aprendizaje de los estudiantes de la facultad de administración de la universidad nacional “San Luis Gonzaga” de ICA, 2016 – 2017* [Trabajo académico para segunda especialidad, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Huancavelica <https://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/2525/T.ACAD-SEGEPE-FED-2019-MENDOZA%20REJAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rochel Awad, R. (2012). *Análisis y diseño sísmico de edificios* (2. ed). Fondo Editorial Universidad EAFIT.
- Salas, P. L. G., & Gómez, S. L. S. (2019). *Diseño y codificación de una aplicación en el sistema de cómputo numérico Matlab que facilite el análisis de comportamiento dinámico de sistemas estructurales de múltiples grados de libertad*. [Tesis de pregrado]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Salgado, H. L. (2000). *Software Educativo para el Análisis y Diseño de Elementos de Concreto Reforzado-Edición Única* [Tesis, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey]. Repositorio del Instituto Tecnológico de Monterrey <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/568302>
- Santana, W. E. S. (2010). *Aplicación del programa Matlab para optimizar el tiempo y determinar en forma segura el análisis dinámico de una estructura* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional de la Universidad Técnica de Ambato <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2208/1/Tesis%20559%20-%20Su%20C3%A1rez%20Santana%20Wilmer%20Ernesto.pdf>

- Torres, J. F. A., & Ojeda, H. A. S. (2014). *Software Libre para el Diseño de Conexiones Metálicas de Acuerdo con la NSR-10* [Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio institucional Pontificia Universidad Javeriana <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/16794/SoteloOjedaHaroldAndre2015.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- VISE, C. (2021). *Tecnología y su impacto en la ingeniería civil (aplicaciones y otras herramientas)*. <https://blog.vise.com.mx/tecnologia-y-su-impacto-en-la-ingenieria-civil>
- Wix. (2021). *Líderes en creación de Páginas Web*. Sobre nosotros I Wix.com. <https://es.wix.com/about/us>

A. Anexo: Guía análisis de vigas rectangulares sometidas a flexión.

Ejemplo No.1: Análisis de vigas simplemente reforzadas

(Una fila de acero a tracción)

1- Introducción

Para los elementos estructurales ya implementados al momento de practicarse una restructuración es de suma importancia realizar un chequeo para la verificación del estado actual, garantizando que cumplen los requisitos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. La presente guía muestra el paso a paso de como chequear una viga rectangular con una fila de acero a tracción.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de contenido

Ejemplo No.1: Análisis de vigas simplemente reforzadas.....	1
1- Introducción.....	1
2- Aspectos teóricos.....	1
3- Enunciado.....	3
4- Desarrollo.....	4
4.1- Datos de entrada.....	4
4.2- Propiedades de los materiales.....	4
4.3- Acero a tracción.....	4
4.4- Recubrimiento.....	5
4.5- Carga axial y momentos mayorados.....	5
4.6- Cálculo de	5
4.7- Chequeo del Elemento.....	7
4.8- Momento nominal máximo requerido (Mn).....	12
4.9- Relación entre demanda y capacidad.....	12
5- Bibliografía.....	13

2- Aspectos teóricos

Deformación unitaria del concreto

El diseño de las secciones transversales que están sometidas a cargas de flexión o como también cargas axiales, debe basarse en el equilibrio y la compatibilidad de deformaciones. Para la condición de la deformación balanceada existe en una sección transversal cual el refuerzo en tracción alcanza la deformación unitaria que corresponde a la de f_y al mismo tiempo que el concreto en compresión alcanza su deformación unitaria ultima supuesta de 0.003.

Módulo de elasticidad del concreto E_c

Es la relación que hay entre el esfuerzo y la deformación unitaria según el numeral C.8.5 de la NSR-10, donde para el concreto puede tomarse como $W_c^{1.5} * 0.043 * \sqrt{f'_c}$ (en MPa), para valores de W_c comprendidos entre 1440 y 2560 kg/m³. Para concreto de densidad normal, E_c puede tomarse como $4700 * \sqrt{f'_c}$

Para un valor promedio $3900 * \sqrt{f'_c}$ sin distinguir el tipo de agregado según el comenario dado en el CR.8.5.

Nota: Tener en cuenta que por lo general $3900 * \sqrt{f'_c}$ es un valor mas aproximado, pero como se observa el reglamento nos da otra ecuación $4700 * \sqrt{f'_c}$ pero algunos muchos investigadores han demostrado que $4700 * \sqrt{f'_c}$ se sobre estima el modulo de elasticidad, de tal manera se recomienda utilizar $3900 * \sqrt{f'_c}$ porque es un limite mas bajo.

Peso específico del concreto

Concreto simple $23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \left(2300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$

Concreto reforzado $24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \left(2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$

Módulo de elasticidad del acero E_s

El modulo de elasticidad está definido con la pendiente de la curva $\sigma - \epsilon$ para el rango elástico. Tener en cuenta según el reglamento en el numeral C.8.5.2 donde indica que el modulo de elasticidad para el acero de refuerzo no preesforzado puede tomarse como 200,000 MPa.

Relación de poisson μ

Es el cociente obtenido de dividir la deformación unitaria transversal (ϵ_t) y la deformación unitaria longitudinal (ϵ_l) obtenidos de un ensayo a compresión simple sobre una probeta estándar en el rango elástico del material. Tener en cuenta que en el comentario CR.5.1 indica que en el caso donde no disponga de un valor experimental el modulo de poisson puede tomarse como 0.20.

$$\mu = \frac{\epsilon_t}{\epsilon_l}$$

Factor β_1

Factor que relaciona la profundidad de bloque rectangular equivalente de esfuerzos de compresión con la profundidad del eje neutro. El cálculo de β_1 se determinar de acuerdo al f'_c al cual hace referencia a la resistencia del concreto a compresión. El capítulo C.10.2.7.3 del reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 que para f'_c entre 17 y 28 MPa, en factor β_1 se debe tomar como 0,85. Para f'_c superior a 28 MPa, β_1 se debe disminuir en forma lineal a razón de 0.05 por cada 7 MPa de aumento sobre 28 MPa, sin embargo, β_1 no debe ser menor de 0,65.

- Cuando $f'_c < 28$ MPa entonces $\beta_1 = 0.85$
- Cuando $28 \text{ MPa} < f'_c < 56 \text{ MPa}$ entonces $\beta_1 = 0.85 - 0.05 * \frac{(f'_c - 28)}{7}$
- Cuando $f'_c > 56$ MPa $\beta_1 = 0.65$

Recubrimiento

Este actúa como una barrera física en concreto frente al ataque a las barras de acero. Ayuda a elevar la alcalinidad del concreto desarrollada sobre el acero de refuerzo creando un espacio para para generar una capa pasivadora que protege el acero de refuerzo de la corrosión y otros agentes agresivos. De tal forma, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 donde en el numeral C.7.7 nos indica que recubrimiento mínimo es el apropiado de acuerdo a los escenarios posibles.

Factor de reducción de resistencia

La NSR-10 menciona que la resistencia de diseño de un elemento es la resistencia de acuerdo con las condiciones establecidas en el título C, multiplicada por un factor de reducción de resistencia ϕ que siempre es menor que la unidad.

Los propósitos del factor de reducción de resistencia ϕ son:

- Tener en cuenta la probabilidad de existencia de elementos con una resistencia baja debida a variaciones en la resistencia de los materiales y las dimensiones.
- Tener en cuenta inexactitudes en las ecuaciones de diseño.
- Reflejar el grado de ductilidad y la confiabilidad requerida para el elemento bajo efectos de la carga bajo consideraciones.
- Reflejar la importancia del elemento en la estructura.

Relación entre demanda y capacidad

El Reglamento Colombiano de Construcción sismo resistente NSR-10 menciona en el capítulo A.10.4.3 que se deben determinar unos índices de sobre esfuerzos y de flexibilidad para que permitan definir la capacidad de la estructura existente de soportar y responder adecuadamente ante las sollicitaciones equivalentes.

Teniendo en cuenta según el reglamento el índice de sobre esfuerzo se expresa como el cociente entre las sollicitaciones equivalentes, calculadas y la resistencia efectiva.

$$ISE = \frac{M_u}{\phi M_n}$$

3- Enunciado

Determine la resistencia máxima de momento de la viga existente que cuenta con un

$M_{ux} = 296 \text{ kN} - m$ dimensiones $b = 30 \text{ cm}$ y $h = 50 \text{ cm}$, recubrimiento $r_e = 55 \text{ mm}$, resistencia a la compresión de $f'_c = 28 \text{ Mpa}$ y deformación máxima de concreto a compresión $\epsilon_{cu} = 0.003$, resistencia específica a la fluencia del acero $f_y = 420 \text{ MPa}$ y un módulo de elasticidad $\epsilon_y = 0.00206$ y finalmente acero a tracción: 4#9

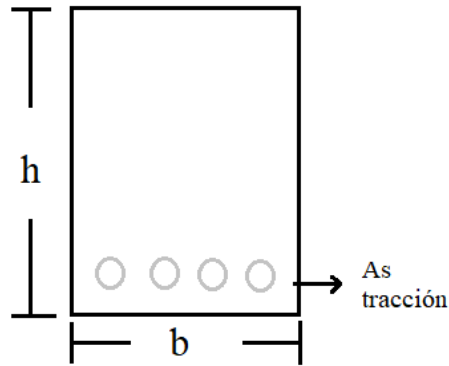


Figura No.1: Corte transversal - Viga.

4- Desarrollo

4.1- Datos de entrada

Introducir medidas de base (b) y altura (h) de acuerdo con el elemento a chequear.

b = 0.30; % Base [m]
 h = 0.50; % Altura [m]

4.2- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada uno de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

- Resistencia específica a la compresión.

f_c = 28e6; % [Pa]

- Deformación máxima de concreto a compresión.

ε_{cu} = 0.003;

- Resistencia específica a la fluencia.

f_y = 420e6; % [Pa]

- Módulo de elasticidad del acero.

E_s = 200e9; % [Pa]

- Deformación del acero.

ε_y = 0.00206;

4.3- Acero a tracción

Ingresar el número y el tipo de barra que tiene el elemento en la zona de tracción (m²)

N_{bar} = [645/1000000]

```
N_bar =  
    0.000645
```

```
bar = 4;  
As_t1 = bar*N_bar; % Área del acero [m^2]
```

Diámetro del acero, en este caso seleccione el tipo de barra que se está utilizando (m).

```
D_t1 = [28.7/1000]; % Diámetro del acero [m]
```

```
disp('Por lo tanto se tiene un acero a tracción ')
```

```
Por lo tanto se tiene un acero a tracción
```

```
sprintf('- El área del acero es de: %0.5g [m^2]',As_t1)
```

```
ans =  
'- El área del acero es de: 0.00258 [m2]'
```

```
sprintf('- El diametro del acero es de: %0.5g [m]',D_t1)
```

```
ans =  
'- El diametro del acero es de: 0.0287 [m]'
```

4.4- Recubrimiento

En este caso se debe verificar en la estructura o en las memorias de cálculo que tipo de recubrimiento es el que tiene el elemento. Seguidamente seleccione que longitud tiene según el capítulo C.7.7 del reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10.

```
re = 50*0.001; % [mm]  
sprintf('El recubrimiento es de: %0.5g [m]',re)
```

```
ans =  
'El recubrimiento es de: 0.05 [m]'
```

4.5- Carga axial y momentos mayorados

Ingrese la carga axial y el momento mayorado según el cálculo de cargas que tenga la estructura.

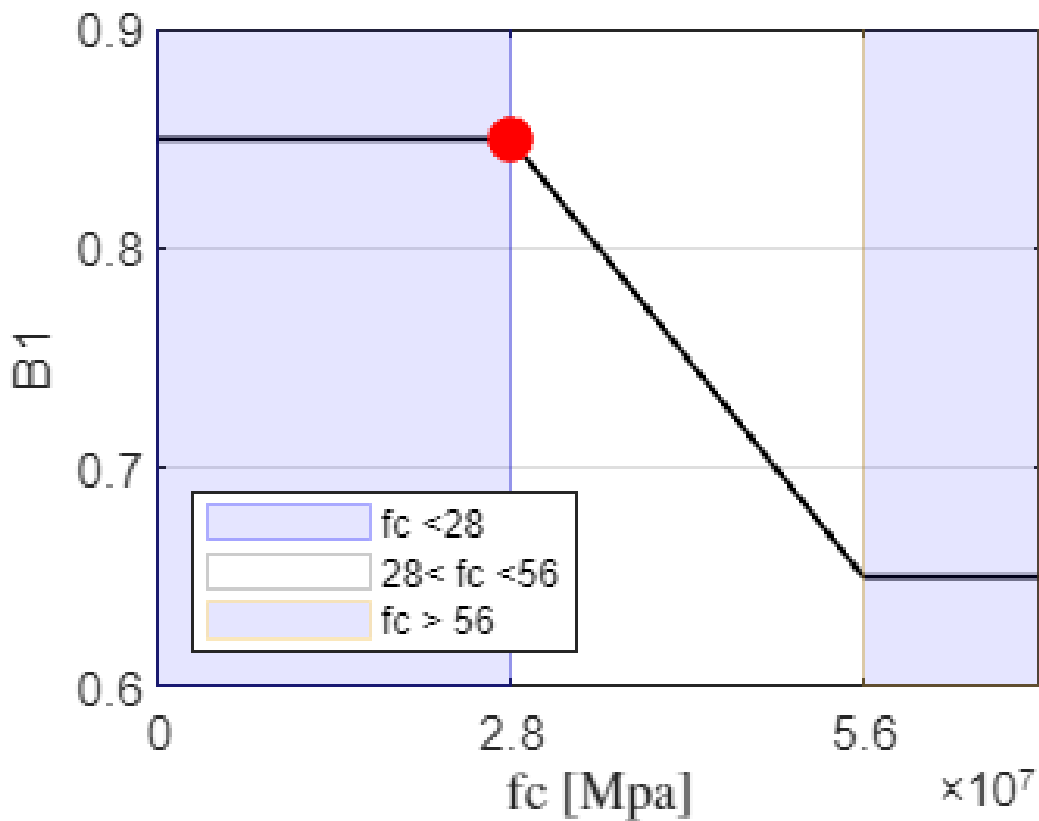
```
Pu = 0; % [N]  
Mux = 296000; % [N-m]  
Muy = 0; % [N-m]
```

4.6- Cálculo de β_1

- Cuando $f'c < 28$ MPa entonces $\beta_1 = 0.85$
- Cuando $28 \text{ MPa} < f'c < 56 \text{ MPa}$ entonces $\beta_1 = 0.85 - 0.05 * \frac{(f_c - 28)}{7}$
- Cuando $f'c > 56$ MPa $\beta_1 = 0.65$

Grafica de β_1

```
flag_2=true;
if fc <= 28e6
    bt1 = .85;
elseif fc < 56e6
    bt1 = .85-.05*(fc/1e6-28)/7;
else
    bt1 = 0.65;
end
if flag_2 == true
ves_2=[0 28e6 56e6 70e6];
aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:70e6];
    if fc > ves_2(end)
        ves_2=[0 28e6 56e6 fc];
        aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:fc];
    end
vfi_2=[.85 .85 .65 .65];
plot(ves_2,vfi_2,'color',[0 0 0],'linewidth',1), grid on, hold on
f1_2 = fill([0 28e6 28e6 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1]);
f2_2 = fill([56e6 ves_2(end) ves_2(end) 56e6],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1]);
ft_2 = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves_2(end) .6 .90])
plot(fc,bt1,'r','marker','o','markersize',8,'MarkerFaceColor','r');
set(gca,'XTick',aa_2)
ylabel('B1','fontsize',10)
xlabel('fc [Mpa]','fontsize',10,'interpreter','latex')
legend([f1_2 ft_2 f2_2],{'fc <28','28< fc <56','fc > 56'},'fontsize',7,'location','southwest')
end
```



```
sprintf('Valor de B1 es de: %0.5g ',bt1)
```

```
ans =
'Valor de B1 es de: 0.85 '
```

4.7- Chequeo del Elemento

Nota: Se asume que el acero está fluyendo, por lo que $f_y = 420 \text{ MPa}$ $\epsilon_s = 0.00206$ de tal manera para esta situación se toma de forma balanceada $C_c = T_s$.

4.7.1 - Determinar el valor de d el cual es la distancia medida desde la fibra extrema a compresión hasta el centroide de acero a tracción.

$$d = h - \left(r_e + \left(\frac{D_t}{2} \right) \right)$$

```
dt = h-(re+(D_t1/2)); % [m] Distancia efectiva.
sprintf('Valor de dt: %0.5g [m]',dt)
```

```
ans =
'Valor de dt: 0.43565 [m]'
```

Comportamiento del elemento

4.7.2 - Determinar deformación del acero a tracción. Tener en cuenta que para poder desarrollar este proceso debe implementar relación de triángulos.

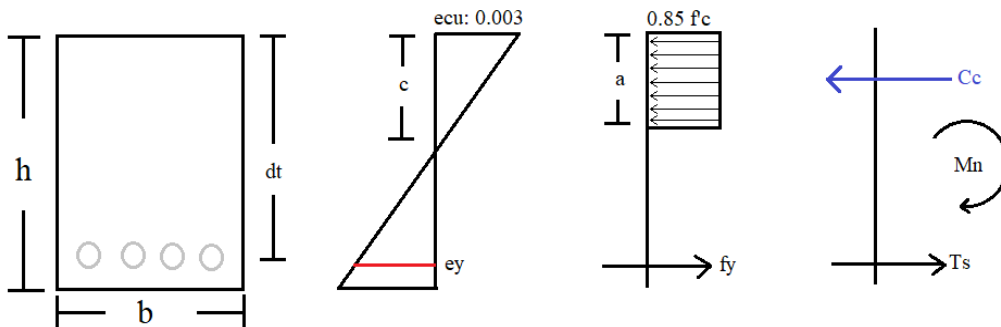


Figura No.2: Diagrama de deformación, esfuerzo y fuerzas.

Por lo tanto se tiene : $\frac{0.003}{c} = \frac{\epsilon_s}{dt - c}$ al despejar la variable $\epsilon_s = \frac{0.003(dt - c)}{c}$ como se evidencia, no se tiene el valor de c, por lo que se tiene que determinar.

4.7.3 - Se asume que el acero está en fluencia $f_y = 420$ MPa por lo que se tiene que la fuerza del acero a tracción es:

$$T_s = A_s * f_y$$

```
Ts = As_t1*fy; % [N] Fuerza acero a tracción.
sprintf('Ts: %0.5g [N]',Ts)
```

```
ans =
'Ts: 1.0836e+06 [N]'
```

4.7.4 - El bloque de compresión es $C_c = 0.85 * f_c * a * b$ por lo que se hace la respectiva igualación:

$$C_c = T_s$$

$$0.85 * f_c * a * b = A_s * f_y$$

Por lo tanto, se tiene que para el valor de $a = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f_c * b}$

```
a = (As_t1*fy)/(0.85*fc*b); % [m]
sprintf('a: %0.5g [m]',a)
```

```
ans =
'a: 0.15176 [m]'
```

Cálculo del bloque de compresión $C_c = 0.85 * f_c * a * b$

```
Cc = 0.85*fc*a*b; % [N]
sprintf('Cc: %0.5g [N]',Cc)
```

```
ans =
'Cc: 1.0836e+06 [N]'
```



```

Cc = (0.85*fc*bt1*c*b);

Ecua_1 = -Cc+Ts;
c_x2 = double(solve(Ecua_1==0));
ind = find(c_x2>0);
c = c_x2(ind);
disp('>> Nuevo Valor de C <<')
c
es = ((0.003)*(dt-c))/(c);
sprintf('La deformación del acero es de: %0.5g ',es)
if es > ey
    disp('!!!!!!! Acero a trac. SI está en fluencia !!!!!!!!')
else
    disp('!!!!!!! Acero a trac. NO está en fluencia !!!!!!!!')
end
end
end

```

4.7.7 - Con lo anterior ya sabemos en qué estado se encuentra el elemento, por lo que a continuación se procede a calcular los esfuerzo y fuerzas ya con el valor de c definitivo.

Esfuerzos:

$$a_2 = Bt_1 * C_2$$

si no está en fluencia calcule: $f_{s2} = E_s * \epsilon_{s2}$

Fuerzas:

$$Cc_2 = 0.85 * f_c * Bt_1 * c_2 * b$$

$$Ts_2 = A_{s_{tol2}} * f_{s2}$$

```

if es > ey
    sprintf('Ts: %0.5g [N]',Ts)
    sprintf('a: %0.5g [m]',a)
    sprintf('Cc: %0.5g [N]',Cc)
else
    fs = Es*es; % Esfuerzo del acero a tracción.
    sprintf('fs: %0.5g [N]',fs) % [N] Fuerza del acero a tracción.
    Ts = As_t1*fs;
    sprintf('Ts: %0.5g [N]',Ts)
    a = bt1*c;
    sprintf('a: %0.5g [m]',a)
    Cc = (0.85*fc*bt1*c*b);
    sprintf('Cc: %0.5g [N]',Cc)
end

```

```

ans =
'Ts: 1.0836e+06 [N]'
ans =
'a: 0.15176 [m]'
ans =
'Cc: 1.0836e+06 [N]'

```

4.7.8 - Determinar el momento nominal (Mn)

Se efectúan sumatoria de momentos en el punto Cc (Punto rojo en la gráfica) , por lo que se tiene:

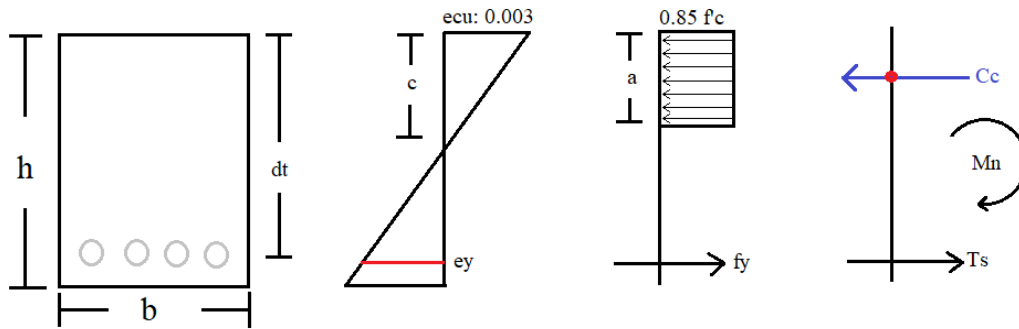


Figura No.3: Diagrama para sumatoria de momentos.

$$\sum M_{Cc} = +T_s * \left(dt - \left(\frac{a}{2} \right) \right)$$

```
Mn = Ts*(dt-(a/2));           % [N-m]
sprintf('Mn: %0.5g [N-m]',Mn)
```

```
ans =
'Mn: 3.8984e+05 [N-m]'
```

4.7.9 - Cálculo del factor de reducción de resistencia

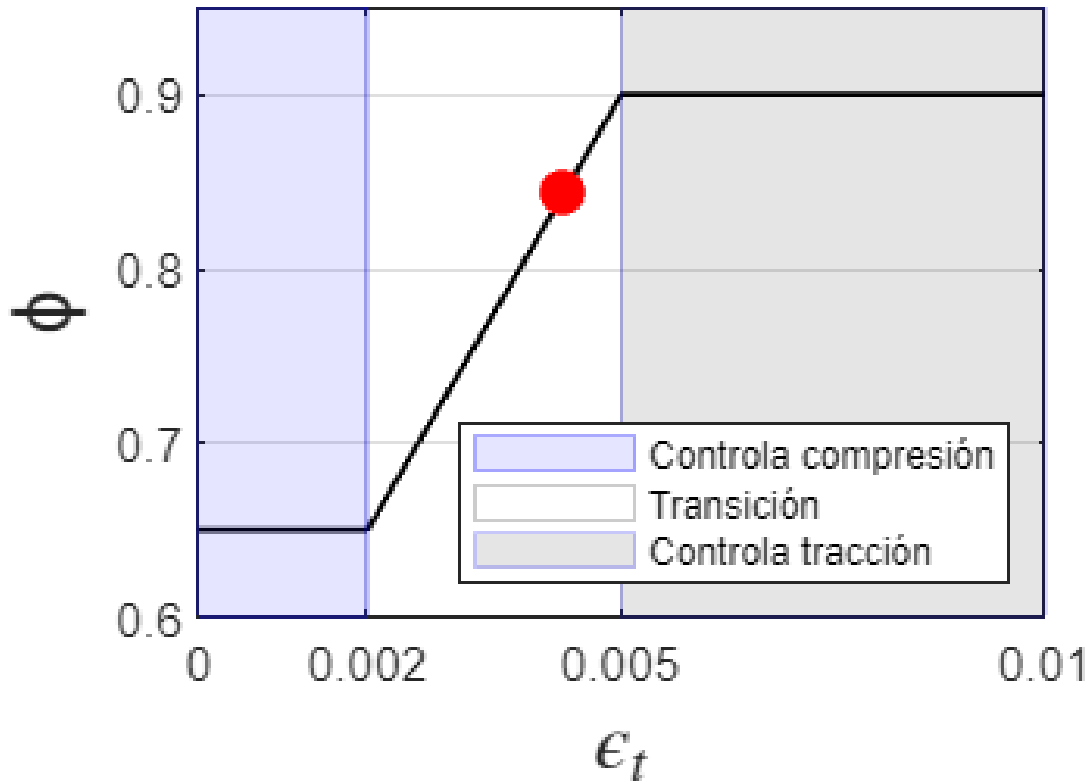
Grafica de ϕ

```
close all
flag=true;
if es <= .002
    fi = .65;
elseif es < .005
    fi = .65+(es-.002)*(250/3);
else
    fi = 0.9;
end
if flag == true
ves=[0 .002 .005 .01];
aa =[0 .002 .005:.005:.02];
    if es > ves(end)
        ves=[0 .002 .005 es];
        aa =[0 .002 .005:.005:es];
    end
vfi=[.65 .65 .9 .9];
plot(ves,vfi,'color',[ 0 0 0],'linewidth',1), grid on, hold on
f1 = fill([0 .002 .002 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1]);
f2 = fill([.005 ves(end) ves(end) .005],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 0],'EdgeColor');
ft = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves(end) .6 .95])
plot(es,fi,'r','marker','o','markersize',8,'MarkerFaceColor','r')
```

```

set(gca, 'XTick', aa)
ylabel('\phi', 'fontsize', 15)
xlabel('\epsilon_t', 'fontsize', 15, 'interpreter', 'latex')
legend([f1 ft f2], {'Controla compresión', 'Transición', 'Controla tracción'}, 'fontsize', 7)
end

```



```

sprintf('Valor de \phi es de: %0.5g ', fi)

```

```

ans =
'Valor de \phi es de: 0.84333 '

```

4.8- Momento nominal máximo requerido (ϕM_n)

$$\phi M_n = f_i * M_n$$

```

fi_Mn = (fi)*(Ts*(dt-(a/2))); % [N-m]
sprintf('\phi Mn: %0.5g [N-m]', fi_Mn)

```

```

ans =
'\phi Mn: 3.2877e+05 [N-m]'

```

4.9- Relación entre demanda y capacidad

$$ISE = \frac{M_u}{\phi M_n}$$

```

close all

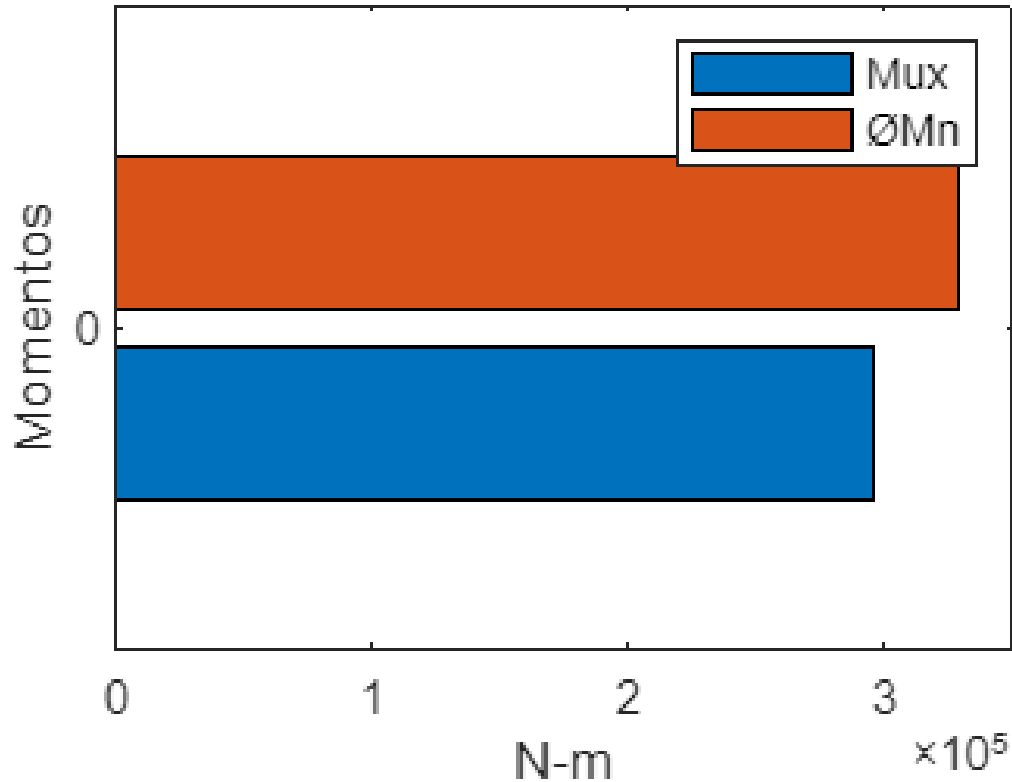
```

```

x = [0];
y = [Mux fi_Mn
     ];
barh(x,y)
legend ( 'Mux', 'ØMn')
title('Relación entre momento nominal y de diseño')
xlim([0 350000])
ylim([-0.486 0.486])
xlabel('N-m')
ylabel('Momentos')

```

Relación entre momento nominal y de diseño



```

ISE = (Mux/fi_Mn);
sprintf('ISE: %0.5g [Porcentaje] ',ISE*100)

```

```

ans =
'ISE: 90.034 [Porcentaje] '

```

5- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Ejemplo No.3: Análisis de vigas doblemente reforzadas

(Acero a compresión y tracción)

1- Introducción

Para los elementos estructurales ya implementados al momento de practicarse una restructuración es de suma importancia realizar un chequeo para la verificación del estado actual, garantizando que cumplen los requisitos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. La presente guía se muestra el paso a paso de como chequear una viga rectangular con acero a tracción y a compresión.

```
clc, clear, close all, format short
```

Tabla de contenido

Ejemplo No.3: Análisis de vigas doblemente reforzadas.....	1
1- Introducción.....	1
2- Enunciado.....	1
3- Desarrollo.....	2
3.1- Datos de entrada.....	2
3.2- Propiedades de los materiales.....	2
3.3- Acero a compresión.....	2
3.4- Acero a tracción.....	3
3.5- Recubrimiento.....	4
3.6- Carga axial y momentos mayorados.....	4
3.7- Cálculo de	4
3.8- Chequeo del Elemento.....	6
3.9- Momento de diseño (Mn).....	15
3.10- Relación entre demanda y capacidad.....	15
4- Bibliografía.....	16

2- Enunciado

Determine la resistencia máxima de momento de la viga existente que cuenta con un

$M_{ux} = 296 \text{ kN} - m$ dimensiones $b = 30 \text{ cm}$ y $h = 50 \text{ cm}$, recubrimiento $r_e = 55 \text{ mm}$, resistencia a la compresión de $f'_c = 28 \text{ MPa}$ y deformación máxima de concreto a compresión $\epsilon_{cu} = 0.003$, resistencia específica a la fluencia del acero $f_y = 420 \text{ MPa}$ y un módulo de elasticidad $\epsilon_y = 0.00206$ por parte del acero finalmente cuenta con 4 barras N°9 acero en la primera fila a tracción, para la segunda fila con 2 barras N°9 y para el acero a compresión 3 barras N°9.

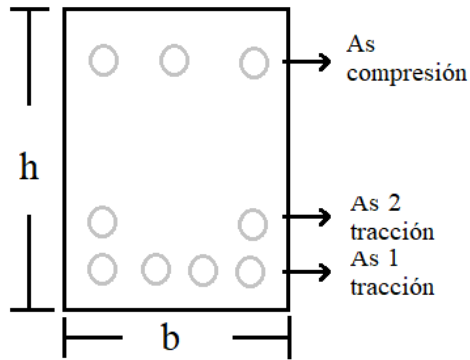


Figura No.1: Corte transversal - Viga.

3- Desarrollo

3.1- Datos de entrada

Introducir medidas de base (b) y altura (h) de acuerdo con el elemento a chequear.

```
b = 0.30; % Base [m]
h = 0.50; % Altura [m]
```

3.2- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada uno de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

- Resistencia específica a la compresión.

```
fc = 28e6; % [Pa]
```

- Deformación máxima de concreto a compresión.

```
ecu = 0.003;
```

- Resistencia específica a la fluencia.

```
fy = 420e6; % [Pa]
```

- Módulo de elasticidad del acero.

```
Es = 200e9; % [Pa]
```

- Deformación del acero.

```
ey= 0.00206;
```

3.3- Acero a compresión

Ingresar el tipo de barra y el número de barras que tiene el elemento.

```
N_bar_c = [645/1000000];
bar_c = 3;
```



```
As_Comp_1 = bar_c*N_bar_c; % Área del acero [m^2]
```

Diámetro del acero, en este caso seleccione el tipo de barra que se está utilizando.

```
D_comp_1 = [28.7/1000]; % Diámetro del acero [m]
sprintf('- El área del acero es de: %0.5g [m^2]',As_Comp_1)
```

```
ans =
'- El área del acero es de: 0.001935 [m^2]'
```

```
sprintf('- El diametro del acero es de: %0.5g [m]',D_comp_1)
```

```
ans =
'- El diametro del acero es de: 0.0287 [m]'
```

3.4- Acero a tracción

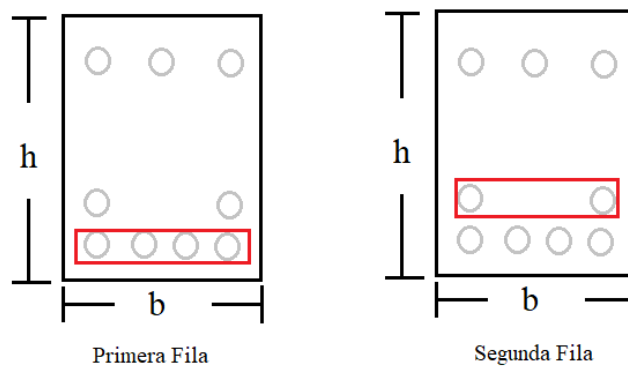


Figura No.2: Ubicación filas de acero.

Primera fila :

Ingresa el tipo de barra y que número de barras tiene el elemento en la zona de tracción.

```
N_bar = [645/1000000];
bar = 4;
As_t1 = bar*N_bar; % Área del acero [m^2]
```

Diámetro del acero, en este caso seleccione el tipo de barra que se está utilizando.

```
D_t1 = [28.7/1000]; % Diámetro del acero [m]
```

Segunda fila :

Ingresa el tipo de barra y que número de barras tiene el elemento en la zona de tracción.

```
N_bar = [645/1000000];
bar = 2;
As_t2 = bar*N_bar; % Área del acero [m^2]
```

Diámetro del acero, en este caso seleccione el tipo de barra que se está utilizando.

```
D_t2 = [28.7/1000]; % Diámetro del acero [m]
```

```
disp('Primer Fila')
```

```
Primer Fila
```

```
sprintf('- El área del acero es de: %0.5g [m^2]',As_t1)
```

```
ans =  
'- El área del acero es de: 0.00258 [m2]'
```

```
sprintf('- El diámetro del acero es de: %0.5g [m]',D_t1)
```

```
ans =  
'- El diametro del acero es de: 0.0287 [m]'
```

```
disp('Segunda Fila')
```

```
Segunda Fila
```

```
sprintf('- El área del acero es de: %0.5g [m^2]',As_t2)
```

```
ans =  
'- El área del acero es de: 0.00129 [m2]'
```

```
sprintf('- El diámetro del acero es de: %0.5g [m]',D_t2)
```

```
ans =  
'- El diametro del acero es de: 0.0287 [m]'
```

3.5- Recubrimiento

En este caso se debe verificar en la estructura o en las memorias de cálculo que tipo de recubrimiento es el que tiene el elemento. Seguidamente seleccione que longitud tiene según el capítulo C.7.7 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente NSR-10.

```
re = 50*0.001; % [mm]  
sprintf('El recubrimiento es de: %0.5g [m]',re)
```

```
ans =  
'El recubrimiento es de: 0.05 [m]'
```

3.6- Carga axial y momentos mayorados

Ingrese la carga axial y el momento mayorado según el cálculo de cargas que tenga la estructura.

```
Pu =0; % [N]  
Mux =296000; % [N-m]  
Muy =0; % [N-m]
```

3.7- Cálculo de β_1

Para el cálculo de β_1 se debe determinar de acuerdo al f'_c al cual hace referencia a la resistencia del concreto a compresión. El capítulo C.10.2.7.3 del reglamento Colombiano de construcción Sismo Resistente NSR-10 que para f'_c entre 17 y 28 MPa, en factor β_1 se debe tomar como 0,85. Para f'_c superior a 28 MPa, β_1 se debe

disminuir en forma lineal a razón de 0.05 por cada 7 MPa de aumento sobre 28 MPa, sin embargo, β_1 no debe ser menor de 0,65.

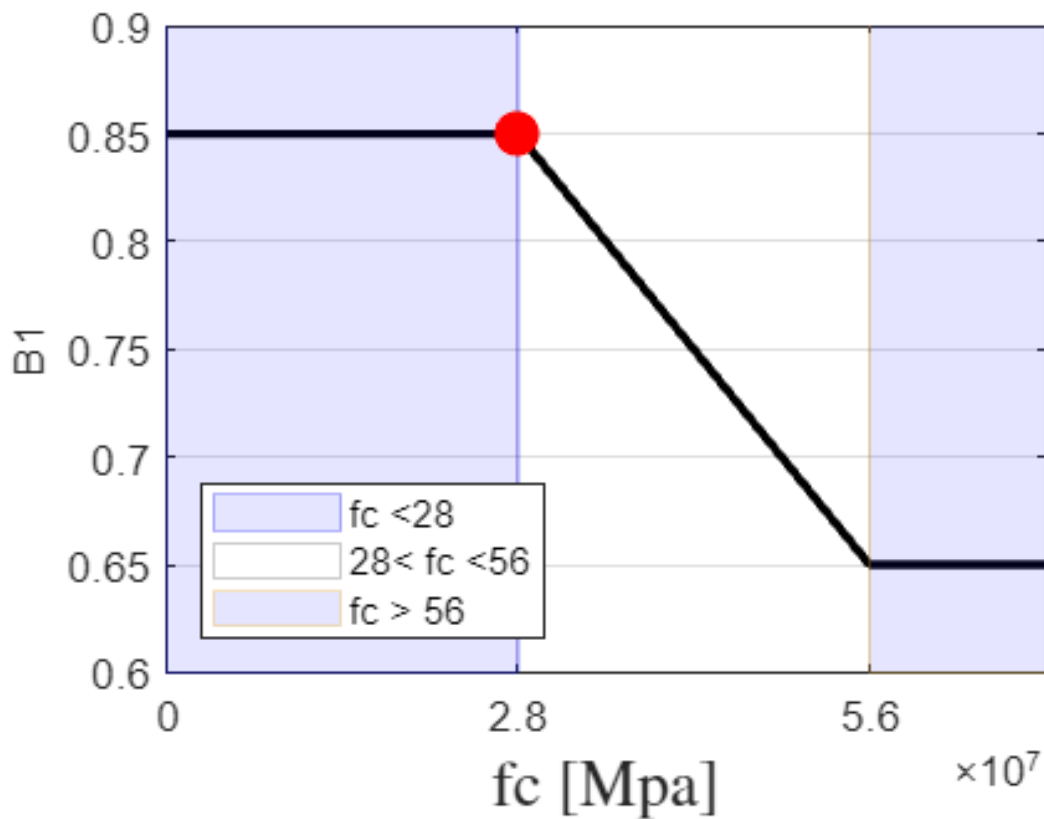
- Cuando $f'_c < 28$ MPa entonces $\beta_1 = 0.85$
- Cuando $28 \text{ MPa} < f'_c < 56 \text{ MPa}$ entonces $\beta_1 = 0.85 - 0.05 * \frac{(f'_c - 28)}{7}$
- Cuando $f'_c > 56$ MPa entonces $\beta_1 = 0.65$

Grafica de β_1

```

flag_2=true;
if fc <= 28e6
    bt1 = .85;
elseif fc < 56e6
    bt1 = .85-.05*(fc/1e6-28)/7;
else
    bt1 = 0.65;
end
if flag_2 == true
ves_2=[0 28e6 56e6 70e6];
aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:70e6];
    if fc > ves_2(end)
        ves_2=[0 28e6 56e6 fc];
        aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:fc];
    end
vfi_2=[.85 .85 .65 .65];
plot(ves_2,vfi_2,'color',[ 0 0 0],'linewidth',2), grid on, hold on
f1_2 = fill([0 28e6 28e6 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1]);
f2_2 = fill([56e6 ves_2(end) ves_2(end) 56e6],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1]);
ft_2 = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves_2(end) .6 .90])
plot(fc,bt1,'r','marker','o','markersize',10,'MarkerFaceColor','r');
set(gca,'XTick',aa_2)
ylabel('B1','fontsize',10)
xlabel('fc [Mpa]','fontsize',15,'interpreter','latex')
legend([f1_2 ft_2 f2_2],{'fc <28','28< fc <56','fc > 56'},'fontsize',9,'location','southwest')
end

```



```
sprintf('Valor de B1 es de: %0.5g ',bt1)
```

```
ans =  
'Valor de B1 es de: 0.85 '
```

3.8- Chequeo del Elemento

Situación en la que se tiene una fila de acero a compresión y dos filas de acero a tracción, por lo que en este caso para poder determinar la distancia d se debe determinar las distancias desde el borde inferior del elemento al centroide de cada una de las filas que están a tracción. seguidamente se debe calcular el centro de gravedad con base a las áreas para finalmente poder determinar el valor de la distancia requerida.

3.8.1 Determinar la distancia $d1$ y $d2$.

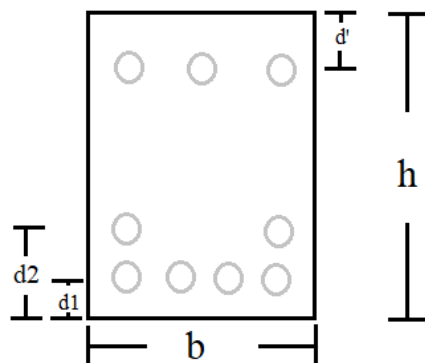


Figura No.3: Corte transversal - Determinar d1 y d2.

Para la distancia $d_1 = re + \left(\frac{D_{t1}}{2}\right)$

```
d1 = re+(D_t1/2); % [m] Distancia desde el borde inferior
sprintf('Distancia d1: %0.5g [m]',d1)
```

```
ans =
'Distancia d1: 0.06435 [m]'
```

Para la distancia $d_2 = re + D_{t1} + 0.025m + \left(\frac{D_{t2}}{2}\right)$

```
d2 = (re)+(D_t1)+(0.025)+(D_t2/2); % [m] Distancia desde el borde inferior
sprintf('Distancia d2: %0.5g [m]',d2)
```

```
ans =
'Distancia d2: 0.11805 [m]'
```

Cálculo de la distancia d'

```
dp = re+(D_comp_1/2); % [m] Distancia del borde superior al cen
sprintf('Distancia d prima: %0.5g [m]',dp)
```

```
ans =
'Distancia d prima: 0.06435 [m]'
```

3.8.2 - Centro de gravedad del acero

Tener en cuenta que en esta situación se tiene dos filas de refuerzo en la zona de tracción, por lo que es necesario unificar las filas, tal es el caso, se debe sacar la distancia en y al dentro de gravedad, teniendo en cuenta el área de todas las barras.

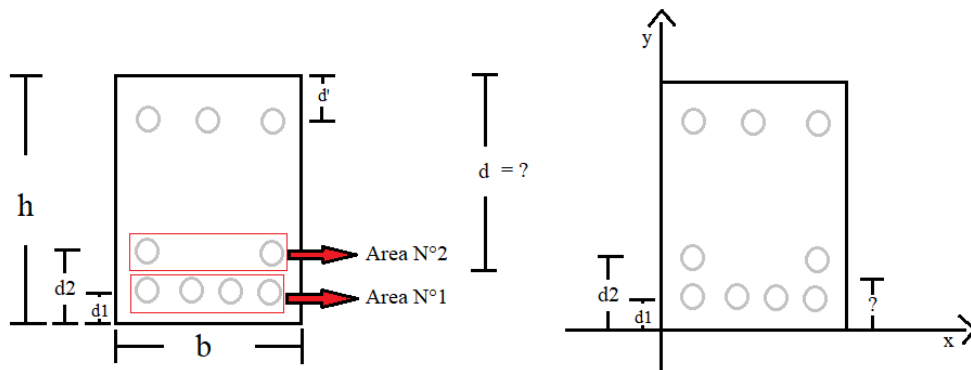


Figura No.4: Corte transversal - Determinar centro de gravedad del acero.

Para poder determinar la distancia y al centro de gravedad se implementa la siguiente formula:

$$g1 = \frac{(A_{s_{t1}} * d1) + (A_{s_{t2}} * d2)}{A_{s_{t1}} + A_{s_{t2}}}$$

```
g1 = ((As_t1*d1)+(As_t2*d2))/(As_t1+As_t2); % [m]
```

```
sprintf('Centro de gravedad es de: %0.5g [m]',g1)
```

```
ans =
'Centro de gravedad es de: 0.08225 [m]'
```

3.8.3 - Distancias d y dt.

Ahora bien, ya determinada la distancia al centro de gravedad procedemos a calcular la distancia d, que en este caso es la distancia medida desde la fibra extrema a compresión hasta el centro de gravedad de los aceros a tracción y la distancia dt es la distancia medida desde la fibra extrema a compresión hasta el centroide de la última fila de acero a tracción.

Formulas:

$$d = h - g1$$

```
d = h-g1; % [m]
sprintf('d: %0.5g [m]',d)
```

```
ans =
'd: 0.41775 [m]'
```

$$dt = h - \left(re + \left(\frac{D_{t1}}{2} \right) \right)$$

```
dt = h-(re+(D_t1/2)); % [m]
sprintf('dt: %0.5g [m]',dt)
```

```
ans =
'dt: 0.43565 [m]'
```

Comportamiento del elemento

3.8.4 - Determinar deformación del acero a tracción. Tener en cuenta que para poder desarrollar este proceso debe implementar relación de triángulos.

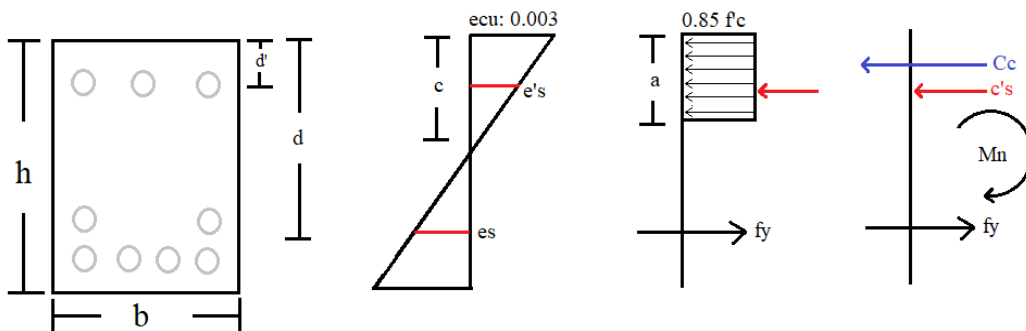


Figura No.5: Diagra de deformación, esfuerzo y fuerzas.

Notas:

- Asumir que el acero a tracción está fluyendo $\epsilon_s = 0.00206$, $f_y = 420$ Mpa.

- Para este caso no se tiene el valor exacto de c , ya que se tiene acero a compresión y a tracción, por lo que las deformaciones, esfuerzos y fuerzas deben estar expresadas para así hacer sumatorias de fuerzas y poder determinar la incógnita.

Para obtener la deformación del acero a tracción se tiene : $\frac{0.003}{c} = \frac{\epsilon_s}{dt - c}$ al despejar la variable

$\epsilon_s = \frac{0.003(dt - c)}{c}$ como se evidencia, no se tiene el valor de c , por lo que se tiene que determinar mediante la sumatoria de fuerzas, de tal manera tenemos se tiene que sacar las resultantes del concreto a compresión y la del acero a tracción.

3.8.5 - Acompresión

$$\epsilon'_s = \frac{(0.003) * (c - d_p)}{c}$$

$$f'_s = E_s * \epsilon'_s$$

$$C'_s = A_{s_{comp}} * f'_s$$

$$C_c = 0.85 * f'_c * (0.85 * c) * b$$

```
syms c_3,
eps_3 = (0.003*(c_3-dp))/(c_3);           % Deformación del acero a compresión.
fps_3 = Es*eps_3;                         % [Pa] Esfuerzo del acero a compresión.
cps_3 = As_Comp_1*fps_3;                  % [N] Fuerza del acero a compresión.
Cc_3 = 0.85*fc*(0.85*c_3)*b;              % [N] Fuerza del bloque a compresión.
```

3.8.6 - Atracción (se asume que esta en fluencia)

$$A_{s_{tot_trac}} = A_{s_{t1}} + A_{s_{t2}}$$

$$T_s = A_{s_{tot_trac}} * f_y$$

```
As_tot13 = As_t1 + As_t2;                 % [m^2] Área de acero total.
Ts_3 = As_tot13*fy;                       % [N] Fuerza del acero a tracción.
```

3.8.7 Sumatoria de Fuerzas:

$$\sum f_x = -C_c - C'_s + T_s = 0$$

3.8.8 - Despejar valor de c :

$$-(0.85 * f'_c * (0.85 * c) * b) - (A_{s_{comp}} * f'_s) + (A_{s_{tot_trac}} * f_y) = 0$$

```
Ecua_3 = -Cc_3-cps_3+Ts_3;                % Ecuación para despejar.

c_x3 = double(solve(Ecua_3==0));
ind = find(c_x3>0);
c_3 = c_x3(ind);
sprintf('Valor de c es de: %0.5g [m]',c_3)
```



```

es_3 = ((0.003)*(d-c_3))/(c_3); % Deformación del acero a tracción.
fs_3 = Es*es_3; % Esfuerzo del acero a tracción.
As_tol3 = As_t1 + As_t2; % [m^2] Área de acero total.
Ts_3 = As_tol3*fs_3; % [N] Fuerza del acero a tracción.

Ecua_3 = -Cc_3-cps_3+Ts_3; % Ecuación para despejar.
c_x3 = double(solve(Ecua_3==0));
ind = find(c_x3>0);
c_3 = c_x3(ind);
disp('>> Nuevo Valor de C')
sprintf('Valor de c: %0.5g [m]',c_3)
disp('>> Deformación del Acero a tracción')
es_3 = (0.003*(d-c_3))/(c_3);
sprintf('La deformación del acero es de: %0.5g >0.00206',es_3)
if es_3 > ey
disp('iiiiiiiiiiiiiiiiii Acero a trac. SI está en fluencia !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!')
else
disp('ijijijij Definitivamente el Acero a trac. NO está en fluencia !!!!!!!!!!!')
end
end

```

3.8.10 - Con lo anterior ya sabemos en qué estado se encuentra el acero, por lo que a continuación se procede a calcular las deformaciones, esfuerzos y fuerzas ya con el valor de c definitivo.

3.8.10.1 - Acompresión

$$\epsilon's = \frac{(0.003) * (c - d_p)}{c}$$

$$f's = E_s * e's$$

$$a = \beta_1 * c$$

$$c's = A_{s_{comp}} * f's$$

$$C_c = 0.85 * f_c * \beta_1 * c * b$$

3.8.10.2 - Atracción

$$f_s = E_s * \epsilon_s$$

$$T_s = A_{s_{tot_trac}} * f_s$$

```

if es_3 > ey
    eps_3 = (0.003*(c_3-dp))/(c_3); % Deformación del acero a compresión.
    sprintf('eps: %0.5g',eps_3)
    fps_3 = Es*eps_3; % [Pa] Esfuerzo del acero a compresión.
    sprintf('fps: %0.5g [Pa]',fps_3)
    cps_3 = As_Comp_1*fps_3; % [N] Fuerza del acero a compresión.
    sprintf('Cps: %0.5g [N]',cps_3)
    Cc_3 = 0.85*fc*(0.85*c_3)*b; % [N] Fuerza del bloque a compresión.
    sprintf('Cc: %0.5g [N]',Cc_3)
    As_tol3 = As_t1 + As_t2; % [m^2] Área de acero total.
    sprintf('As total: %0.5g [m^2]',As_tol3)

```

```

a_3 = bt1*c_3;
sprintf('a: %0.5g [m]',a_3)
Ts_3 = As_tol3*fy;
sprintf('Ts: %0.5g [N]',Ts_3)
else
eps_3 = (0.003*(c_3-dp))/(c_3);
sprintf('eps: %0.5g',eps_3)
fps_3 = Es*eps_3;
sprintf('fps: %0.5g [Pa]',fps_3)
cps_3 = As_Comp_1*fps_3;
sprintf('Cps: %0.5g [N]',cps_3)
Cc_3 = 0.85*fc*(0.85*c_3)*b;
sprintf('Cc: %0.5g [N]',Cc_3)

fs_3 = Es*es_3;
sprintf('fs: %0.5g [N]',fs_3)
As_tol3 = As_t1 + As_t2;
sprintf('As total: %0.5g [m^2]',As_tol3)
a_3 = bt1*c_3;
sprintf('a: %0.5g [m]',a_3)
Ts_3 = As_tol3*fs_3;
sprintf('Ts: %0.5g [N]',Ts_3)
end

```

```

ans =
'eps: 0.0017595'
ans =
'fps: 3.519e+08 [Pa]'
ans =
'Cps: 6.8093e+05 [N]'
ans =
'Cc: 9.4447e+05 [N]'
ans =
'As total: 0.00387 [m2]'
ans =
'a: 0.13228 [m]'
ans =
'Ts: 1.6254e+06 [N]'

```

3.8.11 - Determinar el momento nominal (M_n)

Se efectuan sumatoria de momentos en el punto T_s (Punto rojo en la grafica) , por lo que se tiene:

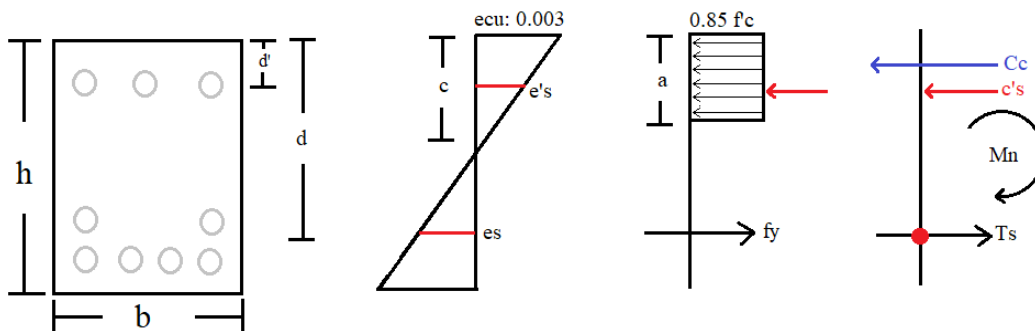


Figura No.6: Diagrama para sumatoria de momentos.

$$\sum M_{Ts} = +C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C'_s (d - d') - M_n = 0$$

```
Mn_3 = (Cc_3*(d-(a_3/2)))+(cps_3*(d-dp));           % [N-m]
sprintf('Mn_2: %0.5g [N-m]',Mn_3)
```

```
ans =
'Mn_2: 5.7273e+05 [N-m]'
```

3.8.11.1 - Cálculo del factor de reducción de resistencia.

La NSR-10 menciona que la resistencia de diseño de un elemento es la resistencia de acuerdo con las condiciones establecidas en el título C, multiplicada por un factor de reducción de resistencia ϕ que siempre es menor que la unidad.

Los propósitos del factor de reducción de resistencia ϕ son:

- Tener en cuenta la probabilidad de existencia de elementos con una resistencia baja debida a variaciones en la resistencia de los materiales y las dimensiones.
- Tener en cuenta inexactitudes en las ecuaciones de diseño.
- Reflejar el grado de ductilidad y la confiabilidad requerida para el elemento bajo efectos de la carga bajo consideraciones.
- Reflejar la importancia del elemento en la estructura.

Nota: Tener en cuenta que para este caso donde se tiene dos o más filas de acero a tracción se debe tener en cuenta el valor de d_t y no la distancia d ya que para determinar el factor de reducción debe ser con la última fila de acero que este a tracción, independientemente si hay más filas de refuerzo.

Calcular la deformación para la última fila de acero a tracción:

$$\epsilon_{s_{2fi}} = \frac{(0.003) * (d_t - c_2)}{c_2}$$

```
clear es_3
```

```
es_3 = ((0.003)*(dt-c_3))/(c_3);           % Esfuerzo, fila ultima de acero a tracc
sprintf('Deformación para la ultima fila de acero es de: %0.5g ',es_3)
```

```
ans =
'Deformación para la ultima fila de acero es de: 0.0053982 '
```

```
if es_3 <= .002
    fi_3 = .65
elseif es_3 <= .005
    fi_3 = .65+(es_3-.002)*(250/3)
else
    fi_3 = 0.9
end
```

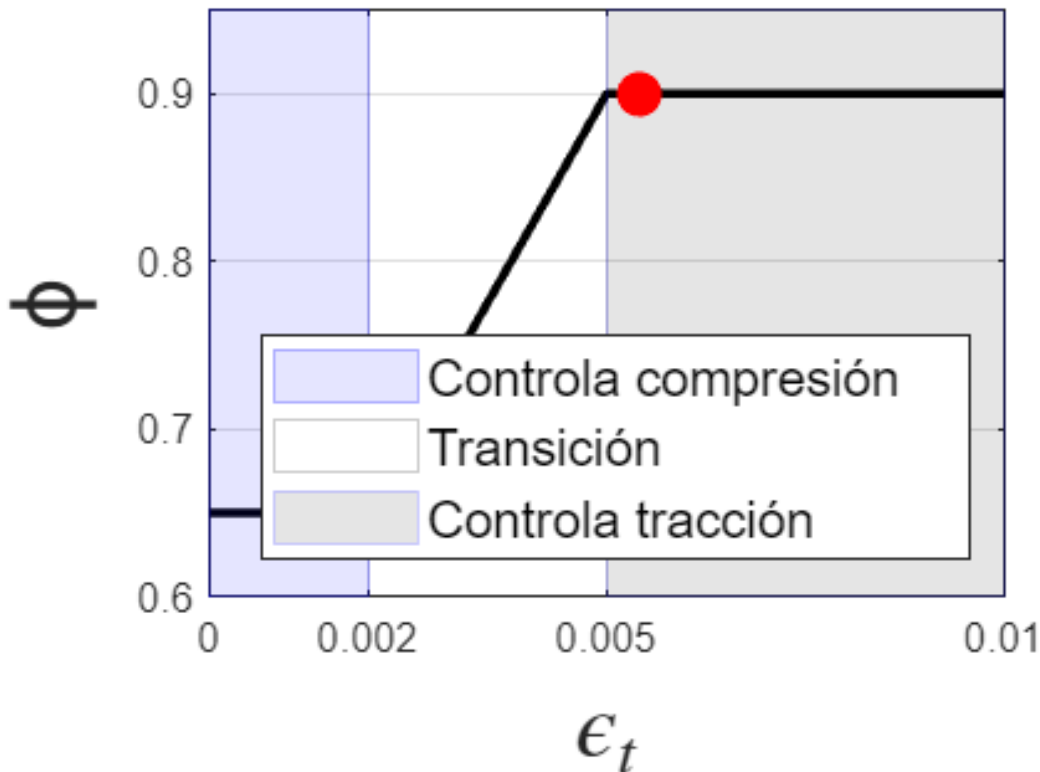
```
fi_3 = 0.9000
```

Grafica de ϕ

```
close all

flag=true;

if flag == true
ves=[0 .002 .005 .01];
aa =[0 .002 .005:.005:.02];
    if es_3 > ves(end)
        ves=[0 .002 .005 es_3];
        aa =[0 .002 .005:.005:es_3];
    end
vfi=[.65 .65 .9 .9];
plot(ves,vfi,'color',[ 0 0 0],'linewidth',2), grid on, hold on
f1 = fill([0 .002 .002 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1],1);
f2 = fill([.005 ves(end) ves(end) .005],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 0],'EdgeColor',[0 0 0],1);
ft = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves(end) .6 .95])
plot(es_3,fi_3,'r','marker','o','markersize',10,'MarkerFaceColor','r')
set(gca,'XTick',aa)
ylabel('\phi','fontsize',22)
xlabel('\$\epsilon_t$', 'fontsize',22,'interpreter','latex')
legend([f1 ft f2],{'Controla compresión','Transición','Controla tracción'},'fontsize',12)
end
```



```
sprintf('Valor de  $\phi$  es de: %0.5g ',fi_3)
```

```
ans =
'Valor de  $\phi$  es de: 0.9 '
```

3.9- Momento de diseño (ϕM_n)

$$\phi M_n = \phi_i * M_n$$

```
fi_Mn_3 = (fi_3)*Mn_3; % [N-m]
sprintf('  $\phi M_n$ : %0.5g [kN-m]',fi_Mn_3/1000)
```

```
ans =
'  $\phi M_n$ : 515.45 [kN-m]'
```

3.10- Relación entre demanda y capacidad

El Reglamento Colombiano de Construcción sismo resistente NSR-10 menciona en el capítulo A.10.4.3 que se deben determinar unos índices de sobre esfuerzos y de flexibilidad para que permitan definir la capacidad de la estructura existente de soportar y responder adecuadamente ante las sollicitaciones equivalentes.

Teniendo en cuenta según el reglamento el índice de sobre esfuerzo se expresa como el cociente entre las sollicitaciones equivalentes, calculadas y la resistencia efectiva.

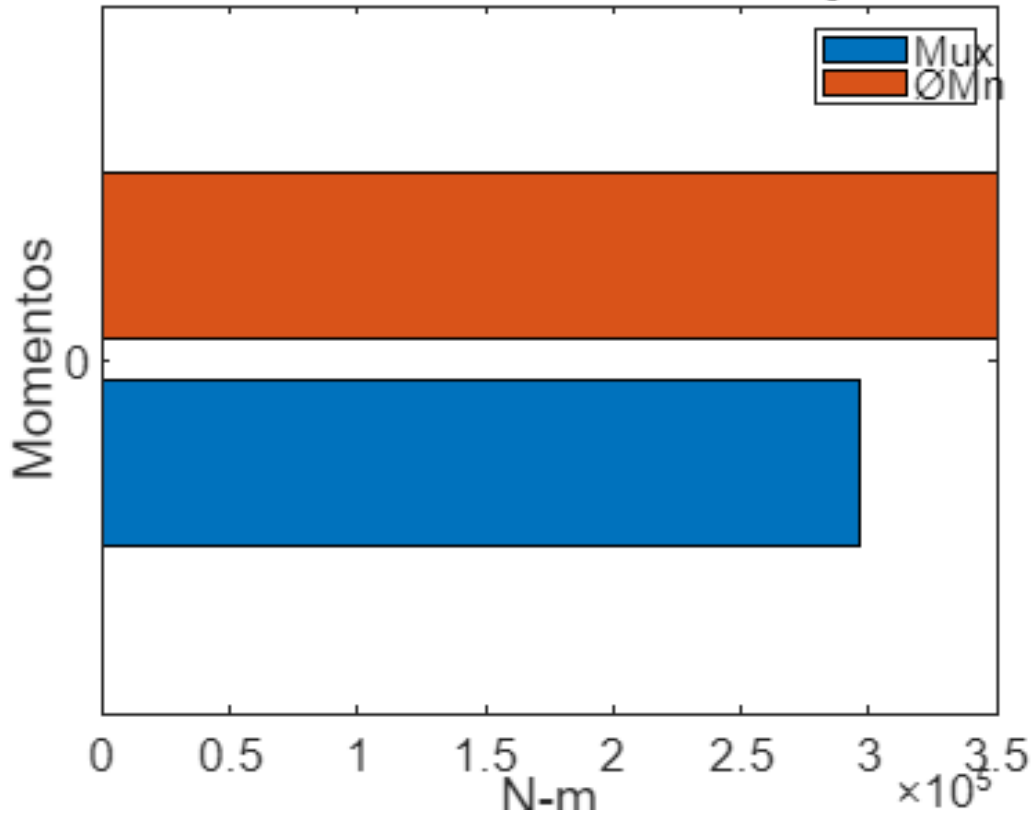
$$ISE = \frac{M_u}{\phi M_n}$$

```

close all
x = [0];
y = [Mux fi_Mn_3
     ];
barh(x,y)
legend ( 'Mux', 'ØMn')
title('Relación entre momento nominal y de diseño')
xlim([0 350000])
ylim([-0.486 0.486])
xlabel('N-m')
ylabel('Momentos')

```

Relación entre momento nominal y de diseño



```

ISE_3 = (Mux/fi_Mn_3);
sprintf('ISE: %0.5g [Porciento] ',ISE_3*100)

```

```

ans =
'ISE: 57.425 [Porciento] '

```

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Ejemplo No.2: Análisis de vigas reforzadas

(Dos filas de acero a tracción)

1- Introducción

Para los elementos estructurales ya implementados al momento de practicarse una reestructuración es de suma importancia realizar un chequeo para la verificación del estado actual, garantizando que cumplen los requisitos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, La presente guía muestra el paso a paso de como chequear una viga rectangular con dos filas de acero a tracción.

```
clc, clear, close all, format short g
```

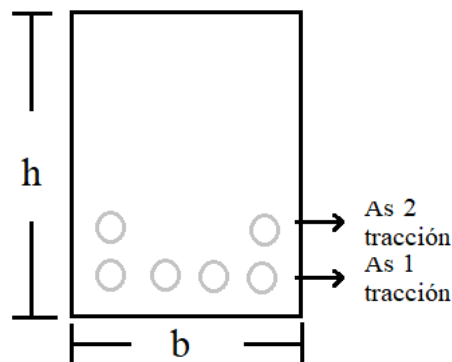
Tabla de contenido

Ejemplo No.2: Análisis de vigas reforzadas.....	1
1- Introducción.....	1
2- Enunciado.....	1
3- Desarrollo.....	2
3.1- Datos de entrada.....	2
3.2- Propiedades de los materiales.....	2
3.3- Acero a tracción.....	2
3.4- Recubrimiento.....	3
3.5- Carga axial y momentos mayorados.....	4
3.6- Cálculo de	4
3.7- Chequeo del Elemento.....	5
3.8- Momento nominal máximo requerido (M_n).....	13
3.9- Relación entre demanda y capacidad.....	13
4- Bibliografía.....	14

2- Enunciado

Determine la resistencia máxima de momento de la viga existente que cuenta con un

$M_{ux} = 296 \text{ kN} - m$ dimensiones $b = 30 \text{ cm}$ y $h = 50 \text{ cm}$, recubrimiento $r_e = 55 \text{ mm}$, resistencia a la compresión de $f'_c = 28 \text{ MPa}$ y deformación máxima de concreto a compresión $\epsilon_{cu} = 0.003$, resistencia específica a la fluencia del acero $f_y = 420 \text{ MPa}$ y un módulo de elasticidad $E_s = 200 \text{ GPa}$ y finalmente cuenta con 4 barras N°9 acero en la primera fila a tracción y con 2 barras N°9 en la segunda fila a tracción.



3- Desarrollo

3.1- Datos de entrada

Introducir medidas de base (b) y altura (h) de acuerdo con el elemento a chequear.

b = 0.30; % Base [m]
h = 0.50; % Altura [m]

3.2- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada uno de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

- Resistencia específica a la compresión.

$f_c = 28e6;$ % [Pa]

- Deformación máxima de concreto a compresión.

$\epsilon_{cu} = 0.003;$

- Resistencia específica a la fluencia.

$f_y = 420e6;$ % [Pa]

- Módulo de elasticidad del acero.

$E_s = 200e9;$ % [Pa]

- Deformación del acero.

$\epsilon_y = 0.00206;$

3.3- Acero a tracción

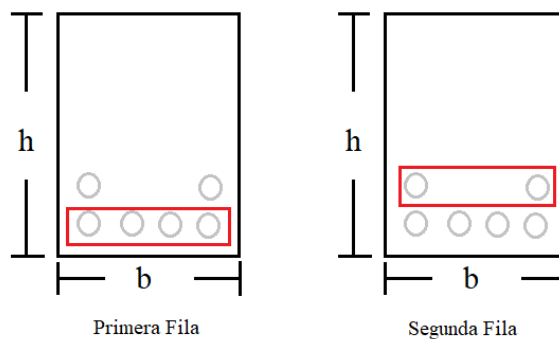


Figura No.2: Ubicación filas de acero.

Primera fila :

Ingresa el tipo de barra y el número de barras que tiene el elemento en la zona de tracción.

```
N_bar = [645/1000000];  
bar = 4;  
As_t1 = bar*N_bar; % Área del acero [m^2]
```

Diámetro del acero, en este caso seleccione el tipo de barra que se está utilizando.

```
D_t1 = [28.7/1000]; % Diámetro del acero [m]
```

Segunda fila :

Ingresa el tipo de barra y que número de barras tiene el elemento en la zona de tracción.

```
N_bar = [645/1000000];  
bar = 2;  
As_t2 = bar*N_bar; % Área del acero [m^2]
```

Diámetro del acero, en este caso seleccione el tipo de barra que se está utilizando.

```
D_t2 = [28.7/1000]; % Diámetro del acero [m]
```

```
disp('Primer Fila')
```

Primer Fila

```
sprintf('- El área del acero es de: %0.5g [m^2]',As_t1)
```

```
ans =  
'- El área del acero es de: 0.00258 [m2]'
```

```
sprintf('- El diámetro del acero es de: %0.5g [m]',D_t1)
```

```
ans =  
'- El diametro del acero es de: 0.0287 [m]'
```

```
disp('Segunda Fila')
```

Segunda Fila

```
sprintf('- El área del acero es de: %0.5g [m^2]',As_t2)
```

```
ans =  
'- El area del acero es de: 0.00129 [m2]'
```

```
sprintf('- El diámetro del acero es de: %0.5g [m]',D_t2)
```

```
ans =  
'- El diametro del acero es de: 0.0287 [m]'
```

3.4- Recubrimiento

En este caso se debe verificar en la estructura o en las memorias de cálculo que tipo de recubrimiento es el que tiene el elemento. Seguidamente seleccione que longitud tiene según el capítulo C.7.7 del reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10.

```
re = 50*0.001; % [mm]
sprintf('El recubrimiento es de: %0.5g [m]',re)
```

```
ans =
'El recubrimiento es de: 0.05 [m]'
```

3.5- Carga axial y momentos mayorados

Ingrese la carga axial y el momento mayorado según el cálculo de cargas que tenga la estructura.

```
Pu = 0; % [N]
Mux = 296000; % [N-m]
Muy = 0; % [N-m]
```

3.6- Cálculo de β_1

Para el cálculo de β_1 se debe determinar de acuerdo al f'_c al cual hace referencia a la resistencia del concreto a compresión. El capítulo C.10.2.7.3 del reglamento Colombiano de construcción Sismo Resistente NSR-10 que para f'_c entre 17 y 28 MPa, en factor β_1 se debe tomar como 0,85. Para f'_c superior a 28 MPa, β_1 se debe disminuir en forma lineal a razón de 0.05 por cada 7 MPa de aumento sobre 28 MPa, sin embargo, β_1 no debe ser menor de 0,65.

- Cuando $f'_c < 28$ MPa entonces $\beta_1 = 0.85$
- Cuando $28 \text{ MPa} < f'_c < 56 \text{ MPa}$ entonces $\beta_1 = 0.85 - 0.05 * \frac{(f'_c - 28)}{7}$
- Cuando $f'_c > 56$ MPa $\beta_1 = 0.65$

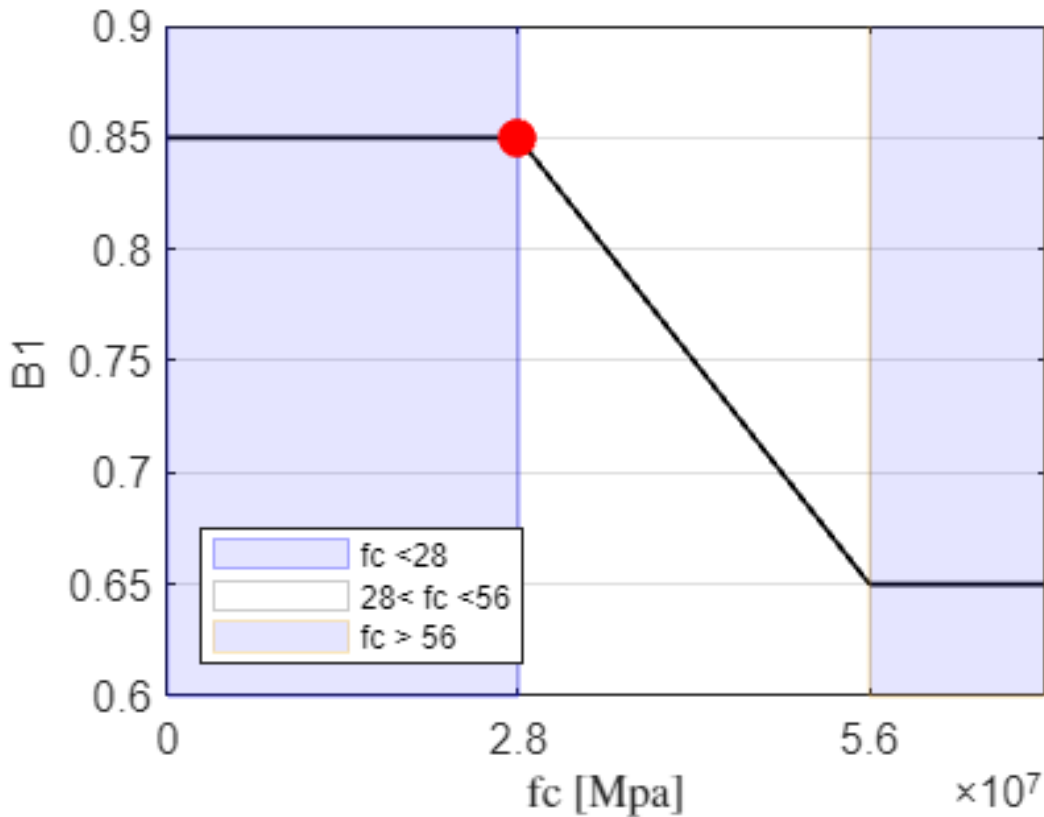
Grafica de β_1

```
flag_2=true;
if fc <= 28e6
    bt1 = .85;
elseif fc < 56e6
    bt1 = .85-.05*(fc/1e6-28)/7;
else
    bt1 = 0.65;
end
if flag_2 == true
ves_2=[0 28e6 56e6 70e6];
aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:70e6];
    if fc > ves_2(end)
        ves_2=[0 28e6 56e6 fc];
        aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:fc];
    end
vfi_2=[.85 .85 .65 .65];
plot(ves_2,vfi_2,'color',[ 0 0 0],'linewidth',1), grid on, hold on
```

```

f1_2 = fill([0 28e6 28e6 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1]);
f2_2 = fill([56e6 ves_2(end) ves_2(end) 56e6],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1]);
ft_2 = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves_2(end) .6 .90])
plot(fc,bt1,'r','marker','o','markersize',8,'MarkerFaceColor','r');
set(gca,'XTick',aa_2)
ylabel('B1','fontsize',10)
xlabel('fc [Mpa'],'fontsize',10,'interpreter','latex')
legend([f1_2 ft_2 f2_2],{'fc <28','28< fc <56','fc > 56'},'fontsize',7,'location','southwest')
end

```



```
sprintf('Valor de B1 es de: %0.5g ',bt1)
```

```
ans =
'Valor de B1 es de: 0.85 '
```

3.7- Chequeo del Elemento

Situación en la que se tiene solamente dos filas de refuerzo a tracción, por lo que en este caso para poder determinar la distancia d se debe determinar las distancias desde el borde inferior del elemento al centroide de cada una de las filas que están a tracción. seguidamente se debe calcular el centro de gravedad con base a las áreas para finalmente poder determinar el valor de la distancia requerida.

3.7.1 - Determinar la distancia d_1 y d_2 .

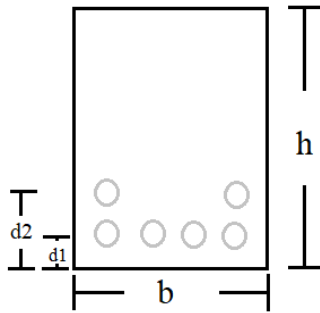


Figura No.3: Corte transversal - Determinar d_1 y d_2 .

Para la distancia $d_1 = re + \left(\frac{D_{t1}}{2}\right)$

```
d1 = re+(D_t1/2); % [m] Distancia desde el borde inferior al
sprintf('Distancia d1: %0.5g [m]',d1)
```

```
ans =
'Distancia d1: 0.06435 [m]'
```

Para la distancia $d_2 = re + D_{t1} + 0.025m + \left(\frac{D_{t1}}{2}\right)$

```
d2 = (re)+(D_t1)+(0.025)+(D_t2/2); % [m] Distancia desde el borde inferior al
sprintf('Distancia d2: %0.5g [m]',d2)
```

```
ans =
'Distancia d2: 0.11805 [m]'
```

3.7.2 - Centro de gravedad del acero

Tener en cuenta que en esta situación se tiene dos filas de refuerzo en la zona de tracción, por lo que es necesario unificar las filas, tal es el caso se debe sacar la distancia en y al dentro de gravedad, teniendo en cuenta el área de todas las barras.

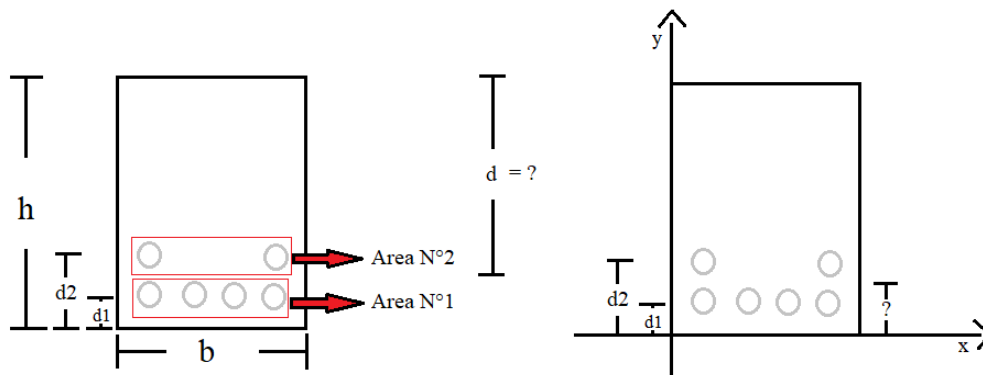


Figura No.4: Corte transversal - Determinar centro de gravedad del acero.

Para poder determinar la distancia y al centro de gravedad se implementa la siguiente formula:

$$g1 = \frac{(A_{s_{t1}} * d1) + (A_{s_{t2}} * d2)}{A_{s_{t1}} + A_{s_{t2}}}$$

```
g1 = ((As_t1*d1)+(As_t2*d2))/(As_t1+As_t2); % [m]
sprintf('Centro de gravedad es de: %0.5g [m]',g1)
```

```
ans =
'Centro de gravedad es de: 0.08225 [m]'
```

3.7.3 - Distancias d y dt

Ahora bien, ya determinada la distancia al centro de gravedad procedemos a calcular la distancia d, que en este caso es la distancia medida desde la fibra extrema a compresión hasta el centro de gravedad de los aceros a tracción y la distancia dt es la distancia medida desde la fibra extrema a compresión hasta el centroide de la última fila de acero a tracción.

Formulas:

$$d = h - g1$$

```
d = h-g1; % [m]
sprintf('d: %0.5g [m]',d)
```

```
ans =
'd: 0.41775 [m]'
```

$$dt = h - \left(re + \left(\frac{D_{t1}}{2} \right) \right)$$

```
dt = h-(re+(D_t1/2)); % [m]
sprintf('dt: %0.5g [m]',dt)
```

```
ans =
'dt: 0.43565 [m]'
```

Comportamiento del elemento

3.7.4 - Determinar deformación del acero a tracción. Tener en cuenta que para poder desarrollar este proceso debe implementar relación de triángulos.

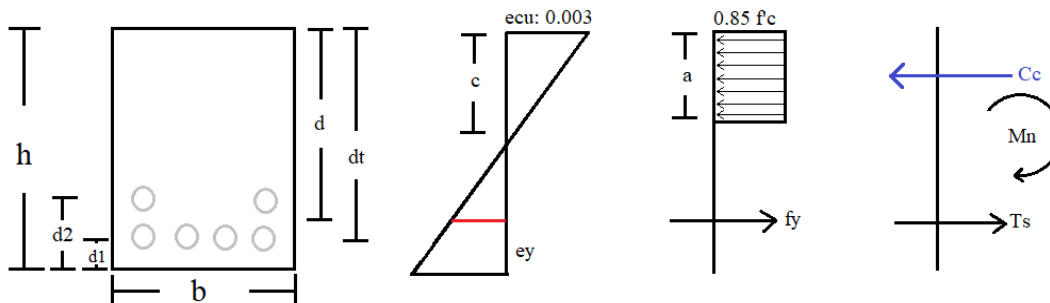


Figura No.5: Diagrama de deformación, esfuerzo y fuerzas.

Notas:

- Hay que recordar que las dos filas de acero que están a tracción son una sola, a una distancia d .
- De manera para esta situación se toma de forma equilibrada $C_c = T_s$.
- Asumir que el acero a tracción está fluyendo $\epsilon_s = 0.00206$, $f_y = 420$ Mpa.

Por lo tanto se tiene : $\frac{0.003}{c} = \frac{\epsilon_s}{dt - c}$ al despejar la variable $\epsilon_s = \frac{0.003(dt - c)}{c}$ como se evidencia, no se tiene el valor de c , por lo que se tiene que determinar.

3.7.5 - Se asume que el acero está en fluencia $f_y = 420$ MPa por lo que se tiene que la fuerza del acero a tracción es: $T_{s2} = A_{S_{Tol}} * f_y$

Determinamos el área de acero total:

$$A_{S_{Tol}} = A_{S_{T1}} + A_{S_{T2}}$$

```
As_tol2 = As_t1 + As_t2; % [m^2] Área de acero total.
sprintf('Área de acero total: %0.5g [m^2]',As_tol2)
```

```
ans =
'Área de acero total: 0.00387 [m2]'
```

Fuerza del acero a tracción:

$$T_s = A_{S_{Tol}} * f_y$$

```
Ts_2 = As_tol2*fy; % [N] Fuerza acero a tracción.
sprintf('Ts_2: %0.5g [N]',Ts_2)
```

```
ans =
'Ts_2: 1.6254e+06 [N]'
```

3.7.6 - El bloque de compresión es $C_c = 0.85 * f_c * a * b$ por lo que se hace la respectiva igualación:

$$C_c = T_s$$

$$0.85 * f_c * a * b = A_s * f_y$$

Por lo tanto, se tiene que para el valor de $a = \frac{A_{S_{Tol}} * f_y}{0.85 * f_c * b}$

```
a_2 = (As_tol2*fy)/(0.85*fc*b); % [m]
sprintf('a_2: %0.5g [m]',a_2)
```

```
ans =
'a_2: 0.22765 [m]'
```

Cálculo del bloque de compresión $C_c = 0.85 * f_c * a * b$

```
Cc_2 = 0.85*fc*a_2*b; % [N]
sprintf('Cc_2: %0.5g [N]',Cc_2)
```

```
ans =
'Cc_2: 1.6254e+06 [N]'
```



```

fs_2 = Es*es_2; % Esfuerzo del acero a tracción.
Cc_2 = (0.85*fc*bt1*c_2*b);
Ts_2 = As_tol2*fs_2; % [N] Fuerza del acero a tracción.

Ecua_2 = -Cc_2+Ts_2;
c_x2 = double(solve(Ecua_2==0));
ind = find(c_x2>0);
c_2 = c_x2(ind);
sprintf('Valor de c: %0.5g [m]',c_2)

es_2 = ((0.003)*(d-c_2))/(c_2); % Deformación del acero a tracción.
sprintf('La deformación del acero es de: %0.5g ',es_2)

if es_2 > ey
    disp('iiiiiiiiii Acero a trac. SI está en fluencia !!!!!!!!!!!')
else
    disp('iiiiiiiiii Acero a trac. NO está en fluencia !!!!!!!!!!!')
end
end

```

```

ans =
'Valor de c: 0.2519 [m]'
ans =
'La deformación del acero es de: 0.0019752 '
iiiiiiiiii Acero a trac. NO está en fluencia !!!!!!!!!!!

```

3.7.9 - Con lo anterior ya sabemos en qué estado se encuentra el elemento, por lo que a continuación se procede a calcular los esfuerzo y fuerzas ya con el valor de c definitivo.

Esfuerzos:

$$a = \beta_1 * c$$

si no está en fluencia calcule: $f_s = E_s * e_s$

Fuerzas:

$$C_c = 0.85 * f_c * \beta_1 * c * b$$

$$T_s = A_{s_{tol}} * f_s$$

```

if es_2 > ey
    sprintf('Ts: %0.5g [N]',Ts_2)
    sprintf('a: %0.5g [m]',a_2)
    sprintf('Cc: %0.5g [N]',Cc_2)
else
    a_2 = bt1*c_2; % [m]
    sprintf('a: %0.5g [m]',a_2)
    fs_2 = Es*es_2; % [Pa] Esfuerzo del acero a tracción.
    sprintf('fs: %0.5g [Pa]',fs_2)
    Cc_2 = 0.85*fc*bt1*c_2*b; % [N] Resultante bloque de compresión.
    sprintf('Cc: %0.5g [N]',Cc_2)
    Ts_2 = As_tol2*fs_2; % [N] Resultante bloque de a tracción.
    sprintf('Ts: %0.5g [N]',Ts_2)
end

```



```

ans =
'a: 0.21412 [m]'
ans =
'fs: 3.9503e+08 [Pa]'
ans =
'Cc: 1.5288e+06 [N]'
ans =
'Ts: 1.5288e+06 [N]'

```

3.7.10 - Determinar el momento nominal (Mn)

Se efectúan sumatoria de momentos en el punto Cc (Punto rojo en la gráfica) , por lo que se tiene:

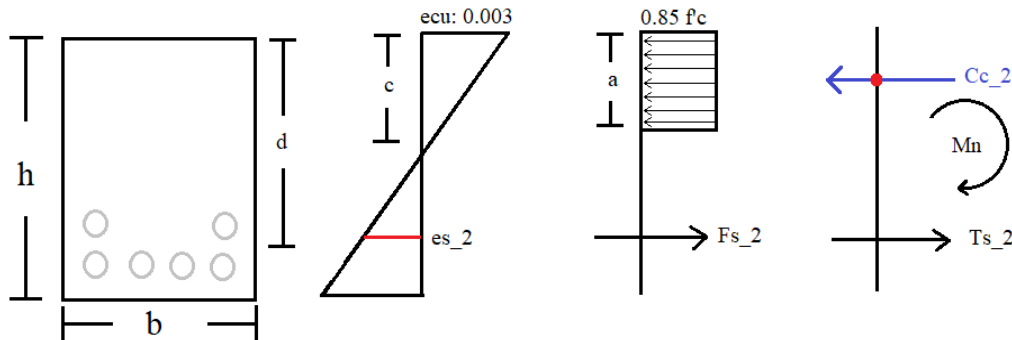


Figura No.6: Diagrama para sumatoria de momentos.

$$\sum M_{Cc} = +Ts * \left(d - \left(\frac{a}{2} \right) \right) - M_n$$

```

Mn_2 = Ts_2*(d-(a_2/2)); % [N-m]
sprintf('Mn_2: %0.5g [N-m]', Mn_2)

```

```

ans =
'Mn_2: 4.7498e+05 [N-m]'

```

3.7.10.1 - Cálculo del factor de reducción de resistencia

La NSR-10 menciona que la resistencia de diseño de un elemento es la resistencia de acuerdo con las condiciones establecidas en el título C, multiplicada por un factor de reducción de resistencia ϕ que siempre es menor que la unidad.

Los propósitos del factor de reducción de resistencia ϕ son:

- Tener en cuenta la probabilidad de existencia de elementos con una resistencia baja debida a variaciones en la resistencia de los materiales y las dimensiones.
- Tener en cuenta inexactitudes en las ecuaciones de diseño.
- Reflejar el grado de ductilidad y la confiabilidad requerida para el elemento bajo efectos de la carga bajo consideraciones.
- Reflejar la importancia del elemento en la estructura.

Nota: Tener en cuenta que para este caso se tiene dos filas de acero a tracción, por lo que se debe tener en cuenta el valor de d_t y no la distancia d ya que para determinar el factor de reducción debe ser con la última fila de acero que este a tracción, independientemente si hay más filas de refuerzo.

Calcular la deformación para la última fila de acero a tracción:

$$\varepsilon_{s_{fi}} = \frac{(0.003) * (d_t - c_2)}{c_2}$$

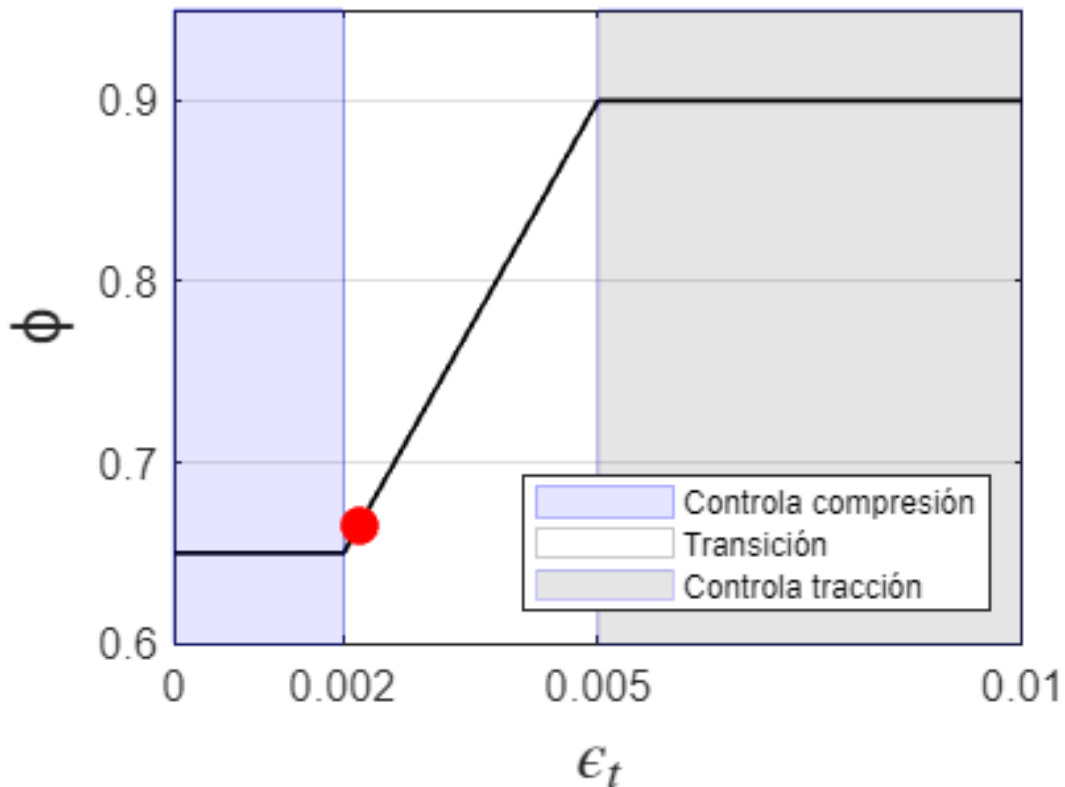
```
es_2fi = ((0.003)*(dt-c_2))/(c_2); % Esfuerzo, fila ultima de acero a tracción para f
sprintf('Deformación para la ultima fila de acero es de: %0.5g ',es_2fi)
```

```
ans =
'Deformación para la ultima fila de acero es de: 0.0021884 '
```

Grafica de ϕ

```
close all

flag=true;
if es_2fi <= .002
    fi_2 = .65;
elseif es_2fi < .005
    fi_2 = .65+(es_2fi-.002)*(250/3);
else
    fi_2 = 0.9;
end
if flag == true
ves=[0 .002 .005 .01];
aa =[0 .002 .005:.005:.02];
    if es_2fi > ves(end)
        ves=[0 .002 .005 es_2fi];
        aa =[0 .002 .005:.005:es_2fi];
    end
vfi=[.65 .65 .9 .9];
plot(ves,vfi,'color',[ 0 0 0],'linewidth',1), grid on, hold on
f1 = fill([0 .002 .002 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1],7);
f2 = fill([.005 ves(end) ves(end) .005],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 0],'EdgeColor',[0 0 0],7);
ft = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves(end) .6 .95])
plot(es_2fi,fi_2,'r','marker','o','markersize',8,'MarkerFaceColor','r')
set(gca,'XTick',aa)
ylabel('\phi','fontsize',15)
xlabel('\$\\epsilon_t\$', 'fontsize',15,'interpreter','latex')
legend([f1 ft f2],{'Controla compresión','Transición','Controla tracción'},'fontsize',7)
end
```



```
sprintf('Valor de  $\phi$  es de: %0.5g ',fi_2)
```

```
ans =
'Valor de  $\phi$  es de: 0.6657 '
```

3.8- Momento nominal máximo requerido (ϕM_n)

$$\phi M_n = f_i * M_n$$

```
fi_Mn_2 = (fi_2)*(Ts_2*(d-(a_2/2))); % [N-m]
sprintf('  $\phi M_n$ : %0.5g [kN-m]',fi_Mn_2/1000)
```

```
ans =
'  $\phi M_n$ : 316.19 [kN-m]'
```

3.9- Relación entre demanda y capacidad

El Reglamento Colombiano de Construcción sismo resistente NSR-10 menciona en el capítulo A.10.4.3 que se deben determinar unos índices de sobre esfuerzos y de flexibilidad para que permitan definir la capacidad de la estructura existente de soportar y responder adecuadamente ante las sollicitaciones equivalentes.

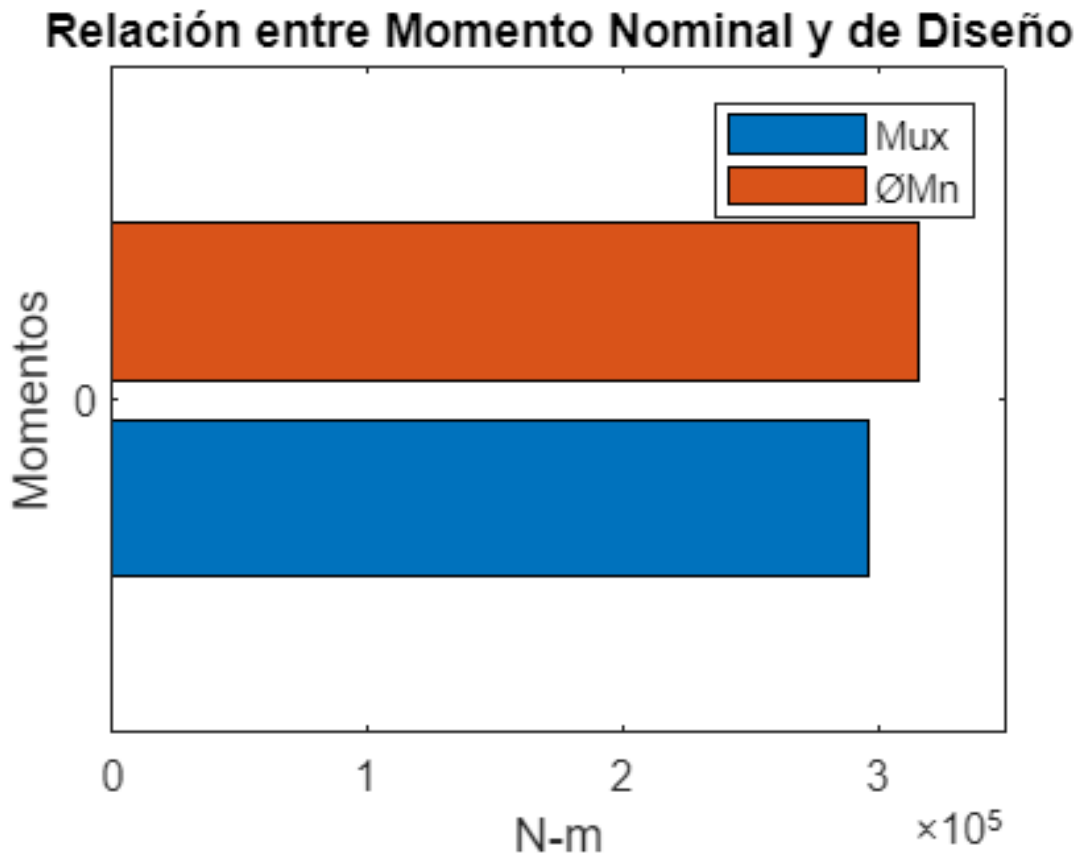
Teniendo en cuenta según el reglamento el índice de sobre esfuerzo se expresa como el cociente entre las sollicitaciones equivalentes, calculadas y la resistencia efectiva.

$$ISE = \frac{M_u}{\phi M_n}$$

```

close all
x = [0];
y = [Mux fi_Mn_2
     ];
barh(x,y)
legend ( 'Mux', 'ØMn')
title('Relación entre Momento Nominal y de Diseño')
xlim([0 350000])
ylim([-0.486 0.486])
xlabel('N-m')
ylabel('Momentos')

```



```

ISE_2 = (Mux/fi_Mn_2);
sprintf('ISE: %0.5g [Porcentaje] ',ISE_2*100)

```

```

ans =
'ISE: 93.614 [Porcentaje] '

```

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Análisis de vigas rectangulares

1- Introducción

Para los elementos estructurales ya implementados al momento de practicarse una reestructuración es de suma importancia realizar un chequeo para la verificación del estado actual, garantizando que cumplen los requisitos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. La presente guía se muestra el paso a paso de como analizar una viga rectangular.

Tabla de contenido

Análisis de vigas rectangulares.....	1
1- Introducción.....	1
2- Datos de entrada.....	1
3- Propiedades de los materiales.....	2
4- Acero a compresión.....	2
5- Acero a tracción.....	3
6- Recubrimiento.....	4
7- Carga axial y momentos mayorados:.....	4
8- Cálculo de	4
9- Selección de casos posibles.....	6
10- Chequeo del elemento.....	6
10.1- Comportamiento del elemento.....	8
10.2 Cálculo de resultantes.....	11
10.3 Momento máximo nominal del elemento	13
10.4 Factor de reducción de resistencia	13
10.5 Momento de diseño (M_n).....	15
10.6 Relación entre demanda y capacidad.....	16
11- Bibliografía.....	17

```
clc, clear, close all, format short
```

Nota: En la siguiente platilla se puede desarrollar el análisis de todo tipo de viga rectangular.

2- Datos de entrada

Sección

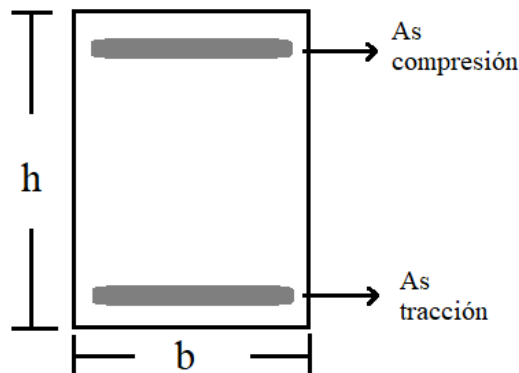


Figura No.1: Corte transversal - Viga.

```
b = 0.30; % Base [m]
h = 0.50; % Altura [m]
```

3- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada uno de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

- Resistencia específica a la compresión.

```
fc = 21e6; % [Pa]
```

- Deformación máxima de concreto a compresión.

```
ecu = 0.003;
```

- Resistencia específica a la fluencia.

```
fy = 420e6; % [Pa]
```

- Módulo de elasticidad del acero.

```
Es = 200e9; % [Pa]
```

- Deformación del acero.

```
ey= 0.00206;
```

4- Acero a compresión

¿Dispone acero a compresión?

```
R_1 = 1;
```

Cantidad y número de barra que se está utilizando.

Si su respuesta anterior es **SI** ingrese el número de aceros y que número de barra están a compresión.

```
N_bar_c = [510/1000000];
bar_c = 2;
As_Comp_1 = bar_c*N_bar_c; % Área del acero [m^2]
```

Diámetro del acero, en este caso seleccione el tipo de barra que se está utilizando.

```
D_comp_1 = [25.4/1000]; % Diámetro del acero [m]
```

```
disp('>>> Dispone de acero <<<<')
```

```
>>> Dispone de acero <<<<
```

```
if R_1 > 0
    disp('SI')
    sprintf('- El área del acero es de: %0.5g [m^2]',As_Comp_1)
    sprintf('- El diámetro del acero es de: %0.5g [m]',D_comp_1)
```

```

else
    disp('NO')
end

SI
ans =
'- El área del acero es de: 0.00102 [m2]'
ans =
'- El diametro del acero es de: 0.0254 [m]'

```

5- Acero a tracción

Ingrese el número de filas que hay atracción.

```
N_fila = 0;
```

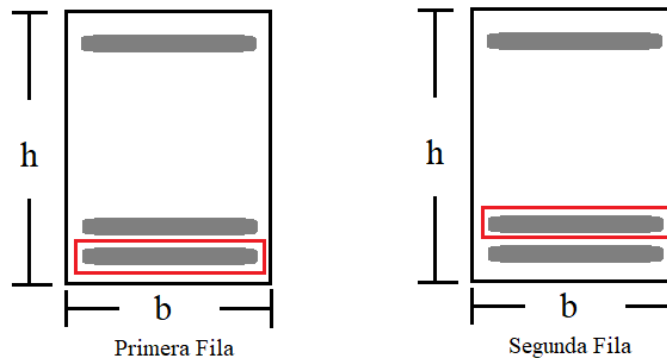


Figura No.2: Ubicación filas de acero.

Primera fila :

Ingresas el tipo de barra y que número de barras tiene el elemento en la zona de tracción.

```

N_bar = [510/1000000];
bar = 3;
As_t1 = bar*N_bar; % Área del acero [m^2]

```

Diámetro del acero, en este caso seleccione el tipo de barra que se está utilizando.

```
D_t1 = [25.4/1000]; % Diámetro del acero [m]
```

Segunda fila :

Ingresas el tipo de barra y que número de barras tiene el elemento en la zona de tracción.

```

N_bar = [510/1000000];
bar = 2;
As_t2 = bar*N_bar; % Área del acero [m^2]

```

Diámetro del acero, en este caso seleccione el tipo de barra que se está utilizando.

```
D_t2 = [25.4/1000]; % Diámetro del acero [m]
```

```
disp('Primer Fila')
```

Primer Fila

```
sprintf('- El área del acero es de: %0.5g [m^2]',As_t1)
```

```
ans =  
'- El área del acero es de: 0.00153 [m2]'
```

```
sprintf('- El diámetro del acero es de: %0.5g [m]',D_t1)
```

```
ans =  
'- El diametro del acero es de: 0.0254 [m]'
```

```
disp('Segunda Fila')
```

Segunda Fila

```
sprintf('- El área del acero es de: %0.5g [m^2]',As_t2)
```

```
ans =  
'- El área del acero es de: 0.00102 [m2]'
```

```
sprintf('- El diámetro del acero es de: %0.5g [m]',D_t2)
```

```
ans =  
'- El diametro del acero es de: 0.0254 [m]'
```

6- Recubrimiento

En este caso se debe verificar en la estructura o en las memorias de cálculo que tipo de recubrimiento es el que tiene el elemento. Seguidamente seleccione que longitud tiene según el capítulo C.7.7 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

```
re = 40*0.001;           % [mm]  
sprintf('El recubrimiento es de: %0.5g [m]',re)
```

```
ans =  
'El recubrimiento es de: 0.04 [m]'
```

7- Carga axial y momentos mayorados:

Ingrese la carga axial y el momento mayorado según el cálculo de cargas que tenga la estructura.

```
Pu    =0;                % [N]  
Mux   =250000;           % [N-m]  
Muy   =0;                % [N-m]
```

8- Cálculo de β_1

Para el cálculo de β_1 se debe determinar de acuerdo al f'_c al cual hace referencia a la resistencia del concreto a compresión. El capítulo C.10.2.7.3 del reglamento Colombiano de construcción Sismo Resistente NSR-10 que para f'_c entre 17 y 28 MPa, en factor β_1 se debe tomar como 0,85. Para f'_c superior a 28 MPa, β_1 se debe disminuir en forma lineal a razón de 0.05 por cada 7 MPa de aumento sobre 28 MPa, sin embargo, β_1 no debe ser menor de 0,65.

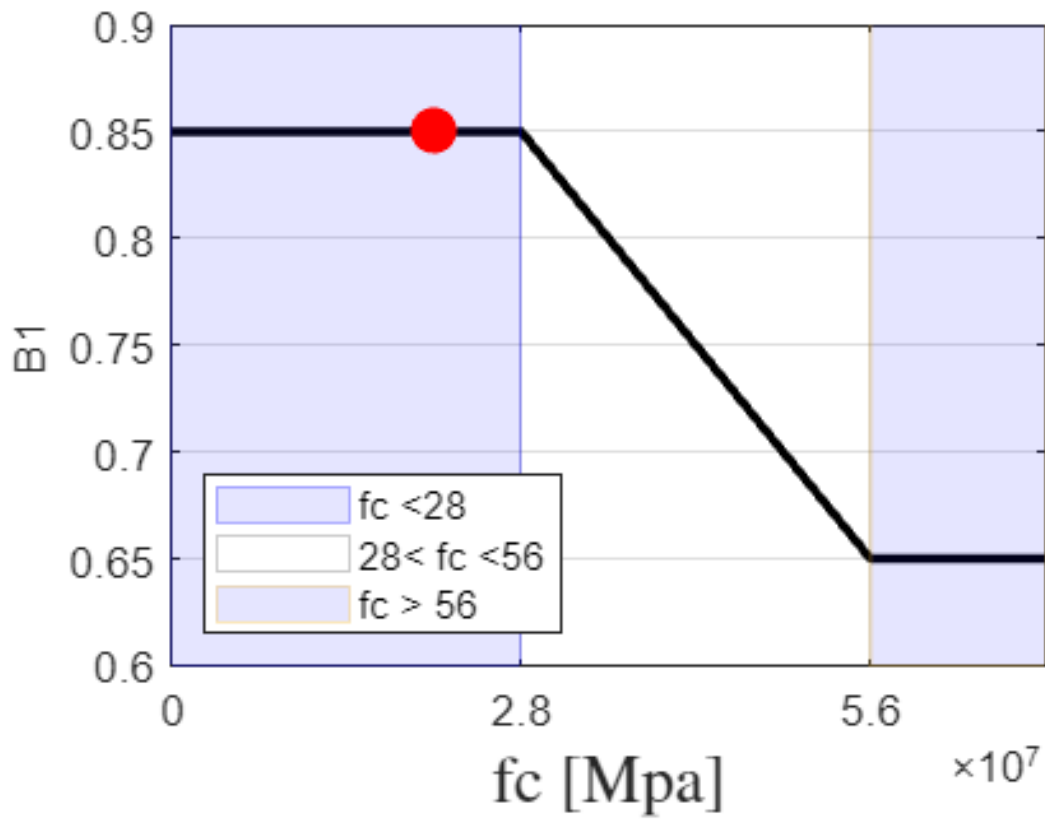
- Cuando $f'_c < 28$ MPa entonces $\beta_1 = 0.85$
- Cuando $28 \text{ MPa} < f'_c < 56 \text{ MPa}$ entonces $\beta_1 = 0.85 - 0.05 * \frac{(f'_c - 28)}{7}$
- Cuando $f'_c > 56 \text{ MPa}$ $\beta_1 \leq 0.85$

Grafica de β_1

```

flag_2=true;
if fc <= 28e6
    bt1 = .85;
elseif fc < 56e6
    bt1 = .85-.05*(fc/1e6-28)/7;
else
    bt1 = 0.65;
end
if flag_2 == true
ves_2=[0 28e6 56e6 70e6];
aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:70e6];
    if fc > ves_2(end)
        ves_2=[0 28e6 56e6 fc];
        aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:fc];
    end
vfi_2=[.85 .85 .65 .65];
plot(ves_2,vfi_2,'color',[ 0 0 0],'linewidth',2), grid on, hold on
f1_2 = fill([0 28e6 28e6 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1]);
f2_2 = fill([56e6 ves_2(end) ves_2(end) 56e6],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1]);
ft_2 = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves_2(end) .6 .90])
plot(fc,bt1,'r','marker','o','markersize',10,'MarkerFaceColor','r');
set(gca,'XTick',aa_2)
ylabel('B1','fontsize',10)
xlabel('fc [Mpa]','fontsize',15,'interpreter','latex')
legend([f1_2 ft_2 f2_2],{'fc <28','28< fc <56','fc > 56'},'fontsize',9,'location','southwest')
end

```



```
sprintf('Valor de B1 es de: %0.5g ',bt1)
```

```
ans =  
'Valor de B1 es de: 0.85 '
```

9- Selección de casos posibles

```
caso = 3;
```

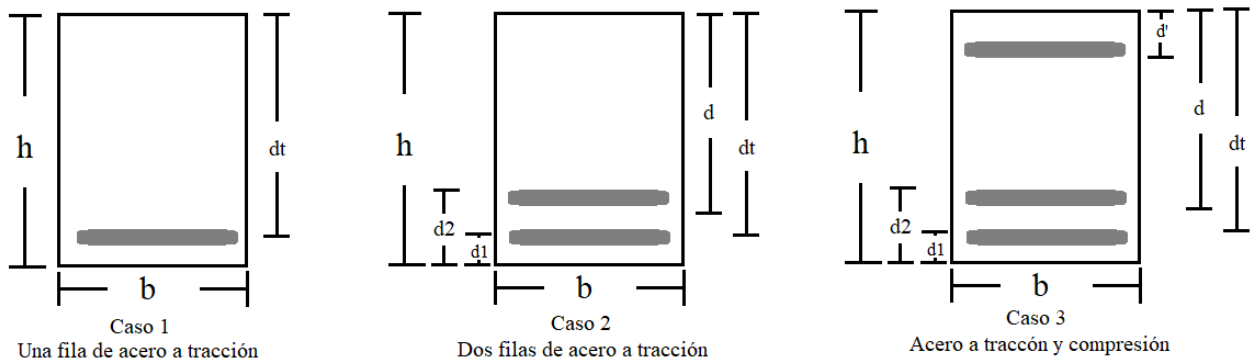


Figura No.3: Selección de casos.

10- Chequeo del elemento

Determinación de distancias d_n

```

if caso <= 1
disp('===== CASO #1 ===== ')
disp('===== Donde solo hay una fila de acero a tracción ===== ')

disp('7.1 - Distancia la cual está dada desde el borde superior del elemento')
disp('hasta el centroide del acero a tracción')

dt = h-(re+(D_t1/2)); % [m] Distancia desde el borde superior al
sprintf('Distancia dt: %0.5g [m]',dt)

elseif (caso > 1) && (caso < 3)

disp('===== CASO #2 ===== ')
disp('===== Donde solo hay dos filas de acero a tracción =====')

disp('>> Distancia d1 y d2')

d1 = re+(D_t1/2); % [m] Distancia desde el borde inferior a
sprintf('Distancia d1: %0.5g [m]',d1)
d2 = (re)+(D_t1)+(0.025)+(D_t2/2); % [m] Distancia desde el borde inferior a
sprintf('Distancia d2: %0.5g [m]',d2)

disp('>> Centro de gravedad del acero')
g1 = ((As_t1*d1)+(As_t2*d2))/(As_t1+As_t2); % [m]
sprintf('g: %0.5g [m]',g1)

disp('>> Distancias d y dt')
d = h-g1; % [m]
sprintf('d: %0.5g [m]',d)
dt = h-(re+(D_t1/2)); % [m]
sprintf('dt: %0.5g [m]',dt)

else

disp('===== CASO #3 ===== ')
disp('=== Donde se tiene barras a compresion y a tracción === ')

d1 = re+(D_t1/2); % [m] Distancia desde el borde inferior
sprintf('Distancia d1: %0.5g [m]',d1)
d2 = (re)+(D_t1)+(0.025)+(D_t2/2); % [m] Distancia desde el borde inferior
sprintf('Distancia d2: %0.5g [m]',d2)
dp = re+(D_comp_1/2); % [m] Distancia del borde superior al cen
sprintf('Distancia dp: %0.5g [m]',dp)

disp('>> Centro de gravedad del acero')
g1 = ((As_t1*d1)+(As_t2*d2))/(As_t1+As_t2); % [m]
sprintf('g: %0.5g [m]',g1)

disp('>> Distancias d y dt')
d = h-g1; % [m]
sprintf('d: %0.5g [m]',d)
dt = h-(re+(D_t1/2)); % [m]

```

```
sprintf('dt: %0.5g [m]',dt)
end
```

```
===== CASO #3 =====
=== Donde se tiene barras a compresion y a tracción ===
ans =
'Distancia d1: 0.0527 [m]'
ans =
'Distancia d2: 0.1031 [m]'
ans =
'Distancia dp: 0.0527 [m]'
>> Centro de gravedad del acero
ans =
'g: 0.07286 [m]'
>> Distancias d y dt
ans =
'd: 0.42714 [m]'
ans =
'dt: 0.4473 [m]'
```

10.1- Comportamiento del elemento

Independientemente del caso, relacione la siguiente grafica para determinar las resultantes del elemento.

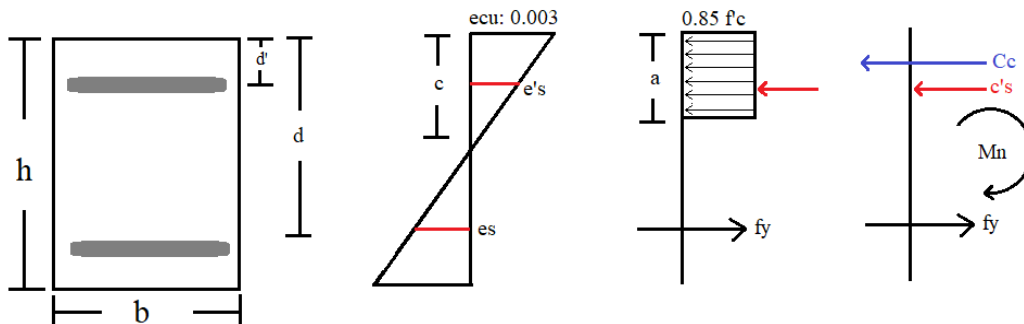


Figura No.4: Diagra de deformación, esfuerzo y fuerzas.

```
if caso <= 1

disp('>> Se asumio que el acero esta en fluencia fy = 420 Mpa es = 0.00206')

Ts = As_t1*fy; % [N] Fuerza acero a tracción.
sprintf('Ts: %0.5g [N]',Ts)

a = (As_t1*fy)/(0.85*fc*b); % [m]
sprintf('a: %0.5g [m]',a)
Cc = 0.85*fc*a*b; % [N]
sprintf('Cc: %0.5g [N]',Cc)
c = a/bt1; % [m]

disp('>> Deformación del acero a tracción:')
es = ((0.003)*(dt-c))/(c);
sprintf('La deformación del acero es de: %0.5g >0.00206',es)

if es > ey
disp('!!!!!!!!!!!!!! Acero a trac. SI está en fluencia !!!!!!!!!!!!!!!')
else
disp('!!!!!!!!!!!!!! Acero a trac. NO está en fluencia !!!!!!!!!!!!!!!')
```



```

fs_3 = Es*es_3; % Esfuerzo del acero a tracción.
As_tol3 = As_t1 + As_t2; % [m^2] Área de acero total.
Ts_3 = As_tol3*fs_3; % [N] Fuerza del acero a tracción.

Ecua_3 = -Cc_3-cps_3+Ts_3; % Ecuación para despejar.
c_x3 = double(solve(Ecua_3==0));
ind = find(c_x3>0);
c_3 = c_x3(ind);
disp('>> Nuevo Valor de C')
c_3
disp ('>> Deformación del acero a tracción')
es_3 = (0.003*(d-c_3))/(c_3);
sprintf('La deformación del acero es de: %0.5g >0.00206',es_3)
if es_3 > ey
disp('iiiiiiiiiiiiiiiiii Acero a trac. SI está en fluencia !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!')
else
disp('ijijijij Definitivamente el Acero a trac. NO está en fluencia !!!!!!!!')
end
end
end

```

```

>> Se asumio que el acero esta en fluencia fy = 420 Mpa es = 0.00206
>> Valor de C
c_3 = 0.1485
>> Deformación del acero a tracción
ans =
'La deformación del acero es de: 0.0056266 >0.00206'
iiiiiiiiiiiiiiiiii Acero a trac. SI está en fluencia !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

```

10.2 Cálculo de resultantes

Con lo anterior, se sabe en qué estado se encuentra el acero, por lo que a continuación se procede a calcular las deformaciones, esfuerzos y fuerzas ya con el valor de c definitivo.

```

if caso <= 1
    if es > ey
        sprintf('Ts: %0.5g [N]',Ts)
        sprintf('a: %0.5g [m]',a)
        sprintf('Cc: %0.5g [N]',Cc)
    else
        fs = Es*es; % Esfuerzo del acero a tracción.
        sprintf('fs: %0.5g [N]',fs)
        Ts = As_t1*fs; % [N] Fuerza del acero a tracción.
        sprintf('Ts: %0.5g [N]',Ts)
        a = bt1*c;
        sprintf('a: %0.5g [m]',a)
        Cc = (0.85*fc*bt1*c*b);
        sprintf('Cc: %0.5g [N]',Cc)
    end
elseif (caso > 1) && (caso < 3)

    if es_2 > ey
        sprintf('Ts_2: %0.5g [N]',Ts_2)
        sprintf('a: %0.5g [m]',a_2)
        sprintf('Cc_2: %0.5g [N]',Cc_2)
    end
end

```

```

else
    fs_2 = Es*es_2;
    sprintf('fs: %0.5g [N]',fs_2)
    Ts_2 = As_tol2*fs_2;
    sprintf('Ts: %0.5g [N]',Ts_2)
    a_2 = bt1*c_2;
    sprintf('a: %0.5g [m]',a_2)
    Cc_2 = (0.85*fc*bt1*c_2*b);
    sprintf('Cc: %0.5g [N]',Cc_2)
end
else
    if es_3 > ey
        eps_3 = (0.003*(c_3-dp))/(c_3);
        sprintf('eps: %0.5g',eps_3)
        fps_3 = Es*eps_3;
        sprintf('fps: %0.5g [N]',fps_3)
        cps_3 = As_Comp_1*fps_3;
        sprintf('Cps: %0.5g [N]',cps_3)
        Cc_3 = 0.85*fc*(0.85*c_3)*b;
        sprintf('Cc: %0.5g [N]',Cc_3)
        As_tol3 = As_t1 + As_t2;
        sprintf('As total: %0.5g [m^2]',As_tol3)
        a_3 = bt1*c_3;
        sprintf('a: %0.5g [m]',a_3)
        Ts_3 = As_tol3*fy;
        sprintf('Ts: %0.5g [N]',Ts_3)

    else
        eps_3 = (0.003*(c_3-dp))/(c_3);
        sprintf('eps: %0.5g',eps_3)
        fps_3 = Es*eps_3;
        sprintf('fps: %0.5g [N]',fps_3)
        cps_3 = As_Comp_1*fps_3;
        sprintf('Cps: %0.5g [N]',cps_3)
        Cc_3 = 0.85*fc*(0.85*c_3)*b;
        sprintf('Cc: %0.5g [N]',Cc_3)

        fs_3 = Es*es_3;
        sprintf('fs: %0.5g [N]',fs_3)
        As_tol3 = As_t1 + As_t2;
        sprintf('As total: %0.5g [m^2]',As_tol3)
        a_3 = bt1*c_3;
        sprintf('a: %0.5g [m]',a_3)
        Ts_3 = As_tol3*fs_3;
        sprintf('Ts: %0.5g [N]',Ts_3)
    end
end
end

```

```

ans =
'eps: 0.0019357'
ans =
'fps: 3.8713e+08 [N]'
ans =
'Cps: 3.9487e+05 [N]'
ans =

```



```
'Cc: 6.7613e+05 [N]'
ans =
'As total: 0.00255 [m2]'
ans =
'a: 0.12626 [m]'
ans =
'Ts: 1.071e+06 [N]'
```

10.3 Momento máximo nominal del elemento (M_n)

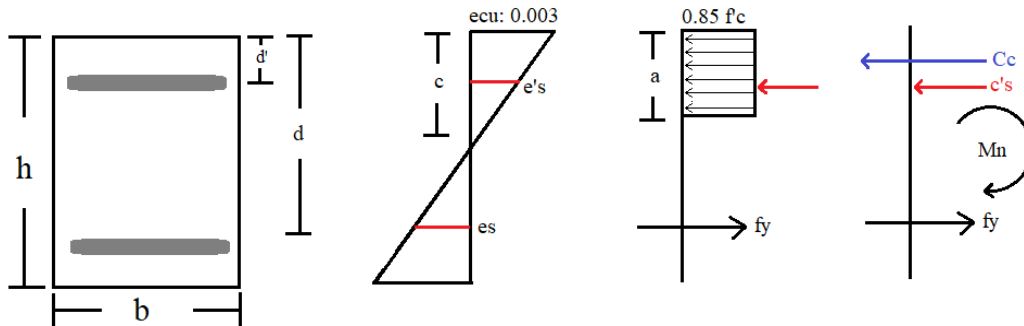


Figura No.5: Diagrama para sumatoria de momentos.

```
if caso <= 1
    Mn = Ts*(dt-(a/2)); % [N-m]
    disp('==== Por lo tanto, este elemento cuenta con un momento nominal de: =====')
    sprintf('Mn: %0.5g [N-m]',Mn)

elseif (caso > 1) && (caso < 3)
    Mn_2 = Ts_2*(d-(a_2/2)) % [N-m]
    disp('==== Por lo tanto, este elemento cuenta con un momento nominal de: =====')
    sprintf('Mn: %0.5g [N-m]',Mn_2)
else
    disp('==== Por lo tanto, este elemento cuenta con un momento nominal de: =====')
    if N_fila > 0
        Mn_3 = (Cc_3*(dt-(a_3/2)))+(cps_3*(dt-dp)) % [N-m]
    else
        Mn_3 = (Cc_3*(d-(a_3/2)))+(cps_3*(d-dp)) % [N-m]
    end
end
```

```
==== Por lo tanto, este elemento cuenta con un momento nominal de: =====
Mn_3 = 3.9397e+05
```

10.4 Factor de reducción de resistencia ϕ

```
if caso <= 1
    if es <= .002
        fi = .65;
    elseif es < .005
        fi = .65+(es-.002)*(250/3);
    else
        fi = 0.9;
    end
end
```

```

elseif (caso > 1) && (caso < 3)
    es_2fi = ((0.003)*(dt-c_2))/(c_2); % Esfuerzo, fila ultima de acero a tracc
    if es_2fi <= .002
        fi = .65;
    elseif es_2fi < .005
        fi = .65+(es_2fi-.002)*(250/3);
    else
        fi = 0.9;
    end
else
    if N_fila > 0 % Cuando solo es una fila, se toma la c
        if es_3 <= .002
            fi = .65
        elseif es_3 <= .005
            fi = .65+(es_3-.002)*(250/3)
        else
            fi = 0.9
        end
    else
        es_3fi = ((0.003)*(dt-c_3))/(c_3); % Esfuerzo, fila ultima de acero a tracc
        if es_3fi <= .002
            fi = .65
        elseif es_3fi <= .005
            fi = .65+(es_3fi-.002)*(250/3)
        else
            fi = 0.9
        end
    end
end
end
end

```

```
fi = 0.9000
```

```

if caso <= 1
    esf = es
elseif (caso > 1) && (caso < 3)
    esf = es_2
else
    if N_fila > 0
        esf = es_3
    else
        esf = es_3fi
    end
end
end

```

```
esf = 0.0060
```

Grafica de ϕ

```

close all

flag=true;

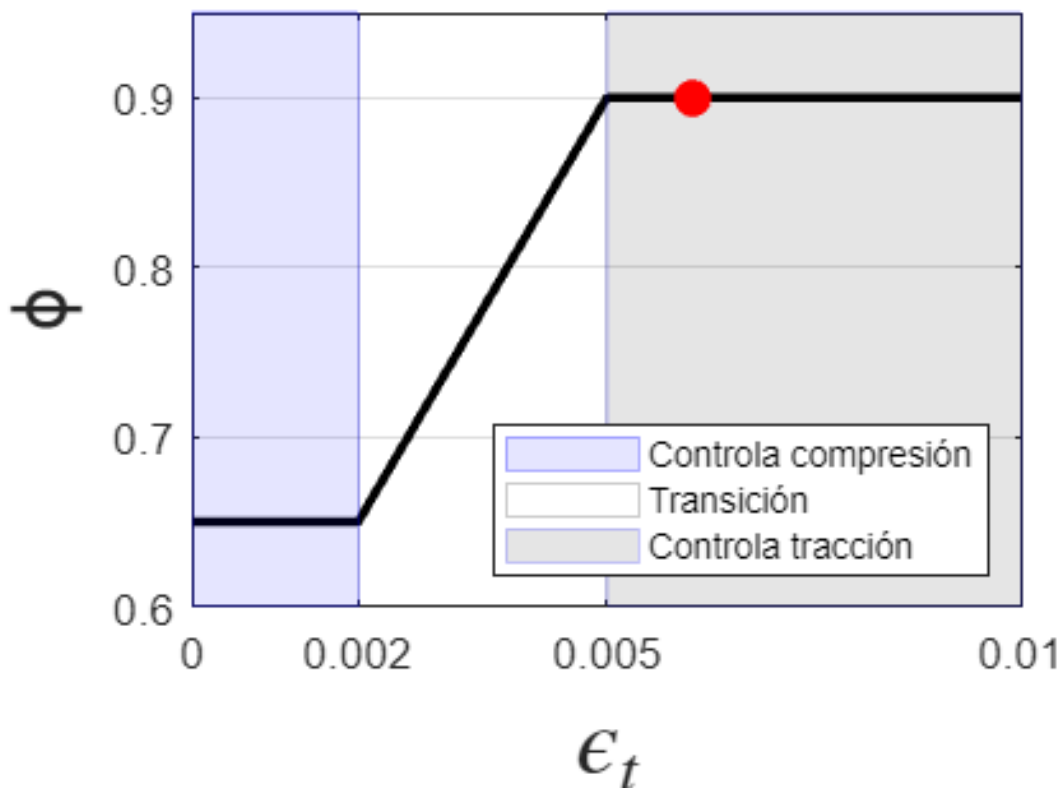
if flag == true
ves=[0 .002 .005 .01];

```

```

aa =[0 .002 .005:.005:.02];
    if esf > ves(end)
        ves=[0 .002 .005 esf];
        aa =[0 .002 .005:.005:esf];
    end
vfi=[.65 .65 .9 .9];
plot(ves,vfi,'color',[ 0 0 0],'linewidth',2), grid on, hold on
f1 = fill([0 .002 .002 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1],...
f2 = fill([.005 ves(end) ves(end) .005],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 0],'EdgeColor',...
ft = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves(end) .6 .95])
plot(esf,fi,'r','marker','o','markersize',8,'MarkerFaceColor','r')
set(gca,'XTick',aa)
ylabel('\phi','fontsize',18)
xlabel('\epsilon_t','fontsize',22,'interpreter','latex')
legend([f1 ft f2],{'Controla compresión','Transición','Controla tracción'},'fontsize',8
end

```



```

sprintf('Valor de ϕ es de: %0.5g ',fi)

```

```

ans =
'Valor de ϕ es de: 0.9 '

```

10.5 Momento de diseño (ϕM_n)

```

if caso <= 1
    fi_Mn = fi*Mn % [N-m]
    sprintf('ϕMn: %0.5g [N-m]',fi_Mn)

```

```

elseif (caso > 1) && (caso < 3)
    fi_Mn = fi*Mn_2                                % [N-m]
    sprintf('ØMn: %0.5g [N-m]',fi_Mn)
else
    fi_Mn = fi*Mn_3                                % [N-m]
    sprintf('ØMn: %0.5g [N-m]',fi_Mn)
end

```

```

fi_Mn = 3.5458e+05
ans =
'ØMn: 3.5458e+05 [N-m]'

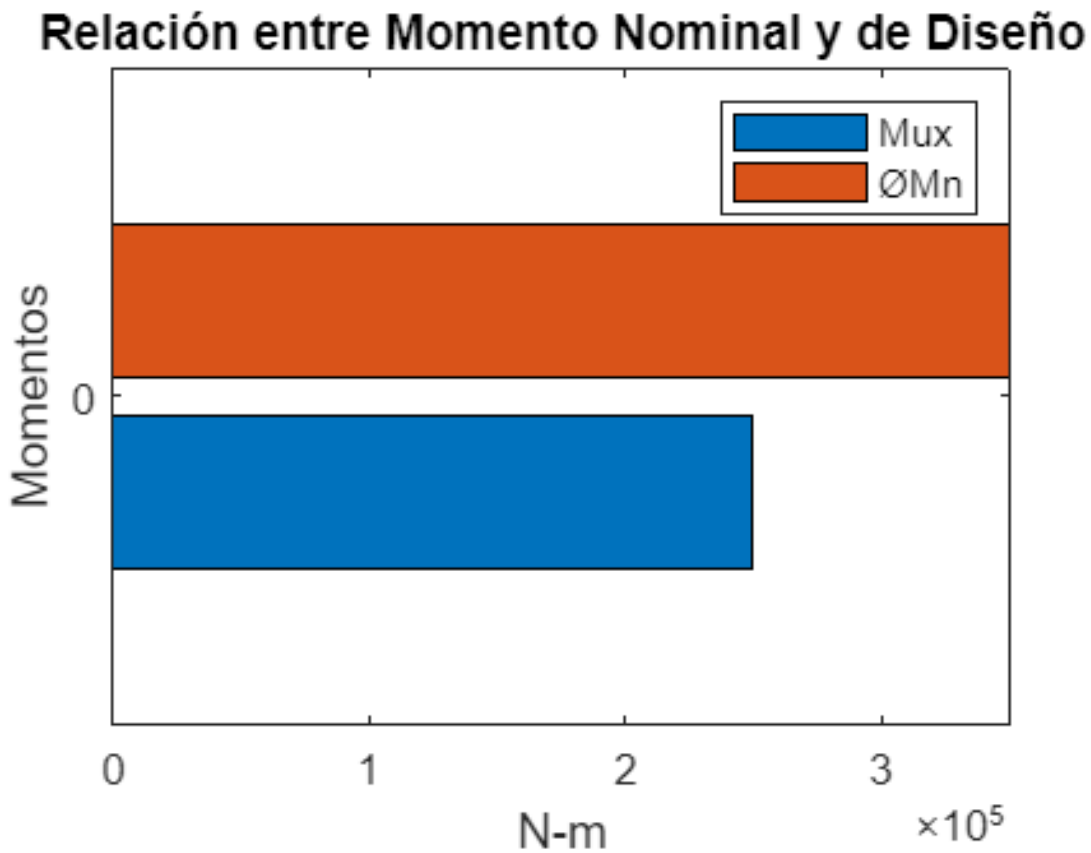
```

10.6 Relación entre demanda y capacidad

```

close all
x = [0];
y = [Mux fi_Mn
     ];
barh(x,y)
legend ( 'Mux', 'ØMn')
title('Relación entre Momento Nominal y de Diseño')
xlim([0 350000])
ylim([-0.486 0.486])
xlabel('N-m')
ylabel('Momentos')

```



```

ISE = (Mux/fi_Mn);
sprintf('ISE: %0.5g [Porciento] ',ISE*100)

```

ans =
'ISE: 70.507 [Porciento] '

11- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Enunciado

```
clc, clear, close all, format short
```

Determine la resistencia máxima de momento de la viga existente que cuenta con un $M_{ux} = 250 \text{ kN} - m$ dimensiones $b = 30 \text{ cm}$ y $h = 50 \text{ cm}$, recubrimiento $r_e = 40 \text{ mm}$, resistencia a la compresión de $f'_c = 21 \text{ MPa}$ y deformación máxima de concreto a compresión $\epsilon_{cu} = 0.003$, resistencia específica a la fluencia del acero $f_y = 420 \text{ MPa}$ y un módulo de elasticidad $\epsilon_y = 0.00206$ por parte del acero finalmente cuenta con 3 barras N°8 acero en la primera fila a tracción, para la segunda fila con 2 barras N°8 y para el acero a compresión 2 barras N°8.

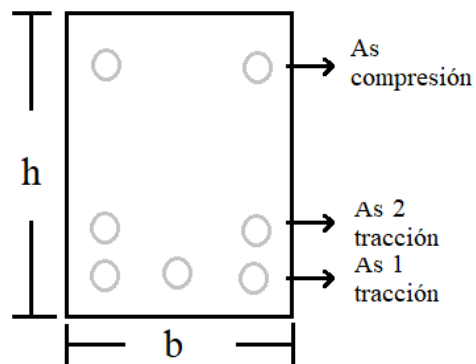


Figura No.1

B. Anexo: Guía diseño de vigas
rectangulares.

Diseño de viga simplemente apoyada

1- Introducción

Esta guía didáctica presenta los fundamentos matemáticos y criterios necesarios para el diseño de vigas rectangulares y así como la interpretación del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 debido a que las grandes obras de infraestructuras, edificaciones y servicios se construyen son en concreto reforzado.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de Contenido

Diseño de viga simplemente apoyada.....	1
1- Introducción.....	1
2- Aspectos teóricos.....	2
3- Enunciado.....	3
4- Desarrollo.....	3
4.1- Datos de entrada.....	3
4.2- Cargas aplicadas sin P.P.....	3
4.3- Propiedades de los materiales.....	4
4.4- Cálculo de	4
4.5- Recubrimiento.....	6
4.6- Dimensionamiento.....	6
4.6.1- Altura de viga.....	6
4.6.2- Dimensión base de viga.....	7
4.6.3- Dimensionamiento final.....	8
4.7- Determinar que la luz libre sea la correcta.....	8
4.8- Cálculo del P.P (Peso propio).....	8
4.9- Cálculo de carga distribuida.....	9
4.10- Cálculo de momentos.....	9
4.11- Determinar la cuantía de diseño.....	10
4.12- Acero a utilizar.....	11
4.13- Barra para estribos.....	12
4.14- Distancia mínima entre barras paralelas.....	13
4.15- Chequeo de la base mínima.....	13
4.16- Recalculo de los datos.....	15
4.16.1- Recalculo de valor de exacto.....	15
4.16.2- Recalculo de la cuantía de diseño.....	15
4.17- Comportamiento del elemento.....	15
4.17.1- Determinar valor	16
4.17.2- Deformación del acero	16
4.17.3- Fuerza del acero a tracción.....	16
4.17.4 Valor de a.....	17
4.18- Determinar el momento requerido (Mn).....	17
4.19- Cálculo del factor de reducción de resistencia	17
4.20- Momento nominal máximo requerido (Mn).....	19
4.21- Chequeo resistencia.....	19
4.22- Tabla resumen.....	20

2- Aspectos teóricos

1- Cuando se conoce la sección ya plasmada en un plano arquitectónico se tiene que ajustar a dichas dimensiones.

2- Cuando no se conoce las dimensiones b , h y A_s de las secciones.

Ambos casos parten de lo siguiente:

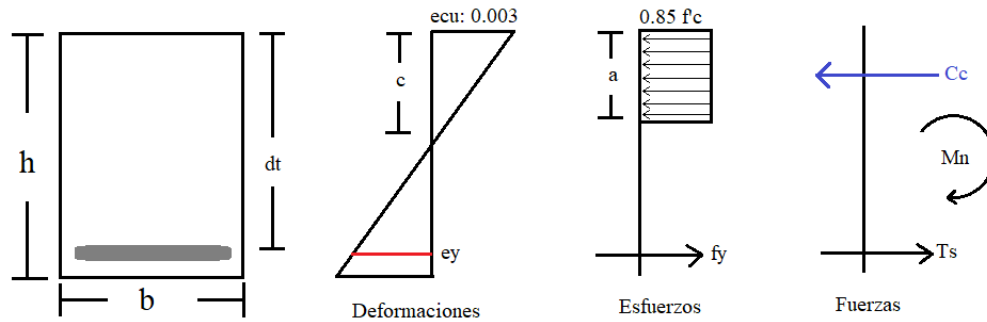


Figura No.1: Diagrama de deformación, esfuerzo y fuerzas.

Para obtener la cuantía requerida para una sección de viga rectangular se debe que asumir que el acero que estará a tracción está en fluencia, por lo tanto para iniciar se procede hacer sumatorias de fuerzas, donde se tiene la resultante del concreto a la compresión y la resultante del acero a tracción $\sum f_x = -C_c + T_s = 0$ de tal forma se establece que :

$$T_s = C_c$$

$$C_c = 0.85 * f_c * a * b = A_s * f_y$$

$$a = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f_c * b}$$

Al implementar sumatoria de momentos se tiene:

$$\sum M_{C_c} = +T_s * \left(dt - \left(\frac{a}{2} \right) \right) - M_n = 0$$

$$M_n = T_s * \left(dt - \left(\frac{a}{2} \right) \right)$$

Aplicando el factor de reducción de resistencia y sustituyendo en T_s

$$\phi M_n = \phi (A_s * f_y) * \left(dt - \left(\frac{a}{2} \right) \right)$$

Sustituimos a en ϕM_n

$$A_s = \rho * b * d$$

$$\phi M_n = M_u = \phi * b^2 * \rho * f_y * \left(1 - 0.59 * \frac{\rho * f_y}{f_c}\right)$$

$$K = \frac{M_u}{b * d^2} = \phi * \rho * f_y * \left(1 - 0.59 * \frac{\rho * f_y}{f_c}\right)$$

Despejar la cuantía:

$$\rho = \frac{0.85 * f_c}{f_y} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K}{0.85 * f_c * \phi}}\right)$$

Nota:

- Usar las combinaciones del título B.
- Los diseños de las vigas, tienen que tener una deformación unitaria mayor que 0.005 para que fallen de manera dúctil.

3- Enunciado

Una viga rectangular reforzada a tensión que está a la intemperie debe diseñarse para soportar una carga muerta de 22kN/m más el propio peso, y una carga viva de servicio de 18 kN/m con una luz simple de 6 metros. La resistencia de los materiales son $f_y = 420$ MPa, módulo de elasticidad de 200 GPa, deformación del acero de 0.00206 y $f'_c = 28$ MPa, para el acero y concreto respectivamente. La altura total de la viga no debe exceder 50 cm. Calcule el ancho se necesita para la viga y el acero a tensión exigido según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.



Figura No.2: Viga simplemente apoyada - Corte transversal.

4- Desarrollo

4.1- Datos de entrada

Ingresar la respectiva longitud del del elemento.

l1 = 6; % Longitud Viga No.1 [m]

4.2- Cargas aplicadas sin P.P

Carga muerta:

```
DL =22e3; % Carga muerta [N/m]
```

Carga viva:

```
LL =18e3; % Carga viva [N/m]
```

4.3- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada una de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

- Resistencia específica a la compresión.

```
fc = 28e6; % [Pa]
```

- Deformación máxima de concreto a compresión.

```
ecu = 0.003;
```

- Resistencia específica a la fluencia.

```
fy = 420e6; % [Pa]
```

- Módulo de elasticidad del acero.

```
Es = 200e9; % [Pa]
```

- Deformación del acero.

```
ey= 0.00206;
```

- Peso unitario del concreto.

```
y_c =24000; % [N/m^3] Peso unitario del concreto.
```

4.4- Cálculo de β_1

Para el cálculo de β_1 se determinar de acuerdo al f'_c al cual hace referencia a la resistencia del concreto a compresión. El capítulo C.10.2.7.3 del reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 que para f'_c entre 17 y 28 MPa, en factor β_1 se debe tomar como 0,85. Para f'_c superior a 28 MPa, β_1 se debe disminuir en forma lineal a razón de 0.05 por cada 7 MPa de aumento sobre 28 MPa, sin embargo, β_1 no debe ser menor de 0,65.

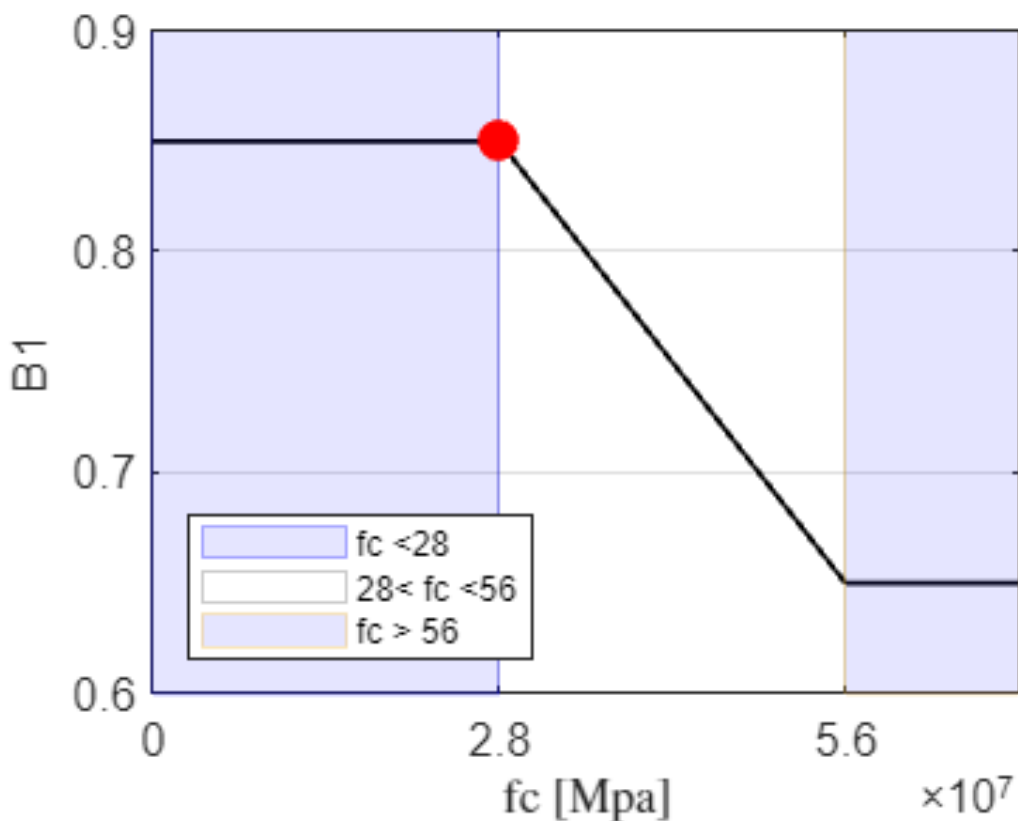
- Cuando $f'_c < 28$ MPa entonces $\beta_1 = 0.85$
- Cuando $28 \text{ MPa} < f'_c < 56 \text{ MPa}$ entonces $\beta_1 = 0.85 - 0.05 * \frac{(f'_c - 28)}{7}$
- Cuando $f'_c > 56$ MPa $\beta_1 = 0.65$

```
flag_2=true;  
if fc <= 28e6
```

```

    bt1 = .85;
elseif fc < 56e6
    bt1 = .85-.05*(fc/1e6-28)/7;
else
    bt1 = 0.65;
end
if flag_2 == true
ves_2=[0 28e6 56e6 70e6];
aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:70e6];
    if fc > ves_2(end)
        ves_2=[0 28e6 56e6 fc];
        aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:fc];
    end
vfi_2=[.85 .85 .65 .65];
plot(ves_2,vfi_2,'color',[ 0 0 0],'linewidth',1), grid on, hold on
f1_2 = fill([0 28e6 28e6 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1]);
f2_2 = fill([56e6 ves_2(end) ves_2(end) 56e6],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1]);
ft_2 = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves_2(end) .6 .90])
plot(fc,bt1,'r','marker','o','markersize',8,'MarkerFaceColor','r');
set(gca,'XTick',aa_2)
ylabel('B1','fontsize',10)
xlabel('fc [Mpa]','fontsize',10,'interpreter','latex')
legend([f1_2 ft_2 f2_2],{'fc <28','28< fc <56','fc > 56'},'fontsize',7,'location','southwest')
end

```



```

sprintf('Valor de B1 es de: %0.5g ',bt1)

```

```
ans =
'Valor de B1 es de: 0.85 '
```

4.5- Recubrimiento

En este caso se debe verificar en la estructura o en las memorias de cálculo que tipo de recubrimiento es la que tiene el elemento. Seguidamente seleccione que longitud tiene según el capítulo C.7.7 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

```
re = 50*0.001;           % [mm]
sprintf('El recubrimiento es de: %0.5g [m]',re)
```

```
ans =
'El recubrimiento es de: 0.05 [m]'
```

4.6- Dimensionamiento

4.6.1- Altura de viga

Nota: Lea y seleccione adecuadamente la tabla según sea la situación en la cual está la estructura, de lo contrario si cuenta ya con unos datos iniciales que son otorgados por un plano arquitectónico debe seleccionar "NO Dat. Arqu."

Tabla C.9.5 (a) Alturas de vigas no prees forzadas donde los elementos NO soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes. (Pag. C-132 NSR-10).

	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que NO soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{l}{20}$	$\frac{l}{24}$	$\frac{l}{28}$	$\frac{l}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{18.5}$	$\frac{l}{21}$	$\frac{l}{8}$

Tabla C.9.5 Altura de vigas (Tomada del capítulo C NSR-10).

Tabla CR.9.5 Altura mínima recomendada para vigas no prees forzadas que soporten particiones frágiles susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes, a menos que se calculen las deflexiones. Elementos donde **SI** soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones (Pag. C-132 NSR-10).

	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{\ell}{14}$	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{19}$	$\frac{\ell}{7}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{\ell}{11}$	$\frac{\ell}{12}$	$\frac{\ell}{14}$	$\frac{\ell}{5}$

Tabla CR.9.5 Altura de vigas (Tomada del capítulo C NSR-10).

Selección de tabla

```

Tab = 2;

if Tab <= 0
    disp('==== Contiene datos arquitectónicos =====')

elseif (Tab > 0) && (Tab < 2)
    h1 = 11/16;
    sprintf('Según la Tabla C.9.5 (a) tiene una altura de: %0.5g [m]',h1)
else
    h1 = 11/11;
    sprintf('Según la Tabla CR.9.5 tiene una altura de: %0.5g [m]',h1)
end

```

```

ans =
'Según la Tabla CR.9.5 tiene una altura de: 0.54545 [m]'

```

Sección definitiva según la NSR-10 o la altura dada en el plano arquitectónico

Nota: Se recomienda aproximar la dimensión antes calculada o la otorgada, de manera que sean cerradas.

```

h = 0.6; % Altura [m]

```

4.6.2- Dimensión base de viga

Según el numeral C.21.5.1.3 de la NSR-10 el ancho del elemento b no debe ser menor que el valor mayor entre $0.30h$ y 250 mm.

```

if Tab <= 0
    disp('==== Contiene datos arquitectónicos ===== ')

else
    b1 = 0.3*h;
    if b1 >= 0.25
        bf = b1;
        sprintf('Dimensión de la base [Según C.21.5.1.3] es de: %0.5g [m]',bf)
    else
        bf = 0.25;
        sprintf('Dimensión de la base [Según C.21.5.1.3] es de: %0.5g [m]',bf)
    end
end

```

```
end
```

```
ans =  
'Dimensión de la base [Según C.21.5.1.3] es de: 0.25 [m]'
```

Sección definitiva según la NSR-10 o las dimensiones dadas en el plano arquitectónico

Nota: Se recomienda aproximar la dimensión antes calculada o la otorgada, de manera que sea cerradas.

```
b = 0.3; % Base [m]
```

4.6.3- Dimensionamiento final

```
unid = sprintf('metros');  
Parte = {' Base ' ; ' Altura '};  
Dimension = [b;h];  
unid = [unid;unid];  
T = table(Parte,Dimension,unid)
```

T = 2x3 table

	Parte	Dimension	unid
1	' Base '	0.3	metros
2	' Altura '	0.6	metros

4.7- Determinar que la luz libre sea la correcta

Según el numeral C.21.5.1.2 la luz libre del elemento l_n no debe ser menor que cuatro veces su altura útil.

```
ln = 4*h; % [m]  
  
if l1 >= ln  
    disp('!!!!!!! Si es la longitud correcta !!!!!!!')  
  
    sprintf('Longitud mínima para esta viga es de: %0.5g [m]',ln)  
    sprintf('Y se tiene una longitud de: %0.5g [m]',l1)  
else  
    disp('; No es la longitud correcta !')  
    sprintf('Por que la longitud mínima es de: %0.5g [m]',ln)  
    sprintf('Y se tiene una longitud de: %0.5g [m]',l1)  
end
```

```
!!!!!!! Si es la longitud correcta !!!!!!!  
ans =  
'Longitud mínima para esta viga es de: 2.4 [m]'  
ans =  
'Y se tiene una longitud de: 6 [m]'
```

4.8- Cálculo del P.P (Peso propio)

Determinamos el peso propio del elemento teniendo en cuenta el peso unitario del concreto reforzado que es de 24 kN/m³ por lo tanto se tiene:

$$P_p = \gamma_c * b * h$$

```
pp = y_c*(b*h); % Peso propio de la viga [N/m]
```

```
sprintf('El peso propio del elemento es de: %0.5g [N/m]',pp)
```

```
ans =  
'El peso propio del elemento es de: 4320 [N/m]'
```

4.9- Cálculo de carga distribuida

Para este caso se debe tener en cuenta las combinaciones de carga según el numeral B.2.4.2 de la NSR-10 donde nos hace referencia a que el diseño de estructuras, sus componentes y cimentaciones debe hacerse de tal forma que sus resistencias de diseño igualen o excedan los efectos producidos por las cargas mayoradas en las combinaciones presentadas.

$$1.4(D + Pp)$$

$$1.2(D + Pp) + 1.6L$$

$$1.2(D + Pp) + 1.0L$$

```
Wu1 = (1.4*(DL+pp)); % [N/m]  
Wu2 = (1.2*(DL+pp))+(1.6*LL); % [N/m]  
Wu3 = (1.2*(DL+pp))+(1.0*LL); % [N/m]  
Wu_max = [Wu1 Wu2 Wu3];  
Wu = max(Wu_max);  
sprintf('Se tiene una carga distribuida máxima de: %0.5g [N/m]',Wu)
```

```
ans =  
'Se tiene una carga distribuida máxima de: 60384 [N/m]'
```

4.10- Cálculo de momentos

Un momento es una fuerza de rotación que ocurre cuando esta es aplicada de manera perpendicularmente a un punto a una distancia dada, en consecuencia, para este caso las vigas rectangulares simplemente apoyadas producen momentos flectores o los llamados momentos de flexión, para lo dicho anteriormente se tiene la siguiente fórmula para determinar el respectivo momento:

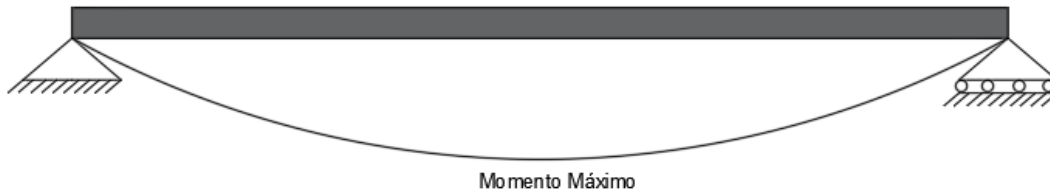


Figura No.3: Viga simplemente apoyada - Momento.

$$M_{\max} = \frac{Wu * L^2}{8}$$

```
Mu_1 = (Wu*(l1^2))/8; % [N/m] Momento Viga simplemente apoyada.  
sprintf('El momento máximo para esta viga es de: %0.5g [N*m]',Mu_1)
```

```
ans =  
'El momento máximo para esta viga es de: 2.7173e+05 [N*m]'
```


4.11- Determinar la cuantía de diseño

Inicialmente necesitamos saber cuál es la cuantía requerida para este elemento, por lo que para poder determinarla se necesita contar con el valor de la distancia d , pero por lo cual no se sabe que valor realmente es porque no se sabe o se tiene el acero que ira en esa zona, tal es el caso, debemos asumir un valor de d para poder seguir, con respecto a lo anterior se asume que: $d = 0.90 * h$

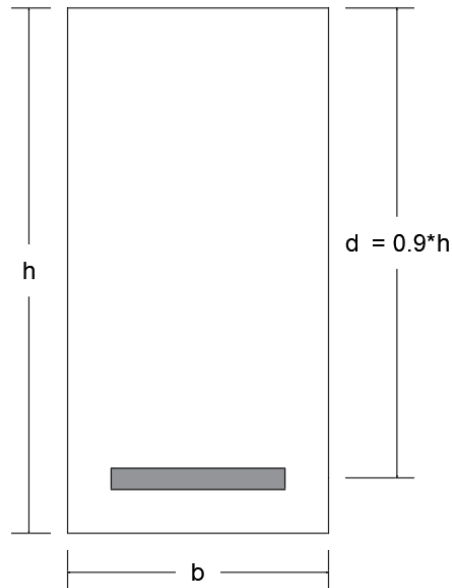


Figura No.4: Corte transversal - Viga.

```
dt_1 = 0.9*h;  
sprintf('d: %0.5g [m]',dt_1)
```

```
ans =  
'd: 0.54 [m]'
```

Determinar el valor de $K = \frac{Mu}{b * d^2}$

```
k_1 = (Mu_1)/(b*(dt_1^2));  
sprintf('K: %0.5g [N/m^2]',k_1)
```

```
ans =  
'K: 3.1062e+06 [N/m^2]'
```

Para el valor de cálculo del factor de reducción de resistencia $\theta = 0.90$ ya que se asume que está en fluencia.

```
fi_1 = 0.9 % se asume que esta en fluencia.
```

```
fi_1 =  
0.9
```

Cálculo de la cuantía requerida

$$\rho_{\text{req}} = \frac{0.85 * f'c}{f_y} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * K}{0.85 * f'c * \phi}} \right)$$

```
ro_req1 = ((0.85*fc)/(fy))*(1-(1-((2*k_1)/(0.85*fc*fi_1)))^0.5);
sprintf('Cuantía es de: %0.5g ',ro_req1)
```

```
ans =
'Cuantía es de: 0.0089193 '
```

Cuantía mínima de diseño

Según lo establecido en el numeral C.10.5 de la NSR-10 en toda sección de un elemento sometido a flexión cuando por análisis se requiera refuerzo de tracción la cuantía no debe ser menor que el menor obtenido por medio de:

$$\rho_{\min} = \frac{0.25 \sqrt{f'c}}{f_y}$$

```
ro_min1 = ((0.25*(fc/1e6)^0.5)/(fy/1e6));
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min1)
```

```
ans =
'Cuantía mínima es de: 0.0031497 '
```

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

```
ro_min2 = (1.4/(fy/1e6));
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min2)
```

```
ans =
'Cuantía mínima es de: 0.0033333 '
```

```
ro = [ro_req1 ro_min1 ro_min2 ];
ro_req = max(ro);
```

Cuantía de diseño

Por lo tanto, ya evaluando con la cuantía requerida y la mínima se tiene finalmente que la cuantía para el diseño de esta sección de viga es de:

```
sprintf('Cuantía requerida es de: %0.5g ',ro_req)
```

```
ans =
'Cuantía requerida es de: 0.0089193 '
```

Cálculo del área de acero requerido

$$A_{S_{req}} = \rho_{req} * b * d$$

```
As_req = ro_req*b*dt_1*100^2; % [cm^2] Área de acero requerido.
sprintf('Área de acero requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req)
```

```
ans =
'Área de acero requerida es de: 14.449 [cm^2]'
```

4.12- Acero a utilizar

De acuerdo con lo establecido anteriormente, tenga en cuenta el área del acero que requiere este elemento, para que así pueda determinar que barra utilizar de acuerdo con la tabla C.3.5.3.2 de la NSR-10 donde nos indica el No. de las barras en octavos de pulgada del diámetro de referencia.

Designación de la barra (véase la nota)	Diámetro de referencia en pulgadas	DIMENSIONES NOMINALES			Masa kg/m
		Diámetro mm	Area mm ²	Perímetro mm	
No. 2	1/4"	6.4	32	20.0	0.250
No. 3	3/8"	9.5	71	30.0	0.560
No. 4	1/2"	12.7	129	40.0	0.994
No. 5	5/8"	15.9	199	50.0	1.552
No. 6	3/4"	19.1	284	60.0	2.235
No. 7	7/8"	22.2	387	70.0	3.042
No. 8	1"	25.4	510	80.0	3.973
No. 9	1-1/8"	28.7	645	90.0	5.060
No. 10	1-1/4"	32.3	819	101.3	6.404
No. 11	1-3/8"	35.8	1006	112.5	7.907
No. 14	1-3/4"	43.0	1452	135.1	11.380
No. 18	2-1/4"	57.3	2581	180.1	20.240

Tabla: Dimensiones nominales de las barras de refuerzo según NSR-10

Seleccione que No. de barra que desea utilizar

```
bar = [510/1000000]; % Número de barra a utilizar.
```

Seleccione el No. de la barra para el diámetro

```
D_bar = 25.4*0.001; % Diametro del acero asumido.
```

Digite la cantidad de barras que desea implementar

```
N_bar = 3; % Cantidad de barras a utilizar.
```

Área del acero es de:

```
As = bar*N_bar*100^2; % [cm^2] Área de acero asumida.
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req)
```

```
ans =
'Área requerida es de: 14.449 [cm^2]'
```

```
sprintf('Se tiene un As: %0.5g [cm^2]',As)
```

```
ans =
'Se tiene un As: 15.3 [cm^2]'
```

```
if As_req <= As
    disp('!!!!!!! Si cumple con el área requerida !!!!!!!')
else
    disp('!!!!!!! No cumple con el área requerida !!!!!!!')
end
```

```
!!!!!!! Si cumple con el área requerida !!!!!!!
```

4.13- Barra para estribos

Seleccione el No. de barra que se estará utilizando para el refuerzo transversal según el numeral C.7.11 de la NSR-10 donde nos dice que el refuerzo a compresión en vigas debe confinarse con estribos que cumplan las limitaciones de tamaño y esparcimiento de C.7.10.5 que establece que todas las barras no prees forzadas deben estar confinadas por medio de estribos transversales de por lo menos diámetro No.3 (3/8") ó 10M (10mm), para barras longitudinales No.10 (1-1/4") ó 32M (32mm) o menores; diámetro No.4 (1/2") ó 12M (12mm) como mínimo, para barras longitudinales No.11 (1-3/8") ó 36M (36mm), No. 14 (1-3/4") ó 45M (45mm) y No.18 (2-1/4") ó 55M (55mm) y paquetes de barras. En estructuras de capacidad de disipación de energía mínima (DMI) se permite estribos No.2 (2/4") ó 6M (6mm).

```
D_est = 9.5*0.001;          % Diametro del acero.
```

4.14- Distancia mínima entre barras paralelas

Según el numeral C.7.6.1 de la NSR-10 nos dice que la distancia libre mínima entre barras paralelas de una capa debe ser d_b , pero no debe ser menos de 25 mm.

```
if D_bar*100 >= 2.5
    Sb = D_bar;
    sprintf('Distancia mínima entre barras paralelas: %0.5g [m]',Sb)
else
    Sb = 2.5*0.01;
    sprintf('Distancia mínima entre barras paralelas: %0.5g [m]',Sb)
end
```

```
ans =
'Distancia mínima entre barras paralelas: 0.0254 [m]'
```

4.15- Chequeo de la base mínima

Para esta parte se debe determinar si la suma del recubrimiento, diámetro del estribo, diámetro de las barras longitudinales y los esparcimientos según la NSR-10 pueden encajar en la dimensión de la base del elemento.


```
disp('; NO cumple con la distancia requerida !')
end
```

```
; Si cumple con la distancia requerida !
```

4.16- Recalculo de los datos

4.16.1- Recalculo de valor de d exacto

Con los valores de recubrimiento, numero de barras y espaciamentos, ya se puede determinar la distancia d definitiva.

$$dt = h - \left(re + D_{est} + \left(\frac{D_{tl}}{2} \right) \right)$$

```
clear dt_1, clear As

dt_1 = h-(re+(D_est)+(D_bar/2));      % [m] Distancia desde el borde superior al cent.
sprintf('Se tiene una distancia d: %0.5g [m]',dt_1)
```

```
ans =
'Se tiene una distancia d: 0.5278 [m]'
```

```
As = N_bar*bar*100^2;
```

4.16.2- Recalculo de la cuantía de diseño

$$\rho_{sum} = \frac{As}{b * d}$$

```
ro_asum = (As/100^2)/(b*dt_1);
sprintf('Se tiene una cuantía de: %0.5g ',ro_asum)
```

```
ans =
'Se tiene una cuantía de: 0.0096628 '
```

```
if ro_asum >= ro_req
    sprintf('Si cumple con lo requerido que es de: %0.5g ',ro_req)
else
    sprintf('No cumple con lo requerido que es de: %0.5g ',ro_req)
end
```

```
ans =
'Si cumple con lo requerido que es de: 0.0089193 '
```

4.17- Comportamiento del elemento

Determinar deformación del acero a tracción. Tener en cuenta que para poder desarrollar este proceso debe implementarse relación de triángulos.

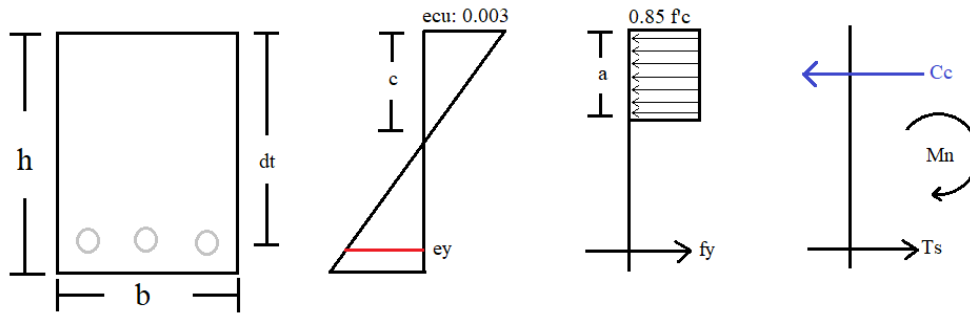


Figura No.6: Diagrama de deformación, esfuerzo y fuerzas.

4.17.1- Determinar valor c

Por lo tanto se tiene : $\frac{0.003}{c} = \frac{\epsilon_s}{d-c}$ al despejar la variable $\epsilon_s = \frac{0.003(d-c)}{c}$ como se evidencia, no se tiene el valor de c , por lo que se tiene que determinar. De manera que para esta situación se toma de forma equilibrada $C_c = T_s$.

$$c = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f_c * \beta_1 * b}$$

```
c1 = ((As/100^2)*fy)/(0.85*fc*bt1*b); % [m]
sprintf('c: %0.5g [m]',c1)
```

```
ans =
'c: 0.10588 [m]'
```

4.17.2- Deformación del acero ϵ_s

$$\epsilon_s = \frac{0.003(d-c)}{c}$$

```
es1 = ecu*((dt_1-c1)/c1);
sprintf('Deformación del acero es de: %0.5g ',es1)
```

```
ans =
'Deformación del acero es de: 0.011954 '
```

```
if es1 > ey
    disp('; Ácero está en fluencia !')
else
    disp('; Ácero NO está en fluencia !')
end
```

```
; Ácero está en fluencia !
```

4.17.3- Fuerza del acero a tracción

$$T_s = A_{s_{tot}} * f_y$$

```
Ts1 = (As/100^2)*fy; % [N] Fuerza del acero.
```

```
sprintf('Ts: %0.5g [N]',Ts1)
```

```
ans =
'Ts: 6.426e+05 [N]'
```

4.17.4 Valor de a

$$a = \beta_1 * c$$

```
a1 = bt1*c1; % [m]
sprintf('a: %0.5g [m]',a1)
```

```
ans =
'a: 0.09 [m]'
```

4.18- Determinar el momento requerido (Mn)

Se efectúan sumatoria de momentos en el punto Cc (Punto rojo en la gráfica) , por lo que se tiene:

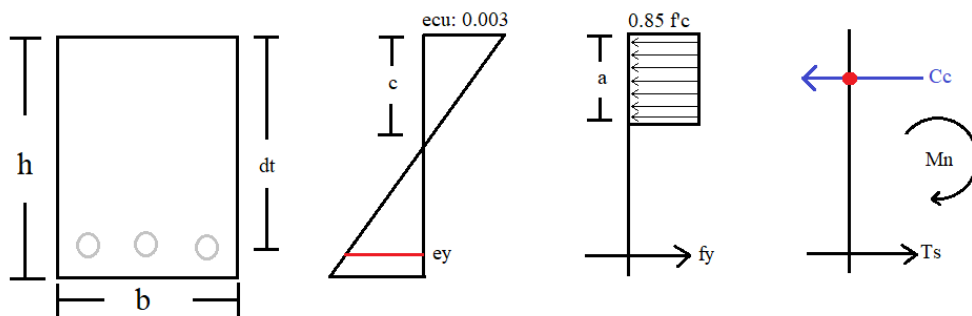


Figura No.7: Diagrama para sumatoria de momentos.

$$\sum M_{Cc} = +Ts * \left(dt - \left(\frac{a}{2} \right) \right) - Mn$$

```
Mn1 = Ts1*(dt_1-(a1/2)); % [N-m]
sprintf('Mn: %0.5g [N-m]',Mn1)
```

```
ans =
'Mn: 3.1025e+05 [N-m]'
```

4.19- Cálculo del factor de reducción de resistencia ϕ

La NSR-10 menciona que la resistencia de diseño de un elemento es la resistencia de acuerdo con las condiciones establecidas en el título C, multiplicada por un factor de reducción de resistencia ϕ que siempre es menor que la unidad.

Los propósitos del factor de reducción de resistencia ϕ son:

- Tener en cuenta la probabilidad de existencia de elementos con una resistencia baja debida a variaciones en la resistencia de los materiales y las dimensiones.
- Tener en cuenta inexactitudes en las ecuaciones de diseño.

- Reflejar el grado de ductilidad y la confiabilidad requerida para el elemento bajo efectos de la carga bajo consideraciones.
- Reflejar la importancia del elemento en la estructura.

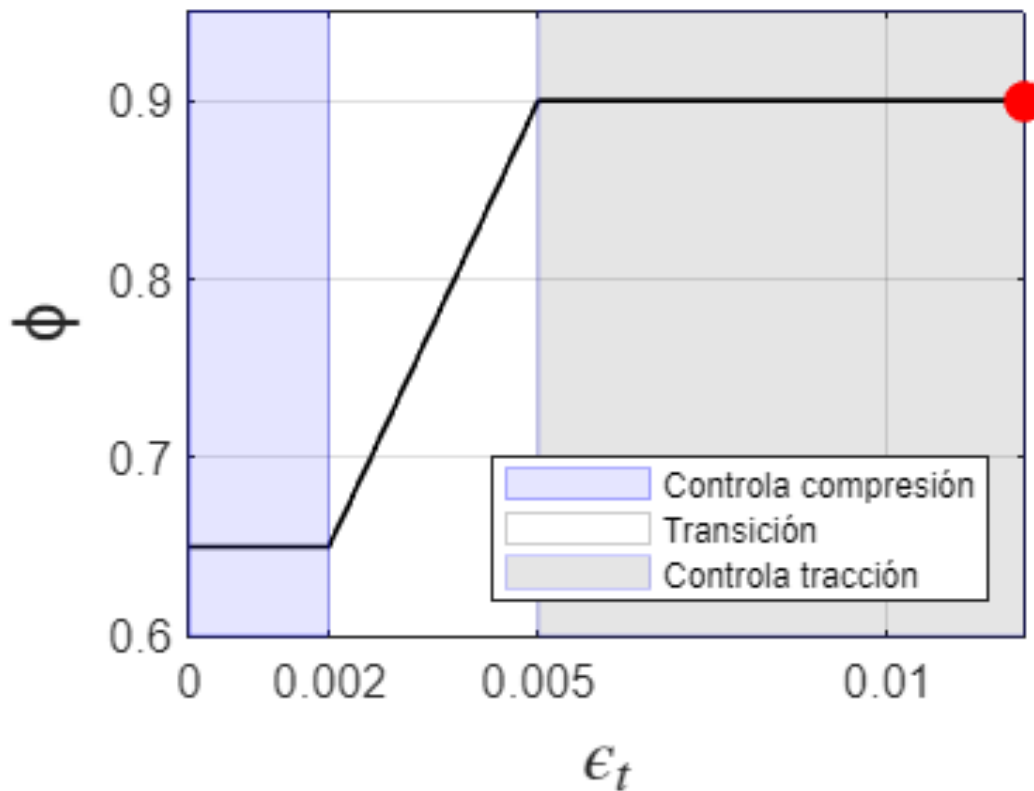
```

if es1 <= .002
    fi = .65;
elseif es1 <= .005
    fi = .65+(es1-.002)*(250/3);
else
    fi = 0.9;
end

close all
flag=true;

if flag == true
ves=[0 .002 .005 .01];
aa =[0 .002 .005:.005:.02];
    if es1 > ves(end)
        ves=[0 .002 .005 es1];
        aa =[0 .002 .005:.005:es1];
    end
vfi=[.65 .65 .9 .9];
plot(ves,vfi,'color',[ 0 0 0],'linewidth',1), grid on, hold on
f1 = fill([0 .002 .002 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1],7);
f2 = fill([.005 ves(end) ves(end) .005],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 0],'EdgeColor',[0 0 0],7);
ft = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves(end) .6 .95])
plot(es1,fi,'r','marker','o','markersize',8,'MarkerFaceColor','r')
set(gca,'XTick',aa)
ylabel('\phi','fontsize',15)
xlabel('\epsilon_t','fontsize',15,'interpreter','latex')
legend([f1 ft f2],{'Controla compresión','Transición','Controla tracción'],'fontsize',7)
end

```



```
sprintf('Valor de  $\phi$  es de: %0.5g ',fi)
```

```
ans =
'Valor de  $\phi$  es de: 0.9 '
```

4.20- Momento nominal máximo requerido (ϕM_n)

$$\phi M_n = f_i * M_n$$

```
fi_Mn1 = fi*Mn1; % [N-m]
sprintf('  $\phi M_n$ : %0.5g [N-m]',fi_Mn1)
```

```
ans =
' $\phi M_n$ : 2.7922e+05 [N-m]'
```

4.21- Chequeo resistencia

```
if fi_Mn1 >= Mu_1
    disp('!!!!!! La estructura SI resiste !!!!!!!')
else
    disp('!!!!!! La estructura NO resiste !!!!!!!')
end
```

```
!!!!!! La estructura SI resiste !!!!!!!
```

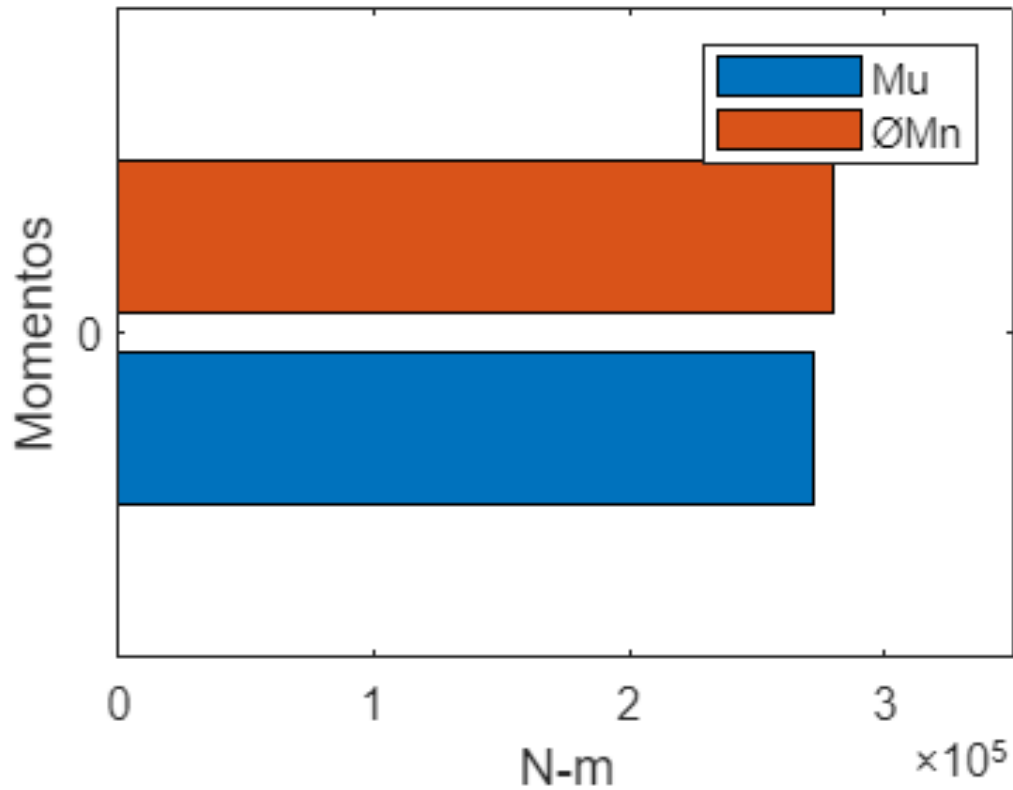
```
close all
```

```

x = [0];
y = [Mu_1 fi_Mn1
     ];
barh(x,y)
legend ( 'Mu', 'ØMn')
title('Relación entre momento nominal y de diseño')
xlim([0 350000])
ylim([-0.486 0.486])
xlabel('N-m')
ylabel('Momentos')

```

Relación entre momento nominal y de diseño



```

ISE = (Mu_1/fi_Mn1);
sprintf('ISE: %0.5g [Porcentaje] ',ISE*100)

```

```

ans =
'ISE: 97.316 [Porcentaje] '

```

4.22- Tabla resumen

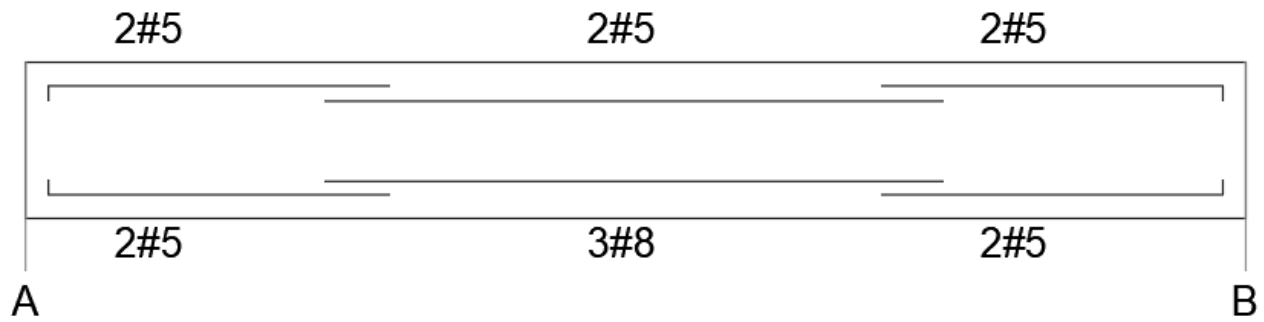


Figura No.8: Despiece de acero longitudinal.

```

Momentos = [Mu_1];
K = [k_1];
Ro_asu = [ro_req];
Area_cm2 = [As];
No_Barra = [bar];
Aceros = [N_bar];
Defor = [es1];
fi_Mn = [fi_Mn1];
T = table(Momentos,K,Ro_asu,Area_cm2,No_Barra,Aceros,Defor,fi_Mn)

```

T = 1x8 table

	Momentos	K	Ro_asu	Area_cm2	No_Barra	Aceros	Defor
1	271728	3.1062e+06	0.0089193	15.3	0.00051	3	0.011954

5- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Ejemplo No.2: Diseño de viga simplemente apoyada

1- Introducción

La guía didáctica presenta los fundamentos matemáticos y criterios necesarios para el diseño de vigas rectangulares y así como la interpretación del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 debido a que las grandes obras de infraestructuras, edificaciones y servicios se construyen que se construyen son en concreto reforzado.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de Contenido

Ejemplo No.2: Diseño de viga simplemente apoyada.....	1
1- Introducción.....	1
2- Enunciado.....	1
3- Desarrollo.....	2
3.1- Datos de entrada.....	2
3.2- Cargas aplicadas sin P.P.....	2
3.3- Propiedades de los materiales.....	2
3.4- Cálculo de	3
3.5- Recubrimiento.....	4
3.6- Dimensionamiento.....	4
3.6.1- Altura de viga.....	4
3.6.2- Dimensión base de viga.....	6
3.6.3- Dimensionamiento final.....	6
3.7- Determinar que la luz libre sea la correcta.....	7
3.8- Cálculo del P.P (Peso propio).....	7
3.9- Cálculo de carga distribuida.....	7
3.10- Cálculo de momentos.....	8
3.11- Determinar la cuantía de diseño.....	8
3.12- Acero a utilizar.....	10
3.13- Barra para estribos.....	11
3.14- Distancia mínima entre barras paralelas.....	12
3.15- Chequeo de la base mínima.....	12
3.16- Recalculo de los Datos.....	13
3.16.1- Recalculo de valor de d exacto.....	13
3.16.2- Recalculo de la cuantía de diseño.....	15
3.17- Comportamiento del elemento.....	15
3.17.1- Determinar valor C.....	16
3.17.2- Deformación del acero	16
3.17.3- Fuerza del acero a tracción.....	16
3.17.4 Valor de a.....	17
3.18- Determinar el momento requerido (Mn).....	17
3.19- Cálculo del factor de reducción de resistencia.....	17
3.20- Momento nominal máximo requerido (Mn).....	19
3.21- Chequeo resistencia.....	19
3.22- Tabla resumen.....	20
4- Bibliografía.....	21

2- Enunciado

Una viga rectangular reforzada a tensión que no está expuesta a la intemperie ni en contacto con el suelo debe diseñarse para soportar una carga muerta de 30kN/m más el propio peso, y una carga viva de servicio de 20 kN/m con una luz simple de 5 metros. La resistencia de los materiales son $f_y = 420$ MPa, módulo de elasticidad de 200 GPa, deformación del acero de 0.00206 y $f'_c = 21$ MPa, para el acero y concreto respectivamente. La altura total de la viga no debe exceder 50 cm. Calcule el ancho se necesita para la viga y el acero a tensión exigido según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.



Figura No.1: Viga simplemente apoyada - Corte transversal.

3- Desarrollo

3.1- Datos de entrada

Ingresar la respectiva longitud del del elemento.

$l_1 = 5;$ % Longitud Viga N°1 [m]

3.2- Cargas aplicadas sin P.P

Carga muerta:

$DL = 30e3;$ % Carga Muerta [N/m]

Carga viva:

$LL = 20e3;$ % Carga Viva [N/m]

3.3- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada una de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

- Resistencia específica a la compresión.

$f_c = 21e6;$ % [Pa]

- Deformación máxima de concreto a compresión.

$\epsilon_{cu} = 0.003;$

- Resistencia específica a la fluencia.

```
fy = 420e6; % [Pa]
```

- Módulo de elasticidad del acero.

```
Es = 200e9; % [Pa]
```

- Deformación del acero.

```
ey= 0.00206;
```

- Peso unitario del concreto.

```
y_c= 24000; % [N/m^3] Peso unitario del concreto.
```

3.4- Cálculo de β_1

Para el cálculo de β_1 se determina de acuerdo a f'_c al cual hace referencia a la resistencia del concreto a compresión. El capítulo C.10.2.7.3 del reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 que para f'_c entre 17 y 28 MPa, en factor β_1 se debe tomar como 0,85. Para f'_c superior a 28 MPa, β_1 se debe disminuir en forma lineal a razón de 0.05 por cada 7 MPa de aumento sobre 28 MPa, sin embargo, β_1 no debe ser menor de 0,65.

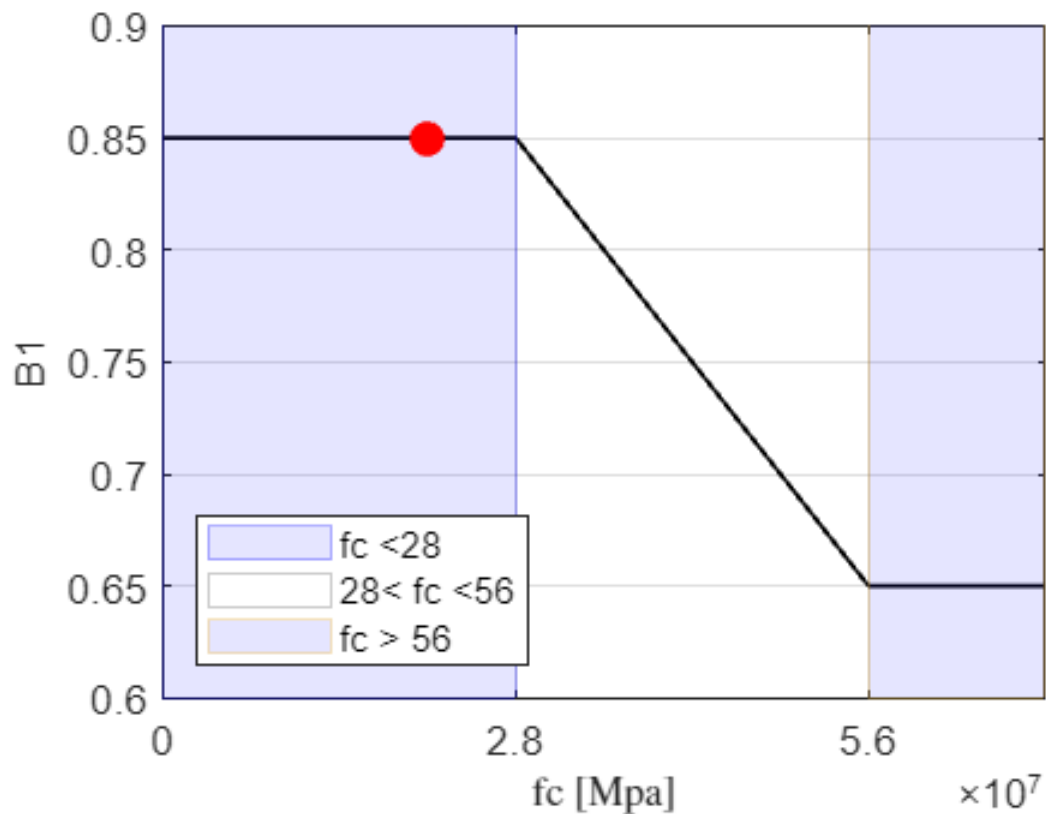
- Cuando $f'_c < 28$ MPa entonces $\beta_1 = 0.85$
- Cuando $28 \text{ MPa} < f'_c < 56 \text{ MPa}$ entonces $\beta_1 = 0.85 - 0.05 * \frac{(f'_c - 28)}{7}$
- Cuando $f'_c > 56$ MPa $\beta_1 = 0.65$

```
flag_2=true;
if fc <= 28e6
    bt1 = .85;
elseif fc < 56e6
    bt1 = .85-.05*(fc/1e6-28)/7;
else
    bt1 = 0.65;
end
if flag_2 == true
ves_2=[0 28e6 56e6 70e6];
aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:70e6];
    if fc > ves_2(end)
        ves_2=[0 28e6 56e6 fc];
        aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:fc];
    end
vfi_2=[.85 .85 .65 .65];
plot(ves_2,vfi_2,'color',[ 0 0 0],'linewidth',1), grid on, hold on
f1_2 = fill([0 28e6 28e6 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1]);
f2_2 = fill([56e6 ves_2(end) ves_2(end) 56e6],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1]);
ft_2 = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves_2(end) .6 .90])
plot(fc,bt1,'r','marker','o','markersize',8,'MarkerFaceColor','r');
```

```

set(gca,'XTick',aa_2)
ylabel('B1','fontsize',10)
xlabel('fc [Mpa]','fontsize',10,'interpreter','latex')
legend([f1_2 ft_2 f2_2],{'fc <28','28< fc <56','fc > 56'},'fontsize',9,'location','sou
end

```



```

sprintf('Valor de B1 es de: %0.5g ',bt1)

```

```

ans =
'Valor de B1 es de: 0.85 '

```

3.5- Recubrimiento

En este caso se debe verificar en la estructura o en las memorias de cálculo que tipo de recubrimiento es la que tiene el elemento. Seguidamente seleccione que longitud tiene según el capítulo C.7.7 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

```

re = 40*0.001; % [mm]
sprintf('El recubrimiento es de: %0.5g [m]',re)

```

```

ans =
'El recubrimiento es de: 0.04 [m]'

```

3.6- Dimensionamiento

3.6.1- Altura de viga

Nota: Lea y seleccione adecuadamente la tabla según sea la situación en la cual está la estructura, de lo contrario si cuenta ya con unos datos iniciales que son otorgados por un plano arquitectónico debe seleccionar "NO Dat. Arqu."

Tabla C.9.5 (a) Alturas de vigas no prees forzadas donde los elementos NO soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes. (Pag. C-132 NSR-10).

	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que NO soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{l}{20}$	$\frac{l}{24}$	$\frac{l}{28}$	$\frac{l}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{18.5}$	$\frac{l}{21}$	$\frac{l}{8}$

Tabla C.9.5 Altura de vigas (Tomada del capítulo C NSR-10)

Tabla CR.9.5 Altura mínima recomendada para vigas no prees forzadas que soporten particiones frágiles susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes, a menos que se calculen las deflexiones. Elementos donde **SI** soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones (Pag. C-132 NSR-10).

	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{l}{14}$	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{19}$	$\frac{l}{7}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{l}{11}$	$\frac{l}{12}$	$\frac{l}{14}$	$\frac{l}{5}$

Tabla CR.9.5 Altura de vigas (Tomada del capítulo C NSR-10)

Selección de tabla

```

Tab = 2;

if Tab <= 0
    disp('==== Contiene datos arquitectónicos ==== ')

elseif (Tab > 0) && (Tab < 2)
    h1 = l1/16;
    sprintf('Según la Tabla C.9.5 (a) tiene una altura de: %0.5g [m]',h1)

```

```

else
    h1 = l1/l1;
    sprintf('Según la Tabla CR.9.5 tiene una altura de: %0.5g [m]',h1)
end

```

```

ans =
'Según la Tabla CR.9.5 tiene una altura de: 0.45455 [m]'

```

Sección definitiva según la NSR-10 o la altura dada en el plano arquitectónico

Nota: Se recomienda aproximar la dimensión antes calculada o la otorgada, de manera que sean cerradas.

```

h = 0.5; % Altura [m]

```

3.6.2- Dimensión base de viga

Según el numeral C.21.5.1.3 de la NSR-10 el ancho del elemento b no debe ser menor que el valor mayor entre $0.30h$ y 250 mm.

```

if Tab <= 0
    disp('==== Contiene datos arquitectónicos ===== ')
else
    b1 = 0.3*h;
    if b1 >= 0.25
        bf = b1;
        sprintf('Dimensión de la base [Según C.21.5.1.3] es de: %0.5g [m]',bf)
    else
        bf = 0.25;
        sprintf('Dimensión de la base [Según C.21.5.1.3] es de: %0.5g [m]',bf)
    end
end

```

```

ans =
'Dimensión de la base [Según C.21.5.1.3] es de: 0.25 [m]'

```

Sección definitiva según la NSR-10 o las dimensiones dadas en el plano arquitectónico

Nota: Se recomienda aproximar la dimensión antes calculada o la otorgada, de manera que sea cerradas.

```

b = 0.3; % Base [m]

```

3.6.3- Dimensionamiento final

```

unid = sprintf('metros');
Parte = {' Base ' ; ' Altura ' };
Dimension = [b;h];
unid = [unid;unid];
T = table(Parte,Dimension,unid)

```

T = 2x3 table

	Parte	Dimension	unid
1	' Base '	0.3	metros
2	' Altura '	0.5	metros

3.7- Determinar que la luz libre sea la correcta

Según el numeral C.21.5.1.2 la luz libre del elemento l_n no debe ser menor que cuatro veces su altura útil.

```
ln = 4*h; % [m]

if l1 >= ln
    disp('!!!!!!! Si es la longitud correcta !!!!!!!')

    sprintf('Longitud mínima para esta viga es de: %0.5g [m]',ln)
    sprintf('Y se tiene una longitud de: %0.5g [m]',l1)
else
    disp('; No es la longitud correcta !')
    sprintf('Por que la longitud mínima es de: %0.5g [m]',ln)
    sprintf('Y se tiene una longitud de: %0.5g [m]',l1)
end
```

```
!!!!!!! Si es la longitud correcta !!!!!!!
ans =
'Longitud mínima para esta viga es de: 2 [m]'
ans =
'Y se tiene una longitud de: 5 [m]'
```

3.8- Cálculo del P.P (Peso propio)

Determinamos el peso propio del elemento teniendo en cuenta el peso unitario del concreto reforzado que es de 24 kN/m^3 por lo tanto se tiene:

$$P_p = \gamma_c * b * h$$

```
pp = y_c*(b*h); % Peso propio de la viga [N/m]
sprintf('El peso propio del elemento es de: %0.5g [N/m]',pp)
```

```
ans =
'El peso propio del elemento es de: 3600 [N/m]'
```

3.9- Cálculo de carga distribuida

Para este caso se debe tener en cuenta las combinaciones de carga según el numeral B.2.4.2 de la NSR-10 donde nos hace referencia a que el diseño de estructuras, sus componentes y cimentaciones debe hacerse de tal forma que sus resistencias de diseño igualen o excedan los efectos producidos por las cargas mayoradas en las combinaciones presentadas.

$$1.4(D + P_p)$$

$$1.2(D + P_p) + 1.6L$$

$$1.2(D + P_p) + 1.0L$$

```
Wu1 = (1.4*(DL+pp)); % [N/m]
Wu2 = (1.2*(DL+pp))+(1.6*LL); % [N/m]
Wu3 = (1.2*(DL+pp))+(1.0*LL); % [N/m]
Wu_max = [Wu1 Wu2 Wu3];
Wu = max(Wu_max);
sprintf('Se tiene una carga distribuida máxima de: %0.5g [N/m]',Wu)
```

```
ans =  
'Se tiene una carga distribuida máxima de: 72320 [N/m]'
```

3.10- Cálculo de momentos

Un momento es una fuerza de rotación que ocurre cuando esta es aplicada de manera perpendicularmente a un punto a una distancia dada, en consecuencia, para este caso las vigas rectangulares simplemente apoyadas producen momentos flectores o los llamados momentos de flexión, para lo dicho anteriormente se tiene la siguiente fórmula para determinar el respectivo momento:



Figura No.2: Viga simplemente apoyada - Momento.

$$M_{\max} = \frac{W_u * L^2}{8}$$

```
Mu_1 = (Wu*(l1^2))/8; % [N/m] Momento Viga simplemente apoyada.  
sprintf('El momento máximo para esta viga es de: %0.5g [N*m]',Mu_1)
```

```
ans =  
'El momento máximo para esta viga es de: 2.26e+05 [N*m]'
```

3.11- Determinar la cuantía de diseño

Inicialmente necesitamos saber cuál es la cuantía requerida para este elemento, por lo que para poder determinarla se necesita contar con el valor de la distancia d , pero por lo cual no se sabe que valor realmente es porque no se sabe o se tiene el acero que ira en esa zona, tal es el caso debemos asumir un valor de d para poder seguir, con respecto a lo anterior se asume que: $d = 0.90 * h$

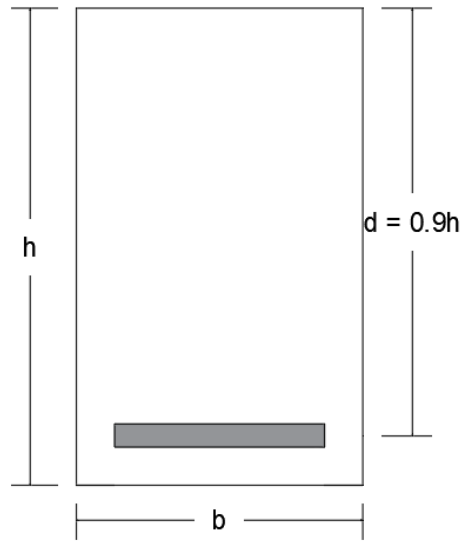


Figura No.3: Corte transversal - Viga.

```
dt_1 = 0.9*h;
sprintf('d: %0.5g [m]',dt_1)
```

```
ans =
'd: 0.45 [m]'
```

Determinar el valor de $K = \frac{Mu}{d * b^2}$

```
k_1 = (Mu_1)/(b*(dt_1^2));
sprintf('K: %0.5g [N/m^2]',k_1)
```

```
ans =
'K: 3.7202e+06 [N/m^2]'
```

Para el valor de cálculo del factor de reducción de resistencia $\phi = 0.90$ ya que se asume que está en fluencia.

```
fi_1 = 0.9 % Se asume que esta en fluencia.
```

```
fi_1 =
0.9
```

Cálculo de la cuantía requerida

$$\rho_{req} = \frac{0.85 * f'c}{fy} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * K}{0.85 * f'c * \phi}} \right)$$

```
ro_req1 = ((0.85*fc)/(fy))*(1-(1-((2*k_1)/(0.85*fc*fi_1)))^0.5);
sprintf('Cuantía es de: %0.5g ',ro_req1)
```

```
ans =
'Cuantía es de: 0.01136 '
```

Cuantía mínima de diseño

Según lo establecido en el numeral C.10.5 de la NSR-10 en toda sección de un elemento sometido a flexión cuando por análisis se requiera refuerzo de tracción la cuantía no debe ser menor que el menor obtenido por medio de:

$$\rho_{\min} = \frac{0.25 \sqrt{f'c}}{f_y}$$

```
ro_min1 = ((0.25*(fc^0.5))/(fy));
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min1)
```

```
ans =
'Cuantía mínima es de: 2.7277e-06 '
```

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

```
ro_min2 = (1.4/(fy/1e6));
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min2)
```

```
ans =
'Cuantía mínima es de: 0.0033333 '
```

```
ro = [ro_req1 ro_min1 ro_min2 ];
ro_req = max(ro);
```

Cuantía de diseño

Por lo tanto, ya evaluando con la cuantía requerida y la mínima se tiene finalmente que la cuantía para el diseño de esta sección de viga es de:

```
sprintf('Cuantía requerida es de: %0.5g ',ro_req)
```

```
ans =
'Cuantía requerida es de: 0.01136 '
```

Cálculo del área de acero requerido

$$A_{S_{req}} = \rho_{req} * b * d$$

```
As_req = ro_req*b*dt_1*100^2; % [cm^2] Área de acero requerido.
sprintf('Área de acero requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req)
```

```
ans =
'Área de acero requerida es de: 15.336 [cm^2]'
```

3.12- Acero a utilizar

De acuerdo con lo establecido anteriormente, tenga en cuenta el área del acero que requiere este elemento, para que así pueda determinar que barra utilizar de acuerdo con la tabla C.3.5.3.2 de la NSR-10 donde nos indica el No. de las barras en octavos de pulgada del diámetro de referencia.

Designación de la barra (véase la nota)	Diámetro de referencia en pulgadas	DIMENSIONES NOMINALES			Masa kg/m
		Diámetro mm	Area mm ²	Perímetro mm	
No. 2	1/4"	6.4	32	20.0	0.250
No. 3	3/8"	9.5	71	30.0	0.560
No. 4	1/2"	12.7	129	40.0	0.994
No. 5	5/8"	15.9	199	50.0	1.552
No. 6	3/4"	19.1	284	60.0	2.235
No. 7	7/8"	22.2	387	70.0	3.042
No. 8	1"	25.4	510	80.0	3.973
No. 9	1-1/8"	28.7	645	90.0	5.060
No. 10	1-1/4"	32.3	819	101.3	6.404
No. 11	1-3/8"	35.8	1006	112.5	7.907
No. 14	1-3/4"	43.0	1452	135.1	11.380
No. 18	2-1/4"	57.3	2581	180.1	20.240

Tabla: Dimensiones nominales de las barras de refuerzo según NSR-10

Seleccione que No. de barra que desea utilizar

```
bar = [387/1000000]; % Número de barra a utilizar.
```

Seleccione el No. de la barra para el diámetro

```
D_bar = 22.2*0.001; % Diámetro del acero asumido.
```

Digite la cantidad de barras que desea implementar

```
N_bar = 6; % Cantidad de barras a utilizar.
```

Área del acero es de:

```
As = bar*N_bar*100^2; % [cm^2] Área de acero asumida.
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req)
```

```
ans =
'Área requerida es de: 15.336 [cm^2]'
```

```
sprintf('Se tiene un As: %0.5g [cm^2]',As)
```

```
ans =
'Se tiene un As: 23.22 [cm^2]'
```

```
if As_req <= As
    disp('!!!!!!! Si Cumple con el área requerida !!!!!!!')
else
    disp('!!!!!!! No Cumple con el área requerida !!!!!!!')
end
```

```
!!!!!!! Si Cumple con el área requerida !!!!!!!
```

3.13- Barra para estribos

Seleccione el No. de barra que se estará utilizando para el refuerzo transversal según el numeral C.7.11 de la NSR-10 donde nos dice que el refuerzo a compresión en vigas debe confinarse con estribos que cumplan las limitaciones de tamaño y espaciamiento de C.7.10.5 que establece que todas las barras no prees forzadas

deben estar confinadas por medio de estribos transversales de por lo menos diámetro No.3 (3/8") ó 10M (10mm), para barras longitudinales No.10 (1-1/4") ó 32M (32mm) o menores; diámetro No.4 (1/2") ó 12M (12mm) como mínimo, para barras longitudinales No.11 (1-3/8") ó 36M (36mm), No. 14 (1-3/4") ó 45M (45mm) y No.18 (2-1/4") ó 55M (55mm) y paquetes de barras. En estructuras de capacidad de disipación de energía mínima (DMI) se permite estribos No.2 (2/4") ó 6M (6mm).

```
D_est = 9.5*0.001; % Diámetro del acero.
```

3.14- Distancia mínima entre barras paralelas

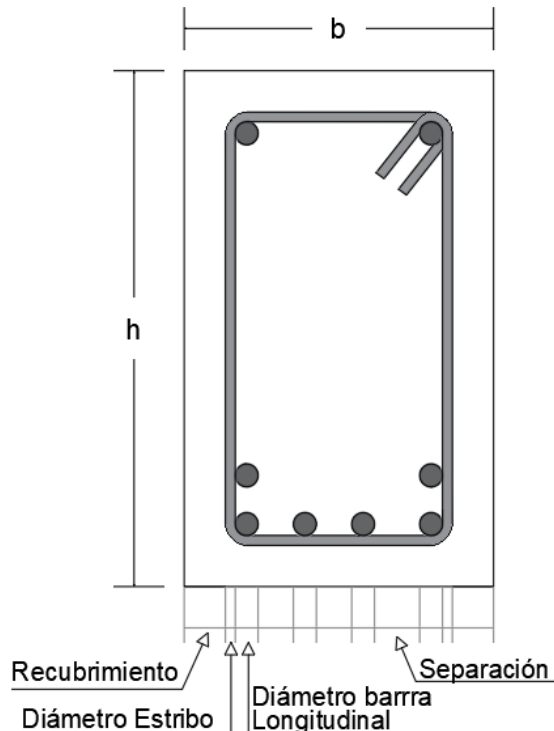
Según el numeral C.7.6.1 de la NSR-10 nos dice que la distancia libre mínima entre barras paralelas de una capa debe ser d_b , pero no debe ser menos de 25 mm.

```
if D_bar >= 0.0250
    Sb = D_bar;
    sprintf('Distancia mínima entre barras paralelas: %0.5g [m]',Sb)
else
    Sb = 2.5*0.01;
    sprintf('Distancia mínima entre barras paralelas: %0.5g [m]',Sb)
end
```

```
ans =
'Distancia mínima entre barras paralelas: 0.025 [m]'
```

3.15- Chequeo de la base mínima

Tener en cuenta el numeral C.7.6.2 que cuando el refuerzo paralelo se coloque en dos o más capas, las barras de las capas superiores deben colocarse exactamente sobre las de las capas inferiores, con una distancia libre entre capas no menor de 25 mm.



Con los valores de recubrimiento, número de barras y espaciamientos, ya se puede determinar la distancia d definitiva, o en caso de tener dos filas de acero a tracción, se puede determinar las distancias d_1 y d_2 para así finalmente calcular el valor de d .

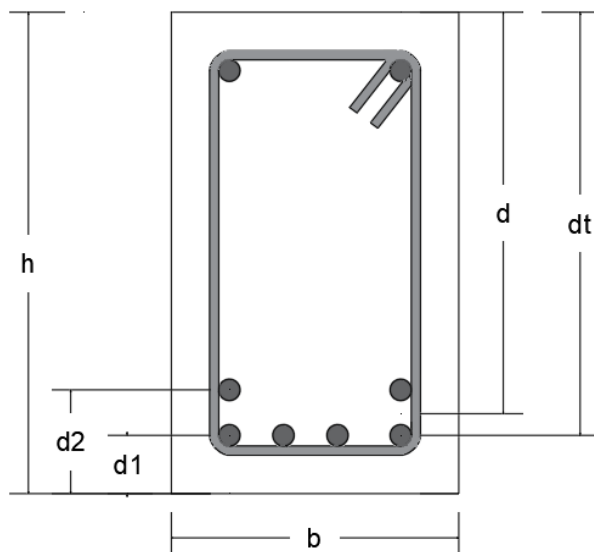


Figura No.5: Corte transversal - Determinar d_1 y d_2 .

```
clear dt_1, clear As
disp('Como se tiene dos filas de acero, por lo tanto se tiene las siguientes distancias')
```

Como se tiene dos filas de acero, por lo tanto se tiene las siguientes distancias

Para la distancia $d_1 = re + D_{est} + \left(\frac{D_{t1}}{2}\right)$

```
d1 = re+(D_est)+(D_bar/2); % [m] Distancia desde el borde inferior al
sprintf('d1: %0.5g [m]',d1)
```

```
ans =
'd1: 0.0606 [m]'
```

Para la distancia $d_2 = re + D_{est} + D_{t1} + 0.025m + \left(\frac{D_{t2}}{2}\right)$

```
d2 = re+(D_est)+(D_bar)+(0.025)+(D_bar/2); % [m] Distancia desde el borde inferior al
sprintf('d2: %0.5g [m]',d2)
```

```
ans =
'd2: 0.1078 [m]'
```

```
As1 = bar*N_bar1*100^2; % Reasignación de acero.
As2 = bar*N_bar2*100^2; % Reasignación de acero.
```

Para poder determinar la distancia y al centro de gravedad se implementa la siguiente fórmula:

$$g1 = \frac{(A_{s1} * d1) + (A_{s2} * d2)}{A_{s1} + A_{s2}}$$

```
g1 = ((As1*d1)+(As2*d2))/(As1+As2);           % [m] Centro de gravedad del acero.
sprintf('Centro de gravedad es de: %0.5g [m]',g1)
```

```
ans =
'Centro de gravedad es de: 0.076333 [m]'
```

Distancias d y dt

Ahora bien, ya determinada la distancia al centro de gravedad procedemos a calcular la distancia d, que es la que va desde el borde superior del elemento hasta el centroide de las barras y la distancia dt que es la distancia que va hasta el centroide de la última barra a tracción.

Formulas:

$$d = h - g1$$

```
dt_1 = h-g1;                                   % [m] Distancia desde el borde superior a l
sprintf('Se tiene una distancia d: %0.5g [m]',dt_1)
```

```
ans =
'Se tiene una distancia d: 0.42367 [m]'
```

$$dt = h - \left(re + \left(\frac{D_{t1}}{2} \right) \right)$$

```
dt_f = h-re-D_est-(D_bar/2);                 % [m] Distancia desde el borde superior al
As = As1+As2;
```

3.16.2- Recalculo de la cuantía de diseño

$$\rho_{sum} = \frac{As}{b * d}$$

```
ro_asum = (As/100^2)/(b*dt_1);
sprintf('Se tiene una cuantía de: %0.5g ',ro_asum)
```

```
ans =
'Se tiene una cuantía de: 0.018269 '
```

```
if ro_asum >= ro_req
    sprintf('Si Cumple con lo requerido que es de: %0.5g ',ro_req)
else
    sprintf('No Cumple con lo requerido que es de: %0.5g ',ro_req)
end
```

```
ans =
'Si Cumple con lo requerido que es de: 0.01136 '
```

3.17- Comportamiento del elemento

Determinar deformación del acero a tracción. Tener en cuenta que para poder desarrollar este proceso debe implementar relación de triángulos.

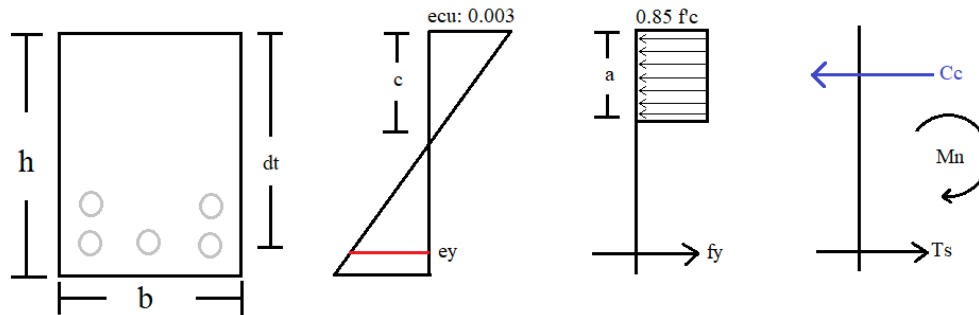


Figura No.6: Diagrama de deformación, esfuerzo y fuerzas.

3.17.1- Determinar valor C

Por lo tanto se tiene : $\frac{0.003}{c} = \frac{\epsilon_s}{d-c}$ al despejar la variable $\epsilon_s = \frac{0.003(d-c)}{c}$ como se evidencia, no se tiene el valor de c, por lo que se tiene que determinar. De manera que para esta situación se toma de forma equilibrada $C_c = T_s$.

$$c = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f_c * \beta_1 * b}$$

```
c1 = ((As/100^2)*fy)/(0.85*fc*bt1*b);           % [m]
sprintf('c: %0.5g [m]',c1)
```

```
ans =
'c: 0.21426 [m]'
```

3.17.2- Deformación del acero ϵ_s

$$\epsilon_s = \frac{0.003(d-c)}{c}$$

```
es1 = ecu*((dt_1-c1)/c1);
sprintf('Deformación del acero es de: %0.5g ',es1)
```

```
ans =
'Deformación del acero es de: 0.0029322 '
```

```
if es1 > ey
    disp('; Acero está en fluencia !')
else
    disp('; Acero NO está en fluencia !')
end
```

```
; Acero está en fluencia !
```

3.17.3- Fuerza del acero a tracción

$$T_s = A_{s_{tot}} * f_y$$

```
Ts1 = (As/100^2)*fy; % [N] Fuerza del acero.
sprintf('Ts: %0.5g [N]',Ts1)
```

```
ans =
'Ts: 9.7524e+05 [N]'
```

3.17.4 Valor de a

$$a = \beta_1 * c$$

```
a1 = bt1*c1; % [m]
sprintf('a: %0.5g [m]',a1)
```

```
ans =
'a: 0.18212 [m]'
```

3.18- Determinar el momento requerido (Mn)

Se efectúan sumatoria de momentos en el punto Cc (Punto rojo en la gráfica) , por lo que se tiene:

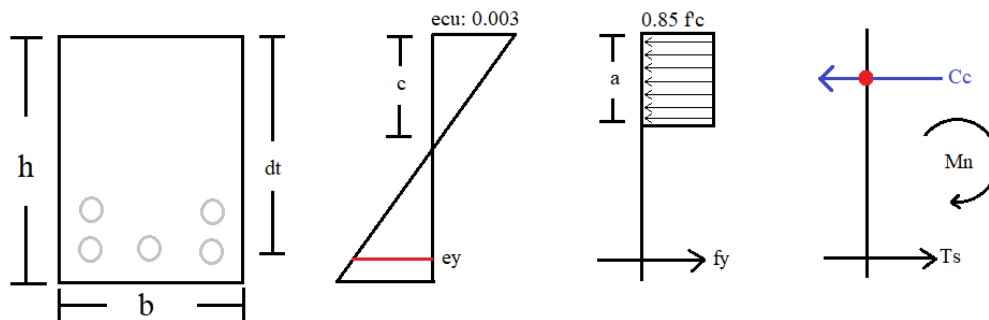


Figura No.7: Diagrama para sumatoria de momentos.

$$\sum M_{Cc} = +T_s * \left(dt - \left(\frac{a}{2} \right) \right) - M_n$$

```
Mn1 = Ts1*(dt_1-(a1/2)); % [N-m]
sprintf('Mn: %0.5g [N-m]',Mn1)
```

```
ans =
'Mn: 3.2437e+05 [N-m]'
```

3.19- Cálculo del factor de reducción de resistencia

La NSR-10 menciona que la resistencia de diseño de un elemento es la resistencia de acuerdo con las condiciones establecidas en el título C, multiplicada por un factor de reducción de resistencia ϕ que siempre es menor que la unidad.

Los propósitos del factor de reducción de resistencia ϕ son:

- Tener en cuenta la probabilidad de existencia de elementos con una resistencia baja debida a variaciones en la resistencia de los materiales y las dimensiones.

- Tener en cuenta inexactitudes en las ecuaciones de diseño.
- Reflejar el grado de ductilidad y la confiabilidad requerida para el elemento bajo efectos de la carga bajo consideraciones.
- Reflejar la importancia del elemento en la estructura.

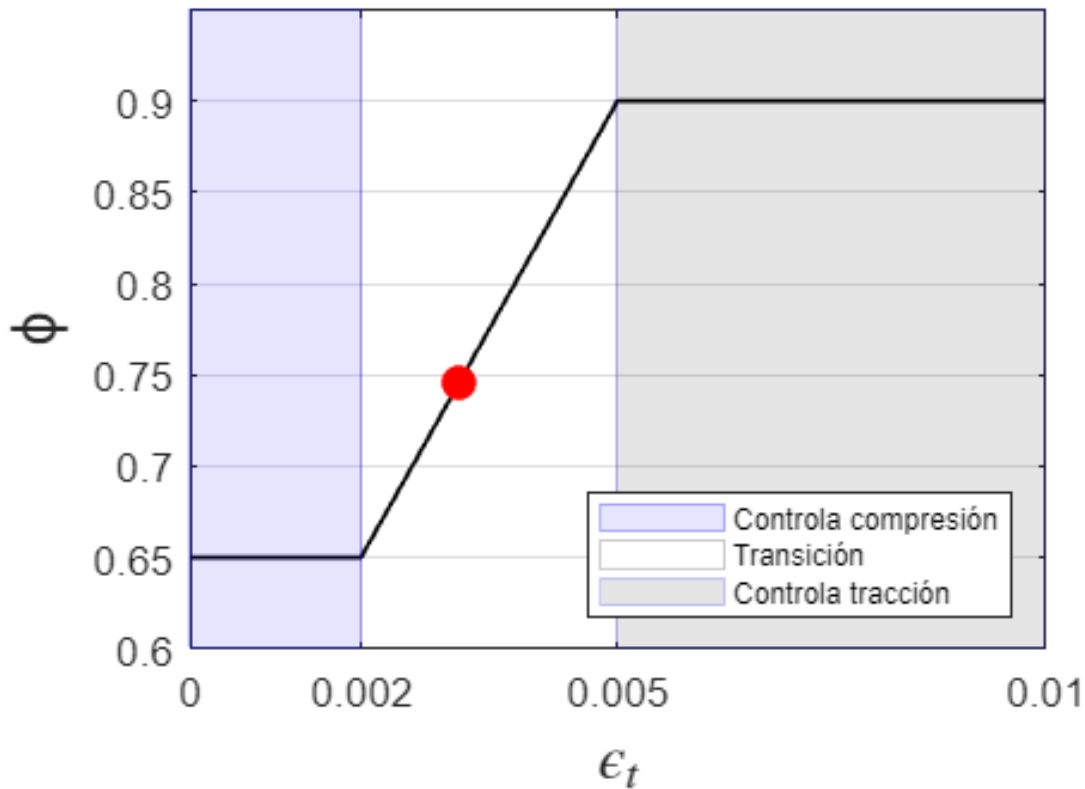
```

esf = ecu*((dt_f-c1)/c1);
if esf <= .002
    fi = .65;
elseif esf <= .005
    fi = .65+(esf-.002)*(250/3);
else
    fi = 0.9;
end

close all
flag=true;

if flag == true
ves=[0 .002 .005 .01];
aa =[0 .002 .005:.005:.02];
    if esf > ves(end)
        ves=[0 .002 .005 esf];
        aa =[0 .002 .005:.005:esf];
    end
vfi=[.65 .65 .9 .9];
plot(ves,vfi,'color',[ 0 0 0],'linewidth',1), grid on, hold on
f1 = fill([0 .002 .002 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1],7)
f2 = fill([.005 ves(end) ves(end) .005],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 0],'EdgeColor',[0 0 0],7)
ft = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves(end) .6 .95])
plot(esf,fi,'r','marker','o','markersize',8,'MarkerFaceColor','r')
set(gca,'XTick',aa)
ylabel('\phi','fontsize',15)
xlabel('\epsilon_t','fontsize',15,'interpreter','latex')
legend([f1 ft f2],{'Controla compresión','Transición','Controla tracción'},'fontsize',7)
end

```



```
sprintf('Valor de  $\phi$  es de: %0.5g ',fi)
```

```
ans =
'Valor de  $\phi$  es de: 0.74604 '
```

3.20- Momento nominal máximo requerido (ϕM_n)

$$\phi M_n = f_i * M_n$$

```
fi_Mn1 = fi*Mn1 % [N-m]
```

```
fi_Mn1 =
2.4199e+05
```

```
sprintf('ØMn: %0.5g [N-m]',fi_Mn1)
```

```
ans =
'ØMn: 2.4199e+05 [N-m]'
```

3.21- Chequeo resistencia

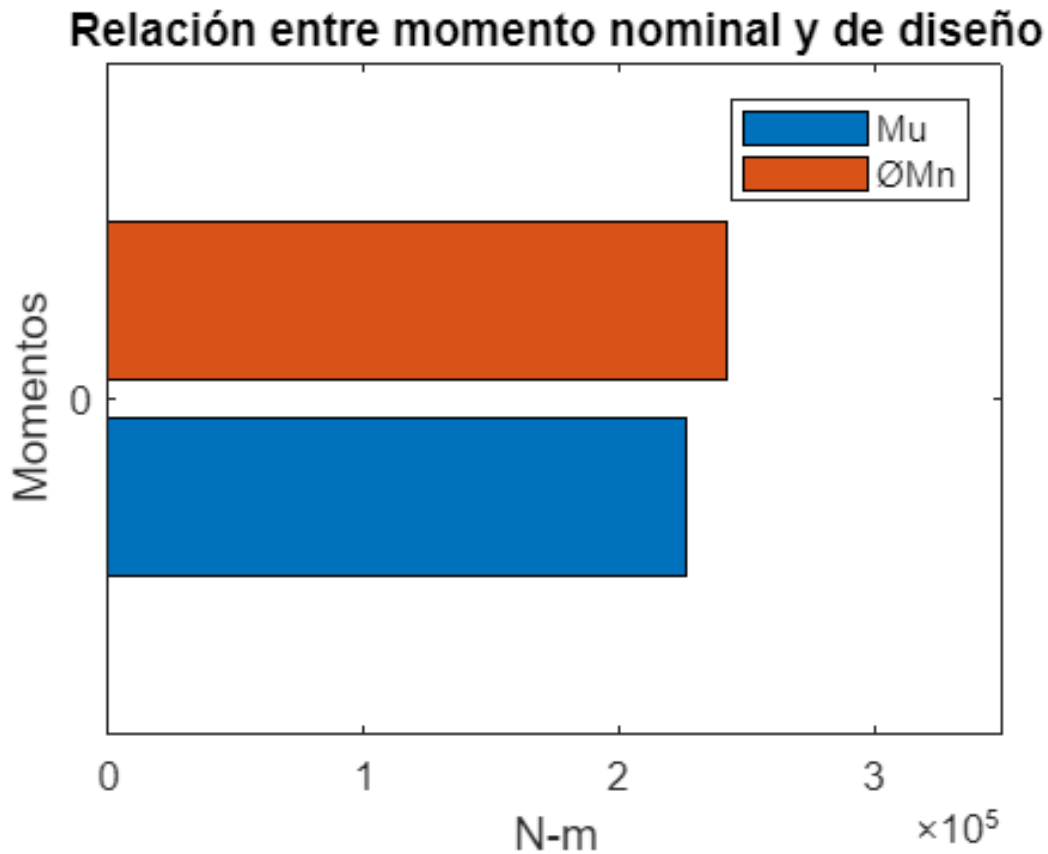
```
if fi_Mn1 >= Mu_1
    disp('iiiiii La estructura SI resiste !!!!!!!')
else
    disp('iiiiii La estructura NO resiste !!!!!!!')
end
```

```
iiiiii La estructura SI resiste !!!!!!!
```

```

close all
x = [0];
y = [Mu_1 fi_Mn1
     ];
barh(x,y)
legend ( 'Mu', 'ØMn')
title('Relación entre momento nominal y de diseño')
xlim([0 350000])
ylim([-0.486 0.486])
xlabel('N-m')
ylabel('Momentos')

```



```

ISE = (Mu_1/fi_Mn1);
sprintf('ISE: %0.5g [Porciento] ',ISE*100)

```

```

ans =
'ISE: 93.391 [Porciento] '

```

3.22- Tabla resumen

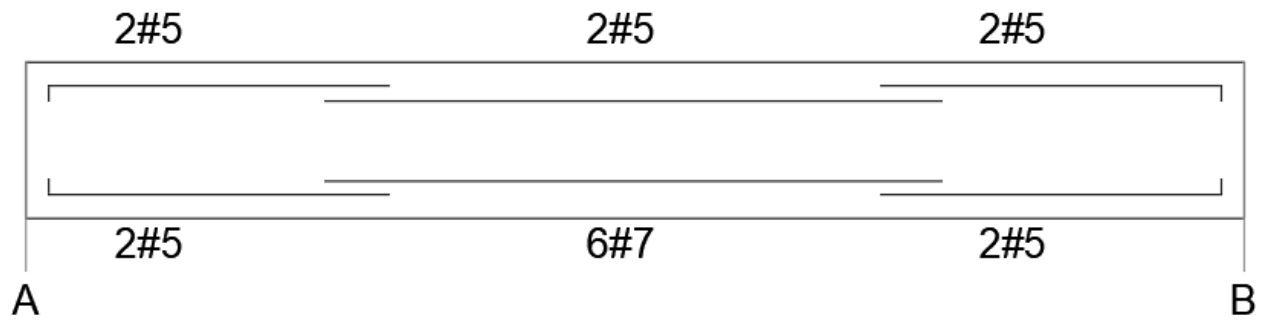


Figura No.8: Despiece de acero longitudinal.

```

Momentos = [Mu_1];
K = [k_1];
Ro_asu = [ro_req];
Area_cm2 = [As];
No_Barra = [bar];
Aceros = [N_bar];
Deform = [es1];
fi_Mn = [fi_Mn1];
T = table(Momentos,K,Ro_asu,Area_cm2,No_Barra,Aceros,Deform,fi_Mn)

```

T = 1x8 table

	Momentos	K	Ro_asu	Area_cm2	No_Barra	Aceros	Deform
1	226000	3.7202e+06	0.01136	23.22	0.000387	6	0.0029322

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Ejemplo No.3: Diseño de viga de dos luces

1- Introducción

Esta guía didáctica presenta los fundamentos matemáticos y criterios necesarios para el diseño de vigas rectangulares y así como la interpretación del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 debido a que las grandes obras de infraestructuras, edificaciones y servicios se construyen que se construyen son en concreto reforzado.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de Contenido

Ejemplo No.3: Diseño de viga de dos luces.....	1
1- Introducción.....	1
2- Enunciado.....	1
3- Desarrollo.....	2
3.1- Datos de entrada.....	2
3.2- Cargas aplicadas sin P.P.....	2
3.3- Propiedades de los materiales.....	2
3.4- Cálculo de	3
3.5- Recubrimiento.....	4
3.6- Barra para estribos.....	4
3.7- Dimensionamiento.....	4
3.7.1- Altura de viga.....	4
3.7.2- Dimensión base de viga.....	6
3.7.3- Dimensionamiento final.....	6
3.8- Determinar que la luz libre sea la correcta.....	7
3.9- Cálculo del P.P (Peso propio).....	7
3.10- Cálculo de carga distribuida.....	7
3.11- Cálculo de momentos.....	8
3.12- Para momento positivo N°1 A-B.....	8
3.13- Para momento negativo.....	15
3.14- Para momento positivo N°2 B-C.....	21
3.15- Tabla resumen.....	27
4- Bibliografía.....	27

2- Enunciado

Una viga rectangular reforzada a tensión que no está expuesta a la intemperie ni en contacto con el suelo debe diseñarse para soportar una carga muerta de 25kN/m más el propio peso, y una carga viva de servicio de 15 kN/m con dos luces de 5 metros. La resistencia de los materiales son $f_y = 420$ MPa, módulo de elasticidad de 200 GPa, deformación del acero de 0.00206 y $f'_c = 21$ MPa, para el acero y concreto respectivamente. La altura total de la viga no debe exceder 60 cm. Calcule el ancho se necesita para la viga y el acero a tensión exigido según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

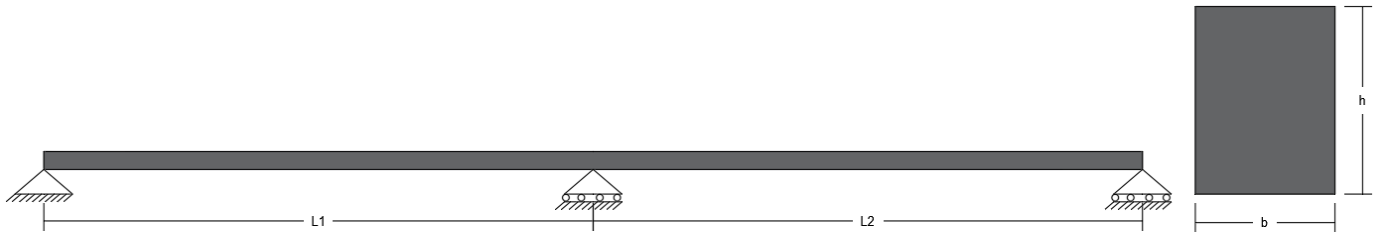


Figura No.1: Viga de dos luces - Corte transversal y longitudinal.

3- Desarrollo

3.1- Datos de entrada

Ingresar la respectiva longitud del del elemento

l1 = 6; % Longitud Viga N°1 [m]
 l2 = 6; % Longitud Viga N°2 [m]

3.2- Cargas aplicadas sin P.P

Carga muerta:

DL = 25e3; % Carga Muerta [N/m]

Carga viva:

LL = 15e3; % Carga Viva [N/m]

3.3- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada una de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

- Resistencia específica a la compresión.

fc = 21e6; % [Pa]

- Deformación máxima de concreto a compresión.

ecu = 0.003;

- Resistencia específica a la fluencia.

fy = 420e6; % [Pa]

- Módulo de elasticidad del acero.

Es = 200e9; % [Pa]

- Deformación del acero.

ey= 0.00206;

- Peso unitario del concreto.

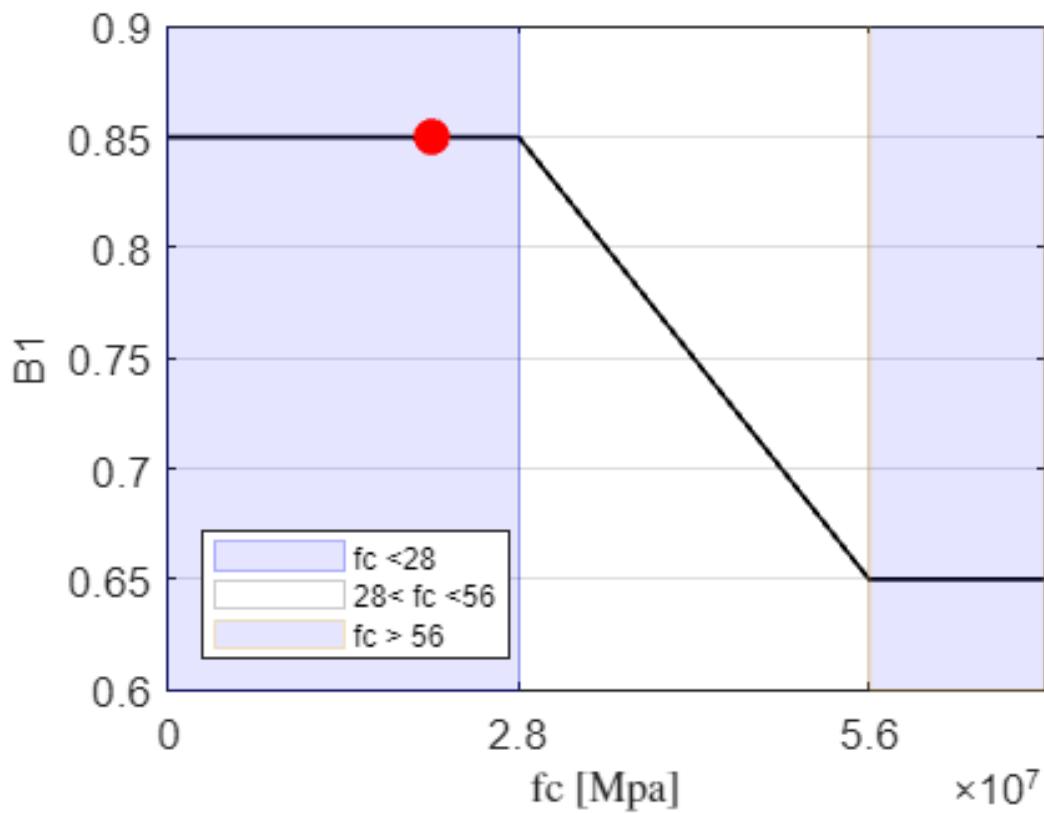
```
y_c =24000; % [N/m^3] Peso unitario del concreto.
```

3.4- Cálculo de β_1

Para el cálculo de β_1 se determina de acuerdo a f'_c al cual hace referencia a la resistencia del concreto a compresión. El capítulo C.10.2.7.3 del reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 que para f'_c entre 17 y 28 MPa, en factor β_1 se debe tomar como 0,85. Para f'_c superior a 28 MPa, β_1 se debe disminuir en forma lineal a razón de 0.05 por cada 7 MPa de aumento sobre 28 MPa, sin embargo, β_1 no debe ser menor de 0,65.

- Cuando $f'_c < 28$ MPa entonces $\beta_1 = 0.85$
- Cuando $28 \text{ MPa} < f'_c < 56 \text{ MPa}$ entonces $\beta_1 = 0.85 - 0.05 * \frac{(f'_c - 28)}{7}$
- Cuando $f'_c > 56$ MPa $\beta_1 = 0.65$

```
flag_2=true;
if fc <= 28e6
    bt1 = .85;
elseif fc < 56e6
    bt1 = .85-.05*(fc/1e6-28)/7;
else
    bt1 = 0.65;
end
if flag_2 == true
ves_2=[0 28e6 56e6 70e6];
aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:70e6];
    if fc > ves_2(end)
        ves_2=[0 28e6 56e6 fc];
        aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:fc];
    end
vfi_2=[.85 .85 .65 .65];
plot(ves_2,vfi_2,'color',[ 0 0 0],'linewidth',1), grid on, hold on
f1_2 = fill([0 28e6 28e6 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1]);
f2_2 = fill([56e6 ves_2(end) ves_2(end) 56e6],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1]);
ft_2 = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves_2(end) .6 .90])
plot(fc,bt1,'r','marker','o','markersize',8,'MarkerFaceColor','r');
set(gca,'XTick',aa_2)
ylabel('B1','fontsize',10)
xlabel('fc [Mpa]','fontsize',10,'interpreter','latex')
legend([f1_2 ft_2 f2_2],{'fc <28','28 < fc <56','fc > 56'},'fontsize',7,'location','southwest')
end
```



```
sprintf('Valor de B1 es de: %0.5g ',bt1)
```

```
ans =
'Valor de B1 es de: 0.85 '
```

3.5- Recubrimiento

En este caso se debe verificar en la estructura o en las memorias de cálculo que tipo de recubrimiento es la que tiene el elemento. Seguidamente seleccione que longitud tiene según el capítulo C.7.7 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

```
re = 40*0.001; % [mm]
sprintf('El recubrimiento es de: %0.5g [m]',re)
```

```
ans =
'El recubrimiento es de: 0.04 [m]'
```

3.6- Barra para estribos

```
D_est = 9.5*0.001; % Diametro del acero.
```

3.7- Dimensionamiento

3.7.1- Altura de viga

Nota: Lea y seleccione adecuadamente la tabla según sea la situación en la cual está la estructura, de lo contrario si cuenta ya con unos datos iniciales que son otorgados por un plano arquitectónico debe seleccionar "NO Dat. Arqu."

Tabla C.9.5 (a) Alturas de vigas no prees forzadas donde los elementos NO soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes. (Pag. C-132 NSR-10).

	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que NO soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{l}{20}$	$\frac{l}{24}$	$\frac{l}{28}$	$\frac{l}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{18.5}$	$\frac{l}{21}$	$\frac{l}{8}$

Tabla C.9.5 Altura de vigas (Tomada del capítulo C NSR-10)

Tabla CR.9.5 Altura mínima recomendada para vigas no prees forzadas que soporten particiones frágiles susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes, a menos que se calculen las deflexiones. Elementos donde **SI** soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones (Pag. C-132 NSR-10).

	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{l}{14}$	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{19}$	$\frac{l}{7}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{l}{11}$	$\frac{l}{12}$	$\frac{l}{14}$	$\frac{l}{5}$

Tabla CR.9.5 Altura de vigas (Tomada del capítulo C NSR-10)

Selección de tabla

```

Tab = 2;
if Tab <= 0
    disp('==== Contiene datos arquitectónicos ==== ')

elseif (Tab > 0) && (Tab < 2)           % >>>>>> TABLA C.9.5 (a) <<<<<<
    h1 = 11/18.5;
    h2 = 12/18.5;
    hmax = max(h1,h2);
    sprintf('Según la Tabla C.9.5 (a) tiene una altura de: %0.5g [m]',hmax)
else                                     % >>>>>> TABLA CR.9.5 <<<<<<
    h1 = 11/12

```

```

h2 = 12/8
hmax = max(h1,h2);
sprintf('Según la Tabla C.9.5 (a) tiene una altura de: %0.5g [m]',hmax)
end

```

```

h1 =
    0.5
h2 =
    0.75
ans =
'Según la Tabla C.9.5 (a) tiene una altura de: 0.75 [m]'

```

Sección definitiva según la NSR-10 o la altura dada en el plano arquitectónico

Nota: Se recomienda aproximar la dimensión antes calculada o la otorgada, de manera que sean cerradas.

```

h = 0.55; % Altura [m]

```

3.7.2- Dimensión base de viga

Según el numeral C.21.5.1.3 de la NSR-10 el ancho del elemento b no debe ser menor que el valor mayor entre $0.30h$ y 250 mm.

```

if Tab <= 0
    disp('==== Contiene datos arquitectónicos ===== ')
else
    b1 = 0.3*h;
    if b1 >= 0.25
        bf = b1;
        sprintf('Dimensión de la base [Según C.21.5.1.3] es de: %0.5g [m]',bf)
    else
        bf = 0.25;
        sprintf('Dimensión de la base [Según C.21.5.1.3] es de: %0.5g [m]',bf)
    end
end
end

```

```

ans =
'Dimensión de la base [Según C.21.5.1.3] es de: 0.25 [m]'

```

Sección definitiva según la NSR-10 o las dimensiones dadas en el plano arquitectónico

Nota: Se recomienda aproximar la dimensión antes calculada o la otorgada, de manera que sea cerradas.

```

b = 0.30; % Base [m]

```

3.7.3- Dimensionamiento final

```

unid = sprintf('metros');
Parte = {' Base ' ; ' Altura ' };
Dimension = [b;h];
unid = [unid;unid];
T = table(Parte,Dimension,unid)

```

```

T = 2x3 table

```

	Parte	Dimension	unidad
1	' Base '	0.3	metros
2	' Altura '	0.55	metros

3.8- Determinar que la luz libre sea la correcta

Según el numeral C.21.5.1.2 la luz libre del elemento l_n no debe ser menor que cuatro veces su altura útil.

```

ln = 4*h; % [m]
lt = min(l1,l2); % Longitud minima entre luces.

if lt >= ln
    disp('!!!!!!! Si es la longitud correcta !!!!!!!')

    sprintf('Longitud mínima para esta viga es de: %0.5g [m]',ln)
    sprintf('Y se tiene una longitud de: %0.5g [m]',lt)
else
    disp('; No es la longitud correcta !')
    sprintf('Por que la longitud mínima es de: %0.5g [m]',ln)
    sprintf('Y se tiene una longitud de: %0.5g [m]',lt)
end

```

```

!!!!!!! Si es la longitud correcta !!!!!!!
ans =
'Longitud mínima para esta viga es de: 2.2 [m]'
ans =
'Y se tiene una longitud de: 6 [m]'

```

3.9- Cálculo del P.P (Peso propio)

Determinamos el peso propio del elemento teniendo en cuenta el peso unitario del concreto reforzado que es de 24 kN/m^3 por lo tanto se tiene:

$$P_p = \gamma_c * b * h$$

```

pp = y_c*(b*h); % Peso propio de la viga [N/m]
sprintf('El peso propio del elemento es de: %0.5g [N/m]',pp)

```

```

ans =
'El peso propio del elemento es de: 3960 [N/m]'

```

3.10- Cálculo de carga distribuida

Para este caso se debe tener en cuenta las combinaciones de carga según el numeral B.2.4.2 de la NSR-10 donde nos hace referencia a que el diseño de estructuras, sus componentes y cimentaciones debe hacerse de tal forma que sus resistencias de diseño igualen o excedan los efectos producidos por las cargas mayoradas en las combinaciones presentadas.

$$1.4 (D + P_p)$$

$$1.2 (D + P_p) + 1.6L$$

$$1.2 (D + P_p) + 1.0L$$

```

Wu1 = (1.4*(DL+pp)); % [N/m]

```



```

Wu2 = (1.2*(DL+pp))+(1.6*LL);           % [N/m]
Wu3 = (1.2*(DL+pp))+(1.0*LL);           % [N/m]
Wu_max = [Wu1 Wu2 Wu3];
Wu = max(Wu_max);
sprintf('Se tiene una carga distribuida máxima de: %0.5g [N/m]',Wu)

```

```

ans =
'Se tiene una carga distribuida máxima de: 58752 [N/m]'

```

3.11- Cálculo de momentos

Un momento es una fuerza de rotación que ocurre cuando esta es aplicada de manera perpendicularmente a un punto a una distancia dada, en consecuencia, para este caso las vigas rectangulares, producen momentos flectores o los llamados momentos de flexión, para lo dicho anteriormente se tiene la siguiente fórmula para determinar el respectivo momento:

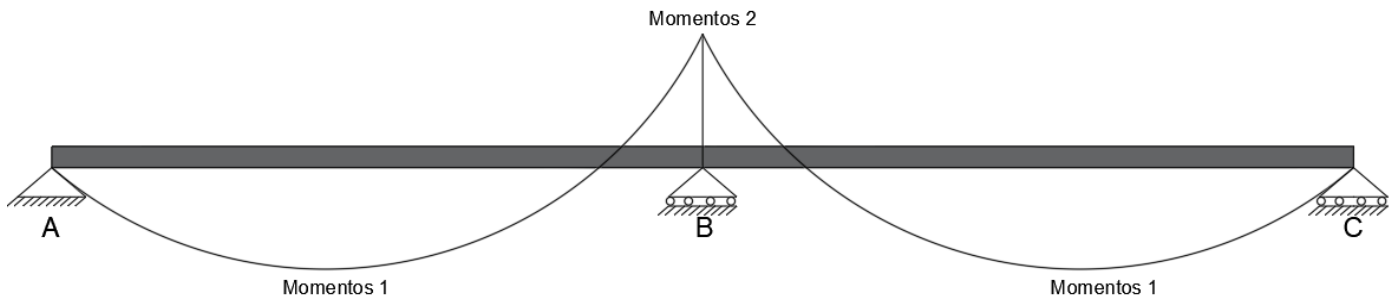


Figura No.2: Viga simplemente apoyada - Momento.

$$M1_{\max} = \frac{Wu * L^2}{14}$$

$$M2_{\max} = \frac{Wu * L^2}{8}$$

```

Mu_1 = (Wu*(l1^2))/14;
sprintf('Momento positivo (A-B) : %0.5g [N*m]',Mu_1)

```

```

ans =
'Momento positivo (A-B) : 1.5108e+05 [N*m]'

```

```

Mu_2 = (Wu*(l1^2))/8;
sprintf('Momento negativo : %0.5g [N*m]',Mu_2)

```

```

ans =
'Momento negativo : 2.6438e+05 [N*m]'

```

```

Mu_3 = (Wu*(l2^2))/14;
sprintf('Momento positivo (B-C) : %0.5g [N*m]',Mu_3)

```

```

ans =
'Momento positivo (B-C) : 1.5108e+05 [N*m]'

```

3.12- Para momento positivo N°1 A-B

Determinar la cuantía de diseño

Asumir que: $d = 0.90 * h$

```
dt_1 = 0.9*h;  
sprintf('d: %0.5g [m]',dt_1)
```

```
ans =  
'd: 0.495 [m]'
```

Determinar el valor de $K = \frac{Mu}{b * d^2}$

```
k_1 = (Mu_1)/(b*(dt_1^2));  
sprintf('K: %0.5g [N/m2]',k_1)
```

```
ans =  
'K: 2.0553e+06 [N/m2]'
```

$\phi = 0.90$

```
fi_1 = 0.9;
```

Cálculo de la cuantía requerida

$$\rho_{req} = \frac{0.85 * f'c}{fy} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * K}{0.85 * f'c * \phi}} \right)$$

```
ro_req = ((0.85*fc)/(fy))*(1-(1-((2*k_1)/(0.85*fc*fi_1)))^0.5);  
sprintf('Cuantía es de: %0.5g ',ro_req)
```

```
ans =  
'Cuantía es de: 0.0058382 '
```

Cuantía mínima de diseño

$$\rho_{min} = \frac{0.25 \sqrt{f'c}}{fy}$$

```
ro_min1_1 = ((0.25*(fc^0.5))/(fy));  
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min1_1)
```

```
ans =  
'Cuantía mínima es de: 2.7277e-06 '
```

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{fy}$$

```
ro_min2_1 = (1.4/(fy/1e6));  
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min2_1)
```

```
ans =  
'Cuantía mínima es de: 0.0033333 '
```

```
ro = [ro_req ro_min1_1 ro_min2_1];  
ro_req = max(ro);
```

Cuantía de diseño

```
sprintf('Cuantía requerida es de: %0.5g ',ro_req)
```

```
ans =  
'Cuantía requerida es de: 0.0058382 '
```

Cálculo del área de acero requerido

$$A_{S_{req}} = \rho_{req} * b * d$$

```
As_req = ro_req*b*dt_1*100^2;           % [cm^2] Área de acero requerido.  
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req)
```

```
ans =  
'Área requerida es de: 8.6697 [cm^2]'
```

Acero a utilizar

```
bar      =[510/1000000];                % Número de barra a utilizar.  
N_bar    =2;                            % Cantidad de barras a utilizar.  
D_bar    =25.4*0.001;                   % Diámetro del acero asumido.  
As       = bar*N_bar*100^2              % [cm^2] Área de acero asumida.
```

```
As =  
    10.2
```

```
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req)
```

```
ans =  
'Área requerida es de: 8.6697 [cm^2]'
```

```
sprintf('Se tiene un As: %0.5g [cm^2]',As)
```

```
ans =  
'Se tiene un As: 10.2 [cm^2]'
```

```
if As_req <= As  
    disp('!!!!!!! Si Cumple con el área requerida !!!!!!!')  
else  
    disp('!!!!!!! No Cumple con el área requerida !!!!!!!')  
end
```

```
!!!!!!! Si Cumple con el área requerida !!!!!!!
```

Distancia mínima entre barras paralelas

```
if D_bar*100 >= 2.5  
    Sb = D_bar;  
    sprintf('Distancia mínima entre barras paralelas: %0.5g [m]',Sb)  
else  
    Sb = 2.5*0.01;  
    sprintf('Distancia mínima entre barras paralelas: %0.5g [m]',Sb)  
end
```


Valor de d exacto

```
clear dt_1, clear As
if R_1 >= 1
    disp('Como se tiene dos filas de acero, por lo tanto se tiene las siguientes distancias')
    d1 = re+(D_est)+(D_bar/2); % [m] Distancia desde el borde inferior
    sprintf('d1: %0.5g [m]',d1)
    d2 = re+(D_est)+(D_bar)+(0.025)+(D_bar/2); % [m] Distancia desde el borde inferior
    sprintf('d2: %0.5g [m]',d2)

    As1 = bar*N_bar1*100^2; % Reasignación de acero.
    As2 = bar*N_bar2*100^2; % Reasignación de acero.

    g1 = ((As1*d1)+(As2*d2))/(As1+As2); % [m] Centro de gravedad del acero
    sprintf('Centro de gravedad es de: %0.5g [m]',g1)

    dt_1 = h-g1; % [m] Distancia desde el borde superior
    sprintf('Se tiene una distancia d: %0.5g [m]',dt_1)
    dt_f = h-re-D_est-(D_bar/2); % [m] Distancia desde el borde superior
    As = As1+As2;

else
    dt_1 = h-(re+(D_est)+(D_bar/2)); % [m] Distancia desde el borde superior
    sprintf('Se tiene una distancia d: %0.5g [m]',dt_1)
    As = N_bar*bar*100^2;
end

ans =
'Se tiene una distancia d: 0.4878 [m]'
```

Recalculo de la cuantía de diseño

```
ro_asum = (As/100^2)/(b*dt_1);
sprintf('Se tiene una cuantía de: %0.5g ',ro_asum)
```

```
ans =
'Se tiene una cuantía de: 0.0069701 '
```

```
if ro_asum >= ro_req
    sprintf('Si cumple con lo requerido que es de: %0.5g ',ro_req)
else
    sprintf('No cumple con lo requerido que es de: %0.5g ',ro_req)
end
```

```
ans =
'Si cumple con lo requerido que es de: 0.0058382 '
```

Comportamiento del elemento

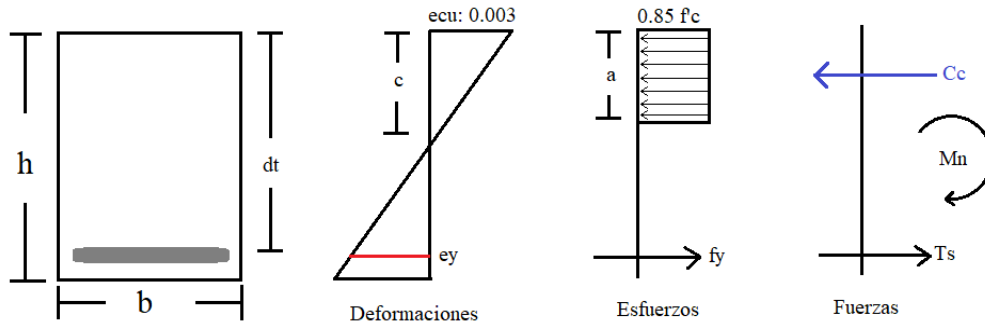


Figura No.3: Diagrama de deformación, esfuerzo y fuerzas.

Determinar valor c

```
c1 = ((As/100^2)*fy)/(0.85*fc*bt1*b); % [m]
sprintf('c: %0.5g [m]',c1)
```

```
ans =
'c: 0.094118 [m]'
```

Deformación del acero ϵ_s

$$\epsilon_s = \frac{0.003(d - c)}{c}$$

```
es1 = ecu*((dt_1-c1)/c1);
sprintf('Deformación del acero es de: %0.5g ',es1)
```

```
ans =
'Deformación del acero es de: 0.012549 '
```

```
if es1 > ey
    disp('; Acero está en fluencia !')
else
    disp('; Acero NO está en fluencia !')
end
```

```
; Acero está en fluencia !
```

Fuerza del acero a tracción

$$T_s = A_{s_{tot}} * f_y$$

```
Ts1 = (As/100^2)*fy; % [N] Fuerza del acero.
sprintf('Ts: %0.5g [N]',Ts1)
```

```
ans =
'Ts: 4.284e+05 [N]'
```

Valor de a

$$a = \beta_1 * c$$

```
a1 = bt1*c1; % [m]
sprintf('a: %0.5g [m]',a1)
```

```
ans =  
'a: 0.08 [m]'
```

Determinar el momento requerido (Mn)

$$\sum M_{Cc} = +T_s * \left(dt - \left(\frac{a}{2} \right) \right) - M_n$$

```
Mn1 = Ts1*(dt_1-(a1/2)); % [N-m]  
sprintf('Mn: %0.5g [N-m]',Mn1)
```

```
ans =  
'Mn: 1.9184e+05 [N-m]'
```

Cálculo del factor de reducción de resistencia ϕ

```
if R_1 >= 1  
    esf = ecu*((dt_f-c1)/c1)  
    if esf <= .002  
        fi = .65  
    elseif esf <= .005  
        fi = .65+(esf-.002)*(250/3)  
    else  
        fi = 0.9  
    end  
else  
    if es1 <= .002  
        fi = .65  
    elseif es1 <= .005  
        fi = .65+(es1-.002)*(250/3)  
    else  
        fi = 0.9  
    end  
end
```

```
fi =  
    0.9
```

Momento nominal máximo requerido (ϕM_n)

$$\phi M_n = fi * M_n$$

```
fi_Mn1 = fi*Mn1; % [N-m]  
sprintf('ØMn: %0.5g [N-m]',fi_Mn1)
```

```
ans =  
'ØMn: 1.7265e+05 [N-m]'
```

Chequeo Resistencia

```
if fi_Mn1 >= Mu_1  
    disp('!!!!!! La estructura SI resiste !!!!!!!')  
    ISE = Mu_1/fi_Mn1;  
    sprintf('ISE: %0.5g [Porciento]',ISE*100)  
else
```

```

disp('!!!!!! La estructura NO resiste !!!!!!!')
ISE = Mu_1/fi_Mn1;
sprintf('ISE: %0.5g [Porcentaje]',ISE*100)
end

```

```

!!!!!! La estructura SI resiste !!!!!!!
ans =
'ISE: 87.503 [Porcentaje]'

```

3.13- Para momento negativo

Determinar la cuantía de diseño

Asumir que: $d = 0.90 * h$

```

dt_2 = 0.9*h;
sprintf('d: %0.5g [m]',dt_2)

```

```

ans =
'd: 0.495 [m]'

```

Determinar el valor de $K = \frac{Mu}{d * b^2}$

```

k_2 = (Mu_2)/(b*(dt_2^2));
sprintf('K: %0.5g [N/m^2]',k_2)

```

```

ans =
'K: 3.5967e+06 [N/m2]'

```

$\phi = 0.90$

```

fi_2 = 0.9;

```

Cálculo de la cuantía requerida

$$\rho_{req} = \frac{0.85 * f'c}{fy} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * K}{0.85 * f'c * \phi}} \right)$$

```

ro_req_2 = ((0.85*fc)/(fy))*(1-(1-((2*k_2)/(0.85*fc*fi_2)))^0.5);
sprintf('Cuantía es de: %0.5g ',ro_req_2)

```

```

ans =
'Cuantía es de: 0.010917 '

```

Cuantía mínima de diseño

$$\rho_{min} = \frac{0.25 \sqrt{f'c}}{fy}$$

```

ro_min1_2 = ((0.25*(fc^0.5))/(fy));
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min1_2)

```

```

ans =
'Cuantía mínima es de: 2.7277e-06 '

```


$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

```
ro_min2_2 = (1.4/(fy/1e6));
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min2_2)
```

```
ans =
'Cuantía mínima es de: 0.0033333 '
```

```
ro_2 = [ro_req_2 ro_min1_2 ro_min2_2 ];
ro_req_2 = max(ro_2);
```

Cuantía de diseño

```
sprintf('Cuantía requerida es de: %0.5g ',ro_req_2)
```

```
ans =
'Cuantía requerida es de: 0.010917 '
```

Cálculo del área de acero requerido

$$A_{S_{req}} = \rho_{req} * b * d$$

```
As_req_2 = ro_req_2*b*dt_2*100^2;      % [cm^2] Área de acero requerido.
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req_2)
```

```
ans =
'Área requerida es de: 16.212 [cm^2]'
```

Acero a utilizar

```
bar_2   =[510/1000000];      % Número de barra a utilizar.
N_bar_2  =4;                % Cantidad de barras a utilizar.
D_bar_2  =25.4*0.001;       % Diámetro del acero asumido.
As_2 = bar_2*N_bar_2*100^2;  % [cm^2] Área de acero asumida.
```

```
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req_2)
```

```
ans =
'Área requerida es de: 16.212 [cm^2]'
```

```
sprintf('Se tiene un As: %0.5g [cm^2]',As_2)
```

```
ans =
'Se tiene un As: 20.4 [cm^2]'
```

```
if As_req_2 <= As_2
    disp('!!!!!!! Si cumple con el área requerida !!!!!!!!')
else
    disp('!!!!!!! No cumple con el área requerida !!!!!!!!')
end
```

```
!!!!!!! Si cumple con el área requerida !!!!!!!!
```

Distancia mínima entre barras paralelas

Comportamiento del elemento

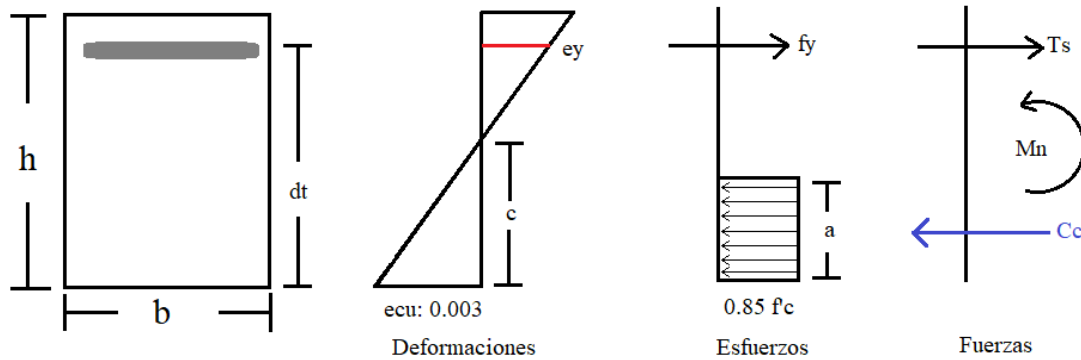


Figura No.4: Diagra de deformación, esfuerzo y fuerzas.

Determinar valor c

```
c2 = ((As_2/100^2)*fy)/(0.85*fc*bt1*b); % [m]
sprintf('c: %0.5g [m]',c2)
```

```
ans =
'c: 0.18824 [m]'
```

Deformación del acero ϵ_s

$$\epsilon_s = \frac{0.003(d - c)}{c}$$

```
es2 = ecu*((dt_2-c2)/c2);
sprintf('Deformación del acero es de: %0.5g ',es2)
```

```
ans =
'Deformación del acero es de: 0.0047743 '
```

```
if es2 > ey
    disp('; Acero está en fluencia !')
else
    disp('; Acero NO está en fluencia !')
end
```

```
; Acero está en fluencia !
```

Fuerza del acero a tracción

$$T_s = A_{s_{tol}} * f_y$$

```
Ts2 = (As_2/100^2)*fy; % [N] Fuerza del acero.
sprintf('Ts: %0.5g [N]',Ts2)
```

```
ans =
'Ts: 8.568e+05 [N]'
```

Valor de a

$$a = \beta_1 * c$$

```
a2 = bt1*c2; % [m]
sprintf('a: %0.5g [m]',a2)

ans =
'a: 0.16 [m]'
```

Determinar el momento requerido (Mn)

$$\sum M_{Cc} = +T_s * \left(dt - \left(\frac{a}{2} \right) \right) - M_n$$

```
Mn2 = Ts2*(dt_2-(a2/2)); % [N-m]
sprintf('Mn: %0.5g [N-m]',Mn2)

ans =
'Mn: 3.494e+05 [N-m]'
```

Cálculo del factor de reducción de resistencia ϕ

```
if R_2 >= 1
    esf_2 = ecu*((dt_f2-c2)/c2)
    if esf_2 <= .002
        fi_2 = .65
    elseif esf_2 <= .005
        fi_2 = .65+(esf_2-.002)*(250/3)
    else
        fi_2 = 0.9
    end
else
    if es2 <= .002
        fi_2 = .65
    elseif es2 <= .005
        fi_2 = .65+(es2-.002)*(250/3)
    else
        fi_2 = 0.9
    end
end
```

```
fi_2 =
0.88119
```

Momento nominal máximo requerido (ϕM_n)

$$\phi M_n = \phi * M_n$$

```
fi_Mn2 = fi_2*Mn2; % [N-m]
sprintf('ØMn: %0.5g [N-m]',fi_Mn2)

ans =
'ØMn: 3.0789e+05 [N-m]'
```

Chequeo resistencia

```
if fi_Mn2 >= Mu_2
```

```

disp('!!!!!! La estructura SI resiste !!!!!!!')
ISE_2 = Mu_2/fi_Mn2;
sprintf('ISE: %0.5g [Porcentaje]',ISE_2*100)
else
disp('!!!!!! La estructura NO resiste !!!!!!!')
ISE_2 = Mu_2/fi_Mn2;
sprintf('ISE: %0.5g [Porcentaje]',ISE_2*100)
end

```

```

!!!!!! La estructura SI resiste !!!!!!!
ans =
'ISE: 85.869 [Porcentaje]'

```

3.14- Para momento positivo N°2 B-C

Determinar la cuantía de diseño

Asumir que: $d = 0.90 * h$

```

dt_3 = 0.9*h;
sprintf('d: %0.5g [m]',dt_3)

```

```

ans =
'd: 0.495 [m]'

```

Determinar el valor de $K = \frac{Mu}{d * b^2}$

```

k_3 = (Mu_3)/(b*(dt_3^2));
sprintf('K: %0.5g [N/m2]',k_3)

```

```

ans =
'K: 2.0553e+06 [N/m2]'

```

$\phi = 0.90$

```

fi_3 = 0.9;

```

Cálculo de la cuantía requerida

$$\rho_{req} = \frac{0.85 * f'c}{fy} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * K}{0.85 * f'c * \phi}} \right)$$

```

ro_req_3 = ((0.85*fc)/(fy))*(1-(1-((2*k_3)/(0.85*fc*fi_3)))^0.5);
sprintf('Cuantía es de: %0.5g ',ro_req_3)

```

```

ans =
'Cuantía es de: 0.0058382 '

```

Cuantía mínima de diseño

$$\rho_{min} = \frac{0.25 \sqrt{f'c}}{fy}$$

```

ro_min1_3 = ((0.25*(fc^0.5))/(fy));
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min1_3)

```

```
ans =  
'Cuantía mínima es de: 2.7277e-06 '
```

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

```
ro_min2_3 = (1.4/(fy/1e6));  
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min2_3)
```

```
ans =  
'Cuantía mínima es de: 0.0033333 '
```

```
ro_3 = [ro_req_3 ro_min1_3 ro_min2_3 ];  
ro_req_3 = max(ro_3);
```

Cuantía de diseño

```
sprintf('Cuantía requerida es de: %0.5g ',ro_req_3)
```

```
ans =  
'Cuantía requerida es de: 0.0058382 '
```

Cálculo del área de acero requerido

$$A_{S_{req}} = \rho_{req} * b * d$$

```
As_req_3 = ro_req_3*b*dt_3*100^2; % [cm^2] Área de acero requerido.  
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req_3)
```

```
ans =  
'Área requerida es de: 8.6697 [cm^2]'
```

Acero a utilizar

```
bar_3 = [510/1000000]; % Número de barra a utilizar.  
N_bar_3 = 2; % Cantidad de barras a utilizar.  
D_bar_3 = 25.4*0.001; % Diametro del acero asumido.  
As_3 = bar_3*N_bar_3*100^2; % [cm^2] Área de acero asumida.
```

```
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req_3)
```

```
ans =  
'Área requerida es de: 8.6697 [cm^2]'
```

```
sprintf('Se tiene un As: %0.5g [cm^2]',As_3)
```

```
ans =  
'Se tiene un As: 10.2 [cm^2]'
```

```
if As_req_3 <= As_3  
    disp('!!!!!!! Si Cumple con el área requerida !!!!!!!!')  
else  
    disp('!!!!!!! No Cumple con el área requerida !!!!!!!!')  
end
```



```
end
```

```
ans =  
'Si Cumple con lo requerido que es de: 0.0058382 '
```

Comportamiento del elemento

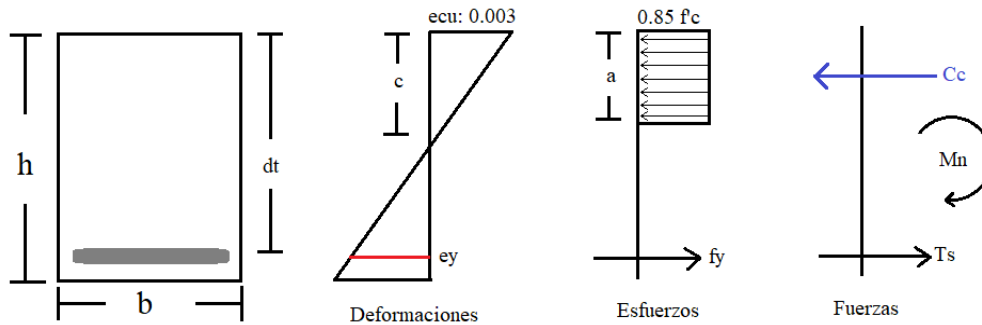


Figura No.5: Diagra de deformación, esfuerzo y fuerzas.

Determinar valor c

```
c3 = ((As_3/100^2)*fy)/(0.85*fc*bt1*b); % [m]  
sprintf('c: %0.5g [m]',c3)
```

```
ans =  
'c: 0.094118 [m]'
```

Deformación del acero ϵ_s

$$\epsilon_s = \frac{0.003(d - c)}{c}$$

```
es3 = ecu*((dt_3-c3)/c3);  
sprintf('Deformación del acero es de: %0.5g ',es3)
```

```
ans =  
'Deformación del acero es de: 0.012549 '
```

```
if es3 > ey  
    disp('; Acero está en fluencia !')  
else  
    disp('; Acero NO está en fluencia !')  
end
```

```
; Acero está en fluencia !
```

Fuerza del acero a tracción

$$T_s = A_{s_{tol}} * f_y$$

```
Ts3 = (As_3/100^2)*fy; % [N] Fuerza del acero.  
sprintf('Ts: %0.5g [N]',Ts3)
```

```
ans =  
'Ts: 4.284e+05 [N]'
```

Valor de a

$$a = \beta_1 * c$$

```
a3 = bt1*c3; % [m]
sprintf('a: %0.5g [m]',a3)
```

```
ans =
'a: 0.08 [m]'
```

Determinar el momento requerido (M_n)

$$\sum M_{Cc} = +T_s * \left(dt - \left(\frac{a}{2} \right) \right) - M_n$$

```
Mn3 = Ts3*(dt_3-(a3/2)); % [N-m]
sprintf('Mn: %0.5g [N-m]',Mn3)
```

```
ans =
'Mn: 1.9184e+05 [N-m]'
```

Calculo del factor de reducción de resistencia ϕ

```
if R_3 >= 1
    esf_3 = ecu*((dt_f3-c3)/c3)
    if esf_3 <= .002
        fi_3 = .65
    elseif esf_3 <= .005
        fi_3 = .65+(esf_3-.002)*(250/3)
    else
        fi_3 = 0.9
    end
else
    if es3 <= .002
        fi_3 = .65
    elseif es3 <= .005
        fi_3 = .65+(es3-.002)*(250/3)
    else
        fi_3 = 0.9
    end
end
```

```
fi_3 =
    0.9
```

Momento nominal máximo requerido (ϕM_n)

$$\phi M_n = f_i * M_n$$

```
fi_Mn3 = fi_3*Mn3; % [N-m]
sprintf('ØMn: %0.5g [N-m]',fi_Mn3)
```

```
ans =
'ØMn: 1.7265e+05 [N-m]'
```

Chequeo Resistencia

```

if fi_Mn3 >= Mu_3
    disp('!!!!!! La estructura SI resiste !!!!!!!')
    ISE_3 = Mu_3/fi_Mn3;
    sprintf('ISE: %0.5g [Porcentaje]',ISE_3*100)
else
    disp('!!!!!! La estructura NO resiste !!!!!!!')
    ISE_3 = Mu_3/fi_Mn3;
    sprintf('ISE: %0.5g [Porcentaje]',ISE_3*100)
end

```

```

!!!!!! La estructura SI resiste !!!!!!!
ans =
'ISE: 87.503 [Porcentaje]'

```

3.15- Tabla resumen

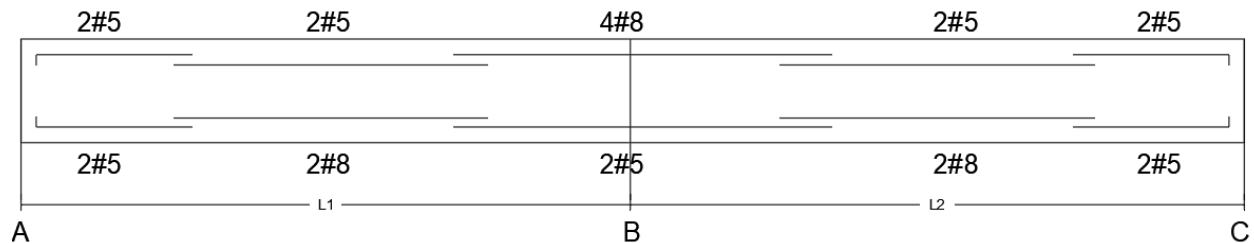


Figura No.6: Despiece de acero longitudinal.

```

Momentos = [Mu_1;Mu_2;Mu_3];
K = [k_1;k_2;k_3];
Ro_asu = [ro_req;ro_req_2;ro_req_3];
Area_cm2 = [As;As_2;As_3];
No_Barra = [bar;bar_2;bar_3];
Aceros = [N_bar;N_bar_2;N_bar_3];
Deform = [es1;es2;es3];
fi_Mn = [fi_Mn1;fi_Mn2;fi_Mn3];
T = table(Momentos,K,Ro_asu,Area_cm2,No_Barra,Aceros,Deform,fi_Mn)

```

T = 3x8 table

	Momentos	K	Ro_asu	Area_cm2	No_Barra	Aceros	Deform
1	1.5108e+05	2.0553e+06	0.0058382	10.2	0.00051	2	0.012549
2	2.6438e+05	3.5967e+06	0.010917	20.4	0.00051	4	0.0047743
3	1.5108e+05	2.0553e+06	0.0058382	10.2	0.00051	2	0.012549

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Ejemplo No.4: Diseño de viga con dos voladizos

1- Introducción

Esta guía didáctica presenta los fundamentos matemáticos y criterios necesarios para el diseño de vigas rectangulares y así como la interpretación del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 debido a que las grandes obras de infraestructuras, edificaciones y servicios se construyen que se construyen son en concreto reforzado.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de Contenido

Ejemplo No.4: Diseño de viga con dos voladizos.....	1
1- Introducción.....	1
2- Enunciado.....	1
3- Desarrollo.....	2
3.1- Datos de entrada.....	2
3.2- Cargas aplicadas sin P.P.....	2
3.3- Propiedades de los materiales.....	2
3.4- Cálculo de	3
3.5- Recubrimiento.....	4
3.6- Barra para estribos.....	4
3.7- Dimensionamiento.....	4
3.7.1- Altura de viga.....	4
3.7.2- Dimensión base de viga.....	6
3.7.3- Dimensionamiento final.....	6
3.8- Determinar que la luz libre sea la correcta.....	7
3.9- Cálculo del P.P (Peso propio).....	7
3.10- Cálculo de carga distribuida.....	7
3.11- Cálculo de momentos.....	8
3.12- Para momento negativo N°1 (A-B).....	9
3.13- Para momento positivo (B-C).....	15
3.14- Para momento negativo N°2 (C-D).....	21
3.15- Tabla resumen.....	27
4- Bibliografía.....	27

2- Enunciado

Una viga rectangular reforzada a tensión que está expuesta a la intemperie y en contacto con el suelo debe diseñarse para soportar una carga muerta de 27kN/m más el propio peso, y una carga viva de servicio de 18kN/m con un voladizo de 1.5 metros A-B, con una luz de 4.5 metros B-C y con otro voladizo de 1.2 metros C-D. La resistencia de los materiales son $f_y = 420$ MPa, módulo de elasticidad de 200 GPa, una deformación del acero de 0.00206 y $f'_c = 28$ MPa, para el acero y concreto respectivamente. La altura total de la viga no debe exceder 50 cm. Calcule el ancho se necesita para la viga y el acero a tensión exigido según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 .

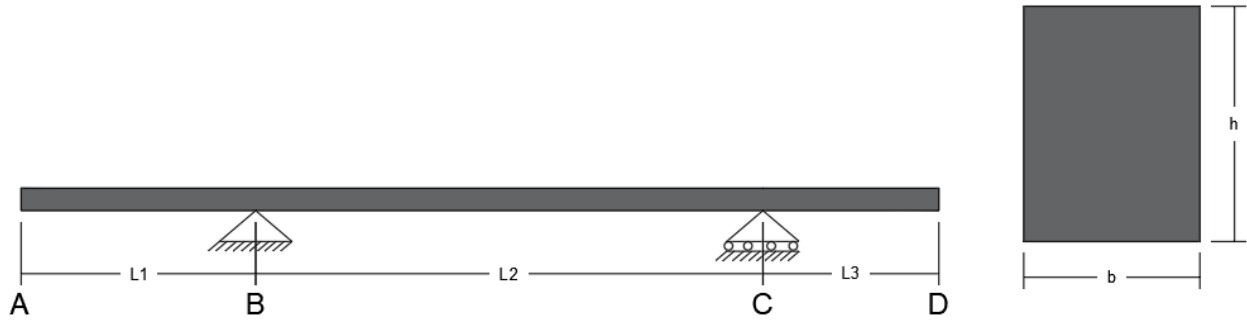


Figura No.1: Viga de dos luces - Corte transversal y longitudinal.

3- Desarrollo

3.1- Datos de entrada

Ingresar la respectiva longitud del del elemento.

l1 = 1.5; % Longitud Viga N°1 [m]
 l2 = 4.5; % Longitud Viga N°2 [m]
 l3 = 1.2; % Longitud Viga N°2 [m]

3.2- Cargas aplicadas sin P.P

Carga muerta:

DL = 27e3; % Carga Muerta [N/m]

Carga viva:

LL = 18e3; % Carga Viva [N/m]

3.3- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada una de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

- Resistencia específica a la compresión.

f_c = 28e6; % [Pa]

- Deformación máxima de concreto a compresión.

e_{cu} = 0.003;

- Resistencia específica a la fluencia.

f_y = 420e6; % [Pa]

- Módulo de elasticidad del acero.

E_s = 200e9; % [Pa]

- Deformación del acero.

```
ey= 0.00206;
```

- Peso unitario del concreto.

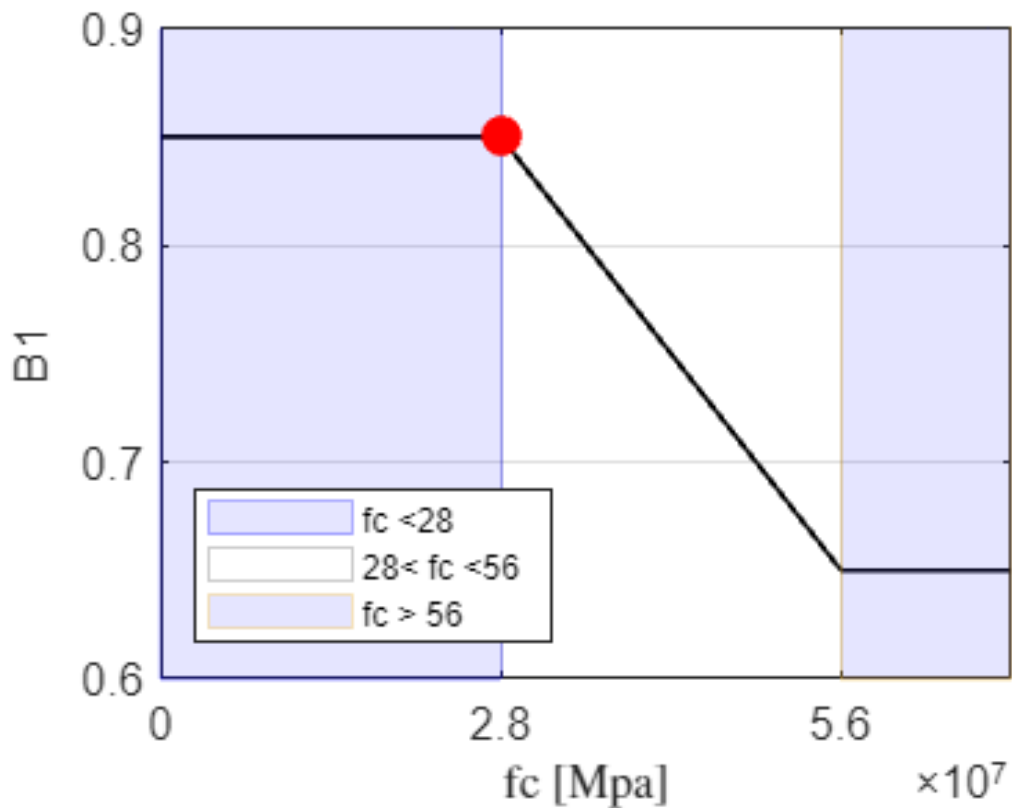
```
y_c =24000; % [N/m^3] Peso unitario del concreto.
```

3.4- Cálculo de β_1

Para el cálculo de β_1 se determina de acuerdo al f'_c al cual hace referencia a la resistencia del concreto a compresión. El capítulo C.10.2.7.3 del reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 que para f'_c entre 17 y 28 MPa, en factor β_1 se debe tomar como 0,85. Para f'_c superior a 28 MPa, β_1 se debe disminuir en forma lineal a razón de 0.05 por cada 7 MPa de aumento sobre 28 MPa, sin embargo, β_1 no debe ser menor de 0,65.

- Cuando $f'_c < 28$ MPa entonces $\beta_1 = 0.85$
- Cuando $28 \text{ MPa} < f'_c < 56 \text{ MPa}$ entonces $\beta_1 = 0.85 - 0.05 * \frac{(f'_c - 28)}{7}$
- Cuando $f'_c > 56$ MPa $\beta_1 = 0.65$

```
flag_2=true;
if fc <= 28e6
    bt1 = .85;
elseif fc < 56e6
    bt1 = .85-.05*(fc/1e6-28)/7;
else
    bt1 = 0.65;
end
if flag_2 == true
ves_2=[0 28e6 56e6 70e6];
aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:70e6];
    if fc > ves_2(end)
        ves_2=[0 28e6 56e6 fc];
        aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:fc];
    end
vfi_2=[.85 .85 .65 .65];
plot(ves_2,vfi_2,'color',[ 0 0 0],'linewidth',1), grid on, hold on
f1_2 = fill([0 28e6 28e6 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1]);
f2_2 = fill([56e6 ves_2(end) ves_2(end) 56e6],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1]);
ft_2 = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves_2(end) .6 .90])
plot(fc,bt1,'r','marker','o','markersize',8,'MarkerFaceColor','r');
set(gca,'XTick',aa_2)
ylabel('B1','fontsize',10)
xlabel('fc [Mpa]','fontsize',10,'interpreter','latex')
legend([f1_2 ft_2 f2_2],{'fc <28','28 < fc <56','fc > 56'},'fontsize',7,'location','southwest')
end
```

```
sprintf('Valor de B1 es de: %0.5g ',bt1)
```

```
ans =
'Valor de B1 es de: 0.85 '
```

3.5- Recubrimiento

En este caso se debe verificar en la estructura o en las memorias de cálculo que tipo de recubrimiento es la que tiene el elemento. Seguidamente seleccione que longitud tiene según el capítulo C.7.7 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

```
re = 50*0.001;           % [mm]
sprintf('El recubrimiento es de: %0.5g [m]',re)
```

```
ans =
'El recubrimiento es de: 0.05 [m]'
```

3.6- Barra para estribos

```
D_est = 9.5*0.001;      % Diametro del acero.
```

3.7- Dimensionamiento

3.7.1- Altura de viga

Nota: Lea y seleccione adecuadamente la tabla según sea la situación en la cual está la estructura, de lo contrario si cuenta ya con unos datos iniciales que son otorgados por un plano arquitectónico debe seleccionar "NO Dat. Arqu."

Tabla C.9.5 (a) Alturas de vigas no prees forzadas donde los elementos NO soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes. (Pag. C-132 NSR-10).

	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que NO soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{l}{20}$	$\frac{l}{24}$	$\frac{l}{28}$	$\frac{l}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{18.5}$	$\frac{l}{21}$	$\frac{l}{8}$

Tabla C.9.5 Altura de vigas (Tomada del capítulo C NSR-10).

Tabla CR.9.5 Altura mínima recomendada para vigas no prees forzadas que soporten particiones frágiles susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes, a menos que se calculen las deflexiones. Elementos donde **SI** soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones (Pag. C-132 NSR-10).

	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{l}{14}$	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{19}$	$\frac{l}{7}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{l}{11}$	$\frac{l}{12}$	$\frac{l}{14}$	$\frac{l}{5}$

Tabla CR.9.5 Altura de vigas (Tomada del capítulo C NSR-10)

Selección de tabla

```

Tab = 2;
if Tab <= 0
    disp('==== Contiene datos arquitectónicos ==== ')

elseif (Tab > 0) && (Tab < 2)           % >>>>>> TABLA C.9.5 (a) <<<<<<
    h1 = 11/8;
    h2 = 12/18.5;
    h3 = 13/8;
    ht = [h1 h2 h3];
    hmax = max(ht);
    sprintf('Según la Tabla C.9.5 (a) tiene una altura de: %0.5g [m]',hmax)

```

```

else % >>>>>> TABLA CR.9.5 <<<<<<<
    h1 = l1/5;
    h2 = l2/12;
    h3 = l3/5;
    ht = [h1 h2 h3];
    hmax = max(ht);
    sprintf('Según la Tabla C.9.5 (a) tiene una altura de: %0.5g [m]',hmax)
end

```

```

ans =
'Según la Tabla C.9.5 (a) tiene una altura de: 0.375 [m]'

```

Sección definitiva según la NSR-10 o la altura dada en el plano arquitectónico

Nota: Se recomienda aproximar la dimensión antes calculada o la otorgada, de manera que sean cerradas.

```

h = 0.35; % Altura [m]

```

3.7.2- Dimensión base de viga

Según el numeral C.21.5.1.3 de la NSR-10 el ancho del elemento b no debe ser menor que el valor mayor entre $0.30h$ y 250 mm.

```

if Tab <= 0
    disp('==== Contiene datos arquitectónicos ===== ')
else
    b1 = 0.3*h;
    if b1 >= 0.25
        bf = b1;
        sprintf('Dimensión de la base [Según C.21.5.1.3] es de: %0.5g [m]',bf)
    else
        bf = 0.25;
        sprintf('Dimensión de la base [Según C.21.5.1.3] es de: %0.5g [m]',bf)
    end
end
end

```

```

ans =
'Dimensión de la base [Según C.21.5.1.3] es de: 0.25 [m]'

```

Sección definitiva según la NSR-10 o las dimensiones dadas en el plano arquitectónico

Nota: Se recomienda aproximar la dimensión antes calculada o la otorgada, de manera que sea cerradas.

```

b = 0.25; % Base [m]

```

3.7.3- Dimensionamiento final

```

unid = sprintf('metros');
Parte = {' Base ' ; ' Altura ' };
Dimension = [b;h];
unid = [unid;unid];
T = table(Parte,Dimension,unid)

```

```

T = 2x3 table

```

	Parte	Dimension	unidad
1	' Base '	0.25	metros
2	' Altura '	0.35	metros

3.8- Determinar que la luz libre sea la correcta

Según el numeral C.21.5.1.2 la luz libre del elemento l_n no debe ser menor que cuatro veces su altura útil. Tener en cuenta que para este caso, solo se verifica la luz que hay de la viga central ya que es la única que se encuentra sobre dos apoyos.

```
ln = 4*h; % [m]
lt = min(l2); % Longitud mínima entre luces.

if lt >= ln
    disp('!!!!!!! Si es la longitud correcta !!!!!!!')

    sprintf('Longitud mínima para esta viga es de: %0.5g [m]',ln)
    sprintf('Y se tiene una longitud de: %0.5g [m]',lt)
else
    disp('; No es la longitud correcta !')
    sprintf('Por que la longitud mínima es de: %0.5g [m]',ln)
    sprintf('Y se tiene una longitud de: %0.5g [m]',lt)
end
```

```
!!!!!!! Si es la longitud correcta !!!!!!!
ans =
'Longitud mínima para esta viga es de: 1.4 [m]'
ans =
'Y se tiene una longitud de: 4.5 [m]'
```

3.9- Cálculo del P.P (Peso propio)

Determinamos el peso propio del elemento teniendo en cuenta el peso unitario del concreto reforzado que es de 24 kN/m^3 por lo tanto se tiene:

$$P_p = \gamma_c * b * h$$

```
pp = y_c*(b*h); % Peso propio de la viga [N/m]
sprintf('El peso propio del elemento es de: %0.5g [N/m]',pp)
```

```
ans =
'El peso propio del elemento es de: 2100 [N/m]'
```

3.10- Cálculo de carga distribuida

Para este caso se debe tener en cuenta las combinaciones de carga según el numeral B.2.4.2 de la NSR-10 donde nos hace referencia a que el diseño de estructuras, sus componentes y cimentaciones debe hacerse de tal forma que sus resistencias de diseño igualen o excedan los efectos producidos por las cargas mayoradas en las combinaciones presentadas.

- 1.4 (D + Pp)
- 1.2(D + Pp) + 1.6L
- 1.2 (D + Pp) + 1.0L

```

Wu1 = (1.4*(DL+pp));           % [N/m]
Wu2 = (1.2*(DL+pp))+(1.6*LL);  % [N/m]
Wu3 = (1.2*(DL+pp))+(1.0*LL);  % [N/m]
Wu_max = [Wu1 Wu2 Wu3];
Wu = max(Wu_max);
sprintf('Se tiene una carga distribuida máxima de: %0.5g [N/m]',Wu)

```

```

ans =
'Se tiene una carga distribuida máxima de: 63720 [N/m]'

```

3.11- Cálculo de momentos

Un momento es una fuerza de rotación que ocurre cuando esta es aplicada de manera perpendicularmente a un punto a una distancia dada, en consecuencia, para este caso las vigas rectangulares producen momentos flectores o los llamados momentos de flexión, para lo dicho anteriormente se tiene la siguiente fórmula para determinar el respectivo momento:

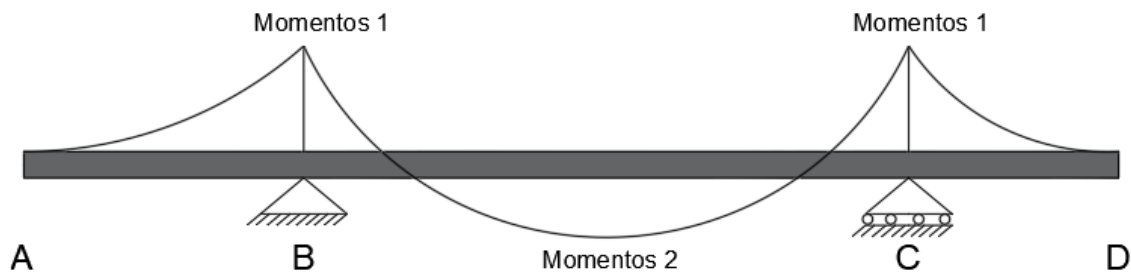


Figura No.2: Viga simplemente apoyada - Momento.

$$M1_{\max} = \frac{Wu * L^2}{11}$$

$$M2_{\max} = \frac{Wu * L^2}{14}$$

```

Mu_1 = (Wu*(11^2))/8;
sprintf('Momento Negativo (A-B) : %0.5g [N*m]',Mu_1)

```

```

ans =
'Momento Negativo (A-B) : 17921 [N*m]'

```

```

Mu_2 = (Wu*(12^2))/14;
sprintf('Momento Positivo (B-C) : %0.5g [N*m]',Mu_2)

```

```

ans =
'Momento Positivo (B-C) : 92166 [N*m]'

```

```

Mu_3 = (Wu*(13^2))/8;
sprintf('Momento Negativo (C-D) : %0.5g [N*m]',Mu_3)

```

```
ans =  
'Momento Negativo (C-D) : 11470 [N*m]'
```

3.12- Para momento negativo N°1 (A-B)

Determinar la cuantía de diseño

Asumir que: $d = 0.90 * h$

```
dt_1 = 0.9*h;  
sprintf('d: %0.5g [m]',dt_1)
```

```
ans =  
'd: 0.315 [m]'
```

Determinar el valor de $K = \frac{Mu}{d * b^2}$

```
k_1 = (Mu_1)/(b*(dt_1^2));  
sprintf('K: %0.5g [N/m2]',k_1)
```

```
ans =  
'K: 7.2245e+05 [N/m2]'
```

$\phi = 0.90$

```
fi_1 = 0.9;
```

Cálculo de la cuantía requerida

$$\rho_{req} = \frac{0.85 * f'c}{fy} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * K}{0.85 * f'c * \phi}} \right)$$

```
ro_req = ((0.85*fc)/(fy))*(1-(1-((2*k_1)/(0.85*fc*fi_1)))^0.5);  
sprintf('Cuantía es de: %0.5g ',ro_req)
```

```
ans =  
'Cuantía es de: 0.0019446 '
```

Cuantía mínima de diseño

$$\rho_{min} = \frac{0.25 \sqrt{f'c}}{fy}$$

```
ro_min1_1 = ((0.25*(fc^0.5))/(fy));  
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min1_1)
```

```
ans =  
'Cuantía mínima es de: 3.1497e-06 '
```

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{fy}$$

```
ro_min2_1 = (1.4/(fy/1e6));  
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min2_1)
```

```
ans =  
'Cuantía mínima es de: 0.0033333 '
```

```
ro = [ro_req ro_min1_1 ro_min2_1 ];  
ro_req = max(ro);
```

Cuantía de diseño

```
sprintf('Cuantía requerida es de: %0.5g ',ro_req)
```

```
ans =  
'Cuantía requerida es de: 0.0033333 '
```

Cálculo del área de acero requerido

$$A_{S_{req}} = \rho_{req} * b * d$$

```
As_req = ro_req*b*dt_1*100^2;           % [cm^2] Área de acero requerido.  
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req)
```

```
ans =  
'Área requerida es de: 2.625 [cm^2]'
```

Acero a utilizar

```
bar    =[199/1000000];           % Número de barra a utilizar.  
N_bar  =2;                       % Cantidad de barras a utilizar.  
D_bar  =15.9*0.001;             % Diámetro del acero asumido.  
As     = bar*N_bar*100^2        % [cm^2] Área de acero asumida.
```

```
As =  
    3.98
```

```
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req)
```

```
ans =  
'Área requerida es de: 2.625 [cm^2]'
```

```
sprintf('Se tiene un As: %0.5g [cm^2]',As)
```

```
ans =  
'Se tiene un As: 3.98 [cm^2]'
```

```
if As_req <= As  
    disp('!!!!!!! Si Cumple con el área requerida !!!!!!!!')  
else  
    disp('!!!!!!! No Cumple con el área requerida !!!!!!!!')  
end
```

```
!!!!!!! Si Cumple con el área requerida !!!!!!!!
```

Distancia mínima entre barras paralelas

```
if D_bar >= 2.5  
    Sb = D_bar;
```



```
'Base requerida es de: 0.1758 [m]'
ans =
'Se tiene un ancho de base de: 0.25 [m]'
; Si Cumple con la distancia requerida !
```

Recalculo de los Datos

Valor de d exacto

```
clear dt_1, clear As
if R_1 >= 1
    disp('Como se tiene dos filas de acero, por lo tanto se tiene las siguientes distancias')
    d1 = re+(D_est)+(D_bar/2); % [m] Distancia desde el borde inferior
    sprintf('d1: %0.5g [m]',d1)
    d2 = re+(D_est)+(D_bar)+(0.025)+(D_bar/2); % [m] Distancia desde el borde inferior
    sprintf('d2: %0.5g [m]',d2)

    As1 = bar*N_bar1*100^2; % Reasignación de acero
    As2 = bar*N_bar2*100^2; % Reasignación de acero

    g1 = ((As1*d1)+(As2*d2))/(As1+As2); % [m] Centro de gravedad del acero
    sprintf('Centro de gravedad es de: %0.5g [m]',g1)

    dt_1 = h-g1; % [m] Distancia desde el borde superior
    sprintf('Se tiene una distancia d: %0.5g [m]',dt_1)
    dt_f = h-re-D_est-(D_bar/2); % [m] Distancia desde el borde superior
    As = As1+As2;

else
    dt_1 = h-(re+(D_est)+(D_bar/2)); % [m] Distancia desde el borde superior
    sprintf('Se tiene una distancia d: %0.5g [m]',dt_1)
    As = N_bar*bar*100^2;
end
```

```
ans =
'Se tiene una distancia d: 0.28255 [m]'
```

Recalculo de la cuantía de diseño

```
ro_asum = (As/100^2)/(b*dt_1);
sprintf('Se tiene una cuantía de: %0.5g ',ro_asum)
```

```
ans =
'Se tiene una cuantía de: 0.0056344 '
```

```
if ro_asum >= ro_req
    sprintf('Si cumple con lo requerido que es de: %0.5g ',ro_req)
else
    sprintf('No cumple con lo requerido que es de: %0.5g ',ro_req)
end
```

```
ans =
'Si cumple con lo requerido que es de: 0.0033333 '
```

Comportamiento del elemento

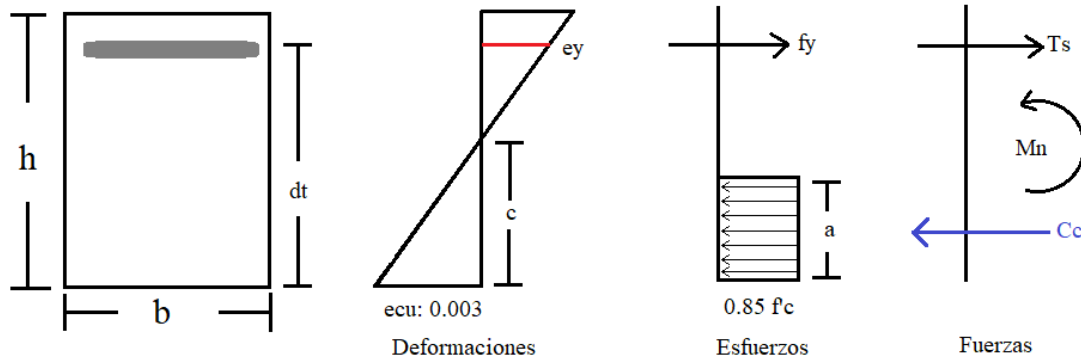


Figura No.3: Diagra de deformación, esfuerzo y fuerzas.

Determinar valor c

```
c1 = ((As/100^2)*fy)/(0.85*fc*bt1*b); % [m]
sprintf('c: %0.5g [m]',c1)
```

```
ans =
'c: 0.033052 [m]'
```

Deformación del acero ϵ_s

$$\epsilon_s = \frac{0.003(d - c)}{c}$$

```
es1 = ecu*((dt_1-c1)/c1);
sprintf('Deformación del acero es de: %0.5g ',es1)
```

```
ans =
'Deformación del acero es de: 0.022646 '
```

```
if es1 > ey
    disp('; Acero está en fluencia !')
else
    disp('; Acero NO está en fluencia !')
end
```

```
; Acero está en fluencia !
```

Fuerza del acero a tracción

$$T_s = A_{s_{tol}} * f_y$$

```
Ts1 = (As/100^2)*fy; % [N] Fuerza del acero.
sprintf('Ts: %0.5g [N]',Ts1)
```

```
ans =
'Ts: 1.6716e+05 [N]'
```

Valor de a

$$a = \beta_1 * c$$

```
a1 = bt1*c1; % [m]
```

```
sprintf('a: %0.5g [m]',a1)
```

```
ans =  
'a: 0.028094 [m]'
```

Determinar el momento requerido (Mn)

$$\sum M_{Cc} = -T_s * \left(dt - \left(\frac{a}{2} \right) \right) + M_n$$

```
Mn1 = Ts1*(dt_1-(a1/2)); % [N-m]  
sprintf('Mn: %0.5g [N-m]',Mn1)
```

```
ans =  
'Mn: 44883 [N-m]'
```

Cálculo del factor de reducción de resistencia ϕ

```
if R_1 >= 1  
    esf = ecu*((dt_f-c1)/c1)  
    if esf <= .002  
        fi = .65  
    elseif esf <= .005  
        fi = .65+(esf-.002)*(250/3)  
    else  
        fi = 0.9  
    end  
else  
    if es1 <= .002  
        fi = .65  
    elseif es1 <= .005  
        fi = .65+(es1-.002)*(250/3)  
    else  
        fi = 0.9  
    end  
end
```

```
fi =  
    0.9
```

Momento nominal máximo requerido (ϕM_n)

$$\phi M_n = f_i * M_n$$

```
fi_Mn1 = fi*Mn1; % [N-m]  
sprintf('ØMn: %0.5g [N-m]',fi_Mn1)
```

```
ans =  
'ØMn: 40395 [N-m]'
```

Chequeo Resistencia

```
if fi_Mn1 >= Mu_1  
    disp('!!!!!! La Estructura SI Resiste !!!!!!!')  
    ISE = Mu_1/fi_Mn1;  
    sprintf('ISE: %0.5g [Porciento]',ISE*100)
```

```

else
    disp('!!!!!! La Estructura NO Resiste !!!!!!!')
    ISE = Mu_1/fi_Mn1;
    sprintf('ISE: %0.5g [Porcentaje]',ISE*100)
end

```

```

!!!!!! La Estructura SI Resiste !!!!!!!
ans =
'ISE: 44.365 [Porcentaje]'

```

3.13- Para momento positivo (B-C)

Determinar la cuantía de diseño

Asumir que: $d = 0.90 * h$

```

dt_2 = 0.9*h;
sprintf('d: %0.5g [m]',dt_2)

```

```

ans =
'd: 0.315 [m]'

```

Determinar el valor de $K = \frac{Mu}{d * b^2}$

```

k_2 = (Mu_2)/(b*(dt_2^2));
sprintf('K: %0.5g [N/m2]',k_2)

```

```

ans =
'K: 3.7155e+06 [N/m2]'

```

$\phi = 0.90$

```

fi_2 = 0.9;

```

Cálculo de la cuantía requerida

$$\rho_{req} = \frac{0.85 * f'c}{fy} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * K}{0.85 * f'c * \phi}} \right)$$

```

ro_req_2 = ((0.85*fc)/(fy))*(1-(1-((2*k_2)/(0.85*fc*fi_2)))^0.5);
sprintf('Cuantía es de: %0.5g ',ro_req_2)

```

```

ans =
'Cuantía es de: 0.010872 '

```

Cuantía mínima de diseño

$$\rho_{min} = \frac{0.25 \sqrt{f'c}}{fy}$$

```

ro_min1_2 = ((0.25*(fc^0.5))/(fy));
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min1_2)

```

```

ans =
'Cuantía mínima es de: 3.1497e-06 '

```

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

```
ro_min2_2 = (1.4/(fy/1e6));  
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min2_2)
```

```
ans =  
'Cuantía mínima es de: 0.0033333 '
```

```
ro_2 = [ro_req_2 ro_min1_2 ro_min2_2 ];  
ro_req_2 = max(ro_2);
```

Cuantía de diseño

```
sprintf('Cuantía requerida es de: %0.5g ',ro_req_2)
```

```
ans =  
'Cuantía requerida es de: 0.010872 '
```

Cálculo del área de acero requerido

$$A_{S_{req}} = \rho_{req} * b * d$$

```
As_req_2 = ro_req_2*b*dt_2*100^2; % [cm^2] Área de acero requerido.  
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req_2)
```

```
ans =  
'Área requerida es de: 8.5619 [cm^2]'
```

Acero a utilizar

```
bar_2 = [387/1000000]; % Número de barra a utilizar.  
N_bar_2 = 3; % Cantidad de barras a utilizar.  
D_bar_2 = 22.2*0.001; % Diámetro del acero asumido.  
As_2 = bar_2*N_bar_2*100^2; % [cm^2] Área de acero asumida.
```

```
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req_2)
```

```
ans =  
'Área requerida es de: 8.5619 [cm^2]'
```

```
sprintf('Se tiene un As: %0.5g [cm^2]',As_2)
```

```
ans =  
'Se tiene un As: 11.61 [cm^2]'
```

```
if As_req_2 <= As_2  
    disp('!!!!!!! Si cumple con el área requerida !!!!!!!!')  
else  
    disp('!!!!!!! No cumple con el área requerida !!!!!!!!')  
end
```

```
!!!!!!! Si cumple con el área requerida !!!!!!!!
```

Distancia mínima entre barras paralelas

Comportamiento del elemento

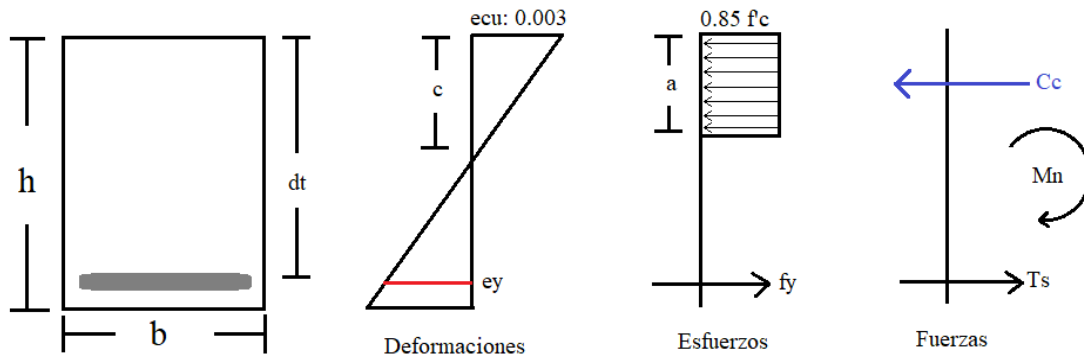


Figura No.4: Diagra de deformación, esfuerzo y fuerzas.

Determinar valor c

```
c2 = ((As_2/100^2)*fy)/(0.85*fc*bt1*b); % [m]
sprintf('c: %0.5g [m]',c2)
```

```
ans =
'c: 0.096415 [m]'
```

Deformación del acero ϵ_s

$$\epsilon_s = \frac{0.003(d - c)}{c}$$

```
es2 = ecu*((dt_2-c2)/c2);
sprintf('Deformación del acero es de: %0.5g ',es2)
```

```
ans =
'Deformación del acero es de: 0.0056936 '
```

```
if es2 > ey
    disp('; Acero está en fluencia !')
else
    disp('; Acero NO está en fluencia !')
end
```

```
¡ Acero está en fluencia !
```

Fuerza del acero a tracción

$$T_s = A_{s_{tol}} * f_y$$

```
Ts2 = (As_2/100^2)*fy; % [N] Fuerza del acero.
sprintf('Ts: %0.5g [N]',Ts2)
```

```
ans =
'Ts: 4.8762e+05 [N]'
```

Valor de a

$$a = \beta_1 * c$$


```
a2 = bt1*c2; % [m]
sprintf('a: %0.5g [m]',a2)
```

```
ans =
'a: 0.081953 [m]'
```

Determinar el momento requerido (Mn)

$$\sum M_{Cc} = +T_s * \left(dt - \left(\frac{a}{2} \right) \right) - M_n$$

```
Mn2 = Ts2*(dt_2-(a2/2)); % [N-m]
sprintf('Mn: %0.5g [N-m]',Mn2)
```

```
ans =
'Mn: 1.1626e+05 [N-m]'
```

Cálculo del factor de reducción de resistencia ϕ

```
if R_2 >= 1
    esf_2 = ecu*((dt_f2-c2)/c2)
    if esf_2 <= .002
        fi_2 = .65
    elseif esf_2 <= .005
        fi_2 = .65+(esf_2-.002)*(250/3)
    else
        fi_2 = 0.9
    end
else
    if es2 <= .002
        fi_2 = .65
    elseif es2 <= .005
        fi_2 = .65+(es2-.002)*(250/3)
    else
        fi_2 = 0.9
    end
end
```

```
fi_2 =
    0.9
```

Momento nominal máximo requerido (ϕM_n)

$$\phi M_n = f_i * M_n$$

```
fi_Mn2 = fi_2*Mn2; % [N-m]
sprintf('ØMn: %0.5g [N-m]',fi_Mn2)
```

```
ans =
'ØMn: 1.0463e+05 [N-m]'
```

Chequeo Resistencia

```
if fi_Mn2 >= Mu_2
    disp('!!!!!! La estructura SI resiste !!!!!!!')
    ISE_2 = Mu_2/fi_Mn2;
```

```

    sprintf('ISE: %0.5g [Porcentaje]',ISE_2*100)
else
    disp('!!!!!! La estructura NO resiste !!!!!!!')
    ISE_2 = Mu_2/fi_Mn2;
    sprintf('ISE: %0.5g [Porcentaje]',ISE_2*100)
end

```

```

!!!!!! La estructura SI resiste !!!!!!!
ans =
'ISE: 88.085 [Porcentaje]'

```

3.14- Para momento negativo N°2 (C-D)

Determinar la cuantía de diseño

Asumir que: $d = 0.90 * h$

```

dt_3 = 0.9*h;
sprintf('d: %0.5g [m]',dt_3)

```

```

ans =
'd: 0.315 [m]'

```

Determinar el valor de $K = \frac{Mu}{d * b^2}$

```

k_3 = (Mu_3)/(b*(dt_3^2));
sprintf('K: %0.5g [N/m2]',k_3)

```

```

ans =
'K: 4.6237e+05 [N/m2]'

```

$\phi = 0.90$

```

fi_3 = 0.9;

```

Cálculo de la cuantía requerida

$$\rho_{req} = \frac{0.85 * f'c}{fy} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * K}{0.85 * f'c * \phi}} \right)$$

```

ro_req_3 = ((0.85*fc)/(fy))*(1-(1-((2*k_3)/(0.85*fc*fi_3)))^0.5);
sprintf('Cuantía es de: %0.5g ',ro_req_3)

```

```

ans =
'Cuantía es de: 0.0012367 '

```

Cuantía mínima de diseño

$$\rho_{min} = \frac{0.25 \sqrt{f'c}}{fy}$$

```

ro_min1_3 = ((0.25*(fc^0.5))/(fy));
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min1_3)

```

```

ans =

```

```
'Cuantía mínima es de: 3.1497e-06 '
```

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

```
ro_min2_3 = (1.4/(fy/1e6));  
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min2_3)
```

```
ans =  
'Cuantía mínima es de: 0.0033333 '
```

```
ro_3 = [ro_req_3 ro_min1_3 ro_min2_3 ];  
ro_req_3 = max(ro_3);
```

Cuantía de diseño

```
sprintf('Cuantía requerida es de: %0.5g ',ro_req_3)
```

```
ans =  
'Cuantía requerida es de: 0.0033333 '
```

Cálculo del área de acero requerido

$$A_{S_{req}} = \rho_{req} * b * d$$

```
As_req_3 = ro_req_3*b*dt_3*100^2; % [cm^2] Área de acero requerido.  
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req_3)
```

```
ans =  
'Área requerida es de: 2.625 [cm^2]'
```

Acero a utilizar

```
bar_3 = [199/1000000]; % Número de barra a utilizar.  
N_bar_3 = 2; % Cantidad de barras a utilizar.  
D_bar_3 = 15.9*0.001; % Diámetro del acero asumido.  
As_3 = bar_3*N_bar_3*100^2; % [cm^2] Área de acero asumida.
```

```
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req_3)
```

```
ans =  
'Área requerida es de: 2.625 [cm^2]'
```

```
sprintf('Se tiene un As: %0.5g [cm^2]',As_3)
```

```
ans =  
'Se tiene un As: 3.98 [cm^2]'
```

```
if As_req_3 <= As_3  
    disp('!!!!!!! Si cumple con el área requerida !!!!!!!')  
else  
    disp('!!!!!!! No cumple con el área requerida !!!!!!!')  
end
```

```
!!!!!!! Si cumple con el área requerida !!!!!!!
```



```
ans =
'Si cumple con lo requerido que es de: 0.0033333 '
```

Comportamiento del elemento

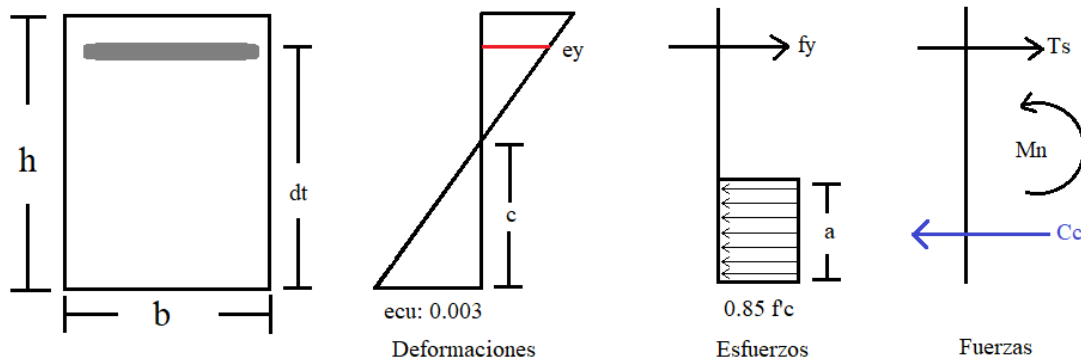


Figura No.5: Diagra de deformación, esfuerzo y fuerzas.

Determinar valor c

```
c3 = ((As_3/100^2)*fy)/(0.85*fc*bt1*b); % [m]
sprintf('c: %0.5g [m]',c3)
```

```
ans =
'c: 0.033052 [m]'
```

Deformación del acero ϵ_s

$$\epsilon_s = \frac{0.003(d - c)}{c}$$

```
es3 = ecu*((dt_3-c3)/c3);
sprintf('Deformación del acero es de: %0.5g ',es3)
```

```
ans =
'Deformación del acero es de: 0.022646 '
```

```
if es3 > ey
    disp('; Acero está en fluencia !')
else
    disp('; Acero NO está en fluencia !')
end
```

```
; Acero está en fluencia !
```

Fuerza del acero a tracción

$$T_s = A_{s_{tol}} * f_y$$

```
Ts3 = (As_3/100^2)*fy; % [N] Fuerza del acero.
sprintf('Ts: %0.5g [N]',Ts3)
```

```
ans =
'Ts: 1.6716e+05 [N]'
```

Valor de a

$$a = \beta_1 * c$$

```
a3 = bt1*c3; % [m]
sprintf('a: %0.5g [m]',a3)
```

```
ans =
'a: 0.028094 [m]'
```

Determinar el momento requerido (Mn)

$$\sum M_{Cc} = -T_s * \left(dt - \left(\frac{a}{2} \right) \right) + M_n$$

```
Mn3 = Ts3*(dt_3-(a3/2)); % [N-m]
sprintf('Mn: %0.5g [N-m]',Mn3)
```

```
ans =
'Mn: 44883 [N-m]'
```

Cálculo del factor de reducción de resistencia ϕ

```
if R_3 >= 1
    esf_3 = ecu*((dt_f3-c3)/c3)
    if esf_3 <= .002
        fi_3 = .65
    elseif esf_3 <= .005
        fi_3 = .65+(esf_3-.002)*(250/3)
    else
        fi_3 = 0.9
    end
else
    if es3 <= .002
        fi_3 = .65
    elseif es3 <= .005
        fi_3 = .65+(es3-.002)*(250/3)
    else
        fi_3 = 0.9
    end
end
```

```
fi_3 =
    0.9
```

Momento nominal máximo requerido (ϕM_n)

$$\phi M_n = \phi * M_n$$

```
fi_Mn3 = fi_3*Mn3; % [N-m]
sprintf('ØMn: %0.5g [N-m]',fi_Mn3)
```

```
ans =
'ØMn: 40395 [N-m]'
```

Chequeo resistencia

```

if fi_Mn3 >= Mu_3
    disp('!!!!!! La Estructura SI Resiste !!!!!!!')
    ISE_3 = Mu_3/fi_Mn3;
    sprintf('ISE: %0.5g [Porcentaje]',ISE_3*100)
else
    disp('!!!!!! La Estructura NO Resiste !!!!!!!')
    ISE_3 = Mu_3/fi_Mn3;
    sprintf('ISE: %0.5g [Porcentaje]',ISE_3*100)
end

```

```

!!!!!! La Estructura SI Resiste !!!!!!!
ans =
'ISE: 28.394 [Porcentaje]'

```

3.15- Tabla resumen

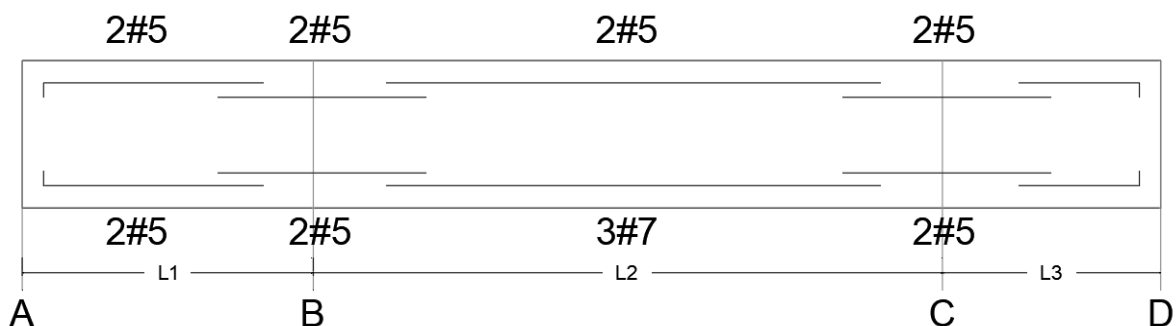


Figura No.6: Despiece de acero longitudinal.

```

Momentos = [Mu_1;Mu_2;Mu_3];
Ro_asu = [ro_req;ro_req_2;ro_req_3];
Area_cm2 = [As;As_2;As_3];
No_Barra = [bar;bar_2;bar_3];
Aceros = [N_bar;N_bar_2;N_bar_3];
Defor = [es1;es2;es3];
fi_Mn = [fi_Mn1;fi_Mn2;fi_Mn3];
T = table(Momentos,Ro_asu,Area_cm2,No_Barra,Aceros,Defor,fi_Mn)

```

T = 3x7 table

	Momentos	Ro_asu	Area_cm2	No_Barra	Aceros	Defor	fi_Mn
1	17921	0.0033333	3.98	0.000199	2	0.022646	40395
2	92166	0.010872	11.61	0.000387	3	0.0056936	1.0463e+05
3	11470	0.0033333	3.98	0.000199	2	0.022646	40395

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Enunciado

clc, clear, close all, format short

Una viga rectangular reforzada a tensión ubicada en el eje 2 B-C del plano adjunto, debe diseñarse para soportar las cargas muertas y vivas (véase el plano). La resistencia de los materiales son $f_y = 420$ MPa, módulo de elasticidad de 200 GPa, una deformación del acero de 0.00206 y $f'_c = 28$ MPa, para el acero y concreto respectivamente. La altura total de la viga no debe exceder 50 cm. Calcule el ancho que se necesita para la viga y el acero a tensión exigido según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Para el análisis de carga, tenga en cuenta lo siguiente:

Acabados:

- Cielo raso en tablero de yeso *Figura No.6: Despiece de acero longitudinal.*
- Mortero de nivelación de 2 a 2.5 cm
- Baldosa cerámica (sobre 20 mm) sobre 12 mm de mortero

Particiones:

- Mampostería de bloque de arcilla pañetado en ambas caras con un espesor de 20 cm
- Altura de muro 2.90 m

Otros:

- Casetones en icopor.

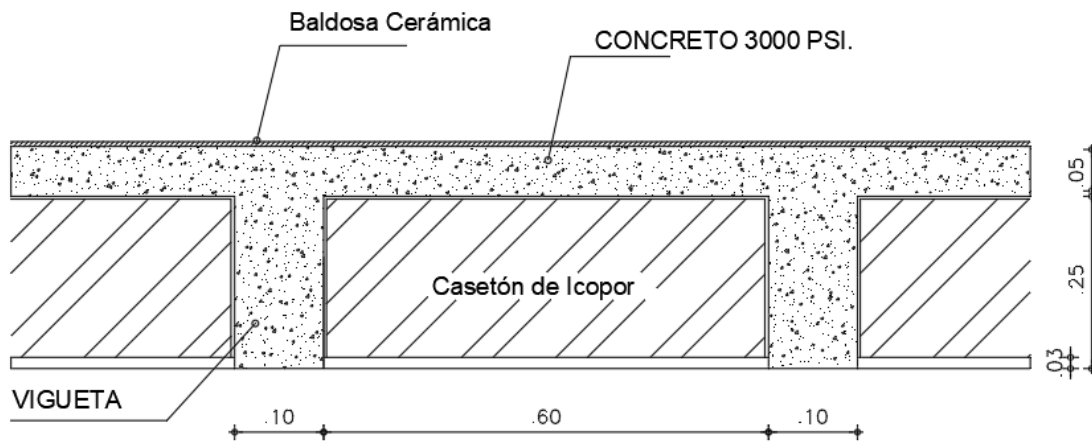


Figura No.1. Detalle de placa aligerada.

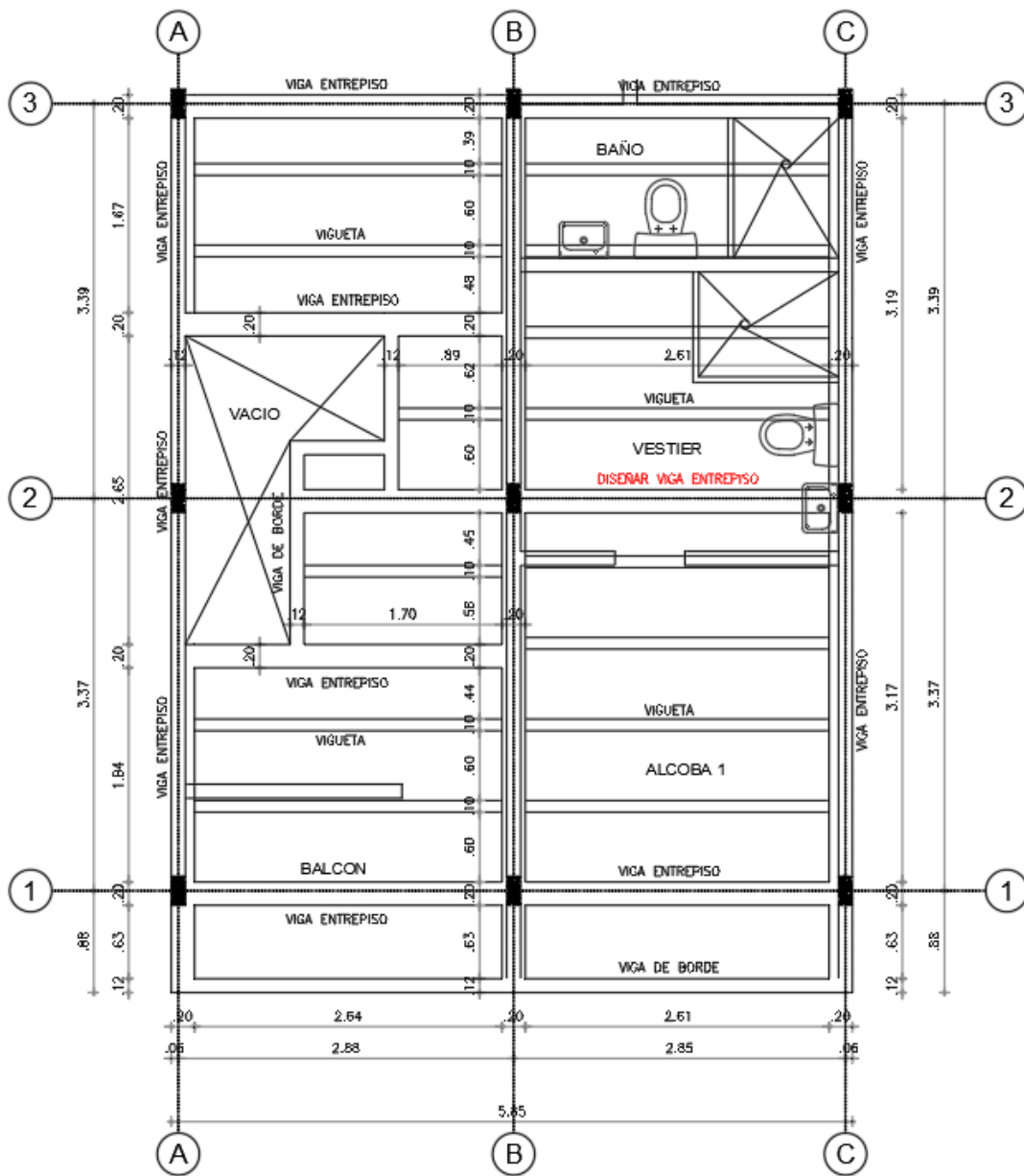


Figura No.2. Plano estructural.

C. Anexo: Guía losas en una dirección.

Diseño de losas

1- Introducción

Las losas son un elemento estructural primordial en las construcciones, ya que proporcionan las superficies horizontales y planas que es donde se aplican las cargas en las estructuras, es el primordial soporte para las personas, objetos, herramientas, equipos etc. De esta manera para el diseño este elemento depende de muchos factores, ya sean funcionales, estructurales y estéticos. De esta manera, en la presente guía se dará a conocer cada uno de los pasos y requisitos que se deben de tener en cuenta para el diseño de losas macizas, nervadas en una dirección.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de Contenido

Diseño de losas.....	1
1- Introducción.....	1
2- Aspectos teóricos.....	1
2.1- Conceptos básicos.....	1
2.2- Losa Nervada.....	7
2.3- Losa maciza.....	9
3- Ejemplo No.1 - Losa Maciza.....	10
4- Desarrollo.....	11
4.1- Datos de entrada.....	11
4.2- Cargas aplicadas sin P.P.....	11
4.3- Propiedades de los materiales.....	12
4.4- Cálculo de	12
4.5- Espesor de losa.....	13
4.6- Cálculo del P.P (Peso propio).....	15
4.7- Recubrimiento.....	15
4.8- Cálculo de carga distribuida.....	15
4.9- Cálculo de momentos.....	16
4.10- Acero para refuerzo principal (Flexión).....	17
4.10.1- Determinar la cuantía de diseño.....	17
4.10.2- Acero a utilizar.....	20
4.10.3- Distancia máxima para refuerzo principal (S1).....	22
4.10.4- Determinar la separación del refuerzo principal.....	22
4.11- Acero para temperatura y retracción.....	23
4.11.1- Determinar la cuantía de diseño.....	23
4.11.2- Cálculo del área de acero requerido.....	24
4.11.3- Acero a utilizar.....	24
4.11.4- Distancia máxima para refuerzo principal (S2).....	25
4.11.5- Determinar la separación del refuerzo a temperatura.....	25
4.12- Tabla Resumen.....	26
5- Bibliografía.....	27

2- Aspectos teóricos

2.1- Conceptos básicos

Estructura plana de concreto reforzada, ubicada de manera horizontal, es aquella que separa un nivel de la edificación, de manera que esta soportada por vigas, muros o columnas, o por el suelo y por lo que también esta se puede construir con distintos procedimientos constructivos en obra.

La transmisión de cargas: Estas permite conocer las acciones y reacciones del elemento estructural, para este caso se producen cargas gravitacionales que son soportadas por la losa, seguidamente se transmiten sobre el apoyo que son las vigas, columnas, cimentación y finalmente al suelo.

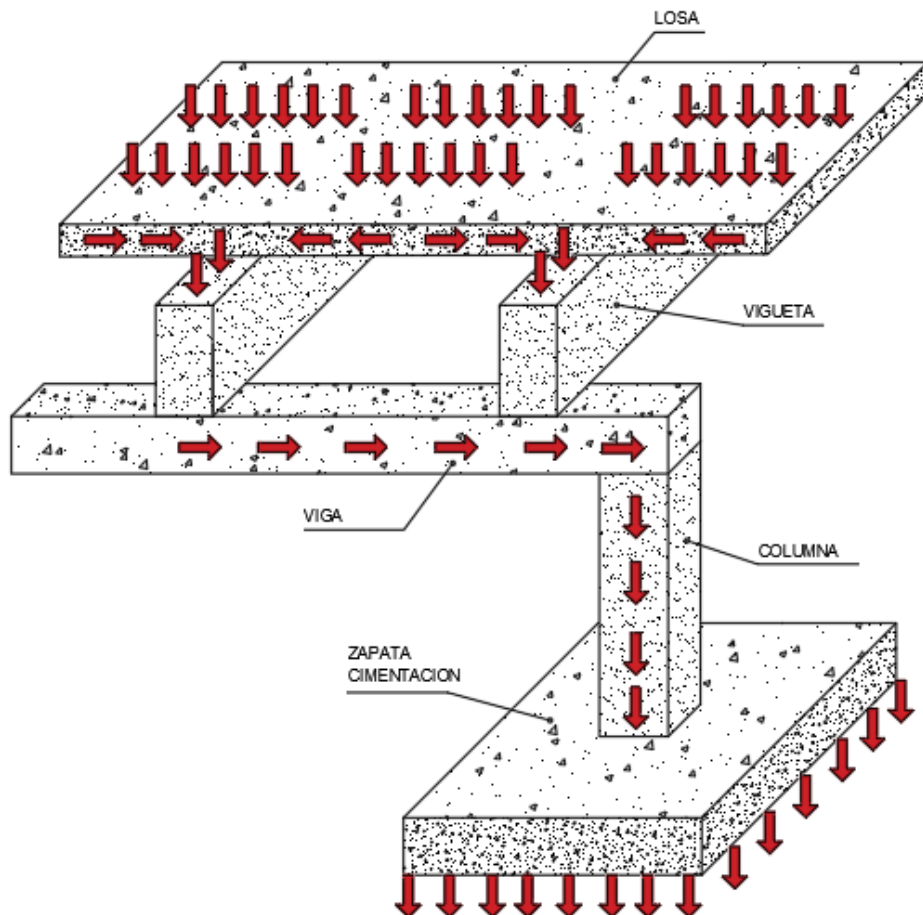


Figura No.1: Detalle Transmisión de cargas.

Existen distintos tipos de losas en concreto que son las prefabricadas y las que son fundidas en sitio, por parte de las prefabricadas son elaboradas en una fábrica fuera de su ubicación final, pueden ser macizas o aligeradas, para las losas que son fundidas en sitio también se tienen macizas en las que no se tienen elementos aligerantes, de igual manera para las losas aligeradas son las que están compuestas de nervios (viguetas) que proceden aun proceso de construcción un poco más complejo. Existen losas fat plate que son sin el soporte de las vigas, tener en cuenta que este tipo de losa está prohibida por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Construyendo, 2021).

Para este tipo de elemento estructural existen losas macizas en una y en dos direcciones, si la estructura horizontal esta soportada solo en dos lados opuestos, pueden ser vigas o muros, se les denominan losas en una dirección, pero hay que tener en cuenta que para este tipo de losa también se puede dar el caso en el que

esta soportada en los cuatro bordes, pero si el lado más largo mide dos o más veces que el lado corto, a esta losa rectangular se le denomina losa en una dirección, para losa que sean en dos direcciones, estas deben estar soportadas por vigas en sus cuatro bordes, pero la losa no debe tener exceder en su lado más largo dos o más veces que el lado corto, en consecuencia se le denominan losas en dos direcciones, ya que la flexión se da en ambas direcciones (Construyendo, 2021).

Nota: Con respecto a lo dicho anteriormente se recomienda chequear la relación de los lados, para así mismo ver como se debe diseñar el elemento.

Las losas en dos direcciones son las más económicas, asimismo son las más complicadas de diseñar.

Para definir el diseño de la losa se debe realizar un análisis de relación de lados, tal es el caso tenga en cuenta lo siguiente:

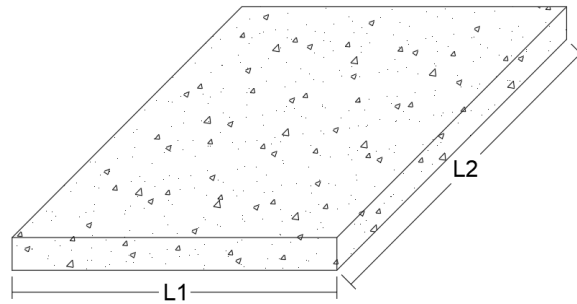


Figura No.2: Losa maciza.

$$\frac{L1}{L2} \leq 0.5 = \text{Losa en una dirección.}$$

$$\frac{L1}{L2} > 0.5 = \text{Losa en dos direcciones.}$$

Análisis de un panel de una losa para determinar cuánto carga cada una de las vigas.

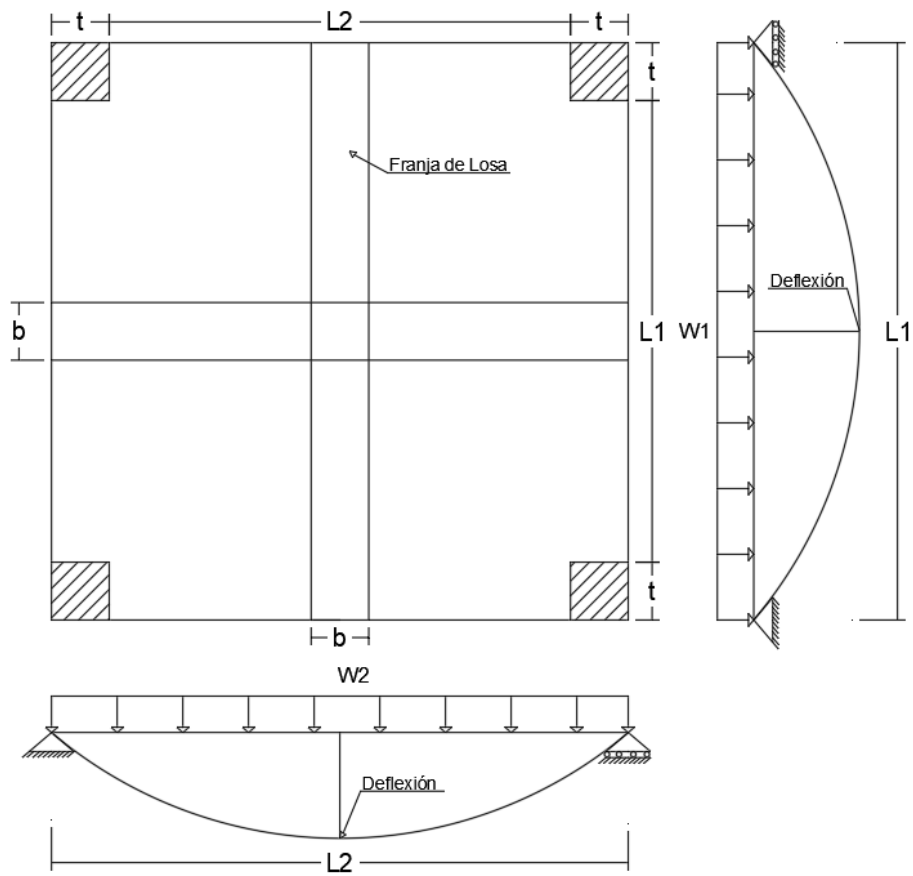


Figura No.3: Panel de losa.

La deflexión en el punto mas bajo $\delta_1 = \frac{5W_2L_2}{384EI}$

La deflexión en el punto mas bajo $\delta_1 = \frac{5W_1L_1}{384EI}$

Como evidencian, por compatibilidad de las deformaciones $\delta_1 = \delta_2$

Por lo tanto:

$$\frac{5W_2L_2}{384EI} = \frac{5W_1L_1}{384EI}$$

$$(W_2L_2)^4 = (W_1L_1)^4$$

$$\frac{W_1}{W_2} = \left(\frac{L_2}{L_1}\right)^4$$

$W_1 + W_2 = W$ carga total en la losa.

Casos para el diseño

Primer caso : Cuando el panel es cuadrado.

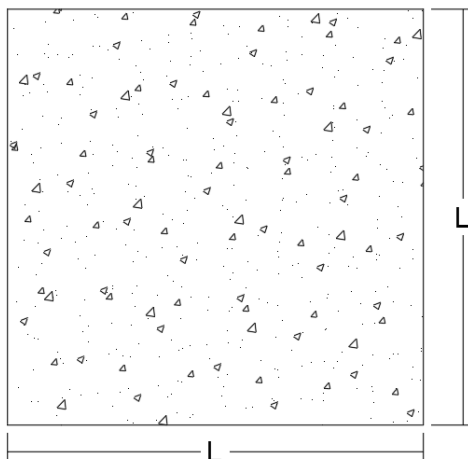


Figura No.4: Losa cuadrada.

$$L_1 = L_2$$

$$\frac{W_1}{W_2} = \left(\frac{L_2}{L_1}\right)^4$$

$$W_1 = W_2$$

$$W = W_1 + W_2 = 2W_1$$

Por lo tanto: La mitad de la carga en el sentido 1 y la otra para el sentido 2.

$$W_1 = \frac{W}{2}$$

$$W_2 = \frac{W}{2}$$

Segundo Caso : Cuando el panel es rectangular.

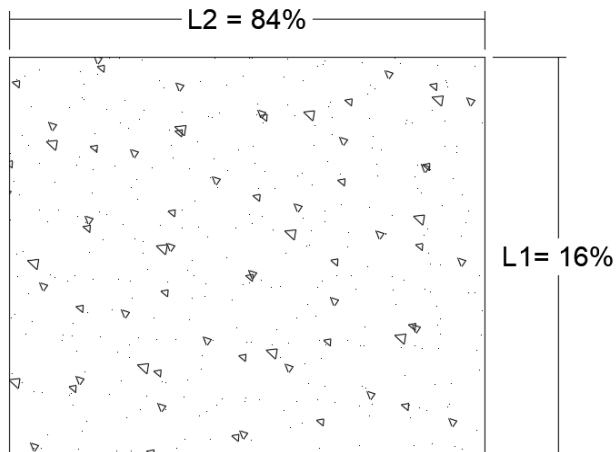


Figura No.5: Losa rectangular

$$L_2 = 1.5L_1$$

$$\frac{W_1}{W_2} = \left(\frac{L_2}{L_1}\right)^4 = \left(\frac{1.5L_1}{L_1}\right)^4$$

$$\frac{W_1}{W_2} = \left(\frac{3}{2}\right)^4 = \frac{81}{16} \text{ por lo tanto } W_1 = \frac{86}{16} W_2$$

Para W_2

$$W = \frac{81}{16} W_2 + W_2 = \frac{97}{16} W_2 \text{ por lo tanto se tiene que: } W_2 = \frac{16}{97} W = 0.16W$$

Para W_1

$$W_1 = \frac{86}{16} W = 0.84 W$$

Tercer caso: otro panel rectangular $L_2 = 2L_1$

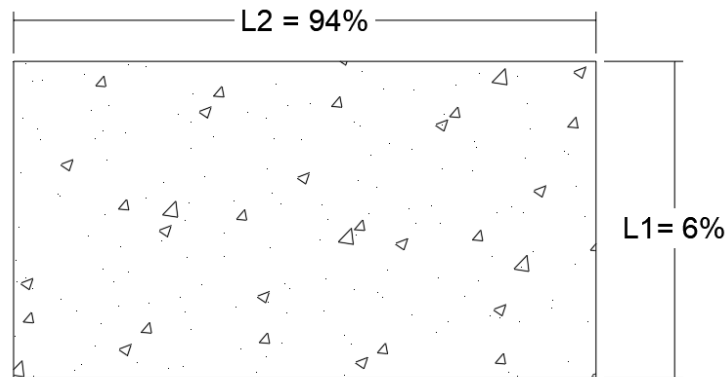


Figura No.6: Losa rectangular

$$\frac{W_1}{W_2} = \left(\frac{2L_2}{L_1}\right)^4 = 16$$

$$W_1 = 16W_2$$

Para W_2

$$W = 16W_2 + W_2$$

$$W = 17W_2$$

$$W_2 = \frac{1}{17} W = 0.06 W$$

Para W_1

$$W = W_1 + \frac{1}{16} W_1$$

$$W = \frac{17}{16} W_1$$

$$W = 0.94W$$

Nota: De acuerdo con el C.13.16.2 de la NSR-10 se establece que una losa trabaja en una dirección cuando tiene una relación de luz larga a corta >2

Requisitos de código

- Cuando se utiliza una losa como parte del sistema de resistencia sísmica (es decir como diafragma) se debe seguir los requisitos del C-21 y del título A.
- Losas sin vigas no están permitidas por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 ya que no existe un diafragma rígido (Cuando todo se mueve en conjunto).
- Las losas deben ser muy rígidas en su plano horizontal, para que así conformen un diafragma, en síntesis, esto mejora el comportamiento sísmico.
- Tener en cuenta que las vigas de amarre serán aquellas que están de manera paralelas al sentido del armado de la losa.
- Las vigas denominadas cargueras, son aquellas que soportan las viguetas.

Espesor y Altura de Losa Nervada

El espesor de losa de la maciza o la altura de losa nervada son factores que se le debe tener bastante consideración, ya que son aquellos que controlan la capacidad de carga del elemento sobre el suelo, con respecto a lo anterior, en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 nos indican por medio de las tablas dadas en el C.9.5 (a) y CR.9.5 que espesor y que altura son los apropiados de acuerdo con los diferentes escenarios que se puedan presentar.

2.2- Losa Nervada

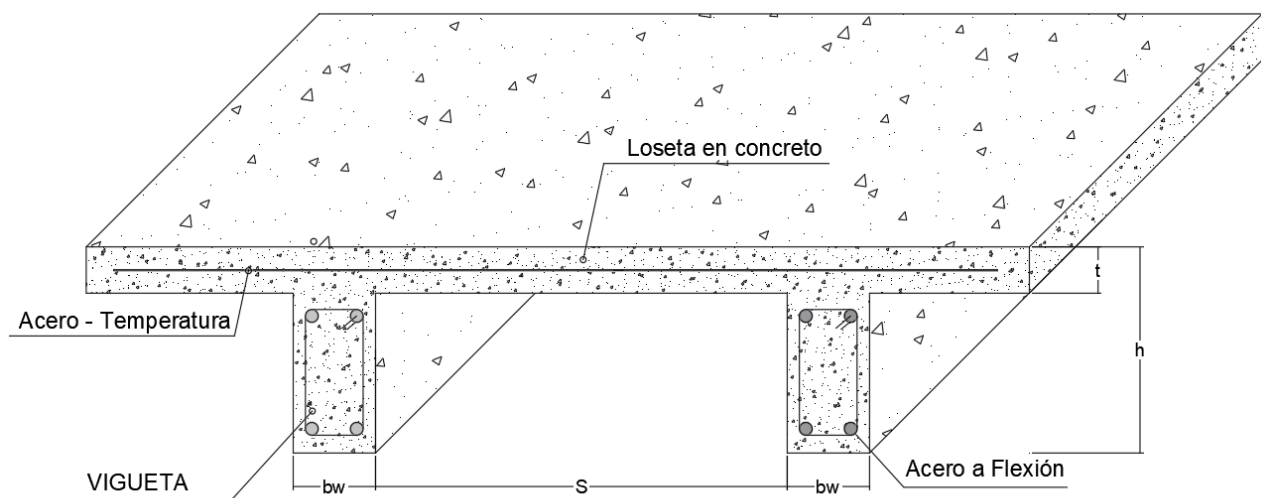


Figura No.7: Detalle losa nervada.

- Muy importante para losas nervadas según lo estipulado en el C.8.13.1 donde nos indica que los nervios y las riostras NO pueden ser tenidas en cuenta para efectos de rigidez ante esfuerzos producidos horizontalmente.

Ancho

- Según el C.8.13.2 de la NSR-10 el ancho de las nervaduras no debe ser menor a 100 mm en su parte superior y su ancho promedio no puede ser mayor de 80 mm; y deben tener una altura no mayor de 5 veces su ancho promedio.

Altura

- La máxima altura para que no sufra pandeo es de $h < 5b_w$ (b_w = ancho de la vigueta).

Separación entre nervadura

- Para losas en una dirección según lo descrito en el C.8.13.3 la separación máxima entre nervios, medida centro a centro, no puede ser mayor que 2.5 veces el espesor total de la losa, sin exceder 1.20 m.

$$S_{\max} \leq 2.5h$$

$$S_{\max} \leq 1.2 m$$

- **Nota:** A criterio de cada persona profesional se puede escoger la separación que desee, pero que teniendo en cuenta lo dicho por la NSR-10.

Riostras

- Cabe recalcar que en el C.8.13.3.1 de la NSR-10 indica que cuando se trate de losas nervadas en una dirección, se deben colocar viguetas transversales (riostras) de repartición con una separación libre máxima de 10 veces el espesor de la losa, sin exceder 4.0 m.

$$S_r \leq 10h$$

$$S_r \leq 4.0 m$$

- Lo dicho en el C.8.13.3.2 las viguetas transversales de repartición (riostras) deben diseñarse, a flexión y a cortante, de tal manera sean capaces de transportar la carga total (muerta más viva) de cada nervio a los dos nervios adyacentes.

Espesor mínimo de loseta

- Para el espesor mínimo se tiene según el C.8.13.6 la proporción vaciada en sitio de la losa superior debe tener al menos 45 mm de espesor, pero esta no debe ser menor de 1/20 de la distancia libre entre los nervios.

$$t_{\min} \geq \frac{S}{20}$$

$$t_{\min} \geq 45 \text{ mm}$$

Recubrimiento

- De acuerdo al C7.7 de la NSR-10 se determina el recubrimiento dependiendo de su posición.

2.3- Losa maciza

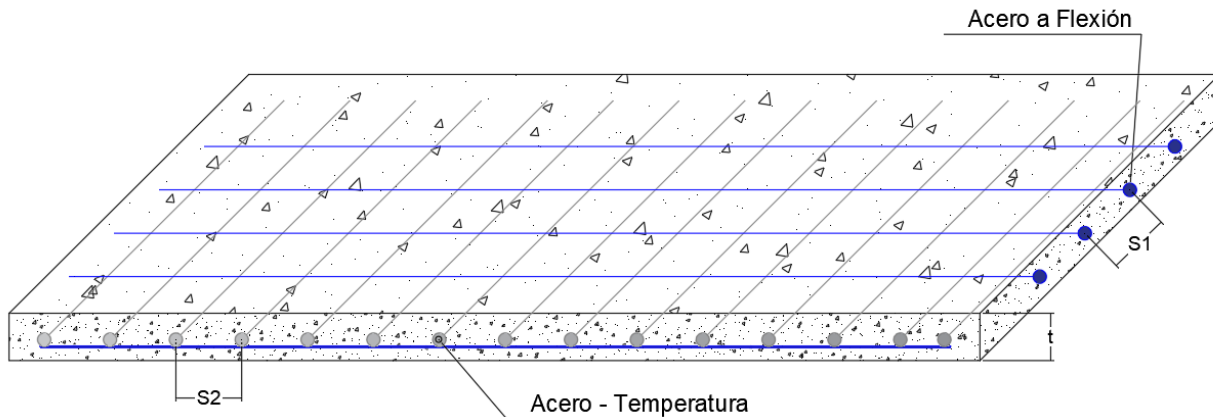


Figura No.8: Detalle losa maciza.

Para el cálculo de los momentos para viga continua apoyada sobre vigas de carga se debe emplear el *método aproximado de los coeficientes* descrito en el numeral C.13.5.5.1

Para poder aplicar este método aproximado se debe considerar el numeral C.15.5.5.3 donde nos dice que en lugar de un análisis detallado, en las losas en una dirección pueden utilizarse los siguientes momentos y cortantes aproximados en lugar de un método más exacto de análisis, siempre y cuando se cumplan los siguientes requisitos:

- Haya dos o más vanos,
- Los vanos son aproximadamente iguales, si que el mayor de los vanos adyacentes exceda en más de 20 por ciento al menor,
- Las cargas estén uniformemente distribuidas,
- La carga viva no mayorada L no exceda en 3 veces la carga muerta no mayorada D y
- Los elementos sean prismáticos.

Separación de refuerzo

Según el C.7.6.5 para muros y losas, exceptuando las losas nervadas, la separación del refuerzo principal por flexión no debe ser mayor de 3 veces el espesor del muro o de la losa, ni de 450 mm, excepto que en secciones críticas de losas en dos direcciones no debe exceder 2 veces el espesor de la losa. Cuando se trate de refuerzo de temperatura en losas la separación máxima no debe exceder 5 veces el espesor de la losa ni 450 mm.

$$S_1 \leq 3t$$

$$S_1 \leq 450 \text{ mm}$$

$$S_2 \leq 5t$$

$$S_2 \leq 450 \text{ mm}$$

Acero para temperatura y retracción

En el C.7.12.1 nos indican que para losas estructurales donde el refuerzo a flexión se extiende en una sola dirección, se debe colocar refuerzo normal al refuerzo a flexión para que resista los esfuerzos debidos a retracción y temperatura.

La cuantía de refuerzo de retracción y temperatura medida sobre el área bruta de la sección según el C.7.12.2.1 debe ser al menos igual a los valores dados a continuación, pero tener en cuenta que no debe ser menos que 0.0014:

A - En losas donde se emplean barras corrugadas Grado 380 o 350 $\delta = 0.0020$

B – En losas donde se empleen barras corrugadas Grado 420 o refuerzo electrosoldado de alambre $\delta = 0.0018$

C- En losas donde se utilice refuerzo de una resistencia mayor que 420 MPa, medida a una deformación unitaria de 0.35 por ciento $\delta = \frac{0.0018 * 420}{f_y}$

3- Ejemplo No.1 - Losa Maciza

Diseñar un tablero de losa maciza no expuesta a la intemperie con un $f'c = 21 \text{ MPa}$ y $f_y = 420 \text{ MPa}$ considere una carga muerta no mayorada de $DL = 18 \text{ kN/m}$ y una carga viva no mayorada de $LL = 5 \text{ kN/m}$.

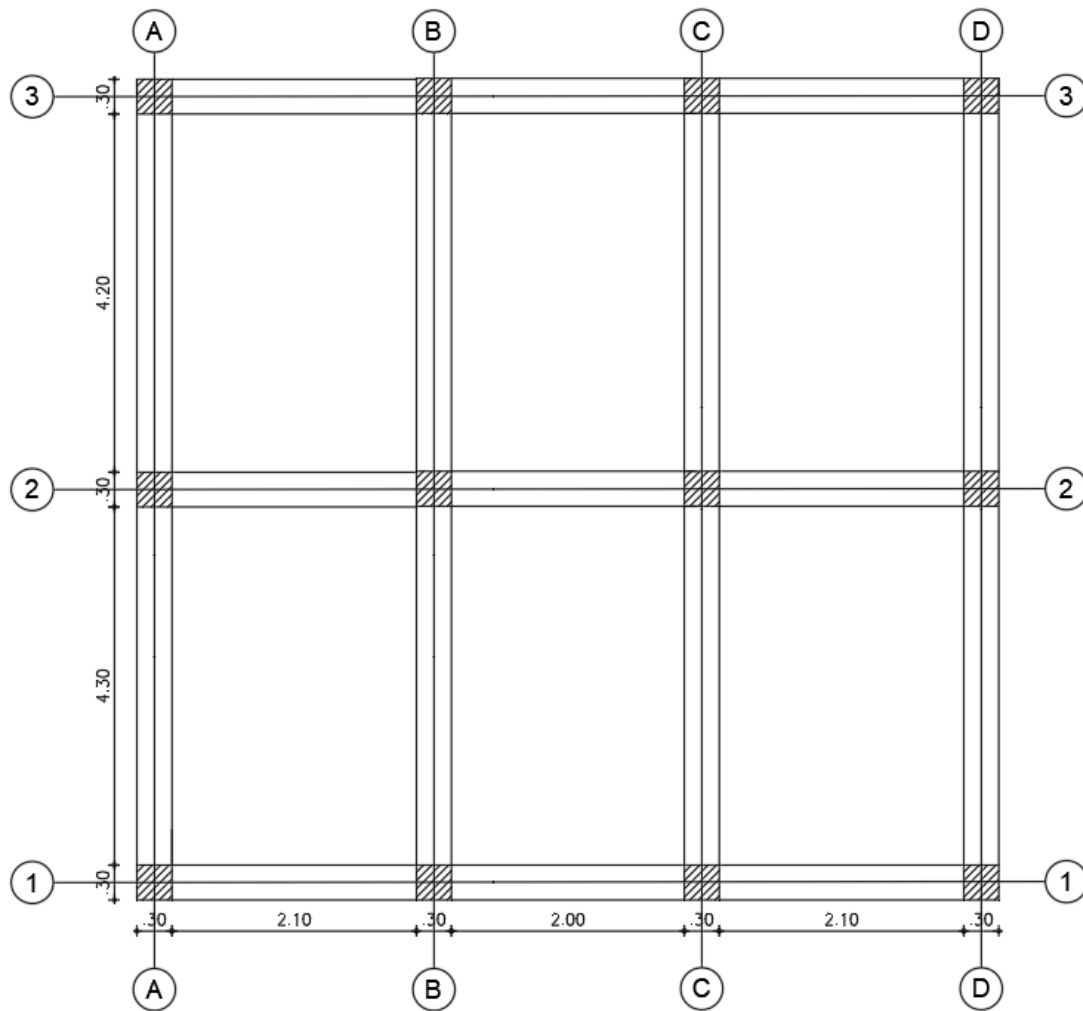


Figura No.9: Detalles plano estructural – vista en planta.

4- Desarrollo

4.1- Datos de entrada

Ingresar dimensiones del elemento desde el borde de la columna, no del eje a eje.

```

l1 = 2.1; % Longitud N°1 [m]
l2 = 2.0; % Longitud N°2 [m]
l3 = 2.1; % Longitud N°2 [m]

```

Longitud de diseño

Para la longitud de diseño siempre se debe de tomar con un valor de 1 metro.

```

b = 1; % Longitud N°1 lado más corto [m]

```

4.2- Cargas aplicadas sin P.P

Carga muerta:

```

DL = 18e3; % Carga Muerta [N/m]

```

Carga viva:

```
LL      =5e3;           % Carga Viva [N/m]
```

4.3- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada uno de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

- Resistencia específica a la compresion.

```
fc =      21e6;        % [Pa]
```

-Resistencia específica a la fluencia.

```
fy =      420e6;      % [Pa]
```

- Peso unitario del concreto

```
y_c      =24000;      % [N/m^3] Peso unitario del concreto.
```

4.4- Cálculo de β_1

Para el cálculo de β_1 se determinar de acuerdo al f'_c al cual hace referencia a la resistencia del concreto a compresión. El capítulo C.10.2.7.3 del reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 que para f'_c entre 17 y 28 MPa, en factor β_1 se debe tomar como 0,85. Para f'_c superior a 28 MPa, β_1 se debe disminuir en forma lineal a razón de 0.05 por cada 7 MPa de aumento sobre 28 MPa, sin embargo, β_1 no debe ser menor de 0,65.

- Cuando $f'_c < 28$ MPa entonces $\beta_1 = 0.85$
- Cuando $28 \text{ MPa} < f'_c < 56 \text{ MPa}$ entonces $\beta_1 = 0.85 - 0.05 * \frac{(f'_c - 28)}{7}$
- Cuando $f'_c > 56$ MPa $\beta_1 = 0.65$

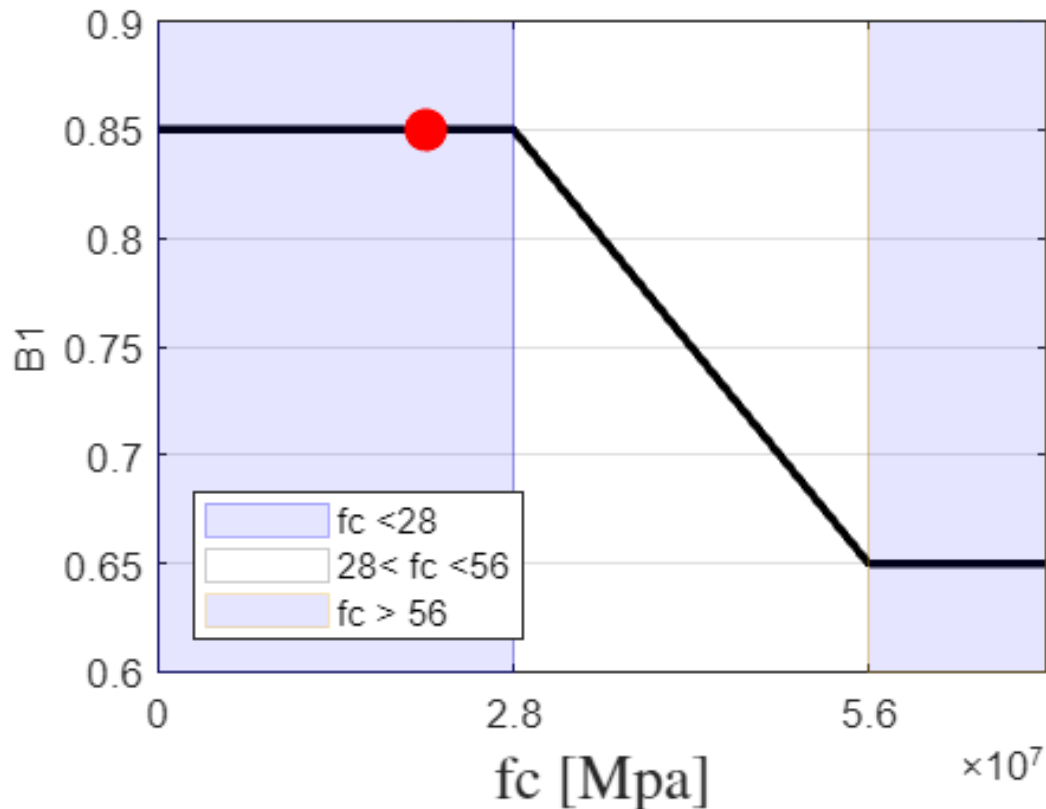
```
flag_2=true;
if fc <= 28e6
    bt1 = .85;
elseif fc < 56e6
    bt1 = .85-.05*(fc/1e6-28)/7;
else
    bt1 = 0.65;
end
if flag_2 == true
ves_2=[0 28e6 56e6 70e6];
aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:70e6];
    if fc > ves_2(end)
        ves_2=[0 28e6 56e6 fc];
        aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:fc];
    end
vfi_2=[.85 .85 .65 .65];
```



```

plot(ves_2,vfi_2,'color',[ 0 0 0],'linewidth',2), grid on, hold on
f1_2 = fill([0 28e6 28e6 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1],
f2_2 = fill([56e6 ves_2(end) ves_2(end) 56e6],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],
ft_2 = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves_2(end) .6 .90])
plot(fc,bt1,'r','marker','o','markersize',10,'MarkerFaceColor','r');
set(gca,'XTick',aa_2)
ylabel('B1','fontsize',10)
xlabel('fc [Mpa'],'fontsize',15,'interpreter','latex')
legend([f1_2 ft_2 f2_2],{'fc <28','28< fc <56','fc > 56'},'fontsize',9,'location','sou
end

```



```

sprintf('Valor de B1 es de: %0.5g ',bt1)

```

```

ans =
'Valor de B1 es de: 0.85 '

```

4.5- Espesor de losa

Nota: Lea y seleccione adecuadamente la tabla según sea la situación en la cual está la estructura.

Tabla C.9.5 (a) Espesores mínimos de losas reforzadas en una dirección a menos que se calculen las deflexiones. (Pag. C-132 NSR-10) .

	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que NO soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{\ell}{20}$	$\frac{\ell}{24}$	$\frac{\ell}{28}$	$\frac{\ell}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{18.5}$	$\frac{\ell}{21}$	$\frac{\ell}{8}$

Tabla C.9.5 Espesor de losa (Tomada del capítulo C NSR-10).

Tabla CR.9.5 Espesores mínimos recomendados para losas reforzadas en una dirección que soporten particiones frágiles susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes, a menos que se calculen las deflexiones. Elementos donde SI soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones (Pag. C-132 NSR-10).

	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{\ell}{14}$	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{19}$	$\frac{\ell}{7}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{\ell}{11}$	$\frac{\ell}{12}$	$\frac{\ell}{14}$	$\frac{\ell}{5}$

Tabla CR.9.5 Espesor de losa (Tomada del capítulo C NSR-10).

Selección de tabla

```

Tab = 1;

if Tab <= 0
    h1 = l1/24;
    h2 = l1/28;
    h3 = l1/24;
    h_m = [h1 h2 h3];
    h_max = max(h_m);
    sprintf('Según la Tabla C.9.5 (a) tiene un espesor de: %0.5g [m]',h_max)
else
    h1 = l1/16;
    h2 = l1/19;
    h3 = l1/16;
    h_m = [h1 h2 h3];
    h_max = max(h_m);
    sprintf('Según la Tabla CR.9.5 tiene un espesor de: %0.5g [m]',h_max)
end

```

```
ans =  
'Según la Tabla CR.9.5 tiene un espesor de: 0.13125 [m]'
```

Espesor definitivo según la NSR-10

Nota: Se recomienda aproximar la dimensión antes calculada, de manera que sea cerrada.

```
t = 0.15; % Espesor de losa [m]
```

4.6- Cálculo del P.P (Peso propio)

Determinamos el peso propio del elemento teniendo en cuenta el peso unitario del concreto reforzado que es de $24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$ por lo tanto se tiene:

$$P_p = \gamma_c * t * b$$

```
pp = y_c*(t*b); % Peso propio de la viga [N/m]  
sprintf('El peso propio del elemento es de: %0.5g [N/m]',pp)
```

```
ans =  
'El peso propio del elemento es de: 3600 [N/m]'
```

Nota: Tener en cuenta que si la losa pesa más de $400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$ se recomienda hacer el diseño como una losa aligerada.

4.7- Recubrimiento

Seleccione que dimensión tiene según el capítulo C.7.7 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo: losas, muros, viguetas Barras No. 11 (1-3/8") ó 36M (36 mm) y menos.

```
re = 20*0.001; % [mm]  
sprintf('El recubrimiento es de: %0.5g [m]',re)
```

```
ans =  
'El recubrimiento es de: 0.02 [m]'
```

4.8- Cálculo de carga distribuida

Para este caso se debe tener en cuenta las combinaciones de carga según el numeral B.2.4.2 de la NSR-10 donde nos hace referencia a que el diseño de estructuras, sus componentes y cimentaciones debe hacerse de tal forma que sus resistencias de diseño igualen o excedan los efectos producidos por las cargas mayoradas en las combinaciones presentadas.

$$1.4 (D + P_p)$$

$$1.2 (D + P_p) + 1.6L$$

$$1.2 (D + P_p) + 1.0L$$

```
Wu1 = (1.4*(DL+pp)); % [N/m]
```

```

Wu2 = (1.2*(DL+pp))+(1.6*LL);           % [N/m]
Wu3 = (1.2*(DL+pp))+(1.0*LL);           % [N/m]
Wu_max = [Wu1 Wu2 Wu3];
Wu = max(Wu_max);
sprintf('Se tiene una carga distribuida máxima de: %0.5g [N/m]',Wu)

```

```

ans =
'Se tiene una carga distribuida máxima de: 33920 [N/m]'

```

4.9- Cálculo de momentos

Un momento es una fuerza de rotación que ocurre cuando esta es aplicada de manera perpendicularmente a un punto a una distancia dada, en consecuencia, para las losas que están apoyadas producen momentos flectores o los llamados momentos de flexión, para lo dicho anteriormente se aplica el método aproximado considerado el numeral C.15.5.5.3 donde nos dice que en lugar de un análisis detallado, en las losas en una dirección pueden utilizarse los siguientes momentos y cortantes aproximados en lugar de un método más exacto de análisis, siempre y cuando se cumplan los siguientes requisitos:

- Haya dos o más vanos,
- Los vanos son aproximadamente iguales, sí que el mayor de los vanos adyacentes exceda en más de 20 por ciento al menor,
- Las cargas estén uniformemente distribuidas,
- La carga viva no mayorada L no exceda en 3 veces la carga muerta no mayorada D y
- Los elementos sean prismáticos.

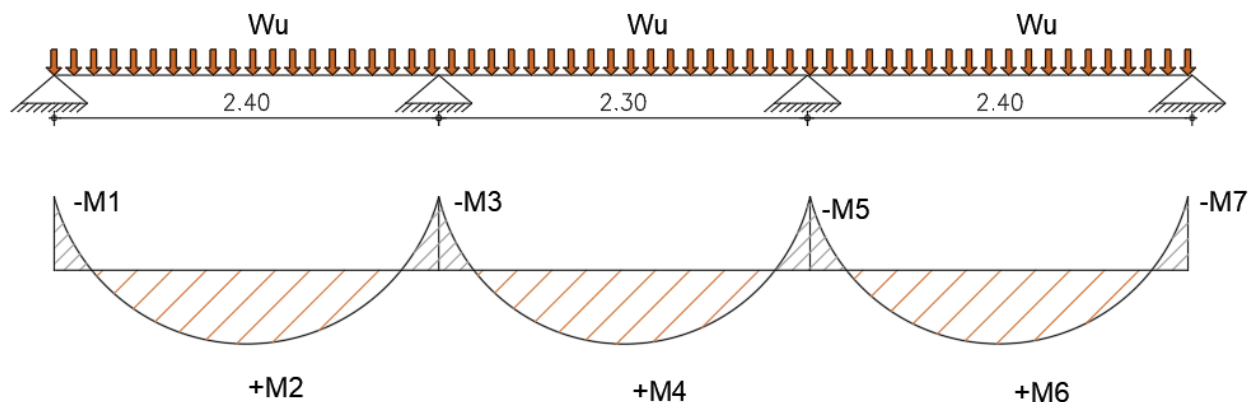


Figura No.10: Diagrama de cuerpo libre – momentos flectores.

Distancias eje a eje para determinar los respectivos momentos:

```

l1_m = 2.40;           % Longitud N°1 [m]
l2_m = 2.30;           % Longitud N°2 [m]
l3_m = 2.40;           % Longitud N°2 [m]

```

Para determinar los momentos se debe tener en consideración lo dicho en el numeral C.13.5.5.3 donde:

Momentos negativos

$$M_1 = M_7 = \frac{W_u * L^2}{24}$$

$$M_3 = M_5 = \frac{W_u * L^2}{10}$$

```
Mu_1 = (Wu*(l1_m^2))/24;           % [N/m]
Mu_3 = (Wu*((l1_m+l2_m)/2)^2)/10; % [N/m]
Mu_5 = (Wu*((l2_m+l3_m)/2)^2)/10; % [N/m]
Mu_7 = (Wu*(l3_m^2))/24;           % [N/m]

Mu_max_n = [Mu_1 Mu_3 Mu_5 Mu_7];
Mu_n = max(Mu_max_n);
sprintf('El momento máximo negativo es de: %0.5g [N*m]',Mu_n)
```

```
ans =
'El momento máximo negativo es de: 18732 [N*m]'
```

Momentos positivos

$$M_2 = M_6 = \frac{W_u * L^2}{14}$$

$$M_4 = \frac{W_u * L^2}{16}$$

```
Mu_2 = (Wu*(l1_m^2))/14;           % [N/m]
Mu_4 = (Wu*(l2_m^2))/16;           % [N/m]
Mu_6 = (Wu*(l3_m^2))/14;           % [N/m]

Mu_max_p = [Mu_2 Mu_4 Mu_6];
Mu_p = max(Mu_max_p);
sprintf('El momento máximo positivo es de: %0.5g [N*m]',Mu_p)
```

```
ans =
'El momento máximo positivo es de: 13956 [N*m]'
```

4.10- Acero para refuerzo principal (Flexión)

4.10.1- Determinar la cuantía de diseño

Inicialmente necesitamos saber cuál es la cuantía requerida para este elemento, por lo que para poder determinarla se necesita contar con el valor de la distancia "d" pero por lo cual, no se sabe que valor realmente es, ya que aún no se sabe que No. de acero ira en esa zona, tal es el caso debemos asumir un valor de "d" para poder continuar, con respecto a lo anterior se asume que: $d = 0.90 * h$.

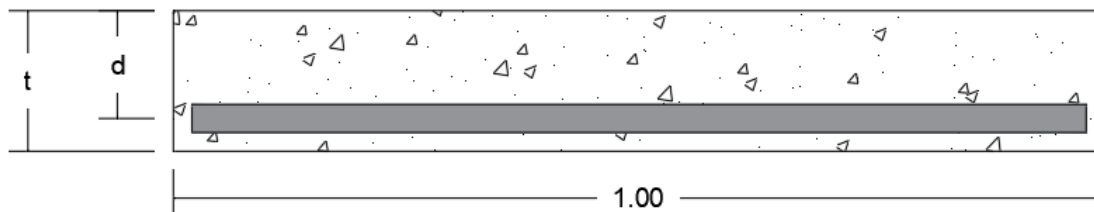


Figura No.11

```
d = 0.9*t;
sprintf('d: %0.5g [m]',d)
```

```
ans =
'd: 0.135 [m]'
```

Determinar el valor de $K_{+-} = \frac{M_{u+-}}{b * d^2}$

```
k_p = (Mu_p)/(b*(d^2));
sprintf('K+ : %0.5g [N/m^2]',k_p)
```

```
ans =
'K+ : 7.6574e+05 [N/m^2]'
```

```
k_n = (Mu_n)/(b*(d^2));
sprintf('K- : %0.5g [N/m^2]',k_n)
```

```
ans =
'K- : 1.0278e+06 [N/m^2]'
```

Para el valor de cálculo del factor de reducción de resistencia $\theta = 0.90$ ya que se asume que está en fluencia.

```
fi_1 = 0.9 % se asume que esta en fluencia.
```

```
fi_1 =
0.9
```

Cálculo de la cuantía requerida

$$\rho_{req} = \frac{0.85 * f'c}{fy} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * K}{0.85 * f'c * \phi}} \right)$$

```
ro_req_p = ((0.85*fc)/(fy))*(1-(1-((2*k_p)/(0.85*fc*fi_1)))^0.5);
sprintf('Cuantía + es de: %0.5g ',ro_req_p)
```

```
ans =
'Cuantía + es de: 0.0020765 '
```

```
ro_req_n = ((0.85*fc)/(fy))*(1-(1-((2*k_n)/(0.85*fc*fi_1)))^0.5);
sprintf('Cuantía - es de: %0.5g ',ro_req_n)
```

```
ans =
'Cuantía - es de: 0.0028122 '
```

Cuantía mínima de diseño

Según lo establecido en el numeral C.10.5 de la NSR-10 en toda sección de un elemento sometido a flexión cuando por análisis se requiera refuerzo de tracción la cuantía no debe ser menor que el menor obtenido por medio de:

$$\rho_{\min} = \frac{0.25 \sqrt{f'c}}{f_y}$$

```
ro_min1 = ((0.25*(fc/1e6)^0.5)/(fy/1e6));
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min1)
```

```
ans =
'Cuantía mínima es de: 0.0027277 '
```

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

```
ro_min2 = (1.4/(fy/1e6));
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min2)
```

```
ans =
'Cuantía mínima es de: 0.0033333 '
```

```
ro_mp = [ro_req_p ro_min1 ro_min2 ];
ro_p = max(ro_mp);

ro_mn = [ro_req_n ro_min1 ro_min2 ];
ro_n = max(ro_mn);
```

Cuantía de diseño

Por lo tanto, ya evaluando con la cuantía requerida y la mínima se tiene finalmente que la cuantía para el diseño de esta sección de losa es de:

```
sprintf('Cuantía requerida + es de: %0.5g ',ro_p)
```

```
ans =
'Cuantía requerida + es de: 0.0033333 '
```

```
sprintf('Cuantía requerida - es de: %0.5g ',ro_n)
```

```
ans =
'Cuantía requerida - es de: 0.0033333 '
```

Cálculo del área de acero requerido

$$A_{S_{req}} = \rho_{req} * b * d$$

```
As_req_p = ro_p*b*d*100^2;           % [cm^2] Área de acero requerido.
sprintf('Área de acero requerida + es de: %0.5g [cm^2]',As_req_p)
```

```
ans =
'Área de acero requerida + es de: 4.5 [cm^2]'
```

```
As_req_n = ro_n*b*d*100^2;           % [cm^2] Área de acero requerido.
sprintf('Área de acero requerida - es de: %0.5g [cm^2]',As_req_n)
```

```
ans =
```

'Área de acero requerida - es de: 4.5 [cm^2]'

4.10.2- Acero a utilizar

De acuerdo con lo establecido anteriormente, tenga en cuenta el área del acero que requiere este elemento, para que así pueda determinar que barra utilizar de acuerdo con la tabla C.3.5.3.2 de la NSR-10 donde nos indica el No. de las barras en octavos de pulgada del diámetro de referencia.

Designación de la barra (véase la nota)	Diámetro de referencia en pulgadas	DIMENSIONES NOMINALES			Masa kg/m
		Diámetro mm	Area mm ²	Perímetro mm	
No. 2	1/4"	6.4	32	20.0	0.250
No. 3	3/8"	9.5	71	30.0	0.560
No. 4	1/2"	12.7	129	40.0	0.994
No. 5	5/8"	15.9	199	50.0	1.552
No. 6	3/4"	19.1	284	60.0	2.235
No. 7	7/8"	22.2	387	70.0	3.042
No. 8	1"	25.4	510	80.0	3.973
No. 9	1-1/8"	28.7	645	90.0	5.060
No. 10	1-1/4"	32.3	819	101.3	6.404
No. 11	1-3/8"	35.8	1006	112.5	7.907
No. 14	1-3/4"	43.0	1452	135.1	11.380
No. 18	2-1/4"	57.3	2581	180.1	20.240

Tabla: Dimensiones nominales de las barras de refuerzo según NSR-10

Acero Positivo

Seleccione que No. de barra que desea utilizar

```
bar_p = [71/1000000]; % Número de barra a utilizar.
```

Seleccione el No. de la barra para el diámetro

```
D_bar_p = 9.5*0.001; % Diámetro del acero asumido.
```

Determinar el número de aceros necesarios según la barra tomada anteriormente.

$$\#Aceros_+ = \frac{A_{s_{req}}}{N^{\circ}barra}$$

```
N_barq_p = As_req_p/(bar_p*1e4);  
sprintf('Numero de aceros necesarios: %0.5g [unid]',N_barq_p)
```

```
ans =  
'Numero de aceros necesarios: 6.338 [unid]'
```

Digite la cantidad de aceros que desea implementar teniendo en cuenta el cálculo anterior, se recomienda dejar el número exacto, de forma cerrada.

```
N_bar_p = 7; % Cantidad de barras a utilizar.
```

Área del acero es de:

```
As_p = bar_p*N_bar_p*100^2; % [cm^2] Área de acero asumida.  
sprintf('Área requerida positiva es de: %0.5g [cm^2]',As_req_p)
```



```
ans =  
'Área requerida positiva es de: 4.5 [cm^2]'
```

```
sprintf('Se tiene un As positiva: %0.5g [cm^2]',As_p)
```

```
ans =  
'Se tiene un As positiva: 4.97 [cm^2]'
```

```
if As_req_p <= As_p  
    disp('iiiiiii Si Cumple con el Área positiva requerida !!!!!!!')  
else  
    disp('iiiiiii No Cumple con el Área positiva requerida !!!!!!!')  
end
```

```
iiiiiii Si Cumple con el Área positiva requerida !!!!!!!
```

Acero Negativo

Seleccione que No. de barra que desea utilizar.

```
bar_n = [71/1000000]; % Número de barra a utilizar.
```

Seleccione el No. de la barra para el diámetro

```
D_bar_n = 9.5*0.001; % Diámetro del acero asumido.
```

Determinar el número de aceros necesarios según la barra tomada anteriormente.

$$\#Aceros_ = \frac{A_{sreq}}{N^{\circ}barra}$$

```
N_barq_n = As_req_n/(bar_n*1e4);  
sprintf('Numero de aceros necesarios: %0.5g [unid]',N_barq_n)
```

```
ans =  
'Numero de aceros necesarios: 6.338 [unid]'
```

Digite la cantidad de aceros que desea implementar teniendo en cuenta el cálculo anterior, se recomienda dejar el número exacto, de forma cerrada.

```
N_bar_n = 7; % Cantidad de barras a utilizar.
```

Área del acero es de:

```
As_n = bar_n*N_bar_n*100^2; % [cm^2] Área de acero asumida.  
sprintf('Area requerida negativa es de: %0.5g [cm^2]',As_req_n)
```

```
ans =  
'Area requerida negativa es de: 4.5 [cm^2]'
```

```
sprintf('Se tiene un As negativa: %0.5g [cm^2]',As_n)
```

```
ans =  
'Se tiene un As negativa: 4.97 [cm^2]'
```

```

if As_req_n <= As_n
    disp('iiiiiii Si Cumple con el área negativa requerida !!!!!!!')
else
    disp('iiiiiii No Cumple con el área negativa requerida !!!!!!!')
end

```

```
iiiiiii Si Cumple con el área negativa requerida !!!!!!!
```

4.10.3- Distancia máxima para refuerzo principal (S1)

Según el C.7.6.5 para muros y losas, exceptuando las losas nervadas, la separación del refuerzo principal por flexión no debe ser mayor de 3 veces el espesor del muro o de la losa , ni de 450 mm.

$$S_1 \leq 3t$$

$$S_1 \leq 450 \text{ mm}$$

Positivo

```

s1_max1 = 3*t;
sprintf('S1 máximo 1: %0.5g [m]',s1_max1)

```

```

ans =
'S1 máximo 1: 0.45 [m]'

```

```

s1_max2 = 450/1000;
sprintf('S1 máximo 2: %0.5g [m]',s1_max2)

```

```

ans =
'S1 máximo 2: 0.45 [m]'

```

```

s1_maxf = [s1_max1 s1_max2 ];
s1_max = min(s1_maxf);

```

4.10.4- Determinar la separación del refuerzo principal

Para la separación del acero principal que está actuando a flexión, se determina teniendo en cuenta la distancia de diseño que es 1 metro, recubrimiento y el número de espacios que se dan entre barras según el número de aceros que se hayan tomado. Recuerde que esta separación es de borde a borde.

$$S = \frac{b - (\text{recubrimiento} * 2) - (\#barras * \text{Diametro})}{\# \text{de espacios}}$$

Positivo

```

s1_asu_p = (1-(re*2)-(N_bar_p*D_bar_p))/(N_bar_p-1);
sprintf('S+ : %0.5g [m]',s1_asu_p)

```

```

ans =
'S+ : 0.14892 [m]'

```

```

if s1_asu_p <= s1_max
    s1_p = s1_asu_p;

```

```

sprintf('Por lo tanto la separación entre barras SI cumple: %0.5g [m]',s1_p)
else
s1_p = s1_max;
sprintf('Por lo tanto la separación entre barras NO cumple ya que sobre pasa la máx
end

```

```

ans =
'Por lo tanto la separación entre barras SI cumple: 0.14892 [m]'

```

```

s1_asu_n = (1-(re*2)-(N_bar_n*D_bar_n))/(N_bar_n-1);
sprintf('S+ : %0.5g [m]',s1_asu_n)

```

```

ans =
'S+ : 0.14892 [m]'

```

```

if s1_asu_n <= s1_max
s1_n = s1_asu_n;
sprintf('Por lo tanto la separación entre barras SI cumple: %0.5g [m]',s1_n)
else
s1_n = s1_max;
sprintf('Por lo tanto la separación entre barras NO cumple ya que sobre pasa la máx
end

```

```

ans =
'Por lo tanto la separación entre barras SI cumple: 0.14892 [m]'

```

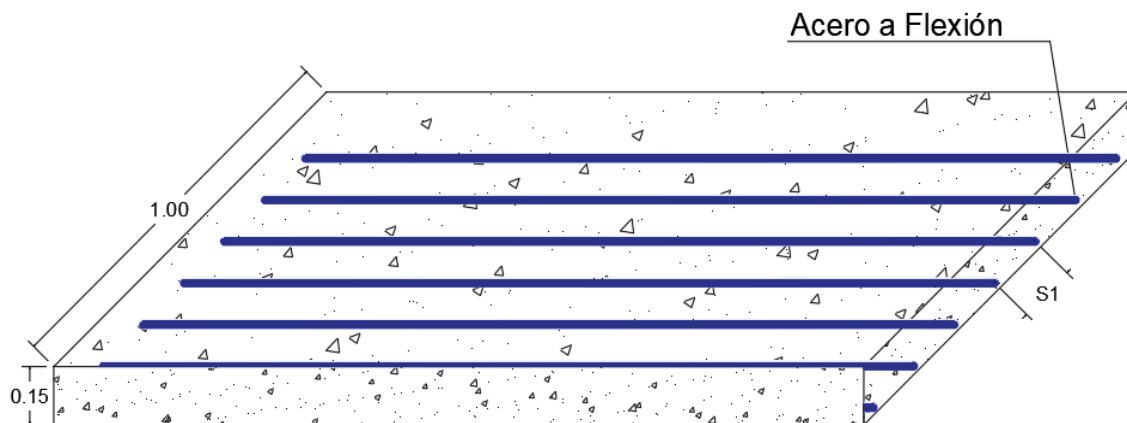


Figura No.12: Detalle acero principal - losa maciza.

4.11- Acero para temperatura y retracción

4.11.1- Determinar la cuantía de diseño

Seleccione el valor de la cuantía según sea el caso.

A - En losas donde se emplean barras corrugadas Grado 380 o 350 $\rho = 0.0020$.

B - En losas donde se empleen barras corrugadas Grado 420 o refuerzo electrosoldado de alambre $\rho = 0.0018$.

C - En losas donde se utilice refuerzo de una resistencia mayor que 420 MPa, medida a una deformación unitaria de 0.35 por ciento $\rho = \frac{0.0018 * 420}{f_y}$

```
ro_tr = 0.0018 % Seleccione la cuantía según el caso.
```

```
ro_tr =
    0.0018
```

4.11.2- Cálculo del área de acero requerido

$$A_{S_{req}} = \rho_{ret} * b * d$$

```
As_req_tr = ro_tr*b*d*100^2; % [cm^2] Área de acero requerido.
sprintf('Área de acero requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req_tr)
```

```
ans =
'Área de acero requerida es de: 2.43 [cm^2]'
```

4.11.3- Acero a utilizar

De acuerdo con lo establecido anteriormente, tenga en cuenta el área del acero que requiere este elemento, para que así pueda determinar que barra utilizar de acuerdo con la tabla C.3.5.3.2 de la NSR-10 donde nos indica el No. de las barras en octavos de pulgada del diámetro de referencia.

Seleccione que No. de barra que desea utilizar

```
bar_tr = [71/1000000]; % Número de barra a utilizar.
```

Seleccione el No. de la barra para el diámetro

```
D_bar_tr = 9.5*0.001; % Diámetro del acero asumido.
```

Determinar el número de aceros necesarios según la barra tomada anteriormente.

$$\#Aceros = \frac{A_{S_{req}}}{N^{\circ}barra}$$

```
N_barq = As_req_tr/(bar_tr*1e4);
sprintf('Numero de aceros necesarios: %0.5g [unid]',N_barq)
```

```
ans =
'Numero de aceros necesarios: 3.4225 [unid]'
```

Digite la cantidad de aceros que desea implementar teniendo en cuenta el cálculo anterior, se recomienda dejar el número exacto, de forma cerrada.

```
N_bar_tr = 4; % Cantidad de barras a utilizar.
```

Área del acero es de:

```
As_tr = bar_tr*N_bar_tr*100^2; % [cm^2] Área de acero asumida.
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req_tr)
```

```
ans =  
'Área requerida es de: 2.43 [cm^2]'
```

```
sprintf('Se tiene un As: %0.5g [cm^2]',As_tr)
```

```
ans =  
'Se tiene un As: 2.84 [cm^2]'
```

```
if As_req_tr <= As_tr  
    disp('iiiiiii Si cumple con el área requerida !!!!!!!')  
else  
    disp('iiiiiii No cumple con el área requerida !!!!!!!')  
end
```

```
iiiiiii Si Cumple con el Área requerida !!!!!!!
```

4.11.4- Distancia máxima para refuerzo principal (S2)

Según el C.7.6.5 para muros y losas, exceptuando las losas nervadas, la separación del refuerzo a temperatura no debe ser mayor de 5 veces el espesor del muro o de la losa , ni de 450 mm.

$$S_2 \leq 5t$$

```
s2_max1 = 5*t;  
sprintf('S2 máximo 1: %0.5g [m]',s2_max1)
```

```
ans =  
'S2 máximo 1: 0.75 [m]'
```

$$S_2 \leq 450 \text{ mm}$$

```
s2_max2 = 450/1000;  
sprintf('S2 máximo 2: %0.5g [m]',s2_max2)
```

```
ans =  
'S2 máximo 2: 0.45 [m]'
```

```
s2_maxf = [s2_max1 s2_max2 ];  
s2_max = min(s2_maxf);
```

4.11.5- Determinar la separación del refuerzo a temperatura

Para la separación del acero a temperatura, se determina teniendo en cuenta la distancia de diseño que es 1 metro, recubrimiento y el número de espacios que se dan entre barras según el número de aceros que se hayan tomado.

$$S = \frac{b - (\text{recubrimiento} * 2) - (\#barras * \text{Diametro})}{\# \text{ de espacios}}$$

```
s2_asu = (1-(re*2)-(N_bar_tr*D_bar_tr))/(N_bar_tr-1);  
sprintf('S2 : %0.5g [m]',s2_asu)
```

```
ans =  
'S2 : 0.30733 [m]'
```

```

if s2_asu <= s2_max
    s2 = s2_asu;
    sprintf('Por lo tanto la separación entre barras SI cumple: %0.5g [m]',s2)
else
    s2 = s2_max;
    sprintf('Por lo tanto la separación entre barras NO cumple ya que sobre pasa la máx
end

```

```

ans =
'Por lo tanto la separación entre barras SI cumple: 0.30733 [m]'

```

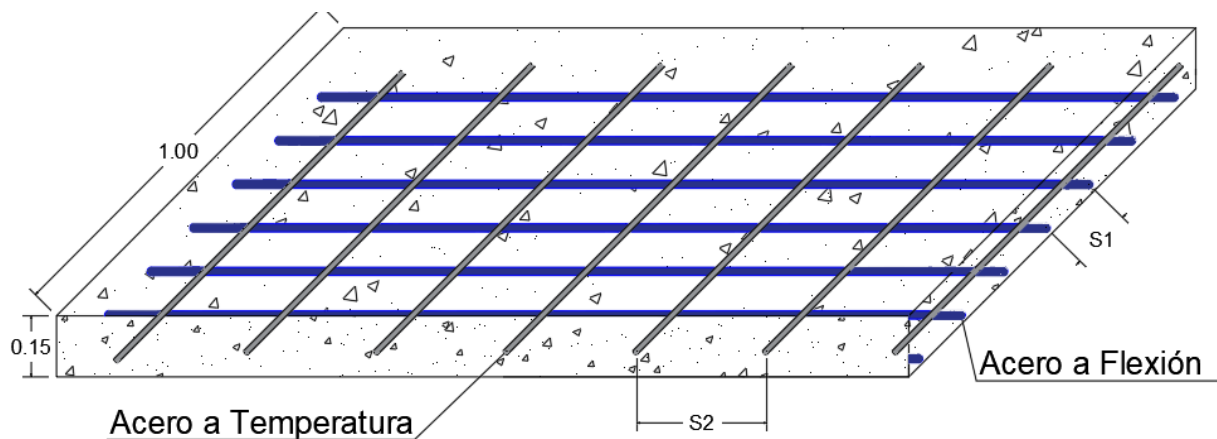


Figura No.13: Detalle acero principal y acero a temperatura - losa maciza.

4.12- Tabla Resumen

Acero principal

```

Momentos = [Mu_p; Mu_n];
K = [k_p; k_n];
Ro_asu = [ro_req_p; ro_req_n];
Area_cm2 = [As_p; As_n];
No_Barra = [bar_p; bar_n];
Aceros = [N_bar_p; N_bar_n];
Separacion = [s1_p; s1_n];

```

```
T_f = table(Momentos,K,Ro_asu,Area_cm2,No_Barra,Aceros,Separacion)
```

```
T_f = 2x7 table
```

	Momentos	K	Ro_asu	Area_cm2	No_Barra	Aceros	Separacion
1	13956	7.6574e+05	0.0020765	4.97	7.1e-05	7	0.14892
2	18732	1.0278e+06	0.0028122	4.97	7.1e-05	7	0.14892

Acero a temperatura

```

clear Ro_asu Area_cm2 No_Barra Aceros Separacion
Ro_asu = [ro_tr];
Area_cm2 = [As_tr];

```

```
No_Barra = [bar_tr];  
Aceros = [N_bar_tr];  
Separacion = [s2];
```

```
T_t = table(Ro_asu,Area_cm2,No_Barra,Aceros,Separacion)
```

```
T_t = 1x5 table
```

	Ro_asu	Area_cm2	No_Barra	Aceros	Separacion
1	0.0018	2.84	7.1e-05	4	0.30733

5- Bibliografía

- *Construyendo*. (12 de 02 de 2021). Obtenido de <https://construyendo.co/losas/tipos.php>.
- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- McCormac, J. C. & Brown, R. H. (2011). Diseño de concreto reforzado. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Diseño de losa aligerada en una dirección

1- Introducción

Las losas son un elemento estructural primordial en las construcciones, ya que proporcionan las superficies horizontales y planas que es donde se aplican las cargas en las estructuras, es el primordial soporte para las personas, objetos, herramientas, equipos etc. De esta manera para el diseño este elemento depende de muchos factores, ya sean funcionales, estructurales y estéticos. De esta manera, en la presente guía se dará a conocer cada uno de los pasos y requisitos que se deben de tener en cuenta para el diseño de losas aligeradas en una dirección.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de Contenido

Diseño de losa aligerada en una dirección.....	1
1- Introducción.....	1
2- Ejemplo No.2 - Losa aligerada.....	1
3- Desarrollo.....	3
3.1- Datos de entrada.....	3
3.2- Propiedades de los materiales.....	3
3.3- Evaluó de cargas.....	3
3.3.1- Datos.....	3
3.3.2- Cálculo de cargas muertas D.....	3
3.3.3- Cálculo de cargas vivas (L).....	4
3.3.4- Resumen del análisis de cargas.....	4
3.4- Cálculo de	5
3.5- Sentido de armado.....	6
3.6- Altura de losa	7
3.7- Ancho de Vigüeta.....	9
3.8- Separación entre vigüetas.....	9
3.9- Espesor de loseta.....	10
3.10- Recubrimiento.....	11
3.11- Riostras.....	12
3.12- Peso propio Losa aligerada.....	12
3.13- Cálculo de carga distribuida.....	13
3.14- Longitud de diseño.....	14
3.15- Carga distribuida en kN/m.....	14
3.16- Cálculo de momentos.....	15
3.17- Acero para refuerzo principal (Flexión).....	15
3.17.1- Determinar la cuantía de diseño.....	15
3.17.2- Acero a utilizar.....	18
3.17.3- Barra para estribos.....	20
3.17.4- Distancia mínima entre barras paralelas.....	20
3.17.5- Chequeo de la base mínima.....	21
3.18- Acero para temperatura y retracción.....	22
3.19- Tabla resumen	23
3.20- Despiece final.....	23
4- Bibliografía.....	24

2- Ejemplo No.2 - Losa aligerada

Diseñar un tablero de losa nervada para la edificación que se muestra en la figura No.1, el cual no está expuesto a la intemperie, tenga en cuenta las propiedades de los materiales un $f'c = 21 \text{ MPa}$ y $f_y = 420 \text{ MPa}$ y considere los siguientes datos para el evaluó de cargas de la correspondiente edificación:

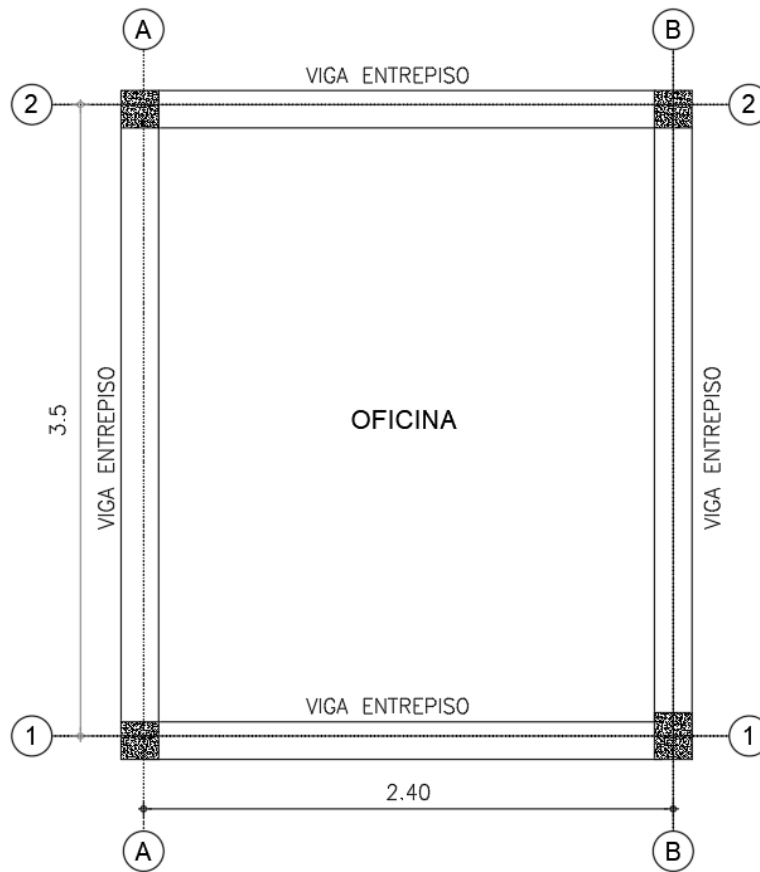


Figura No.1: Detalles de vista en planta.

Acabados:

- Cielo raso en malla y pañete
- Mortero de nivelación de 2 cm
- Baldosa cerámica sobre 25 mm de mortero

Particiones:

- Mampostería de bloque de arcilla pañetado en ambas caras con un espesor de 15 cm
- Altura de muro 2.8 m
- Longitud total de muro 12 m lineales

Uso:

- Oficinas

Otros:

- Casetones en esterilla

3- Desarrollo

3.1- Datos de entrada

Ingresar dimensiones del elemento. (L1: lado más corto).

```
l1 = 2.4; % Longitud N°1 lado mas corto [m]
l2 = 3.5; % Longitud N°2 lado mas Largo [m]
```

3.2- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada uno de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

- Resistencia específica a la compresion.

```
fc = 21e6; % [Pa]
```

-Resistencia específica a la fluencia.

```
fy = 420e6; % [Pa]
```

- Peso unitario del concreto

```
γ_c = 24000; % [N/m^3] Peso unitario del concreto.
```

3.3- Evaluó de cargas

3.3.1- Datos

Área de la edificación $A = l1 * l2$

```
A = l1*l2;
sprintf('La edificación tiene un área de: %0.5g [m^2]',A)
```

```
ans =
'La edificación tiene un área de: 8.4 [m^2]'
```

3.3.2- Cálculo de cargas muertas D

Nota: Para el desarrollo del presente ejercicio se utilizarán todas las cargas en unidades de kN sobre área.

3.3.2.1- Acabados

Baldosa cerámica

Elegimos la carga equivalente de la baldosa cerámica establecido en la Tabla B.3.4.1-3.

```
Baldosa = 1.10 % [kN/m^2]
```

```
Baldosa =
1.1
```

3.3.2.2- Peso de propio de los elementos

Mortero de nivelación

Mortero de nivelac. = (γ_c * espesor de la torta inf.).

```
Esp_torta_inf = 0.02;           % [m]
Mortero_inf = (y_c*Esp_torta_inf)/1000      % [kN/m^2]
```

```
Mortero_inf =
    0.48
```

Casetón

El peso del casetón normalmente cuando está construido en esterilla varía entre 20 a 35 $\frac{Kg}{m^2}$ Para este caso se utiliza un valor de 25 $\frac{Kg}{m^2}$

```
Caset = 25;                       % [Kg/m^2]
Caset_est= Caset/100                % [kN/m^2]
```

```
Caset_est =
    0.25
```

3.3.2.3- Mampostería

Elegimos la carga equivalente a la mampostería de bloque de arcilla pañetada en ambas caras establecido en la Tabla B.3.4.2-4.

$$\text{Muro} = \left(\frac{h_{\text{muro}} * \text{Carga}_{\text{mampo.}} * \text{Longitud}}{\text{Area}} \right)$$

```
h_muro = 2.8;                       % [m]
L       = 12;                         % [m]
Mamp    = 2.5;                         % [kN-m^2]
Muro    = (h_muro*Mamp*L)/A            % [kN-m^2]
```

```
Muro =
    10
```

3.3.3- Cálculo de cargas vivas (L)

Se conoce que el uso será para oficinas, por lo tanto, se toma el valor de la carga establecido en la Tabla B.4.2.1-1 de la NSR-10.

```
LL      = 2                           % [kN-m^2]
```

```
LL =
    2
```

3.3.4- Resumen del análisis de cargas

Tabla resumen.

```
disp('Tabla de resultados')
```

Tabla de resultados

```
TIPO = {' MUERTA ' ; ' VIVA ' };  
CARGA = [(Baldosa+Mortero_inf+Caset_est+Muro) ; LL];  
UNIDADES = {' kN/m^2 ' ; ' kN/m^2 ' };
```

```
T1 = table(TIPO, CARGA, UNIDADES)
```

T1 = 2x3 table

	TIPO	CARGA	UNIDADES
1	' MUERTA '	11.83	' kN/m^2 '
2	' VIVA '	2	' kN/m^2 '

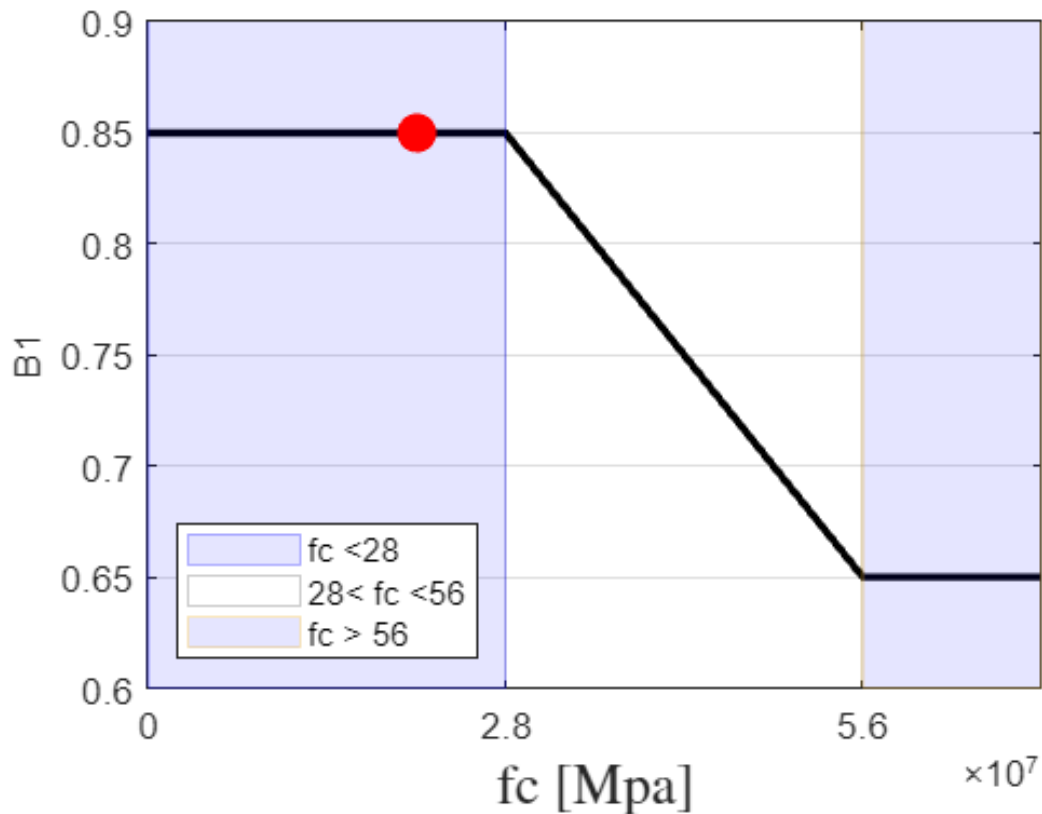
3.4- Cálculo de β_1

Para el cálculo de β_1 se determina de acuerdo al f'_c al cual hace referencia a la resistencia del concreto a compresión. El capítulo C.10.2.7.3 del reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 que para f'_c entre 17 y 28 MPa, en factor β_1 se debe tomar como 0,85. Para f'_c superior a 28 MPa, β_1 se debe disminuir en forma lineal a razón de 0.05 por cada 7 MPa de aumento sobre 28 MPa, sin embargo, β_1 no debe ser menor de 0,65.

- Cuando $f'_c < 28$ MPa entonces $\beta_1 = 0.852$
- Cuando $28 \text{ MPa} < f'_c < 56 \text{ MPa}$ entonces $\beta_1 = 0.85 - 0.05 * \frac{(f'_c - 28)}{7}$
- Cuando $f'_c > 56 \text{ MPa}$ $\beta_1 \leq 0.65$

```
flag_2=true;  
if fc <= 28e6  
    bt1 = .85;  
elseif fc < 56e6  
    bt1 = .85-.05*(fc/1e6-28)/7;  
else  
    bt1 = 0.65;  
end  
if flag_2 == true  
ves_2=[0 28e6 56e6 70e6];  
aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:70e6];  
    if fc > ves_2(end)  
        ves_2=[0 28e6 56e6 fc];  
        aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:fc];  
    end  
vfi_2=[.85 .85 .65 .65];  
plot(ves_2,vfi_2,'color',[ 0 0 0], 'linewidth',2), grid on, hold on  
f1_2 = fill([0 28e6 28e6 0],[.6 .6 .95 .95], 'b', 'FaceColor',[0 0 1], 'EdgeColor',[0 0 1], 'w',.8*ones(1,3));  
f2_2 = fill([56e6 ves_2(end) ves_2(end) 56e6],[.6 .6 .95 .95], 'b', 'FaceColor',[0 0 1], 'EdgeColor',[0 0 1], 'w',.8*ones(1,3));  
ft_2 = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1], 'w', 'EdgeColor',.8*ones(1,3));
```

```
axis([0 ves_2(end) .6 .90])
plot(fc,bt1,'r','marker','o','markersize',10,'MarkerFaceColor','r');
set(gca,'XTick',aa_2)
ylabel('B1','fontsize',10)
xlabel('fc [Mpa]','fontsize',15,'interpreter','latex')
legend([f1_2 ft_2 f2_2],{'fc <28','28< fc <56','fc > 56'},'fontsize',9,'location','sou
end
```



```
sprintf('Valor de B1 es de: %0.5g ',bt1)
```

```
ans =
'Valor de B1 es de: 0.85 '
```

3.5- Sentido de armado

Para determinar el sentido en que irán ubicadas las viguetas, se debe tener en cuenta que estas deben seguir la misma dirección de la medida más corta del espacio, por lo que en este caso se toman en el sentido X ya que si se tomara en el sentido Y se tendrían unos momentos flexiones máximos por su longitud.

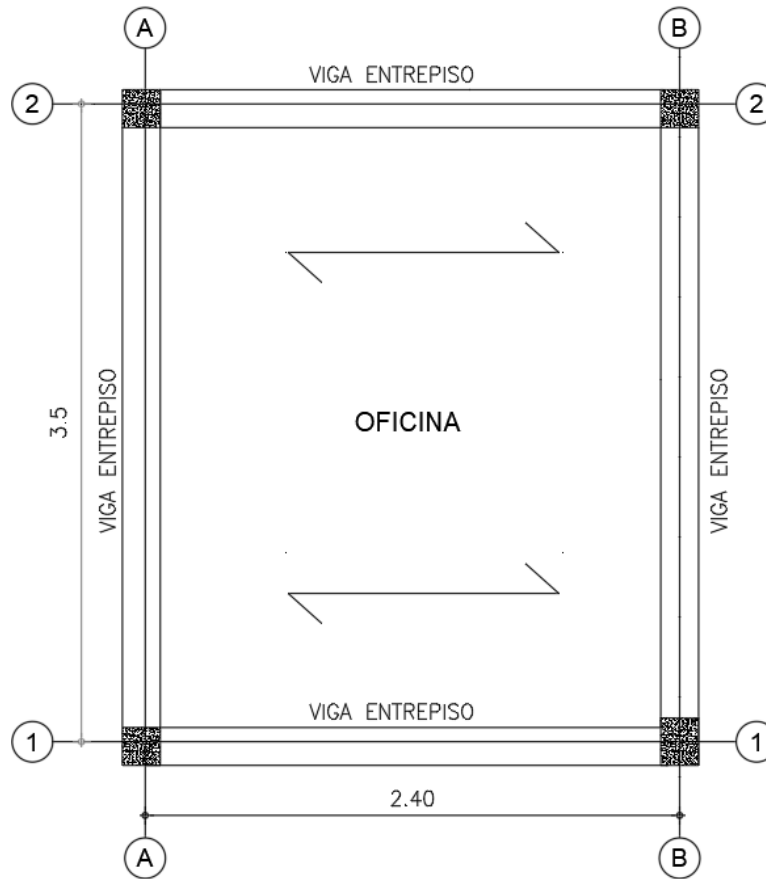


Figura No.2: Detalles, sentido del armado.

```

% Seleccione el sentido de armado X o Y
sent_arm = 0;

if sent_arm < 1
    l_arm = l1;
    sprintf('Sentido X con una longitud de= %0.5g [m]',l_arm)
else
    l_arm = l2;
    sprintf('Sentido Y con una longitud de= %0.5g [m]',l_arm)
end

```

```

ans =
'Sentido X con una longitud de= 2.4 [m]'

```

3.6- Altura de losa

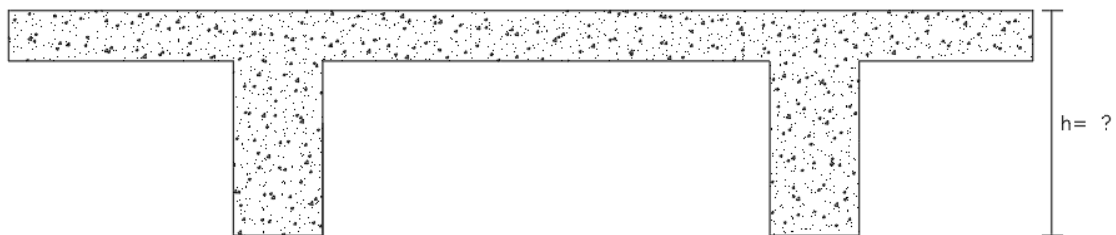


Figura No.3: Detalle, altura de losa aligerada.

La altura para losas nervadas es una media que se le debe tener bastante consideración, ya que son aquella que controla la capacidad de carga del elemento sobre el suelo, con respecto a lo anterior, en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 nos indican por medio de las tablas dadas en el C.9.5 (a) y CR.9.5 que altura es la apropiada de acuerdo con los diferentes escenarios que se puedan presentar:

Nota: Lea y seleccione adecuadamente la tabla según sea la situación en la cual está la estructura.

Tabla C.9.5 (a) Espesores mínimos de losas reforzadas en una dirección a menos que se calculen las deflexiones. (Pag. C-132 NSR-10).

	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que NO soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{l}{20}$	$\frac{l}{24}$	$\frac{l}{28}$	$\frac{l}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{18.5}$	$\frac{l}{21}$	$\frac{l}{8}$

Tabla C.9.5 Espesor de losa (Tomada del capítulo C NSR-10)

Tabla CR.9.5 Espesores mínimos recomendados para losas reforzadas en una dirección que soporten particiones frágiles susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes, a menos que se calculen las deflexiones. Elementos donde SI soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones (Pag. C-132 NSR-10).

	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{l}{14}$	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{19}$	$\frac{l}{7}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{l}{11}$	$\frac{l}{12}$	$\frac{l}{14}$	$\frac{l}{5}$

Tabla CR.9.5 Espesor de losa (Tomada del capítulo C NSR-10)

Selección de tabla

```

Tab = 1;

if Tab <= 0
    h1 = l_arm/16;
    sprintf('Según la Tabla C.9.5 (a) tiene un altura de: %0.5g [m]',h1)
else

```

```

h1 = l_arm/11;
sprintf('Según la Tabla CR.9.5 tiene un altura de: %0.5g [m]',h1)
end

```

```

ans =
'Según la Tabla CR.9.5 tiene un altura de: 0.21818 [m]'

```

Espesor definitivo según la NSR-10

Nota: Se recomienda aproximar la dimensión antes calculada, de manera que sea cerrada.

```

h = 0.25; % Altura de losa [m]

```

3.7- Ancho de Vigüeta

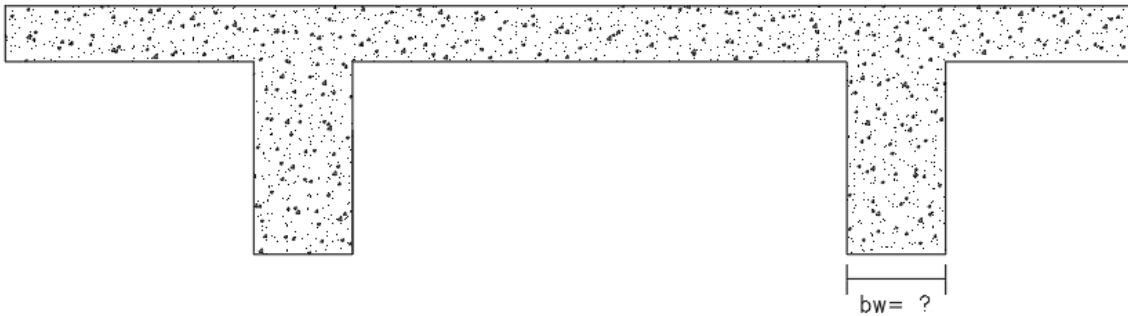


Figura No.4: Detalle, ancho de viga.

Para determinar el ancho de la viga se debe tener en cuenta el C.8.13.2 de la NSR-10 en el que este no debe ser menor a 100 mm en su parte superior y su ancho promedio no puede ser mayor de 80 mm. De acuerdo a lo anterior se tomara un ancho de 10 cm para que esta quede de manera rectangular para un mejor proceso constructivo.

```

bw = 0.1; % Ancho de viga [m]
sprintf('Se tiene un ancho de Viga de: %0.5g [m]',bw)

```

```

ans =
'Se tiene un ancho de Viga de: 0.1 [m]'

```

3.8- Separación entre vigüetas

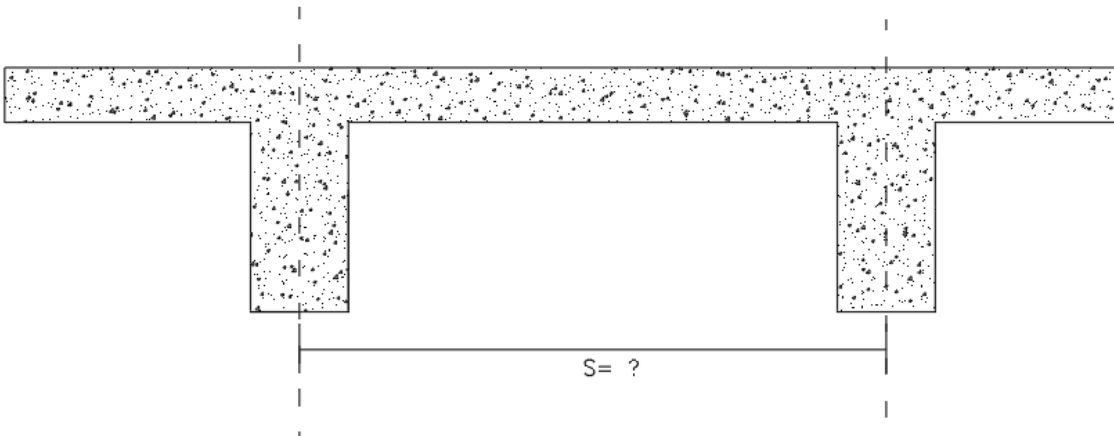


Figura No.5: Detalle, separación entre ejes de viguetas.

Para losas en una dirección según lo descrito en el C.8.13.3 la separación máxima entre nervios, medida centro a centro, no puede ser mayor que 2.5 veces el espesor total de la losa, sin exceder 1.20 m.

$$S_{\max} \leq 2.5h$$

```
s_max_1 = 2.5*h
```

```
s_max_1 =  
0.625
```

$$S_{\max} \leq 1.2 m$$

```
s_max_2 = 1.2
```

```
s_max_2 =  
1.2
```

```
if s_max_1 < 1.2  
    sprintf('Puede Utilizar s = %0.5g [m]',s_max_1)  
else  
    sprintf('Se recomienda Utilizar s = %0.5g [m]',s_max_2)  
end
```

```
ans =  
'Puede Utilizar s = 0.625 [m]'
```

Nota:

- A criterio de cada persona profesional se puede escoger la separación que desee, pero que teniendo en cuenta lo dicho por la NSR-10.
- Se recomienda aproximar la dimensión antes calculada, de manera que sea cerrada.

```
s = 0.7; % Separación entre viguetas [m]
```

3.9- Espesor de loseta

Para determinar el espesor de la loseta superior se debe tener en cuenta las tablas C.9.5(a) y CR.9.5 de la NSR-10. Tenga presente que para este caso se recomienda tomar como una losa maciza simplemente apoyada.

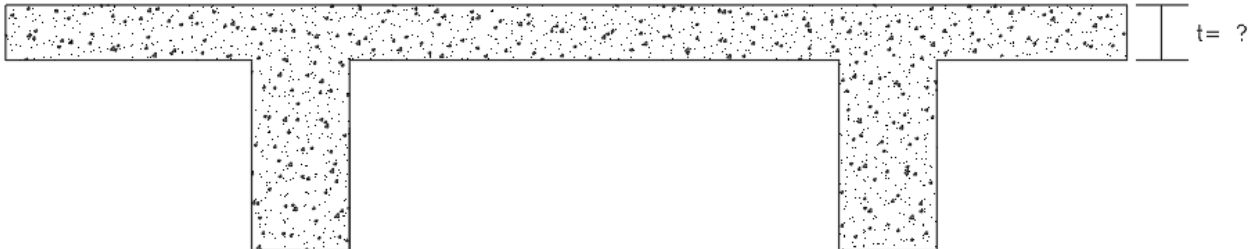


Figura No.6: Detalle, espesor de loseta.

Nota: Lea y seleccione adecuadamente la tabla según sea la situación en la cual está la estructura y tenga en cuenta que para el L de la fórmula es la separación entre caras de las viguetas $L = S - bw$.

Selección de tabla

```
Tab_2 = 1;  
  
if Tab_2 <= 0  
    t_req = (s-bw)/20;  
    sprintf('Según la Tabla C.9.5 (a) tiene un espesor de: %0.5g [m]',t_req)  
else  
    t_req = (s-bw)/14;  
    sprintf('Según la Tabla CR.9.5 tiene un espesor de: %0.5g [m]',t_req)  
end
```

```
ans =  
'Según la Tabla CR.9.5 tiene un espesor de: 0.042857 [m]'
```

Verificar espesor mínimo de loseta

Para el espesor mínimo se tiene según el C.8.13.6 la proporción vaciada en sitio de la losa superior debe tener al menos 45 mm de espesor, pero esta no debe ser menor de 1/20 de la distancia libre entre los nervios.

$$t_{\min} \geq \frac{S}{20}$$

```
t_min_1 = (s-bw)/20
```

```
t_min_1 =  
    0.03
```

$$t_{\min} \geq 45 \text{ mm}$$

```
t_min_2 = 0.045;  
  
tp = [t_min_1 t_min_2];  
t_min = max(tp);  
  
if t_req >= t_min  
    sprintf('El espesor a utilizar es de: %0.5g [m]',t_req)  
else  
    sprintf('El espesor a utilizar es de: %0.5g [m]',t_min)  
end
```

```
ans =  
'El espesor a utilizar es de: 0.045 [m]'
```

Nota: Se recomienda aproximar la dimensión antes calculada, de manera que sea cerrada.

```
t =    0.05;    % Espesor Loseta [m]
```

3.10- Recubrimiento

Seleccione que dimensión tiene según el capítulo C.7.7 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo: losas, muros, viguetas Barras No. 11 (1-3/8") ó 36M (36 mm) y menos.

```
re = 20*0.001;           % [mm]
sprintf('El recubrimiento es de: %0.5g [m]',re)
```

```
ans =
'El recubrimiento es de: 0.02 [m]'
```

3.11- Riostras

Cuando se está diseñando losas aligeradas en una dirección se debe tener en cuenta según lo dicho en el C.8.13.3.1 de la NSR-10 donde nos indica que se deben colocar viguetas transversales (riostras) de repartición con una separación libre máxima de 10 veces el espesor de la losa, sin exceder 4.0 m.

$$S_r \leq 10h$$

```
sr_1 = 10*h
```

```
sr_1 =
      2.5
```

$$S_r \leq 4.0 m$$

```
sr_2 = 4
```

```
sr_2 =
      4
```

```
sr_p = [sr_1 sr_2];
sr = min(sr_p);

if l_arm < sr
    disp('No necesita riostras')
else
    disp('Si necesita riostras')
end
```

```
No necesita riostras
```

3.12- Peso propio Losa aligerada

Ahora bien, como ya se tienen las dimensiones de la losa, se procede a determinar el peso propio del elemento, teniendo en cuenta el peso unitario del concreto reforzado de $24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$ por lo tanto se tiene:

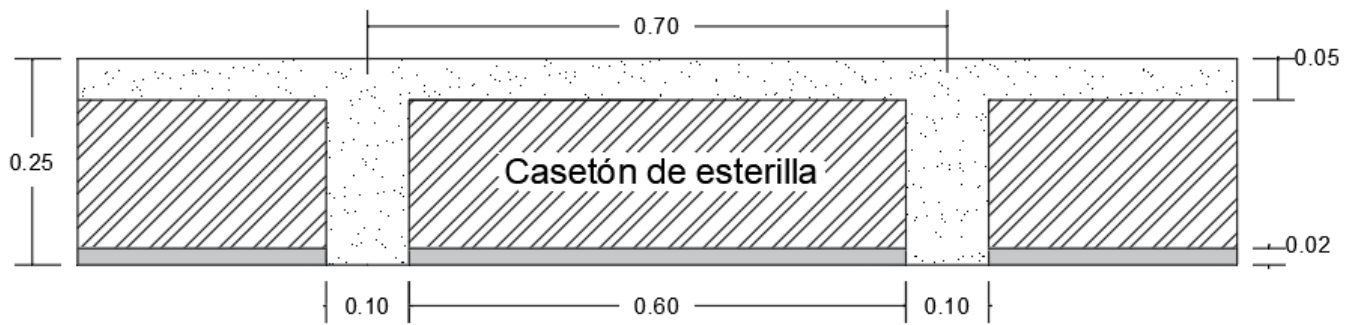


Figura No.7: Detalle losa aligerada.

Vigueta principal

$$\text{Vigueta principal} = \left(\frac{\gamma_c * bw * h_v}{S} \right)$$

Tenga en cuenta que para la altura de la vigueta $h_v = h - t$

```
Vigueta_princ = ((y_c*bw*(h-t))/(s))/1000 % [kN/m^2]
```

```
Vigueta_princ =
    0.68571
```

Loseta

$$\text{loseta} = (\delta_c * t)$$

```
loseta = (y_c*t)/1000 % [kN/m^2]
```

```
loseta =
    1.2
```

Tabla de resultados del evaluo de cargas final

```
DL = Baldosa+Vigueta_princ+loseta+Mortero_inf+Caset_est+Muro;
```

```
TIPO = { ' MUERTA ' ; ' VIVA ' };
```

```
CARGA = [DL ; LL];
```

```
UNIDADES = { ' kN/m^2 ' ; ' kN/m^2 ' };
```

```
T2 = table(TIPO, CARGA, UNIDADES)
```

```
T2 = 2x3 table
```

	TIPO	CARGA	UNIDADES
1	' MUERTA '	13.716	' kN/m^2 '
2	' VIVA '	2	' kN/m^2 '

3.13- Cálculo de carga distribuida

Para este caso se debe tener en cuenta las combinaciones de carga según el numeral B.2.4.2 de la NSR-10 donde nos hace referencia a que el diseño de estructuras, sus componentes y cimentaciones debe hacerse de tal forma que sus resistencias de diseño iguallen o excedan los efectos producidos por las cargas mayoradas en las combinaciones presentadas.

1.4 (D)

1.2(D) + 1.6L

1.2 (D) + 1.0L

```

Wu1 = (1.4*(DL)); % [kN/m^2]
Wu2 = (1.2*(DL))+(1.6*LL); % [kN/m^2]
Wu3 = (1.2*(DL))+(1.0*LL); % [kN/m^2]
Wu_max = [Wu1 Wu2 Wu3];
Wu_1 = max(Wu_max);
sprintf('Se tiene una carga distribuida máxima de: %0.5g [kN/m^2]',Wu_1)

```

```

ans =
'Se tiene una carga distribuida máxima de: 19.659 [kN/m^2]'

```

3.14- Longitud de diseño

Para el diseño de losas aligeradas en una dirección se recomienda tomar 1 metro de ancho aferente, pero hay casos de excepción como el que tenemos, en que se toma el ancho de la vigueta más la separación entre caras de las nervaduras. Como se representa en la siguiente figura:

$b = S$

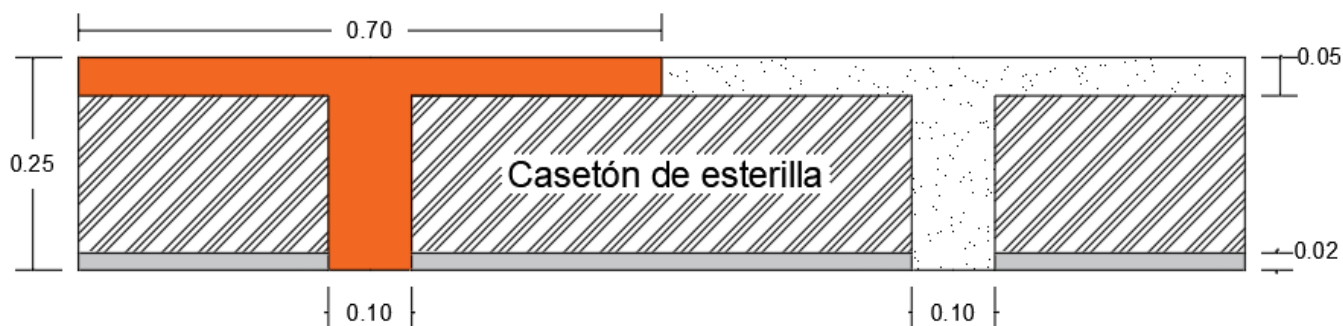


Figura No.8: Detalle ancho aferente.

```

b = s; % Ancho aferente para diseño [m]
sprintf('Se obtiene un acho aferente para el diseño de = %0.5g [m]',b)

```

```

ans =
'Se obtiene un acho aferente para el diseño de = 0.7 [m]'

```

3.15- Carga distribuida en kN/m

Para poder iniciar a determinar los momentos flectores a lo largo del tramo de diseño de la losa aligerada se debe de tener la carga en unidades lineales kN/m, con respecto a lo dicho anteriormente se multiplica el ancho aferente por la carga mayorada.

$W_u = W * b$

```

Wu = Wu_1*b;
sprintf('Se tiene una carga distribuida de: %0.5g [kN/m]',Wu)

```

```

ans =
'Se tiene una carga distribuida de: 13.761 [kN/m]'

```

3.16- Cálculo de momentos

Un momento es una fuerza de rotación que ocurre cuando esta es aplicada de manera perpendicularmente a un punto a una distancia dada, en consecuencia, para las losas aligeradas hay que tener en cuenta que se debe determinar con base a las nervaduras, como si fuesen vigas, ya que son las que en este caso producen momentos flectores o los llamados momentos de flexión, para lo dicho anteriormente se tiene la siguiente fórmula para determinar el respectivo momento:

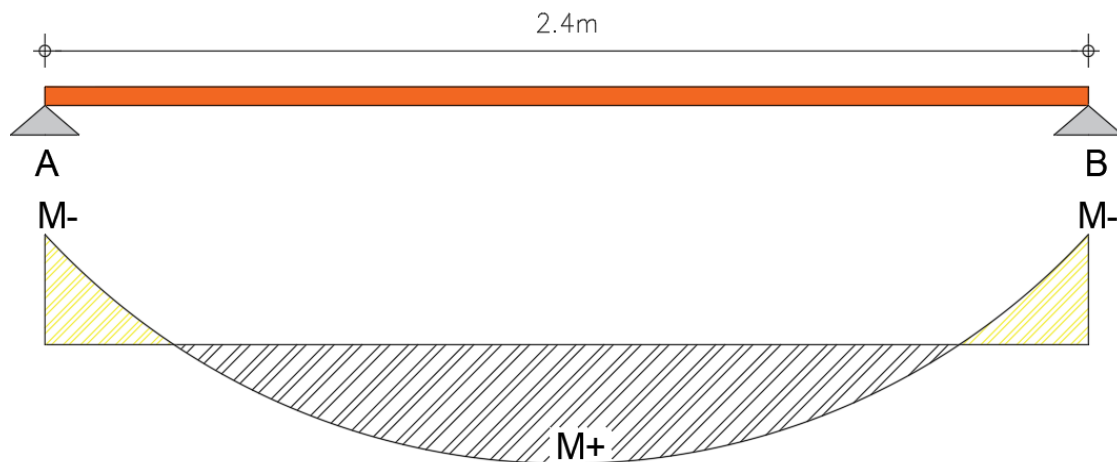


Figura No.9: Detalles de momento.

$$M_{neg} = \frac{Wu * L^2}{16}$$

$$M_{pos} = \frac{Wu * L^2}{14}$$

```

Mu_1 = (Wu*(l_arm^2))/16;           % [N/m] Momento Viga simplemente apoyada.
sprintf('El momento negativo es de: %0.5g [N*m]',Mu_1)

```

```

ans =
'El momento negativo es de: 4.954 [N*m]'

```

```

Mu_2 = (Wu*(l_arm^2))/14;           % [N/m] Momento Viga simplemente apoyada.
sprintf('El momento positivo es de: %0.5g [N*m]',Mu_2)

```

```

ans =
'El momento positivo es de: 5.6618 [N*m]'

```

3.17- Acero para refuerzo principal (Flexión)

3.17.1- Determinar la cuantía de diseño

Inicialmente necesitamos saber cuál es la cuantía requerida para este elemento, por lo que para poder determinarla se necesita contar con el valor de la distancia "d" pero por lo cual, no se sabe que valor realmente es, ya que aún no se sabe que No. de acero ira en esa zona, tal es el caso debemos asumir un valor de "d" para poder continuar, con respecto a lo anterior se asume que: $d = 0.90 * h$.

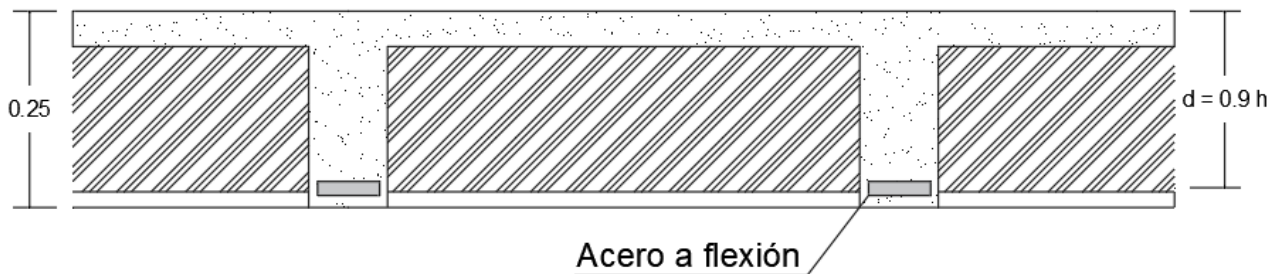


Figura No.10: Detalles para determinar "d" acero a flexión.

```
d = 0.9*h;
sprintf('d: %0.5g [m]',d)
```

```
ans =
'd: 0.225 [m]'
```

Determinar el valor de K para momento positivo y negativo.

$$K_{+-} = \frac{Mu}{b * d^2}$$

```
k_p = (Mu_2)/(bw*(d^2));
sprintf('K+ : %0.5g [N/m^2]',k_p)
```

```
ans =
'K+ : 1118.4 [N/m2]'
```

```
k_n = (Mu_1)/(bw*(d^2));
sprintf('K- : %0.5g [N/m^2]',k_n)
```

```
ans =
'K- : 978.57 [N/m2]'
```

Para el valor de cálculo del factor de reducción de resistencia $\theta = 0.90$ ya que se asume que está en fluencia.

```
fi_1 = 0.9 % Se asume que esta en fluencia.
```

```
fi_1 =
0.9
```

Cálculo de la cuantía requerida

Determinar la cuantía requerida para momento positivo y negativo.

$$\rho_{req+-} = \frac{0.85 * f'c}{fy} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * K}{0.85 * f'c * \phi}} \right)$$

```
ro_req_p = ((0.85*fc)/(fy))*(1-(1-((2*k_p)/(0.85*fc*fi_1)))^0.5);
sprintf('Cuantía + es de: %0.5g ',ro_req_p)
```

```
ans =
'Cuantía + es de: 2.9588e-06 '
```

```
ro_req_n = ((0.85*fc)/(fy))*(1-(1-((2*k_n)/(0.85*fc*fi_1)))^0.5);
sprintf('Cuantía - es de: %0.5g ',ro_req_n)
```

```
ans =
'Cuantía - es de: 2.5889e-06 '
```

Cuantía mínima de diseño

Según lo establecido en el numeral C.10.5 de la NSR-10 en toda sección de un elemento sometido a flexión cuando por análisis se requiera refuerzo de tracción la cuantía no debe ser menor que el menor obtenido por medio de:

$$\rho_{\min} = \frac{0.25 \sqrt{f'c}}{f_y}$$

```
ro_min1 = ((0.25*(fc/1e6)^0.5)/(fy/1e6));
sprintf('Cuantía mínima positiva es de: %0.5g ',ro_min1)
```

```
ans =
'Cuantía mínima positiva es de: 0.0027277 '
```

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

```
ro_min2 = (1.4/(fy/1e6));
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min2)
```

```
ans =
'Cuantía mínima es de: 0.0033333 '
```

```
ro_mp = [ro_req_p ro_min1 ro_min2 ];
ro_p = max(ro_mp);
```

```
ro_mn = [ro_req_n ro_min1 ro_min2 ];
ro_n = max(ro_mn);
```

Cuantía de diseño

Por lo tanto, ya evaluando con la cuantía requerida y la mínima se tiene finalmente que la cuantía positiva y negativa para el diseño de esta sección de losa es de:

```
sprintf('Cuantía requerida + es de: %0.5g ',ro_p)
```

```
ans =
'Cuantía requerida + es de: 0.0033333 '
```

```
sprintf('Cuantía requerida - es de: %0.5g ',ro_n)
```



```
ans =
'Cuantía requerida - es de: 0.0033333 '
```

Cálculo del área de acero requerido

Determinar el área de acero requerido para momento positivo y negativo.

$$A_{S_{req+-}} = \rho_{req} * bw * d$$

```
As_req_p = ro_p*bw*d*100^2;           % [cm^2] Área de acero requerido.
sprintf('Área de acero requerida + es de: %0.5g [cm^2]',As_req_p)
```

```
ans =
'Área de acero requerida + es de: 0.75 [cm^2]'
```

```
As_req_n = ro_n*bw*d*100^2;           % [cm^2] Área de acero requerido.
sprintf('Área de acero requerida - es de: %0.5g [cm^2]',As_req_n)
```

```
ans =
'Área de acero requerida - es de: 0.75 [cm^2]'
```

3.17.2- Acero a utilizar

De acuerdo con lo establecido anteriormente, tenga en cuenta el área del acero que requiere este elemento, para que así pueda determinar que barra utilizar de acuerdo con la tabla C.3.5.3.2 de la NSR-10 donde nos indica el No. de las barras en octavos de pulgada del diámetro de referencia.

Designación de la barra (véase la nota)	Diámetro de referencia en pulgadas	DIMENSIONES NOMINALES			Masa kg/m
		Diámetro mm	Area mm ²	Perímetro mm	
No. 2	1/4"	6.4	32	20.0	0.250
No. 3	3/8"	9.5	71	30.0	0.560
No. 4	1/2"	12.7	129	40.0	0.994
No. 5	5/8"	15.9	199	50.0	1.552
No. 6	3/4"	19.1	284	60.0	2.235
No. 7	7/8"	22.2	387	70.0	3.042
No. 8	1"	25.4	510	80.0	3.973
No. 9	1-1/8"	28.7	645	90.0	5.060
No. 10	1-1/4"	32.3	819	101.3	6.404
No. 11	1-3/8"	35.8	1006	112.5	7.907
No. 14	1-3/4"	43.0	1452	135.1	11.380
No. 18	2-1/4"	57.3	2581	180.1	20.240

Tabla: Dimensiones nominales de las barras de refuerzo según NSR-10.

Acero Positivo

Seleccione que No. de barra que desea utilizar

```
bar_p = [71/1000000];           % Número de barra a utilizar.
```

Seleccione el No. de la barra para el diámetro

```
D_bar_p = 9.5*0.001;           % Diámetro del acero asumido.
```

Determinar el número de aceros necesarios según la barra tomada anteriormente.

$$\#Aceros_+ = \frac{A_{s_{req}}}{N^{\circ}barra}$$

```
N_barq_p = As_req_p/(bar_p*1e4);
sprintf('Número de aceros necesarios: %0.5g [unid]',N_barq_p)
```

```
ans =
'Número de aceros necesarios: 1.0563 [unid]'
```

Digite la cantidad de aceros que desea implementar teniendo en cuenta el cálculo anterior, se recomienda dejar el número exacto, de forma cerrada.

```
N_bar_p =2; % Cantidad de barras a utilizar.
```

Área del acero es de:

```
As_p = bar_p*N_bar_p*100^2; % [cm^2] Área de acero asumida.
sprintf('Área requerida positiva es de: %0.5g [cm^2]',As_req_p)
```

```
ans =
'Área requerida positiva es de: 0.75 [cm^2]'
```

```
sprintf('Se tiene un As positiva: %0.5g [cm^2]',As_p)
```

```
ans =
'Se tiene un As positiva: 1.42 [cm^2]'
```

```
if As_req_p <= As_p
    disp('!!!!!!! Si Cumple con el área positiva requerida !!!!!!!')
else
    disp('!!!!!!! No Cumple con el área positiva requerida !!!!!!!')
end
```

```
!!!!!!! Si Cumple con el Área positiva requerida !!!!!!!
```

Acero Negativo

Seleccione que No. de barra que desea utilizar

```
bar_n = [71/1000000]; % Número de barra a utilizar.
```

Seleccione el No. de la barra para el diámetro

```
D_bar_n = 9.5*0.001; % Diámetro del acero Asumido.
```

Determinar el número de aceros necesarios según la barra tomada anteriormente.

$$\#Aceros_- = \frac{A_{s_{req}}}{N^{\circ}barra}$$

```
N_barq_n = As_req_n/(bar_n*1e4);
sprintf('Numero de aceros necesarios: %0.5g [unid]',N_barq_n)
```

```
ans =
```

```
'Numero de aceros necesarios: 1.0563 [unid]'
```

Digite la cantidad de aceros que desea implementar teniendo en cuenta el cálculo anterior, se recomienda dejar el número exacto, de forma cerrada.

```
N_bar_n = 2; % Cantidad de barras a utilizar.
```

Área del acero es de:

```
As_n = bar_n*N_bar_n*100^2; % [cm^2] Área de acero asumida.  
sprintf('Área requerida negativa es de: %0.5g [cm^2]',As_req_n)
```

```
ans =  
'Area requerida negativa es de: 0.75 [cm^2]'
```

```
sprintf('Se tiene un As negativa: %0.5g [cm^2]',As_n)
```

```
ans =  
'Se tiene un As negativa: 1.42 [cm^2]'
```

```
if As_req_n <= As_n  
    disp('!!!!!!! Si Cumple con el área negativa requerida !!!!!!!')  
else  
    disp('!!!!!!! No Cumple con el área negativa requerida !!!!!!!')  
end
```

```
!!!!!!! Si Cumple con el Área negativa requerida !!!!!!!
```

3.17.3- Barra para estribos

Seleccione el No. de barra que se estará utilizando para el refuerzo transversal según el numeral C.7.11 de la NSR-10 donde nos dice que el refuerzo a compresión en vigas debe confinarse con estribos que cumplan las limitaciones de tamaño y esparcimiento de C.7.10.5 que establece que todas las barras no prees forzadas deben estar confinadas por medio de estribos transversales de por lo menos diámetro No.3 (3/8") ó 10M (10mm), para barras longitudinales No.10 (1-1/4") ó 32M (32mm) o menores; diámetro No.4 (1/2") ó 12M (12mm) como mínimo, para barras longitudinales No.11 (1-3/8") ó 36M (36mm), No. 14 (1-3/4") ó 45M (45mm) y No.18 (2-1/4") ó 55M (55mm) y paquetes de barras. En estructuras de capacidad de disipación de energía mínima (DMI) se permite estribos No.2 (2/4") ó 6M (6mm).

```
D_est = 6.4*0.001; % Diámetro del acero.
```

3.17.4- Distancia mínima entre barras paralelas

Según el numeral C.7.6.1 de la NSR-10 nos dice que la distancia libre mínima entre barras paralelas de una capa debe ser db , pero no debe ser menos de 25 mm.

Positivo

```
if D_bar_p >= 2.5  
    Sb_p = D_bar_p;  
    sprintf('Distancia mínima entre barras paralelas: %0.5g [m]',Sb_p)  
else  
    Sb_p = 2.5*0.01;
```

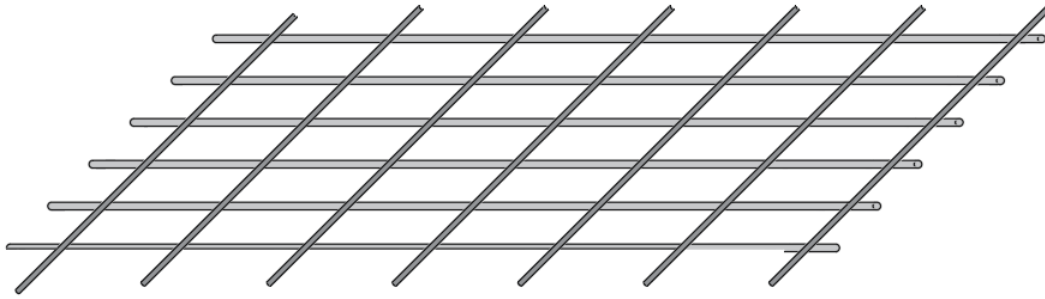



Figura No.12: Malla electrosoldada.

3.19- Tabla resumen

```

Momentos = [Mu_1;Mu_2;];
K = [k_p; k_n];
Ro_req = [ro_req_p; ro_req_n];
Ro_asu = [ro_p;ro_n];
Area_cm2 = [As_req_p;As_req_n];
No_Barra = [bar_p;bar_n];
Aceros = [N_bar_p;N_bar_n];
  
```

```
T3 = table(Momentos,K,Ro_req,Ro_asu,Area_cm2,No_Barra,Aceros)
```

T3 = 2x7 table

	Momentos	K	Ro_req	Ro_asu	Area_cm2	No_Barra	Aceros
1	4.954	1118.4	2.9588e-06	0.0033333	0.75	7.1e-05	2
2	5.6618	978.57	2.5889e-06	0.0033333	0.75	7.1e-05	2

3.20- Despiece final

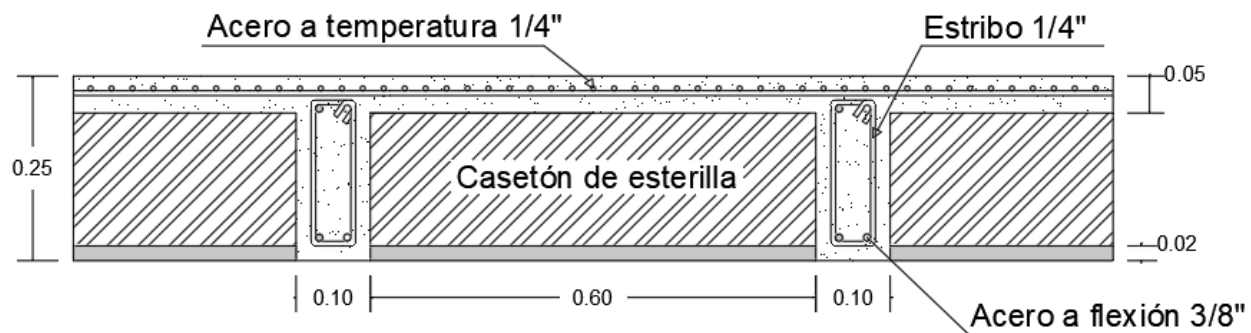


Figura No.13: Detalle final losa aligerada – corte transversal.

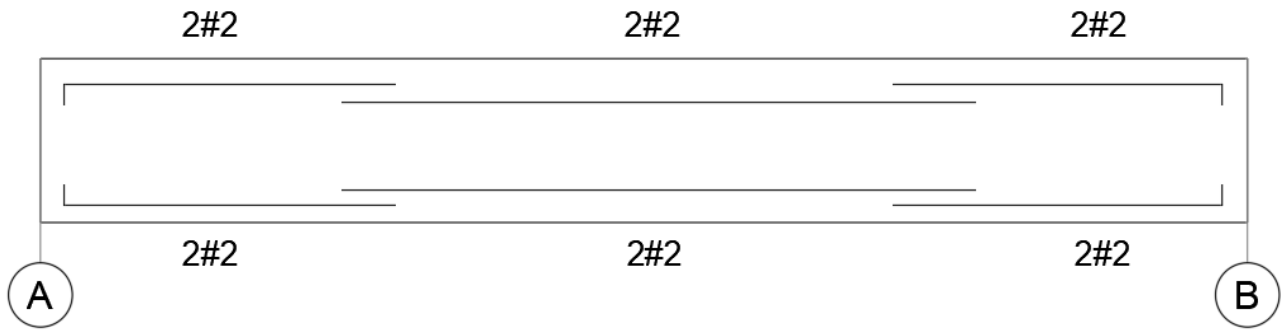


Figura No.14: Detalle acero longitudinal.

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título B). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Enunciado

clc, clear, close all, format short

Diseñar un tablero de losa nervada para la edificación que se muestra en la figura No.1, la cual esta expuesta a la intemperie, tenga en cuenta las propiedades de los materiales un $f'c = 28 \text{ MPa}$ y $f_y = 420 \text{ MPa}$ y considere los siguientes datos para el evaluó de cargas de la correspondiente edificación:

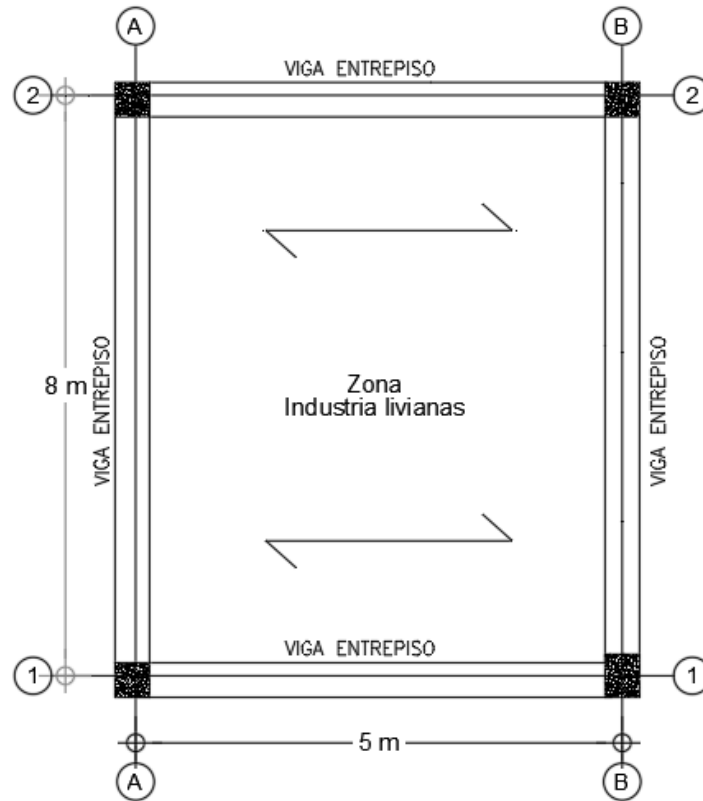


Figura No.1

Acabados:

- Cielo raso en tablero de yeso.
- Mortero de nivelación de 2 cm.
- Baldosa cerámica sobre 25 mm sobre 12 mm de mortero.

Particiones:

- Mampostería de bloque de arcilla pañetado en ambas caras con un espesor de 20 cm.
- Altura de muro 2.7 m.
- Longitud total de muro 30 m lineales .

Uso:

- Zona industrial livianas.

Otros:

- *Casetones en icopor.*

D. Anexo: Guía análisis y diseño de vigas T.

Análisis y diseño de vigas T

1- Introducción

Las vigas T son elementos estructurales que consisten normalmente en losas y vigas colocadas monolíticamente en concreto armado, con el objetivo de sostener cargas lineales, uniformes y en una sola dirección. Este elemento soporta cargas de compresión, que son absorbidas por el concreto, y las fuerzas de flexión son contrarrestadas por las barras de acero corrugado. Por consiguiente, la presente guía da a conocer cada uno de los parámetros paso a paso de como analizar una viga T de acuerdo con lo establecido en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de Contenido

Análisis y diseño de vigas T.....	1
1- Introducción.....	1
2- Aspectos teóricos.....	1
3- Ejemplo No.1.....	5
4- Desarrollo.....	6
4.1- Datos de entrada.....	6
4.2- Propiedades de los materiales.....	7
4.3- Barras de acero.....	7
4.4- Cálculo de	8
4.5- Chequear la sección T a momento positivo.....	9
4.6- Centro de gravedad del acero.....	10
4.7- Distancias d y dt.....	10
4.8- Identificar caso.....	11
4.9- Comportamiento del elemento.....	12
4.10- Cálculo de fuerzas.....	13
4.11- Cálculo de la capacidad nominal.....	14
5- Bibliografía.....	16

2- Aspectos teóricos

Las vigas T son elementos estructurales hechos en concreto armado, con el objetivo de sostener cargas lineales, uniformes y en una sola dirección, asimismo soportan cargas de compresión, que son absorbidas por el concreto, y las fuerzas de flexión son contrarrestadas por las varillas de acero corrugado (Segura, 2011).

Principalmente se tiene en cuenta que estas cargas son soportan directamente la losa, normalmente estos dos elementos estructurales losa y viga son colocadas constructivamente de forma monolítica según lo establecido en el numeral C8.12.1, en consecuencia, las dos partes actúan conjuntamente para resistir las cargas, por lo que en efecto, se forma una tira en la parte superior llamada patín y junto a la viga situada bajo la losa, le se denomina alma, de tal forma se obtiene un elemento con sección transversal de forma geométrica en "T".

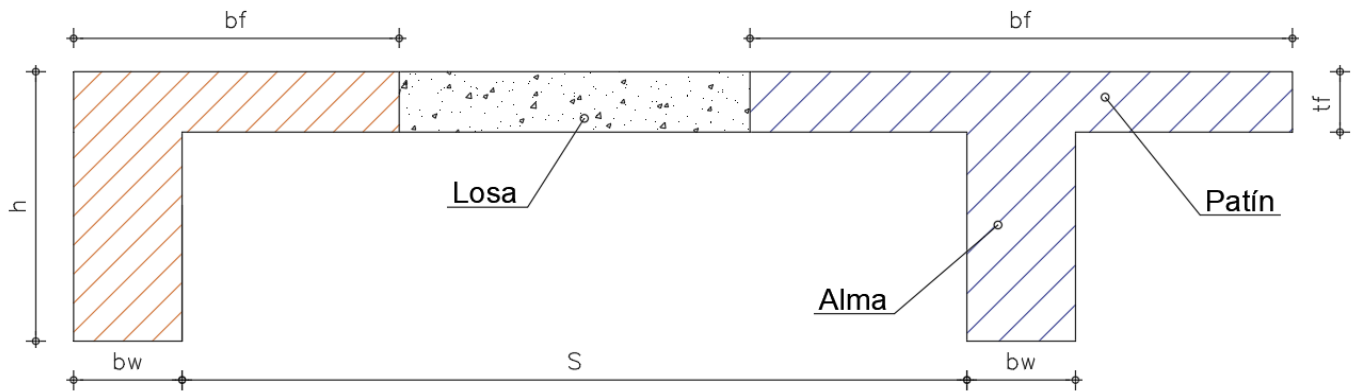


Figura No.1: Detalle sección transversal viga-losa.

De igual manera, este tipo de viga se puede dar de forma aislada como se muestra en la figura No.2, teniendo en cuenta los parámetros dados en el reglamento colombiano de construcción, ya que este tipo de sección infiere que la zona de concreto en compresión sea mayor a momentos positivos, esto comparando con el caso de las vigas rectangulares. Cabe recalcar que estas también pueden tener forma de L si el alma se encuentra en el extremo de una losa (McCormac & Brown, 2011).

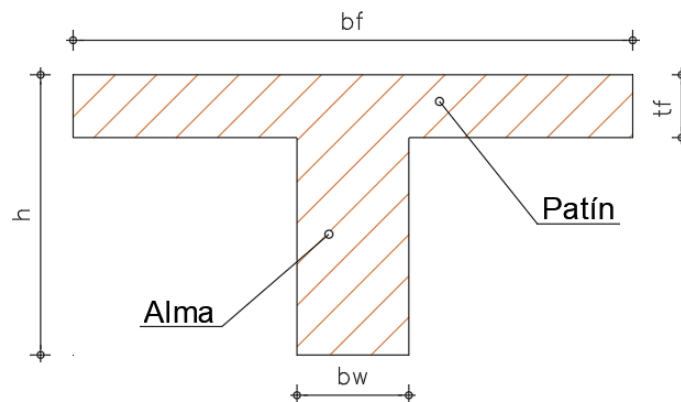


Figura No.2: Detalle sección transversal viga T aislada.

- bf = Ancho efectivo
- tf = Espesor del ala
- bw = Ancho del alma
- h = Altura total

Viga - losa

Para vigas T intermedias fundidas monólicamente, se debe tener en cuenta, según el numeral C.8.12.2 el ancho efectivo de la losa como ala de las vigas no debe exceder $\frac{1}{4}$ de la luz de la viga, y el ancho sobresaliente efectivo del ala a cada lado del alma no debe exceder:

- 8 veces el espesor de la losa y
- La mitad de la distancia libre a la siguiente alma.

Según el numeral C.8.12.3 para vigas laterales fundidas monólicamente en forma L (Ver figura No.1), el ancho efectivo del ala no debe exceder:

- ½ de la luz de la viga.
- 6 veces el espesor de la losa y
- La mitad de la distancia libre a la siguiente alma.

Vigas aisladas

En vigas aisladas, las que solamente se utilice la forma T para proporcionar con el ala un área adicional de compresión, según lo descrito en el numeral C.8.12.4 el ala debe tener un espesor no menor de ½ del ancho del alma, y un ancho efectivo no mayor de 4 veces el ancho del alma.

Refuerzo

Para el refuerzo principal de flexión en una losa que se considere como ala de una viga T excluyendo las viguetas sea paralelo a la viga según el numeral C.8.12.5 se debe disponer de refuerzo perpendicular a la viga en la parte superior de la losa de acuerdo con lo siguiente:

- El refuerzo transversal se debe diseñar para resistir la carga mayorada que actúa sobre el ala suponiendo que ésta trabaja en voladizo.
- Para vigas asiladas se debe considerar el ancho total del ala.
- Para otros tipos de vigas T, sólo es necesario considerar el ancho sobresaliente efectivo del ala.
- El espaciamiento del refuerzo transversal no se debe exceder de 5 veces el espesor de la losa ni de 450mm.

En el análisis y diseño de este tipo de elementos estructurales, se deberá chequear que efectivamente el eje neutro (distancia c) se encuentre en el alma de la sección y no dentro de los patines, por lo que no debe estar dentro del espesor de la losa, puesto que de esto depende el análisis que se realice como viga rectangular o como una viga T.

Viga con momento negativo

Estas por su particularidad se dan en los voladizos o en vigas continuas, en consecuencia, la zona a compresión se da en la parte inferior y la de atracción en la parte superior donde se ubica el patín del elemento como se muestra en la figura No.3.

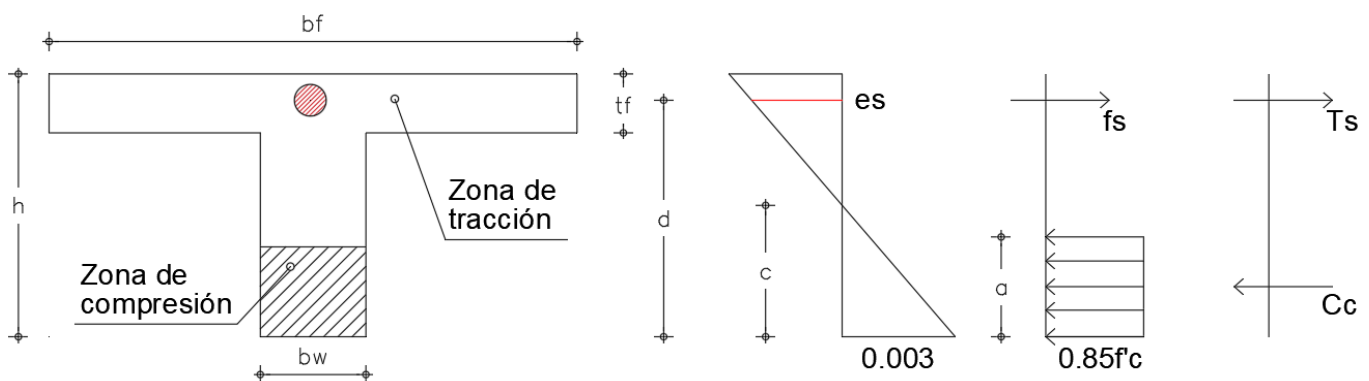


Figura No.3: Detalle esfuerzos y deformaciones, viga T momentos negativos.

$$\sum f_x = C_c - T_s = 0$$

$$C_c = 0.85 * f'c * a * bw$$

$$T_s = A_s * f_y \text{ (asumir fluencia)}$$

Por lo tanto igualando:

$$0.85 * f'c * a * bw = A_s * f_y$$

Despejando el valor de c :

$$c = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f'c * \beta_1 * bw}$$

Recordar cuantía

$$\rho^- = \frac{A_s}{bw * d}$$

$$M_u = \phi M_n$$

$$\rho^- = 0.85 * \frac{f'c}{f_y} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0.85 * f'c * \phi}} \right)$$

Viga con momento positivo

Para las vigas que trabajan para momento positivo, se dan dos casos en los que depende del eje neutro, por lo que este puede situarse en el patín o en el alma, todo esto acatado de las proporciones del ala o del alma, si este se sitúa en el ala, que es el caso más común para momentos positivos, son aplicables las fórmulas que se dan para vigas rectangulares, sin embargo, si el eje neutro está por debajo del ala, el concreto de compresión por arriba del eje neutro ya no consiste en un solo rectángulo, de tal forma las fórmulas para las vigas rectangulares ya no serán las mismas, por lo tanto se da lo siguiente:

Caso No.1

Cuando $a \leq t_f$

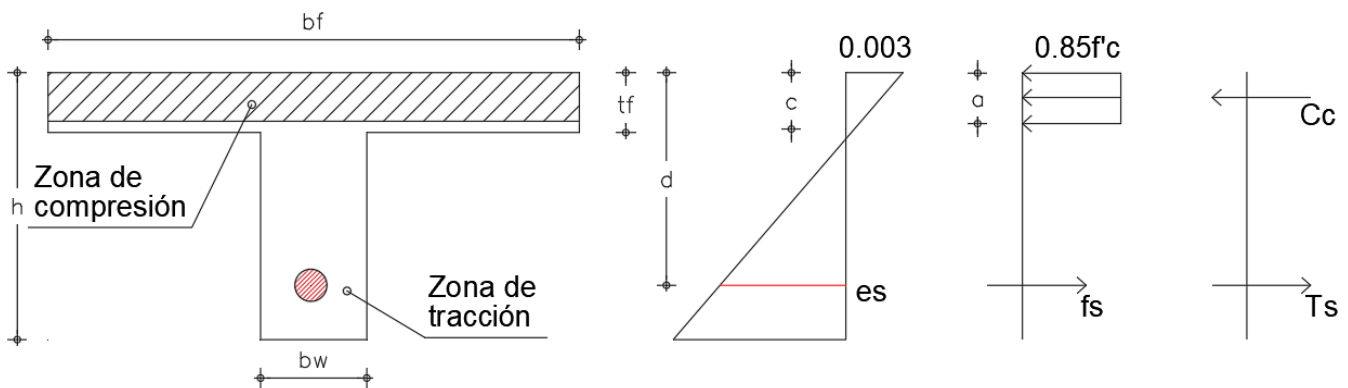


Figura No.4: Detalle esfuerzos y deformaciones, viga T Caso No.1 momentos positivos.

$$T_s = C_c$$

$$A_s * f_y = 0.85 * f'c * a * bw$$

$$a = \frac{As * fy}{0.85 * f'c * bf}$$

$$k = \frac{Mu^+}{bf * d^2}$$

$$\rho^+ = \frac{As}{bf * d}$$

$$\rho^+ = 0.85 * \frac{f'c}{fy} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0.85 * f'c * \phi}}\right)$$

$$Mn = Ts * \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

Caso No.2

Cuando $a > tf$

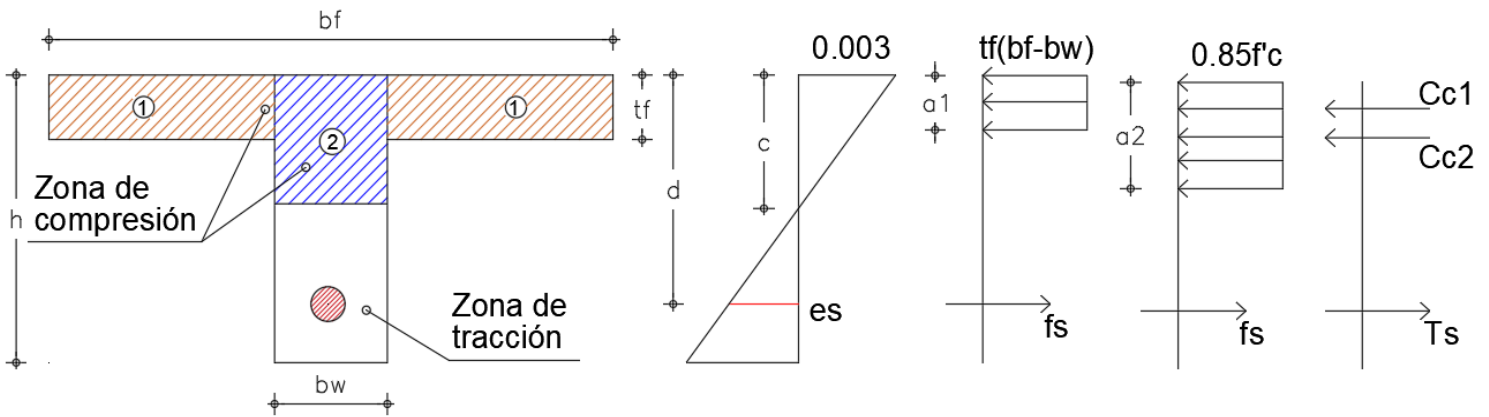


Figura No.5: Detalle esfuerzos y deformaciones, viga T Caso No.2 momentos positivos.

$$Cc1 = 0.85 * f'c * a * bw$$

$$Cc2 = 0.85 * f'c * tf * (bf - bw)$$

$$Ts = As * fy$$

$$Ts = Cc1 + Cc2$$

Al despejar a

$$a = \frac{As * fy - 0.85 * f'c * tf * (bf - bw)}{0.85 * f'c * bw}$$

$$Mn = Cc1 * \left(d - \frac{a}{2}\right) + Cc2 * \left(d - \frac{tf}{2}\right)$$

3- Ejemplo No.1

Determinar la resistencia de diseño de la viga T mostrada en la figura No.4 con $f'c = 21$ MPa y $fy = 420$ MPa $E = 200$ GPa. La viga tiene una altura de 0.75 m, con un espesor $tf = 0.15$ m y un ancho efectivo de $bt = 0.7$ m.

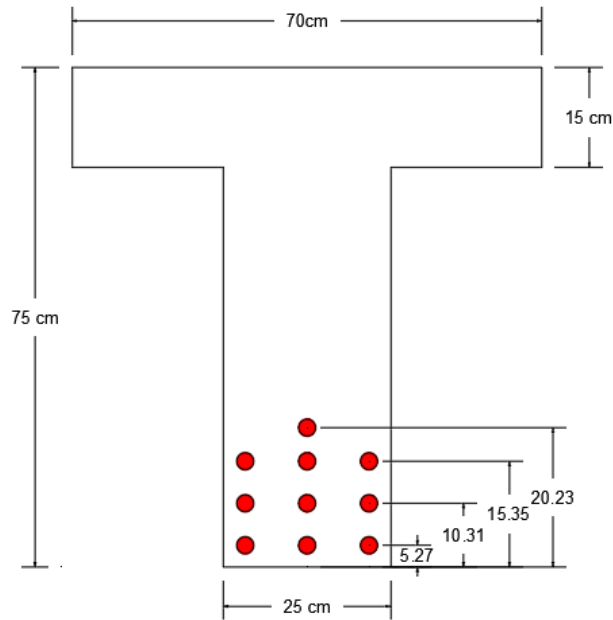


Figura No.6: Detalle sección transversal viga T (cm).

4- Desarrollo

4.1- Datos de entrada

Ingresar la respectiva dimensiones del elemento.

Altura total

$h = 0.75;$ % Altura total [m]

Ancho del alma

$b_w = 0.25;$ % Ancho del alma [m]

Ancho efectivo

$b_f = 0.70;$ % Ancho del ala [m]

Espesor del ala

$t_f = 0.15;$ % Espesor del ala [m]

Distancias d_n

Ingresar la respectiva distancias referente a la figura No.4

$d_1 = 0.0527;$ % [m]
 $d_2 = 0.1031;$ % [m]
 $d_3 = 0.1535;$ % [m]
 $d_4 = 0.2023;$ % [m]

4.2- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada una de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

- Resistencia específica a la compresión.

```
fc = 21e6; % [Pa]
```

- Deformación máxima de concreto a compresión.

```
ecu = 0.003;
```

- Resistencia específica a la fluencia.

```
fy = 420e6; % [Pa]
```

- Módulo de elasticidad del acero.

```
Es = 200e9; % [Pa]
```

- Deformación del acero.

```
ey= 0.00206;
```

4.3- Barras de acero

Ingresar el número de barra y la cantidad que tiene el elemento en la zona de tracción en cada una de sus filas.

Primera fila :

```
N_bar1 = [510/1000000];
bar1 = 3;
D_t1 = [25.4/1000]; % Diámetro del acero [m]
As_t1 = bar1*N_bar1; % Área del acero [m^2]
sprintf('Área de acero fila No.1: %0.5g [cm^2]',As_t1*100^2)
```

```
ans =
'Área de acero fila No.1: 15.3 [cm^2]'
```

Segunda fila :

```
N_bar2 = [510/1000000];
bar2 = 3;
D_t2 = [25.4/1000]; % Diámetro del acero [m]
As_t2 = bar2*N_bar2; % Área del acero [m^2]
sprintf('Área de acero fila No.2: %0.5g [cm^2]',As_t2*100^2)
```

```
ans =
'Área de acero fila No.2: 15.3 [cm^2]'
```

Tercera fila :

```
N_bar3 = [510/1000000];
bar3 = 3;
```

```
D_t3 = [25.4/1000]; % Diámetro del acero [m]
As_t3 = bar3*N_bar3; % Área del acero [m^2]
sprintf('Área de acero fila No.3: %0.5g [cm^2]',As_t3*100^2)
```

```
ans =
'Área de acero fila No.3: 15.3 [cm^2]'
```

Cuarta fila :

```
N_bar4 = [387/1000000];
bar4 = 1;
D_t4 = [22.2/1000]; % Diámetro del acero [m]
As_t4 = bar4*N_bar4; % Área del acero [m^2]
sprintf('Área de acero fila No.4: %0.5g [cm^2]',As_t4*100^2)
```

```
ans =
'Área de acero fila No.4: 3.87 [cm^2]'
```

Área de acero total

$$A_{S_{total}} = A_{S_{T_{t1}}} + A_{S_{T_{t2}}} + A_{S_{T_{t3}}} + A_{S_{T_{t4}}}$$

```
As_total = As_t1+As_t2+As_t3+As_t4;
sprintf('Área de acero total: %0.5g [cm^2]',As_total*100^2)
```

```
ans =
'Área de acero total: 49.77 [cm^2]'
```

4.4- Cálculo de β_1

Para el cálculo de β_1 se determina de acuerdo al f'_c al cual hace referencia a la resistencia del concreto a compresión. El capítulo C.10.2.7.3 del reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 que para f'_c entre 17 y 28 MPa, en factor β_1 se debe tomar como 0,85. Para f'_c superior a 28 MPa, β_1 se debe disminuir en forma lineal a razón de 0.05 por cada 7 MPa de aumento sobre 28 MPa, sin embargo, β_1 no debe ser menor de 0,65.

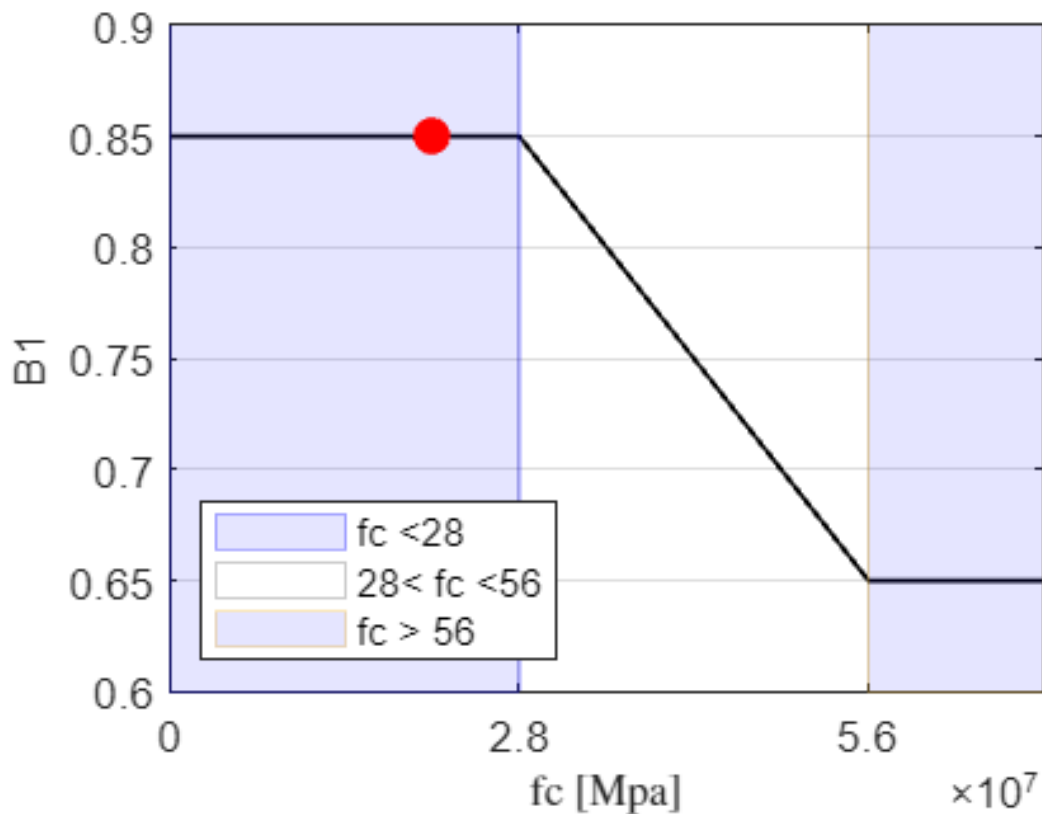
- Cuando $f'_c < 28$ MPa entonces $\beta_1 = 0.85$
- Cuando $28 \text{ MPa} < f'_c < 56 \text{ MPa}$ entonces $\beta_1 = 0.85 - 0.05 * \frac{(f'_c - 28)}{7}$
- Cuando $f'_c > 56$ MPa $\beta_1 = 0.65$

```
flag_2=true;
if fc <= 28e6
    bt1 = .85;
elseif fc < 56e6
    bt1 = .85-.05*(fc/1e6-28)/7;
else
    bt1 = 0.65;
end
if flag_2 == true
ves_2=[0 28e6 56e6 70e6];
```

```

aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:70e6];
if fc > ves_2(end)
    ves_2=[0 28e6 56e6 fc];
    aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:fc];
end
vfi_2=[.85 .85 .65 .65];
plot(ves_2,vfi_2,'color',[ 0 0 0],'linewidth',1), grid on, hold on
f1_2 = fill([0 28e6 28e6 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1]);
f2_2 = fill([56e6 ves_2(end) ves_2(end) 56e6],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1]);
ft_2 = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves_2(end) .6 .90])
plot(fc,bt1,'r','marker','o','markersize',8,'MarkerFaceColor','r');
set(gca,'XTick',aa_2)
ylabel('B1','fontsize',10)
xlabel('fc [Mpa]','fontsize',10,'interpreter','latex')
legend([f1_2 ft_2 f2_2],{'fc <28','28< fc <56','fc > 56'},'fontsize',9,'location','south')
end

```



```
sprintf('Valor de B1 es de: %0.5g ',bt1)
```

```
ans =
'Valor de B1 es de: 0.85 '
```

4.5- Chequear la sección T a momento positivo

Espeor del ala

$$t_f \geq \frac{b_w}{2}$$

```
che1 = bw/2;  
sprintf('Se tiene: %0.5g [cm]',che1*100)
```

```
ans =  
'Se tiene: 12.5 [cm]'
```

```
if tf >= che1  
    disp('Cumple con el espesor requerido')  
else  
    disp('No cumple con el espesor requerido')  
end
```

Cumple con el espesor requerido

Ancho efectivo

$$b_f \leq 4b_w$$

```
che2 = 4*bw;  
sprintf('Se tiene: %0.5g [cm]',che2*100)
```

```
ans =  
'Se tiene: 100 [cm]'
```

```
if bf <= che2  
    disp('Cumple con el ancho efectivo requerido')  
else  
    disp('No cumple con el ancho efectivo requerido')  
end
```

Cumple con el ancho efectivo requerido

4.6- Centro de gravedad del acero

Tener en cuenta que en esta situación se tiene cinco filas de refuerzo en la zona de tracción, por lo que es necesario unificar las filas, tal es el caso se debe tener en cuenta las distancias mostradas en la figura No.5 y las áreas de cada una de las barras para así poder determinar el centro de gravedad.

Para poder determinar la distancia y al centro de gravedad se implementa la siguiente formula:

$$g_1 = \frac{(A_{s_{t1}} * d_1) + (A_{s_{t2}} * d_2) + (A_{s_{t3}} * d_3) + (A_{s_{t4}} * d_4)}{A_{s_{t1}} + A_{s_{t2}} + A_{s_{t3}} + A_{s_{t4}}}$$

```
g1 = ((As_t1*d1)+(As_t2*d2)+(As_t3*d3)+(As_t4*d4))/(As_t1+As_t2+As_t3+As_t4); % [m]  
sprintf('Centro de gravedad es de: %0.5g [cm]',g1*100)
```

```
ans =  
'Centro de gravedad es de: 11.081 [cm]'
```

4.7- Distancias d y dt

Ahora bien, ya determinada la distancia al centro de gravedad, procedemos a calcular la distancia d , que es la que va desde el borde superior (ala) del elemento hasta el centroide de las barras y la distancia d_t que es la distancia que va hasta el centroide de la última barra a tracción.

Formulas:

$$d = h - g_1$$

```
d = h-g1; % [m] Distancia desde el borde superior a
sprintf('d: %0.5g [m]',d)
```

```
ans =
'd: 0.63919 [m]'
```

$$d_t = h - d_1$$

```
dt = h-d1; % [m] Distancia desde el borde superior a
sprintf('dt: %0.5g [m]',dt)
```

```
ans =
'dt: 0.6973 [m]'
```

4.8- Identificar caso

Tener en cuenta que se dan dos casos en los que depende del valor de a , por lo que, este puede situarse en el patín o en el alma, por lo tanto se realiza en cálculo del valor de a para determinar el caso de análisis.

Suponer que $a \leq hf$

Suponer fluencia $T_s = A_s * f_y$

```
ts_a = As_total*fy;
sprintf('Ts : %0.5g [KN]',ts_a/1000)
```

```
ans =
'Ts : 2090.3 [KN]'
```

$$C_c = T_s$$

$$0.85 * f'_c * \beta_1 * c * b_f = A_s * f_y$$

Cálculo de c

$$c = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f'_c * \beta_1 * b_f}$$

```
c_a = ts_a/(0.85*fc*bt1*bf);
sprintf('c : %0.5g [m]',c_a)
```

```
ans =
'c : 0.19682 [m]'
```

Cálculo de a

$$a = \beta_1 * c$$

```
a_a = bt1*c_a;
sprintf('a : %0.5g [cm]',a_a*100)
```

```
ans =
'a : 16.729 [cm]'
```

Verificamos el caso

```
if a_a >= tf
    disp('!!!! Caso N0.1 zona a compresión llega hasta el alma !!!! ')
else
    disp('!!!! Caso N0.2 zona a compresión solo llega hasta en el patín !!!! ')
end
```

```
!!!! Caso N0.1 zona a compresión llega hasta el alma !!!!
```

Nota: Se debe volver a calcular c ya que el valor de a da en el alma.

4.9- Comportamiento del elemento

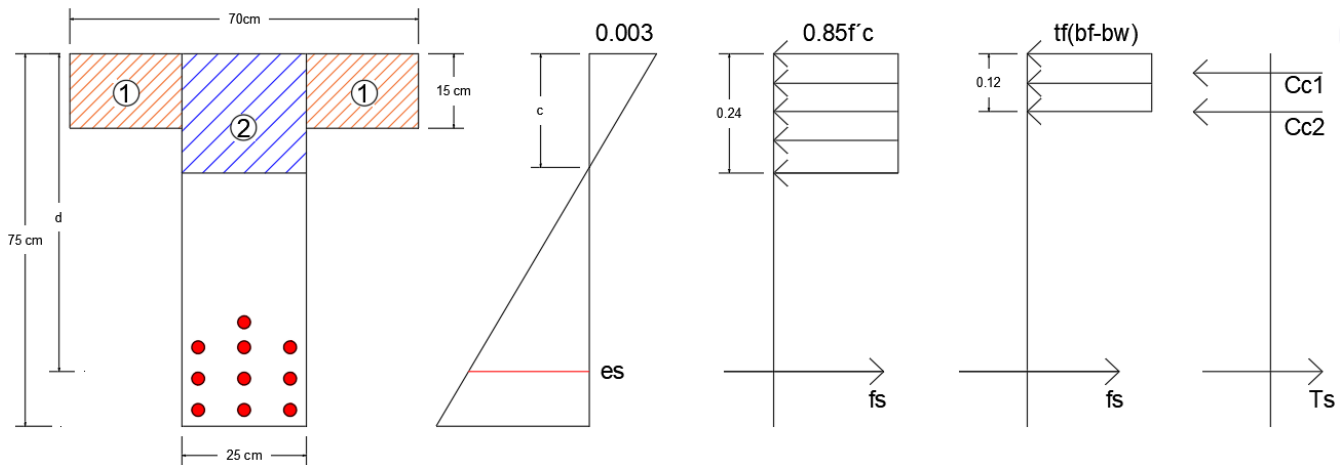


Figura No.7: Detalle esfuerzos y deformaciones, viga T.

Determinar el valor de c

Asumir que el acero a tracción está fluyendo $\epsilon_s = 0.00206$, $f_y = 420$ Mpa.

```
syms cx
```

$$Cc1 = 0.85 * f'c * tf * (bf - bw)$$

```
Cc1_a = 0.85*f'c*(tf*(bf-bw));
sprintf('Cc 1: %0.5g [kN]',Cc1_a/1000)
```

```
ans =
'Cc 1: 1204.9 [kN]'
```

$$Cc2 = 0.85 * f'c * a * bw$$

```
Cc2_a = 0.85*f'c*bt1*cx*bw
```

```
Cc2_a = 3793125 cx
```

```
Ts = Astol * fy
```

```
Ts_a = As_total*fy;  
sprintf('Ts: %0.5g [kN]',Ts_a/1000)
```

```
ans =  
'Ts: 2090.3 [kN]'
```

Sumatoria de fuerzas

$$\sum F_x = -Cc1 - Cc2 + Ts$$

```
Ecua_a = -Cc1_a-Cc2_a+Ts_a;  
c_x2 = double(solve(Ecua_a==0));  
ind = find(c_x2>0);  
c = c_x2(ind);  
sprintf('Valor de c: %0.5g [m]',c)
```

```
ans =  
'Valor de c: 0.23344 [m]'
```

Verificación de fluencia en el acero

Por lo tanto se tiene : $\frac{0.003}{c} = \frac{\epsilon_s}{d-c}$ al despejar la variable $\epsilon_s = \frac{0.003(d-c)}{c}$

```
es = ((ecu)*(d-c))/(c); % Deformación del acero a tracción.  
sprintf('La deformación del acero es de: %0.5g ',es)
```

```
ans =  
'La deformación del acero es de: 0.0052144 '
```

```
if es > ey  
    disp('iiiiiiiiii Acero a trac. SI está en fluencia !!!!!!!!!!!')  
else  
    disp('iiiiiiiiii Acero a trac. NO está en fluencia !!!!!!!!!!!')  
end
```

```
iiiiiiiiii Acero a trac. SI está en fluencia !!!!!!!!!!!
```

4.10- Cálculo de fuerzas

Con lo anterior ya sabemos en que estado se encuentra el elemento, por lo que a continuación se procede a calcular las fuerzas:

Fuerza del acero a tracción

```
Ts = Astol * fy
```

```
Ts = As_total*fy; % [N] Se toma que el acero a tracción está fluyendo  
sprintf('Ts: %0.5g [N]',Ts/1000)
```

```
ans =  
'Ts: 2090.3 [N]'
```

Fuerzas del bloques de compresión

$$Cc1 = 0.85 * f'c * tf(bf - bw)$$

```
cc1 = 0.85*fc*(tf*(bf-bw));  
sprintf('Cc1: %0.5g [kN]',cc1/1000)
```

```
ans =  
'Cc1: 1204.9 [kN]'
```

$$a = \beta_1 * c$$

```
a = bt1*c;  
sprintf('a: %0.5g [m]',a)
```

```
ans =  
'a: 0.19842 [m]'
```

$$Cc2 = 0.85 * f'c * a * bw$$

```
cc2 = 0.85*fc*a*bw;  
sprintf('Cc2: %0.5g [kN]',cc2/1000)
```

```
ans =  
'Cc2: 885.47 [kN]'
```

4.11- Cálculo de la capacidad nominal

Se efectúa sumatoria de momentos en el punto Ts

$$\sum M_{Ts} = +Cc1 * \left(d - \left(\frac{hf}{2}\right)\right) + Cc2 * \left(d - \left(\frac{a}{2}\right)\right) - M_n$$

Por lo tanto:

$$M_n = +Cc1 * \left(d - \left(\frac{hf}{2}\right)\right) + Cc2 * \left(d - \left(\frac{a}{2}\right)\right)$$

```
Mn_1 = (cc1*(d-(tf/2)))+(cc2*(d-(a/2)));  
sprintf('Mn: %0.5g [kN-m]',Mn_1/1000)
```

```
ans =  
'Mn: 1157.9 [kN-m]'
```

Cálculo del factor de reducción

La NSR-10 menciona que la resistencia de diseño de un elemento es la resistencia de acuerdo con las condiciones establecidas en el título C, multiplicada por un factor de reducción de resistencia ϕ que siempre es menor que la unidad.

Los propósitos del factor de reducción de resistencia ϕ son:

- Tener en cuenta la probabilidad de existencia de elementos con una resistencia baja debida a variaciones en la resistencia de los materiales y las dimensiones.
- Tener en cuenta inexactitudes en las ecuaciones de diseño.
- Reflejar el grado de ductilidad y la confiabilidad requerida para el elemento bajo efectos de la carga bajo consideraciones.
- Reflejar la importancia del elemento en la estructura.

Nota: Tener en cuenta que para este caso se tiene cinco filas de acero a tracción, por lo que se debe tener en cuenta el valor de d_t y no la distancia d ya que para determinar el factor de reducción debe ser con la última fila de acero que este a tracción, independientemente si hay más filas de refuerzo.

Calcular la deformación para la última fila de acero a tracción:

$$\varepsilon_{s_{fi}} = \frac{(0.003) * (d_t - c_2)}{c_2}$$

```
es_t = ((ecu)*(dt-c))/(c);    % Esfuerzo, fila ultima de acero a tracción para fi.
sprintf('Deformación para la ultima fila de acero es de: %0.5g ',es_t)
```

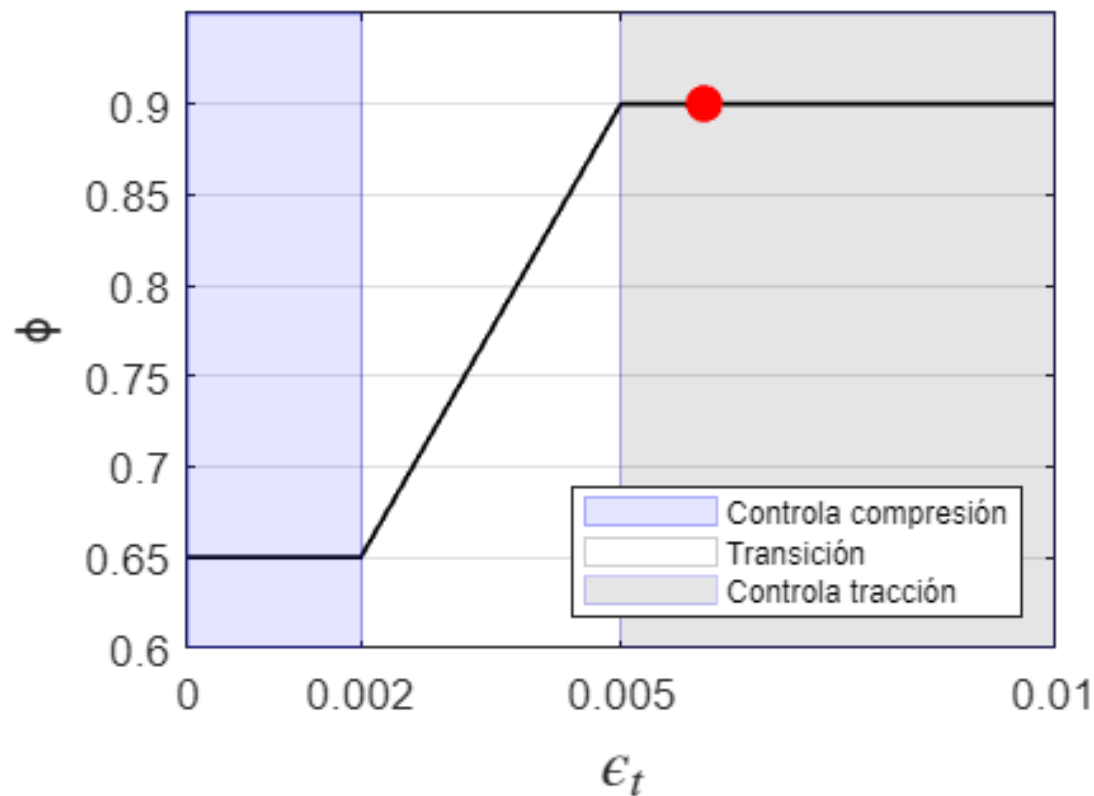
```
ans =
'Deformación para la ultima fila de acero es de: 0.0059612 '
```

Grafica de ϕ

```
close all

flag=true;
if es_t <= .002
    fi_2 = .65;
elseif es_t < .005
    fi_2 = .65+(es_t-.002)*(250/3);
else
    fi_2 = 0.9;
end
if flag == true
ves=[0 .002 .005 .01];
aa =[0 .002 .005:.005:.02];
    if es_t > ves(end)
        ves=[0 .002 .005 es_t];
        aa =[0 .002 .005:.005:es_t];
    end
vfi=[.65 .65 .9 .9];
plot(ves,vfi,'color',[ 0 0 0],'linewidth',1), grid on, hold on
f1 = fill([0 .002 .002 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1],...
f2 = fill([.005 ves(end) ves(end) .005],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 0],'EdgeColor',[0 0 0],...
ft = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves(end) .6 .95])
plot(es_t,fi_2,'r','marker','o','markersize',8,'MarkerFaceColor','r')
set(gca,'XTick',aa)
ylabel('\phi','fontsize',11)
```

```
xlabel('$\epsilon_t$', 'fontsize', 15, 'interpreter', 'latex')
legend([f1 ft f2], {'Controla compresión', 'Transición', 'Controla tracción'}, 'fontsize', 7,
end
```



```
sprintf('Valor de  $\phi$  es de: %0.5g ', fi_2)
```

```
ans =
'Valor de  $\phi$  es de: 0.9 '
```

Momento nominal máximo requerido ϕM_n

$$\phi M_n = 0.9 * M_n$$

```
fi_Mn = (fi_2)*(Mn_1); % [N-m]
sprintf('  $\phi M_n$ : %0.5g [N-m]', fi_Mn/1000)
```

```
ans =
'  $\phi M_n$ : 1042.1 [N-m]'
```

5- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- McCormac, J. C. & Brown, R. H. (2011). Diseño de concreto reforzado. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Segura, J. I. (2011). Estructuras de concreto I. Bogotá: Alaya Avila & Cia Ltda.

Ejemplo No.2: Análisis de vigas T

1- Introducción

En la guía presente se da a conocer cada uno de los parámetros paso a paso de como analizar una viga T no expuesta a la intemperie que solo cuenta con dos filas de acero a tracción. El elemento soporta un momento actuante de gran magnitud. Donde se tiene cuenta cada uno de los requisitos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de contenido

Ejemplo No.2: Análisis de vigas T.....	1
1- Introducción.....	1
2- Enunciado.....	1
3- Desarrollo.....	2
3.1- Datos de entrada.....	2
3.2- Propiedades de los materiales.....	2
3.3- Carga axial y momentos mayorados.....	3
3.4- Barras de acero longitudinal.....	3
3.5- Distancia mínima entre barras paralelas.....	4
3.6- Cálculo de.....	4
3.7- Recubrimiento.....	5
3.8- Chequear la sección T a momento positivo.....	6
3.9- Centro de gravedad del acero.....	6
3.10- Identificar caso.....	7
3.11- Comportamiento del elemento.....	8
3.12- Cálculo de fuerzas.....	10
3.13- Cálculo de la capacidad nominal.....	10
3.14- Relación entre demanda y capacidad.....	13
4- Bibliografía.....	14

2- Enunciado

Determine la resistencia máxima de momento de la viga T mostrada en la figura No.1 que cuenta con un $M_{ux} = 250 \text{ kN} - m$, $f'_c = 28 \text{ MPa}$ y $f_y = 420 \text{ Mpa}$ $E = 200 \text{ GPa}$. La viga tiene una altura de 0.6 m, con un espesor $t_f = 0.13 \text{ m}$ y un ancho efectivo de $b_t = 0.8 \text{ m}$. Tener en cuenta que el elemento no expuesto a la intemperie.

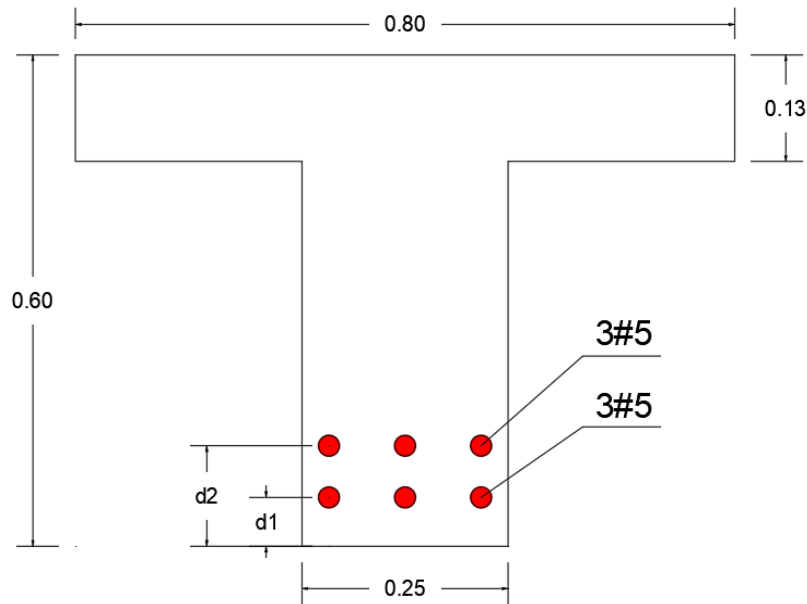


Figura No.1: Detalle sección transversal viga T (m).

3- Desarrollo

3.1- Datos de entrada

Ingresar la respectiva dimensiones del elemento.

Altura total

$h = 0.6;$ % Altura total [m]

Ancho del alma

$b_w = 0.25;$ % Ancho del alma [m]

Ancho efectivo

$b_f = 0.80;$ % Ancho del ala [m]

Espesor del ala

$t_f = 0.13;$ % Espesor del ala [m]

3.2- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada una de las propiedades de acuerdo con sus unidades especificadas.

- Resistencia específica a la compresión.

$f_c = 28e6;$ % [Pa]

- Deformación máxima de concreto a compresión.

```
ecu = 0.003;
```

- Resistencia específica a la fluencia.

```
fy = 420e6; % [Pa]
```

- Módulo de elasticidad del acero.

```
Es = 200e9; % [Pa]
```

- Deformación del acero.

```
ey= 0.00206;
```

3.3- Carga axial y momentos mayorados

Ingrese la carga axial y el momento mayorado según el cálculo de cargas que tenga la estructura.

```
Pu = 0; % [N]
Mux = 250000; % [N-m]
Muy = 0; % [N-m]
```

3.4- Barras de acero longitudinal

Ingresa el número de barra y la cantidad que tiene el elemento en la zona de tracción en cada una de sus filas.

Primera fila :

```
N_bar1 = [284/1000000];
bar1 = 3;
D_t1 = [19.1/1000]; % Diámetro del acero [m]
As_t1 = bar1*N_bar1; % Área del acero [m^2]
sprintf('Área de acero fila No.1: %0.5g [cm^2]',As_t1*100^2)
```

```
ans =
'Área de acero fila No.1: 8.52 [cm^2]'
```

Segunda fila :

```
N_bar2 = [199/1000000];
bar2 = 3;
D_t2 = [15.9/1000]; % Diámetro del acero [m]
As_t2 = bar2*N_bar2; % Área del acero [m^2]
sprintf('Área de acero fila No.2: %0.5g [cm^2]',As_t2*100^2)
```

```
ans =
'Área de acero fila No.2: 5.97 [cm^2]'
```

Área de acero total

$AS_{total} = AS_{T_t1} + AS_{T_t2}$

```
As_total = As_t1+As_t2;
sprintf('Área de acero total: %0.5g [cm^2]',As_total*100^2)
```

```
ans =  
'Área de acero total: 14.49 [cm^2]'
```

3.5- Distancia mínima entre barras paralelas

Según el numeral C.7.6.1 de la NSR-10 nos dice que la distancia libre mínima entre barras paralelas de una capa debe ser d_b , pero no debe ser menos de 25 mm.

```
D_max = [D_t1 D_t2];  
D_maxf = max(D_max);  
  
if D_maxf >= 2.5  
    S = D_bar;  
    sprintf('Distancia mínima entre barras paralelas: %0.5g [cm]',S*100)  
else  
    S = 2.5*0.01;  
    sprintf('Distancia mínima entre barras paralelas: %0.5g [cm]',S*100)  
end
```

```
ans =  
'Distancia mínima entre barras paralelas: 2.5 [cm]'
```

3.6- Cálculo de β_1

Para el cálculo de β_1 se determina de acuerdo a f'_c al cual hace referencia a la resistencia del concreto a compresión. El capítulo C.10.2.7.3 del reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 que para f'_c entre 17 y 28 MPa, en factor β_1 se debe tomar como 0,85. Para f'_c superior a 28 MPa, β_1 se debe disminuir en forma lineal a razón de 0.05 por cada 7 MPa de aumento sobre 28 MPa, sin embargo, β_1 no debe ser menor de 0,65.

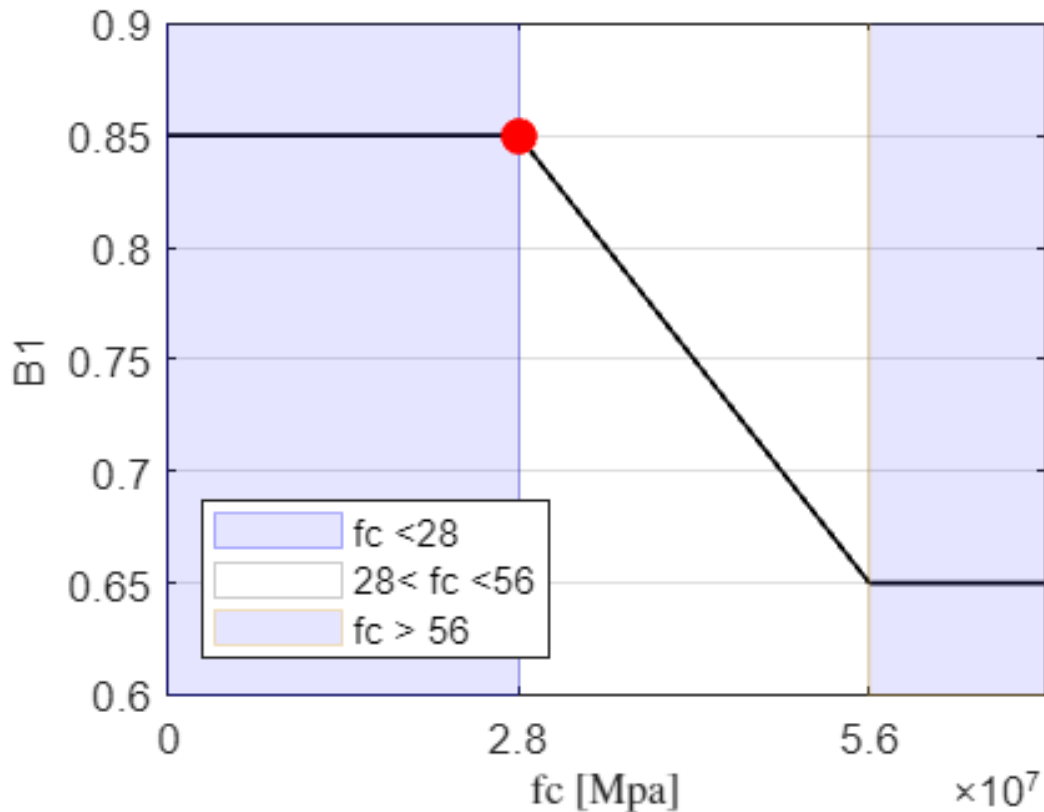
- Cuando $f'_c < 28$ MPa entonces $\beta_1 = 0.85$
- Cuando $28 \text{ MPa} < f'_c < 56 \text{ MPa}$ entonces $\beta_1 = 0.85 - 0.05 * \frac{(f'_c - 28)}{7}$
- Cuando $f'_c > 56$ MPa $\beta_1 = 0.65$

```
flag_2=true;  
if fc <= 28e6  
    bt1 = .85;  
elseif fc < 56e6  
    bt1 = .85-.05*(fc/1e6-28)/7;  
else  
    bt1 = 0.65;  
end  
if flag_2 == true  
ves_2=[0 28e6 56e6 70e6];  
aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:70e6];  
    if fc > ves_2(end)  
        ves_2=[0 28e6 56e6 fc];  
        aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:fc];  
    end  
end
```

```

vfi_2=[.85 .85 .65 .65];
plot(ves_2,vfi_2,'color',[ 0 0 0],'linewidth',1), grid on, hold on
f1_2 = fill([0 28e6 28e6 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1],
f2_2 = fill([56e6 ves_2(end) ves_2(end) 56e6],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],
ft_2 = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves_2(end) .6 .90])
plot(fc,bt1,'r','marker','o','markersize',8,'MarkerFaceColor','r');
set(gca,'XTick',aa_2)
ylabel('B1','fontsize',10)
xlabel('fc [Mpa'],'fontsize',10,'interpreter','latex')
legend([f1_2 ft_2 f2_2],{'fc <28','28< fc <56','fc > 56'},'fontsize',9,'location','sou
end

```



```

sprintf('Valor de B1 es de: %0.5g ',bt1)

```

```

ans =
'Valor de B1 es de: 0.85 '

```

3.7- Recubrimiento

En este caso se debe verificar en la estructura o en las memorias de cálculo que tipo de recubrimiento es la que tiene el elemento. Seguidamente seleccione que longitud tiene según el capítulo C.7.7 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

```

re = 40*0.001; % [mm]
sprintf('El recubrimiento es de: %0.5g [m]',re)

```

```
ans =  
'El recubrimiento es de: 0.04 [m]'
```

3.8- Chequear la sección T a momento positivo

Espesor del ala

$$t_f \geq \frac{b_w}{2}$$

```
che1 = bw/2;  
sprintf('Se tiene: %0.5g [cm]',che1*100)
```

```
ans =  
'Se tiene: 12.5 [cm]'
```

```
if tf >= che1  
    disp('Cumple con el espesor requerido')  
else  
    disp('No cumple con el espesor requerido')  
end
```

Cumple con el espesor requerido

Ancho efectivo

$$b_f \leq 4b_w$$

```
che2 = 4*bw;  
sprintf('Se tiene: %0.5g [cm]',che2*100)
```

```
ans =  
'Se tiene: 100 [cm]'
```

```
if bf <= che2  
    disp('Cumple con el ancho efectivo requerido')  
else  
    disp('No cumple con el ancho efectivo requerido')  
end
```

Cumple con el ancho efectivo requerido

3.9- Centro de gravedad del acero

Tener en cuenta que en esta situación se tiene dos filas de refuerzo en la zona de tracción, por lo que es necesario unificar las filas, tal es el caso se debe tener en cuenta las dimensiones de las barras y del respectivo recubrimiento para así poder determinar el centro de gravedad.

Determinar d_1 y d_2

$$d_1 = r_e + \phi_{\text{estribo}} + \frac{\phi_{\text{barra fila 1}}}{2}$$

```
d1 = re+(D_t1/2);  
sprintf('d1: %0.5g [m]',d1)
```



```
ans =  
'd1: 0.04955 [m]'
```

$$d2 = re + \phi_{\text{estribo}} + \phi_{\text{barra fila 1}} + \frac{\phi_{\text{barra fila 2}}}{2}$$

```
d2 = re+D_t1+S+(D_t2/2);  
sprintf('d2: %0.5g [m]',d2)
```

```
ans =  
'd2: 0.09205 [m]'
```

Para poder determinar la distancia y al centro de gravedad se implementa la siguiente formula:

$$g1 = \frac{(A_{s_{t1}} * d1) + (A_{s_{t2}} * d2)}{A_{s_{t1}} + A_{s_{t2}}}$$

```
g1 = ((As_t1*d1)+(As_t2*d2))/(As_t1+As_t2); % [m]  
sprintf('Centro de gravedad es de: %0.5g [cm]',g1*100)
```

```
ans =  
'Centro de gravedad es de: 6.706 [cm]'
```

- Distancias d y dt

Ahora bien, ya determinada la distancia al centro de gravedad, procedemos a calcular la distancia d, que es la que va desde el borde superior (ala) del elemento hasta el centroide de las barras y la distancia dt que es la distancia que va hasta el centroide de la última barra a tracción.

Formulas:

$$d = h - g1$$

```
d = h-g1; % [m] Distancia desde el borde superior a  
sprintf('d: %0.5g [m]',d)
```

```
ans =  
'd: 0.53294 [m]'
```

$$dt = h - d1$$

```
dt = h-d1; % [m] Distancia desde el borde superior al  
sprintf('dt: %0.5g [m]',dt)
```

```
ans =  
'dt: 0.55045 [m]'
```

3.10- Identificar caso

Tener en cuenta que se dan dos casos en los que depende del valor de a , por lo que, este puede situarse en el patín o en el alma, por lo tanto se realiza en cálculo del valor de a para determinar el caso de análisis.

Suponer que $a \leq hf$

Suponer fluencia $T_s = A_{st} * f_y$

```
ts_a = As_total*fy;
sprintf('Ts : %0.5g [KN]',ts_a/1000)
```

```
ans =
'Ts : 608.58 [KN]'
```

$Cc = Ts$

$$0.85 * f'c * \beta_1 * c * bf = As * fy$$

Cálculo de c

$$c = \frac{As * fy}{0.85 * f'c * \beta_1 * bf}$$

```
c_a = ts_a/(0.85*fc*bt1*bf);
sprintf('c : %0.5g [m]',c_a)
```

```
ans =
'c : 0.037604 [m]'
```

Cálculo de a

$$a = \beta_1 * c$$

```
a_a = bt1*c_a;
sprintf('a : %0.5g [cm]',a_a*100)
```

```
ans =
'a : 3.1963 [cm]'
```

Verificamos el caso

```
if a_a >= tf
    disp('!!!! Caso N0.1 zona a compresión llega hasta el alma !!!! ')
else
    disp('!!!! Caso N0.2 zona a compresión solo llega hasta en el patín !!!! ')
end
```

```
!!!! Caso N0.2 zona a compresión solo llega hasta en el patín !!!!
```

Nota: Se debe volver a calcular c ya que el valor de a da en el ala (Patín).

3.11- Comportamiento del elemento

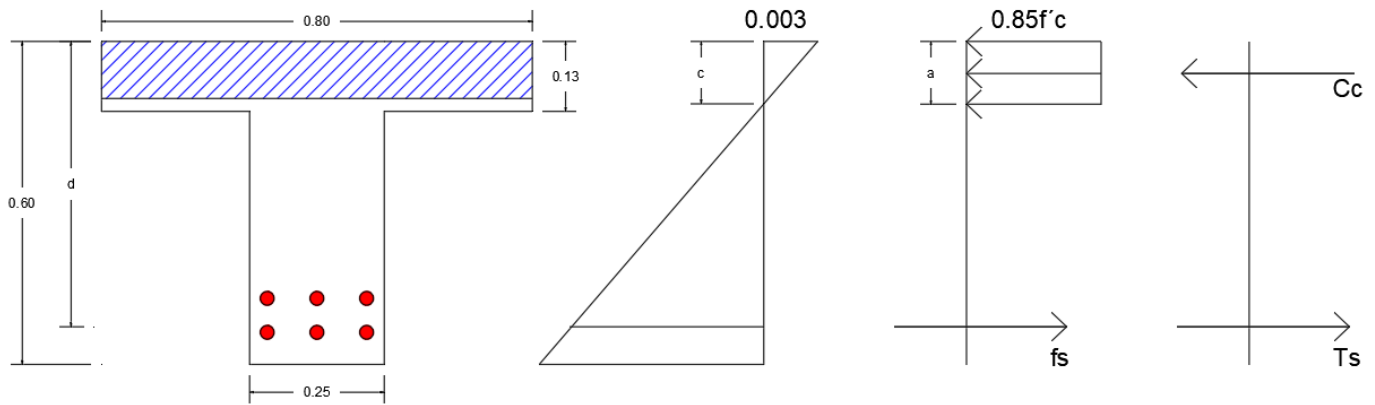


Figura No.2: Detalle esfuerzos y deformaciones, viga T.

Determinar el valor de c

Asumir que el acero a tracción está fluyendo $\epsilon_s = 0.00206$, $f_y = 420$ Mpa.

```
syms cx
```

$$C_c = 0.85 * f'c * a * bf$$

$$T_s = A_{s_{tol}} * f_y$$

Igualar fuerzas:

$$C_c = T_s$$

$$0.85 * f'c * a * bf = A_{s_{tol}} * f_y$$

Por lo tanto, se tiene que para el valor de a .

$$a = \frac{A_{s_{tol}} * f_y}{0.85 * f'c * bf}$$

```
a = (As_total*fy)/(0.85*fc*bf); % [m]
sprintf('a: %0.5g [m]',a)
```

```
ans =
'a: 0.031963 [m]'
```

Ahora bien, para determinar el valor de c se tiene que $a = \beta_1 * c$ por lo que al despejar el valor de c .

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

```
c = a/bt1; % [m]
sprintf('c: %0.5g [m]',c)
```

```
ans =
'c: 0.037604 [m]'
```

Verificación de fluencia en el acero

Por lo tanto se tiene : $\frac{0.003}{c} = \frac{\epsilon s}{d - c}$ al despejar la variable $\epsilon s = \frac{0.003(d - c)}{c}$

```
es = ((ecu)*(d-c))/(c); % Deformación del acero a tracción.
sprintf('La deformación del acero es de: %0.5g ',es)
```

```
ans =
'La deformación del acero es de: 0.039517 '
```

```
if es > ey
    disp('iiiiiiiiii Acero a trac. SI está en fluencia !!!!!!!!!!!')
else
    disp('iiiiiiiiii Acero a trac. NO está en fluencia !!!!!!!!!!!')
end
```

```
iiiiiiiiii Acero a trac. SI está en fluencia !!!!!!!!!!!
```

3.12- Cálculo de fuerzas

Con lo anterior ya sabemos en que estado se encuentra el elemento, por lo que a continuación se procede a calcular las fuerzas:

Fuerza del acero a tracción

$$T_s = A_{s_{tol}} * f_y$$

```
Ts = As_total*fy; % [N] Se toma que el acero a tracción está fluyendo
sprintf('Ts: %0.5g [kN]',Ts/1000)
```

```
ans =
'Ts: 608.58 [kN]'
```

Fuerzas del bloques de compresión

$$a = \beta_1 * c$$

```
a = bt1*c;
sprintf('a: %0.5g [m]',a)
```

```
ans =
'a: 0.031963 [m]'
```

$$C_c = 0.85 * f'_c * a * b_f$$

```
cc = 0.85*fc*a*bf;
sprintf('Cc: %0.5g [kN]',cc/1000)
```

```
ans =
'Cc: 608.58 [kN]'
```

3.13- Cálculo de la capacidad nominal

3.13.1- Momento nominal

Se efectúa sumatoria de momentos en el punto Ts.

$$\sum M_{Ts} = Cc * \left(d - \left(\frac{a}{2} \right) \right) - M_n$$

Por lo tanto:

$$M_n = Cc * \left(d - \left(\frac{a}{2} \right) \right)$$

```
Mn_1 = (cc*(d-(a/2)));
sprintf('Mn: %0.5g [kN-m]',Mn_1/1000)
```

```
ans =
'Mn: 314.61 [kN-m]'
```

3.13.2- Cálculo del factor de reducción

La NSR-10 menciona que la resistencia de diseño de un elemento es la resistencia de acuerdo con las condiciones establecidas en el título C, multiplicada por un factor de reducción de resistencia ϕ que siempre es menor que la unidad.

Los propósitos del factor de reducción de resistencia ϕ son:

- Tener en cuenta la probabilidad de existencia de elementos con una resistencia baja debida a variaciones en la resistencia de los materiales y las dimensiones.
- Tener en cuenta inexactitudes en las ecuaciones de diseño.
- Reflejar el grado de ductilidad y la confiabilidad requerida para el elemento bajo efectos de la carga bajo consideraciones.
- Reflejar la importancia del elemento en la estructura.

Nota: Tener en cuenta que para este caso se tiene dos filas de acero a tracción, por lo que se debe tener en cuenta el valor de d_t y no la distancia d ya que para determinar el factor de reducción debe ser con la última fila de acero que este a tracción, independientemente si hay más filas de refuerzo.

Calcular la deformación para la última fila de acero a tracción:

$$es_{fi} = \frac{(0.003) * (d_t - c_2)}{c_2}$$

```
es_t = ((ecu)*(dt-c))/(c); % Esfuerzo, fila ultima de acero a tracción para fi.
sprintf('Deformación para la ultima fila de acero es de: %0.5g ',es_t)
```

```
ans =
'Deformación para la ultima fila de acero es de: 0.040914 '
```

Grafica de ϕ

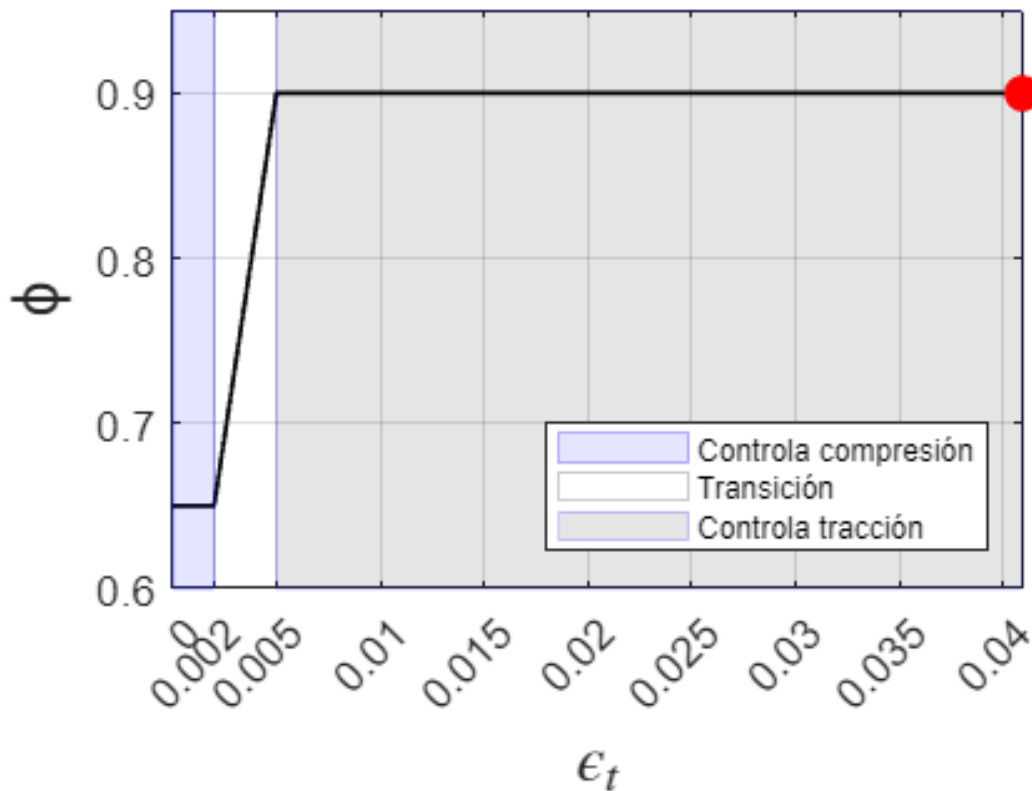
```
close all

flag=true;
if es_t <= .002
    fi_2 = .65;
```

```

elseif es_t < .005
    fi_2 = .65+(es_t-.002)*(250/3);
else
    fi_2 = 0.9;
end
if flag == true
ves=[0 .002 .005 .01];
aa =[0 .002 .005:.005:.02];
    if es_t > ves(end)
        ves=[0 .002 .005 es_t];
        aa =[0 .002 .005:.005:es_t];
    end
vfi=[.65 .65 .9 .9];
plot(ves,vfi,'color',[ 0 0 0],'linewidth',1), grid on, hold on
f1 = fill([0 .002 .002 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1],
f2 = fill([.005 ves(end) ves(end) .005],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 0],'EdgeColor',
ft = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves(end) .6 .95])
plot(es_t,fi_2,'r','marker','o','markersize',8,'MarkerFaceColor','r')
set(gca,'XTick',aa)
ylabel('\phi','fontsize',15)
xlabel('\epsilon_t','fontsize',15,'interpreter','latex')
legend([f1 ft f2],{'Controla compresión','Transición','Controla tracción'],'fontsize',7
end

```



```

sprintf('Valor de \phi es de: %0.5g ',fi_2)

```

```

ans =

```

'Valor de ϕ es de: 0.9 '

3.13.3- Momento nominal máximo requerido ϕM_n

$$\phi M_n = 0.9 * M_n$$

```
fi_Mn = (fi_2)*(Mn_1); % [N-m]
sprintf('ØMn: %0.5g [N-m]',fi_Mn/1000)
```

```
ans =
'ØMn: 283.15 [N-m]'
```

3.14- Relación entre demanda y capacidad

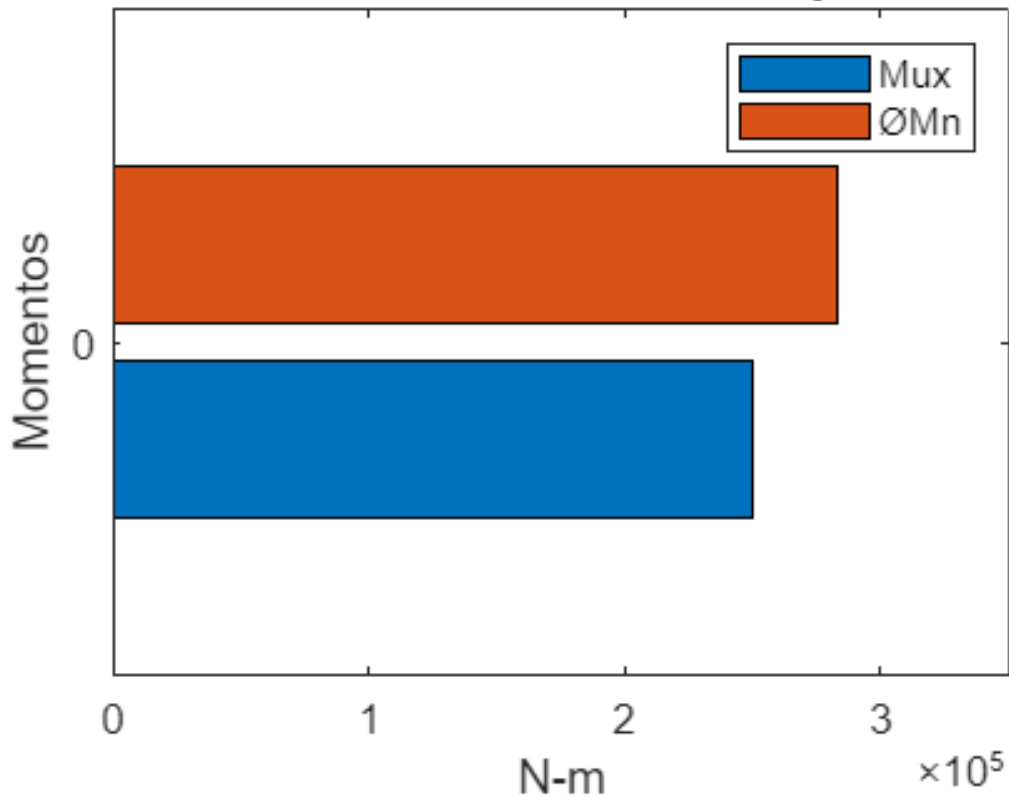
El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 menciona en el capítulo A.10.4.3 que se deben determinar unos índices de sobre esfuerzos y de flexibilidad para que permitan definir la capacidad de la estructura existente de soportar y responder adecuadamente ante las sollicitaciones equivalentes.

Teniendo en cuenta según el reglamento el índice de sobre esfuerzo se expresa como el cociente entre las sollicitaciones equivalentes, calculadas y la resistencia efectiva.

$$ISE = \frac{M_u}{\phi M_n}$$

```
close all
x = [0];
y = [Mux fi_Mn
     ];
barh(x,y)
legend('Mux', 'ØMn')
title('Relación entre momento nominal y de diseño')
xlim([0 350000])
ylim([-0.486 0.486])
xlabel('N-m')
ylabel('Momentos')
```

Relación entre momento nominal y de diseño



```
ISE = (Mux/fi_Mn);  
sprintf('ISE: %0.5g [Porciento] ',ISE*100)
```

```
ans =  
'ISE: 88.293 [Porciento] '
```

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Ejemplo No.3: Análisis de vigas T

1- Introducción

Esta guía presenta cada uno de los parámetros de una manera detallada y practica de como analizar una viga T en voladizo expuesta a la intemperie. La cual cuenta con barras de acero en la zona a tracción y a compresión. El elemento soporta un momento actuante de gran magnitud. Donde para el desarrollo se acata los requisitos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de contenido

Ejemplo No.3: Análisis de vigas T.....	1
1- Introducción.....	1
2- Enunciado.....	1
3- Desarrollo.....	2
3.1- Datos de entrada.....	2
3.2- Propiedades de los materiales.....	2
3.3- Carga axial y momentos mayorados.....	3
3.4- Cálculo de	3
3.5- Barras de acero longitudinal.....	4
3.7- Recubrimiento.....	5
3.8- Chequear la sección T a momento positivo.....	5
3.9- Distancia efectiva.....	6
3.10- Comportamiento del elemento.....	6
3.11- Cálculo de fuerzas.....	8
3.12- Cálculo de la capacidad nominal.....	9
3.13- Relación entre demanda y capacidad.....	11
4- Bibliografía.....	12

2- Enunciado

Determine la resistencia máxima de momento de la viga T en voladizo mostrada en la figura No.1 que cuenta con un $M_{ux} = 320 \text{ kN} - m$, $f'_c = 25 \text{ MPa}$ y $f_y = 420 \text{ Mpa}$ $E = 200 \text{ GPa}$. La viga tiene una altura de 0.5 m, con un espesor $t_f = 0.15 \text{ m}$ y un ancho efectivo de $b_t = 0.70 \text{ m}$. Tener en cuenta que el elemento está expuesto a la intemperie.

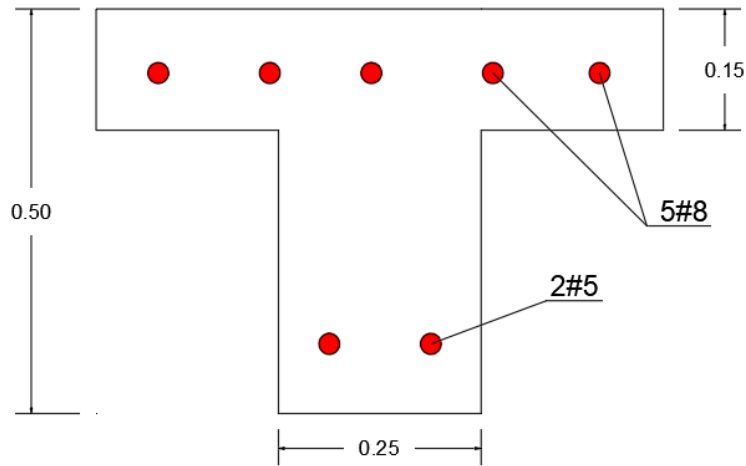


Figura No.1: Detalle sección transversal viga T (m).

3- Desarrollo

3.1- Datos de entrada

Ingresar la respectiva dimensiones del elemento.

Altura total

`h = 0.5; % Altura total [m]`

Ancho del alma

`bw = 0.25; % Ancho del alma [m]`

Ancho efectivo

`bf = 0.70; % Ancho del ala [m]`

Espesor del ala

`tf = 0.15; % Espesor del ala [m]`

3.2- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada una de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

- Resistencia específica a la compresión.

`fc = 25e6; % [Pa]`

- Deformación máxima de concreto a compresión.

`ecu = 0.003;`

- Resistencia específica a la fluencia.

```
fy = 420e6; % [Pa]
```

- Módulo de elasticidad del acero.

```
Es = 200e9; % [Pa]
```

- Deformación del acero.

```
ey= 0.00206;
```

3.3- Carga axial y momentos mayorados

Ingrese la carga axial y el momento mayorado según el cálculo de cargas que tenga la estructura.

```
Pu = 0; % [N]
Mux = 320000; % [N-m]
Muy = 0; % [N-m]
```

3.4- Cálculo de β_1

Para el cálculo de β_1 se determina de acuerdo a f'_c al cual hace referencia a la resistencia del concreto a compresión. El capítulo C.10.2.7.3 del reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 que para f'_c entre 17 y 28 MPa, en factor β_1 se debe tomar como 0,85. Para f'_c superior a 28 MPa, β_1 se debe disminuir en forma lineal a razón de 0.05 por cada 7 MPa de aumento sobre 28 MPa, sin embargo, β_1 no debe ser menor de 0,65.

- Cuando $f'_c < 28$ MPa entonces $\beta_1 = 0.85$
- Cuando $28 \text{ MPa} < f'_c < 56 \text{ MPa}$ entonces $\beta_1 = 0.85 - 0.05 * \frac{(f'_c - 28)}{7}$
- Cuando $f'_c > 56$ MPa $\beta_1 = 0.65$

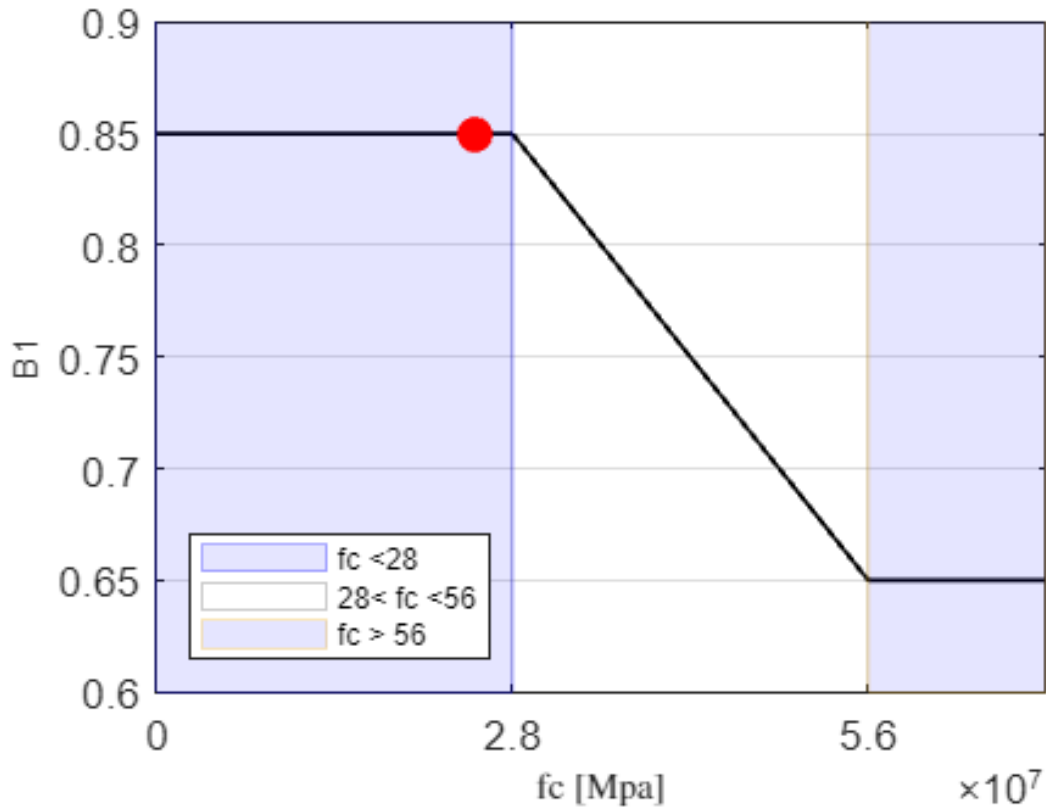
Grafica de β_1

```
flag_2=true;
if fc <= 28e6
    bt1 = .85;
elseif fc < 56e6
    bt1 = .85-.05*(fc/1e6-28)/7;
else
    bt1 = 0.65;
end
if flag_2 == true
ves_2=[0 28e6 56e6 70e6];
aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:70e6];
    if fc > ves_2(end)
        ves_2=[0 28e6 56e6 fc];
        aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:fc];
    end
vfi_2=[.85 .85 .65 .65];
```

```

plot(ves_2,vfi_2,'color',[ 0 0 0],'linewidth',1), grid on, hold on
f1_2 = fill([0 28e6 28e6 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1]);
f2_2 = fill([56e6 ves_2(end) ves_2(end) 56e6],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1]);
ft_2 = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves_2(end) .6 .90])
plot(fc,bt1,'r','marker','o','markersize',8,'MarkerFaceColor','r');
set(gca,'XTick',aa_2)
ylabel('B1','fontsize',8)
xlabel('fc [Mpa]','fontsize',9,'interpreter','latex')
legend([f1_2 ft_2 f2_2],{'fc <28','28< fc <56','fc > 56'},'fontsize',7,'location','southeast')
end

```



```
sprintf('Valor de B1 es de: %0.5g ',bt1)
```

```
ans =
'Valor de B1 es de: 0.85 '
```

3.5- Barras de acero longitudinal

3.5.1- Tracción

Ingresa el número de barra y la cantidad que tiene el elemento en la zona de tracción en cada una de sus filas.

```

N_bar1 = [510/1000000];
bar1    = 5;
D_t1    = [25.4/1000];           % Diámetro del acero [m]
As_t1   = bar1*N_bar1;           % Área del acero [m^2]

```

```
sprintf('Área de acero fila No.1: %0.5g [cm^2]',As_t1*100^2)
```

```
ans =  
'Área de acero fila No.1: 25.5 [cm^2]'
```

3.5.2- Compresión

Ingresa el tipo de barra y el número de barras que tiene el elemento a compresión.

```
N_bar_c = [199/1000000];  
bar_c = 2;  
D_comp_1 = [15.9/1000]; % Diámetro del acero [m]  
As_Comp_1 = bar_c*N_bar_c; % Área del acero [m^2]
```

```
sprintf('- El área del acero es de: %0.5g [m2]',As_Comp_1)
```

```
ans =  
'- El área del acero es de: 0.000398 [m2]'
```

```
sprintf('- El diámetro del acero es de: %0.5g [m]',D_comp_1)
```

```
ans =  
'- El diametro del acero es de: 0.0159 [m]'
```

3.7- Recubrimiento

En este caso se debe verificar en la estructura o en las memorias de cálculo que tipo de recubrimiento es la que tiene el elemento. Seguidamente seleccione que dimensión tiene según el capítulo C.7.7 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

```
re = 50*0.001; % [mm]  
sprintf('El recubrimiento es de: %0.5g [m]',re)
```

```
ans =  
'El recubrimiento es de: 0.05 [m]'
```

3.8- Chequear la sección T a momento positivo

3.8.1- Espesor del ala

$$t_f \geq \frac{b_w}{2}$$

```
chel = bw/2;  
sprintf('Se tiene: %0.5g [cm]',chel*100)
```

```
ans =  
'Se tiene: 12.5 [cm]'
```

```
if tf >= chel  
    disp('Cumple con el espesor requerido')  
else  
    disp('No cumple con el espesor requerido')  
end
```

```
Cumple con el espesor requerido
```

3.8.2- Ancho efectivo

$$bf \leq 4bw$$

```
che2 = 4*bw;  
sprintf('Se tiene: %0.5g [cm]',che2*100)
```

```
ans =  
'Se tiene: 100 [cm]'
```

```
if bf <= che2  
    disp('Cumple con el ancho efectivo requerido')  
else  
    disp('No cumple con el ancho efectivo requerido')  
end
```

Cumple con el ancho efectivo requerido

3.9- Distancia efectiva

Es aquella distancia que va desde el borde inferior (alma) hasta el centroide de la última fila de acero a tracción (patín).

Cálculo de d' .

$$d' = re + \left(\frac{\phi_{\text{barra}}}{2}\right)$$

```
dp = re-(D_t1/2);  
sprintf('dp: %0.5g [m]',dp)
```

```
ans =  
'dp: 0.0373 [m]'
```

$$dt = h - d'$$

```
d = h-dp; % [m] Distancia desde el borde superior  
sprintf('d: %0.5g [m]',d)
```

```
ans =  
'd: 0.4627 [m]'
```

3.10- Comportamiento del elemento

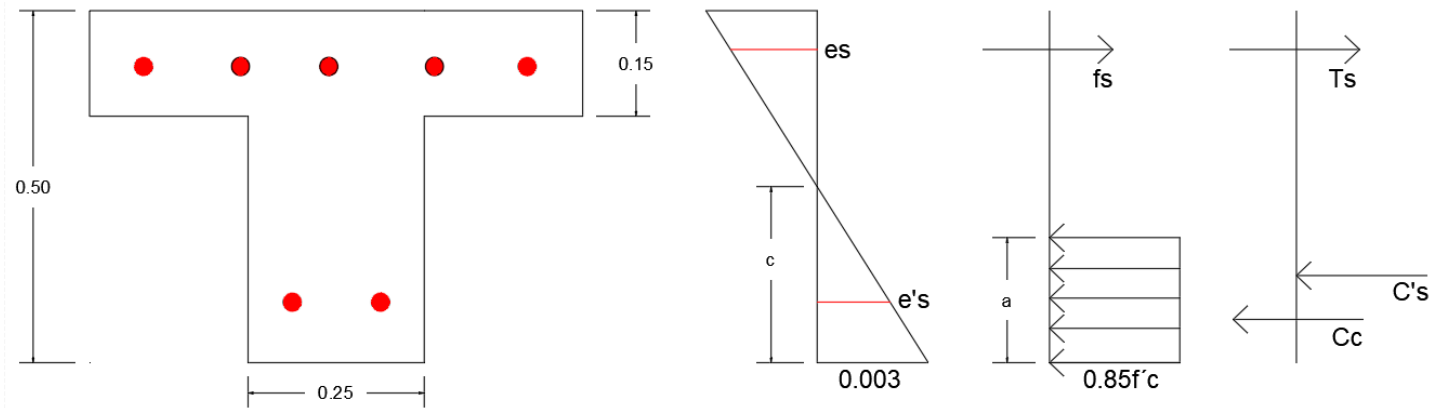


Figura No.2: Detalle esfuerzos y deformaciones, viga T.

Asumir que el acero a tracción está fluyendo $\epsilon_s = 0.00206$, $f_y = 420$ Mpa.

Para obtener la deformación del acero a tracción se tiene : $\frac{0.003}{c} = \frac{\epsilon_s}{dt - c}$ al despejar la variable

$\epsilon'_s = \frac{0.003(dt - c)}{c}$ como se evidencia, no se tiene el valor de c, por lo que se tiene que determinar mediante la sumatoria de fuerzas, de tal manera tenemos se tiene que sacar las resultantes del concreto a compresión y la del acero a tracción.

3.10.1 - Acompresión

$$\epsilon'_s = \frac{(0.003) * (c - d_p)}{c}$$

$$f'_s = E_s * \epsilon'_s$$

$$C'_s = A_{s_{comp}} * f'_s$$

$$C_c = 0.85 * f'_c * (0.85 * c) * bw$$

```

syms c_1,
eps_1 = (0.003*(c_1-dp))/(c_1);           % Deformación del acero a compresión.
fps_1 = Es*eps_1;                         % [Pa] Esfuerzo del acero a compresión.
cps_1 = As_Comp_1*fps_1;                  % [N] Fuerza del acero a compresión.

Cc_1 = 0.85*f_c*(0.85*c_1)*bw;           % [N] Fuerza del bloque a compresión.

```

3.10.2 - Atracción

Se asume que está en fluencia.

$$T_s = A_{s_{trac}} * f_y$$

```

Ts_1 = As_t1*f_y;                         % [N] Fuerza del acero a tracción.

```

3.10.3 Sumatoria de Fuerzas

$$\sum f_x = -C_c - C's + T_s = 0$$

$$\sum f_x = -(0.85 * f'c * (0.85 * c) * bw) - (A_{s_{comp}} * f's) + (A_{s_{trac}} * fy) = 0$$

Despejar el valor de c

```
Ecua_1 = -Cc_1-cps_1+Ts_1; % Ecuación para despejar.
```

```
c_x1 = double(solve(Ecua_1==0));
ind = find(c_x1>0);
c_1 = c_x1(ind);
sprintf('Valor de c es de: %0.5g [m]',c_1)
```

```
ans =
'Valor de c es de: 0.19444 [m]'
```

3.10.4- Verificación de fluencia en el acero

$$\epsilon_s = \frac{0.003(d - c)}{c}$$

```
es = ((ecu)*(d-c_1))/(c_1); % Deformación del acero a tracción.
sprintf('La deformación del acero es de: %0.5g ',es)
```

```
ans =
'La deformación del acero es de: 0.004139 '
```

```
if es > ey
    disp('!!!!!!! Acero a trac. SI está en fluencia !!!!!!!!')
else
    disp('!!!!!!! Acero a trac. NO está en fluencia !!!!!!!!')
end
```

```
!!!!!!! Acero a trac. SI está en fluencia !!!!!!!!
```

3.11- Cálculo de fuerzas

Con lo anterior ya sabemos en que estado se encuentra el elemento, por lo que a continuación se procede a calcular las fuerzas:

3.11.1- Fuerza del acero a tracción

$$T_s = A_{s_{trac}} * fy$$

```
Ts = As_t1*fy; % [N] Se toma que el acero a tracción es
sprintf('Ts: %0.5g [kN]',Ts/1000)
```

```
ans =
'Ts: 1071 [kN]'
```

3.11.2- Fuerzas del bloques de compresión

$$\epsilon's = \frac{(0.003) * (c - d_p)}{c}$$


```
eps = (0.003*(c_1-dp))/(c_1); % Deformación del acero a compresión.
```

$$f's = E_s * \epsilon's$$

```
fps = Es*eps; % [Pa] Esfuerzo del acero a compresión.
```

$$c's = A_{s_{comp}} * f's$$

```
cps = As_Comp_1*fps; % [N] Fuerza del acero a compresión.  
sprintf('Cps: %0.5g [kN]',cps/1000)
```

```
ans =  
'Cps: 192.99 [kN]'
```

$$a = \beta_1 * c$$

```
a = bt1*c_1;
```

$$C_c = 0.85 * f'c * (0.85 * c) * bw$$

```
Cc = 0.85*fc*(0.85*c_1)*bw; % [N] Fuerza del bloque a compresión.  
sprintf('Cc: %0.5g [kN]',Cc/1000)
```

```
ans =  
'Cc: 878.01 [kN]'
```

3.12- Cálculo de la capacidad nominal

3.12.1- Momento nominal

Se efectúa sumatoria de momentos en el punto Ts.

$$\sum M_{Ts} = +C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C'_s (d - d') - M_n = 0$$

```
Mn = (Cc*(d-(a/2)))+(cps*(d-dp)); % [N-m]  
sprintf('Mn: %0.5g [kN-m]',Mn/1000)
```

```
ans =  
'Mn: 415.8 [kN-m]'
```

3.12.2- Cálculo del factor de reducción

La NSR-10 menciona que la resistencia de diseño de un elemento es la resistencia de acuerdo con las condiciones establecidas en el título C, multiplicada por un factor de reducción de resistencia ϕ que siempre es menor que la unidad.

Los propósitos del factor de reducción de resistencia ϕ son:

- Tener en cuenta la probabilidad de existencia de elementos con una resistencia baja debida a variaciones en la resistencia de los materiales y las dimensiones.
- Tener en cuenta inexactitudes en las ecuaciones de diseño.

- Reflejar el grado de ductilidad y la confiabilidad requerida para el elemento bajo efectos de la carga bajo consideraciones.
- Reflejar la importancia del elemento en la estructura.

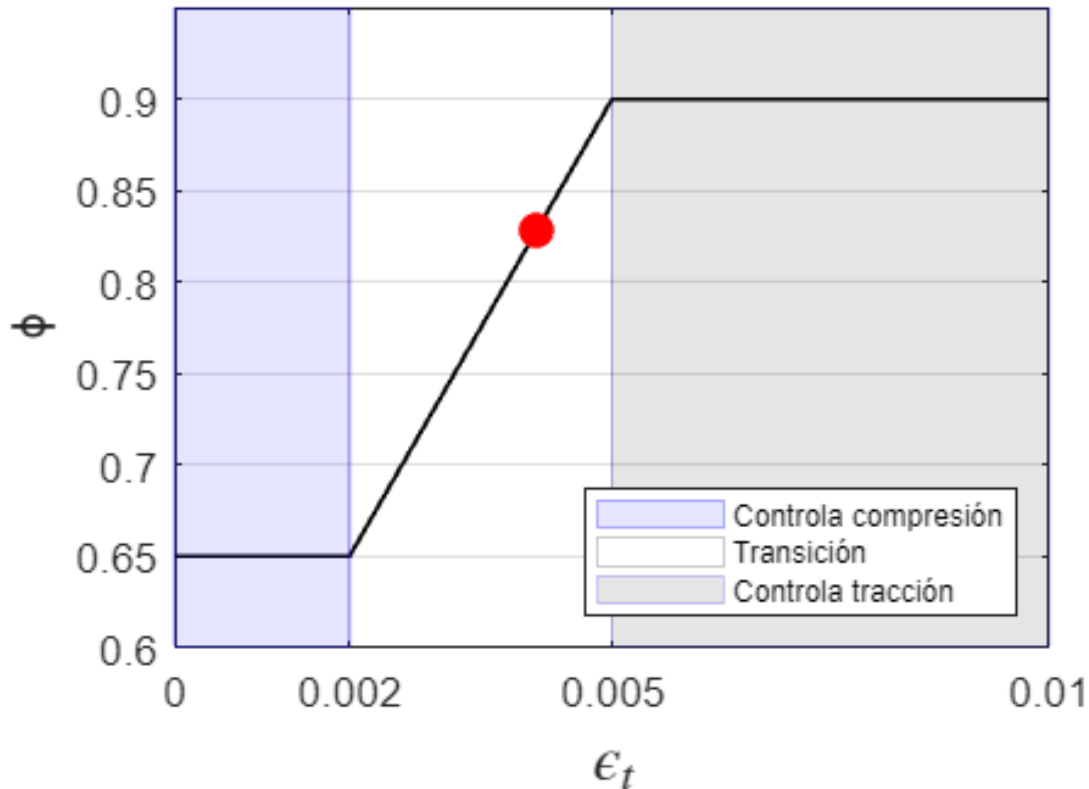
Grafica de ϕ

```

close all

flag=true;
if es <= .002
    fi_2 = .65;
elseif es < .005
    fi_2 = .65+(es-.002)*(250/3);
else
    fi_2 = 0.9;
end
if flag == true
ves=[0 .002 .005 .01];
aa =[0 .002 .005:.005:.02];
    if es >ves(end)
        ves=[0 .002 .005 es];
        aa =[0 .002 .005:.005:es];
    end
vfi=[.65 .65 .9 .9];
plot(ves,vfi,'color',[ 0 0 0],'linewidth',1), grid on, hold on
f1 = fill([0 .002 .002 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1],7)
f2 = fill([.005 ves(end) ves(end) .005],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 0],'EdgeColor',[0 0 0],7)
ft = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves(end) .6 .95])
plot(es,fi_2,'r','marker','o','markersize',8,'MarkerFaceColor','r')
set(gca,'XTick',aa)
ylabel('\phi','fontsize',11)
xlabel('\epsilon_t','fontsize',15,'interpreter','latex')
legend([f1 ft f2],{'Controla compresión','Transición','Controla tracción'},'fontsize',7)
end

```



```
sprintf('Valor de  $\phi$  es de: %0.5g ',fi_2)
```

```
ans =
'Valor de  $\phi$  es de: 0.82825 '
```

3.12.3- Momento nominal máximo requerido ϕM_n

$$\phi M_n = 0.9 * M_n$$

```
fi_Mn = (fi_2)*(Mn); % [N-m]
sprintf('  $\phi M_n$ : %0.5g [N-m]',fi_Mn/1000)
```

```
ans =
'  $\phi M_n$ : 344.39 [N-m]'
```

3.13- Relación entre demanda y capacidad

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 menciona en el capítulo A.10.4.3 que se deben determinar unos índices de sobre esfuerzos y de flexibilidad para que permitan definir la capacidad de la estructura existente de soportar y responder adecuadamente ante las sollicitaciones equivalentes.

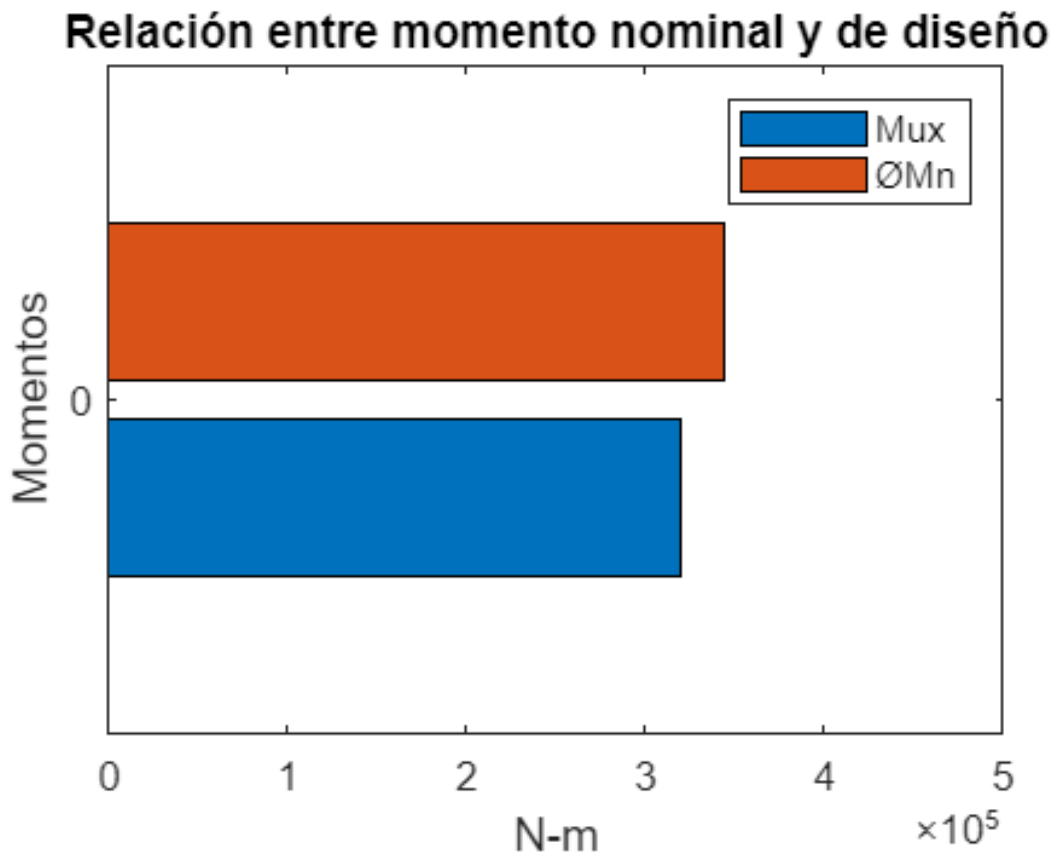
Teniendo en cuenta según el reglamento el índice de sobre esfuerzo se expresa como el cociente entre las sollicitaciones equivalentes, calculadas y la resistencia efectiva.

$$ISE = \frac{M_u}{\phi M_n}$$

```

close all
x = [0];
y = [Mux fi_Mn
     ];
barh(x,y)
legend ( 'Mux', 'ØMn')
title('Relación entre momento nominal y de diseño')
xlim([0 500000])
ylim([-0.486 0.486])
xlabel('N-m')
ylabel('Momentos')

```



```

ISE = (Mux/fi_Mn);
sprintf('ISE: %0.5g [Porcentaje] ',ISE*100)

```

```

ans =
'ISE: 92.919 [Porcentaje] '

```

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Diseño de puente peatonal como viga T

1- Introducción

Esta guía presenta cada uno de los parámetros de una manera detallada y practica de como diseñar un puente peatonal en forma de viga T. Donde para el desarrollo se acata los requisitos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de Contenido

Diseño de puente peatonal como viga T.....	1
1- Introducción.....	1
2- Ejercicio.....	2
3- Desarrollo.....	2
3.1- Datos de entrada.....	2
3.2- Propiedades de los materiales.....	3
3.3- Cálculo de	3
3.4- Recubrimiento.....	5
3.5- Barra para estribos.....	5
3.6- Predimensionamiento.....	5
3.6.1- Altura de viga.....	5
3.6.2- Ancho del alma.....	6
3.6.3- Espesor del ala.....	7
3.7- Evaluo de cargas.....	7
3.8- Cálculo de carga distribuida.....	9
3.9- Análisis estructural.....	9
3.10- Diseño para momento negativo.....	11
3.10.1- Cuantía de diseño.....	12
3.10.2- Área de acero mínimo.....	13
3.10.3- Área de acero a utilizar.....	13
3.10.4- Selección de acero.....	14
3.10.5- Espaciamiento de acero.....	14
3.10.6- Comportamiento del elemento.....	15
3.10.7- Cálculo de fuerzas.....	16
3.10.8- Determinar el momento requerido (Mn).....	17
3.11- Diseño para momento positivo.....	18
3.11.1- Cuantía de diseño.....	19
3.11.2- Área de acero mínimo.....	20
3.11.3- Área de acero a utilizar.....	20
3.11.4- Selección de acero.....	21
3.11.5- Cálculo distancia efectiva.....	22
3.11.6- Chequeo de la base mínima.....	25
3.11.7- Comportamiento del elemento.....	25
3.11.8- Cálculo de fuerzas.....	27
3.11.9- Determinar el momento requerido (Mn).....	27
3.12- Diseño del refuerzo transversal.....	29
3.12.1- Datos generales.....	30
3.12.2- Evaluo de cargas.....	30
3.12.3- Cálculo de carga distribuida.....	31

3.12.4- Análisis estructural.....	32
3.12.5- Acero a utilizar.....	32
3.12.6- Distancia efectiva.....	33
3.12.7- Cuantía de diseño.....	33
3.12.8- Área de acero mínimo.....	33
3.12.9- Área de acero a utilizar.....	34
4- Bibliografía.....	36

2- Ejercicio

Diseñe el puente peatonal en forma de viga T mostrado en la figura No.1 con $f'c = 28 \text{ MPa}$ y $f_y = 420 \text{ MPa}$ $E = 200 \text{ GPa}$.

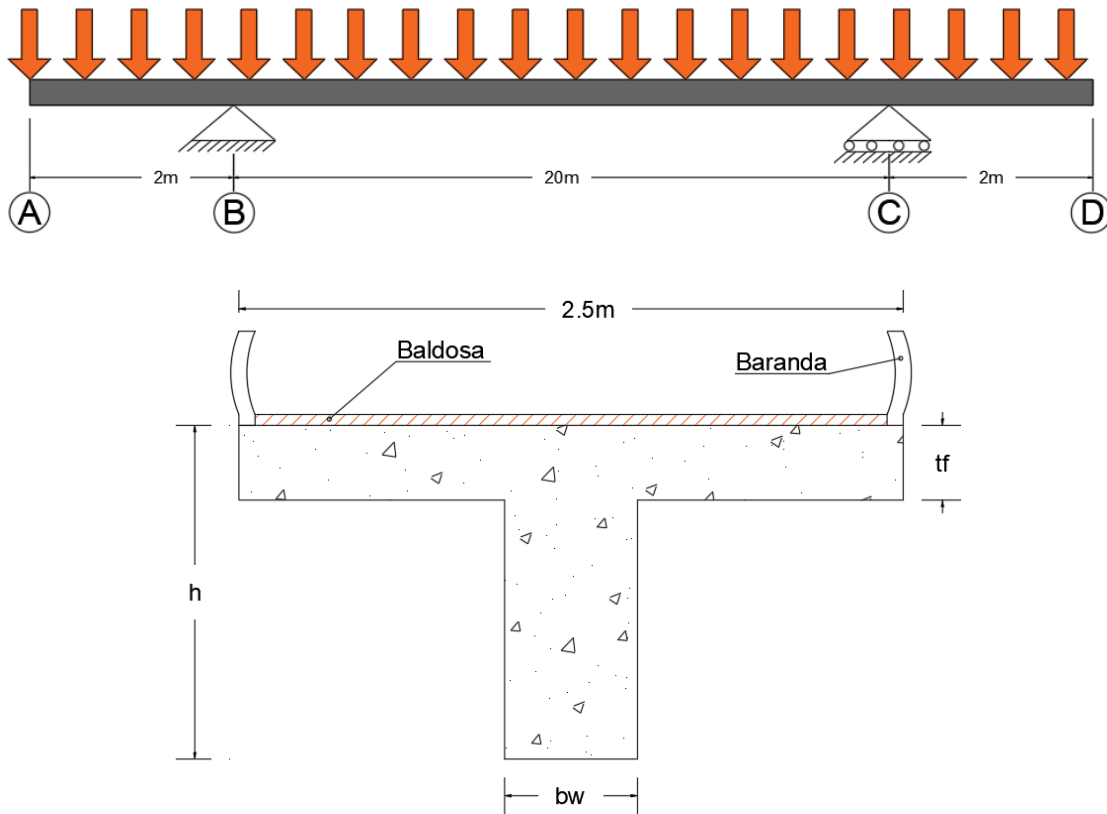


Figura No.1: Puente peatonal- sección longitudinal y transversal.

3- Desarrollo

3.1- Datos de entrada

Ingresar la respectiva dimensiones del elemento.

Longitudes por tramos

Voladizo - A

$L_v = 2;$ % Tramo No.1 Voladizo - A [m]

A - B

L_1 = 20; % Tramo No.2 A - B [m]

Ancho del puente

ancho = 2.5; % Ancho del puente [m]

3.2- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada una de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

- Resistencia especifica a la compresión.

f_c = 28e6; % [Pa]

- Deformación máxima de concreto a compresión.

ecu = 0.003;

- Resistencia especifica a la fluencia.

f_y = 420e6; % [Pa]

- Módulo de elasticidad del acero.

E_s = 200e9; % [Pa]

- Deformación del acero.

ey= 0.00206;

- Peso unitario del concreto.

y_c= 24000; % [N/m³] Peso unitario del concreto.

3.3- Cálculo de β_1

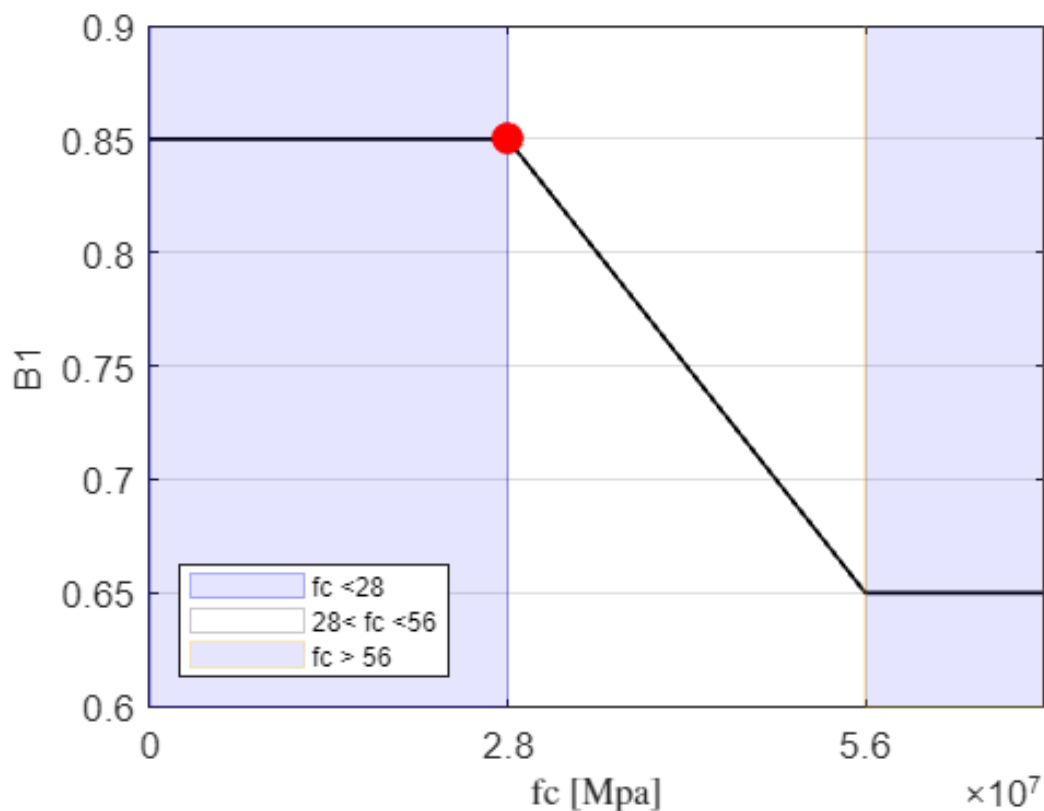
Para el cálculo de β_1 se determinar de acuerdo al f'_c al cual hace referencia a la resistencia del concreto a compresión. El capítulo C.10.2.7.3 del reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 que para f'_c entre 17 y 28 MPa, en factor β_1 se debe tomar como 0,85. Para f'_c superior a 28 MPa, β_1 se debe disminuir en forma lineal a razón de 0.05 por cada 7 MPa de aumento sobre 28 MPa, sin embargo, β_1 no debe ser menor de 0,65.

- Cuando $f'_c < 28$ MPa entonces $\beta_1 = 0.85$
- Cuando $28 \text{ MPa} < f'_c < 56 \text{ MPa}$ entonces $\beta_1 = 0.85 - 0.05 * \frac{(f'_c - 28)}{7}$
- Cuando $f'_c > 56$ MPa $\beta_1 = 0.65$

```

flag_2=true;
if fc <= 28e6
    bt1 = .85;
elseif fc < 56e6
    bt1 = .85-.05*(fc/1e6-28)/7;
else
    bt1 = 0.65;
end
if flag_2 == true
ves_2=[0 28e6 56e6 70e6];
aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:70e6];
    if fc > ves_2(end)
        ves_2=[0 28e6 56e6 fc];
        aa_2 =[0 28e6 56e6:56e6:fc];
    end
vfi_2=[.85 .85 .65 .65];
plot(ves_2,vfi_2,'color',[ 0 0 0],'linewidth',1), grid on, hold on
f1_2 = fill([0 28e6 28e6 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1],
f2_2 = fill([56e6 ves_2(end) ves_2(end) 56e6],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],
ft_2 = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves_2(end) .6 .90])
plot(fc,bt1,'r','marker','o','markersize',8,'MarkerFaceColor','r');
set(gca,'XTick',aa_2)
ylabel('B1','fontsize',10)
xlabel('fc [Mpa]','fontsize',10,'interpreter','latex')
legend([f1_2 ft_2 f2_2],{'fc <28','28< fc <56','fc > 56'},'fontsize',7,'location','sou
end

```




```
sprintf('Valor de B1 es de: %0.5g ',bt1)
```

```
ans =
'Valor de B1 es de: 0.85 '
```

3.4- Recubrimiento

En este caso se debe verificar en la estructura o en las memorias de cálculo que tipo de recubrimiento es la que tiene el elemento. Seguidamente seleccione que longitud tiene según el capítulo C.7.7 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

```
re = 50*0.001;           % [mm]
sprintf('El recubrimiento es de: %0.5g [m]',re)
```

```
ans =
'El recubrimiento es de: 0.05 [m]'
```

3.5- Barra para estribos

```
D_est = 9.5*0.001;      % Diametro del acero.
```

3.6- Predimensionamiento

3.6.1- Altura de viga

Nota: Lea y seleccione adecuadamente la tabla según sea la situación en la cual está la estructura, de lo contrario si cuenta ya con unos datos iniciales que son otorgados por un plano arquitectónico debe seleccionar "NO Dat. Arqu."

Tabla C.9.5 (a) Alturas de vigas no prees forzadas donde los elementos NO soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes. (Pag. C-132 NSR-10).

	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que NO soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{l}{20}$	$\frac{l}{24}$	$\frac{l}{28}$	$\frac{l}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{18.5}$	$\frac{l}{21}$	$\frac{l}{8}$

Tabla C.9.5 Altura de vigas (Tomada del capítulo C NSR-10).

Tabla CR.9.5 Altura mínima recomendada para vigas no prees forzadas que soporten particiones frágiles susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes, a menos que se calculen las deflexiones. Elementos donde **SI** soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones (Pag. C-132 NSR-10).

	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{\ell}{14}$	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{19}$	$\frac{\ell}{7}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{\ell}{11}$	$\frac{\ell}{12}$	$\frac{\ell}{14}$	$\frac{\ell}{5}$

Tabla CR.9.5 Altura de vigas (Tomada del capítulo C NSR-10).

Selección de tabla

```

Tab = 1;

if Tab <= 0
    disp('===== Contiene datos arquitectónicos ===== ')

elseif (Tab > 0) && (Tab < 2)
    h1 = L_v/8;
    h2 = L_1/21;
    hmax = max(h1,h2);
    sprintf('Según la Tabla C.9.5 (a) tiene una altura de: %0.5g [m]',hmax)
else
    h1 = L_v/5;
    h2 = L_1/14;
    hmax = max(h1,h2);
    sprintf('Según la Tabla CR.9.5 tiene una altura de: %0.5g [m]',hmax)
end

ans =
'Según la Tabla C.9.5 (a) tiene una altura de: 0.95238 [m]'

```

Sección definitiva según la NSR-10 o la altura dada en el plano arquitectónico

Nota: Se recomienda aproximar la dimensión antes calculada o la otorgada, de manera que sean cerradas.

```
h = 1; % Altura total [m]
```

3.6.2- Ancho del alma

Asumir la dimensión de forma coherente.

```
bw = 0.35; % Ancho del alma [m]
```

Ancho efectivo

$bf \geq 4 * bw$

```
bf = 4*bw;
sprintf('Se tiene un ancho efectivo de: %0.5g [m]',bf)
```

```
ans =  
'Se tiene un ancho efectivo de: 1.4 [m]'
```

3.6.3- Espesor del ala

$$t_f \geq \frac{b_w}{2}$$

```
t_f_a = b_w/2;  
sprintf('Se tiene un espesor del ala de: %0.5g [m]',t_f_a)
```

```
ans =  
'Se tiene un espesor del ala de: 0.175 [m]'
```

Nota: Se recomienda aproximar la dimensión antes calculada, de manera que sea cerrada.

```
t_f = 0.20; % Espesor del ala [m]
```

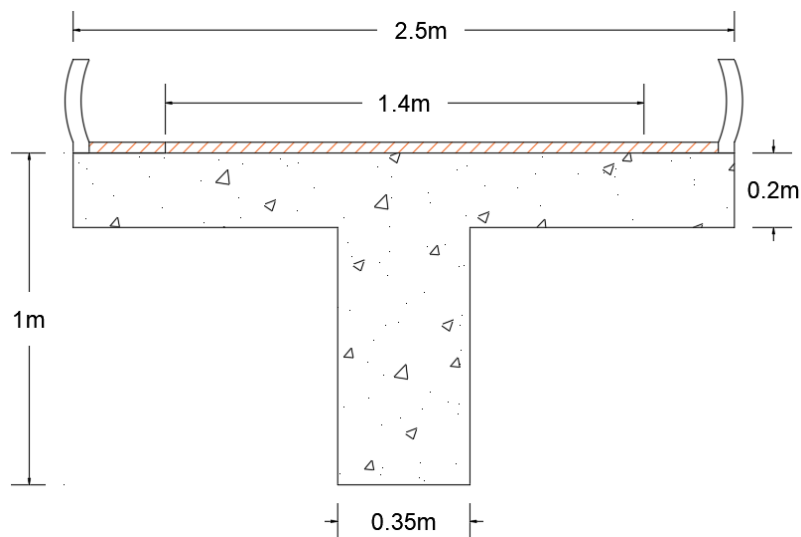


Figura No.2: Dimensiones sección transversal puente tipo viga T.

3.7- Evaluación de cargas

Carga muerta

Área bruta

$$A_g = t_f * b_f + b_w * (h - t_f)$$

```
A_g = (t_f*ancho)+(b_w*(h-t_f));  
sprintf('Área bruta: %0.5g [m^2]',A_g)
```

```
ans =  
'Área bruta: 0.78 [m^2]'
```

Peso propio

$$24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * A_g$$

```
pp = y_c*Ag;
sprintf('Peso propio del elemento: %0.5g [kN/m]',pp/1000)
```

```
ans =
'Peso propio del elemento: 18.72 [kN/m]'
```

Baldosa

$$\text{Baldosa} = 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * \text{bf}$$

```
baldosa = 1000*2.5;
sprintf('Carga losa: %0.5g [kN/m]',baldosa/1000)
```

```
ans =
'Carga losa: 2.5 [kN/m]'
```

Baranda

$$\text{Baranda} = 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * \#\text{barandas}$$

```
baranda = 0.5*1000*2;
sprintf('Carga baranda: %0.5g [kN/m]',baranda/1000)
```

```
ans =
'Carga baranda: 1 [kN/m]'
```

Carga viva

Tener en cuenta que, para determinar la carga viva de un puente, se debe aplicar el respectivo código de puentes CCP14.

$$\text{LL} = 90 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} * \text{ancho}$$

```
LL = 0.04788*1000*90*ancho;
sprintf('Carga viva de: %0.5g [kN/m]',LL/1000)
```

```
ans =
'Carga viva de: 10.773 [kN/m]'
```

Resumen

```
DL= (baranda+baldosa+pp);

TIPO = {' MUERTA ' ; ' VIVA ' };
CARGA = [DL/1000 ; LL/1000];
UNIDADES = {' kN/m^2 ' ; ' kN/m^2 ' };

T1 = table(TIPO, CARGA, UNIDADES)
```

```
T1 = 2x3 table
```

	TIPO	CARGA	UNIDADES
1	' MUERTA '	22.22	' kN/m^2 '

	TIPO	CARGA	UNIDADES
2	' VIVA '	10.773	' kN/m ² '

3.8- Cálculo de carga distribuida

Para este caso se debe tener en cuenta las combinaciones de carga según el numeral B.2.4.2 de la NSR-10 donde nos hace referencia a que el diseño de estructuras, sus componentes y cimentaciones debe hacerse de tal forma que sus resistencias de diseño iguallen o excedan los efectos producidos por las cargas mayoradas en las combinaciones presentadas.

$$1.4(D)$$

$$1.2(D) + 1.6L$$

$$1.2(D) + 1.0L$$

```

Wu1 = (1.4*(DL)); % [kN/m^2]
Wu2 = (1.2*(DL))+(1.6*LL); % [kN/m^2]
Wu3 = (1.2*(DL))+(1.0*LL); % [kN/m^2]
Wu_max = [Wu1 Wu2 Wu3];
Wu = max(Wu_max);
sprintf('Se tiene una carga distribuida máxima de: %0.5g [kN/m^2]',Wu/1000)

```

```

ans =
'Se tiene una carga distribuida máxima de: 43.901 [kN/m^2]'

```

3.9- Análisis estructural

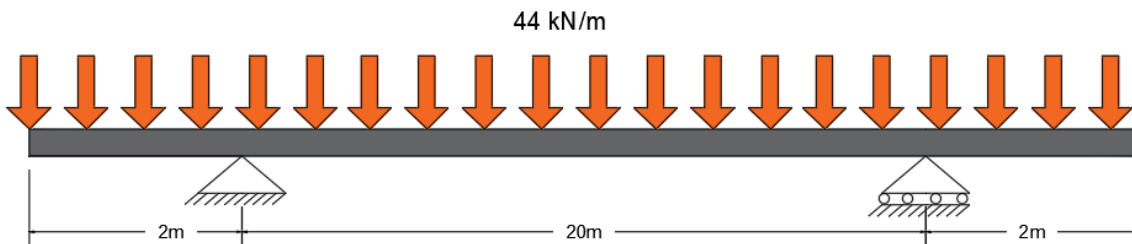


Figura No.3: Sección longitudinal - cargas aplicadas.

Determinar reacciones en los apoyos

```

Pu = Wu*(24);
sprintf('Pu: %0.5g [kN]',Pu/1000)

```

```

ans =
'Pu: 1053.6 [kN]'

```

Sumatoria de fuerzas

$$\sum F_x = R_a + R_b - P_u$$

$$R_b = 1053.6 \text{ kN} - R_a$$

Sumatoria de momentos

$$\sum M_A = -(1053.6 \text{ kN} * (10 \text{ m})) + ((1053 \text{ kN} - R_a) * (20 \text{ m})) = 0$$

```
syms Ra_x
Rb_1 = (Pu)-Ra_x;

Ecua_1 = -(Pu*(L_1/2))+((Rb_1)*(L_1));
Ra_1 = double(solve(Ecua_1==0));
ind = find(Ra_1>0);
Ra = Ra_1(ind);
sprintf('Valor de Ra: %0.5g [kN]',Ra/1000)
```

```
ans =
'Valor de Ra: 526.81 [kN]'
```

$$R_b = 1053.6 \text{ kN} - R_a$$

```
Rb = (Pu)-Ra;
sprintf('Valor de Rb: %0.5g [kN]',Rb/1000)
```

```
ans =
'Valor de Rb: 526.81 [kN]'
```

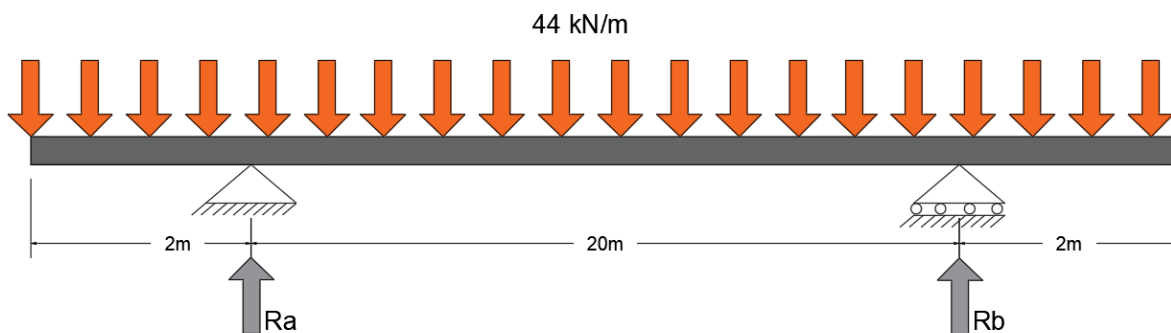


Figura No.4: Sección longitudinal - reacciones.

Determinar cortantes y momentos por el método de las áreas

Cortante

$$V_{V1-A} = 43.901 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 2\text{m}$$

```
v1_A = Wu*L_v;
sprintf('Cortante: %0.5g [kN]',v1_A/1000)
```

```
ans =
'Cortante: 87.802 [kN]'
```

$$V_A = 526.81 \text{ kN} - 87.802 \text{ kN}$$

```
vA = Ra-v1_A;
sprintf('Cortante: %0.5g [kN]',vA/1000)
```

```
ans =
'Cortante: 439.01 [kN]'
```

Momento

$$M_{V1-A} = L_{v1-A} * \frac{V_{V1-A}}{2}$$

```
Mu_1 = L_v*(v1_A/2);  
sprintf('Momento V-A: %0.5g [kN-m]',Mu_1/1000)
```

```
ans =  
'Momento V-A: 87.802 [kN-m]'
```

$$M_{A-B} = \left(\frac{L_{V1-A}}{2} * \frac{V_A}{2} \right)$$

```
Mu_2 = (L_1/2*(vA/2));  
sprintf('Momento máximo: %0.5g [kN-m]',Mu_2/1000)
```

```
ans =  
'Momento máximo: 2195 [kN-m]'
```

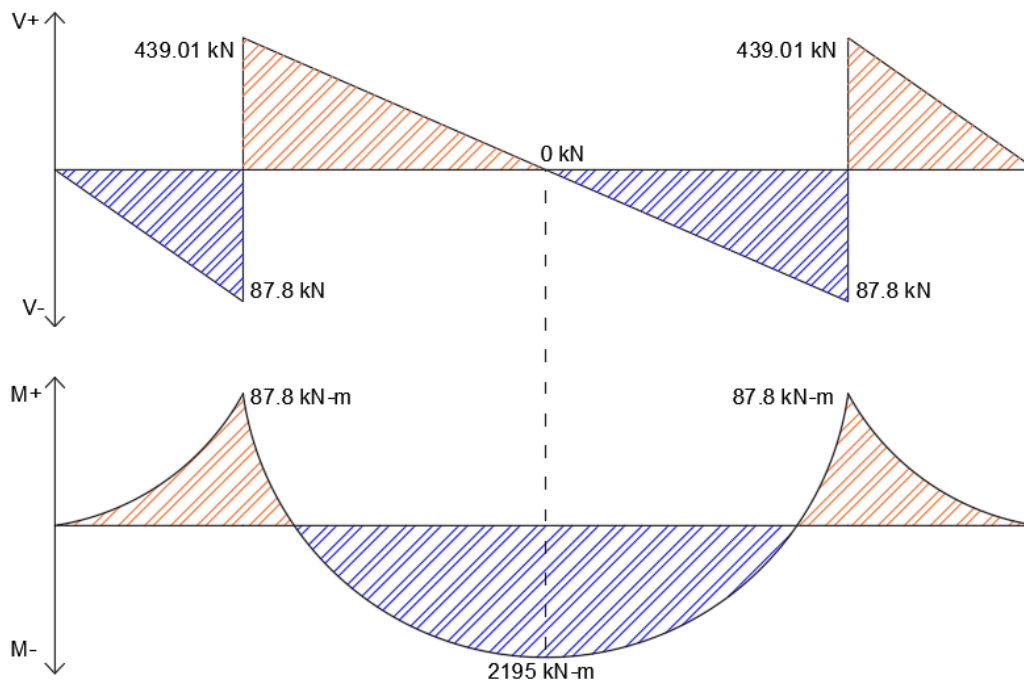


Figura No.5: Diagrama de momentos y cortantes – Sección longitudinal.

3.10- Diseño para momento negativo

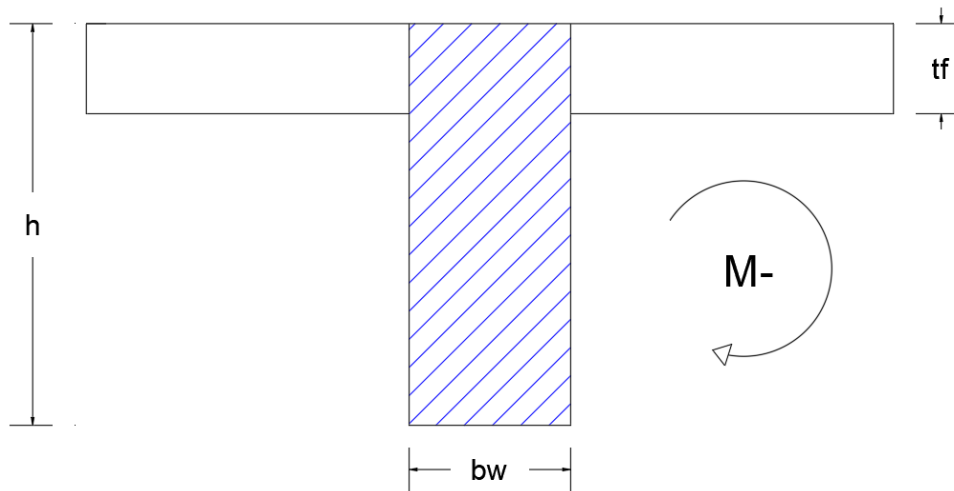


Figura No.6: Zona a compresión momento negativo.

3.10.1- Cuantía de diseño

Asumir que: $d = 0.90 * h$

```
dt_1 = 0.9*h;
sprintf('d: %0.5g [m]',dt_1)
```

```
ans =
'd: 0.9 [m]'
```

Determinar el valor de $K = \frac{Mu}{bw * d^2}$

```
k_1 = (Mu_1)/(bw*(dt_1^2));
sprintf('K: %0.5g [kN/m^2]',k_1/1000)
```

```
ans =
'K: 309.71 [kN/m^2]'
```

Asumir fluencia, una falla dúctil $\phi = 0.90$

```
fi_1 = 0.9;
```

Cálculo de la cuantía requerida.

$$\rho_{req} = \frac{0.85 * f'c}{fy} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * K}{0.85 * f'c * \phi}} \right)$$

```
ro_req = ((0.85*fc)/(fy))*(1-(1-((2*k_1)/(0.85*fc*fi_1)))^0.5);
sprintf('Cuantía es de: %0.5g ',ro_req)
```

```
ans =
'Cuantía es de: 0.00082534 '
```

Cálculo del área de acero requerido inicial

$$A_{S_{req}} = \rho_{req} * b * d$$


```
As_req = ro_req*bw*dt_1; % [cm^2] Área de acero requerido.
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req*100^2)
```

```
ans =
'Área requerida es de: 2.5998 [cm^2]'
```

3.10.2- Área de acero mínimo

Para determinar el refuerzo mínimo para elementos sometidos a flexión se debe considerar el numeral C.10.5 de la NSR-10 haciendo énfasis en el numeral C.10.5.2 donde nos indica que para elementos estáticamente determinados con el ala a tracción, el área de acero mínimo no debe ser menor que el valor dado por la ecuación (C.10-3 NSR-10) reemplazando bw por 2bw o el ancho del ala, el que sea mejor.

$$A_{S_{min}} = \frac{0.25 \sqrt{f'c}}{f_y} * 2bw * d$$

```
As_min1_1 = (0.25*((fc/1000000)^0.5))/(fy/1000000)*2*bw*dt_1;
sprintf('As mínimo: %0.5g [cm^2]',As_min1_1*100^2)
```

```
ans =
'As mínimo: 19.843 [cm^2]'
```

$$A_{S_{min}} = 1.4 * 2 * \frac{bw * d}{f_y}$$

```
As_min2_1 = (1.4*2*bw*dt_1/(fy/1000000));
sprintf('As mínimo: %0.5g [cm^2]',As_min2_1*100^2)
```

```
ans =
'As mínimo: 21 [cm^2]'
```

Área de acero a temperatura y retracción

Se recomienda determinar el área de acero para temperatura y retracción según el numeral C.7.12.2.1.

$$A_{S_{temp}} = 0.0018 * bw * h$$

```
As_temp = 0.0018*bw*h;
sprintf('As temperatura: %0.5g [cm^2]',As_temp*100^2)
```

```
ans =
'As temperatura: 6.3 [cm^2]'
```

3.10.3- Área de acero a utilizar

Se toma el área mayor entre las calculadas anteriormente.

```
TIPO = {' As req ' ; ' As min 1 ' ; ' As min 2 ' ; ' As temp ' };
AREA = [As_req*100^2 ; As_min1_1*100^2 ; As_min2_1*100^2 ; As_temp*100^2 ];
UNIDADES = {' cm^2 ' ; ' cm^2 ' ; ' cm^2 ' ; ' cm^2 ' };
```

```
T2 = table(TIPO, AREA , UNIDADES)
```

```
T2 = 4x3 table
```

	TIPO	AREA	UNIDADES
1	' As req '	2.5998	' cm^2 '
2	' As min 1 '	19.843	' cm^2 '
3	' As min 2 '	21	' cm^2 '
4	' As temp '	6.3	' cm^2 '

Por lo tanto se tiene que:

```
As_a1 = [As_req As_min1_1 As_min2_1 As_temp];
As_1 = max(As_a1);
```

```
sprintf('Área de acero a utilizar es de: %0.5g [cm^2]',As_1*100^2)
```

```
ans =
'Área de acero a utilizar es de: 21 [cm^2]'
```

Nota: Como se observa, el área de acero requerido calculado inicialmente da muy pequeño, esto es porque el momento actuante es bajo.

3.10.4- Selección de acero

```
bar      =[199/1000000];           % Número de barra a utilizar.
N_bar    =11;                     % Cantidad de barras a utilizar.
D_bar    =15.9*0.001;             % Diámetro del acero asumido.
As = bar*N_bar;                   % [cm^2] Área de acero asumida.
```

```
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_1*100^2 )
```

```
ans =
'Área requerida es de: 21 [cm^2]'
```

```
sprintf('Se tiene un As: %0.5g [cm^2]',As*100^2 )
```

```
ans =
'Se tiene un As: 21.89 [cm^2]'
```

```
if As_1 <= As
    disp('iiiiiii Si Cumple con el área requerida !!!!!!!')
else
    disp('iiiiiii No Cumple con el área requerida !!!!!!!')
end
```

```
iiiiiii Si Cumple con el área requerida !!!!!!!
```

3.10.5- Espaciamento de acero

Requerido

$$S = \frac{bf}{\#espacios}$$

```
S_req1 = bf/(N_bar-1);
sprintf('Para la sección se tiene un espaciamento de: %0.5g [cm]',S_req1*100)
```

```
ans =
'Para la sección se tiene un espaciamiento de: 14 [cm]'
```

Distancia mínima entre barras paralelas

Según el numeral C.7.6.1 de la NSR-10 nos dice que la distancia libre mínima entre barras paralelas de una capa debe ser d_b , pero no debe ser menos de 25 mm.

```
if D_bar >= 0.0250
    Sb1 = D_bar;
    sprintf('Distancia mínima entre barras paralelas: %0.5g [cm]',Sb1*100)
else
    Sb1 = 2.5*0.01;
    sprintf('Distancia mínima entre barras paralelas: %0.5g [cm]',Sb1*100)
end
```

```
ans =
'Distancia mínima entre barras paralelas: 2.5 [cm]'
```

Espaciamiento a utilizar

```
S_a1 = [S_req1 Sb1];
S_1 = max(S_a1);
sprintf('Espaciamiento a utilizar: %0.5g [cm]',S_1*100)
```

```
ans =
'Espaciamiento a utilizar: 14 [cm]'
```

3.10.6- Comportamiento del elemento

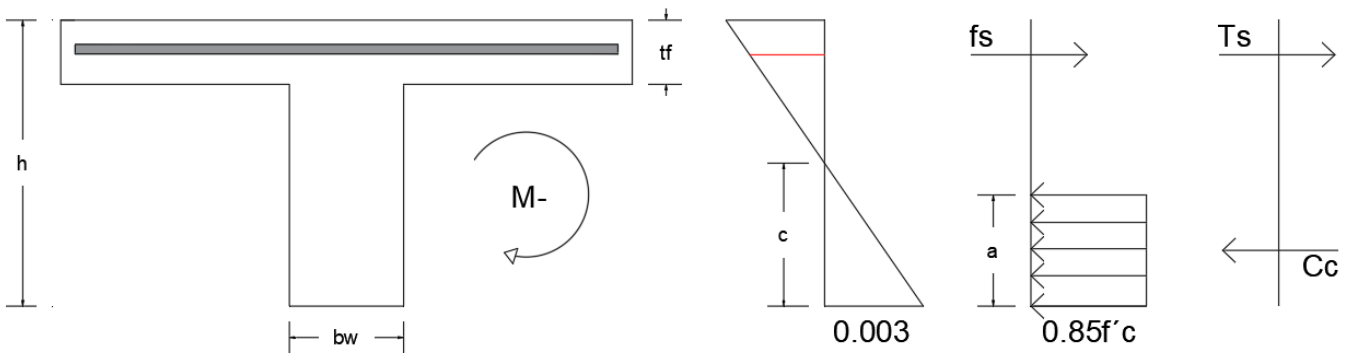


Figura No.7: Diagra de deformación, esfuerzo y fuerzas.

Recalculo de valor de d exacto

Con los valores de recubrimiento, numero de barras y espaciamientos, ya se puede determinar la distancia d definitiva.

$$dt = h - \left(re + \left(\frac{\phi_{barra}}{2} \right) \right)$$

```
clear dt_1
```

```
dt_1 = h-(re+(D_bar/2)); % [m] Distancia desde el borde superior al cent.
sprintf('Se tiene una distancia d: %0.5g [m]',dt_1)
```

```
ans =
'Se tiene una distancia d: 0.94205 [m]'
```

Deformación del acero

Determinar deformación del acero a tracción. Tener en cuenta que para poder desarrollar este proceso debe implementar relación de triángulos.

Determinar valor c

Por lo tanto se tiene : $\frac{0.003}{c} = \frac{\epsilon_s}{d-c}$ al despejar la variable $\epsilon_s = \frac{0.003(d-c)}{c}$ como se evidencia, no se tiene el valor de c , por lo que se tiene que determinar. De manera que para esta situación se toma de forma equilibrada $C_c = T_s$.

$$C_c = 0.85 * f'_c * \beta_1 * c * bw$$

$$T_s = A_{s_{tol}} * f_y$$

$$A_{s_{tol}} * f_y = 0.85 * f'_c * \beta_1 * c * bw$$

Despejamos c

$$c = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f'_c * \beta_1 * bw}$$

```
c1 = ((As)*fy)/(0.85*fc*bt1*bw); % [m]
sprintf('c: %0.5g [cm]',c1*100)
```

```
ans =
'c: 12.985 [cm]'
```

Deformación del acero ϵ_s

$$\epsilon_s = \frac{0.003(d-c)}{c}$$

```
es1 = ecu*((dt_1-c1)/c1);
sprintf('Deformación del acero es de: %0.5g ',es1)
```

```
ans =
'Deformación del acero es de: 0.018765 '
```

```
if es1 > ey
    disp('; Ácero está en fluencia !')
else
    disp('; Ácero NO está en fluencia !')
end
```

```
; Ácero está en fluencia !
```

3.10.7- Cálculo de fuerzas

Acero a tracción

$$T_s = A_{s_{tol}} * f_y$$

```
Ts1 = As*fy; % [N] Fuerza del acero.
sprintf('Ts: %0.5g [kN]',Ts1/1000)
```

```
ans =
'Ts: 919.38 [kN]'
```

Concreto a compresión

Valor de a

$$a = \beta_1 * c$$

```
a1 = bt1*c1; % [m]
sprintf('a: %0.5g [m]',a1)
```

```
ans =
'a: 0.11037 [m]'
```

$$C_c = 0.85 * f'_c * \beta_1 * c * b_w$$

```
Cc1 = 0.85*fc*bt1*c1*bw;
sprintf('Cc: %0.5g [kN]',Cc1/1000)
```

```
ans =
'Cc: 919.38 [kN]'
```

3.10.8- Determinar el momento requerido (Mn)

$$\sum M_{Cc} = +T_s * \left(dt - \left(\frac{a}{2} \right) \right) - M_n$$

```
Mn1 = Ts1*(dt_1-(a1/2)); % [N-m]
sprintf('Mn: %0.5g [kN-m]',Mn1/1000)
```

```
ans =
'Mn: 815.37 [kN-m]'
```

Cálculo del factor de reducción de resistencia ϕ

```
if es1 <= .002
    fil = .65;
elseif es1 <= .005
    fil = .65+(es1-.002)*(250/3);
else
    fil = 0.9;
end
sprintf('Ø: %0.5g',fil)
```

```
ans =
'Ø: 0.9'
```

Momento nominal máximo requerido (ϕM_n)

$$\phi M_n = f_i * M_n$$

```
fi_Mn1 = fi1*Mn1; % [N-m]
sprintf('ØMn: %0.5g [kN-m]',fi_Mn1/1000)
```

```
ans =
'ØMn: 733.83 [kN-m]'
```

Chequeo Resistencia

```
if fi_Mn1 >= Mu_1
    disp('!!!!!! La estructura SI resiste !!!!!!!')
    ISE = Mu_1/fi_Mn1;
    sprintf('ISE: %0.5g [Porciento]',ISE*100)
else
    disp('!!!!!! La estructura NO resiste !!!!!!!')
    ISE = Mu_1/fi_Mn1;
    sprintf('ISE: %0.5g [Porciento]',ISE*100)
end
```

```
!!!!!! La estructura SI resiste !!!!!!!
ans =
'ISE: 11.965 [Porciento]'
```

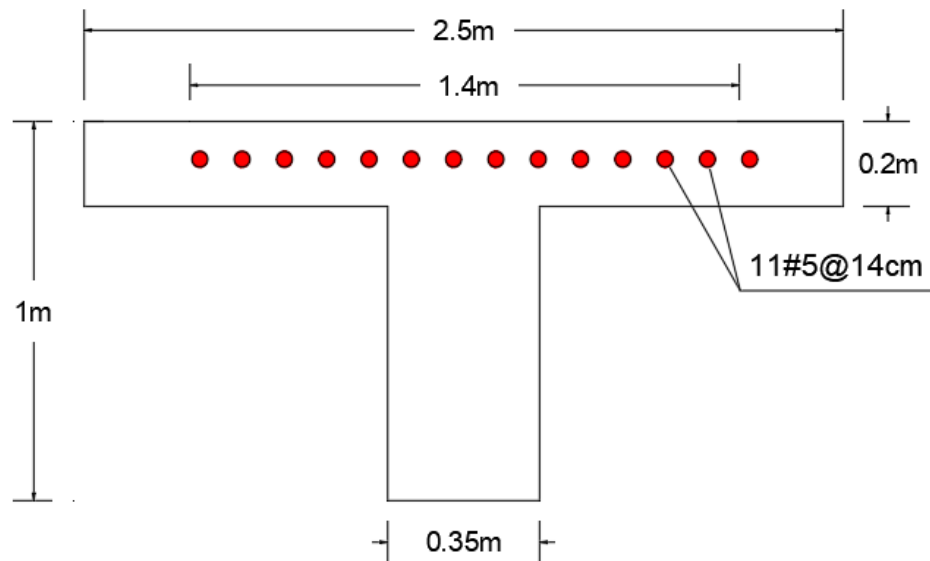


Figura No.8: Acero a tracción para momento negativo – zona del patín.

3.11- Diseño para momento positivo

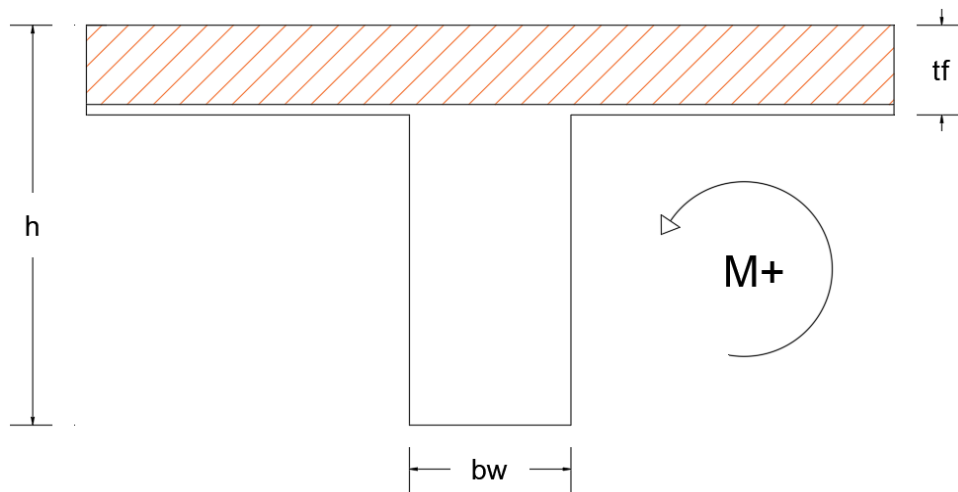


Figura No.9: Zona a compresión momento positivo.

Como se puede evidenciar, para este caso donde se da un momento positivo en el vano central, se tiene que para la sección en forma viga T, en la zona superior (patín) está a compresión, por lo que se debe determinar cuál sea el caso para su respectivo análisis, de tal manera:

Suponer que $a \leq hf$

Suponer fluencia $T_s = A_{st} * f_y$

3.11.1- Cuantía de diseño

Asumir que: $d = 0.90 * h$

```
dt_2 = 0.9*h;
sprintf('d: %0.5g [m]',dt_2)
```

```
ans =
'd: 0.9 [m]'
```

Determinar el valor de $K = \frac{M_u}{b_f * d^2}$

```
k_2 = (Mu_2)/(bf*(dt_2^2));
sprintf('K: %0.5g [kN/m2]',k_2/1000)
```

```
ans =
'K: 1935.7 [kN/m2]'
```

Asumir fluencia, una falla dúctil $\phi = 0.90$

```
fi_2 = 0.9;
```

Cálculo de la cuantía requerida

$$\rho_{req} = \frac{0.85 * f'c}{f_y} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * K}{0.85 * f'c * \phi}} \right)$$

```
ro_req2 = ((0.85*fc)/(fy))*(1-(1-((2*k_2)/(0.85*fc*fi_2)))^0.5);
```

```
sprintf('Cuantía es de: %0.5g ',ro_req2)
```

```
ans =  
'Cuantía es de: 0.0053758 '
```

Cálculo del área de acero requerido inicial

$$A_{S_{req}} = \rho_{req} * b * d$$

```
As_req2 = ro_req2*bf*dt_2; % [cm^2] Área de acero requerido.  
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req2*100^2)
```

```
ans =  
'Área requerida es de: 67.735 [cm^2]'
```

3.11.2- Área de acero mínimo

Según lo establecido en el numeral C.10.5 de la NSR-10 en toda sección de un elemento sometido a flexión cuando por análisis se requiera refuerzo de tracción el área no debe ser menor que el menor obtenido por medio de:

$$A_{S_{min}} = \frac{0.25 \sqrt{f'c}}{f_y} * b_w * d$$

```
As_min1_2 = (0.25*((fc/1000000)^0.5))/(fy/1000000)*bf*dt_2;  
sprintf('As mínimo: %0.5g [cm^2]',As_min1_2*100^2)
```

```
ans =  
'As mínimo: 39.686 [cm^2]'
```

$$A_{S_{min}} = 1.4 * \frac{b_w * d}{f_y}$$

```
As_min2_2 = (1.4*bf*dt_2/(fy/1000000));  
sprintf('As mínimo: %0.5g [cm^2]',As_min2_2*100^2)
```

```
ans =  
'As mínimo: 42 [cm^2]'
```

3.11.3- Área de acero a utilizar

Se toma el área mayor entre las calculadas anteriormente.

```
TIPO = {' As req ' ; ' As min 1 ' ; ' As min 2 ' };  
AREA = [As_req2*100^2 ; As_min1_2*100^2 ; As_min2_2*100^2];  
UNIDADES = {' cm^2 ' ; ' cm^2 ' ; ' cm^2 ' };
```

```
T2 = table(TIPO, AREA , UNIDADES)
```

```
T2 = 3x3 table
```

	TIPO	AREA	UNIDADES
1	' As req '	67.735	' cm^2 '
2	' As min 1 '	39.686	' cm^2 '
3	' As min 2 '	42	' cm^2 '

Por lo tanto se tiene que:

```
As_a2 = [As_req2 As_min1_2 As_min2_2];  
As_2 = max(As_a2);  
  
sprintf('Área de acero a utilizar es de: %0.5g [cm^2]',As_2*100^2)
```

```
ans =  
'Área de acero a utilizar es de: 67.735 [cm^2]'
```

3.11.4- Selección de acero

Primera fila :

Ingresa el tipo de barra y el número de barras que tiene el elemento en la zona de tracción.

```
bar1      = [510/1000000];           % Número de barra a utilizar.  
N_bar1    = 5;                       % Cantidad de barras a utilizar.  
D_t1      = [25.4/1000];           % Diámetro del acero [m]  
As_t1     = bar1*N_bar1;           % Área del acero [m^2]
```

Segunda fila :

Ingresa el tipo de barra y que número de barras tiene el elemento en la zona de tracción.

```
bar2      = [510/1000000];           % Número de barra a utilizar.  
N_bar2    = 5;                       % Cantidad de barras a utilizar.  
D_t2      = [25.4/1000];           % Diámetro del acero [m]  
As_t2     = bar2*N_bar2;           % Área del acero [m^2]
```

Tercera fila

Ingresa el tipo de barra y que número de barras tiene el elemento en la zona de tracción.

```
bar3      = [387/1000000];           % Número de barra a utilizar.  
N_bar3    = 5;                       % Cantidad de barras a utilizar.  
D_t3      = [22.2/1000];           % Diámetro del acero [m]  
As_t3     = bar3*N_bar3;           % Área del acero [m^2]
```

```
disp('Primer Fila')
```

```
Primer Fila
```

```
sprintf('- El área del acero es de: %0.5g [m^2]',As_t1)
```

```
ans =  
'- El área del acero es de: 0.00255 [m2]'
```

```
sprintf('- El diámetro del acero es de: %0.5g [m]',D_t1)
```

```
ans =  
'- El diametro del acero es de: 0.0254 [m]'
```

```
disp('Segunda Fila')
```

Segunda Fila

```
sprintf('- El área del acero es de: %0.5g [m^2]',As_t2)
```

```
ans =  
'- El área del acero es de: 0.00255 [m2]'
```

```
sprintf('- El diámetro del acero es de: %0.5g [m]',D_t2)
```

```
ans =  
'- El diametro del acero es de: 0.0254 [m]'
```

```
disp('Tercera Fila')
```

Tercera Fila

```
sprintf('- El área del acero es de: %0.5g [m^2]',As_t3)
```

```
ans =  
'- El área del acero es de: 0.001935 [m2]'
```

```
sprintf('- El diámetro del acero es de: %0.5g [m]',D_t3)
```

```
ans =  
'- El diametro del acero es de: 0.0222 [m]'
```

```
As2 = As_t1+As_t2+As_t3;
```

Verificación de acero

```
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_2*100^2 )
```

```
ans =  
'Área requerida es de: 67.735 [cm^2]'
```

```
sprintf('Se tiene un As: %0.5g [cm^2]',As2*100^2 )
```

```
ans =  
'Se tiene un As: 70.35 [cm^2]'
```

```
if As_2 <= As2  
    disp('!!!!!!! Si Cumple con el área requerida !!!!!!!')  
else  
    disp('!!!!!!! No Cumple con el área requerida !!!!!!!')  
end
```

```
!!!!!!! Si Cumple con el área requerida !!!!!!!
```

3.11.5- Cálculo distancia efectiva

Con los valores de recubrimiento, número de barras y espaciamientos, ya se puede determinar la distancia d definitiva, o en caso de tener tres filas de acero a tracción, se puede determinar las distancias d_1 , d_2 y d_3 para así finalmente calcular el valor de d .

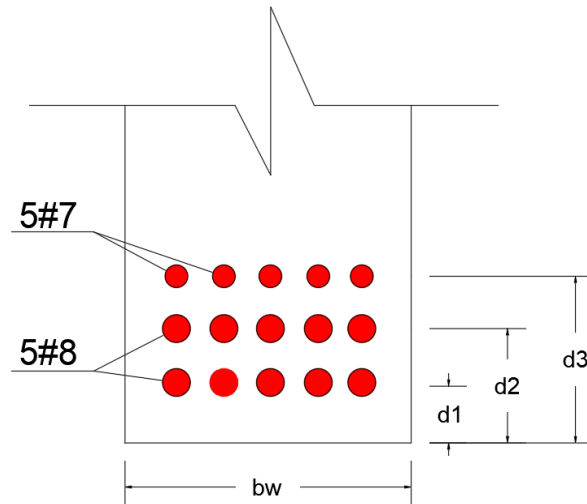


Figura No. 10: Detalle – dimensiones d_1 , d_2 y d_3 .

Distancia mínima entre barras

Según el numeral C.7.6.1 de la NSR-10 nos dice que la distancia libre mínima entre barras paralelas de una capa debe ser d_b , pero no debe ser menos de 25 mm.

Tener en cuenta el numeral C.7.6.2 que cuando el refuerzo paralelo se coloque en dos o más capas, las barras de las capas superiores deben colocarse exactamente sobre las de las capas inferiores, con una distancia libre entre capas no menor de 25 mm.

```
D_a2 = [D_t1 D_t2 D_t3];
D_tmax2 = max(D_a2);

if D_tmax2 >= 0.0250
    S_2 = D_tmax2;
    sprintf('Distancia mínima entre barras paralelas: %0.5g [cm]',S_2*100)
else
    S_2 = 2.5*0.01;
    sprintf('Distancia mínima entre barras paralelas: %0.5g [cm]',S_2*100)
end
```

```
ans =
'Distancia mínima entre barras paralelas: 2.54 [cm]'
```

Determinar distancias d_1 , d_2 y d_3

Para la distancia d_1

$$d_1 = r_e + D_{est} + \left(\frac{D_{t1}}{2} \right)$$

```
d1 = r_e+(D_est)+(D_t1/2); % [m] Distancia desde el borde inferior
sprintf('d1: %0.5g [m]',d1)
```

```
ans =
'd1: 0.0722 [m]'
```

Para la distancia d_2

$$d_2 = re + D_{est} + D_{t1} + S_2 + \left(\frac{D_{t2}}{2}\right)$$

```
d2 = re+(D_est)+(D_t1)+(S_2)+(D_t2/2); % [m] Distancia desde el borde inf
sprintf('d2: %0.5g [m]',d2)
```

```
ans =
'd2: 0.123 [m]'
```

Para la distancia d_3

$$d_3 = re + D_{est} + D_{t1} + S_2 + D_{t2} + S_2 \left(\frac{D_{t3}}{2}\right)$$

```
d3 = re+(D_est)+(D_t1)+(S_2)+(D_t2)+(S_2)+(D_t3/2); % [m] Distancia desde el borde inf
sprintf('d3: %0.5g [m]',d3)
```

```
ans =
'd3: 0.1722 [m]'
```

Centro de gravedad

Para poder determinar la distancia y al centro de gravedad se implementa la siguiente formula:

$$g1 = \frac{(As_{t1} * d1) + (As_{t2} * d2) + (As_{t3} * d3)}{As_{t1} + As_{t2} + As_{t3}}$$

```
g1 = ((As_t1*d1)+(As_t2*d2)+(As_t3*d3))/(As_t1+As_t2+As_t3); % [m] Centro de gra
sprintf('Centro de gravedad es de: %0.5g [m]',g1)
```

```
ans =
'Centro de gravedad es de: 0.11812 [m]'
```

Distancias d y d_t

Ahora bien, ya determinada la distancia al centro de gravedad procedemos a calcular la distancia d , que es la que va desde el borde superior del elemento hasta el centroide de las barras y la distancia d_t que es la distancia que va hasta el centroide de la última barra a tracción.

Formulas:

$$d = h - g1$$

```
d2 = h-g1; % [m] Distancia desde el borde superior a los
sprintf('Se tiene una distancia d: %0.5g [m]',d2)
```

```
ans =
'Se tiene una distancia d: 0.88188 [m]'
```

$$dt = h - \left(re + \left(\frac{D_{t1}}{2} \right) \right)$$

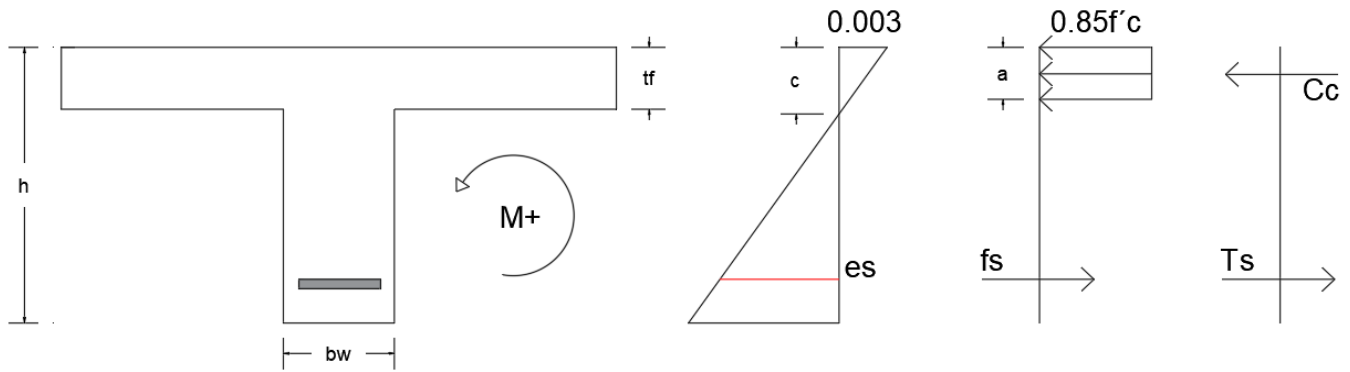


Figura No.11: Diagrama de deformación, esfuerzo y fuerzas.

Determinar deformación del acero a tracción. Tener en cuenta que para poder desarrollar este proceso debe implementar relación de triángulos.

Por lo tanto se tiene : $\frac{0.003}{c} = \frac{\epsilon_s}{d - c}$ al despejar la variable $\epsilon_s = \frac{0.003(d - c)}{c}$ como se evidencia, no se tiene el valor de c, por lo que se tiene que determinar. De manera que para esta situación se toma de forma equilibrada $C_c = T_s$.

$$C_c = 0.85 * f'_c * \beta_1 * c * bf$$

$$T_s = A_{s_{tol}} * f_y$$

$$A_{s_{tol}} * f_y = 0.85 * f'_c * \beta_1 * c * bf$$

Despejamos c

$$c = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f'_c * \beta_1 * bf}$$

```
c2 = ((As2)*fy)/(0.85*fc*bt1*bf);           % [m]
sprintf('c: %0.5g [cm]',c2*100)
```

```
ans =
'c: 10.433 [cm]'
```

Cálculo de a

$$a = \beta_1 * c$$

```
a2 = bt1*c2;
sprintf('a : %0.5g [cm]',a2*100)
```

```
ans =
'a : 8.8676 [cm]'
```

Verificamos el caso

```
if a2 >= tf
    disp('!!!! Caso N0.1 zona a compresión llega hasta el alma !!!! ')
else
```

```
disp('!!!! Caso N0.2 zona a compresión solo llega hasta en el patín !!!! ');
end
```

```
!!!! Caso N0.2 zona a compresión solo llega hasta en el patín !!!!
```

Nota: Como se evidencia anteriormente, la distancia a se mantiene en el espesor del patín, por lo que sigue siendo el caso 2 que se asumió inicialmente.

Deformación del acero ϵ_s

$$\epsilon_s = \frac{0.003(d-c)}{c}$$

```
es2 = ecu*((d2-c2)/c2);
sprintf('Deformación del acero es de: %0.5g ',es2)
```

```
ans =
'Deformación del acero es de: 0.02236 '
```

```
if es2 > ey
    disp('; Ácero está en fluencia !')
else
    disp('; Ácero NO está en fluencia !')
end
```

```
; Ácero está en fluencia !
```

3.11.8- Cálculo de fuerzas

Acero a tracción

$$T_s = A_{s_{tol}} * f_y$$

```
Ts2 = As2*fy; % [N] Fuerza del acero.
sprintf('Ts: %0.5g [kN]',Ts2/1000)
```

```
ans =
'Ts: 2954.7 [kN]'
```

Concreto a compresión

$$C_c = 0.85 * f'_c * \beta_1 * c * b_f$$

```
Cc2 = 0.85*fc*bt1*c2*bf;
sprintf('Cc: %0.5g [kN]',Cc2/1000)
```

```
ans =
'Cc: 2954.7 [kN]'
```

3.11.9- Determinar el momento requerido (Mn)

$$\sum M_{Cc} = +T_s * \left(d - \left(\frac{a}{2} \right) \right) - M_n$$

```
Mn2 = Ts2*(d2-(a2/2)); % [N-m]
sprintf('Mn: %0.5g [kN-m]',Mn2/1000)
```

```
ans =
'Mn: 2474.7 [kN-m]'
```

Cálculo del factor de reducción de resistencia ϕ

Tener en cuenta que para este caso se tiene tres filas de acero a tracción, por lo que se debe tener en cuenta el valor de d_t y no la distancia d ya que para determinar el factor de reducción debe ser con la última fila de acero que este a tracción, independientemente si hay más filas de refuerzo.

Calcular la deformación para la última fila de acero a tracción:

$$e_{s_{fi}} = \frac{(0.003) * (d_t - c_2)}{c_2}$$

```
es_t = ((ecu)*(dt_2-c2))/(c2); % Esfuerzo, fila ultima de acero a tracción para
sprintf('Deformación para la ultima fila de acero es de: %0.5g ',es_t)
```

```
ans =
'Deformación para la ultima fila de acero es de: 0.02368 '
```

```
if es_t <= .002
    fi2 = .65;
elseif es_t <= .005
    fi2 = .65+(es_t-.002)*(250/3);
else
    fi2 = 0.9;
end
sprintf('Ø: %0.5g',fi2)
```

```
ans =
'Ø: 0.9'
```

Momento nominal máximo requerido (ϕM_n)

$$\phi M_n = f_i * M_n$$

```
fi_Mn2 = fi2*Mn2; % [N-m]
sprintf('ØMn: %0.5g [kN-m]',fi_Mn2/1000)
```

```
ans =
'ØMn: 2227.2 [kN-m]'
```

Chequeo Resistencia

```
if fi_Mn2 >= Mu_2
    disp('!!!!!! La estructura SI resiste !!!!!!!')
    ISE2 = Mu_2/fi_Mn2;
    sprintf('ISE: %0.5g [Porciento]',ISE2*100)
else
    disp('!!!!!! La estructura NO resiste !!!!!!!')
    ISE2 = Mu_2/fi_Mn2;
```



```
sprintf('ISE: %0.5g [Porcentaje]', ISE2*100)
end
```

```
!!!!!! La estructura SI resiste !!!!!!!
ans =
'ISE: 98.555 [Porcentaje]'
```

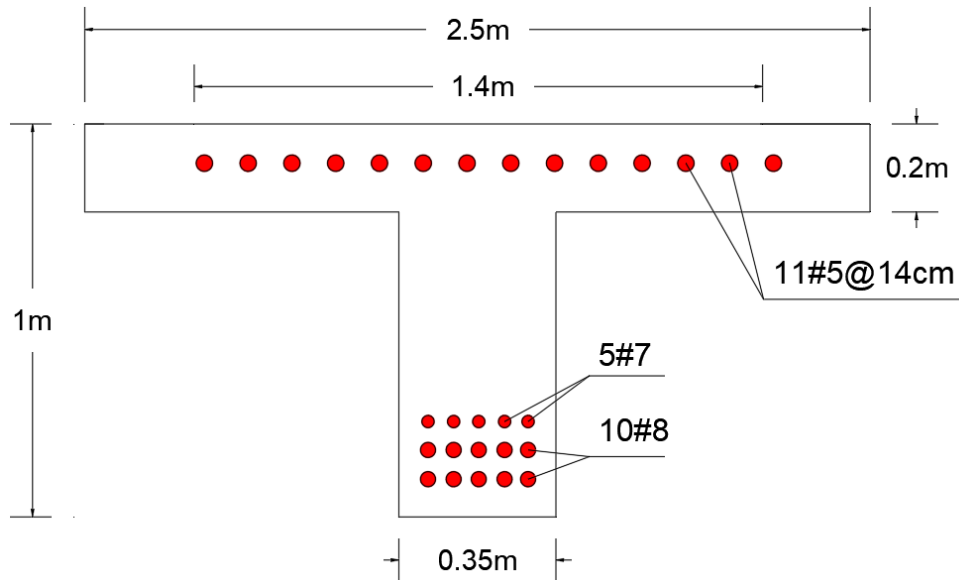


Figura No.12: Acero a tracción para momento positivo.

3.12- Diseño del refuerzo transversal

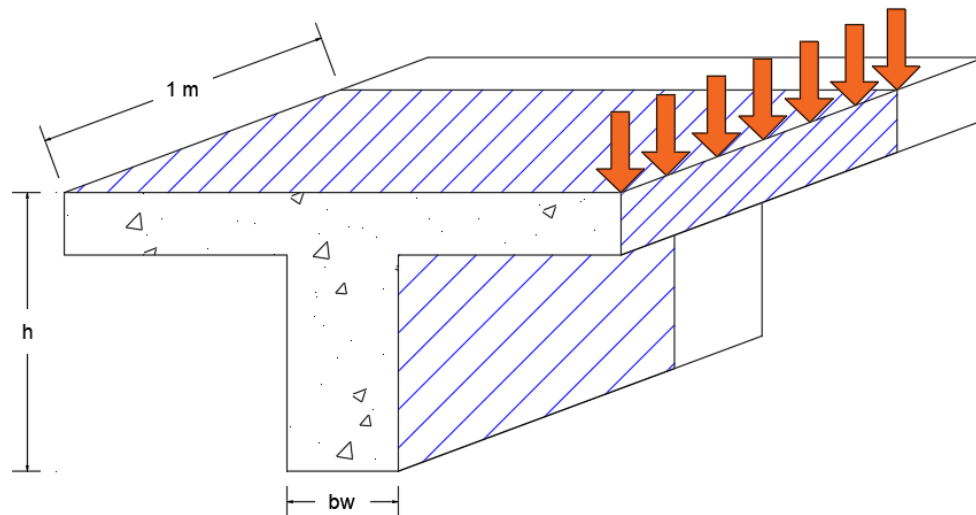


Figura No.13: Sección de análisis para refuerzo transversal.

Tener en cuenta el numeral C.8.12.5.1 donde nos indica que el refuerzo transversal se debe diseñar para resistir cargas mayoradas que actúan sobre el ala suponiendo que ésta trabaja en voladizo.

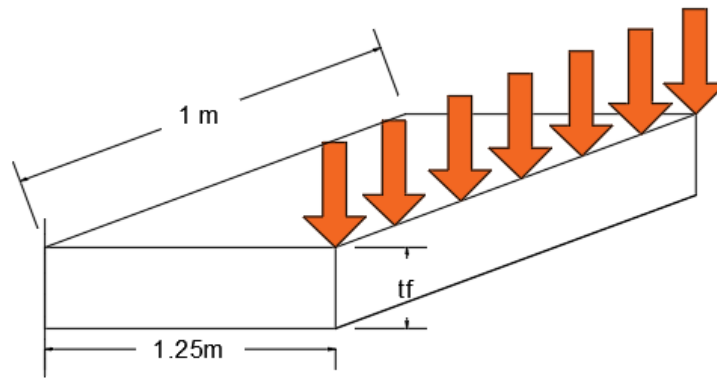


Figura No.14: Parte del ala tomada en forma de voladizo.

3.12.1- Datos generales

Longitud

```
Lv = 1.25; % Longitud [m]
```

Longitud de diseño

Tener en cuenta que para el diseño del acero transversal se toma solo a 1 metro en sentido longitudinal.

```
b = 1; % Longitud N°1 lado más corto [m]
```

3.12.2- Evaluo de cargas

Carga muerta

Área bruta

$$A_g = t_f * 1m$$

```
Ag2 = (tf*b);
sprintf('Área bruta: %0.5g [m^2]',Ag)
```

```
ans =
'Área bruta: 0.78 [m^2]'
```

Peso propio

$$P_p = 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * A_g$$

```
pp2 = y_c*Ag2;
sprintf('Peso propio del elemento: %0.5g [kN/m]',pp2/1000)
```

```
ans =
'Peso propio del elemento: 4.8 [kN/m]'
```

Baldosa

$$\text{Baldosa} = 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 1m$$

```
baldosa2 = 1000*b;
sprintf('Carga losa: %0.5g [kN/m]',baldosa2/1000)
```

```
ans =
'Carga losa: 1 [kN/m]'
```

Baranda

$$\text{Baranda} = 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 1 \text{ baranda}$$

```
baranda2 = 0.5*1000*1;
sprintf('Carga baranda: %0.5g [kN/m]',baranda2/1000)
```

```
ans =
'Carga baranda: 0.5 [kN/m]'
```

Carga viva

Tener en cuenta que, para determinar la carga viva de un puente, se debe aplicar el respectivo código de puentes CCP14.

$$LL = 90 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} * b$$

```
LL2 = 0.04788*1000*90*b;
sprintf('Carga viva de: %0.5g [kN/m]',LL2/1000)
```

```
ans =
'Carga viva de: 4.3092 [kN/m]'
```

Resumen

```
DL2= (baldosa2+pp2);

TIPO = {' MUERTA ' ; ' VIVA ' ; ' PUNTUAL ' };
CARGA = [DL2/1000 ; LL2/1000 ; baranda2/1000];
UNIDADES = {' kN/m^2 ' ; ' kN/m^2 ' ; ' kN ' };

T3 = table(TIPO, CARGA, UNIDADES)
```

T3 = 3x3 table

	TIPO	CARGA	UNIDADES
1	' MUERTA '	5.8	' kN/m2 '
2	' VIVA '	4.3092	' kN/m^2 '
3	' PUNTUAL '	0.5	' kN '

3.12.3- Cálculo de carga distribuida

Para este caso se debe tener en cuenta las combinaciones de carga según el numeral B.2.4.2 de la NSR-10 donde nos hace referencia a que el diseño de estructuras, sus componentes y cimentaciones debe hacerse de tal forma que sus resistencias de diseño igualen o excedan los efectos producidos por las cargas mayoradas en las combinaciones presentadas.

1.4(D)
 1.2(D) + 1.6L
 1.2(D) + 1.0L

```

Wu1_2 = (1.4*(DL2)); % [kN/m^2]
Wu2_2 = (1.2*(DL2))+(1.6*LL2); % [kN/m^2]
Wu3_2 = (1.2*(DL2))+(1.0*LL2); % [kN/m^2]
Wu_max2 = [Wu1_2 Wu2_2 Wu3_2];
Wu2 = max(Wu_max2);
sprintf('Se tiene una carga distribuida máxima de: %0.5g [kN/m^2]',Wu2/1000)

```

```

ans =
'Se tiene una carga distribuida máxima de: 13.855 [kN/m^2]'

```

```

Pu1_2 = 1.4*baranda2;
Pu2_2 = 1.2*baranda2;
Pu_max2 = [Pu1_2 Pu2_2];
Pu2 = max(Pu_max2);
sprintf('Se tiene una carga puntual máxima de: %0.5g [kN]',Pu2/1000)

```

```

ans =
'Se tiene una carga puntual máxima de: 0.7 [kN]'

```

3.12.4- Análisis estructural

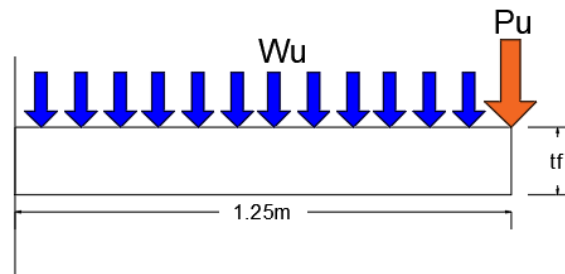


Figura No.15: Diagrama de cuerpo libre.

Momento

$$M_u = P_u * L + W_u * L * \frac{L}{2}$$

$$M_u = P_u * L + \frac{W_u * L^2}{2}$$

```

Mu_3 = (Pu2*Lv)+((Wu2*(Lv^2))/2);
sprintf('Momento máximo: %0.5g [kN-m]',Mu_3/1000)

```

```

ans =
'Momento máximo: 11.699 [kN-m]'

```

3.12.5- Acero a utilizar

Ingresa el tipo de barra y que número de barras.

```
bar4      = [71/1000000];           % Número de barra a utilizar.
D_t4      = [9.5/1000];           % Diámetro del acero [m]
```

3.12.6- Distancia efectiva

$$d = tf - \left(re + \frac{D_{t1}}{2} \right)$$

```
d3 = tf - (re + (D_t4/2));
sprintf('d: %0.5g [m]', d3)
```

```
ans =
'd: 0.14525 [m]'
```

3.12.7- Cuantía de diseño

Determinar el valor de $K = \frac{Mu}{b * d^2}$

```
k_3 = (Mu_3)/(b*(d3^2));
sprintf('K: %0.5g [kN/m^2]', k_3/1000)
```

```
ans =
'K: 554.52 [kN/m2]'
```

Asumir fluencia, una falla dúctil $\phi = 0.90$

```
fi_3 = 0.9;
```

Cálculo de la cuantía requerida

$$\rho_{req} = \frac{0.85 * f'c}{fy} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * K}{0.85 * f'c * \phi}} \right)$$

```
ro_req3 = ((0.85*fc)/(fy))*(1-(1-((2*k_3)/(0.85*fc*fi_3)))^0.5);
sprintf('Cuantía es de: %0.5g ', ro_req3)
```

```
ans =
'Cuantía es de: 0.0014865 '
```

Cálculo del área de acero requerido inicial

$$A_{S_{req}} = \rho_{req} * b * d$$

```
As_req3 = ro_req3*b*d3;           % [cm^2] Área de acero requerido.
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]', As_req3*100^2)
```

```
ans =
'Área requerida es de: 2.1591 [cm^2]'
```

3.12.8- Área de acero mínimo

Según lo establecido en el numeral C.10.5 de la NSR-10 en toda sección de un elemento sometido a flexión cuando por análisis se requiera refuerzo de tracción el área no debe ser menor que el menor obtenido por medio de:

$$A_{S_{\min}} = \frac{0.25 \sqrt{f'c}}{f_y} * b * d$$

```
As_min1_3 = (0.25*((fc/1000000)^0.5))/(fy/1000000)*b*d3;
sprintf('As mínimo: %0.5g [cm^2]',As_min1_3*100^2)
```

```
ans =
'As mínimo: 4.5749 [cm^2]'
```

$$A_{S_{\min}} = 1.4 * 2 * \frac{b * d}{f_y}$$

```
As_min2_3 = (1.4*b*d3/(fy/1000000));
sprintf('As mínimo: %0.5g [cm^2]',As_min2_3*100^2)
```

```
ans =
'As mínimo: 4.8417 [cm^2]'
```

Área de acero a temperatura y retracción

Se recomienda determinar el área de acero para temperatura y retracción según el numeral C.7.12.2.1

$$A_{S_{\text{temp}}} = 0.0018 * b * t_f$$

```
As_temp2 = 0.0018*b*tf;
sprintf('As temperatura: %0.5g [cm^2]',As_temp2*100^2)
```

```
ans =
'As temperatura: 3.6 [cm^2]'
```

3.12.9- Área de acero a utilizar

Se toma el área mayor entre las calculadas anteriormente.

```
TIPO = {' As req ' ; ' As min 1 ' ; ' As min 2 ' ; ' As temp '};
AREA = [As_req3*100^2 ; As_min1_3*100^2 ; As_min2_3*100^2 ; As_temp2*100^2 ];
UNIDADES = {' cm^2 ' ; ' cm^2 ' ; ' cm^2 ' ; ' cm^2 '};
```

```
T4 = table(TIPO, AREA , UNIDADES)
```

T4 = 4x3 table

	TIPO	AREA	UNIDADES
1	' As req '	2.1591	' cm^2 '
2	' As min 1 '	4.5749	' cm^2 '
3	' As min 2 '	4.8417	' cm^2 '
4	' As temp '	3.6	' cm^2 '

Por lo tanto se tiene que:

```
As_a3 = [As_req3 As_min1_3 As_min2_3 As_temp2];
As_3 = max(As_a3);
```

```
sprintf('Área de acero a utilizar es de: %0.5g [cm^2]',As_3*100^2)
```

```
ans =
'Área de acero a utilizar es de: 4.8417 [cm^2]'
```

Número de barras

$$\#barras = \frac{A_s}{A_{N3}}$$

```
N_bar_3 = As_3/bar4 % Cantidad de barras a utilizar.
```

```
N_bar_3 =
6.8192
```

Nota: Se recomienda aproximar la cantidad de barras.

```
N_bar3 = 7; % Número de barras.
sprintf('Por cada metro se deben colocar %0.5g barras',N_bar3)
```

```
ans =
'Por cada metro se deben colocar 7 barras'
```

Espaciamiento de acero

Requerido

$$S = \frac{\text{Área \#3}}{\text{Área req}}$$

```
S_req3 = bar4/As_3;
sprintf('Para la sección se tiene un espaciamiento de: %0.5g [cm]',S_req3*100)
```

```
ans =
'Para la sección se tiene un espaciamiento de: 14.664 [cm]'
```

Usar barras No.3 cada 14 cm

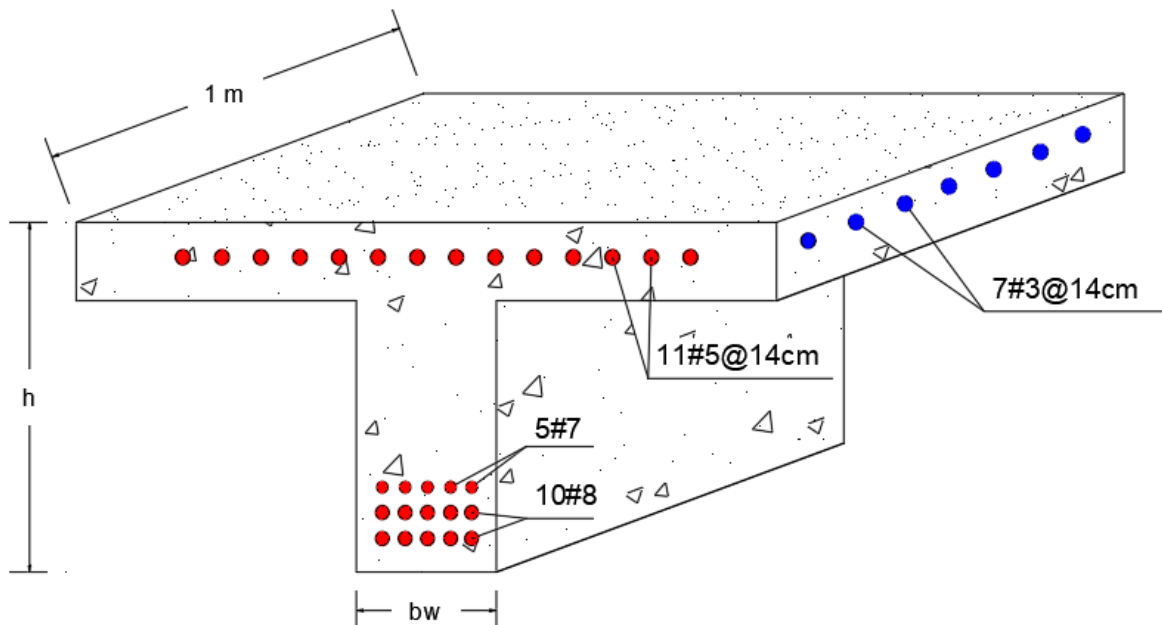


Figura No.16: Detalles de acero longitudinal y transversal.

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título B). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Enunciado

clc, clear, close all, format short

Diseñe el puente peatonal en forma de viga T mostrado en la figura No.1 con $f'c = 21$ MPa y $f_y = 420$ Mpa $E = 200$ GPa.

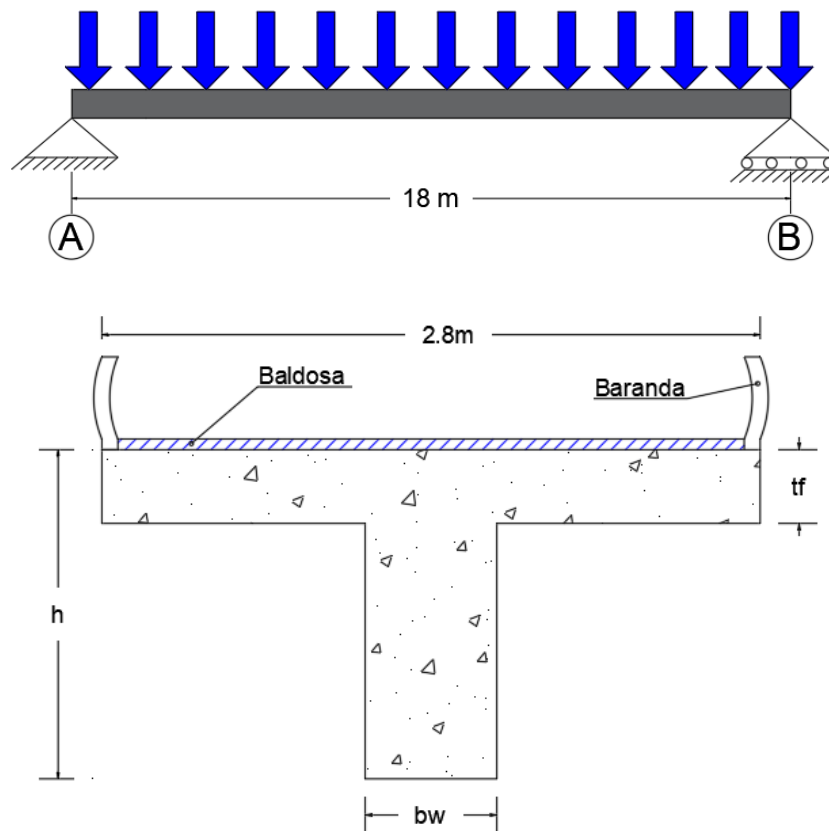


Figura No.1

Tenga en cuenta:

Carga muerta

Baldosa cuenta con una carga de $1.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$.

Baranda cuenta con una carga de $0.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$.

Carga viva

Tener en cuenta que, para determinar la carga viva de un puente, se debe aplicar el respectivo código de puentes CCP14. Por lo tanto $LL = 90 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}$.

E. Anexo: Guía cortante y tensión diagonal en vigas.

Análisis y diseño de vigas a cortante

1- Introducción

Las fallas que se producen por cortante en las vigas de concreto reforzado son distintas a las fallas que se dan por flexión. Las que se producen por cortante ocurren de manera imprevista sin dar alguna advertencia. De tal forma, estos elementos (vigas) se diseñan para que fallen a flexión bajo unas cargas mínimas a diferencia a las que pudiesen dar por la falla a cortante. De este modo, a la hora de diseñar vigas se debe tener en cuenta cada uno de los aspectos que influyen las cortantes que se producen. De acuerdo con esto, en la presente guía se dan a conocer cada uno de los parámetros que se deben tomar para el diseño a cortante, para que así se dé una eficacia a la hora de diseñar y prevenir futuros colapsos repentinos.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de Contenido

Análisis y diseño de vigas a cortante.....	1
1- Introducción.....	1
2- Aspectos teóricos.....	1
3- Ejemplo No.1: Viga T simplemente apoyada.....	6
4- Desarrollo.....	7
4.1- Datos de entrada.....	7
4.2- Propiedades de los materiales.....	7
4.3- Cargas.....	8
4.4- Mayorar cargas.....	8
4.5- Análisis estructural.....	9
4.5.1- Caso No.1.....	9
4.5.2- Caso No.2.....	11
4.6- Cálculo cortante de diseño.....	14
4.7- Cortante resistida por el concreto.....	14
4.7.1- Cálculo de $\phi V_c/2$	15
4.8- Cortante resistida por el acero.....	15
4.9- Espaciamiento de estribos.....	16
4.10- Espaciamiento máximo.....	17
4.11- Acero mínimo a cortante.....	18
4.12- Localización de estribos.....	19
5- Bibliografía.....	21

2- Aspectos teóricos

Las vigas construidas en concreto reforzado que se apoyan totalmente con los nodos que resultan de la intersección con el elemento denominado columna, estos de tal forma contribuyen al soporte de las estructuras, todos ellos deben resistir las fuerzas y desplazamientos inducidos por los movimientos que producen los sismos o cualquier otra alteración sobre la estructura (McCormac & Brown, 2011).

Dentro de estas alteraciones, se pueden producir fallas frágiles, esto es debido a la hora en que la viga se flexiona por un incremento de cargas, en efecto, la cara superior se acorta debido a la compresión que está produciendo, y dependiendo de la cantidad de acero presente en dicha zona, en consecuencia, el concreto podría fallar sin previo aviso, generándose una falla frágil indeseable ya que este fenómeno está acompañado de

fuerzas de corte que se expresan en fisuras y grietas a 45° es por este el motivo, en que se debe colocar acero de manera transversal (McCormac & Brown, 2011).

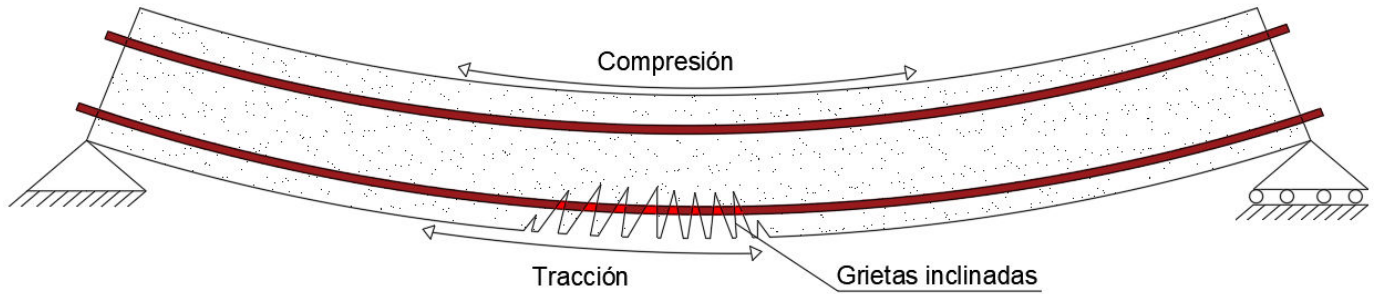


Figura No.1: Agrietamiento vertical en la cara inferior de la viga.

El refuerzo transversal o también llamado estribo o flejes, como también se le conoce en el mundo de la construcción, esta formado por barras de acero de un diámetro mas pequeño que el acero transversal, habitualmente son barras No.3 o 4, ubicadas de manera perpendicular al acero a flexión a unos intervalos de acuerdo con los requerimientos del elemento.

Tipos de refuerzo a cortante

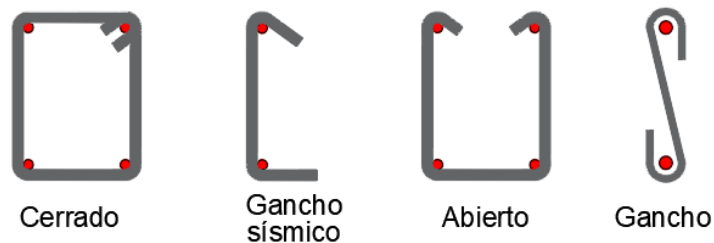


Figura No.2: Tipo de estribos más usados.

- Si $b > 15$ cm se debe utilizar estribos cerrados
- Si $b \leq 15$ cm se debe utilizar estribos cerrados

Identificar numero de ramas en los estribos

Las llamadas ramas son aquellas barras que están de manera perpendicular al sentido de análisis, por ejemplo:

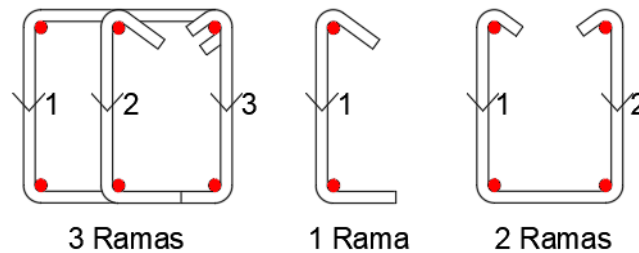


Figura No.3: Identificar número de ramas.

Diseño a cortante

Para el diseño a cortante, según lo establecido en el numeral C.11.1.1 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 debe basarse en la siguiente formula:

$$\phi V_n \geq V_u$$

V_n = Resistencia nominal a cortante.

V_u = Fuerza cortante mayorada en la sección.

ϕ = Factor de reducción de resistencia. Para cortante debe ser según el numeral C.9.3.2.3 de 0.75

La resistencia nominal a cortante debe ser calculada mediante la siguiente formula:

$$V_n = V_c + V_s$$

V_c = Resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto.

V_s = Resistencia nominal al cortante proporcionada por el refuerzo de cortante.

Corante de diseño

Para determinar la cortante de diseño V_{ud} para elementos no prees forzados, se debe calcular a una distancia d , en cuanto a está, hace referencia a la altura efectiva, que es medida desde la cara del elemento a compresión hasta el centroide del acero a tracción.

Lo descrito en el comentario CR11.1.3.1 nos indica que no todas las intercepciones viga-columna son adecuadas para determinar la cortante de diseño V_{ud} a una distancia d , para esto existen unas situaciones que son aceptadas por el reglamento, tales son:

- Elementos que están apoyados sobre soportes en la base del elemento, como se muestra en la figura No.4 (a).
- Para elementos unidos monólicamente con otros elementos, como se evidencia en la figura No.4(b).

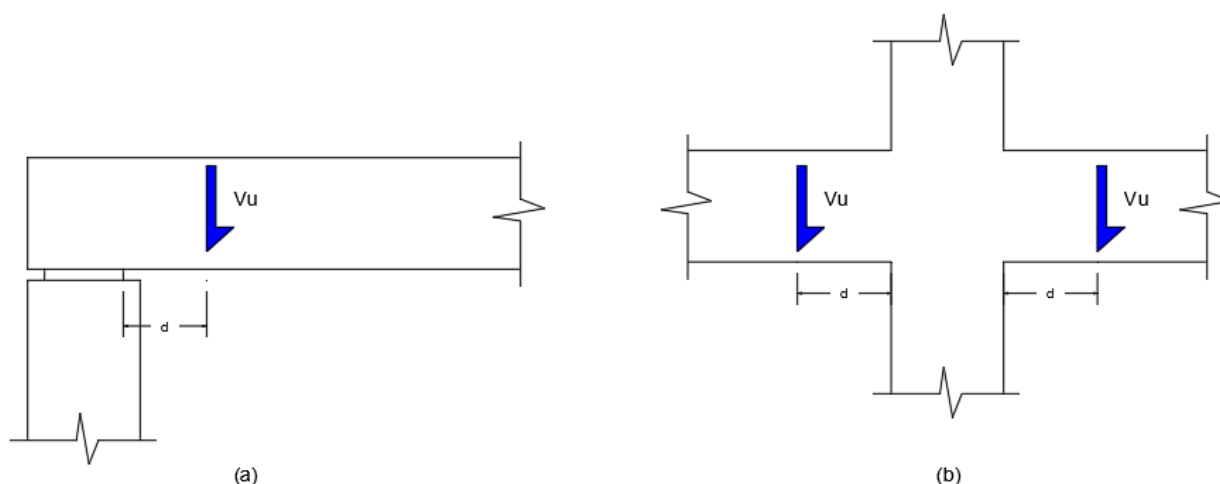


Figura No.4

En el comentario mencionado anteriormente también nos indica que situaciones no son las adecuadas para determinar la cortante de diseño V_{ud} a una distancia efectiva, por lo que:

- Cuando se tienen elementos continuos con un elemento de soporte a tracción, tal como se muestra en la figura No.5(a). Tene en cuenta que para esta situación, para determinar la cortante de diseño, debe tomarse en la cara del soporte, también se debe investigar la cortante que se produce dentro del nudo.
- En elementos donde se concentran cargas entre el apoyo y las distancia efectiva, como se evidencia en la figura No.5 (b).

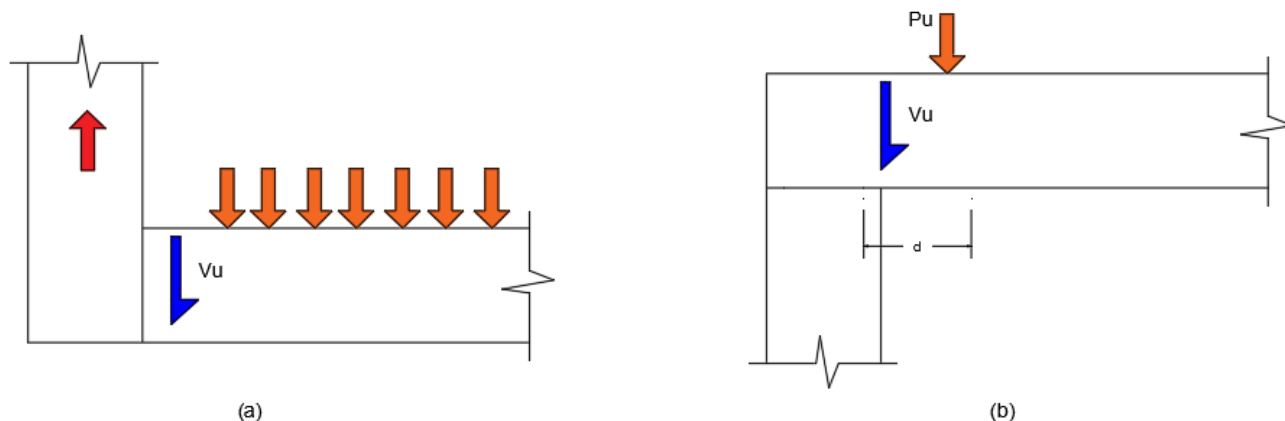


Figura No.5

Resistencia a cortante proporcionada por el concreto

Para los elementos sometidos a cortante y flexión el concreto de cierta manera proporciona una resistencia para el diseño, por lo que para determinar está, se debe calcular con la formula dada en el numeral C.11.2.1.1

$$V_c = 0.17 * \lambda * \sqrt{f'_c} * bw * d$$

λ = Factor demodificación que tiene en cuenta las propiedades mecánicas reducidas del concreto. Ver numeral C. 8. 6. 1

d = Distancia efectiva.

Mediante un método más detallado según el numeral C.11.2.2 se utiliza la siguiente formula:

$$V_c = \left(0.16\lambda \sqrt{f'_c} + 17 * \rho_w * \frac{V_u * d}{M_u} \right) * bw * d$$

M_u = Momento flector factorizado.

ρ_w = Cuantía del área de refuerzo.

Resistencia a cortante proporcionada por el acero

En el numeral C.11.4.7.1 nos indica que cuando la fuerza de cortante de diseño V_{ud} exceda la resistencia a cortante de diseño ϕV_c se debe proporcionar refuerzo a cortante, por lo que este se puede permitir según el numeral C.11.4.1.1 de las siguientes formas:

- Estribos perpendiculares al eje del elemento.
- Refuerzo electrosoldado de alambre con alambres localizados perpendicularmente al eje del elemento.
- Espirales, estribos circulares y estribos cerrados de confinamiento.
- Combinaciones de estribos y refuerzo longitudinal doblado.
- Refuerzo longitudinal cuya parte doblada forma un ángulo de 30° o más con el refuerzo longitudinal a tracción.
- Estribos que formen un ángulo de 45°

Para determinar la resistencia del acero a cortante según el numeral C.11.4.7.2 debe ser con la siguiente fórmula:

$$V_s = \frac{A_v * f_{yt} * d}{S}$$

A_v = Área del acero a cortante.

S = Separación de estribos de centro a centro.

f_{yt} = Esfuerzo de fluencia de estribo.

La resistencia a cortante proporcionada por el refuerzo, deberá cumplir la siguiente condición dada en el numeral C.11.7.9

$$V_s \leq 0.66 * \sqrt{f'c} * bw * d$$

Tener en cuenta que para el diseño $\phi V_n \geq V_u$

Por lo tanto:

$$V_c + V_s \geq \frac{V_u}{\phi}$$

Otra de las formas para determinar la resistencia del acero a cortante es:

$$V_s \geq \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

Límites para el espaciamiento del refuerzo

Para poder determinar los espaciamientos límites para el acero transversal, se debe considerar lo establecido en el numeral C.11.4.5 donde nos indica que:

Caso No.1: Si $V_s < 0.33 * \sqrt{f'c} * bw * d$ entonces:

$$S_{\max} \leq \begin{cases} \frac{d}{2} \\ 600\text{mm} \end{cases}$$

Caso No.2:

Si $V_s > 0.33 * \sqrt{f'c} * bw * d$ entonces:

$$S_{\max} \leq \begin{cases} \frac{d}{4} \\ 300\text{mm} \end{cases}$$

Además, es buen tener en cuenta los requisitos dados en el capítulo C.21 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Refuerzo mínimo a cortante

Debe colocarse un área mínima de refuerzo para cortante en todo el elemento de concreto reforzado que esta sometido a flexión, este puede ser preesforzado y no preesforzado, cuando V_u exceda $0.5\phi V_c$ todo esto según el numeral C.11.4.6.1. Tener en cuenta las excepciones para casos especiales.

$$A_{v_{\min}} \leq \begin{cases} 0.062 * \sqrt{f'c} * \frac{bw * s}{f_{yt}} \\ 0.35 * \frac{bw * s}{f_{yt}} \end{cases}$$

Para estructuras de capacidad de disipación de energía moderada (DMO) y especial (DES) se debe cumplir los requisitos del capítulo C.21 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

A continuación, en la figura No.6 se demuestra cada uno de los parámetros que se trataron anteriormente para su mejor comprensión.

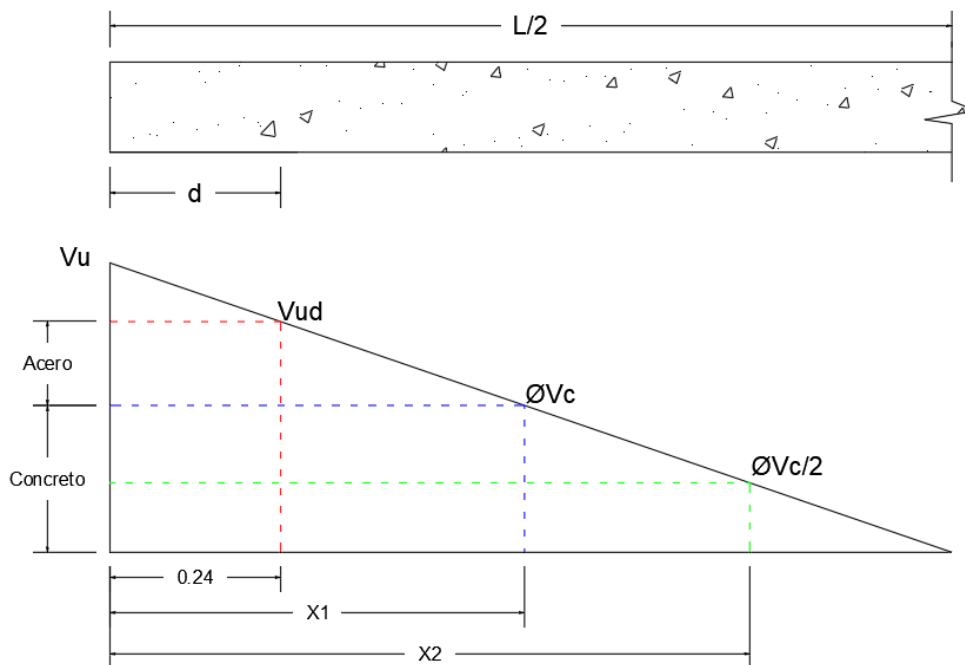


Figura No.6 Diagrama de fuerzas cortantes.

3- Ejemplo No.1: Viga T simplemente apoyada.

Una viga simplemente apoyada de 12 m de luz, con sección transversal T como la que se muestra en la figura No.7 , está sometida a una carga muerta uniformemente distribuida WDL de 25k N/m, a cual incluye el peso propio de la viga, y a una carga viva uniformemente distribuida WLL de 30k N/m $f'c = 28 \text{ MPa}$ (concreto de peso normal) y $f_y = 420 \text{ MPa}$. Determine el refuerzo para cortante.

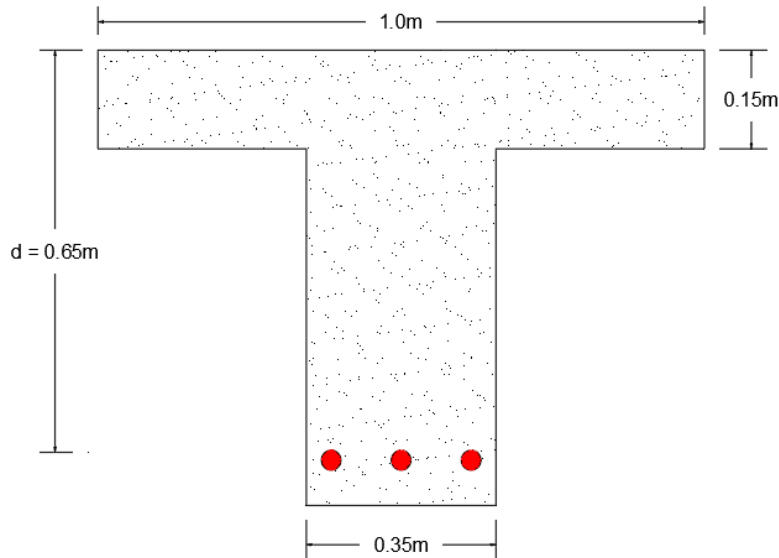


Figura No.7: Sección transversal de viga T.

4- Desarrollo

4.1- Datos de entrada

Introducir medidas de base (b) y altura (h) de acuerdo con el elemento a chequear.

```
bw = 0.35;      % Base [m]
d = 0.65;      % [m]
hf = 0.15;     % Espesor loseta [m]
bf = 1;        % Ancho efectivo [m]
```

Longitud viga

```
L = 12;        % [m]
```

4.2- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada uno de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

Concreto

- Resistencia específica a la compresión.

```
fc = 28e6;    % [Pa]
```

Acero

-Resistencia específica a la fluencia.

```
fy = 420e6; % [Pa]
```

Barra para estribos

Definimos una barra para estribos, para este caso, se toma barra #3

```
A_est = [71/1000000]; % Número de barra a utilizar.  
D_est2 = 9.5*0.001; % Diámetro del acero.
```

4.3- Cargas

Muerta

```
WDL = 25000; % [N/m]
```

Viva

```
WLL = 30000; % [N/m]
```

4.4- Mayorar cargas

Para este caso se debe tener en cuenta las combinaciones de carga según el numeral B.2.4.2 de la NSR-10 donde nos hace referencia a que el diseño de estructuras, sus componentes y cimentaciones debe hacerse de tal forma que sus resistencias de diseño igualen o excedan los efectos producidos por las cargas mayoradas en las combinaciones presentadas.

1.4 (DL)

1.2(DL) + 1.6LL

1.2 (DL) + 1.0LL

```
Wu1 = (1.4*(WDL)); % [N/m]  
Wu2 = (1.2*(WDL))+(1.6*WLL); % [N/m]  
Wu3 = (1.2*(WDL))+(1.0*WLL); % [N/m]  
Wu_max = [Wu1 Wu2 Wu3];  
Wu = max(Wu_max);  
sprintf('Se tiene una carga distribuida máxima de: %0.5g [kN/m]',Wu/1000)
```

```
ans =  
'Se tiene una carga distribuida máxima de: 78 [kN/m]'
```

Mayoración de cargas individuales, para este caso se toma la combinación de cargas que al sumar es mayor que las demás, por lo tanto para:

Muerta 1.2 (DL)

```
Wu_DL = 1.2*WDL;  
sprintf('Carga muerta mayorada: %0.5g [kN/m]',Wu_DL/1000)
```

```
ans =  
'Carga muerta mayorada: 30 [kN/m]'
```

Viva 1.6 (LL)

```

Wu_LL = 1.6*WLL;
sprintf('Carga viva mayorada: %0.5g [kN/m]',Wu_LL/1000)

```

```

ans =
'Carga viva mayorada: 48 [kN/m]'

```

4.5- Análisis estructural

Tener en cuenta que para el análisis estructural, se opta por dos casos, le primero se implementara la carga mayorada de forma distribuida a lo largo de la viga, para el segundo caso se, la carga viva mayorada estará distribuida en toda la longitud de la viga, pero por parte de la carga muerta mayorada, solo estará distribuida hasta la mitad de la longitud de la viga.

4.5.1- Caso No.1

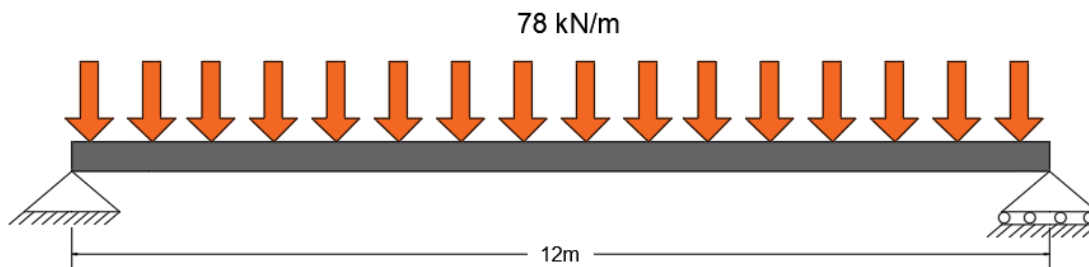


Figura No.8: Distribución de carga - caso No.1.

Reacciones

Puntualizar carga distribuida.

$$P_{ul} = W_u * L$$

```

Pu = Wu*(L);
sprintf('Pu: %0.5g [kN]',Pu/1000)

```

```

ans =
'Pu: 936 [kN]'

```

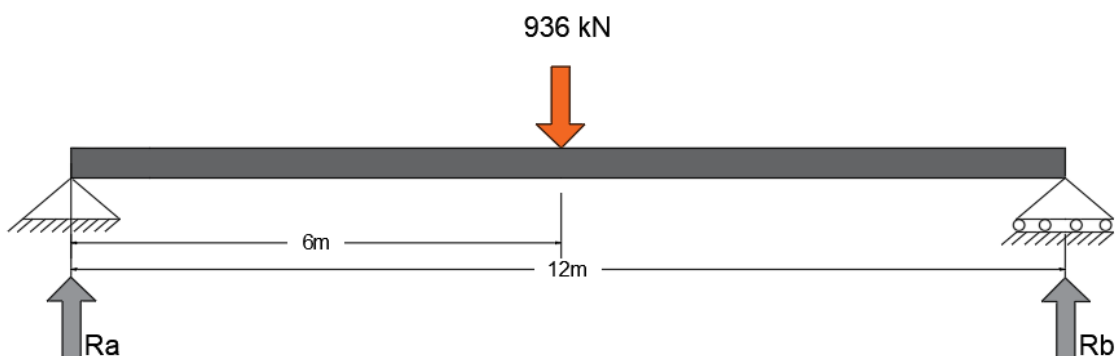


Figura No.9: Diagrama de cuerpo libre - caso No.1.

Sumatoria de fuerzas

$$\sum F_x = R_a + R_b - P_u$$

$$R_b = P_u - R_a$$

```
syms Ra_a
Rb_a = Pu-Ra_a
```

$$R_{b_a} = 936000 - R_{a_a}$$

Sumatoria de momentos

$$\sum M_A = -\left(P_u * \frac{L}{2}\right) + ((P_u - R_a) * (L)) = 0$$

```
Ecua_1 = -(Pu*(L/2))+((Rb_a)*(L));
Ra_1 = double(solve(Ecua_1==0));
ind = find(Ra_1>0);
Ra = Ra_1(ind);
sprintf('Valor de Ra: %0.5g [kN]',Ra/1000)
```

```
ans =
'Valor de Ra: 468 [kN]'
```

$$R_b = P_u - R_a$$

```
Rb = Pu-Ra;
sprintf('Valor de Rb: %0.5g [kN]',Rb/1000)
```

```
ans =
'Valor de Rb: 468 [kN]'
```

Cortante

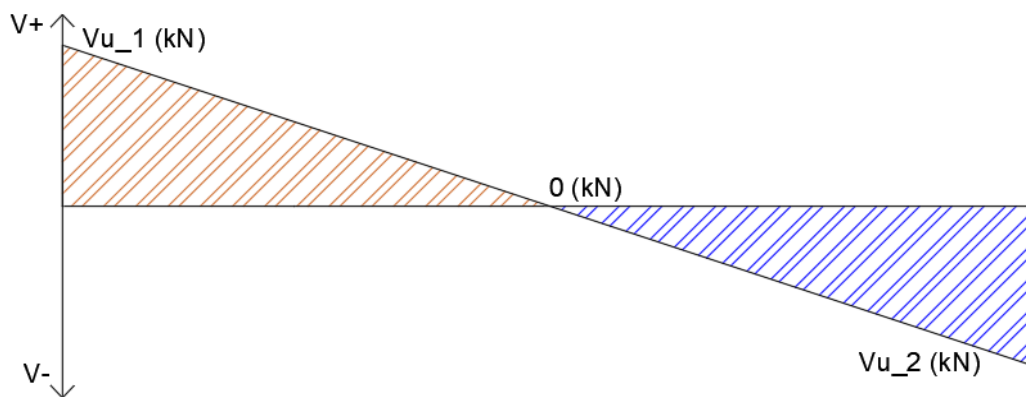


Figura No.10: Diagrama de cortante - caso No.1.

$$V_{u_1} = R_a$$

```
Vu_1 = Ra;
sprintf('Cortante Vu1: %0.5g [kN]',Vu_1/1000)
```

```
ans =  
'Cortante Vu1: 468 [kN]'
```

$$Vu_2 = Vu_1 - Pu$$

```
Vu_2 = Vu_1 - Pu;  
sprintf('Cortante Vu2: %0.5g [kN]', Vu_2/1000)
```

```
ans =  
'Cortante Vu2: -468 [kN]'
```

4.5.2- Caso No.2

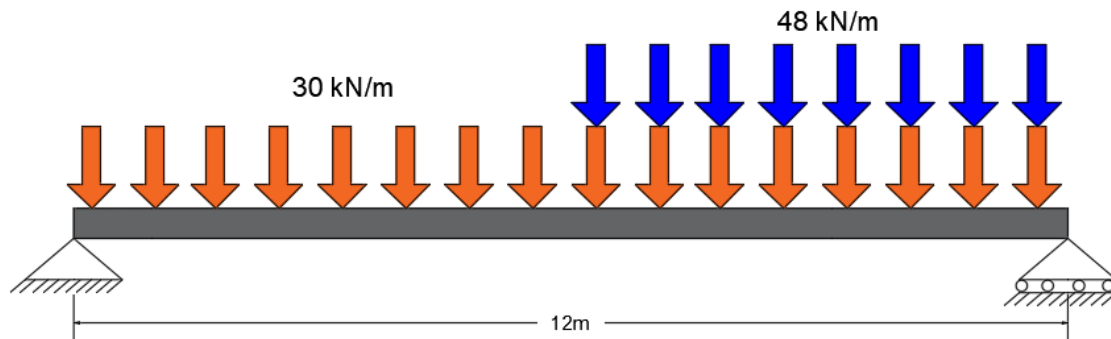


Figura No.11: Distribución de carga - caso No.2.

Reacciones

Puntualizar carga distribuida No.1 (muerta).

$$P_{u1} = WDL * \frac{L}{2}$$

```
Pu2_1 = Wu_DL*(L/2);  
sprintf('Pu1: %0.5g [kN]', Pu2_1/1000)
```

```
ans =  
'Pu1: 180 [kN]'
```

Puntualizar carga distribuida No.2 (viva+muerta)

$$P_{u2} = (WLL + WDL) * \frac{L}{2}$$

```
Pu2_2 = (Wu_DL+Wu_LL)*(L/2);  
sprintf('Pu2: %0.5g [kN]', Pu2_2/1000)
```

```
ans =  
'Pu2: 468 [kN]'
```

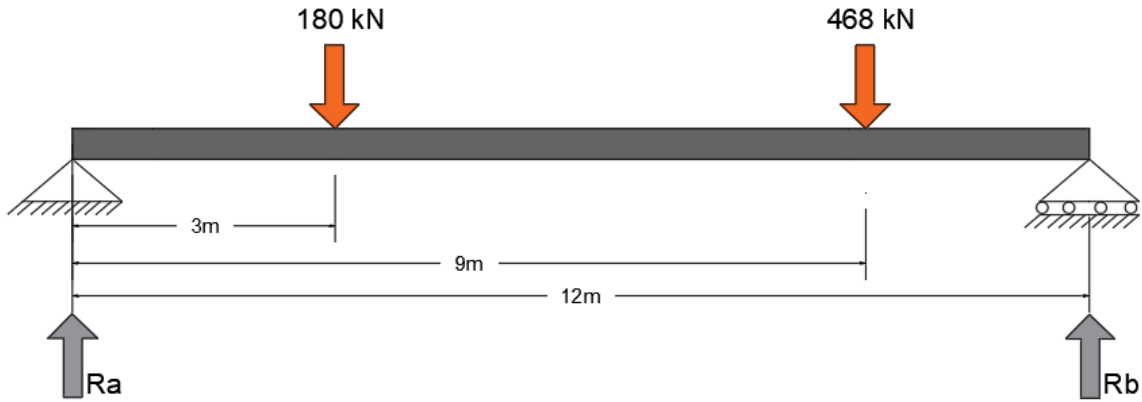


Figura No.12: Diagrama de cuerpo libre - caso No.2.

Sumatoria de fuerzas

$$\sum F_x = R_a + R_b - P_{u_1} - P_{u_2}$$

$$R_b = P_{u_1} + P_{u_2} - R_a$$

```
syms Ra_a2
Rb_a2 = Pu2_1+Pu2_2-Ra_a2
```

$$R_{b_a2} = 648000 - R_{a_a2}$$

Sumatoria de momentos

$$\sum M_A = -\left(P_{u_1} * \frac{L}{2}\right) - \left(P_{u_2} * L - \frac{L}{2}\right) + ((P_{u_1} + P_{u_2} - R_a) * (L)) = 0$$

```
Ecua_2 = -(Pu2_1*((L/2)/(2)))-(Pu2_2*((L)-(L/2)/(2)))+((Rb_a2)*(L));
Ra_2 = double(solve(Ecua_2==0));
ind = find(Ra_2>0);
Ra2 = Ra_2(ind);
sprintf('Valor de Ra: %0.5g [kN]',Ra2/1000)
```

```
ans =
'Valor de Ra: 252 [kN]'
```

$$R_b = P_{u_1} + P_{u_2} - R_a$$

```
Rb2 = Pu2_1+Pu2_2-Ra2;
sprintf('Valor de Rb: %0.5g [kN]',Rb2/1000)
```

```
ans =
'Valor de Rb: 396 [kN]'
```

Cortante

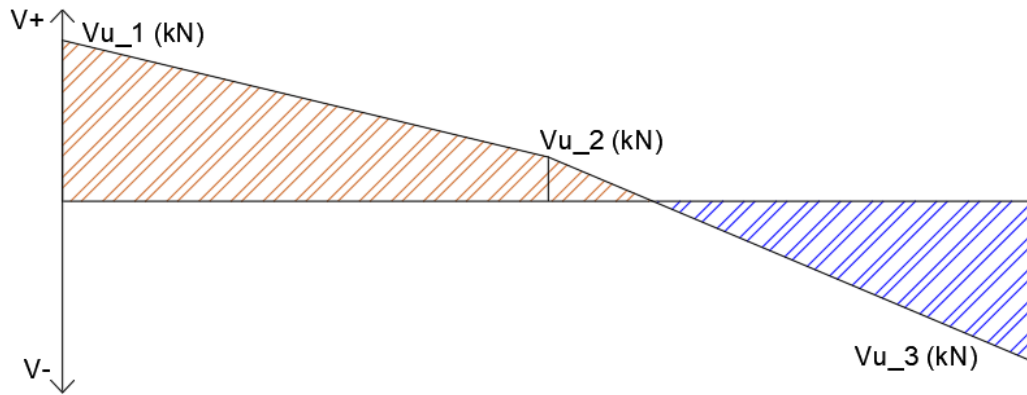


Figura No.13: Diagrama de cortante - caso No.2.

$$Vu_1 = Ra$$

```
Vu2_1 = Ra2;
sprintf('Cortante Vu1: %0.5g [kN]',Vu2_1/1000)
```

```
ans =
'Cortante Vu1: 252 [kN]'
```

$$Vu_2 = Vu_1 - Pu_1$$

```
Vu2_2 = Vu2_1-Pu2_1;
sprintf('Cortante Vu2: %0.5g [kN]',Vu2_2/1000)
```

```
ans =
'Cortante Vu2: 72 [kN]'
```

$$Vu_3 = Vu_2 - Pu_2$$

```
Vu2_3 = Vu2_2-Pu2_2;
sprintf('Cortante Vu2: %0.5g [kN]',Vu2_3/1000)
```

```
ans =
'Cortante Vu2: -396 [kN]'
```

Envolvente

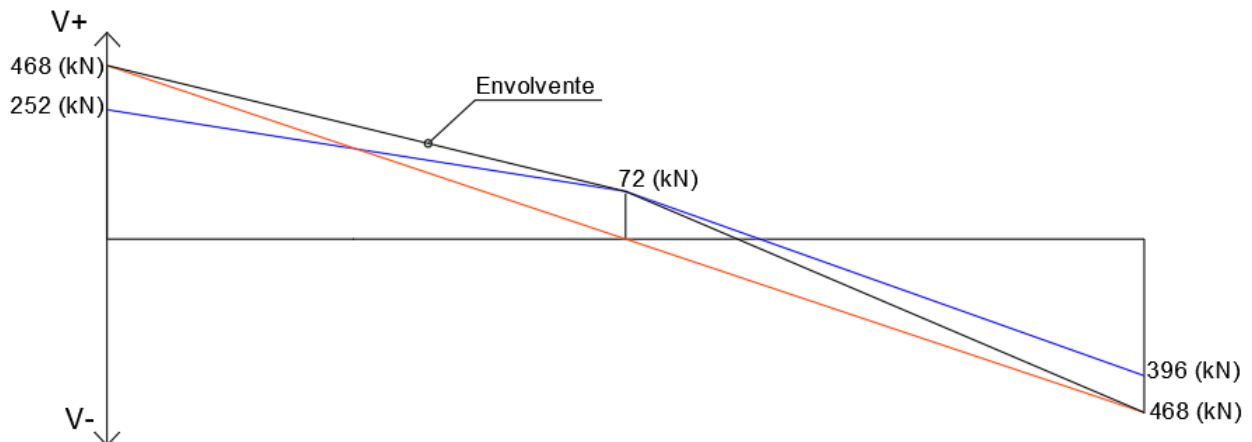


Figura No.14: Diagrama de cortante - Envolvente.

Se toma la mayor de las cortantes en cada tramo.

V_{u1}

$$Vu_{1f} = 468000; \quad \% [N]$$

V_{u2}

$$Vu_{2f} = 72000; \quad \% [N]$$

V_{u3}

$$Vu_{3f} = 468000; \quad \% [N]$$

4.6- Cálculo cortante de diseño

Para determinar la cortante de diseño V_{ud} se debe calcular a una distancia d , en cuanto a está, hace referencia a la altura efectiva, que es medida desde la cara del elemento a compresión hasta el centroide del acero a tracción.

Para este caso, como ya tenemos datos de cortante provenientes del análisis estructural, se procede a determinar esta cortante ultima de diseño por medio de relación de triángulos.

$$\frac{V_{u1} - V_{u2}}{L/2} = \frac{V_{ud} - V_{u2}}{(L/2) - d}$$

Despejando V_{ud}

$$V_{ud} = \frac{(V_{u1} - V_{u2}) * ((L/2) - d)}{L/2} + V_{u2}$$

```
Vud = (((Vu_1f-Vu_2f)*((L/2)-(d)))/(L/2))+(Vu_2f);  
sprintf('Cortante Vud: %0.5g [kN]',Vud/1000)
```

```
ans =  
'Cortante Vud: 425.1 [kN]'
```

4.7- Cortante resistida por el concreto

Para el cálculo de la resistencia del concreto a cortante, se debe determinar por medio de la formula dada en el numeral C.11.2.1.1.

$$V_c = 0.17 * \lambda * \sqrt{f'_c} * bw * d$$

El valor de $\lambda = 1$ ya que se tiene un concreto de peso normal. Ver numeral C. 8. 6. 1.

```
Vc = 0.17*1*(fc^0.5)*bw*d;  
sprintf('Cortante Vc: %0.5g [kN]',Vc)
```

```
ans =
```



```
'Cortante Vc: 204.65 [kN]'
```

$\phi = 75$ Para cortante según el numeral C.9.3.2.3 .

```
fi = 0.75;
```

ϕV_c

```
fi_Vc = Vc*fi;  
sprintf('Cortante ØVc: %0.5g [kN]',fi_Vc)
```

```
ans =  
'Cortante ØVc: 153.49 [kN]'
```

Verificamos

```
if Vud >= fi_Vc  
    disp('!!!!!!! Requiere estribos !!!!!!!')  
else  
    disp('!!!!!!! No Requiere estribos !!!!!!!')  
end
```

```
!!!!!!! Requiere estribos !!!!!!!
```

Nota: Como se puede evidenciar, el concreto a cortante solo resiste hasta 153.49 kN, de tal manera, desde 153.49 kN a 425 kN que es la cortante de diseño, en este sentido, la diferencia entre estas dos cortantes es la que va a resistir el acero.

4.7.1- Cálculo de $\phi V_c/2$

$$\frac{\phi V_c}{2}$$

```
fi_Vc2 = fi_Vc/2;  
sprintf('Resistencia a cortante por el concreto ØVc/2: %0.5g [kN]',fi_Vc2)
```

```
ans =  
'Resistencia a cortante por el concreto ØVc/2: 76.743 [kN]'
```

4.8- Cortante resistida por el acero

Para determinar la resistencia del acero a cortante se debe tener en cuenta que $\phi V_n \geq V_u$

Por lo tanto:

$$\phi V_c + \phi V_s \geq V_u$$

Despejando ϕV_s :

$$V_s \geq \frac{(V_u - \phi V_c)}{\phi}$$

```
Vs = ((Vud/1000)-fi_Vc)/(fi);  
sprintf('Resistencia a cortante por el acero Vs: %0.5g [kN]',Vs)
```

```
ans =  
'Resistencia a cortante por el acero Vs: 362.15 [kN]'
```

4.9- Espaciamiento de estribos

Para determinar la separación de los estribos que irán en la zona donde resiste el acero a cortante, se debe considerar las fórmulas dadas en el numeral C11.1.1 y C.11.4.7.2 por lo tanto:

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$V_c + V_s \geq \frac{V_u}{\phi}$$

$$V_s \geq \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$V_s = \frac{A_v * f_{yt} * d}{S}$$

Entonces reemplazamos:

$$\frac{A_v * f_{yt} * d}{S} \geq \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

Despejando S

$$S = \frac{A_v * f_{yt} * d}{V_{ud} - \phi V_c}$$

Determinar el A_v

Se están utilizando estribos No.3.

Número de ramas

```
ra = 2;
```

Área de acero de cortante

$$A_v = \#ramas * A_{estribo}$$

```
Av = ra*A_est;  
sprintf('El área de acero para cortante es de: %0.5g [m^2]',Av)
```

```
ans =  
'El área de acero para cortante es de: 0.000142 [m^2]'
```

De tal manera que para S

```
Sa_req = (Av*fy*d)/(Vs*1000);  
sprintf('Se obtiene un espaciamento de: %0.5g [cm]',Sa_req*100)
```

```
ans =  
'Se obtiene un espaciamento de: 10.704 [cm]'
```

Por facilidad constructiva se toma un espaciamiento de:

```
S_req = 0.10; % [m]
```

4.10- Espaciamiento máximo

Para determinar el espaciamiento límites para el acero transversal, se debe considerar lo establecido en el numeral C.11.4.5.

Cálculo de V_s max

$$V_{s\max} = 0.33 * \sqrt{f_c} * b_w * d$$

```
Vs_max = 0.33*(fc^0.5)*bw*d;  
sprintf('Resistencia a cortante del acero máxima es de: %0.5g [kN]',Vs_max)
```

```
ans =  
'Resistencia a cortante del acero máxima es de: 397.26 [kN]'
```

Por lo tanto:

```
if Vs < Vs_max  
    disp('iiiiiii Implementar caso No.1 !!!!!!!')  
else  
    disp('iiiiiii Implementar caso No.2 !!!!!!!')  
end
```

```
iiiiiii Implementar caso No.1 !!!!!!!
```

$$S_{\max} \leq \begin{cases} \frac{d}{2} \\ 600\text{mm} \end{cases}$$

```
S_max1 = d/2;  
sprintf('Espaciamiento máximo 1 es de: %0.5g [cm]',S_max1*100)
```

```
ans =  
'Espaciamiento máximo 1 es de: 32.5 [cm]'
```

```
S_max2 = 0.6;  
sprintf('Espaciamiento máximo 2 es de: %0.5g [cm]',S_max2*100)
```

```
ans =  
'Espaciamiento máximo 2 es de: 60 [cm]'
```

Se utiliza el menor

```
s_max = [S_max1 S_max2];  
S_max = min(s_max);  
sprintf('Espaciamiento máximo según la NSR-10 es de: %0.5g [cm]',S_max*100)
```

```
ans =  
'Espaciamiento máximo según la NSR-10 es de: 32.5 [cm]'
```

Verificar

Espaciamiento a utilizar, entre el calculado y el máximo requerido por el reglamento NSR-10 se toma el menor.

```
if S_req < S_max
    S = S_req;
    sprintf('Se debe utilizar un espaciamento de: %0.5g [cm]',S*100)
else
    S = S_max;
    sprintf('Se debe utilizar un espaciamento de: %0.5g [cm]',S*100)
end
```

```
ans =
'Se debe utilizar un espaciamento de: 10 [cm]'
```

4.11- Acero mínimo a cortante

Determinar área mínima de refuerzo para cortante, para todo el elemento de concreto reforzado sometido a flexión. Esto está dado en el numeral C.11.4.6.1.

$$\frac{A_{v_{\min}}}{S} \leq \begin{cases} 0.062 * \sqrt{f'_c} * \frac{bw}{f_{yt}} \\ 0.35 * \frac{bw}{f_{yt}} \end{cases}$$

```
Av_min1 = ((0.062*((fc/1e6)^0.5)*bw)/(fy/1e6));
sprintf('Av mínimo No.1: %0.5g [cm^2]',Av_min1*100^2)
```

```
ans =
'Av mínimo No.1: 2.7339 [cm^2]'
```

```
Av_min2 = ((0.35*bw)/(fy/1e6));
sprintf('Av mínimo No.2: %0.5g [cm^2]',Av_min2*100^2)
```

```
ans =
'Av mínimo No.2: 2.9167 [cm^2]'
```

```
a_max = [Av_min1 Av_min2];
Av_min = max(a_max);
```

```
sprintf('Acero mínimo a cortante según la NSR-10 es de: %0.5g [cm^2]',Av_min*100^2)
```

```
ans =
'Acero mínimo a cortante según la NSR-10 es de: 2.9167 [cm^2]'
```

Antes de verificar se debe calcular la siguiente expresión:

$$\frac{A_v}{S_{\max}}$$

```
Av_a = Av/S_max;
sprintf('Av/s: %0.5g [cm^2]',Av_a*100^2)
```

```
ans =
'Av/s: 4.3692 [cm^2]'
```

Verificar

```
if Av_a > Av_min
    disp('!!!!!!! Si cumple con el acero mínimo !!!!!!!')
else
    disp('!!!!!!! No cumple con el acero mínimo !!!!!!!')
end
```

```
!!!!!!! Si cumple con el acero mínimo !!!!!!!
```

4.12- Localización de estribos

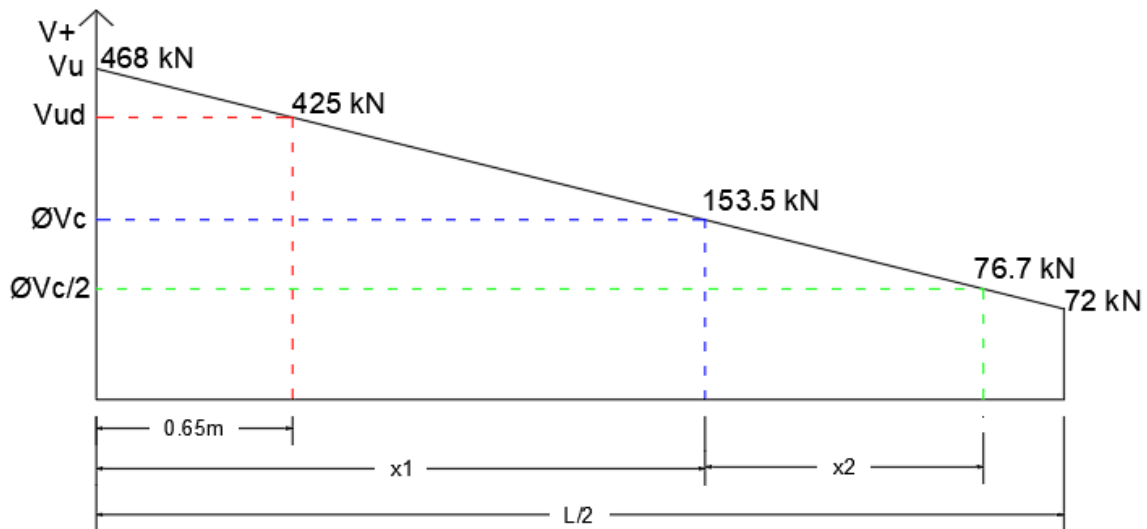


Figura No.15

Se debe determinar la longitud de la zona que resiste el acero a cortante, de igual forma para la zona que resiste el concreto, que es donde se aplica el A_v mínimo.

Determinar distancia para la zona No.1

$$\frac{V_{u1} - V_{u2}}{L/2} = \frac{\phi V_c - V_{u2}}{X_a}$$

Despejando X_a :

$$X_a = \frac{(\phi V_c - V_{u2}) * (L/2)}{V_{u1} - V_{u2}}$$

```
x_a = (((fi_Vc*1000)-Vu_2f)*(L/2))/(Vu_1f-Vu_2f);
sprintf('X: %0.5g [m]',x_a)
```

```
ans =
'X: 1.2346 [m]'
```

Por lo tanto, la distancia para la zona No.1

$$X_1 = \frac{L}{2} - x$$

```
x_1 = (L/2)-x_a;  
sprintf('Distancia para la zona No.1 es de: %0.5g [m]',x_1)
```

```
ans =  
'Distancia para la zona No.1 es de: 4.7654 [m]'
```

Determinar distancia para la zona No.2

$$\frac{V_{u1} - V_{u2}}{L/2} = \frac{\frac{\phi V_c}{2} - V_{u2}}{X_b}$$

Despejando X_b :

$$X_b = \frac{\left(\frac{\phi V_c}{2} - V_{u2}\right) * (L/2)}{V_{u1} - V_{u2}}$$

```
x_b = (((fi_Vc*1000)/(2))-Vu_2f)*(L/2)/(Vu_1f-Vu_2f);  
sprintf('X: %0.5g [m]',x_b)
```

```
ans =  
'X: 0.071869 [m]'
```

Por lo tanto, la distancia para la zona No.2

$$X_2 = X_a - X_b$$

```
x_2 = x_a-x_b;  
sprintf('Distancia para la zona No.1 es de: %0.5g [m]',x_2)
```

```
ans =  
'Distancia para la zona No.1 es de: 1.1628 [m]'
```

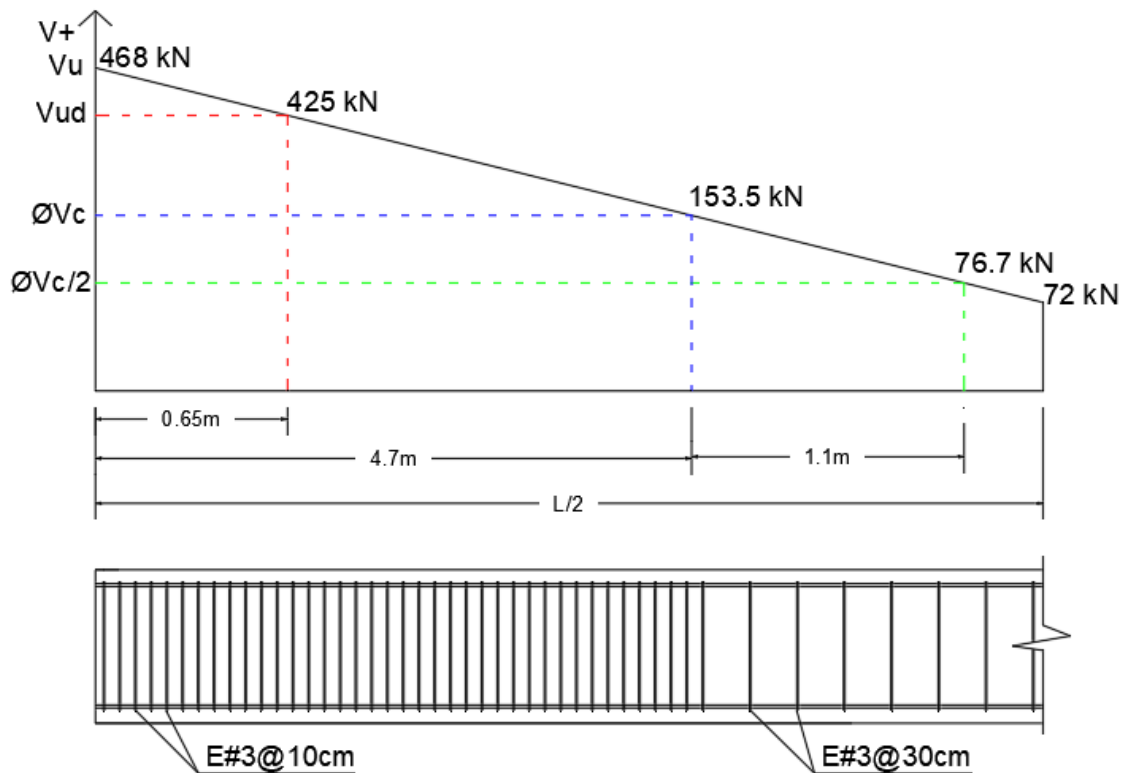


Figura No. 16: Diagrama de fuerzas cortantes – despiece final.

5- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- McCormac, J. C. & Brown, R. H. (2011). Diseño de concreto reforzado. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Ejemplo No.2: Viga rectangular simplemente apoyada.

1- Introducción

Las fallas que se producen por cortante en las vigas de concreto reforzado son distintas a las fallas que se dan por flexión. Las que se producen por cortante ocurren de manera imprevista sin dar alguna advertencia. De tal forma, estos elementos (vigas) se diseñan para que fallen a flexión bajo unas cargas mínimas a diferencia a las que pudiesen dar por la falla a cortante. De este modo, a la hora de diseñar vigas se debe tener en cuenta cada uno de los aspectos que influyen las cortantes que se producen. De acuerdo con esto, en la presente guía se dan a conocer cada uno de los parámetros que se deben tomar para el diseño a cortante para una viga simplemente apoyada, para que así se dé una eficacia a la hora de diseñar y prevenir futuros colapsos repentinos.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de Contenido

Ejemplo No.2: Viga rectangular simplemente apoyada.....	1
1- Introducción.....	1
2- Enunciado.....	1
3- Desarrollo.....	2
3.1- Datos de entrada.....	2
3.2- Propiedades de los materiales.....	2
3.3- Cargas.....	2
3.4- Mayorar cargas.....	3
3.5- Análisis estructural.....	4
3.6- Cálculo cortante de diseño.....	8
3.7- Cortante resistida por el concreto.....	9
3.7.1- Cálculo de $\phi V_c/2$	10
3.8- Cortante resistida por el acero.....	10
3.9- Espaciamiento de estribos.....	10
3.10- Espaciamiento máximo.....	11
3.11- Acero mínimo a cortante.....	12
3.12- Localización de estribos.....	13
4- Bibliografía.....	15

2- Enunciado

Una viga simplemente apoyada de 8 m de luz, con sección rectangular como la que se muestra en la figura No.1 está sometida a una carga muerta uniformemente distribuida WDL de 18k N/m, a cual incluye el peso propio de la viga, y a una carga viva uniformemente distribuida WLL de 28k N/m. Adicionalmente sostiene dos cargas vivas concentradas P1 de 60 kN y P2 de 45 kN. Las cargas son de servicio. $f'_c = 28$ MPa (concreto de peso normal) y $f_y = 420$ MPa. Determine el refuerzo para cortante.

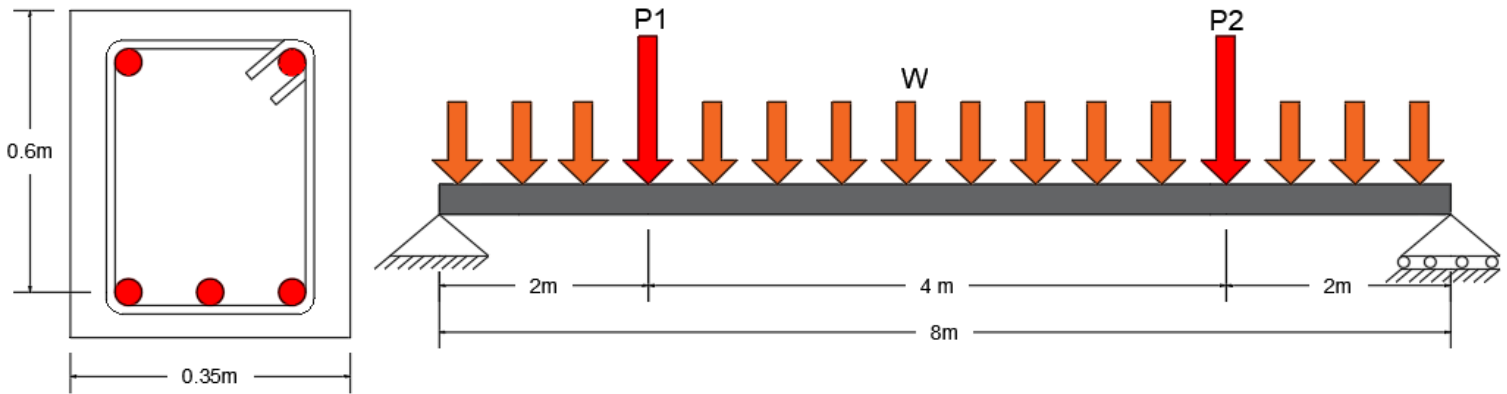


Figura No.1: Detalles de viga - sección transversal y longitudinal.

3- Desarrollo

3.1- Datos de entrada

Introducir medidas de base (b) y altura (h) de acuerdo con el elemento a chequear.

```
b = 0.35; % Base [m]
d = 0.60; % [m]
```

Longitud viga

```
L = 8; % [m]
```

3.2- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada uno de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

Concreto

- Resistencia específica a la compresión.

```
fc = 28e6; % [Pa]
```

Acero

-Resistencia específica a la fluencia.

```
fy = 420e6; % [Pa]
```

Barra para estribos

Definimos una barra para estribos, para este caso, se toma barra #3

```
A_est = [71/1000000]; % Número de barra a utilizar.
D_est2 = 9.5*0.001; % Diámetro del acero.
```

3.3- Cargas

Muerta

```
WDL = 18000; % [N/m]
```

Viva

```
WLL = 28000; % [N/m]
```

Carga concentrada No.1

```
WP1 = 60000; % [N]
```

Distancia donde se aplica la carga concentrada (L_1).

```
l_1 = 2; % [m]
```

Carga concentrada No.2

```
WP2 = 45000; % [N]
```

Distancia donde se aplica la carga concentrada (L_2).

```
l_2 = 6; % [m]
```

3.4- Mayorar cargas

Para este caso se debe tener en cuenta las combinaciones de carga según el numeral B.2.4.2 de la NSR-10 donde nos hace referencia a que el diseño de estructuras, sus componentes y cimentaciones debe hacerse de tal forma que sus resistencias de diseño igualen o excedan los efectos producidos por las cargas mayoradas en las combinaciones presentadas.

1.4 (DL)

1.2(DL) + 1.6LL

1.2 (DL) + 1.0LL

```
Wu1 = (1.4*(WDL)); % [N/m]
Wu2 = (1.2*(WDL))+(1.6*WLL); % [N/m]
Wu3 = (1.2*(WDL))+(1.0*WLL); % [N/m]
Wu_max = [Wu1 Wu2 Wu3];
Wu = max(Wu_max);
sprintf('Se tiene una carga distribuida máxima de: %0.5g [kN/m]',Wu/1000)
```

```
ans =
'Se tiene una carga distribuida máxima de: 66.4 [kN/m]'
```

Carga concentrada No.1

1.6LL

1.0LL

```
Pu1_1 = (1.6*WP1); % [N]
```

```

Pu1_2 = (1.0*WP1); % [N]

Pu_max = [Pu1_1 Pu1_2];
Pu1 = max(Pu_max);
sprintf('Se tiene una carga puntual P1 máxima de: %0.5g [kN]',Pu1/1000)

```

```

ans =
'Se tiene una carga puntual P1 máxima de: 96 [kN]'

```

Carga concentrada No.2

1.6LL

1.0LL

```

Pu2_1 = (1.6*WP2); % [N]
Pu2_2 = (1.0*WP2); % [N]

Pu_max = [Pu2_1 Pu2_2];
Pu2 = max(Pu_max);
sprintf('Se tiene una carga puntual P2 máxima de: %0.5g [kN]',Pu2/1000)

```

```

ans =
'Se tiene una carga puntual P2 máxima de: 72 [kN]'

```

3.5- Análisis estructural

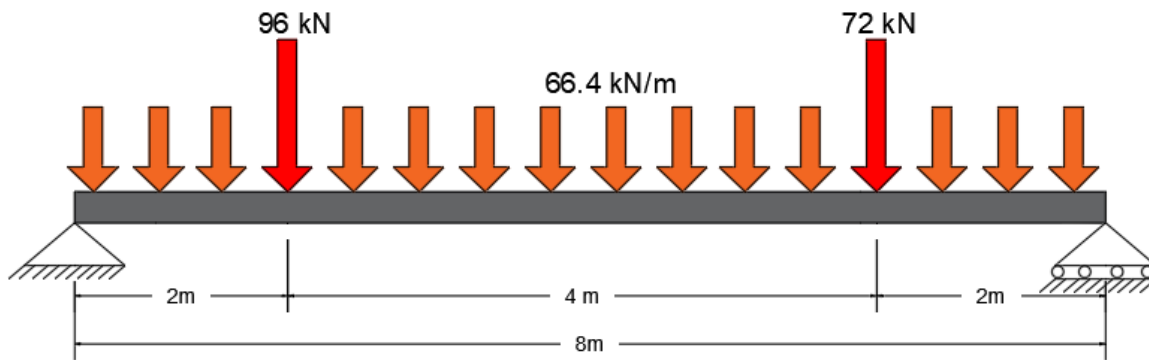


Figura No.2: Distribución de cargas mayoradas.

Puntualizar carga distribuida

$$P_u = W_u * L$$

```

Pu = Wu*(L);
sprintf('Pu: %0.5g [kN]',Pu/1000)

```

```

ans =
'Pu: 531.2 [kN]'

```

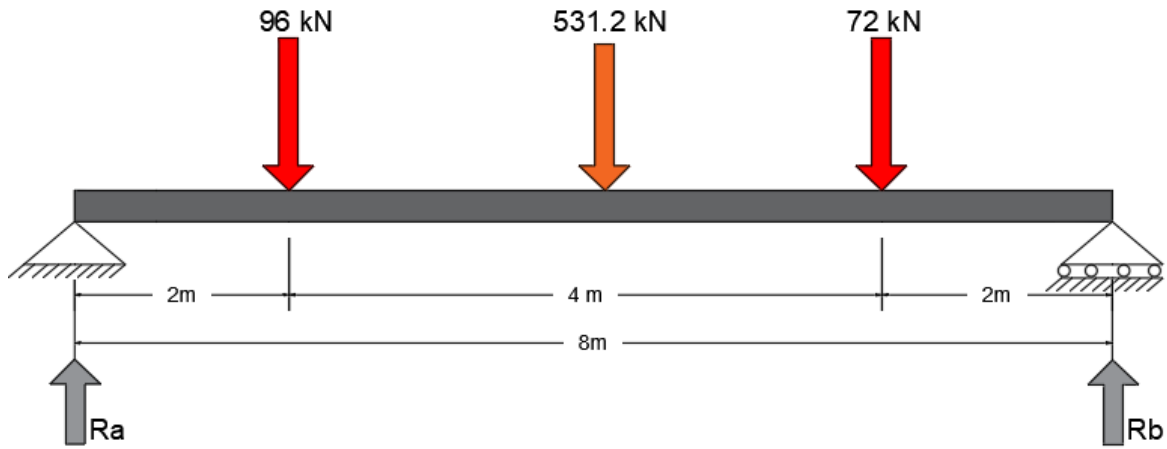


Figura No.3: Diagrama de cuerpo libre.

Sumatoria de fuerzas

$$\sum F_x = R_a + R_b - P_u - P_{u_1} - P_{u_2}$$

$$R_b = P_u + P_{u_1} + P_{u_2} - R_a$$

```
syms Ra_a
Rb_a = Pu+Pu1+Pu2-Ra_a
```

$$R_{b_a} = 699200 - R_{a_a}$$

Sumatoria de momentos

$$\sum M_A = -(P_u * L_1) - \left(P_u * \frac{L}{2} \right) - (P_{u_2} * L_2) + ((P_u + P_{u_1} + P_{u_2} - R_a) * (L)) = 0$$

```
Ecua_1 = -(Pu1*l_1)-(Pu*(L/2))-(Pu2*l_2)+((Rb_a)*(L));
Ra_1 = double(solve(Ecua_1==0));
ind = find(Ra_1>0);
Ra = Ra_1(ind);
sprintf('Valor de Ra: %0.5g [kN]',Ra/1000)
```

```
ans =
'Valor de Ra: 355.6 [kN]'
```

$$R_b = P_u + P_{u_1} + P_{u_2} - R_a$$

```
Rb = Pu+Pu1+Pu2-Ra;
sprintf('Valor de Rb: %0.5g [kN]',Rb/1000)
```

```
ans =
'Valor de Rb: 343.6 [kN]'
```

Determinar cortantes

Determinar cargas puntuales por tramos teniendo en cuenta la carga distribuida. Para tener una mejor facilidad a la hora para determinar las cortantes.

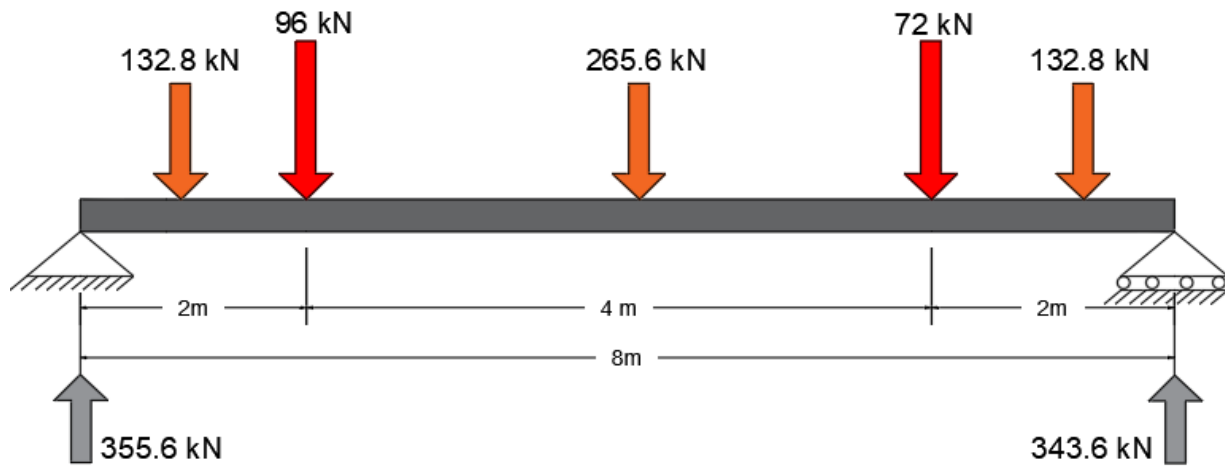


Figura No.4: Diagrama de cuerpo libre - Puntualización de cargas por tramos.

$$Pu_{1b} = Wu * L_1$$

```
Pu1_b = Wu*l_1;
sprintf('Pu1_b: %0.5g [kN]', Pu1_b/1000)
```

```
ans =
'Pu1_b: 132.8 [kN]'
```

$$Pu_b = Wu * (L_2 - L_1)$$

```
Pu_b = Wu*(l_2-l_1);
sprintf('Pu_b: %0.5g [kN]', Pu_b/1000)
```

```
ans =
'Pu_b: 265.6 [kN]'
```

$$Pu_{2b} = Wu * (L - L_2)$$

```
Pu2_b = Wu*(L-l_2);
sprintf('Pu2_b: %0.5g [kN]', Pu2_b/1000)
```

```
ans =
'Pu2_b: 132.8 [kN]'
```

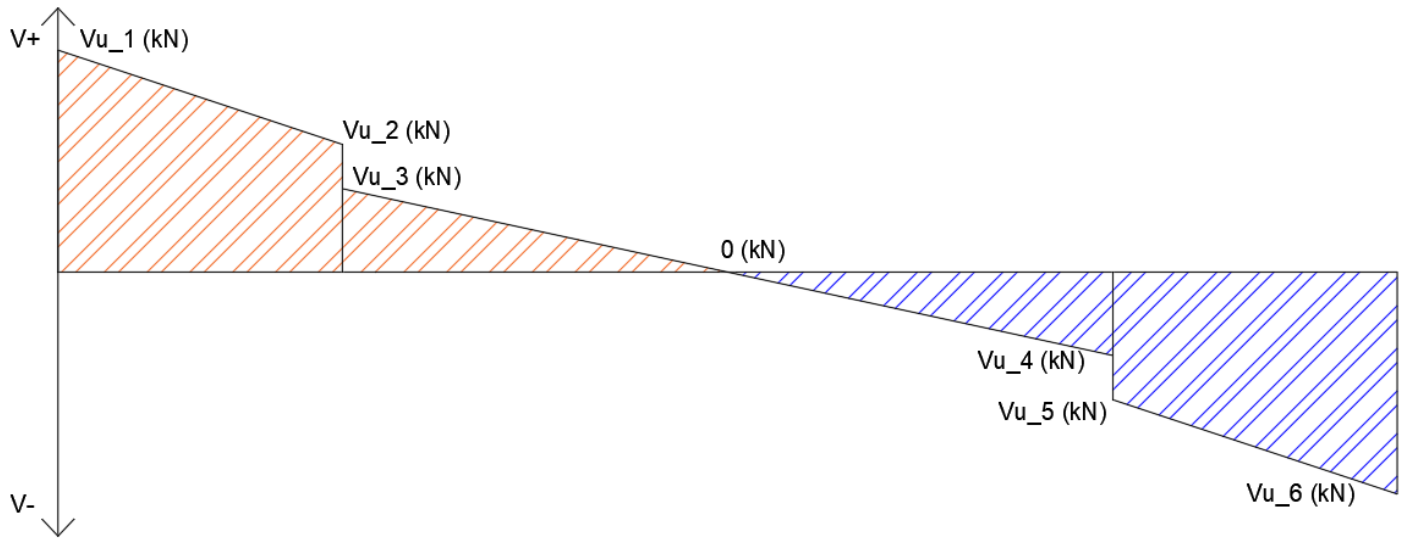


Figura No.5: Diagrama de cortante.

$$Vu_1 = Ra$$

```
Vu_1 = Ra;
sprintf('Cortante Vu1: %0.5g [kN]',Vu_1/1000)
```

```
ans =
'Cortante Vu1: 355.6 [kN]'
```

$$Vu_2 = Vu_1 - Pu_{1b}$$

```
Vu_2 = Vu_1-Pu1_b;
sprintf('Cortante Vu2: %0.5g [kN]',Vu_2/1000)
```

```
ans =
'Cortante Vu2: 222.8 [kN]'
```

$$Vu_3 = Vu_2 - Pu_1$$

```
Vu_3 = Vu_2-Pu1;
sprintf('Cortante Vu3: %0.5g [kN]',Vu_3/1000)
```

```
ans =
'Cortante Vu3: 126.8 [kN]'
```

$$Vu_4 = Vu_3 - Pu_b$$

```
Vu_4 = Vu_3-Pu_b;
sprintf('Cortante Vu4: %0.5g [kN]',Vu_4/1000)
```

```
ans =
'Cortante Vu4: -138.8 [kN]'
```

$$Vu_5 = Vu_4 - Pu_2$$

```
Vu_5 = Vu_4-Pu2;
```

```
sprintf('Cortante Vu5: %0.5g [kN]',Vu_5/1000)
```

```
ans =  
'Cortante Vu5: -210.8 [kN]'
```

$$Vu_6 = Vu_5 - Pu_{2b}$$

```
Vu_6 = Vu_5 - Pu_{2b};  
sprintf('Cortante Vu6: %0.5g [kN]',Vu_6/1000)
```

```
ans =  
'Cortante Vu6: -343.6 [kN]'
```

Envolvente

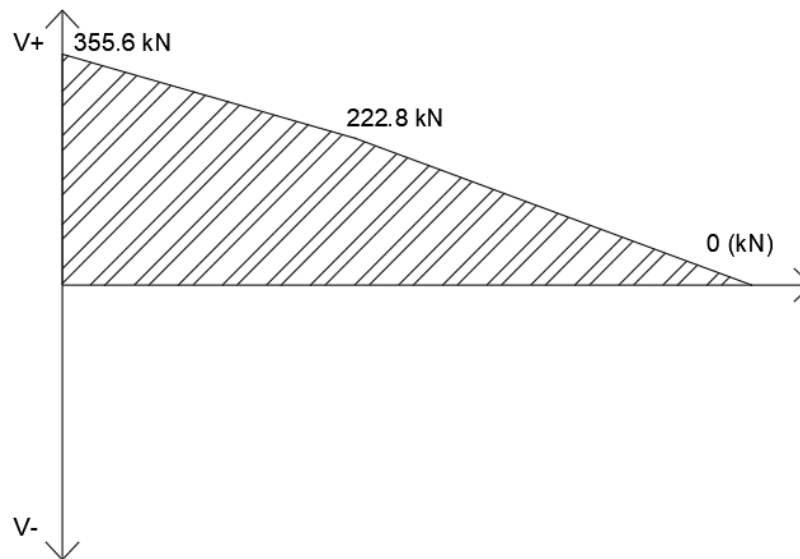


Figura No.6: Diagrama de cortante - Envolvente.

Se toma la mayor de las cortantes en cada tramo.

V_{u1}

```
Vu_1f = 355600; % [N]
```

V_{u2}

```
Vu_2f = 222800; % [N]
```

3.6- Cálculo cortante de diseño

Para determinar la cortante de diseño V_{ud} se debe calcular a una distancia d , en cuanto a está, hace referencia a la altura efectiva, que es medida desde la cara del elemento a compresión hasta el centroide del acero a tracción.

Para este caso, como ya tenemos datos de cortante provenientes del análisis estructural, se procede a determinar esta cortante ultima de diseño por medio de relación de triángulos.

$$\frac{V_{u1} - V_{u2}}{L_1} = \frac{V_{ud} - V_{u2}}{(L_1) - d}$$

Despejando V_{ud}

$$V_{ud} = \frac{(V_{u1} - V_{u2}) * ((L_1) - d)}{L_1} + V_{u2}$$

```
Vud = (((Vu_1f-Vu_2f)*((l_1)-(d)))/(l_1))+(Vu_2f);
sprintf('Cortante Vud: %0.5g [kN]',Vud/1000)
```

```
ans =
'Cortante Vud: 315.76 [kN]'
```

3.7- Cortante resistida por el concreto

Para el cálculo de la resistencia del concreto a cortante, se debe determinar por medio de la formula dada en el numeral C.11.2.1.1.

$$V_c = 0.17 * \lambda * \sqrt{f'_c} * b * d$$

El valor de $\lambda = 1$ ya que se tiene un concreto de peso normal. Ver numeral C. 8. 6. 1.

```
Vc = 0.17*1*(fc^0.5)*b*d;
sprintf('Cortante Vc: %0.5g [kN]',Vc)
```

```
ans =
'Cortante Vc: 188.91 [kN]'
```

$\phi = 75$ Para cortante según el numeral C. 9. 3. 2. 3 .

```
fi = 0.75;
```

ϕV_c

```
fi_Vc = Vc*fi;
sprintf('Cortante ØVc: %0.5g [kN]',fi_Vc)
```

```
ans =
'Cortante ØVc: 141.68 [kN]'
```

Verificamos

```
if Vud >= fi_Vc
    disp('!!!!!!! Requiere estribos !!!!!!!')
else
    disp('!!!!!!! No Requiere estribos !!!!!!!')
end
```

```
!!!!!!! Requiere estribos !!!!!!!
```


Nota: Como se puede evidenciar, el concreto a cortante solo resiste hasta 141.7 kN, de tal manera, desde 141.7 kN a 315.8 kN que es la cortante de diseño, en este sentido, la diferencia entre estas dos cortantes es la que va a resistir el acero.

3.7.1- Cálculo de $\phi V_c/2$

$$\frac{\phi V_c}{2}$$

```
fi_Vc2 = fi_Vc/2;  
sprintf('Resistencia a cortante por el concreto  $\phi V_c/2$ : %0.5g [kN]',fi_Vc2)
```

```
ans =  
'Resistencia a cortante por el concreto  $\phi V_c/2$ : 70.84 [kN]'
```

3.8- Cortante resistida por el acero

Para determinar la resistencia del acero a cortante se debe tener en cuenta que $\phi V_n \geq V_u$.

Por lo tanto:

$$\phi V_c + \phi V_s \geq V_u$$

Despejando ϕV_s :

$$V_s \geq \frac{(V_u - \phi V_c)}{\phi}$$

```
Vs = ((Vud/1000)-fi_Vc)/(fi);  
sprintf('Resistencia a cortante por el acero Vs: %0.5g [kN]',Vs)
```

```
ans =  
'Resistencia a cortante por el acero Vs: 232.11 [kN]'
```

3.9- Espaciamiento de estribos

Para determinar la separación de los estribos que irán en la zona donde resiste el acero a cortante, se debe considerar las fórmulas dadas en el numeral C11.1.1 y C.11.4.7.2 por lo tanto:

$$S = \frac{A_v * f_{yt} * d}{V_{ud} - \phi V_c}$$

Determinar el A_v

Se están utilizando estribos No.3.

Número de ramas

```
ra = 2;
```

Área de acero de cortante

$$A_v = \#ramas * A_{estribo}$$

```
Av = ra*A_est;
sprintf('El área de acero para cortante es de: %0.5g [m^2]',Av)
```

```
ans =
'El área de acero para cortante es de: 0.000142 [m^2]'
```

De tal manera que para S .

```
Sa_req = (Av*fy*d)/(Vs*1000);
sprintf('Se obtiene un espaciamiento de: %0.5g [cm]',Sa_req*100)
```

```
ans =
'Se obtiene un espaciamiento de: 15.417 [cm]'
```

Por facilidad constructiva se toma un espaciamiento de:

```
S_req = 0.15; % [m]
```

3.10- Espaciamiento máximo

Para determinar el espaciamiento límites para el acero transversal, se debe considerar lo establecido en el numeral C.11.4.5.

Cálculo de $V_{s,max}$

$$V_{s,max} = 0.33 * \sqrt{f'c} * b * d$$

```
Vs_max = 0.33*(fc^0.5)*b*d;
sprintf('Resistencia a cortante del acero máxima es de: %0.5g [kN]',Vs_max)
```

```
ans =
'Resistencia a cortante del acero máxima es de: 366.7 [kN]'
```

Por lo tanto:

```
if Vs < Vs_max
    disp('!!!!!!! Implementar caso No.1 !!!!!!!!')
else
    disp('!!!!!!! Implementar caso No.2 !!!!!!!!')
end
```

```
!!!!!!! Implementar caso No.1 !!!!!!!!
```

$$S_{max} \leq \begin{cases} \frac{d}{2} \\ 600\text{mm} \end{cases}$$

```
S_max1 = d/2;
sprintf('Espaciamiento máximo 1 es de: %0.5g [cm]',S_max1*100)
```

```
ans =
'Espaciamiento máximo 1 es de: 30 [cm]'
```

```
S_max2 = 0.6;
sprintf('Espaciamiento máximo 2 es de: %0.5g [cm]',S_max2*100)
```

```
ans =  
'Espaciamiento máximo 2 es de: 60 [cm]'
```

Se utiliza el menor

```
s_max = [S_max1 S_max2];  
S_max = min(s_max);  
sprintf('Espaciamiento máximo según la NSR-10 es de: %0.5g [cm]',S_max*100)
```

```
ans =  
'Espaciamiento máximo según la NSR-10 es de: 30 [cm]'
```

Verificar

Espaciamiento a utilizar, entre el calculado y el máximo requerido por el reglamento NSR-10 se toma el menor.

```
if S_req < S_max  
    S = S_req;  
    sprintf('Se debe utilizar un espaciamento de: %0.5g [cm]',S*100)  
else  
    S = S_max;  
    sprintf('Se debe utilizar un espaciamento de: %0.5g [cm]',S*100)  
end
```

```
ans =  
'Se debe utilizar un espaciamento de: 15 [cm]'
```

3.11- Acero mínimo a cortante

Determinar área mínima de refuerzo para cortante, para todo el elemento de concreto reforzado sometido a flexión. Esto está dado en el numeral C.11.4.6.1.

$$\frac{A_{v_{min}}}{S} \leq \begin{cases} 0.062 * \sqrt{f_c} * \frac{bw}{f_{yt}} \\ 0.35 * \frac{bw}{f_{yt}} \end{cases}$$

```
Av_min1 = ((0.062*((fc/1e6)^0.5)*b)/(fy/1e6));  
sprintf('Av mínimo No.1: %0.5g [cm^2]',Av_min1*100^2)
```

```
ans =  
'Av mínimo No.1: 2.7339 [cm^2]'
```

```
Av_min2 = ((0.35*b)/(fy/1e6));  
sprintf('Av mínimo No.2: %0.5g [cm^2]',Av_min2*100^2)
```

```
ans =  
'Av mínimo No.2: 2.9167 [cm^2]'
```

```
a_max = [Av_min1 Av_min2];  
Av_min = max(a_max);  
  
sprintf('Acero mínimo a cortante según la NSR-10 es de: %0.5g [cm^2]',Av_min*100^2)
```

```
ans =
'Acero mínimo a cortante según la NSR-10 es de: 2.9167 [cm^2]'
```

Antes de verificar se debe calcular la siguiente expresión:

$$\frac{A_v}{S_{\max}}$$

```
Av_a = Av/S_max;
sprintf('Av/s: %0.5g [cm^2]', Av_a*100^2)
```

```
ans =
'Av/s: 4.7333 [cm^2]'
```

Verificar

```
if Av_a > Av_min
    disp('!!!!!!! Si cumple con el acero mínimo !!!!!!!')
else
    disp('!!!!!!! No cumple con el acero mínimo !!!!!!!')
end
```

```
!!!!!!! Si cumple con el acero mínimo !!!!!!!
```

3.12- Localización de estribos

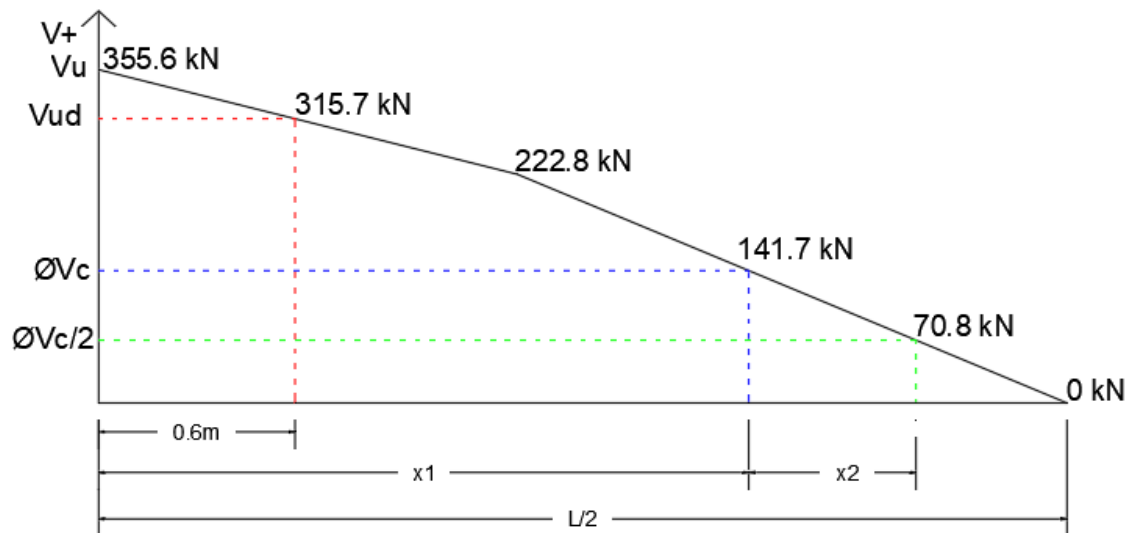


Figura No.7

Se debe determinar la longitud de la zona que resiste el acero a cortante, de igual forma para la zona que resiste el concreto, que es donde se aplica el A_v mínimo.

Determinar distancia para la zona No.1

$$\frac{V_{u2}}{L/2 - L_1} = \frac{\phi V_c}{X_a}$$

Despejando X_a :

$$X_a = \frac{(\phi V_c) * (L/2 - L_1)}{V_{u2}}$$

```
x_a = ((fi_Vc*1000)*((L/2)-l_1))/(Vu_2f);
sprintf('X: %0.5g [m]',x_a)
```

```
ans =
'X: 1.2718 [m]'
```

Por lo tanto, la distancia para la zona No.1.

$$X_1 = \frac{L}{2} - x$$

```
x_1 = (L/2)-x_a;
sprintf('Distancia para la zona No.1 es de: %0.5g [m]',x_1)
```

```
ans =
'Distancia para la zona No.1 es de: 2.7282 [m]'
```

Determinar distancia para la zona No.2

$$\frac{V_{u2}}{L/2 - L_1} = \frac{\phi V_c/2}{X_b}$$

Despejando X_b :

$$X_b = \frac{(\phi V_c/2) * (L/2 - L_1)}{V_{u2}}$$

```
x_b = ((fi_Vc2*1000)*((L/2)-l_1))/(Vu_2f);
sprintf('X: %0.5g [m]',x_b)
```

```
ans =
'X: 0.63591 [m]'
```

Por lo tanto, la distancia para la zona No.2.

$$X_2 = X_a - X_b$$

```
x_2 = x_a-x_b;
sprintf('Distancia para la zona No.1 es de: %0.5g [m]',x_2)
```

```
ans =
'Distancia para la zona No.1 es de: 0.63591 [m]'
```

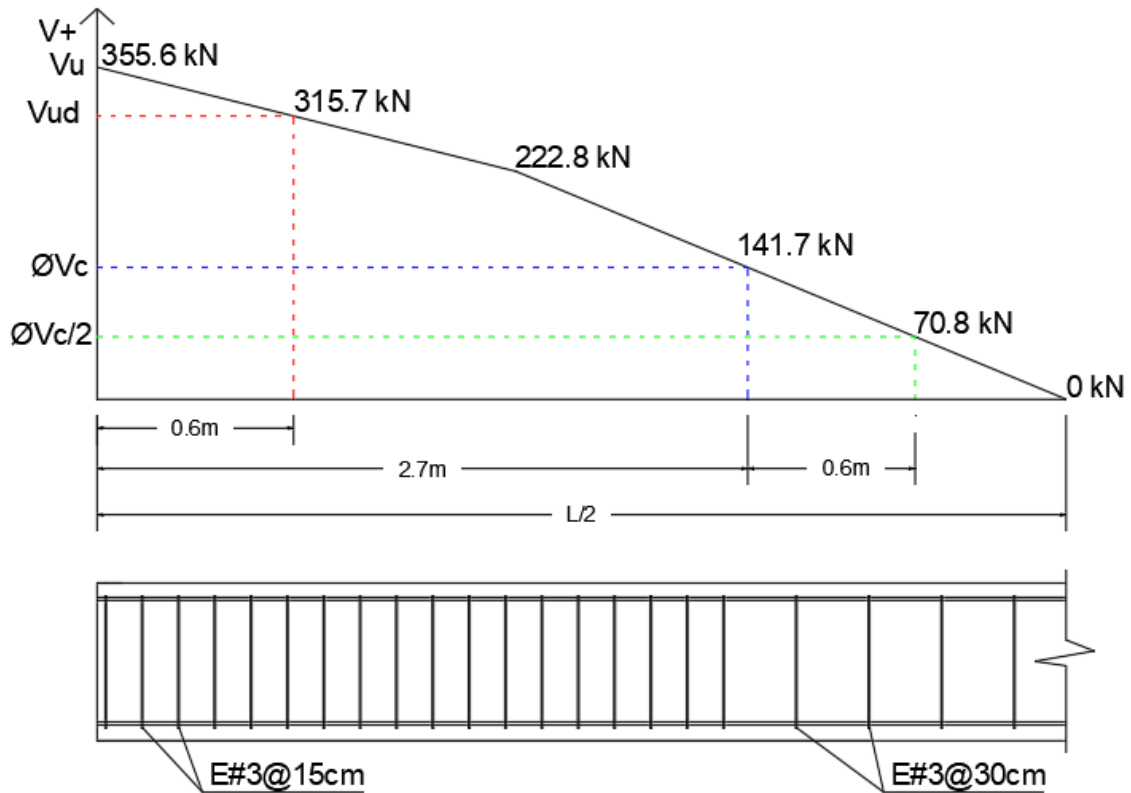


Figura No.8: Diagrama de fuerzas cortantes – despiece final.

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Ejemplo No.3: Viga rectangular en voladizo

1- Introducción

Las fallas que se producen por cortante en las vigas de concreto reforzado son distintas a las fallas que se dan por flexión. Las que se producen por cortante ocurren de manera imprevista sin dar alguna advertencia. De tal forma, estos elementos (vigas) se diseñan para que fallen a flexión bajo unas cargas mínimas a diferencia a las que pudiesen dar por la falla a cortante. De este modo, a la hora de diseñar vigas se debe tener en cuenta cada uno de los aspectos que influyen las cortantes que se producen. De acuerdo con esto, en la presente guía se dan a conocer cada uno de los parámetros que se deben tomar para el diseño a cortante para una viga en voladizo, para que así se dé una eficacia a la hora de diseñar y prevenir futuros colapsos repentinos.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de Contenido

Ejemplo No.3: Viga rectangular en voladizo.....	1
1- Introducción.....	1
2- Enunciado.....	1
3- Desarrollo.....	2
3.1- Datos de entrada.....	2
3.2- Propiedades de los materiales.....	2
3.3- Cargas.....	3
3.4- Mayorar cargas.....	3
3.5- Análisis estructural.....	4
3.6- Cálculo cortante de diseño.....	5
3.7- Cortante resistida por el concreto.....	6
3.7.1- Cálculo de $\phi V_c/2$	7
3.8- Cortante resistida por el acero.....	7
3.9- Espaciamiento de estribos.....	7
3.10- Espaciamiento máximo.....	8
3.11- Acero mínimo a cortante.....	9
3.12- Localización de estribos.....	10
4- Bibliografía.....	12

2- Enunciado

Una viga en voladizo de 5 m de luz, con sección rectangular como la que se muestra en la figura No.1, está sometida a una carga muerta uniformemente distribuida WDL de 20k N/m, a cual incluye el peso propio de la viga, y a una carga viva uniformemente distribuida WLL de 24k N/m. Adicionalmente sostiene una carga viva concentrada en el borde de la viga de 65 kN. Las cargas son de servicio $f'c = 28$ MP a (concreto de peso normal) y $f_y = 420$ MPa. Determine el refuerzo para cortante.

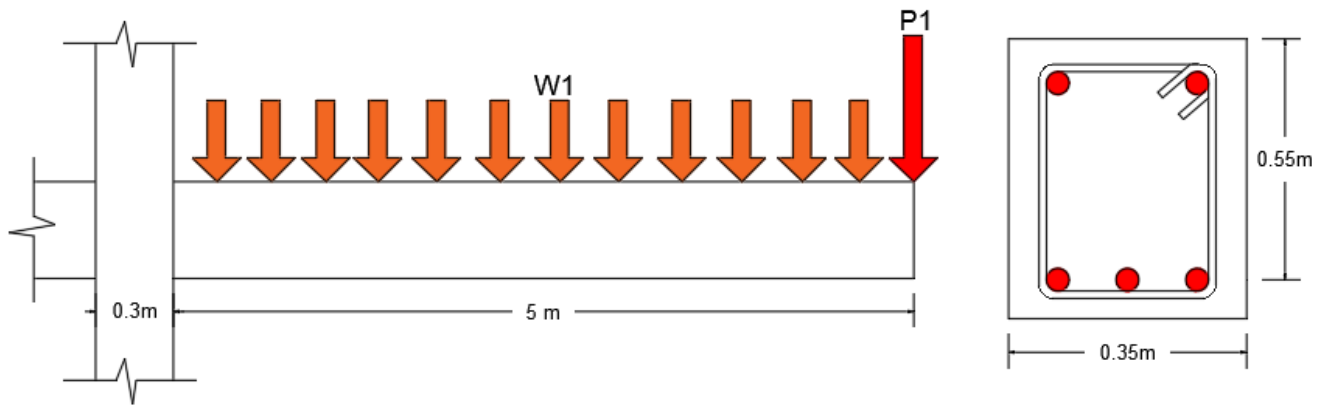


Figura No.1: Sección transversal de viga.

3- Desarrollo

3.1- Datos de entrada

Viga

Introducir medidas de base (b) y altura (d) de acuerdo con el elemento a chequear.

b = 0.35; % Base [m]
 d = 0.55; % [m]

Longitud voladizo

L = 5; % [m]

Columna

Introducir medidas de base (b) y altura (h).

b_c = 0.30; % Base [m]
 h_c = 0.30; % [m]

3.2- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada uno de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

Concreto

- Resistencia específica a la compresión.

f_c = 28e6; % [Pa]

Acero

-Resistencia específica a la fluencia.

f_y = 420e6; % [Pa]

Barra para estribos

Definimos una barra para estribos, para este caso, se toma barra #3

```
A_est = [71/1000000];           % Número de barra a utilizar.  
D_est2 = 9.5*0.001;           % Diámetro del acero.
```

3.3- Cargas

Muerta

```
WDL = 20000;                   % [N/m]
```

Viva

```
WLL = 24000;                   % [N/m]
```

Carga concentrada

```
WP1 = 65000;                   % [N]
```

3.4- Mayorar cargas

Para este caso se debe tener en cuenta las combinaciones de carga según el numeral B.2.4.2 de la NSR-10 donde nos hace referencia a que el diseño de estructuras, sus componentes y cimentaciones debe hacerse de tal forma que sus resistencias de diseño igualen o excedan los efectos producidos por las cargas mayoradas en las combinaciones presentadas.

1.4 (DL)

1.2(DL) + 1.6LL

1.2 (DL) + 1.0LL

```
Wu1 = (1.4*(WDL));             % [N/m]  
Wu2 = (1.2*(WDL))+(1.6*WLL);   % [N/m]  
Wu3 = (1.2*(WDL))+(1.0*WLL);   % [N/m]  
Wu_max = [Wu1 Wu2 Wu3];  
Wu = max(Wu_max);  
sprintf('Se tiene una carga distribuida máxima de: %0.5g [kN/m]',Wu/1000)
```

```
ans =  
'Se tiene una carga distribuida máxima de: 62.4 [kN/m]'
```

Carga concentrada

1.6LL

1.0LL

```
Pu1_1 = (1.6*WP1);             % [N]  
Pu1_2 = (1.0*WP1);             % [N]  
  
Pu_max = [Pu1_1 Pu1_2];  
Pu1 = max(Pu_max);
```

```
sprintf('Se tiene una carga puntual P1 máxima de: %0.5g [kN/m]',Pu1/1000)
```

```
ans =  
'Se tiene una carga puntual P1 máxima de: 104 [kN/m]'
```

3.5- Análisis estructural

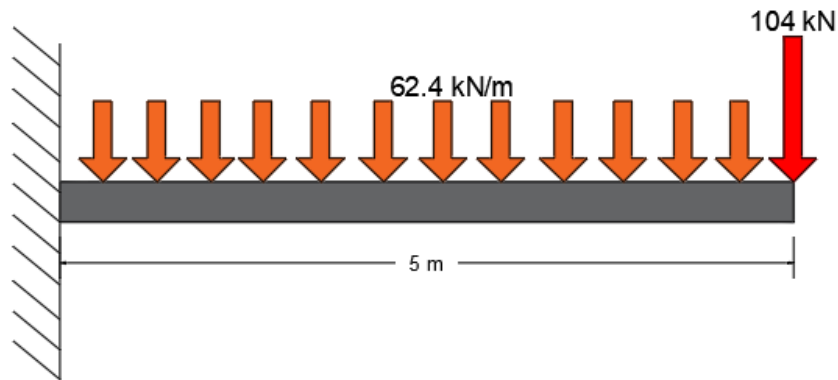


Figura No.2: Distribución de cargas mayoradas.

Puntualizar carga distribuida

$$P_u = W_u * L$$

```
Pu = Wu*(L);  
sprintf('Pu: %0.5g [kN]',Pu/1000)
```

```
ans =  
'Pu: 312 [kN]'
```

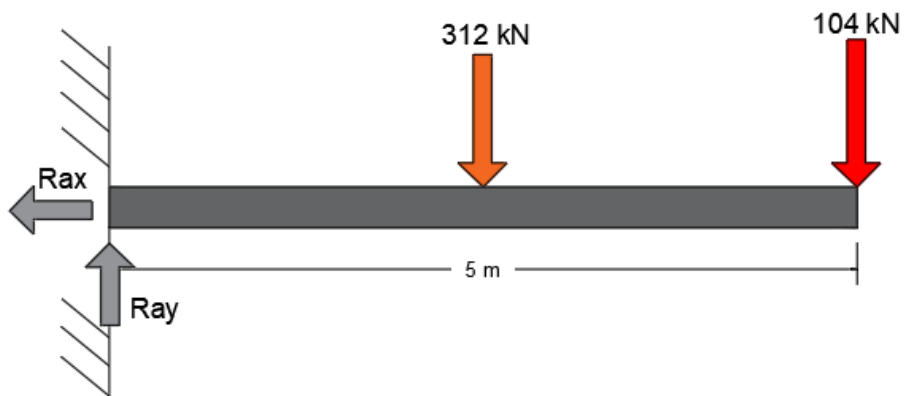


Figura No.3: Diagrama de cuerpo libre.

Sumatoria de fuerzas

$$\sum F_x = R_a - P_u - P_{u1}$$

$$R_a = +P_u + P_{u1}$$

```
Ra = Pu+Pu1;  
sprintf('Valor de Ra: %0.5g [kN]',Ra/1000)
```

```
ans =  
'Valor de Ra: 416 [kN]'
```

Determinar cortantes

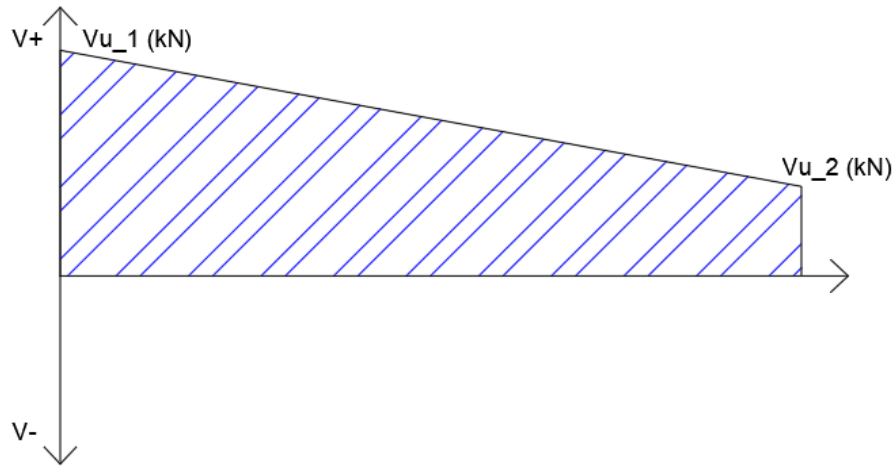


Figura No.4: Diagrama de cortante.

$$V_{u1} = R_a$$

```
Vu_1f = Ra; % [N]  
sprintf('Valor de Vu1: %0.5g [kN]',Vu_1f/1000)
```

```
ans =  
'Valor de Vu1: 416 [kN]'
```

$$V_{u2} = V_{u1} - P_u - P_{u1}$$

```
Vu_2f = Vu_1f - Pu; % [N]  
sprintf('Valor de Vu2: %0.5g [kN]',Vu_2f/1000)
```

```
ans =  
'Valor de Vu2: 104 [kN]'
```

3.6- Cálculo cortante de diseño

Para determinar la cortante de diseño se debe calcular a una distancia d medida desde la cara del apoyo, en cuanto a este caso, debemos tener en cuenta que contamos con una columna como apoyo. Por lo tanto, se debe considerar la mitad de este apoyo más la distancia efectiva.

Determinar longitud crítica.

$$d_{\text{critica}} = \frac{b_c}{2} + d$$

```
dc = (bc/2)+d;  
sprintf('Distancia critica: %0.5g [kN]',dc)
```

```
ans =  
'Distancia critica: 0.7 [kN]'
```

Para este caso, como ya tenemos datos de cortante provenientes del análisis estructural, se procede a determinar esta cortante ultima de diseño por medio de relación de triángulos.

$$\frac{V_{u1} - V_{u2}}{L} = \frac{V_{ud} - V_{u2}}{L - d_c}$$

Despejando V_{ud}

$$V_{ud} = \frac{(V_{u1} - V_{u2}) * (L - d_c)}{L} + V_{u2}$$

```
Vud = ((Vu_1f-Vu_2f)*(L-dc))/(L)+(Vu_2f);  
sprintf('Cortante Vud: %0.5g [kN]',Vud/1000)
```

```
ans =  
'Cortante Vud: 372.32 [kN]'
```

3.7- Cortante resistida por el concreto

Para el cálculo de la resistencia del concreto a cortante, se debe determinar por medio de la formula dada en el numeral C.11.2.1.1.

$$V_c = 0.17 * \lambda * \sqrt{f'_c} * b * d$$

El valor de $\lambda = 1$ ya que se tiene un concreto de peso normal. Ver numeral C. 8. 6. 1

```
Vc = 0.17*1*(fc^0.5)*b*d;  
sprintf('Cortante Vc: %0.5g [kN]',Vc)
```

```
ans =  
'Cortante Vc: 173.16 [kN]'
```

$\phi = 75$ Para cortante según el numeral C. 9. 3. 2. 3

```
fi = 0.75;
```

ϕV_c

```
fi_Vc = Vc*fi;  
sprintf('Cortante ØVc: %0.5g [kN]',fi_Vc)
```

```
ans =  
'Cortante ØVc: 129.87 [kN]'
```

Verificamos

```
if Vud >= fi_Vc  
    disp('!!!!!!! Requiere estribos !!!!!!!!')  
else  
    disp('!!!!!!! No Requiere estribos !!!!!!!!')  
end
```

```
!!!!!!! Requiere estribos !!!!!!!!
```

Nota: Como se puede evidenciar, el concreto a cortante solo resiste hasta 129.9 kN, de tal manera, desde 129.9 kN a 372.3 kN que es la cortante de diseño, en este sentido, la diferencia entre estas dos cortantes es la que va a resistir el acero.

3.7.1- Cálculo de $\phi V_c/2$

$$\frac{\phi V_c}{2}$$

```
fi_Vc2 = fi_Vc/2;  
sprintf('Resistencia a cortante por el concreto  $\phi V_c/2$ : %0.5g [kN]',fi_Vc2)
```

```
ans =  
'Resistencia a cortante por el concreto  $\phi V_c/2$ : 64.937 [kN]'
```

3.8- Cortante resistida por el acero

Para determinar la resistencia del acero a cortante se debe tener en cuenta que $\phi V_n \geq V_u$

Por lo tanto:

$$\phi V_c + \phi V_s \geq V_u$$

Despejando ϕV_s :

$$V_s \geq \frac{(V_u - \phi V_c)}{\phi}$$

```
Vs = ((Vud/1000)-fi_Vc)/(fi);  
sprintf('Resistencia a cortante por el acero Vs: %0.5g [kN]',Vs)
```

```
ans =  
'Resistencia a cortante por el acero Vs: 323.26 [kN]'
```

3.9- Espaciamiento de estribos

Para determinar la separación de los estribos que irán en la zona donde resiste el acero a cortante, se debe considerar las fórmulas dadas en el numeral C11.1.1 y C.11.4.7.2 por lo tanto:

$$S = \frac{A_v * f_{yt} * d}{V_{ud} - \phi V_c}$$

Determinar el A_v

Se están utilizando estribos No.3.

Número de ramas

```
ra = 2;
```

Área de acero de cortante

$$A_v = \#ramas * A_{estribo}$$

```
Av = ra*A_est;
sprintf('El área de acero para cortante es de: %0.5g [m^2]',Av)
```

```
ans =
'El área de acero para cortante es de: 0.000142 [m^2]'
```

De tal manera que para S

```
Sa_req = (Av*fy*d)/(Vs*1000);
sprintf('Se obtiene un espaciamiento de: %0.5g [cm]',Sa_req*100)
```

```
ans =
'Se obtiene un espaciamiento de: 10.147 [cm]'
```

Por facilidad constructiva se toma un espaciamiento de:

```
S_req = 0.10; % [m]
```

3.10- Espaciamiento máximo

Para determinar el espaciamiento límites para el acero transversal, se debe considerar lo establecido en el numeral C.11.4.5

Cálculo de $V_{s,max}$

$$V_{s,max} = 0.33 * \sqrt{f'c} * b * d$$

```
Vs_max = 0.33*(fc^0.5)*b*d;
sprintf('Resistencia a cortante del acero máxima es de: %0.5g [kN]',Vs_max)
```

```
ans =
'Resistencia a cortante del acero máxima es de: 336.14 [kN]'
```

Por lo tanto:

```
if Vs < Vs_max
    disp('!!!!!!! Implementar caso No.1 !!!!!!!')
else
    disp('!!!!!!! Implementar caso No.2 !!!!!!!')
end
```

```
!!!!!!! Implementar caso No.1 !!!!!!!
```

$$S_{max} \leq \begin{cases} \frac{d}{2} \\ 600\text{mm} \end{cases}$$

```
S_max1 = d/2;
sprintf('Espaciamiento máximo 1 es de: %0.5g [cm]',S_max1*100)
```

```
ans =
'Espaciamiento máximo 1 es de: 27.5 [cm]'
```

```
S_max2 = 0.6;
sprintf('Espaciamiento máximo 2 es de: %0.5g [cm]',S_max2*100)
```

```
ans =  
'Espaciamiento máximo 2 es de: 60 [cm]'
```

Se utiliza el menor

```
s_max = [S_max1 S_max2];  
S_max = min(s_max);  
sprintf('Espaciamiento máximo según la NSR-10 es de: %0.5g [cm]',S_max*100)
```

```
ans =  
'Espaciamiento máximo según la NSR-10 es de: 27.5 [cm]'
```

Verificar

Espaciamiento a utilizar, entre el calculado y el máximo requerido por el reglamento NSR-10 se toma el menor.

```
if S_req < S_max  
    S = S_req;  
    sprintf('Se debe utilizar un espaciamento de: %0.5g [cm]',S*100)  
else  
    S = S_max;  
    sprintf('Se debe utilizar un espaciamento de: %0.5g [cm]',S*100)  
end
```

```
ans =  
'Se debe utilizar un espaciamento de: 10 [cm]'
```

3.11- Acero mínimo a cortante

Determinar área mínima de refuerzo para cortante, para todo el elemento de concreto reforzado sometido a flexión. Esto está dado en el numeral C.11.4.6.1.

$$\frac{A_{v_{min}}}{S} \leq \begin{cases} 0.062 * \sqrt{f_c} * \frac{bw}{f_{yt}} \\ 0.35 * \frac{bw}{f_{yt}} \end{cases}$$

```
Av_min1 = ((0.062*((fc/1e6)^0.5)*b)/(fy/1e6));  
sprintf('Av mínimo No.1: %0.5g [cm^2]',Av_min1*100^2)
```

```
ans =  
'Av mínimo No.1: 2.7339 [cm^2]'
```

```
Av_min2 = ((0.35*b)/(fy/1e6));  
sprintf('Av mínimo No.2: %0.5g [cm^2]',Av_min2*100^2)
```

```
ans =  
'Av mínimo No.2: 2.9167 [cm^2]'
```

```
a_max = [Av_min1 Av_min2];  
Av_min = max(a_max);  
  
sprintf('Acero mínimo a cortante según la NSR-10 es de: %0.5g [cm^2]',Av_min*100^2)
```

```
ans =
'Acero mínimo a cortante según la NSR-10 es de: 2.9167 [cm^2]'
```

Antes de verificar se debe calcular la siguiente expresión:

$$\frac{A_v}{S_{\max}}$$

```
Av_a = Av/S_max;
sprintf('Av/s: %0.5g [cm^2]', Av_a*100^2)
```

```
ans =
'Av/s: 5.1636 [cm^2]'
```

Verificar

```
if Av_a > Av_min
    disp('!!!!!!! Si cumple con el acero mínimo !!!!!!!')
else
    disp('!!!!!!! No cumple con el acero mínimo !!!!!!!')
end
```

```
!!!!!!! Si cumple con el acero mínimo !!!!!!!
```

3.12- Localización de estribos

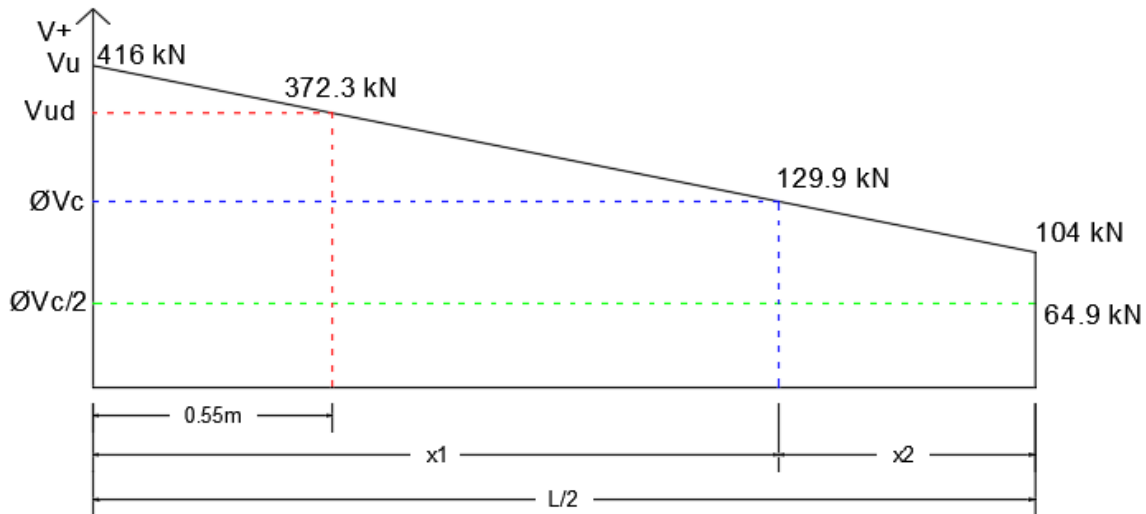


Figura No.5

Se debe determinar la longitud de la zona que resiste el acero a cortante, de igual forma para la zona que resiste el concreto, que es donde se aplica el Av mínimo.

Determinar distancia para la zona No.1

$$\frac{V_{u1} - V_{u2}}{L} = \frac{\phi V_c - V_{u2}}{X_a}$$

Despejando X_a :

$$X_a = \frac{(\phi V_c - V_{u2}) * (L)}{V_{u1} - V_{u2}}$$

```
x_a = (((fi_Vc*1000)-Vu_2f)*(L))/(Vu_1f-Vu_2f);
sprintf('X: %0.5g [m]',x_a)
```

```
ans =
'X: 0.41464 [m]'
```

Por lo tanto, la distancia para la zona No.1

$$X_1 = L - X_a$$

```
x_1 = L-x_a;
sprintf('Distancia para la zona No.1 es de: %0.5g [m]',x_1)
```

```
ans =
'Distancia para la zona No.1 es de: 4.5854 [m]'
```

Determinar distancia para la zona No.2

Por lo tanto, la distancia para la zona No.2

$$X_2 = L - X_1$$

```
x_2 = L-x_1;
sprintf('Distancia para la zona No.1 es de: %0.5g [m]',x_2)
```

```
ans =
'Distancia para la zona No.1 es de: 0.41464 [m]'
```

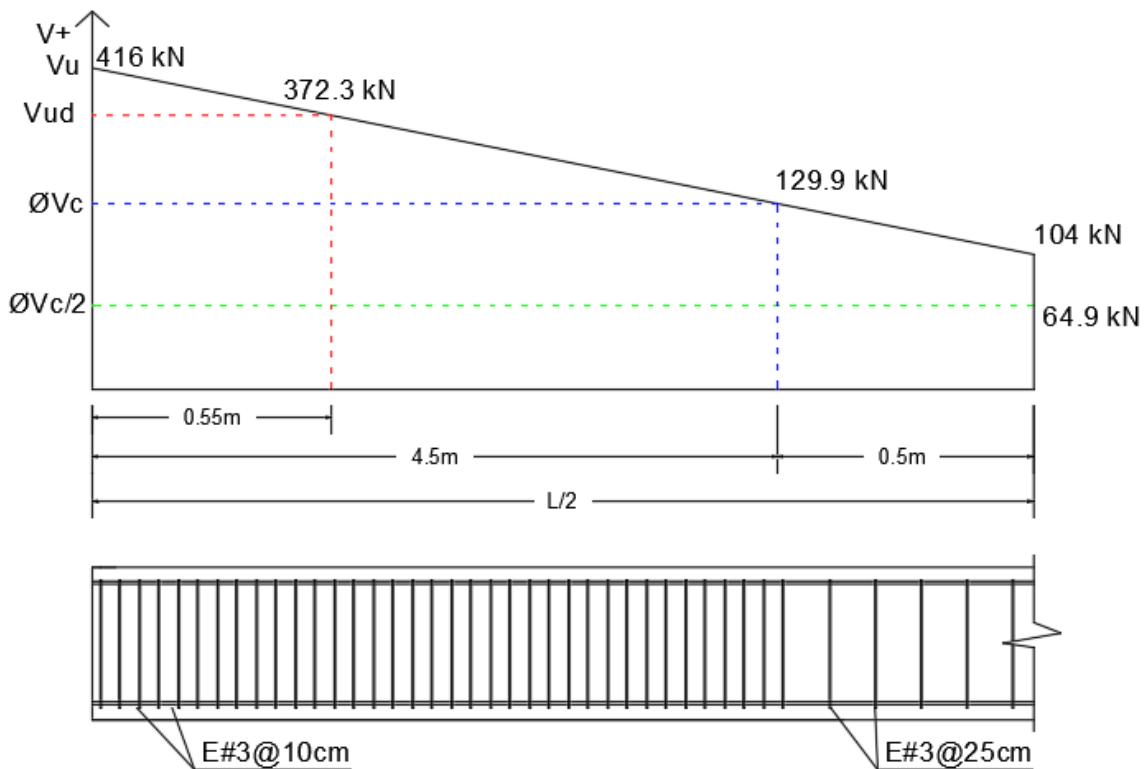


Figura No.6: Diagrama de fuerzas cortantes – despiece final.

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Enunciado

```
clc, clear, close all, format short
```

Determine el refuerzo para cortante para una viga simplemente apoyada de 7 m de luz, con sección transversal T como la que se muestra en la figura No.1 expuesta la interperie está sometida a una carga muerta uniformemente distribuida WDL de 15 kN/m, a cual no incluye el peso propio de la viga, y a una carga viva uniformemente distribuida WLL de 24 k N/m. Adicionalmente sostiene dos cargaas vivas concentradas P1 de 55 kN y P2 de 40 kN. Las cargas son de servicio. $f'c = 25$ MPa (concreto de peso normal) y $f_y = 420$ MPa. Considere barras No.3 para estribos.

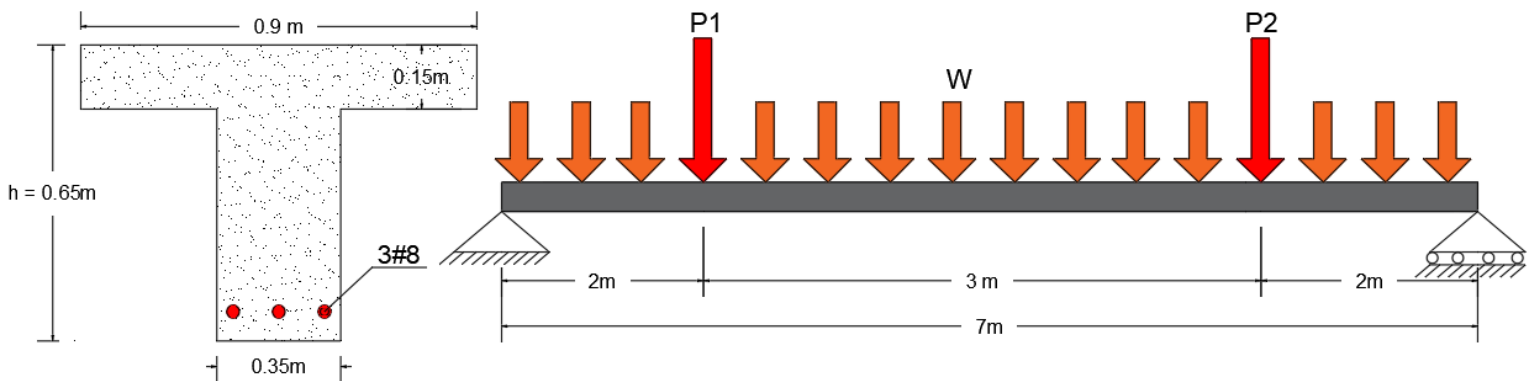


Figura No.1

F. Anexo: Guía adherencia y anclaje de refuerzo.

Longitud de desarrollo y empalme del refuerzo

1- Introducción

La longitud de desarrollo es la longitud mínima de una barra de acero corrugada donde se transfiere por medio de un empotramiento la fuerza máxima de tracción hacia el concreto. Por lo tanto, logra que el acero se transfiera a toda su fuerza. Junto a este a lo largo del refuerzo se debe implementar un empalme que garantice la resistencia a los esfuerzos que se le aplique al elemento, en este caso sería una viga. Tal es el caso, en la presente guía se muestra de manera detallada cada uno de los parámetros establecidos por la normativa NSR-10 acerca de cómo determinar la longitud de desarrollo y empalme de refuerzo para una viga.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de Contenido

Longitud de desarrollo y empalme del refuerzo.....	1
1- Introducción.....	1
2- Aspectos teóricos.....	1
2.1- Longitud de desarrollo.....	1
2.2- Empalme de barras.....	11
3- Ejemplo No.1.....	12
4- Desarrollo.....	12
4.1- Datos de entrada.....	12
4.2- Propiedades de los materiales.....	12
4.3- Recubrimiento.....	13
4.4- Barra para estribos.....	13
4.5- Barras longitudinales.....	13
4.6- Cálculo de	13
4.7 - Cálculo de los factores de modificación.....	14
4.8- Cálculo de	15
4.9- Longitud de desarrollo asumiendo $K_r = 0$	17
4.10- Longitud de desarrollo calculando el valor de K_r	17
5- Bibliografía.....	18

2- Aspectos teóricos

2.1- Longitud de desarrollo

Se define como la longitud a la que debe estar el refuerzo inmerso dentro del concreto, para que exista una correcta transmisión de esfuerzos entre el concreto y el refuerzo dados en una sección crítica. De tal manera, para el refuerzo a tracción o compresión que se han determinado, esta longitud se debe desarrollar en cada lado, ya sea por medio de gancho estándar, varilla terminada en cabeza o de un anclaje mecánico (Pardo, 2021).

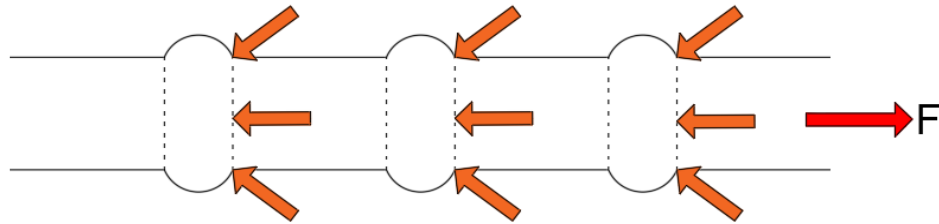


Figura No.1.

La gran parte de la adherencia es aportada por el concreto, ya que este es aplastado por las cuñas que están alrededor de las barras y esto evita que se deslice. De tal forma, las barras deben de disponer de una longitud adecuada para que la suma de las resistencias dadas por la adherencia sea mayor que la fuerza requerida para hacer fluir el refuerzo (Pardo, 2021).

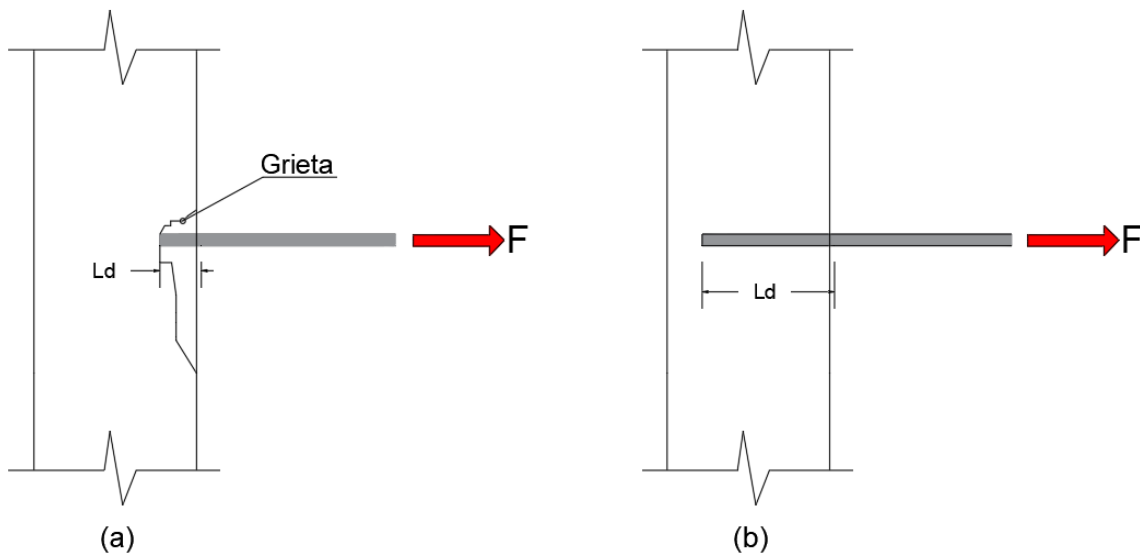


Figura No.2.

Teniendo en cuenta esta idea, se puede evidenciar en la figura No.2 donde se dan dos situaciones posibles de dos barras que están inmersas en el hormigón. Estas cuentan con las mismas características, pero lo único que varía es la longitud que están adheridas al concreto, por lo que la falla de los materiales estará en función de la distancia empotrada dentro del concreto (Pardo, 2021).

Para el primer caso, se observa que tiene poca longitud de empotramiento dentro del concreto, por lo que el material que fallará será el concreto por la corta distancia que tiene el refuerzo para transferir el esfuerzo. El segundo caso, se evidencia que el refuerzo está empotrado a una distancia considerable, de tal forma el concreto en esta situación es capaz de transferir adecuadamente los esfuerzos desde la barra hacia el concreto (Pardo, 2021).

A- Longitud de desarrollo de barras corrugadas a tracción

En el reglamento NSR-10 específicamente en el numeral C.12.2 nos indica que parámetros debemos considerar para determinar la longitud de desarrollo para barras que son corrugadas y que actúan a tracción. A continuación, se muestra la forma general para determinar la longitud requerida.

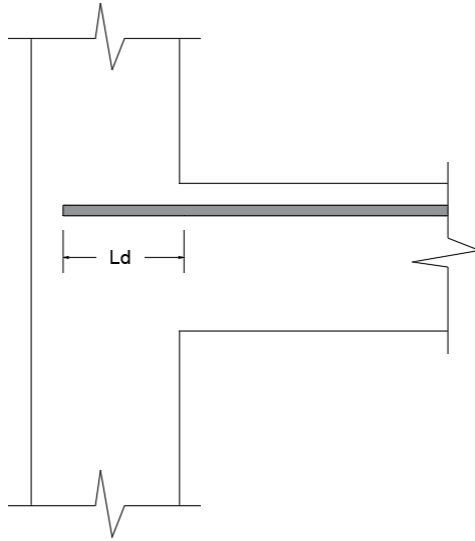


Figura No.3: Longitud de desarrollo.

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1.1 * \lambda * \sqrt{f'_c}} * \frac{\psi_t * \psi_e * \psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) * d_b$$

Por lo que:

- d_b = Diámetro de la barra longitudinal.
- λ = Factor de modificación que tiene en cuenta las propiedades del concreto.
- ψ_t = Factor de modificación con base en la localización del refuerzo.
- ψ_c = Factor de modificación con base en el revestimiento del refuerzo.
- ψ_s = Factor de modificación con base al tamaño del refuerzo.
- c_b = Menor de la distancia medida del centro de una barra a a la superficie más cercana del concreto, o la mitad de la separación centro a centro de las barras.

Tener en cuenta que en el numeral C.12.2.3 manifiesta que el término $(c_b + k_{tr})/d_b$ no debe tomarse mayor a 2.5

Para determinar el valor de $k_{tr} = \frac{40 * A_{tr}}{sn}$

Tener en cuenta que:

- A_{tr} = Área total del refuerzo transversal.
- n = Número de barras que se desarrolla.
- S = Espaciamiento de estribos.

Para determinar los factores de modificación ψ_s , ψ_c y ψ_e se debe tener en cuenta lo establecido en el numeral C.12.2.4

- Para el factor de localización del refuerzo se debe considerar que cuando se coloca más de 300 mm de concreto fresco por de bajo de las varillas analizadas (ver figura No.4 a) se debe utilizar $\psi_t = 1.3$ y para otras situaciones $\psi_t = 1.0$
- Cuando las barras con recubrimiento epóxico son menores a $3 d_b$ o una separación libre menor que $6 d_b$ se debe usar $\psi_e = 1.5$. Para todas las otras barras con recubrimiento epóxico $\psi_e = 1.2$. Las barras que no contiene recubrimiento epóxico $\psi_e = 1.0$.

Sin embargo; la multiplicación entre ψ_t y ψ_e debe ser menor o igual a 1.7 .

$$\psi_t * \psi_e \leq 1.7$$

- El factor de modificación que esta relacionado con el tamaño del refuerzo, en el momento que se tiene barras No.6 o menores $\psi_s = 0.8$ y para barras No.7 o mayores $\psi_s = 1.0$.

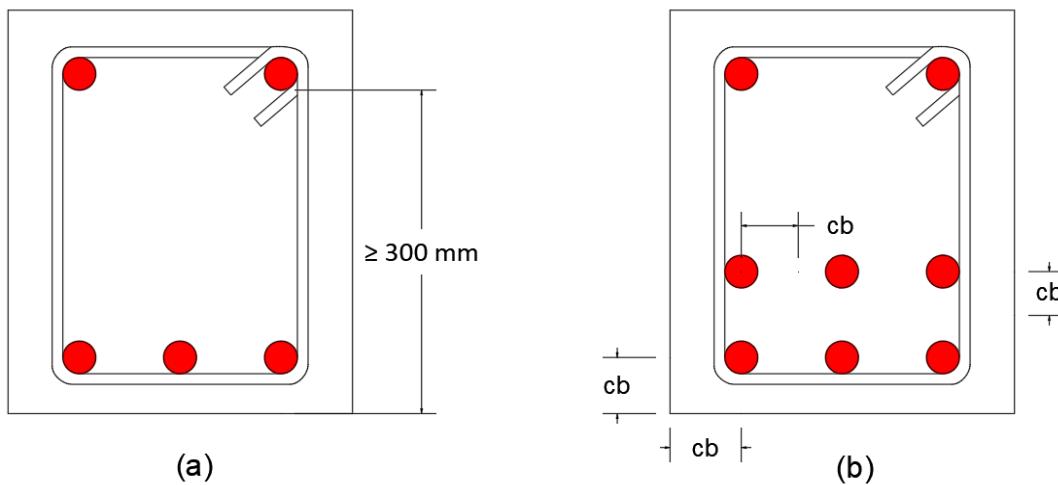


Figura No.4.

Como se observa, para poder determinar la longitud de desarrollo con la formula anterior se vuelve bastante tediosa, ya que son demasiadas variables. Tal es el caso, esta fórmula es muy poco usada. Pero el reglamento hace una salvedad, y permite utilizar unas formulas simplificadas, donde algunas variables se pueden cancelar en ciertas situaciones típicas de construcción. Es por esto que a continuación se especificaran cada uno de los casos para determinada formula reducida.

Caso No.1

Espaciamiento libre entre barras que se desarrollan y el recubrimiento libre de ambos son mayores o igual que el diámetro de la barra longitudinal y que se colocan estribos a lo largo de la longitud de desarrollo.

Caso No.2

El espacio libre entre barras que se están desarrollando es mayor o igual a $2d_b$ y el recubrimiento libre es mayor o igual al d_b .

Caso No.3

Cuando no se cumple ninguno de los casos anteriores.

Caso	Ilustración	Barras No.6 o menores	Barras No.7 o mayores
No.1		$l_d = \left(\frac{f_y * \Psi_t * \Psi_e}{2.1 * \lambda * \sqrt{f'c}} \right) * d_b$	$l_d = \left(\frac{f_y * \Psi_t * \Psi_e}{1.7 * \lambda * \sqrt{f'c}} \right) * d_b$
No.2			
No.3	No aplica.	$l_d = \left(\frac{f_y * \Psi_t * \Psi_e}{1.4 * \lambda * \sqrt{f'c}} \right) * d_b$	$l_d = \left(\frac{f_y * \Psi_t * \Psi_e^\lambda}{1.1 * \lambda * \sqrt{f'c}} \right) * d_b$

Tabla No.1.

B- Longitud de desarrollo de barras a compresión

Para el acero que se encuentra a la zona de compresión, debe tener una longitud de desarrollo diferente al de las barras a tracción, de tal forma en el numeral C.12.3 menciona que se debe calcular a partir de:

$$l_{d_c} = \begin{cases} \left(\frac{0.24 * f_y}{\lambda * \sqrt{f'c}} \right) * d_b \\ (0.043 * f_y) * d_b \end{cases}$$

Sin embargo, l_{d_c} no debe ser menor de 200 mm.

Se da la salvedad en la que l_{d_c} se puede reducir a 0.75 si el estribo es No.4 o mayor y si el espaciamiento es menor o igual a 10 cm.

C- Anclaje de refuerzo

En muchas de las construcciones y más a la hora de diseñar, se pueden dar situaciones en las que una sección que está muy cerca de un extremo discontinuo, en este caso, a la hora de calcular la longitud de desarrollo por el método anterior no es suficiente, en consecuencia, el acero quedaría “volando” y constructivamente esto no es permitido y es ahí donde se da el anclaje de refuerzo. Para estas circunstancias se dan tres tipos de anclajes permitidos (Pardo, 2021).

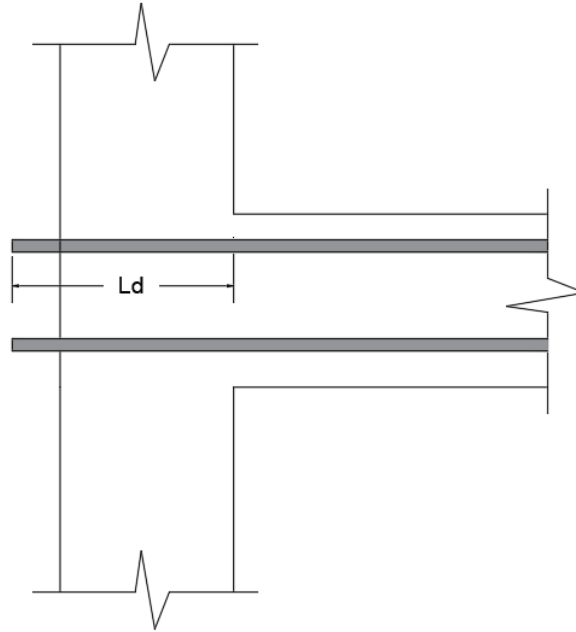


Figura No.5.

Tipos de anclaje:

- Gancho estandar.
- Barra terminada en cabeza.
- Anclaje mecanico.

Ahora bien, entre estos tres tipos de anclaje el más económico es el gancho estándar, por lo tanto:

Gancho estándar

Los ganchos estándar pueden colocarse tanto en barras longitudinales y como en estribos. Este tipo de gancho se efectúa en tres tipos de dobles, se tiene el de 90°, 135° y 180°. La longitud del gancho varía según su ángulo y el diámetro de la barra. Estos ganchos permiten que el acero y el concreto se adhieran de una mejor forma (McCormac & Brown, 2011).

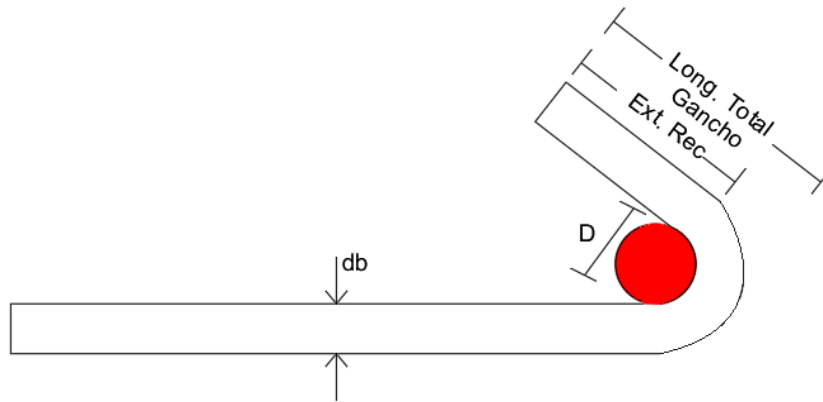


Figura No.6: Gancho estándar.

- Barras longitudinales, según el numeral C.7.1 y C.7.2 .

Análisis de dobles	Barras	Diámetro de dobles	Extensión recta	Long. total del gancho.
90°	No.3 a No.8	$6d_b$	$12d_b$	$16d_b$
	No.9 a No.11	$8d_b$	$12d_b$	$17d_b$
180°	No.3 a No.8	$6d_b$	$4d_b \geq 65mm$	$8d_b \geq 4d_b + 65mm$
	No.9 a No.11	$8d_b$	$4d_b \geq 65mm$	$9d_b \geq 5d_b + 65mm$

Tabla No.2.

- Barras para estribos, según el numeral C.7.1 y C.7.2 .

Análisis de dobles	Barras	Diámetro de dobles	Extensión recta	Long. total del gancho.
90°	No.3 a No.5	$4d_b$	$6d_b$	$9d_b$
135°	No.3 a No.5	$4d_b$	$6d_b$	$9d_b$

Tabla No.3.

Gancho sísmico

Análisis de dobles	Barras	Diámetro de dobles	Extensión recta	Long. total del gancho.
135°	No.3 a No.8	$4d_b$	$6d_b \geq 75mm$	$9d_b \geq 5d_b + 75mm$

Tabla No.4.

D- Longitud de desarrollo para gancho estándar

La longitud de desarrollo para ganchos estándar se le denomina l_{d_h} , esta se mide desde la sección crítica hasta el extremo exterior o borde del gacho, como se muestra en la figura No.7 Esta se debe calcular de acuerdo al numeral C.12.5.2.

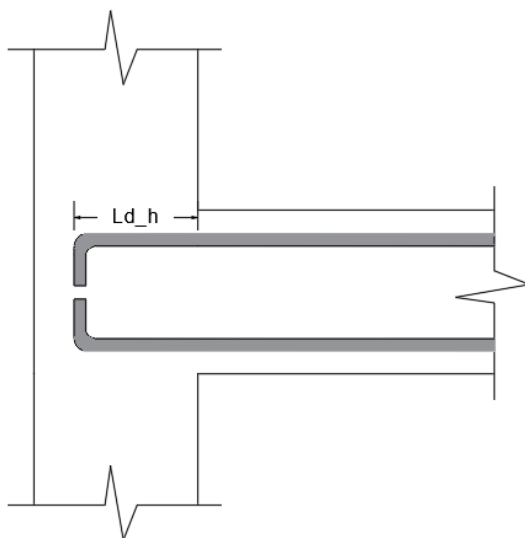


Figura No.7: Longitud de desarrollo para gancho estándar.

$$l_{d_h} = \frac{0.24 * \psi_e * f_y * d_b}{\lambda * \sqrt{f'_c}} * (\psi_r * \psi_c)$$

Lo anterior no debe ser mayor de $8d_b$ y 150 mm.

- ψ_e = Factor de modificación con base en el revestimiento del refuerzo. Para barras con recubrimiento epóxico 1.2 y para barras sin recubrimiento 1.0 .

La longitud de desarrollo para gancho estándar l_{d_h} se puede multiplicar por dos factores, pero se tiene que cumplir algunos requisitos según lo establecido en el numeral C.12.5.3:

a- Recubrimiento mínimo

Para ganchos de barras No.11 (1-2/8”), 32M (32mm) y menores, con recubrimiento lateral (normal al plano del gancho) no menor de 65mm y para ganchos de 90°, con recubrimiento en la extensión de la barra más allá del gancho no menor de 50 mm (ver figura No.8) . Si se cumple lo anterior, para el factor de modificación se tendrá un valor de $\psi_c = 0.7$.

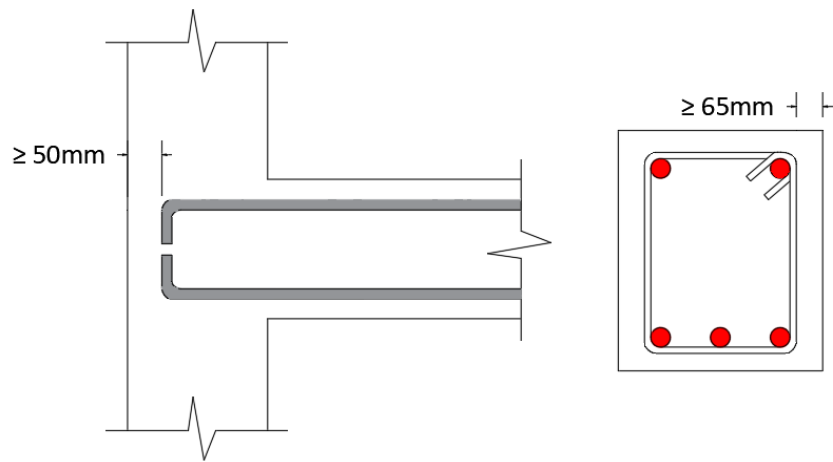


Figura No.8

b- Espaciamiento máximo entre estribos perpendiculares

Para ganchos de 90° de barras No.11 (1-1/8”), 32M (32mm) y menores que se encuentre confinados por estribos perpendiculares a la barra que se está desarrollando a lo largo de l_{dh} a no más de $3d_b$. Además, se debe tener en cuenta según lo establecido en el comentario CR12.5 donde indica que el espaciamiento del primer estribo desde extremo del gancho debe ser no mayor de $2d_b$. De ser acertado lo anterior, para el factor de modificación se tendrá un valor de $\psi_r = 0.8$.

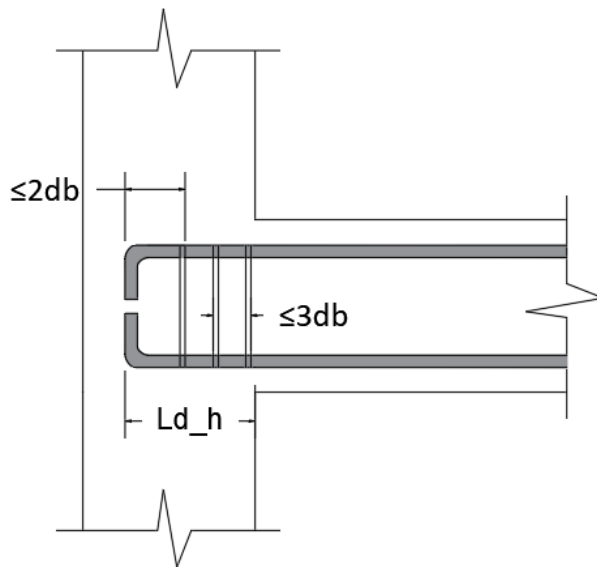


Figura No.9.

c- Espaciamiento máximo entre estribos paralelos

Para ganchos de 90° de barras No.11 (1-1/8”), 32M (32mm) y menores que se encuentre rodeado con estribos paralelos a la barra que se está desarrollando y espacios no mas de $3d_b$ a lo largo de la longitud de desarrollo del extremo del gancho más el dobles. Además, se debe tener en cuenta según lo establecido en el comentario CR12.5 donde indica que el espaciamiento del primer estribo desde extremo del gancho debe ser no mayor de $2d_b$. Para el factor de modificación se tendrá un valor de $\psi_r = 0.8$.

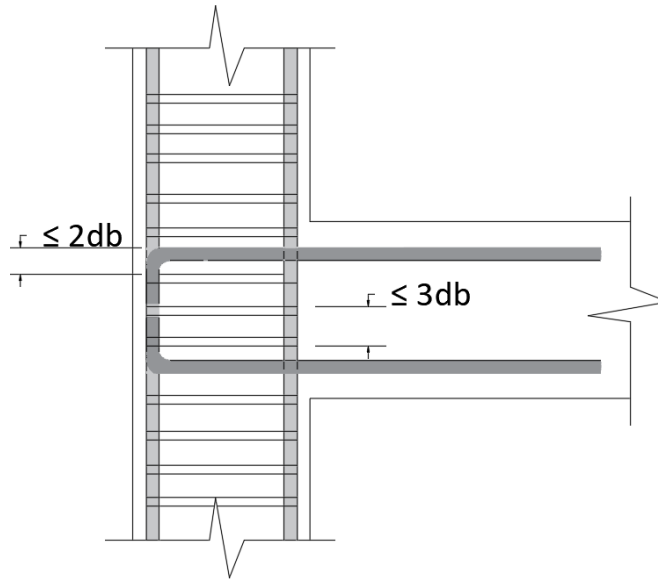


Figura No. 10.

d- Espaciamiento máximo de estribos para ganchos a 180°

Para ganchos de 180° de barras No.11 (1-3/8") o de 36M (36mm) y menores que se encuentran confinados con estribos perpendiculares a la barra que se esta desarrollando, espaciados no mas de $3d_b$ a lo largo de ld_h . Para el factor de modificación se tendrá un valor de $\psi_r = 0.8$.

e- Espaciamiento máximo de estribos perpendiculares a la barra en un extremo discontinuo.

En el numeral C.12.5.4 menciona que para barras que son desarrolladas mediante un gancho estándar en extremos discontinuos de elementos con recubrimiento sobre el gancho de menos de 65 mm en ambos lados y en el borde superior o inferior, la barra con el gancho se debe confinar con estribos, perpendicular a la barra en desarrollo, espaciados en no mas de $3d_d$ a lo largo de Ld_h . El primer estribo debe confinar la parte doblada del gancho dentro de $2d_b$ del exterior del dobléz. En este caso no deben aplicarse los factores de los caso b,c y d.

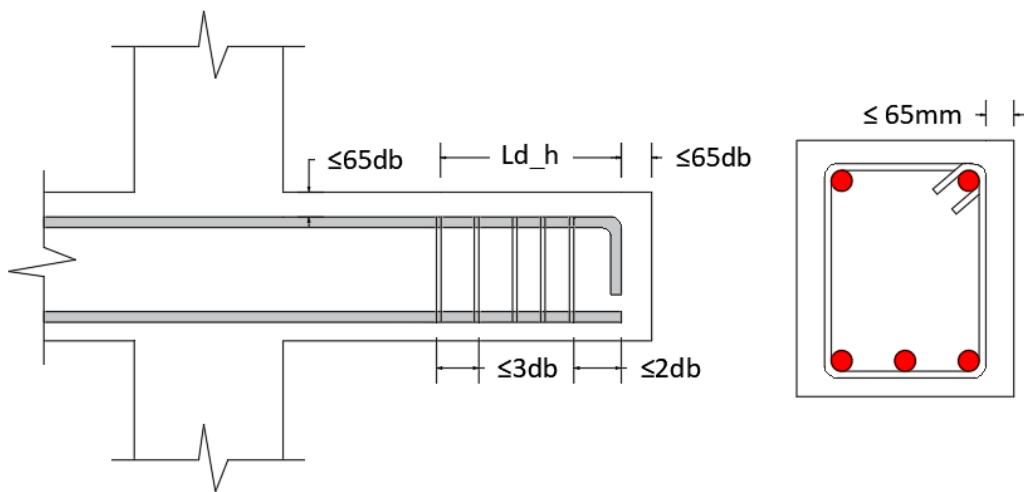


Figura No. 11.

Cabe recalcar que el reglamento en el numeral C.12.5.5 aclara que los ganchos no deben considerarse efectivos para el desarrollo de barras en compresión.

2.2- Empalme de barras

Los refuerzos que se colocan en las estructuras de concreto, en especial el longitudinal que actúa a tracción o compresión no siempre son continuos, en muchas oportunidades se tienen que unir las barras para alcanzar la distancia necesaria, ya que las barras en el mercado son de 6, 9 y 12 metro de longitud. Para esto se debe optar por un empalme que garantice la resistencia a los esfuerzos que se le aplique (McCormac & Brown, 2011).

Tipos de empalme

- Traslapo
- Soldadura
- Mecánico

Empalmes por traslapo

El reglamento en el numeral C.12.14.2.1 indica que solo se permite hacer empalmes por traslapo para barras menores a la No.11.

En elementos sometidos a flexión las barras empalmadas por traslapo que no quedan en contacto entre si no deben separarse transversalmente a menor de 1/5 de la longitud de empalme por traslapo requerido o 150 mm (C.12.14.2.3).

Empalme de barras corrugadas a tracción

En el C.12.5.1 mencionan el reglamento que la longitud mínima del empalme por traslapo en tracción debe ser la requerida para empalmes por traslapo clase A o B, pero estas no deben ser menor que 300 mm.

Empalme	Longitud de traslapo
Clase A	$l_t = 1.0 * l_d$
Clase B	$l_t = 1.3 * l_d$

Tabla No.5.

Traslapo clase A

Según el numeral C.12.15.2 solo se pueden aplicar traslapos clase A cuando en la zona de empalme se cumpla lo siguiente:

- El área del refuerzo proporcionada es al menos el doble que la requerida por análisis a todo lo largo del empalme por traslapo.
- Se traslape máximo el 50% del refuerzo total en la zona.

En caso de no cumplir lo anterior, se aplica el caso B.

Empalme de barras corrugadas a compresión

Lo establecido en el numeral C.12.16 indica que para la longitud de empalme por traslapeo en compresión debe ser:

Longitud de traslapeo a compresión	Condición
$l_{t_c} = 0.71 * f_y * d_b$	$f_y \leq 420 \text{ Mpa}$
$l_{t_c} = (0.13 - 24) * d_b$	$f_y > 420 \text{ Mpa}$

Tabla No.6

Tener en cuenta que l_{t_c} no debe ser menor que 300 mm.

3- Ejemplo No.1

Determinar la longitud de desarrollo requerida para las barras No.8 como se muestra en la figura No.12 no recubiertas con epoxico ni expuesta a la interperie. Suponiendo concreto de peso normal, $f_y = 420 \text{ MPa}$, $f'_c = 21 \text{ MPa}$.

- Utilice la formula general asumiendo $K_r = 0$.
- Utilice la formula general calculando el valor de K_r .

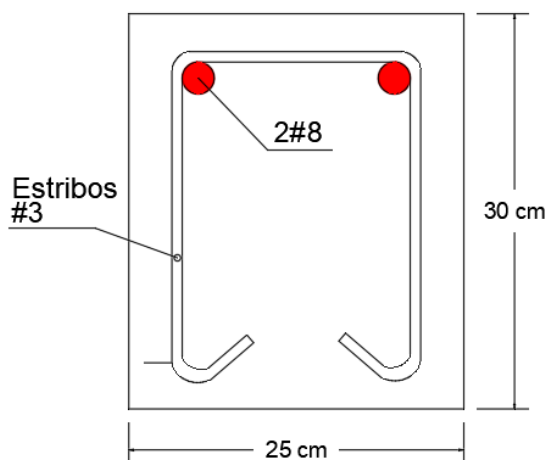


Figura No.12.

4- Desarrollo

4.1- Datos de entrada

Introducir medidas de base (b) y altura (h) de acuerdo con el elemento.

b =	0.25;	% Base [m]
h =	0.30;	% Altura [m]

4.2- Propiedades de los materiales

4.2.1 Resistencia especifica

Ingresar el valor correspondiente a cada una de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

- Compresión del concreto.

```
fc = 21e6; % [Pa]
```

- Fluencia del acero.

```
fy = 420e6; % [Pa]
```

4.2.2- Cálculo del factor de modificación con respecto a las propiedades del concreto λ

Seleccione el tipo de concreto.

```
landa =1;
```

4.3- Recubrimiento

```
re = 50*0.001; % [mm]
sprintf('El recubrimiento es de: %0.5g [m]',re)
```

```
ans =
'El recubrimiento es de: 0.05 [m]'
```

4.4- Barra para estribos

```
A_est = [71/1000000]; % Número de barra a utilizar.
D_est = 9.5*0.001; % Diámetro del acero.
```

Espaciamiento

```
S_est = 0.15; % Cantidad de barras a utilizar.
```

4.5- Barras longitudinales

Especificaciones del acero.

```
bar = [510/1000000]; % Número de barra longitudinal.
D_bar = 25.4*0.001; % Diámetro del acero longitudinal.
```

Cantidad de barras

```
N_bar =2; % Cantidad de barras a utilizar.
```

4.6- Cálculo de d

Con los valores de recubrimiento y No. de barras se puede determinar la distancia d . Por lo tanto:

$$d = h - \left(re + \phi_{est} + \left(\frac{\phi_{long}}{2} \right) \right)$$

```
d = h-(re+(D_est)+(D_bar/2)); % [m] Distancia desde el borde superior al cent.
sprintf('Se tiene una distancia d: %0.5g [m]',d)
```

```
ans =  
'Se tiene una distancia d: 0.2278 [m]'
```

4.7 - Cálculo de los factores de modificación

De acuerdo con la especificación, los factores de modificación de la longitud de desarrollo corresponden.

4.7.1 Para ψ_t

Para el factor de localización del refuerzo se debe considerar que cuando se coloca más de 300 mm de concreto fresco por de bajo de las barras se debe utilizar $\psi_t = 1.3$ y para otras situaciones $\psi_t = 1.0$.

¿Ubicación del refuerzo?

```
Rta1 =1;
```

Verificamos

```
if Rta1 >= 1  
    if d >=0.30  
        si_t1=1.3;  
        sprintf('t: %0.5g ',si_t1)  
    else  
        si_t1=1.0;  
        sprintf('t: %0.5g ',si_t1)  
    end  
else  
    si_t1=1.0;  
    sprintf('t: %0.5g ',si_t1)  
end
```

```
ans =  
't: 1 '
```

4.7.2 Para ψ_e

Cuando las barras con recubrimiento epóxico son menores a $3d_b$ o una separación libre menor que $6d_b$ se debe usar $\psi_e = 1.5$. Para todas las otras barras con recubrimiento epóxico $\psi_e = 1.2$. Las barras que no contiene recubrimiento epóxico $\psi_e = 1.0$.

¿Contiene recubrimiento epóxico?

```
Rta2 =0;
```

Verificamos

```
if Rta2 >=1  
    if re <= 3*D_bar  
        si_e1 = 1.5;  
        sprintf('e: %0.5g ',si_e1)  
    else  
        if Sb_n <= 6*D_bar  
            si_e1 = 1.5;
```

```

        sprintf('e: %0.5g ',si_e1)
    else
        si_e1 = 1.2;
        sprintf('e: %0.5g ',si_e1)
    end
end
else
    si_e1=1.0;
    sprintf('e: %0.5g ',si_e1)
end

```

```

ans =
'e: 1 '

```

4.7.3- Verificamos que $\psi_t * \psi_e \leq 1.7$

```

Yt_Ye = si_t1*si_e1;
sprintf('t*e: %0.5g ',Yt_Ye)

```

```

ans =
't*e: 1 '

```

```

if Yt_Ye <=1.7
    disp('!!!!!! Si Cumple !!!!!!!')
else
    disp('!!!!!! No Cumple !!!!!!!')
end

```

```

!!!!!! Si Cumple !!!!!!!

```

4.7.4- Para ψ_s

El factor de modificación relacionado con el tamaño del refuerzo, en el momento que se tiene barras No.6 o menores $\psi_s = 0.8$ y para barras No.7 o mayores $\psi_s = 1.0$.

Seleccionar el No. de barra:

```

N_barra =8;

```

Verificamos

```

if N_barra <= 6
    si_s1 = 0.8;
    sprintf('s: %0.5g ',si_s1)
else
    si_s1 = 1.0;
    sprintf('s: %0.5g ',si_s1)
end

```

```

ans =
's: 1 '

```

4.8- Cálculo de c_b

Para determinar cb debe ser la menor distancia entre centro de barras hasta el borde mas cercano de la sección o la mitad de la separación entre barras centro a centro.

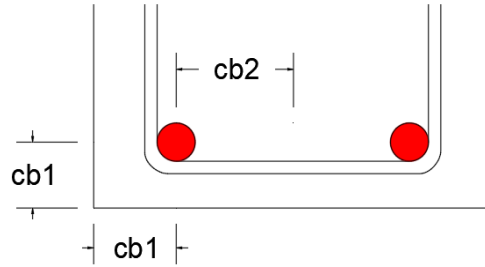


Figura No.13.

4.8.1- Para cb_1

$$cb_1 = re + \phi_{est} + \left(\frac{\phi_{long}}{2}\right)$$

```
cb_1 = (re+(D_est)+(D_bar/2));
sprintf('cb 1: %0.5g [m]',cb_1)
```

```
ans =
'cb 1: 0.0722 [m]'
```

4.8.2- Para cb_2

Espaciamiento entre barras longitudinales centro a centro.

$$S_{long} = b - \left(2 * \left(re + \phi_{est} + \left(\frac{\phi_{long}}{2}\right)\right)\right)$$

```
S_long = b- (2*(re+(D_est)+(D_bar/2)));
sprintf('Espaciamiento de barras longitudinales: %0.5g [m]',S_long)
```

```
ans =
'Espaciamiento de barras longitudinales: 0.1056 [m]'
```

Entonces:

$$cb_2 = \frac{S_{long}}{2}$$

```
cb_2 = S_long/2;
sprintf('cb 2: %0.5g [m]',cb_2)
```

```
ans =
'cb 2: 0.0528 [m]'
```

Utilizar menor

```
cb_min1 = [cb_1 cb_2];
cb = min(cb_min1);
sprintf('cb a utilizar: %0.5g [m]',cb)
```

```
ans =  
'cb a utilizar: 0.0528 [m]'
```

4.9- Longitud de desarrollo asumiendo $K_r = 0$.

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1.1 * \lambda * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_t * \psi_e * \psi_s}{\left(\frac{cb + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) * d_b$$

4.9.1- Para $K_{tr} = 0$

```
K_tr1 = 0;
```

4.9.2- Longitud de desarrollo

```
ld_1 = (((fy/1e6)/(1.1*lambda*((fc/1e6)^0.5)))*((si_t1*si_e1*si_s1)/((cb+K_tr1)/D_bar)))  
sprintf('Longitud de desarrollo con K tr = 0 es: %0.5g [m]',ld_1)
```

```
ans =  
'Longitud de desarrollo con K tr = 0 es: 1.0181 [m]'
```

4.10- Longitud de desarrollo calculando el valor de K_r .

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1.1 * \lambda * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_t * \psi_e * \psi_s}{\left(\frac{cb + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) * d_b$$

Para K_{tr}

$$K_{tr} = \frac{40 * A_{tr}}{S * n}$$

4.10.1 - Cálculo de K_{tr}

Para A_{tr}

Determinar el área total del refuerzo transversal dentro del espaciamiento que cruza el plano potencial de ruptura.

Número de ramas:

```
ra = 2;
```

Área de acero de cortante.

$$A_{tr} = \#ramas * A_{estribo}$$

```
A_tr = ra*A_est;  
sprintf('El área de acero es de: %0.5g [m^2]',A_tr)
```

```
ans =  
'El área de acero es de: 0.000142 [m^2]'
```

Por lo tanto:

$$K_{tr} = \frac{40 * A_{tr}}{S * n} \leq 2.5$$

```
K_tr = (40*A_tr)/(S_est*N_bar);  
sprintf('K tr: %0.5g ',K_tr)
```

```
ans =  
'K tr: 0.018933 '
```

Verificamos

```
if K_tr <= 2.5  
    disp('!!!!!! Si Cumple !!!!!!')  
else  
    disp('!!!!!! No Cumple !!!!!!')  
end
```

```
!!!!!! Si Cumple !!!!!!
```

4.10.2- Longitud de desarrollo

```
ld_2 = (((fy/1e6)/(1.1*landa*((fc/1e6)^0.5)))*((si_t1*si_e1*si_s1)/((cb+K_tr)/D_bar))) *  
sprintf('Longitud de desarrollo con K tr = 0 es: %0.5g [m]',ld_2)
```

```
ans =  
'Longitud de desarrollo con K tr = 0 es: 0.74936 [m]'
```

5- Bibliografía

- Pardo, M. (2021). *Marcelo Pardo Ingeniería*. Obtenido de <https://marcelopardo.com/longitud-de-desarrollo/>
- McCormac, J. C. & Brown, R. H. (2011). *Diseño de concreto reforzado*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C)*. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Ejemplo No.2: Longitud de desarrollo

1- Introducción

Esta guía didáctica muestra el paso a paso del análisis y de diseño para determinar la longitud de desarrollo. Teniendo en cuenta cada uno de los parámetros establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Para este caso se toma como ejemplo una viga continua de dos luces en un sistema a porticado.

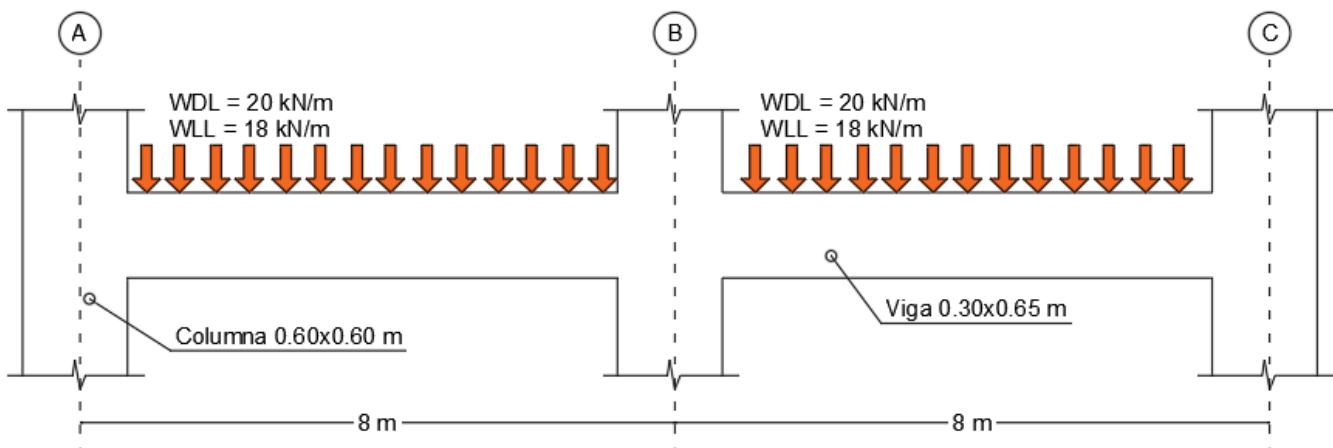
```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de Contenido

Ejemplo No.2: Longitud de desarrollo.....	1
1- Introducción.....	1
2- Enunciado.....	1
3- Desarrollo.....	2
3.1- Datos de entrada.....	2
3.2- Cargas aplicadas sin P.P.....	2
3.3- Propiedades de los materiales.....	2
3.4- Recubrimiento.....	2
3.5- Barra para estribos.....	3
3.6- Barras longitudinales.....	3
3.7- Cálculo de carga distribuida.....	3
3.8- Análisis estructural.....	3
3.9- Cálculo de aceros.....	9
3.10- Localización del punto de inflexión (P.I.).....	14
3.11- Longitud de desarrollo de refuerzo por momento negativo.....	15
3.12- Longitud de desarrollo en los ganchos.....	19
4- Bibliografía.....	22

2- Enunciado

Determinar la longitud de desarrollo en el acero de refuerzo de la viga del claro exterior izquierdo (entre ejes A - B), para el momento en el apoyo izquierdo - eje 1, acero de refuerzo por momento negativo de acuerdo con la figura No.1. Suponiendo concreto de peso normal, $f_y = 420$ MPa , $f'_c = 21$ MPa. Detallar las longitudes del acero de refuerzo (McCormac & Brown, 2011).



3- Desarrollo

3.1- Datos de entrada

3.1.1- Viga

Introducir medidas de base (b) y altura (h) de acuerdo con el elemento.

```
b = 0.30; % Base [m]
h = 0.65; % Altura [m]
```

Ingresar la respectiva longitud del del elemento

```
L1 = 8; % Longitud Viga tramo No.1 [m]
L2 = 8; % Longitud Viga tramo No.2 [m]
```

3.1.2- Columna

Introducir medidas de base (b) y altura (h) de acuerdo con el elemento.

```
bc = 0.60; % Base columna [m]
hc = 0.60; % Altura columna [m]
```

3.2- Cargas aplicadas sin P.P

Carga muerta:

```
DL = 20e3; % Carga Muerta [N/m]
```

Carga viva:

```
LL = 18e3; % Carga Viva [N/m]
```

3.3- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada una de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

- Resistencia específica a la compresión.

```
fc = 21e6; % [Pa]
```

- Resistencia específica a la fluencia.

```
fy = 420e6; % [Pa]
```

3.4- Recubrimiento

```
re = 40*0.001; % [mm]
sprintf('El recubrimiento es de: %0.5g [m]',re)
```

```
ans =
```


'El recubrimiento es de: 0.04 [m]'

3.5- Barra para estribos

```
D_est = 9.5*0.001; % Diámetro del acero.
```

3.6- Barras longitudinales

```
bar = [510/1000000]; % Número de barra a utilizar.  
D_bar = 25.4*0.001; % Diámetro del acero asumido.  
bar_N = 8;
```

3.7- Cálculo de carga distribuida

Para este caso se debe tener en cuenta las combinaciones de carga según el numeral B.2.4.2 de la NSR-10.

1.4 (D + Pp)

1.2 (D + Pp) + 1.6L

1.2 (D + Pp) + 1.0L

```
Wu1 = (1.4*(DL)); % [N/m]  
Wu2 = (1.2*(DL))+(1.6*LL); % [N/m]  
Wu3 = (1.2*(DL))+(1.0*LL); % [N/m]  
Wu_max = [Wu1 Wu2 Wu3];  
Wu = max(Wu_max);  
sprintf('Se tiene una carga distribuida máxima de: %0.5g [kN/m]',Wu/1000)
```

```
ans =  
'Se tiene una carga distribuida máxima de: 52.8 [kN/m]'
```

3.8- Análisis estructural

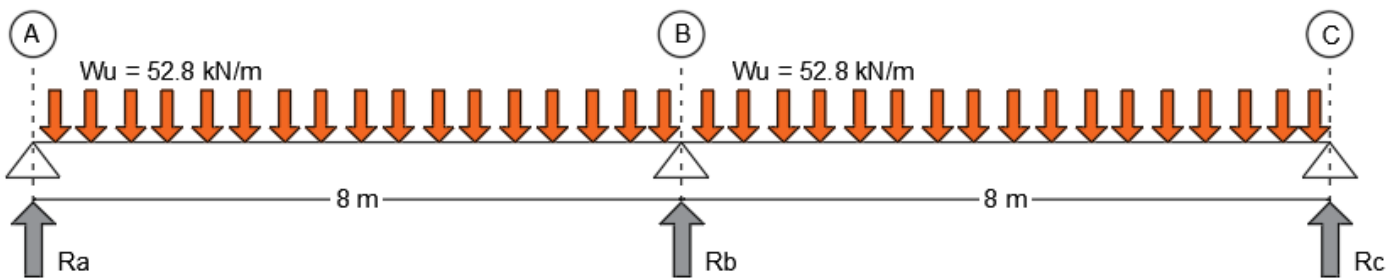


Figura No.2.

3.8.1- Determinar reacciones en los apoyos

Para determinar las reacciones de una manera rápida se tiene en cuenta que para este caso solo se tiene cargas distribuidas, por lo tanto, se efectúa la multiplicación de la carga distribuida por la longitud aferente para cada apoyo.

$$R_a = W_u * \frac{L_1}{2}$$

```
Ra = Wu*L1/2;
```

```
sprintf('Reacción en A es de: %0.5g [kN]',Ra/1000)
```

```
ans =  
'Reacción en A es de: 211.2 [kN]'
```

$$R_b = W_u * \left(\frac{L_1}{2} + \frac{L_2}{2} \right)$$

```
Rb = Wu*((L1/2)+(L2/2));  
sprintf('Reacción en B es de: %0.5g [kN]',Rb/1000)
```

```
ans =  
'Reacción en B es de: 422.4 [kN]'
```

$$R_c = W_u * \frac{L_2}{2}$$

```
Rc = Wu*L2/2;  
sprintf('Reacción en C es de: %0.5g [kN]',Rc/1000)
```

```
ans =  
'Reacción en C es de: 211.2 [kN]'
```

3.8.2- Momentos en los apoyos

Como se evidencia, se tiene una viga continua. Esta posee dos luces, en la que cada una estas están como viga doblemente empotrada, ya que el sistema es viga - columna. De esta manera cada una cuenta con momentos en los apoyos. Por lo tanto, se procede determinar el momento para los apoyos teniendo en cuenta la fórmula de la deformada por medio del método de doble integración.

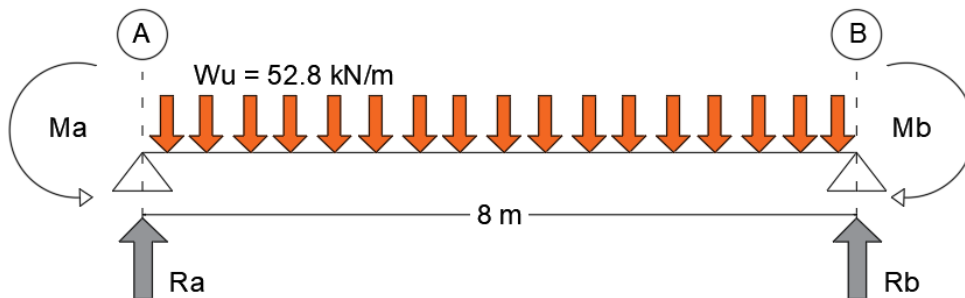


Figura No.3.

$$E * I * \frac{d^2 y}{d x^2} = M_{\text{apo}}$$

$$E * I * \frac{d^2 y}{d x^2} = -M_{\text{apo}} + R_a * x - \frac{W_u(L - x)^2}{2}$$

Integramos

$$E * I * \frac{d^2 y}{d x^2} = \int -M_{\text{apo}} + R_a * x - \frac{W_u(L - x)^2}{2} d x$$

Por lo tanto, con la primera integración se obtiene la fórmula de la pendiente.

$$E * I * \frac{d^2 y}{dx^2} = -M_{\text{apo}} * x + \frac{Ra * x^2}{2} - \frac{Wu(L-x)^3}{6}$$

Tomamos la ecuación anterior para determinar el momento para el apoyo. Aclarar que el momento máximo se produce en el punto medio de la luz ya que es una estructura simétrica, por lo tanto el punto medio será $L/2$.

$$x = \frac{L}{2}$$

```
x_1 = L1/2;
sprintf('Distancia al punto medio es de: %0.5g [m]',x_1)
```

```
ans =
'Distancia al punto medio es de: 4 [m]'
```

$$-M_{\text{apo}} * x + \frac{Ra * x^2}{2} - \frac{Wu(L-x)^3}{6} = 0$$

$$M_{\text{apo}} = \frac{\left(\frac{Ra * x^2}{2} - \frac{Wu(L-x)^3}{6} \right)}{x}$$

```
M_apo = (((Ra*(x_1)^2)/2)-((Wu*((L1-x_1)^3))/6))/(x_1);
sprintf('Se tiene un momento de : %0.5g [kN-m]',M_apo/1000)
```

```
ans =
'Se tiene un momento de : 281.6 [kN-m]'
```

3.8.3- Ecuaciones para cortantes y momentos

Se implementa el método de doble integración, por lo tanto, se debe determinar la ecuación para la carga concentrada con base a la función lineal.

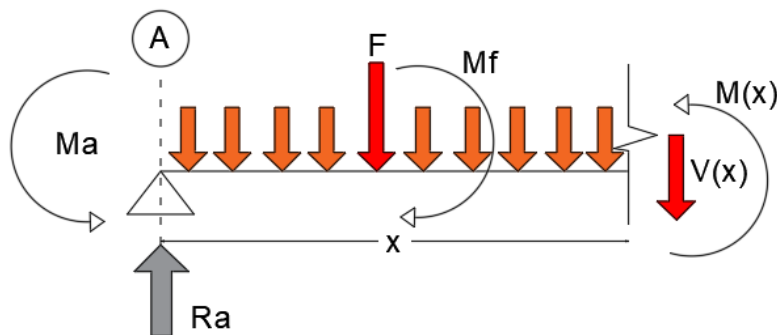


Figura No.4.

$$f = m * x + b$$

Pendiente

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = \frac{W_u - W_u}{L_1 - 0}$$

```
m = (W_u - W_u) / (L_1 - 0);  
sprintf('Pendiente de: %0.5g ', m)
```

```
ans =  
'Pendiente de: 0 '
```

Por lo tanto:

$$b = W_u$$

$$f = 0 * x + b$$

$$f = b$$

$$f = 52.8 \text{ kN} - m$$

Para determinar la ecuación carga concentrada, se debe integrar (Primera vez).

$$\int b * dx = bx$$

Ecuación para cortantes

Sumatoria de fuerzas en y .

$$\sum F_y = R_a - f - V(x)$$

Despejando $V(x)$

$$V(x) = -f + R_a$$

$$V(x) = -bx + R_a$$

$$V(x) = -52.8x + 211.2$$

Ecuación para momentos

Integramos la ecuación de la carga concentrada nuevamente (Segunda vez).

$$\int b * x \, dx = \frac{bx^2}{2}$$

$$M_f = \frac{52.8 x^2}{2}$$

Sumatoria de momentos en el punto A .

$$\sum M_A = -M_f - V(x) * x + M_{\text{apo}} + M(x) = 0$$

$$M_f = ((W_u/2) - W_u)$$

$$M_f = -26400$$

$$V_x = R_a$$

$$V_x = 211200$$

Por lo tanto:

$$-\frac{52.8}{2}x^2 - (-52.8x + 211.2) * x + 281.6 + M(x) = 0$$

$$-\frac{52.8}{2}x^2 + 52.8x^2 - 211.2x + 281.6 + M(x) = 0$$

$$M(x) = +\frac{52.8}{2}x^2 - 52.8x^2 + 211.2x - 281.6$$

$$M(x) = -26.4x^2 + 211.2x - 281.6$$

3.8.4- Diagrama de cortante

Para determinar las cortantes se hace uso de la ecuación determinada anteriormente, por lo tanto:

$$V(x) = -bx + R_a$$

$$V(x) = -52.8x + 211.2$$

Tramo A-B

Para $x = 0$

$$x_{vu1} = 0;$$

$$Vu1(x) = -bx + R_a$$

```
Vu_1 = -(Wu*x_vu1)+Ra;  
sprintf('Cortante Vu1: %0.5g [kN]',Vu_1/1000)
```

```
ans =  
'Cortante Vu1: 211.2 [kN]'
```

Para $x = 4$

$$x_{vu2} = 4;$$

$$Vu2(x) = -bx + R_a$$

```
Vu_2 = -(Wu*x_vu2)+Ra;  
sprintf('Cortante Vu2: %0.5g [kN]',Vu_2/1000)
```

```
ans =  
'Cortante Vu2: 0 [kN]'
```

Para $x = 8$

```
x_vu3 = 8;
```

$$Vu_3(x) = -bx + Ra$$

```
Vu_3 = -(Wu*x_vu3)+Ra;  
sprintf('Cortante Vu2: %0.5g [kN]',Vu_3/1000)
```

```
ans =  
'Cortante Vu2: -211.2 [kN]'
```

Tramo B-C

Para el tramo B-C se determina igual que el tramo A-B ya que es simétrico.

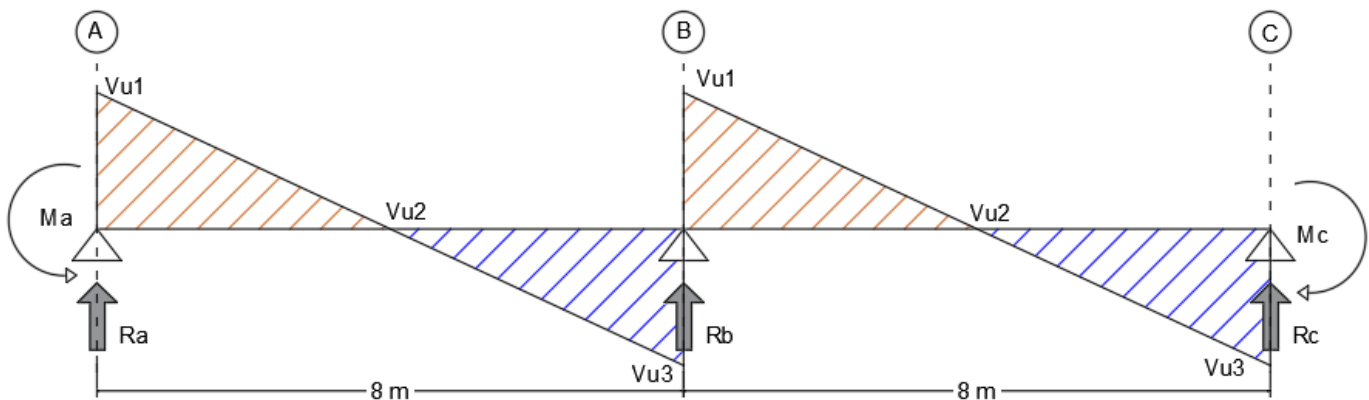


Figura No.5

3.8.5- Diagrama de momento

Para determinar los momentos se hace uso de la ecuación determinada anteriormente, por lo tanto:

$$M(x) = -26.4x^2 + 211.2x - 281.6$$

Tramo A-B

Para $x = 0$

```
x_Mu1 = 0;
```

$$Mu_1(x) = -26.4x^2 + 211.2x - 281.6$$

```
Mu_1 = (Mf*x_Mu1^2)+(Vx*x_Mu1)-(M_apo);  
sprintf('Momento Mu1: %0.5g [kN]',Mu_1/1000)
```

```
ans =  
'Momento Mu1: -281.6 [kN]'
```

Para $x = 4$

```
x_Mu2 = 4;
```

$$\text{Mu}_2(x) = -26.4x^2 + 211.2x - 281.6$$

```
Mu_2 = (Mf*x_Mu2^2)+(Vx*x_Mu2)-(M_apo);
sprintf('Momento Mu1: %0.5g [kN]',Mu_2/1000)
```

```
ans =
'Momento Mu1: 140.8 [kN]'
```

Para $x = 8$

```
x_Mu3 = 8;
```

$$\text{Mu}_3(x) = -26.4x^2 + 211.2x - 281.6$$

```
Mu_3 = (Mf*x_Mu3^2)+(Vx*x_Mu3)-(M_apo);
sprintf('Momento Mu1: %0.5g [kN]',Mu_3/1000)
```

```
ans =
'Momento Mu1: -281.6 [kN]'
```

Tramo B-C

Para el tramo B-C se determina igual que el tramo A-B ya que es simétrico.

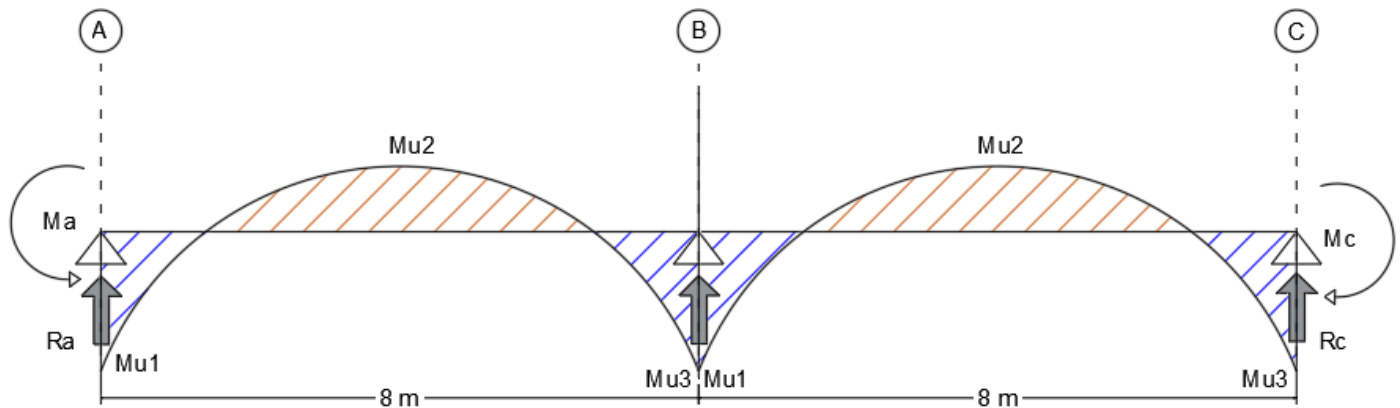


Figura No.6

3.9- Cálculo de aceros

Se calcula el numero de aceros necesarios según la sollicitud por los momentos determinados anteriormente. Tener en cuenta que el procedimiento es igual al tema de diseño de vigas.

3.9.1- Para momento negativo

```
% Asumir d=0.90h
dt_1 = 0.9*h;
sprintf('d: %0.5g [m]',dt_1)
```

```
ans =
'd: 0.585 [m]'
```

```
%Valor de K
```

```
k_1 = (-Mu_1)/(b*(dt_1^2));  
sprintf('K: %0.5g [N/m2]',k_1)
```

```
ans =  
'K: 2.7428e+06 [N/m2]'
```

```
fi_1 = 0.9;  
% Cálculo de la cuantía requerida  
ro_req = ((0.85*fc)/(fy))*(1-(1-((2*k_1)/(0.85*fc*fi_1)))^0.5);  
sprintf('Cuantía es de: %0.5g ',ro_req)
```

```
ans =  
'Cuantía es de: 0.0080112 '
```

```
%Cuantía mínima de diseño  
ro_min1_1 = ((0.25*(fc^0.5))/(fy));  
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min1_1)
```

```
ans =  
'Cuantía mínima es de: 2.7277e-06 '
```

```
ro_min2_1 = (1.4/fy);  
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min2_1)
```

```
ans =  
'Cuantía mínima es de: 3.3333e-09 '
```

```
ro = [ro_req ro_min1_1 ro_min2_1 ];  
ro_req_f1 = max(ro);  
%Cuantía de diseño  
sprintf('Cuantía requerida es de: %0.5g ',ro_req_f1)
```

```
ans =  
'Cuantía requerida es de: 0.0080112 '
```

```
%Cálculo del área de acero requerido  
As_req = ro_req_f1*b*dt_1*100^2;  
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req)
```

```
ans =  
'Área requerida es de: 14.06 [cm^2]'
```

```
%Acero a utilizar  
N_bar =3; % Cantidad de barras a utilizar.  
As = bar*N_bar*100^2; % [cm^2] Área de acero asumida.  
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req)
```

```
ans =  
'Área requerida es de: 14.06 [cm^2]'
```

```
sprintf('Se tiene un As: %0.5g [cm^2]',As)
```

```
ans =  
'Se tiene un As: 15.3 [cm^2]'
```

```
%Verificar  
if As_req <= As  
    disp('!!!!!!! Si Cumple con el área requerida !!!!!!!!')  
else
```



```
%Valor de K
k_2 = (Mu_2)/(b*(dt_2^2));
sprintf('K: %0.5g [N/m2]',k_2)
```

```
ans =
'K: 1.3714e+06 [N/m2]'
```

```
fi_2 = 0.9;
% Cálculo de la cuantía requerida
ro_req_2 = ((0.85*fc)/(fy))*(1-(1-((2*k_2)/(0.85*fc*fi_2)))^0.5);
sprintf('Cuantía es de: %0.5g ',ro_req_2)
```

```
ans =
'Cuantía es de: 0.0037978 '
```

```
%Cuantía mínima de diseño
ro_min1_2 = ((0.25*(fc^0.5))/(fy));
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min1_2)
```

```
ans =
'Cuantía mínima es de: 2.7277e-06 '
```

```
ro_min2_2 = (1.4/fy);
sprintf('Cuantía mínima es de: %0.5g ',ro_min2_2)
```

```
ans =
'Cuantía mínima es de: 3.3333e-09 '
```

```
ro_2 = [ro_req_2 ro_min1_2 ro_min2_2 ];
ro_req_f2 = max(ro_2);
%Cuantía de diseño
sprintf('Cuantía requerida es de: %0.5g ',ro_req_f2)
```

```
ans =
'Cuantía requerida es de: 0.0037978 '
```

```
%Cálculo del área de acero requerido
As_req_2 = ro_req_f2*b*dt_2*100^2;
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req_2)
```

```
ans =
'Área requerida es de: 6.6651 [cm^2]'
```

```
%Acero a utilizar
N_bar_2 =2; % Cantidad de barras a utilizar.
As_2 = bar*N_bar_2*100^2; % [cm^2] Área de acero asumida.
sprintf('Área requerida es de: %0.5g [cm^2]',As_req_2)
```

```
ans =
'Área requerida es de: 6.6651 [cm^2]'
```

```
sprintf('Se tiene un As: %0.5g [cm^2]',As_2)
```

```
ans =
'Se tiene un As: 10.2 [cm^2]'
```

```
%Verificamos
if As_req_2 <= As_2
```



```

Area_req_cm2 = [As_req;As_req_2;As_req];
Area_asu_cm2 = [As;As_2;As];
No_Barra = [bar_N;bar_N;bar_N];
Aceros = [N_bar;N_bar_2;N_bar];

T = table(Momentos_kN,Ro_req,Area_req_cm2,Area_asu_cm2,No_Barra,Aceros)

```

T = 3x6 table

	Momentos_kN	Ro_req	Area_req_cm2	Area_asu_cm2	No_Barra	Aceros
1	-281600	0.0080112	14.06	15.3	8	3
2	140800	0.0037978	6.6651	10.2	8	2
3	-281600	0.0080112	14.06	15.3	8	3

Para la tabla resumen del tramo B-C es prácticamente igual a la del tramo A-B ya que son simétricas.

3.10- Localización del punto de inflexión (P.I.)

Como anteriormente de determino la ecuación de momentos por medio del método de doble integración, ahora bien, se debe despejar la variable x para saber a que distancia está localizado el punto de inflexión.

$$M(x) = -26.4x^2 + 211.2x - 281.6$$

Calcular la variable x en la ecuación de segundo grado con la siguiente formula:

$$x = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

```

x1= (-Vx+((Vx^2)-(4*Mf*-M_apo))^0.5)/(2*Mf);
sprintf('Se tiene un valor de x: %0.5g [m]',x1)

```

```

ans =
'Se tiene un valor de x: 1.6906 [m]'

```

Tener en cuenta que está longitud calculada anteriormente esta dada desde el eje, por lo tanto, se debe restar la mitad de la columna para que esta distancia sea desde el borde.

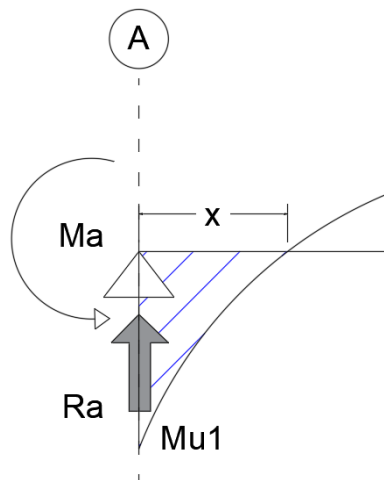


Figura No.7.

$$L_{P.Inflexión} = X - \frac{bc}{2}$$

```
L_pi = x1-(bc/2);
sprintf('Longitud punto de inflexión: %0.5g [m]',L_pi)
```

```
ans =
'Longitud punto de inflexión: 1.3906 [m]'
```

3.11- Longitud de desarrollo de refuerzo por momento negativo

3.11.1- Definir caso

Espaciamiento entre barras.

$$S = \frac{b - (2re + 2\phi Es + \#barras * \phi Long)}{\#barras - 1}$$

```
Sb_n = (b-((2*re)+(2*D_est)+(N_bar*D_bar)))/(N_bar-1);
sprintf('Espaciamiento entre barras: %0.5g [cm]',Sb_n*100)
```

```
ans =
'Espaciamiento entre barras: 6.24 [cm]'
```

Verificamos el caso

```
if Sb_n >= D_bar
    if re >= D_bar
        disp('!!!!!!! Cumple caso No.1 !!!!!!!')
        if Sb_n >= 2*D_bar
            if re >= D_bar
                disp('!!!!!!! Cumple caso No.2 !!!!!!!')
            else
                end
        else
            end
    else
        end
elseif Sb_n >= 2*D_bar
    if re >= D_bar
        disp('!!!!!!! Caso No.2 !!!!!!!')
    else
        end
else
    disp('!!!!!!! Caso No.3 !!!!!!!')
end
```

```
!!!!!!! Cumple caso No.1 !!!!!!!
!!!!!!! Cumple caso No.2 !!!!!!!
```

Aplicamos las formulas simplificadas. Tener en cuenta que se tienen barras No.8, Por lo tanto:

$$l_d = \left(\frac{f_y * \psi_t * \psi_e}{1.7 * \lambda * \sqrt{f_c}} \right) * d_b$$

3.11.2- Cálculo de los factores de modificación ψ_t y ψ_e

- Para ψ_t con base a la localización del refuerzo que se esta analizando.

Tener en cuenta en este caso, el acero está en la parte superior (momento negativo) por ende se debe analizar el siguiente concepto que nos pide el reglamento.

Para el factor de localización del refuerzo se debe considerar que cuando se coloca más de 300 mm de concreto fresco por de bajo de las varillas analizadas se debe utilizar $\psi_t = 1.3$ y para otras situaciones $\psi_t = 1.0$.

Verificamos

```
if dt_1>=0.30
    si_tn=1.3;
    sprintf('t: %0.5g ',si_tn)
else
    si_tn=1.0;
    sprintf('t: %0.5g ',si_tn)
end
```

```
ans =
't: 1.3 '
```

- Para ψ_e con base al revestimiento del refuerzo.

Cuando las barras con recubrimiento epóxico son menores a $3 d_b$ o una separación libre menor que $6 d_b$ se debe usar $\psi_e = 1.5$. Para todas las otras barras con recubrimiento epóxico $\psi_e = 1.2$. Las barras que no contiene recubrimiento epóxico $\psi_e = 1.0$.

¿Contiene recubrimiento epóxico?

```
Rta1 =0;
```

Verificamos

```
if Rta1 >=1
    if re <= 3*D_bar
        si_en = 1.5;
        sprintf('e: %0.5g ',si_en)
    else
        if Sb_n <= 6*D_bar
            si_en = 1.5;
            sprintf('e: %0.5g ',si_en)
        else
            si_en = 1.2;
            sprintf('e: %0.5g ',si_en)
        end
    end
end
else
    si_en=1.0;
    sprintf('e: %0.5g ',si_en)
```

```
end
```

```
ans =  
'e: 1 '
```

Verificamos que $\psi_t * \psi_e \leq 1.7$

```
Yt_Ye = si_tn*si_en;  
sprintf('t*e: %0.5g ',Yt_Ye)
```

```
ans =  
't*e: 1.3 '
```

```
if Yt_Ye <= 1.7  
    disp('!!!!!! Si Cumple !!!!!!')  
else  
    disp('!!!!!! No Cumple !!!!!!')  
end
```

```
!!!!!! Si Cumple !!!!!!
```

3.11.3- Cálculo del factor de modificación con respecto a las propiedades del concreto λ

Seleccione el tipo de concreto.

```
landa_n =1;
```

3.11.4- Determinar longitud de desarrollo.

$$l_d = \left(\frac{f_y * \psi_t * \psi_e}{1.7 * \lambda * \sqrt{f_c}} \right) * d_b$$

```
ld_n = ((fy/1e6)*si_tn*si_en)/(1.7*landa_n*((fc/1e6)^0.5))*(D_bar);  
sprintf('Longitud de desarrollo ld: %0.5g [m]',ld_n)
```

```
ans =  
'Longitud de desarrollo ld: 1.7802 [m]'
```

3.11.5- Determinar longitud de desarrollo a partir del punto de inflexión.

Ahora bien, teniendo en cuenta lo establecido en el numeral C.12.12.3 donde nos dice que la longitud de desarrollo l_d no debe ser menor a lo longitud medida a partir del punto de inflexión mas la mayor de d , $12d_b$ o $L/16$.

```
l_maxn1 = dt_1;  
sprintf('d: %0.5g [m]',l_maxn1)
```

```
ans =  
'd: 0.5878 [m]'
```

```
l_maxn2 = 12*D_bar;  
sprintf('12db: %0.5g [m]',l_maxn2)
```

```
ans =  
'12db: 0.3048 [m]'
```

```
l_maxn3 = L1/16;  
sprintf('L/16: %0.5g [m]',l_maxn3)
```

```
ans =  
'L/16: 0.5 [m]'
```

Seleccionar la mayor de las anteriores.

```
lmaxn = [l_maxn1 l_maxn2 l_maxn3 ];  
l_maxn = max(lmaxn);  
sprintf('Por lo tanto, la máxima es de: %0.5g [m]',l_maxn)
```

```
ans =  
'Por lo tanto, la máxima es de: 0.5878 [m]'
```

Calculamos la longitud de desarrollo l_{d2}

$l_{d2} =$ Distancia punto inflexión + d

```
ld2_n = L_pi+l_maxn;  
sprintf('Longitud de desarrollo ld 2: %0.5g [m]',ld2_n)
```

```
ans =  
'Longitud de desarrollo ld 2: 1.9784 [m]'
```

3.11.6- Longitud de desarrollo a implementar

Con las dos opciones de longitud de desarrollo l_d y l_{d2} para momento negativo tomamos la mayor.

```
sprintf('Longitud de desarrollo ld: %0.5g [m]',ld_n)
```

```
ans =  
'Longitud de desarrollo ld: 1.7802 [m]'
```

```
sprintf('Longitud de desarrollo ld 2: %0.5g [m]',ld2_n)
```

```
ans =  
'Longitud de desarrollo ld 2: 1.9784 [m]'
```

```
ld_max = [ld_n ld2_n];  
ld_nf = max(ld_max);  
sprintf('Longitud de desarrollo ld a utilizar para momento negativo es: %0.5g [m]',ld_r
```

```
ans =  
'Longitud de desarrollo ld a utilizar para momento negativo es: 1.9784 [m]'
```

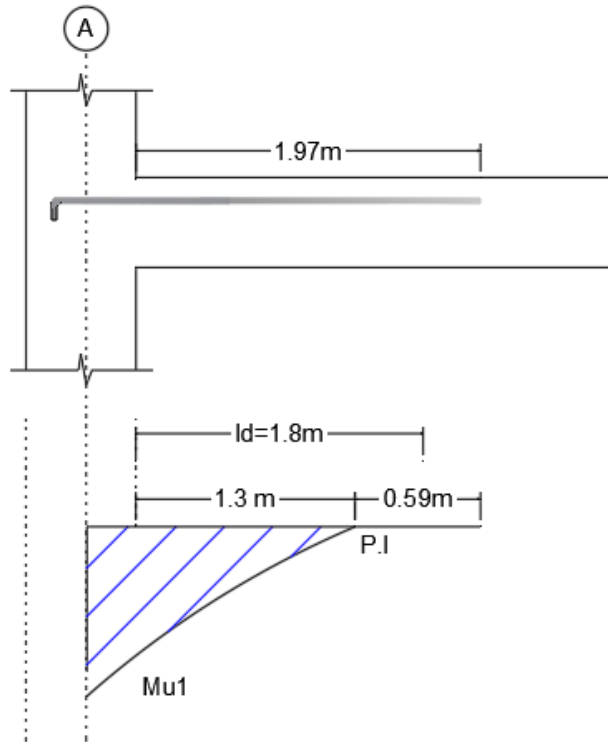



Figura No.8.

3.12- Longitud de desarrollo en los ganchos

$$l_{dh} = \frac{0.24 * \psi_e * f_y * d_b}{\lambda * \sqrt{f_c}} * (\psi_r * \psi_c)$$

3.12.1- Cálculo de los factores de modificación ψ_e , ψ_r y ψ_c

- Para ψ_c

Para determinar el factor de modificación ψ_c se debe tener en cuenta lo establecido en el numeral C.12.5.3 (a) donde el recubrimiento lateral (normal al plano del gancho) no menor de 65mm y para ganchos de 90°, con recubrimiento en la extensión de la barra más allá del gancho no menor de 50 mm. Por lo tanto, para el factor de modificación se tendrá un valor de $\psi_c = 0.7$.

```

if (re >= 0.065) && (re >= 0.05)
    si_c = 0.7;
else
    si_c = 1.0;
end
sprintf('c: %0.5g ', si_c)

```

```

ans =
'c: 1 '

```

- Para ψ_r

En el numeral C.12.5.3 (b) indica que parámetros se deben de tener en cuenta para determinar este factor de modificación. Pero se aclara que al no haber información de estribos en la columna se opta por $\psi_r = 1$.

```
si_r = 1;
sprintf('r: %0.5g ',si_r)
```

```
ans =
'r: 1 '
```

- Para ψ_e

Cuando las barras cuentan con recubrimiento epóxico se toma el factor de reducción como $\psi_e = 1.2$. Las barras que no contiene recubrimiento epóxico $\psi_e = 1.0$.

¿Contiene recubrimiento epóxico?

```
Rta1 =0;
```

Verificamos

```
if Rta1 >=1
    si_e = 1.2;
else
    si_e = 1.0;
end
sprintf('e: %0.5g ',si_e)
```

```
ans =
'e: 1 '
```

3.12.2- Determinar longitud de desarrollo.

$$l_{dh} = \frac{0.24 * \psi_e * f_y * d_b}{\lambda * \sqrt{f_c}} * (\psi_r * \psi_c)$$

```
ld_h = (0.24*si_e*(fy/1e6)*D_bar)/(landa_n*((fc/1e6)^0.5));
sprintf('ld h: %0.5g [m]',ld_h)
```

```
ans =
'ld h: 0.55871 [m]'
```

Tener en cuenta que:

$$l_{dh} \geq \begin{cases} 150 \text{ mm} \\ 8d_b \end{cases}$$

```
ld_h_min1 = 8*D_bar;
ld_h_min2 = 0.15;

ld_hmax = [ld_h_min1 ld_h_min2 ld_h];
ld_hf = max(ld_hmax);
sprintf('Longitud de desarrollo ld h a utilizar es de: %0.5g [m]',ld_hf)
```

```
ans =
'Longitud de desarrollo ld h a utilizar es de: 0.55871 [m]'
```

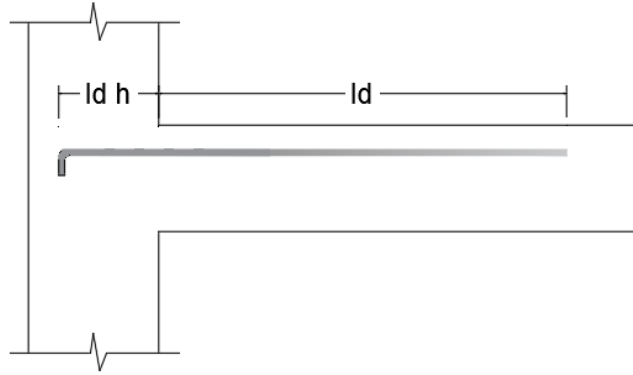


Figura No.9.

3.12.3 - Detallado de la longitud del gancho

Determinar la longitud del gancho con base a la Tabla No.1 según lo establecido en el numeral C.7.1 y C.7.2 .

Análisis de dobles	Barras	Diámetro de dobles	Extensión recta	Long. total del gancho.
90°	No.3 a No.8	$6d_b$	$12d_b$	$16d_b$
	No.9 a No.11	$8d_b$	$12d_b$	$17d_b$
180°	No.3 a No.8	$6d_b$	$4d_b \geq 65mm$	$8d_b \geq 4d_b + 65mm$
	No.9 a No.11	$8d_b$	$4d_b \geq 65mm$	$9d_b \geq 5d_b + 65mm$

Tabla No.1.

Se tiene una barra longitudinal No.8 doblada a 90°. Por lo tanto:

Diámetro de dobles

$$6 * d_b$$

```
D_dobles = 6*D_bar;
sprintf('Diámetro de dobles: %0.5g [m]',D_dobles)
```

```
ans =
'Diametro de dobles: 0.1524 [m]'
```

Extensión recta

$$12 * d_b$$

```
Ex_rec = 12*D_bar;
sprintf('Extensión recta: %0.5g [m]',Ex_rec)
```

```
ans =
'Extensión recta: 0.3048 [m]'
```

Longitud total del gancho.

$16 * d_b$

```
long_gan = 12*D_bar;  
sprintf('Longitud total del gancho: %0.5g [m]',long_gan)
```

```
ans =  
'Longitud total del gancho: 0.3048 [m]'
```

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- McCormac, J. C. & Brown, R. H. (2011). Diseño de concreto reforzado. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Ejemplo No.3: Longitud de desarrollo

1- Introducción

En la presente guía se muestra de manera detallada cada uno de los parámetros establecidos por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Donde se indica cómo determinar la longitud de desarrollo para una viga utilizando las ecuaciones simplificadas.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de Contenido

Ejemplo No.3: Longitud de desarrollo.....	1
1- Introducción.....	1
2- Enunciado.....	1
3- Desarrollo.....	1
3.1- Datos de entrada.....	2
3.2- Propiedades de los materiales.....	2
3.3- Recubrimiento.....	2
3.4- Barra para estribos.....	2
3.5- Barras longitudinales.....	2
3.6- Cálculo de	2
3.7 - Definir caso.....	3
3.8 - Cálculo de los factores de modificación.....	4
3.9- Cálculo longitud de desarrollo.....	5
4- Bibliografía.....	5

2- Enunciado

Determinar la longitud de desarrollo requerida para las barras No.7 de fondo mostradas en la figura No.1 recubiertas con epóxico y expuesta a la intemperie. Suponiendo concreto de peso normal, $f_y = 420 \text{ MPa}$, $f'_c = 28 \text{ MPa}$. Usar las ecuaciones simplificadas (McCormac & Brown, 2011).

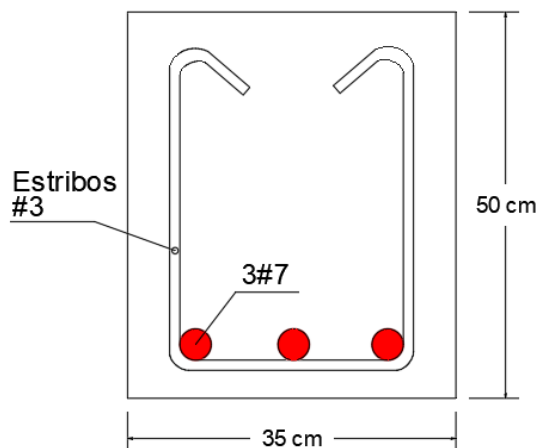


Figura No.1.

3- Desarrollo

3.1- Datos de entrada

Introducir medidas de base (b) y altura (h) de acuerdo con el elemento.

```
b = 0.35; % Base [m]
h = 0.50; % Altura [m]
```

3.2- Propiedades de los materiales

3.2.1 Resistencia especifica

Ingresar el valor correspondiente a cada una de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

- Compresión del concreto.

```
fc = 28e6; % [Pa]
```

- Fluencia del acero.

```
fy = 420e6; % [Pa]
```

3.2.2- Cálculo del factor de modificación con respecto a las propiedades del concreto λ

Seleccione el tipo de concreto.

```
landa = 1;
```

3.3- Recubrimiento

```
re = 40*0.001; % [mm]
sprintf('El recubrimiento es de: %0.5g [m]',re)
```

```
ans =
'El recubrimiento es de: 0.04 [m]'
```

3.4- Barra para estribos

```
A_est = [71/1000000]; % Número de barra para estribo.
D_est = 9.5*0.001; % Diámetro del acero para estribo.
```

3.5- Barras longitudinales

Especificaciones del acero

```
bar = [387/1000000]; % Número de barra longitudinal.
D_bar = 22.2*0.001; % Diámetro del acero longitudinal.
```

Cantidad de barras

```
N_bar = 3; % Cantidad de barras a utilizar.
```

3.6- Cálculo de d

Con los valores de recubrimiento y No. de barras se puede determinar la distancia d . Por lo tanto:

$$d = h - \left(re + \phi_{est} + \left(\frac{\phi_{long}}{2} \right) \right)$$

```
d = h-(re+(D_est)+(D_bar/2));           % [m] Distancia desde el borde superior al cent.
sprintf('Se tiene una distancia d: %0.5g [m]',d)
```

```
ans =
'Se tiene una distancia d: 0.4394 [m]'
```

3.7 - Definir caso

3.7.1- Espaciamiento entre barras

$$S = \frac{b - (2re + 2\phi_{Es} + \#barras * \phi_{Long})}{\#barras - 1}$$

```
Sb_n = (b-((2*re)+(2*D_est)+(N_bar*D_bar)))/(N_bar-1);
sprintf('Espaciamiento entre barras: %0.5g [cm]',Sb_n*100)
```

```
ans =
'Espaciamiento entre barras: 9.22 [cm]'
```

3.7.2- Verificamos el caso

```
if Sb_n >= D_bar
    if re >= D_bar
        disp('!!!!!!! Cumple caso No.1 !!!!!!!')
        if Sb_n >= 2*D_bar
            if re >= D_bar
                disp('!!!!!!! Cumple caso No.2 !!!!!!!')
            else
                end
        else
            end
    else
        end
elseif Sb_n >= 2*D_bar
    if re >= D_bar
        disp('!!!!!!! Caso No.2 !!!!!!!')
    else
        end
else
    disp('!!!!!!! Caso No.3 !!!!!!!')
end
```

```
!!!!!!! Cumple caso No.1 !!!!!!!
!!!!!!! Cumple caso No.2 !!!!!!!
```

Aplicamos las formulas simplificadas. Tener en cuenta que se tienen barras No.7, Por lo tanto:

$$l_d = \left(\frac{f_y * \psi_t * \psi_e}{1.7 * \lambda * \sqrt{f_c}} \right) * d_b$$

3.8 - Cálculo de los factores de modificación

De acuerdo con la especificación, los factores de modificación de la longitud de desarrollo corresponden.

3.8.1- Para ψ_t

Para el factor de localización del refuerzo se debe considerar que cuando se coloca más de 300 mm de concreto fresco por de bajo de las barras se debe utilizar $\psi_t = 1.3$ y para otras situaciones $\psi_t = 1.0$.

¿Ubicación del refuerzo?

```
Rta1 =0;
```

Verificamos

```
if Rta1 >= 1
    if d >=0.30
        si_t1=1.3;
        sprintf('t: %0.5g ',si_t1)
    else
        si_t1=1.0;
        sprintf('t: %0.5g ',si_t1)
    end
else
    si_t1=1.0;
    sprintf('t: %0.5g ',si_t1)
end
```

```
ans =
't: 1 '
```

3.8.2- Para ψ_e

Cuando las barras con recubrimiento epóxico son menores a $3d_b$ o una separación libre menor que $6d_b$ se debe usar $\psi_e = 1.5$. Para todas las otras barras con recubrimiento epóxico $\psi_e = 1.2$. Las barras que no contiene recubrimiento epóxico $\psi_e = 1.0$.

¿Contiene recubrimiento epóxico?

```
Rta2 =1;
```

Verificamos

```
if Rta2 >=1
    if re <= 3*D_bar
        si_e1 = 1.5;
        sprintf('e: %0.5g ',si_e1)
    else
        if Sb_n <= 6*D_bar
            si_e1 = 1.5;
            sprintf('e: %0.5g ',si_e1)
        else
```



```

        si_e1 = 1.2;
        sprintf('e: %0.5g ',si_e1)
    end
end
else
    si_e1=1.0;
    sprintf('e: %0.5g ',si_e1)
end

```

```

ans =
'e: 1.5 '

```

3.8.3- Verificamos que $\psi_t * \psi_e \leq 1.7$

```

Yt_Ye = si_t1*si_e1;
sprintf('t*e: %0.5g ',Yt_Ye)

```

```

ans =
't*e: 1.5 '

```

```

if Yt_Ye <= 1.7
    disp('iiiiii Si Cumple !!!!!!!')
else
    disp('iiiiii No Cumple !!!!!!!')
end

```

```

iiiiii Si Cumple !!!!!!!

```

3.9- Cálculo longitud de desarrollo

$$l_d = \left(\frac{f_y * \psi_t * \psi_e}{1.7 * \lambda * \sqrt{f_c}} \right) * d_b$$

```

ld = ((fy/1e6)*si_t1*si_e1)/(1.7*landa*((fc/1e6)^0.5))*(D_bar);
sprintf('Longitud de desarrollo ld: %0.5g [m]',ld)

```

```

ans =
'Longitud de desarrollo ld: 1.5548 [m]'

```

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- McCormac, J. C. & Brown, R. H. (2011). Diseño de concreto reforzado. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Enunciado

```
clc, clear, close all, format short
```

Determinar la longitud de desarrollo requerida para la viga de sección rectangular que contiene barras No.7 como se muestra en la figura No.1 recubiertas con epoxico y estan expuesta a la interperie. Suponiendo concreto de peso normal, $f_y = 420 \text{ MPa}$, $f'_c = 28 \text{ MPa}$.

- Utilice la formula general asumiendo $K_r = 0$.
- Utilice la formula general calculando el valor de K_r .

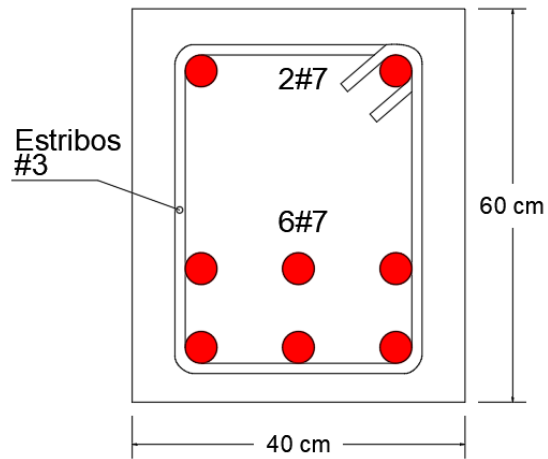


Figura No.1

G. Anexo: Guía respuesta elástica de secciones fisuradas.

Conceptos básicos y ejemplo sobre respuesta elástica de secciones fisuradas

1- Introducción

La mezcla de arena, grava, roca triturada y otros aditivos componen al concreto en forma de una masa rocosa por medio de una pasta de cemento y agua. Se deben conocer cada una de las especificaciones de los materiales para así brindar una resistencia adecuada para un elemento específico. La mezcla de concreto cuenta con una alta resistencia a la compresión, pero muy mala resistencia a la tensión. La combinación entre concreto y acero establecen una buena resistencia a la tensión. Por tal motivo, en la presente guía se muestra los conceptos básicos teóricos y prácticos para poder identificar el estado del elemento, si está o no agrietado.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de contenido

Conceptos básicos y ejemplo sobre respuesta elástica de secciones fisuradas.....	1
1- Introducción.....	1
2- Aspectos teóricos.....	1
2.1- Agrietamiento.....	1
2.2- Estados del comportamiento.....	4
2.3- Momento de agrietamiento.....	6
2.4- Sección transformada.....	7
3- Ejemplo No.1.....	7
4- Desarrollo.....	8
4.1- Datos de entrada.....	8
4.2- Propiedades de los materiales.....	8
4.3-Cargas.....	9
4.4- Estado del elemento.....	9
5- Bibliografía.....	10

2- Aspectos teóricos

2.1- Agrietamiento

Al usar barras de acero para refuerzo de altas resistencias bajo a unos esfuerzos ocasionados por cargas de servicio, suelen efectuarse grietas, de tal forma es necesario tener precaución al detallar el refuerzo con la intención de controlar las grietas. Controlar las grietas es importante cuando se utilizan barras con una resistencia a la fluencia mayor a 2800 kg/cm^2 . En ensayos del laboratorio, se ha confirmado que el ancho que se puede dar en la grieta debido a las cargas actuantes es proporcional al esfuerzo del refuerzo (McCormac & Brown, 2011).

Las grietas tienen un ancho al cual están sujetas a que se dispersen, estas están influidas por la contracción y otros posibles efectos que se dan a lo largo del tiempo. Ingenieros especializados en el tema recomiendan que el mejor control de las grietas se obtiene cuando las barras están bien distribuidas en la zona de tensión. Antes de entrar en el tema, se debe tener en cuenta los siguientes conceptos acerca de los materiales (McCormac & Brown, 2011).

Concreto

La mezcla de arena, grava, roca triturada y otros aditivos componen al concreto en forma de una masa rocosa por medio de una pasta de cemento y agua. La mezcla de concreto cuenta con una alta resistencia a la compresión, pero de lo contrario, cuenta con una muy mala resistencia a la tensión. (McCormac & Brown, 2011).

Resistencia a la compresión, corresponde al máximo esfuerzo promedio que puede soportar el material antes de la rotura.

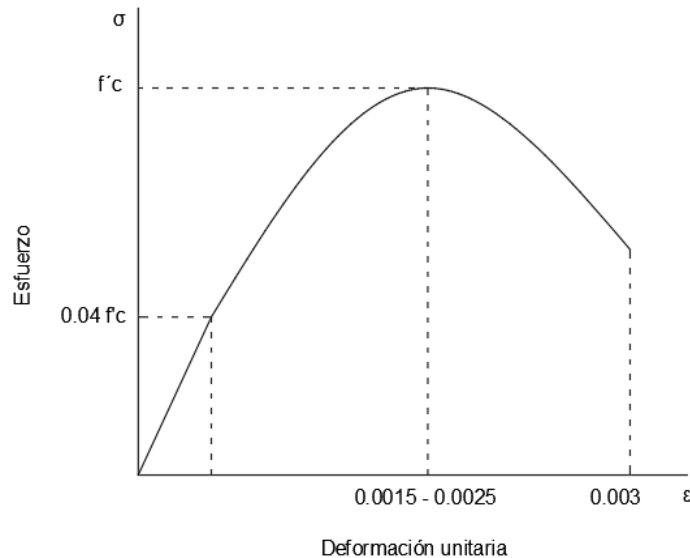


Figura No.1: Resistencia del concreto a la compresión.

Se ha comprobado que entre 0,4 – 0,5 de la máxima resistencia el comportamiento del concreto sigue siendo lineal.

Según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente en el capítulo C.10.2.3 da a conocer que la máxima deformación unitaria utilizable en la fibra extrema sometida a compresión del concreto se supone igual a 0.003.

Los concretos de alta resistencia están entre 48 MPa (7000 Psi) y 83 MPa (12000 Psi), para concretos de densidad normal oscila entre 21 MPa (3000 Psi) y 35 MPa (5000 Psi), para concreto livianos se tiene que son menores a 21 MPa.

Módulo de elasticidad E_c

Es la relación que hay entre el esfuerzo y la deformación unitaria según el numeral C.8.5 de la NSR-10, donde para el concreto puede tomarse como $W_c^{1.5} * 0.043 * \sqrt{f'_c}$ (en MPa), para valores de W_c comprendidos entre 1440 y 2560 kg/m³. Para concreto de densidad normal, E_c puede tomarse como $4700 * \sqrt{f'_c}$.

Para un valor promedio $3900 * \sqrt{f'_c}$ sin distinguir el tipo de agregado según el comentario dado en el CR.8.5.

Acero de refuerzo

El acero de refuerzo utilizado en la construcción de estructuras de concreto reforzado consiste en una aleación de hierro, carbono, y otros elementos como manganeso, silicio, azufre, fósforo, níquel, vanadio, cobre entre otros.

Tipo de refuerzo: Hierro (fe) + Carbono (c) .

Nota:

- El acero de refuerzo en general debe ser corrugado y cumplir con la norma NTC 2259 la cual corresponde a una adaptación del estándar ASTM A706/A706M.
- Aceros para uso estructural debe tener una cantidad de carbono no superior al 2%.

Apéndice C.E tener en cuenta que en las tablas C.3.5.3-1 y C.3.5.3-2 donde se muestra información acerca del acero de refuerzo.

Comportamiento mecánico

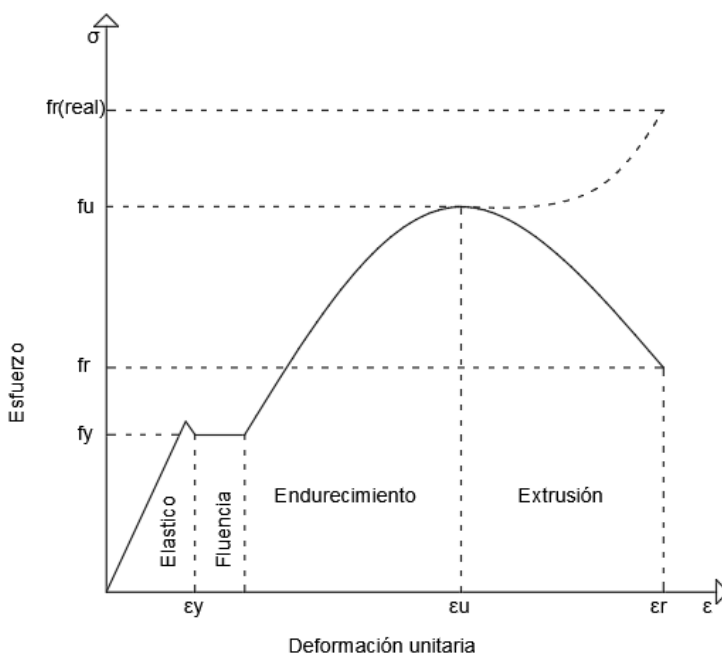


Figura No.2: Resistencia del acero a tracción.

La curva $\sigma - \epsilon$ (ingenieril) se detiene al medir el esfuerzo en el material inducido por la carga aplicada sobre el área inicial de la barra.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

La curva real $\sigma - \epsilon$ se obtiene al calcular el esfuerzo en el material debido a la carga aplicada dividido entre el área de la sección en cada instante considerando la disminución del área transversal de la barra.

Para efectos de diseño se asume que el acero se comporta como un material elástico-plástico en el cual hay dos rangos según el numeral C10.2.4.

1. Rango elástico lineal $\sigma = \varepsilon * E_s$ (Aplica ley de Hooke).
2. Rango inicia una vez el acero sobre pase el limite de proporcionalidad f_y e inicia fluencia.

Módulo de elasticidad E_s

El modulo de elasticidad está definido con la pendiente de la curva $\sigma - \varepsilon$ para el rango elástico. Tener en cuenta según el reglamento en el numeral C.8.5.2 donde indica que el modulo de elasticidad para el acero de refuerzo no preesforzado puede tomarse como 200,000 MPa.

2.2- Estados del comportamiento

2.2.1- Etapa del concreto no agrietado.

Estado para cargas bajas, los esfuerzos son efectivamente menores que el módulo de ruptura, el cual es el esfuerzo de tensión por la flexión donde el concreto ya está agrietado. Por lo que, si el esfuerzo es menor al de agrietamiento, el concreto resultara efectivo para resistir esfuerzos de compresión aun lado y de tensión al otro (McCormac & Brown, 2011).

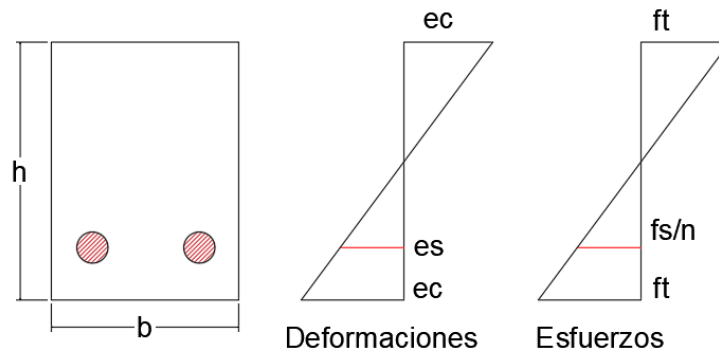


Figura No.3: Concreto no agrietado.

Esfuerzos < Módulo de rotura.

Tener en cuenta que si $f = f_r$ entonces $M_n = M_{cr}$

2.2.2- Etapa del concreto agrietado

Se da cuando la carga se aumenta un poco más, de tal manera el lado inferior del elemento empieza agrietarse. Cuando en el elemento comienzan a desenvolverse las grietas, es decir que cuando los esfuerzos en la parte inferior son iguales al modulo de ruptura, a este se le denomina momento de agrietamiento. Al aumentar aún más la carga, las grietas se expanden rápidamente hacia el eje neutro, el cual comienza a desplazarse hacia arriba. Las grietas se dan a lo largo de la viga, donde el momento actuante es superior que el momento de agrietamiento (McCormac & Brown, 2011).

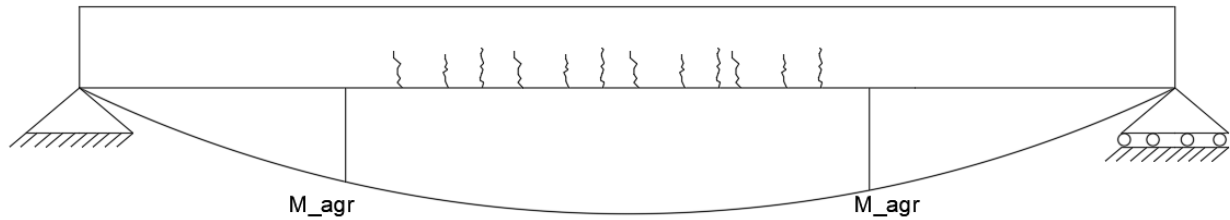


Figura No.4.

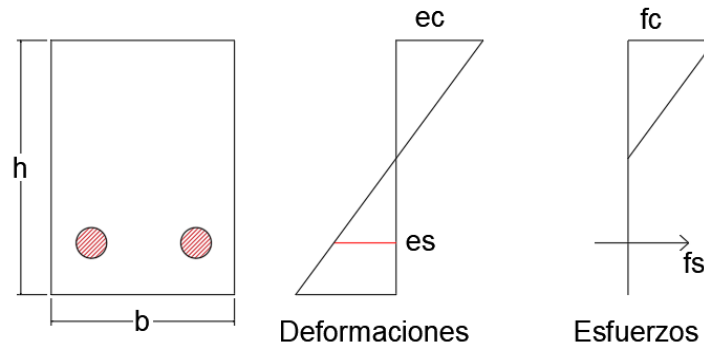


Figura No.5: Concreto agrietado.

2.2.3- Etapa falla del elemento

Cuando la carga aumenta mucho más, los esfuerzos de compresión terminan siendo mayores que la mitad de f_c , en consecuencia las grietas de tensión se desplazan aún más hacia la parte de arriba donde los esfuerzos de compresión terminan de ser lineales (McCormac & Brown, 2011).

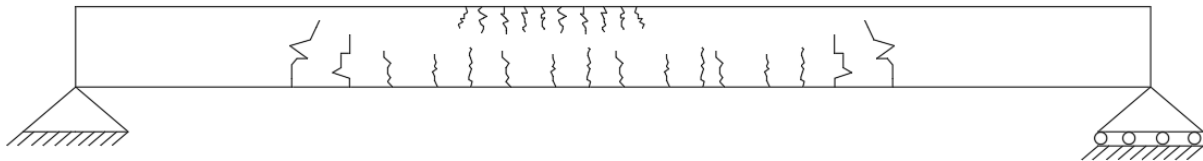


Figura No.6

Cuando ocurre una falla, el concreto en la parte superior se aplasta, tal y como se aprecia en la figura No.6. Las deformaciones unitarias en esta etapa el acero ha cedido.

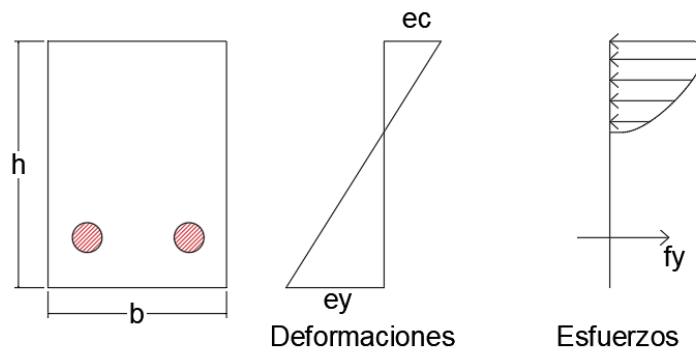


Figura No.7: Resistencia última.

2.3- Momento de agrietamiento

Para una viga, el área para el refuerzo es aproximadamente el 2% del área total de la sección transversal. El efecto es casi insignificante en las propiedades de la viga, en tanto que ésta no se agriete. De tal forma, se puede obtener un cálculo aproximado de los esfuerzos de a flexión, con base en las propiedades de la sección transversal de la viga. (McCormac & Brown, 2011).

Según el comentario CR10.2.5 de la NSR-10 hace énfasis que la resistencia a la tracción del concreto sometido a flexión (módulo de ruptura) es una propiedad mas variable que la resistencia a la compresión, y es aproximadamente de 10 a 15 % de la resistencia a la compresión. En el diseño por resistencia, la resistencia a la tracción del concreto sometido a flexión no se toma en consideración.

El módulo de ruptura para concreto de peso normal según la fórmula (C.9-10) donde el valor de λ es el factor de modificación según el numeral C.8.6 que para concreto de peso normal $\lambda = 1$.

$$f_r = 0.62\lambda \sqrt{f'_c}$$

Por otra parte se puede determinada de forma experimental, con el ensayo a flexión del hormigón simple. En este caso se mide la carga a lo que se presente la primera fisura y determinar el momento y el módulo de ruptura $f_r = \frac{M * y}{I}$ El momento es el máximo valor y el valor de y es la distancia medida desde el centroide de

la sección a la fibra extrema de donde se esta midiendo el refuerzo $I = \frac{b * h^3}{12}$.

Por lo tanto se tiene:

$$f_r = \frac{M * y}{I} = \frac{\frac{PL}{3} * \frac{h}{2}}{\frac{b * h^3}{12}} = \frac{2PL}{b * h^3}$$

f_r = Módulo de ruptura o resistencia a la flexión.

M = Momento flector producido por la carga máxima.

y = Distancia de la fibra neutra.

I = Momento de inercia de la sección respecto a la fibra extrema neutra.

Nota: Así es como se determina para este tipo de secciones, por lo que depende de los factores como la resistencia a la compresión, la esbeltez del elemento y las condiciones de curado.

El momento de agrietamiento es como sigue:

Tener en cuenta que si $f = f_r$ entonces $M_n = M_{cr}$

$$M_{cr} = \frac{f_r * I}{y_y}$$

Donde:

f = Esfuerzo.

f_r = Esfuerzo de rotura.

I = Inercia

y_i = Distancia desde el eje neutro hasta la cara de tensión.

2.4- Sección transformada

Es usada para calcular algunas propiedades geométricas de una sección compuesta de dos materiales, en este caso el acero y concreto. Donde se determina la profundidad del eje neutro y el momento de inercia de la sección de viga sujetas a unas cargas de servicio. La sección transformada se da para reducir el problema de una sección compuesta de dos materiales al de una sección homogénea. Por tanto, para la obtención de la sección transformada de una viga rectangular, se debe sustituir el área que representa al acero por un área que es equivalente del concreto. Para determinar, se multiplica el área de acero por la relación entre el modulo de elasticidad del acero y el módulo de elasticidad del concreto (McCormac & Brown, 2011).

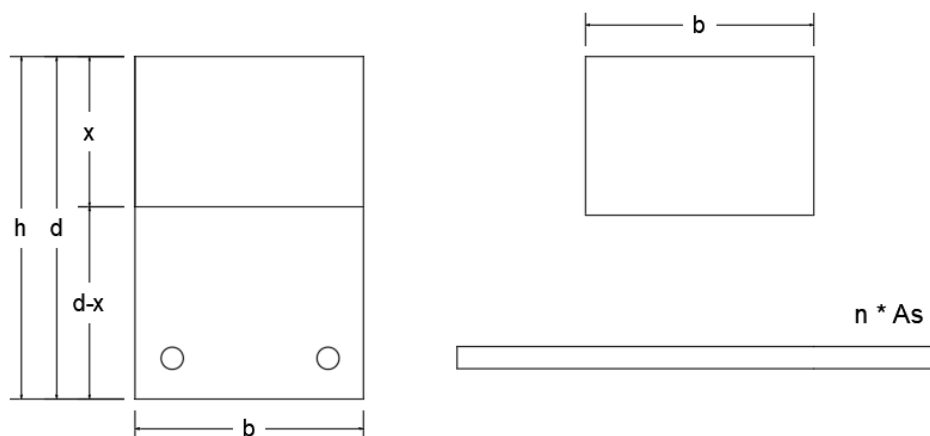


Figura No.8

Cálculo de x

$$b * x * \left(\frac{x}{2}\right) = +n * A_{St1} * (d - x)$$

Inercia I_{cr}

$$I_{cr} = b * \frac{x^3}{3} + n * A_{St1} * (d - x)^2$$

Esfuerzo del concreto

$$f_c = \frac{M_s * c}{I_{cr}}$$

3- Ejemplo No.1

Una viga simplemente apoyada de 5 metros de luz está sujeta a una carga muerta de servicio uniforme (no mayorada) de 12 kN/m sin su propio peso y a una carga viva de servicio uniforme (no mayorada) de 5 kN. El concreto es de peso normal con un f'_c de 8 MPa y E_c igual a 21500 MPa. Determine si la sección se agrieta o no debido al momento actuante de las cargas de servicio M_s .

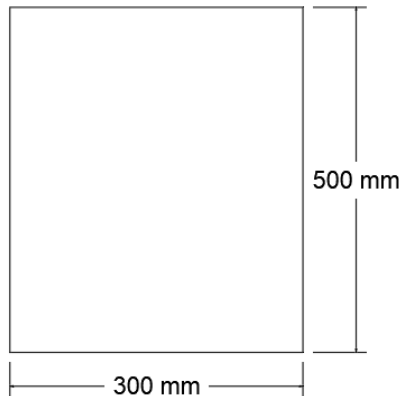


Figura No.9.

4- Desarrollo

4.1- Datos de entrada

Introducir medidas de base (b) y altura (h) de acuerdo con el elemento.

```
b = 0.30;           % Base [m]
h = 0.50;           % Altura [m]
L = 5;              % Longitud [m]
```

4.2- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada uno de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

Concreto

- Resistencia específica a la compresión.

```
f_c = 21e6;         % [Pa]
```

-Deformación máxima de concreto a compresión.

```
ecu = 0.003;
```

-Módulo de elasticidad del concreto.

```
E_c = 21500e6;     % [Pa]
```

Cálculo del factor de modificación con respecto a las propiedades del concreto λ

Seleccione el tipo de concreto.

```
landa =1;
```

-Peso específico del concreto.

```
y_c= 24e3; % [N/m^3]
```

4.3-Cargas

```
DL = 5; % [kN/m].  
LL = 8; % [kN/m].
```

Pesos propio del elemento

```
pp = (y_c*b*h)/1000;  
sprintf('Peso propio del elemento es de: %0.5g [kN/m]',pp)
```

```
ans =  
'Peso propio del elemento es de: 3.6 [kN/m]'
```

Carga de servicio

```
Ws = DL+pp;  
sprintf('Carga distribuida de servicio es de: %0.5g [kN/m]',Ws)
```

```
ans =  
'Carga distribuida de servicio es de: 8.6 [kN/m]'
```

4.4- Estado del elemento

Cálculo de y_t

```
yt = h/2;  
sprintf('yt: %0.5g [m]',yt)
```

```
ans =  
'yt: 0.25 [m]'
```

Módulo de rotura

$$f_r = 0.62\lambda \sqrt{f'_c}$$

```
fr = 0.62*landa*sqrt(fc/1e6); % [MPa]  
sprintf('fr: %0.5g [Mpa]',fr)
```

```
ans =  
'fr: 2.8412 [Mpa]'
```

Inercia

$$I_g = \frac{b * (h)^3}{12}$$

```
Ig = (b*(h^3))/12;  
sprintf('Ig: %0.5g [m^4]',Ig)
```

```
ans =  
'Ig: 0.003125 [m^4]'
```

Cálculo del momento de agrietamiento

$$M_{cr} = \frac{F_r * I}{y_t}$$

```
Mcr = ((fr*1e6*Ig)/yt)/1000; % [kN-m]  
sprintf('Mcr: %0.5g [kN-m]',Mcr)
```

```
ans =  
'Mcr: 35.515 [kN-m]'
```

Cálculo del momento M_s

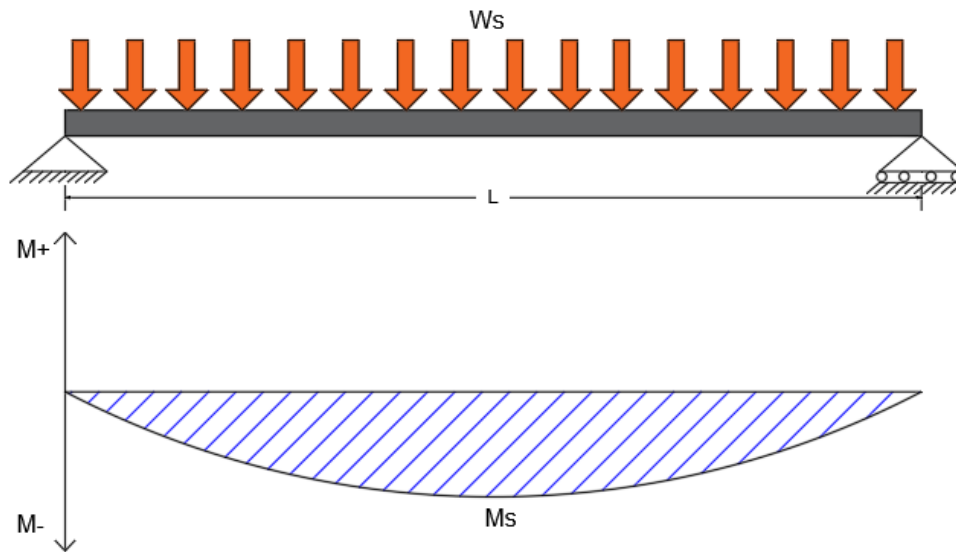


Figura No.10.

$$M_s = \frac{W_s * L^2}{8}$$

```
Ms = (((Ws)*(L^2))/8); % [kN-m]  
sprintf('Ms: %0.5g [kN-m]',Ms)
```

```
ans =  
'Ms: 26.875 [kN-m]'
```

```
if Mcr < Ms  
    disp('!!!! Concreto Agrietado !!!!')  
else  
    disp('!!!! Concreto No Agrietado !!!!')  
end
```

```
!!!! Concreto No Agrietado !!!!
```

5- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- McCormac, J. C. & Brown, R. H. (2011). Diseño de concreto reforzado. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Ejemplo No.2

1- Introducción

Una sección de viga en concreto reforzado, donde se le aplica desde una carga y esta se va aumentando gradualmente en magnitud hasta que llega a la rotura. Es ahí donde el elemento pasa por las tres etapas. La presente guía se da a conocer los fundamentos matemáticos y criterios necesarios de acuerdo al reglamento para determinar el estado del elemento. Teniendo en cuenta cada una de las especificaciones del concreto y del acero.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de contenido

Ejemplo No.2.....	1
1- Introducción.....	1
2- Enunciado.....	1
3- Desarrollo.....	2
3.1- Datos de entrada.....	2
3.2- Propiedades de los materiales.....	2
3.3- Aceros.....	3
Acero a tracción.....	3
3.4-Cargas.....	3
3.5- Recubrimiento.....	4
3.6- Localización del eje neutro.....	4
3.7- Estado del elemento.....	4
3.8- Esfuerzo normal en el concreto debido al momento M_s	6
4- Bibliografía.....	8

2- Enunciado

Una viga simplemente apoyada de 8 metros de luz no expuesta a la interperie está sujeta a una carga muerta de servicio uniforme de 15 kN/m sin su propio peso y una carga viva uniforme (no mayorada) de 20 kN. El concreto es de peso normal con un f'_c de 28 MPa y E_c igual a 21500 MPa. Contiene de 4 barras No. 7 (Ver Figura No.1) el f_y es 420 MPa y el E_s es 200000 MPa, el peso específico de $24 \text{ kN}/\text{m}^3$. Determine si la sección se agrieta o no debido al momento actuante de las cargas de servicio M_s y calcule el máximo esfuerzo normal en el concreto debido al momento M_s .

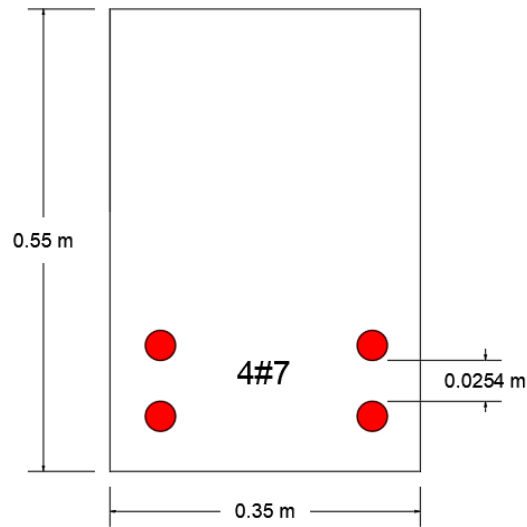


Figura No.1.

3- Desarrollo

3.1- Datos de entrada

Introducir medidas de base (b) y altura (h) de acuerdo con el elemento.

```
b = 0.35;           % Base [m]
h = 0.55;           % Altura [m]
L = 8;              % Longitud [m]
```

3.2- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada uno de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

Concreto

- Resistencia específica a la compresión.

```
fc = 28e6;          % [Pa]
```

-Deformación máxima de concreto a compresión.

```
ecu = 0.003;
```

-Módulo de elasticidad del concreto.

```
Ec = 21500e6;       % [Pa]
```

Cálculo del factor de modificación con respecto a las propiedades del concreto λ

Seleccione el tipo de concreto.

```
landa =1;
```


Acero

-Resistencia específica a la fluencia.

```
fy = 420e6; % [Pa]
```

-Módulo de elasticidad del acero.

```
Es = 200000e6; % [Pa]
```

-Deformación del acero.

```
ey = 0.00206;  
ey_t = 0.00500;
```

-Peso específico del concreto.

```
y_c= 24e3; % [N/m^3]
```

3.3- Aceros

Acero a tracción

Ingresa el número y el tipo de barra que tiene el elemento en la zona de tracción [m²]

Primera fila de acero.

```
N_bar_t1 = [387/1000000];  
bar_t1 = 2;  
D_t1 = [22.2/1000]; % Diámetro del acero [m]  
As_t1 = bar_t1*N_bar_t1; % Área del acero [m^2]
```

Segunda fila de acero.

```
N_bar_t2 = [387/1000000];  
bar_t2 = 2;  
D_t2 = [22.2/1000];  
As_t2 = bar_t2*N_bar_t2; % Área del acero [m^2]
```

3.4-Cargas

```
DL = 15;  
LL = 20;
```

Pesos propio del elemento

```
pp = (y_c*b*h)/1000;  
sprintf('Peso propio del elemento es de: %0.5g [kN/m]',pp)
```

```
ans =  
'Peso propio del elemento es de: 4.62 [kN/m]'
```

Carga de servicio

```
Ws = DL+pp;  
sprintf('Carga distribuida de servicio es de: %0.5g [kN/m]',Ws)
```

```
ans =  
'Carga distribuida de servicio es de: 19.62 [kN/m]'
```

3.5- Recubrimiento

```
re = 40*0.001; % [mm]  
sprintf('El recubrimiento es de: %0.5g [m]',re)
```

```
ans =  
'El recubrimiento es de: 0.04 [m]'
```

3.6- Localización del eje neutro

```
sp_c = 0.0254; % [m]
```

```
dp1 = re+(D_t1/2)
```

```
dp1 =  
0.0511
```

```
dp2 = re+D_t1+sp_c+(D_t2/2)
```

```
dp2 =  
0.0987
```

Área total a tracción

```
As_tol_t = As_t1+As_t2;  
sprintf('Área de acero que contiene el elemento a tracción: %0.5g [m2]',As_tol_t)
```

```
ans =  
'Área de acero que contiene el elemento a tracción: 0.001548 [m2]'
```

Para poder determinar la distancia y al centro de gravedad se implementa la siguiente formula:

$$g1 = \frac{(As_{t1} * d1) + (As_{t2} * d2)}{As_{t1} + As_{t2}}$$

```
g1 = ((As_t1*dp1)+(As_t2*dp2))/(As_t1+As_t2); % [m]  
sprintf('Centro de gravedad es de: %0.5g [m]',g1)
```

```
ans =  
'Centro de gravedad es de: 0.0749 [m]'
```

$$d = h - g1$$

```
d = h-g1; % [m] Distancia desde el borde superior a los centros  
sprintf('d: %0.5g [m]',d)
```

```
ans =  
'd: 0.4751 [m]'
```

3.7- Estado del elemento

Cálculo de y_t

```
yt = h/2;  
sprintf('yt: %0.5g [m]',yt)
```

```
ans =  
'yt: 0.275 [m]'
```

Módulo de rotura

$$f_r = 0.62\lambda \sqrt{f'_c}$$

```
fr = 0.62*landa*sqrt(fc/1e6);           % [MPa]  
sprintf('fr: %0.5g [Mpa]',fr)
```

```
ans =  
'fr: 3.2807 [Mpa]'
```

Inercia

$$I_g = \frac{b * (h)^3}{12}$$

```
Ig = (b*(h^3))/12;  
sprintf('Ig: %0.5g [m^4]',Ig)
```

```
ans =  
'Ig: 0.0048526 [m^4]'
```

Cálculo del momento de agrietamiento

$$M_{cr} = \frac{F_r * I}{y_t}$$

```
Mcr = ((fr*1e6*Ig)/yt)/1000;           % [kN-m]  
sprintf('Mcr: %0.5g [kN-m]',Mcr)
```

```
ans =  
'Mcr: 57.891 [kN-m]'
```

Cálculo del momento M_s

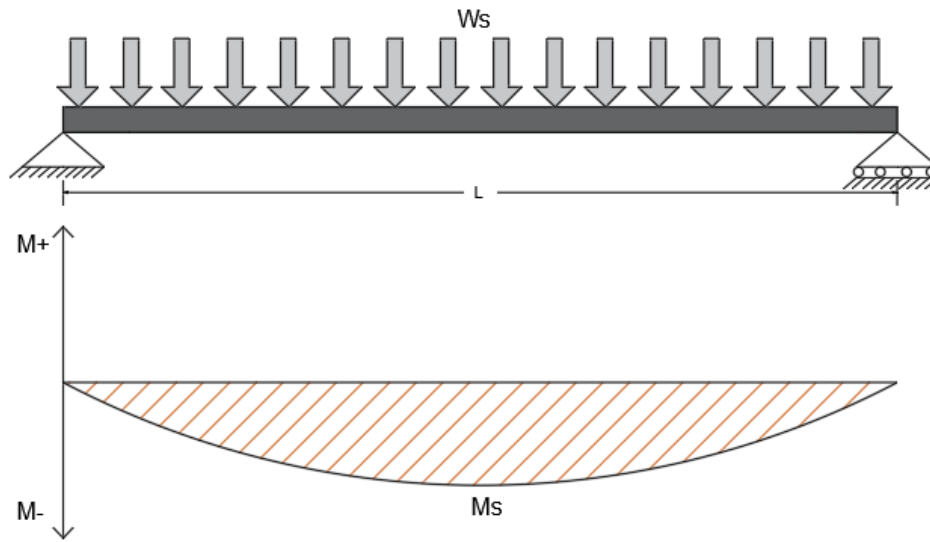


Figura No.2

$$M_s = \frac{W * L^2}{8}$$

```
Ms = ((Ws)*(L^2))/8);           %[kN-m]
sprintf('Ms: %0.5g [kN-m]',Ms)
```

```
ans =
'Ms: 156.96 [kN-m]'
```

```
if Mcr < Ms
    disp('!!!! Concreto agrietado !!!!')
else
    disp('!!!! Concreto no agrietado !!!!')
end
```

```
!!!! Concreto agrietado !!!!
```

3.8- Esfuerzo normal en el concreto debido al momento Ms.

Relación modular

```
n = Es/Ec;
sprintf('n: %0.5g ',n)
```

```
ans =
'n: 9.3023 '
```

Inercia transformada (sección agrietada)

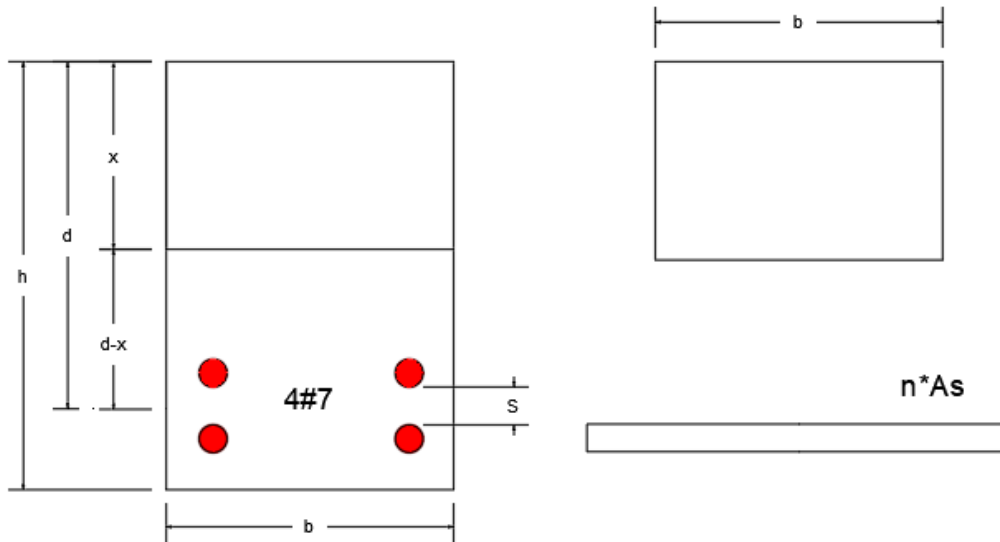


Figura No.3

Cálculo de x

$$b * x * \left(\frac{x}{2}\right) = +n * A_{s_{tl}} * (d - x)$$

```
syms x
c_iner = b*x*(x/2)-n*As_tol_t*(d-x)
```

```
c_iner =
```

$$\frac{7x^2}{40} + \frac{9x}{625} - \frac{42759}{6250000}$$

```
cx = double(solve(c_iner==0));
ind = find(cx>0);
ci = cx(ind);
sprintf('x: %0.5g [m]',ci)
```

```
ans =
'x: 0.16081 [m]'
```

Inercia I_{cr}

$$I_{cr} = b * \frac{x^3}{3} + n * A_{s_{tl}} * (d - x)^2$$

```
Icr = ((b*(ci^3))/3)+n*As_tol_t*((d-ci)^2);
sprintf('Icr: %0.5g [m^4]',Icr)
```

```
ans =
'Icr: 0.0019076 [m^4]'
```

Esfuerzo del concreto

$$f_c = \frac{M_s * c}{I_{cr}}$$

```
fc_n = ((Ms*ci)/Icr)/1000;           %[MPa]
sprintf('fc: %0.5g [Mpa]',fc_n)
```

```
ans =
'fc: 13.232 [Mpa]'
```

Verificamos

```
if fc_n < fc
    disp(' !!!!! SI cumple !!!!! ')
else
    disp(' !!!!! No cumple !!!!! ')
end
```

```
!!!!!! SI cumple !!!!!
```

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Enunciado

clc, clear, close all, format short

Una viga rectangular reforzada ubicada en el eje B 1-2 del plano adjunto (Ver figura No.2) está sujeta a una carga muerta de servicio por tablero de 7 kN/m^2 y una carga viva uniforme (no mayorada) por tablero de 5 kN/m^2 . El concreto es de peso normal con un f'_c de 25 MPa y E_c de 21500 MPa. Contiene de 6 barras No. 7 (Ver figura No.2) el f'_y es 420 MPa y el E_s es 200000 MPa, el peso específico de 24 kN/m^3 . Determine si la sección de viga indicada se agrieta o no debido al momento actuante de las cargas de servicio M_s y calcule el máximo esfuerzo normal en el concreto debido al momento M_s .

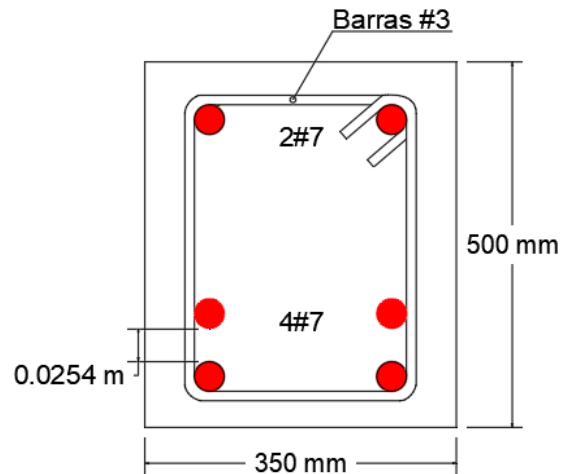


Figura No.1.

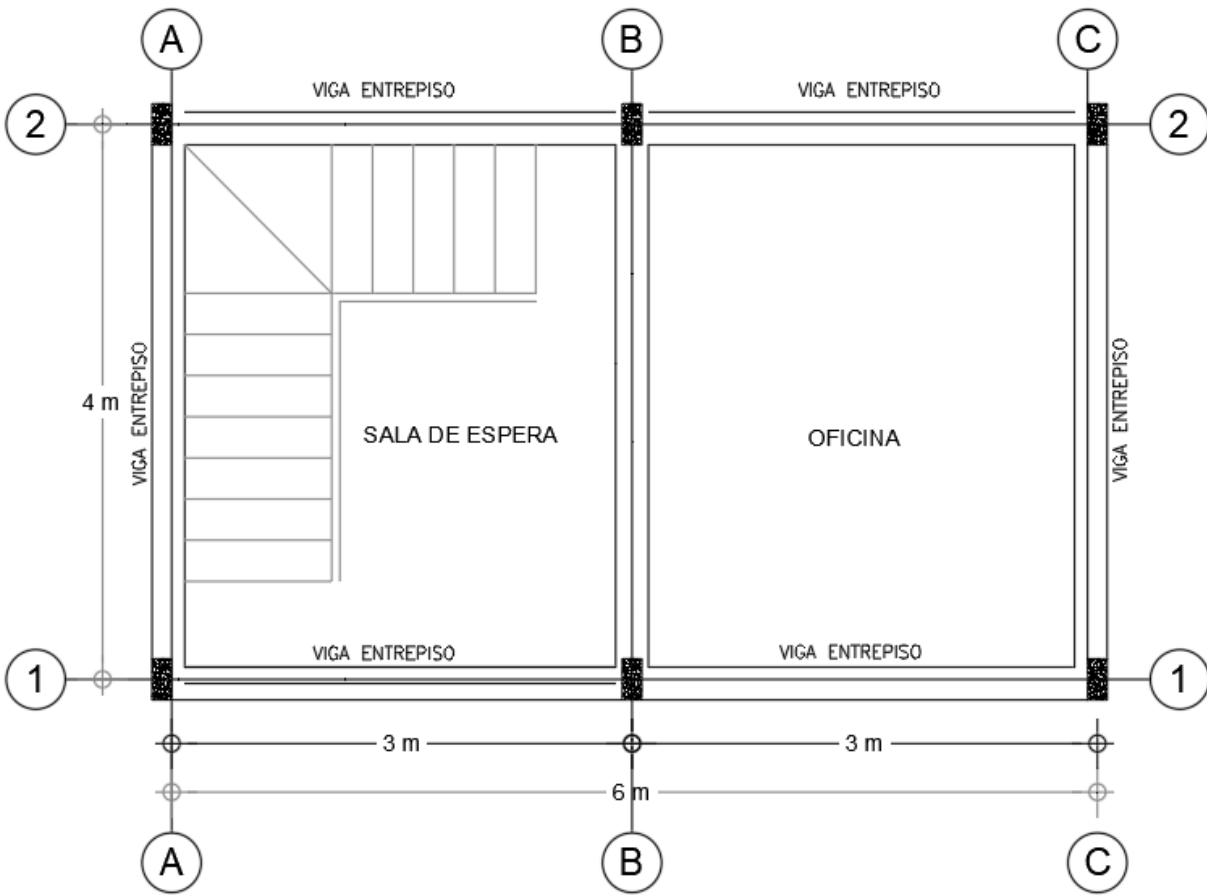


Figura No.2.

H. Anexo: Guía deflexiones.

Deflexiones en vigas

1- Introducción

En la presente guía se muestra de manera detallada cada uno de los parámetros establecidos por la normativa acerca de cómo determinar las deflexiones en vigas de concreto reforzado. Dando a entender que las deflexiones pueden ser muy importantes. Si son excesivas pueden ocasionar daños tales como en muros divisorios y desajustar puertas y ventanas.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de Contenido

Deflexiones en vigas.....	1
1- Introducción.....	1
2- Aspectos teóricos.....	1
3- Ejemplo No.1.....	5
4- Desarrollo.....	5
4.1- Datos de entrada.....	5
4.2- Propiedades de los materiales.....	5
4.3- Aceros.....	6
4.4- Cargas.....	6
4.5- Deflexión Instantánea o a corto plazo por carga muerta ().....	6
5- Bibliografía.....	10

2- Aspectos teóricos

Actualmente el método de diseño por resistencia, donde el uso de concretos y aceros de mayor resistencia, ha permitido el uso de elementos relativamente esbeltos. Como consecuencia, las famosas deflexiones junto a los agrietamientos por deflexión se han convertido en grandes problemas (McCormac & Brown, 2011).

Las deflexiones en elementos como en vigas de concreto reforzado pueden ser muy importantes. Si son excesivas pueden ocasionar pisos con formas onduladas, charcos en cubiertas de concreto. De tal forma, estas deflexiones pueden dañar los muros divisorios y desajustar el cierre de puertas y ventanas. Además, pueden afectar la apariencia de una estructura o alarmar a los ocupantes de un edificio. Por lo tanto, toda estructura usada por personas debe ser lo suficiente rígida y relativamente libre de vibración para generar un ambiente de seguridad para los ocupantes (McCormac & Brown, 2011).

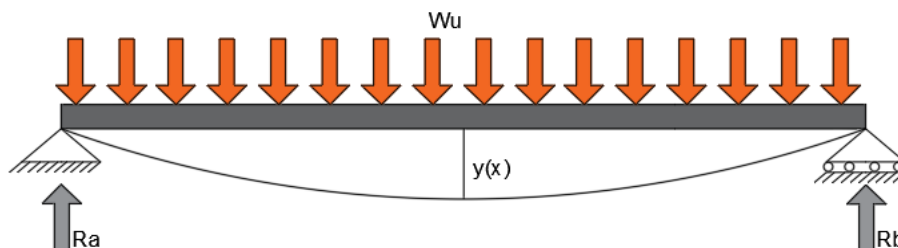


Figura No.1.

Para reducir de una mejor manera las deflexiones es aumentando la altura de los elementos. Pero como bien se sabe, los proyectistas están siempre bajo presión en conservar en los elementos la altura ya que estas de requiere lo más baja posible. Como se puede observar, los elementos con alturas bajas implican pisos mas delgados, y estos implican que las edificaciones sean de menor altura. De tal forma, en la normativa nos indica atreves de unas tablas un conjunto de espesores mínimos que se deben usar en las vigas y losas en una dirección, pero a menos que los cálculos de las deflexiones indiquen que son permisibles a espesores menores. En caso en que el proyectista no tome en cuenta los espesores mínimos dados en las tablas de la normativa, deberá calcular las deflexiones reales del elemento (McCormac & Brown, 2011).

Cálculo de deflexiones

Para elementos de concreto reforzado se pueden calcular con la ayuda de las expresiones usuales para deflexiones como se muestran a continuación:

Caso 1: Fórmula para deflexión: $\delta = \frac{5W_u L^4}{384EI}$.

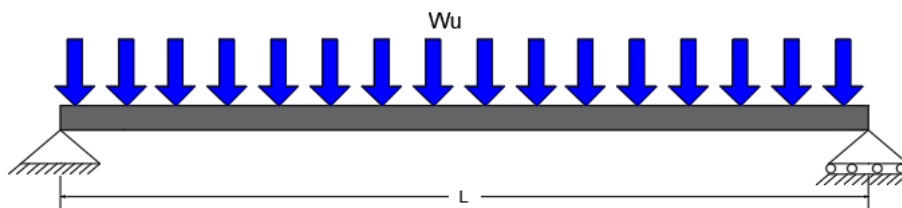


Figura No.2.

Caso 2: Fórmula para deflexión: $\delta = \frac{W_u L^4}{384EI}$.

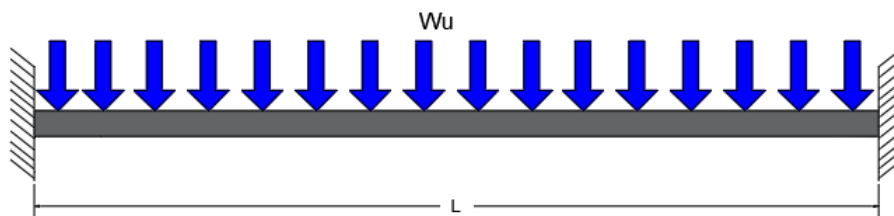


Figura No.3.

Caso 3: Fórmula para deflexión: $\delta = \frac{W_u L^4}{8EI}$.

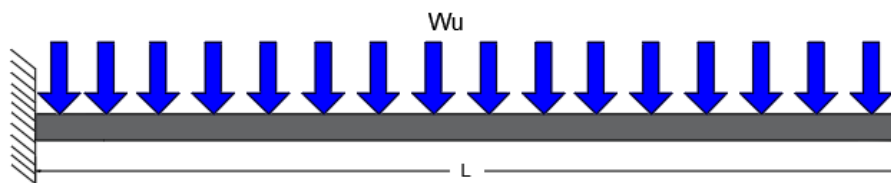


Figura No.4.

Caso 4: Fórmula para deflexión: $\delta = \frac{P_u L^3}{48EI}$.

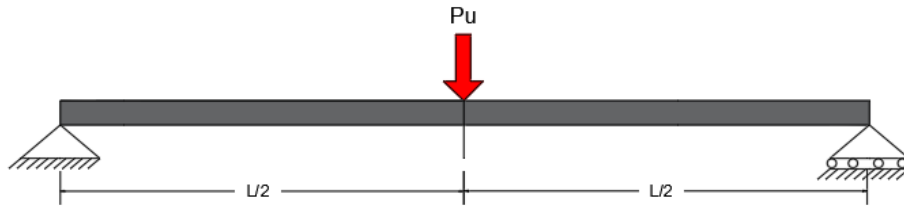


Figura No.5.

Caso 5: Fórmula para deflexión: $\delta = \frac{P_u L^3}{192EI}$.

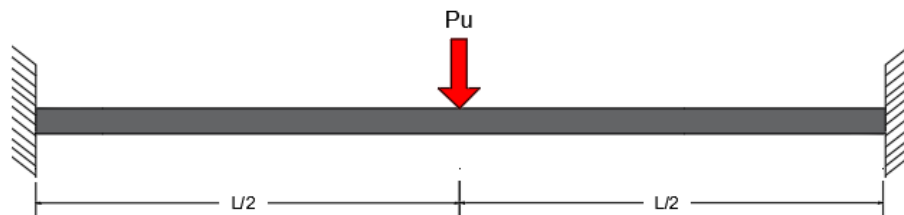


Figura No.6.

Caso 6: Fórmula para deflexión: $\delta = \frac{P_u L^3}{3EI}$.



Figura No.7.

Caso 7: Fórmula para deflexión: $\delta = \frac{M_u L^3}{16EI}$.

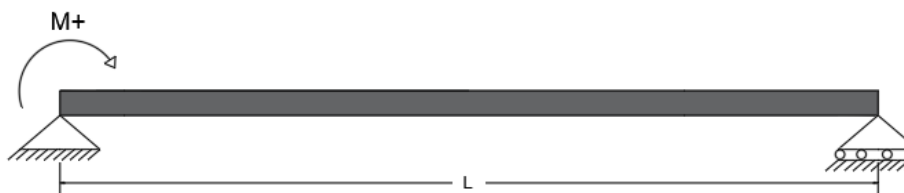


Figura No.8.

Donde el momento del elemento es menor que el momento de agrietamiento M_{agr} se puede deducir que el elemento no está agrietado, por lo que el momento de inercia es igual a I_g . De lo contrario cuando el momento es mayor que M_{cr} las grietas de tensión que se desarrollan en el elemento ocasionaran efectivamente que se reduzca la sección transversal, por lo que el momento de inercia se puede suponer igual al valor de la transformada. Para una sección de concreto que este un 100% agrietada, en la parte de tensión se dará una rigidez con un valor de un tercio a tres cuartos de la rigidez completa de sección si no esta agrietada. Para diferentes elementos a lo largo del elemento, la rigidez varia en función del momento actuante (McCormac & Brown, 2011).

En el numeral C.9.5.2.3 de la NSR-10 da una expresión de momento de inercia para usar en los cálculos de las deflexiones. El momento de inercia da un valor de transición I_g e I_{cr} que este depende del grado de agrietamiento causado por las cargas actuantes. El momento de inercia efectivo le se basa en una estimación de la cantidad probable de agrietamiento causado por el momento a lo largo del elemento.

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 * I_g + \left(1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right) * I_{cr}$$

Donde:

$$M_{cr} = \frac{f_r * I_g}{y_t}$$

Para concreto de peso normal:

$$f_r = 0.62\lambda \sqrt{f'_c}$$

M_{cr} = Momento de fisura.

M_a = Momento máximo debido a cargas de servicio presente en el elemento en la etapa para que se calcula la deflexión.

I_g = Momento de inercia de la sección bruta del elemento con respecto al eje que pasa por el centroide.

I_{cr} = Momento de inercia de la sección fisura transformada a concreto.

Para elementos prismáticos continuos según el numeral C.9.5.2.4 permite tomar le como el promedio de los valores obtenidos para las secciones criticas de momento positivo y negativo. Para elementos prismáticos, la normativa permite tomar le en el centro de la luz para tramos simples y continuos y en el punto de apoyo para voladizos.

En caso donde los valores se obtengan mediante un análisis mas complejo, la deflexión adicional a largo plazo, resultante de flujo plástico y retracción de elementos en flexión debe determinarse multiplicando la deflexión inmediata causada por la carga permanente por el factor λ_{Δ} .

$$\lambda_{\Delta} = \frac{\xi}{1 + 50\rho'}$$

Donde el valor ρ' está dado en la mitad de la luz para tramos simples y continuos y en el punto de apoyo para voladizos. Donde puede tomarse como el factor dependiente del tiempo para cargas sostenidas en periodos.

3- Ejemplo No.1

La viga de la figura No.9 tiene un claro simple de 8 metros y soporta una carga muerta, incluyendo su propio peso, de 18 kN/m y una carga viva de 12 kN/m y un f_c 28 Mpa. Calcular la deflexión instantánea para la carga muerta.

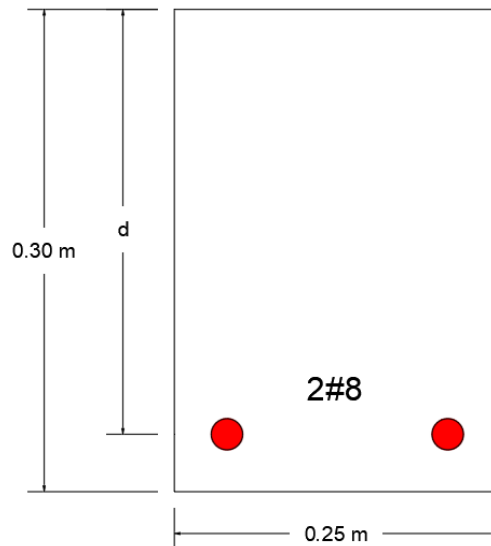


Figura No.9.

4- Desarrollo

4.1- Datos de entrada

Introducir medidas de acuerdo con el elemento.

```
b = 0.25;           % Base [m]
h = 0.30;           % Altura [m]
L = 8;              % Longitud [m]
d = 0.23;           % Distancia efectiva [m]
```

4.2- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada uno de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

Concreto

- Resistencia específica a la compresión.

```
fc = 28e6;         % [Pa]
```

-Módulo de elasticidad del acero.

```
Ec = 21500e6;     % [Pa]
```

Cálculo del factor de modificación con respecto a las propiedades del concreto λ

Seleccione el tipo de concreto.

```
landa =1;
```

Acero

-Resistencia específica a la fluencia.

```
fy = 420e6; % [Pa]
```

-Módulo de elasticidad del acero.

```
Es = 200000e6; % [Pa]
```

4.3- Aceros

Acero a tracción

Ingresa el número y el tipo de barra que tiene el elemento en la zona de tracción [m²]

```
N_bar_t1 = [510/1000000]; % Área de la barra [m^2].
bar_t1 = 2; % Número de barras.
D_t1 = [25.4/1000]; % Diámetro del acero [m].
As_t1 = bar_t1*N_bar_t1; % Área del acero total [m^2].
```

4.4- Cargas

```
DL = 18; % [kN/m].
LL = 12; % [kN/m].
```

Carga de servicio

```
Wa = DL+LL;
sprintf('Carga distribuida de servicio es de: %0.5g [kN/m]', Wa)
```

```
ans =
'Carga distribuida de servicio es de: 30 [kN/m]'
```

4.5- Deflexión Instantánea o a corto plazo por carga muerta (δD)

Determine si la sección se agrieta o no debido al momento actuante de las cargas de servicio M_a (es decir, M_a es el momento máximo debido a las cargas no mayoradas).

Cálculo de y

```
yt = h/2;
sprintf('y: %0.5g [m]', yt)
```

```
ans =
'y: 0.15 [m]'
```

Módulo de rotura

$$f_r = 0.62\lambda \sqrt{f'_c}$$

```
fr = 0.62*landa*sqrt(fc/1e6); % [MPa]
sprintf('fr: %0.5g [Mpa]',fr)
```

```
ans =
'fr: 3.2807 [Mpa]'
```

Inercia

$$I_g = \frac{b * (h)^3}{12}$$

```
Ig = (b*(h^3))/12; % [m^4]
sprintf('Ig: %0.5g [m^4]',Ig)
```

```
ans =
'Ig: 0.0005625 [m^4]'
```

Cálculo del momento de agrietamiento

$$M_{cr} = \frac{F_r * I_g}{y_t}$$

```
Mcr = ((fr*1e6*Ig)/yt)/1000; % [kN-m]
sprintf('Mcr: %0.5g [kN-m]',Mcr)
```

```
ans =
'Mcr: 12.303 [kN-m]'
```

Cálculo del momento Ma

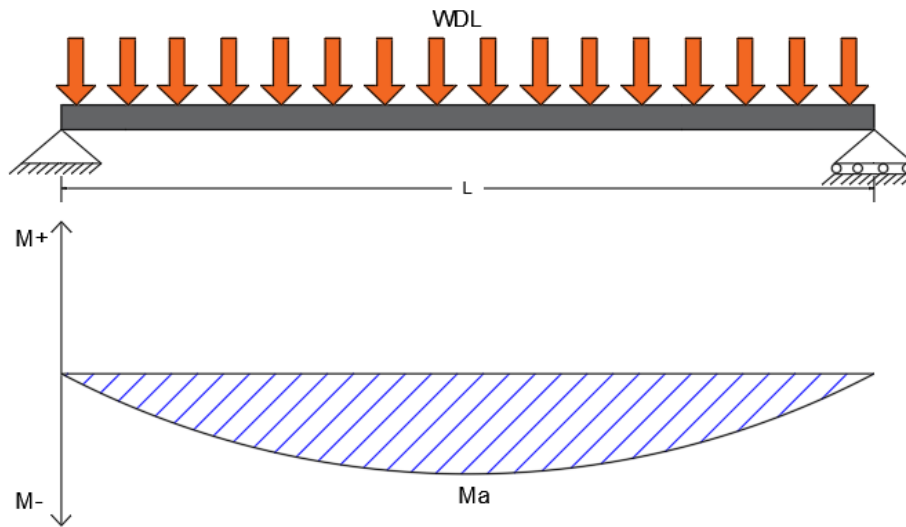


Figura No.10

$$M_a = \frac{W_{DL} * L^2}{8}$$

```
Ma = (((DL)*(L^2))/8); % [kN-m]
```



```
sprintf('Ma: %0.5g [kN-m]',Ma)
```

```
ans =
'Ma: 144 [kN-m]'
```

```
if Mcr < Ma
    disp('!!!! Concreto Agrietado !!!!')
else
    disp('!!!! Concreto No Agrietado !!!!')
end
```

```
!!!! Concreto Agrietado !!!!
```

Puesto que el momento por carga muerta M_a es menor que el momento por agrietamiento M_{cr} debe usarse

$$M_{cr} = M_a \text{ e } I_e = I_g$$

Relación modular

```
n = Es/Ec;
sprintf('n: %0.5g ',n)
```

```
ans =
'n: 9.3023 '
```

Inercia transformada (sección agrietada)

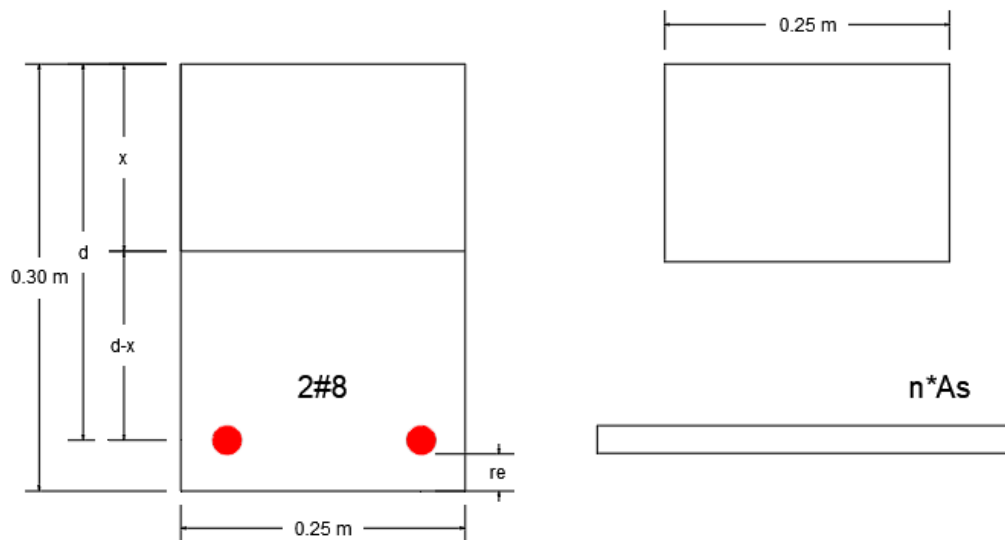


Figura No.11

Cálculo de x

$$b * x * \left(\frac{x}{2}\right) = +n * A_{s_{t1}} * (d - x)$$

```
syms x
c_iner = b*x*(x/2)-n*As_t1*(d-x)
```

```
c_iner =
```

$$\frac{x^2}{8} + \frac{51x}{5375} - \frac{1173}{537500}$$

```
cx = double(solve(c_iner==0));
ind = find(cx>0);
ci = cx(ind);
sprintf('x: %0.5g [m]',ci)
```

```
ans =
'x: 0.09952 [m]'
```

Inercia I_{cr}

$$I_{cr} = b * \frac{x^3}{3} + n * A_{stl} * (d - x)^2$$

```
Icr = ((b*(ci^3))/3)+n*As_t1*((d-ci)^2);
sprintf('Icr: %0.5g [m^4]',Icr)
```

```
ans =
'Icr: 0.00024368 [m^4]'
```

Cálculo de I_e

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 * I_g + \left(1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right) * I_{cr}$$

```
Ie = (((Mcr/Ma)^3)*(Ig))+(1-((Mcr/Ma)^3))*Icr;
sprintf('Ie: %0.5g [m^4]',Ie)
```

```
ans =
'Ie: 0.00024388 [m^4]'
```

Cálculo de la deflexión

$$\delta = \frac{5 * W * L^4}{384 * E_c * I_e}$$

```
Df = (5*DL*1000*(L^4))/(384*Ec*Ie);
sprintf('Deflexión: %0.5g [m]',Df)
```

```
ans =
'Deflexión: 0.18309 [m]'
```

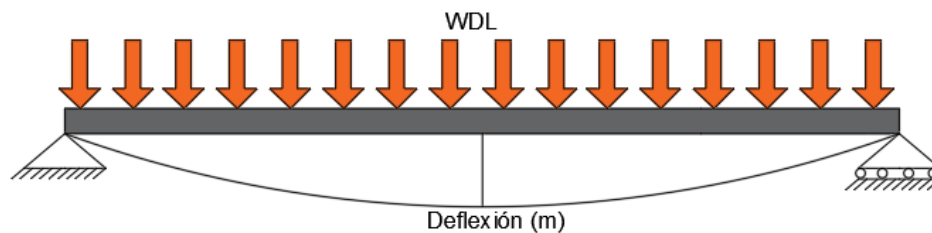


Figura No.12

5- Bibliografía

- McCormac, J. C. & Brown, R. H. (2011). Diseño de concreto reforzado. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Ejemplo No.2: Deflexiones en vigas simples

1- Introducción

La verificación de las deflexiones es de suma importancia a la hora de diseñar una estructura. De manera de que si son excesivas pueden ocasionar daños en la edificación, tales como en muros divisorios y desajustar puertas y ventanas. Por lo tanto, en la presente guía se muestra de manera detallada cada uno de los parámetros establecidos por la normativa acerca de cómo determinar las deflexiones en una viga simplemente apoyada de concreto reforzado.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de Contenido

Ejemplo No.2: Deflexiones en vigas simples.....	1
1- Introducción.....	1
2- Enunciado.....	1
3- Desarrollo.....	2
3.1- Datos de entrada.....	2
3.2- Propiedades de los materiales.....	2
3.3- Aceros.....	2
3.4- Cargas.....	3
3.5- Deflexión Instantánea o a corto plazo por carga muerta ().....	3
3.6- Deflexión instantánea o a corto plazo por carga muerta + carga viva total ().....	6
4- Bibliografía.....	7

2- Enunciado

La viga de la figura No.1 tiene un claro simple de 4 metros y soporta una carga muerta, incluyendo su propio peso, de 20 kN/m y una carga viva de 14 kN/m y un f_c 25 MPa. Calcular la deflexión instantánea para la carga muerta y la deflexión instantánea o a corto plazo por carga muerta + carga viva total.

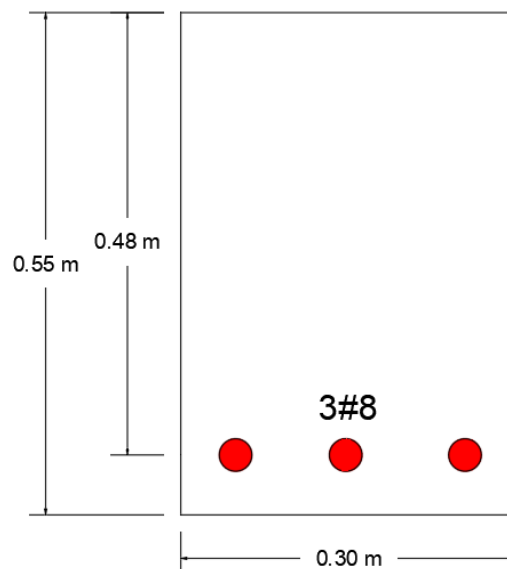


Figura No.1.

3- Desarrollo

3.1- Datos de entrada

Introducir medidas de acuerdo con el elemento.

```
b = 0.30; % Base [m]
h = 0.55; % Altura [m]
L = 4; % Longitud [m]
d = 0.48; % Distancia efectiva [m]
```

3.2- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada uno de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

Concreto

- Resistencia específica a la compresión.

```
fc = 25e6; % [Pa]
```

-Módulo de elasticidad del acero.

```
Ec = 21500e6; % [Pa]
```

Cálculo del factor de modificación con respecto a las propiedades del concreto λ

Seleccione el tipo de concreto.

```
landa = 1;
```

Acero

-Resistencia específica a la fluencia.

```
fy = 420e6; % [Pa]
```

-Módulo de elasticidad del acero.

```
Es = 200000e6; % [Pa]
```

3.3- Aceros

Acero a tracción

Ingresa el número y el tipo de barra que tiene el elemento en la zona de tracción [m²]

```
N_bar_t1 = [510/1000000]; % Área de la barra [m^2].
bar_t1 = 3; % Número de barras.
D_t1 = [25.4/1000]; % Diámetro del acero [m]
As_t1 = bar_t1*N_bar_t1; % Área del acero [m^2]
```

3.4- Cargas

```
DL = 20; % [kN/m].  
LL = 14; % [kN/m].
```

Carga de servicio

```
Wa = DL+LL;  
sprintf('Carga distribuida de servicio es de: %0.5g [kN/m]',Wa)  
  
ans =  
'Carga distribuida de servicio es de: 34 [kN/m]'
```

3.5- Deflexión Instantánea o a corto plazo por carga muerta (δD)

Determine si la sección se agrieta o no debido al momento actuante de las cargas de servicio M_a (es decir, M_a es el momento máximo debido a las cargas no mayoradas).

Cálculo de y

```
yt = h/2;  
sprintf('y: %0.5g [m]',yt)  
  
ans =  
'y: 0.275 [m]'
```

Módulo de rotura

$$f_r = 0.62\lambda \sqrt{f'_c}$$

```
fr = 0.62*landa*sqrt(fc/1e6); % [MPa]  
sprintf('fr: %0.5g [Mpa]',fr)  
  
ans =  
'fr: 3.1 [Mpa]'
```

Inercia

$$I_g = \frac{b * (h)^3}{12}$$

```
Ig = (b*(h^3))/12; % [m^4]  
sprintf('Ig: %0.5g [m^4]',Ig)  
  
ans =  
'Ig: 0.0041594 [m^4]'
```

Cálculo del momento de agrietamiento

$$M_{cr} = \frac{F_r * I_g}{y_t}$$

```
Mcr = ((fr*1e6*Ig)/yt)/1000; % [kN-m]  
sprintf('Mcr: %0.5g [kN-m]',Mcr)
```

```
ans =
'Mcr: 46.888 [kN-m]'
```

Cálculo del momento M_a

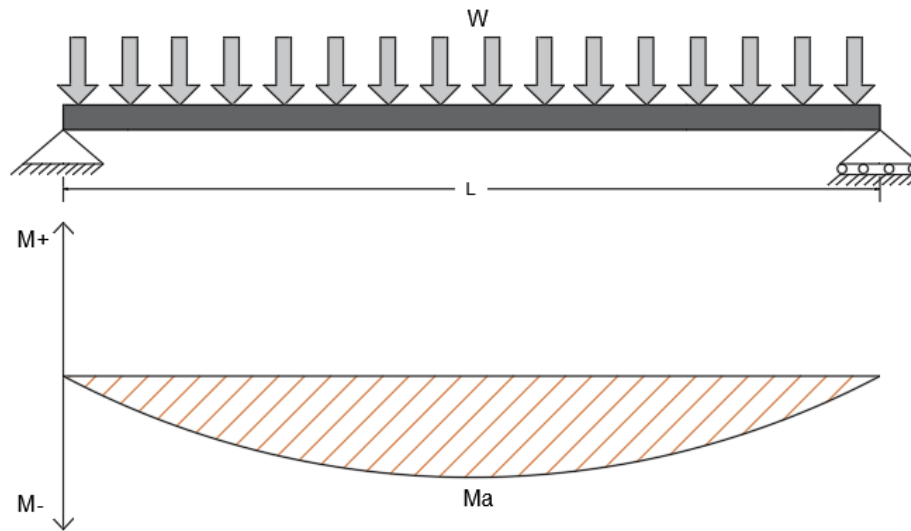


Figura No.2.

$$M_a = \frac{W_{DL} * L^2}{8}$$

```
Ma = (((DL)*(L^2))/8); % [kN-m]
sprintf('Ma: %0.5g [kN-m]', Ma)
```

```
ans =
'Ma: 40 [kN-m]'
```

```
if Mcr < Ma
    disp('!!!! Concreto Agrietado !!!!')
else
    disp('!!!! Concreto No Agrietado !!!!')
end
```

```
!!!! Concreto No Agrietado !!!!
```

Puesto que el momento por carga muerta M_a es menor que el momento por agrietamiento M_{cr} debe usarse

$$M_{cr} = M_a \text{ e } I_e = I_g.$$

Relación modular

```
n = Es/Ec;
sprintf('n: %0.5g ', n)
```

```
ans =
'n: 9.3023 '
```

Inercia transformada (sección agrietada)

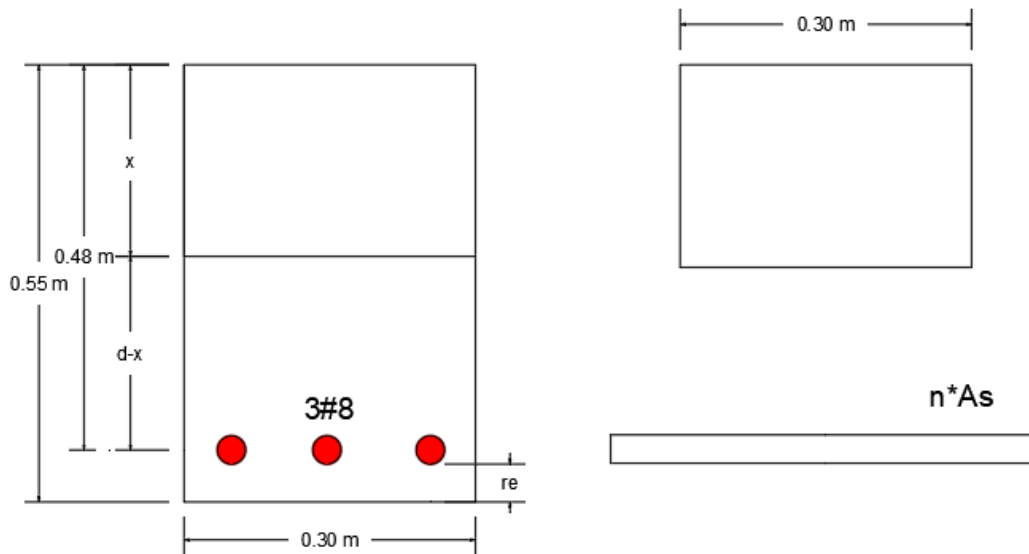


Figura No.3.

Cálculo de x

$$b * x * \left(\frac{x}{2}\right) = +n * A_{s_{t1}} * (d - x)$$

```
syms x
c_iner = b*x*(x/2)-n*As_t1*(d-x)
```

$$c_iner = \frac{3x^2}{20} + \frac{153x}{10750} - \frac{918}{134375}$$

```
cx = double(solve(c_iner==0));
ind = find(cx>0);
ci = cx(ind);
sprintf('x: %0.5g [m]',ci)
```

```
ans =
'x: 0.17118 [m]'
```

Inercia I_{cr}

$$I_{cr} = b * \frac{x^3}{3} + n * A_{s_{t1}} * (d - x)^2$$

```
Icr = ((b*(ci^3))/3)+n*As_t1*((d-ci)^2);
sprintf('Icr: %0.5g [m^4]',Icr)
```

```
ans =
'Icr: 0.001859 [m^4]'
```

Cálculo de I_e

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 * I_g + \left(1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right) * I_{cr}$$

```
Ie = (((Mcr/Ma)^3)*(Ig))+(1-((Mcr/Ma)^3))*Icr;
sprintf('Ie: %0.5g [m^4]',Ie)
```

```
ans =
'Ie: 0.005564 [m^4]'
```

Cálculo de la deflexión

$$\delta = \frac{5 * W * L^4}{384 * E_c * I_e}$$

```
Df = (5*DL*1000*(L^4))/(384*Ec*Ie);
sprintf('Deflexión: %0.5g [m]',Df)
```

```
ans =
'Deflexión: 0.00055729 [m]'
```

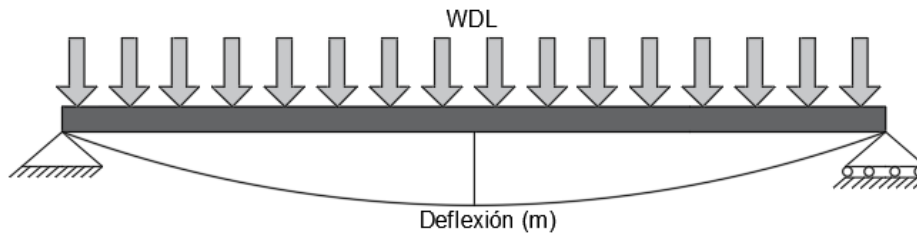


Figura No.4.

3.6- Deflexión instantánea o a corto plazo por carga muerta + carga viva total (δ_{D+L})

Cálculo del momento M_a

$$M_a = \frac{W_{DL} * L^2}{8}$$

```
Ma2 = (((Wa)*(L^2))/8); % [kN-m]
sprintf('Ma: %0.5g [kN-m]',Ma2)
```

```
ans =
'Ma: 68 [kN-m]'
```

```
if Mcr < Ma2
    disp('!!!! Concreto Agrietado !!!!')
else
    disp('!!!! Concreto No Agrietado !!!!')
end
```

```
!!!! Concreto Agrietado !!!!
```

Cálculo de I_e

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 * I_g + \left(1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right) * I_{cr}$$

```
Ie2 = (((Mcr/Ma2)^3)*(Ig))+(1-((Mcr/Ma2)^3))*Icr;
sprintf('Ie: %0.5g [m^4]',Ie2)
```

```
ans =
'Ie: 0.0026131 [m^4]'
```

Cálculo de la deflexión

$$\delta = \frac{5 * W * L^4}{384 * E_c * I_e}$$

```
Df2 = (5*Wa*1000*(L^4))/(384*Ec*Ie2);
sprintf('Deflexión: %0.5g [m]',Df2)
```

```
ans =
'Deflexión: 0.0020173 [m]'
```

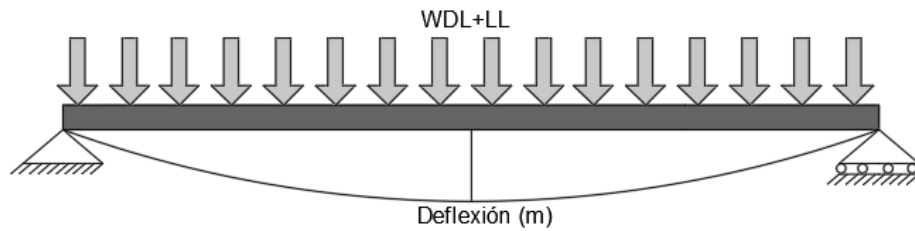


Figura No.5.

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Ejemplo No.3: Deflexiones en vigas simples

1- Introducción

La verificación de las deflexiones es de suma importancia a la hora de diseñar una estructura. De manera de que si son excesivas pueden ocasionar daños en la edificación, tales como en muros divisorios y desajustar puertas y ventanas. Por lo tanto, en la presente guía se muestra de manera detallada cada uno de los parámetros establecidos por la normativa acerca de cómo determinar las deflexiones en una viga simplemente apoyada de una luz excesiva en concreto reforzado.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de Contenido

Ejemplo No.3: Deflexiones en vigas simples.....	1
1- Introducción.....	1
2- Enunciado.....	1
3- Desarrollo.....	2
3.1- Datos de entrada.....	2
3.2- Propiedades de los materiales.....	2
3.3- Aceros.....	3
3.4- Cargas.....	3
3.5- Deflexión Instantánea o a corto plazo por carga muerta ().....	3
3.6- Deflexión instantánea o a corto plazo por carga muerta + carga viva total ().....	6
3.7- Deflexión inicial por carga muerta + 30% de carga viva al ().....	7
4- Bibliografía.....	8

2- Enunciado

La viga de la figut No.1 tiene un claro simple de 6 metros y soporta una carga muerta, incluyendo su propio peso, de 1.36 kN/m y una carga viva de 0.95 kN/m y un f_c 21 MPa.

- Calcular deflexión Instantánea o a corto plazo por carga muerta (δ_D).
- Calcular deflexión instantánea o a corto plazo por carga muerta + carga viva total (δ_{D+L}).
- Calcular deflexión inicial por carga muerta + 30% de carga viva al ($\delta_D + \delta_{SL}$).

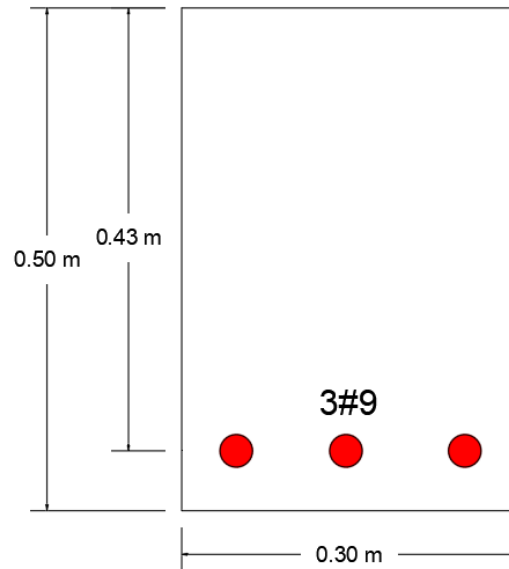


Figura No.1.

3- Desarrollo

3.1- Datos de entrada

Introducir medidas de acuerdo con el elemento.

```

b =      0.30;           % Base [m]
h =      0.50;           % Altura [m]
L =      6;              % Longitud [m]
d =      0.43;           % Distancia efectiva [m]
  
```

3.2- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada uno de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

Concreto

- Resistencia específica a la compresión.

```

fc =      21e6;           % [Pa]
  
```

-Módulo de elasticidad del acero.

```

Ec =      21500e6;        % [Pa]
  
```

Cálculo del factor de modificación con respecto a las propiedades del concreto λ

Seleccione el tipo de concreto.

```

landa = 1;
  
```

Acero

-Resistencia específica a la fluencia.

```
fy = 420e6; % [Pa]
```

-Módulo de elasticidad del acero.

```
Es = 200000e6; % [Pa]
```

3.3- Aceros

Acero a tracción

Ingresa el número y el tipo de barra que tiene el elemento en la zona de tracción [m²].

```
N_bar_t1 = [645/1000000]; % Área de la barra [m^2].  
bar_t1 = 3; % Número de barras.  
D_t1 = [28.7/1000]; % Diámetro del acero [m]  
As_t1 = bar_t1*N_bar_t1; % Área del acero [m^2]
```

3.4- Cargas

```
DL = 15; % [kN/m].  
LL = 10.5; % [kN/m].
```

Carga de servicio

```
Wa = DL+LL;  
sprintf('Carga distribuida de servicio es de: %0.5g [kN/m]', Wa)
```

```
ans =  
'Carga distribuida de servicio es de: 25.5 [kN/m]'
```

3.5- Deflexión Instantánea o a corto plazo por carga muerta (δD)

Determinar si la sección se agrieta o no debido al momento actuante de las cargas de servicio M_a (es decir, M_a es el momento máximo debido a las cargas no mayoradas).

Cálculo de y

```
yt = h/2;  
sprintf('y: %0.5g [m]', yt)
```

```
ans =  
'y: 0.25 [m]'
```

Módulo de rotura

$$f_r = 0.62\lambda\sqrt{f'_c}$$

```
fr = 0.62*landa*sqrt(fc/1e6); % [MPa]  
sprintf('fr: %0.5g [Mpa]', fr)
```

```
ans =  
'fr: 2.8412 [Mpa]'
```

Inercia

$$I_g = \frac{b * (h)^3}{12}$$

```
Ig = (b*(h^3))/12; % [m^4]
sprintf('Ig: %0.5g [m^4]',Ig)
```

```
ans =
'Ig: 0.003125 [m^4]'
```

Cálculo del momento de agrietamiento

$$M_{cr} = \frac{F_r * I_g}{y_t}$$

```
Mcr = ((fr*1e6*Ig)/yt)/1000; % [kN-m]
sprintf('Mcr: %0.5g [kN-m]',Mcr)
```

```
ans =
'Mcr: 35.515 [kN-m]'
```

Cálculo del momento Ma

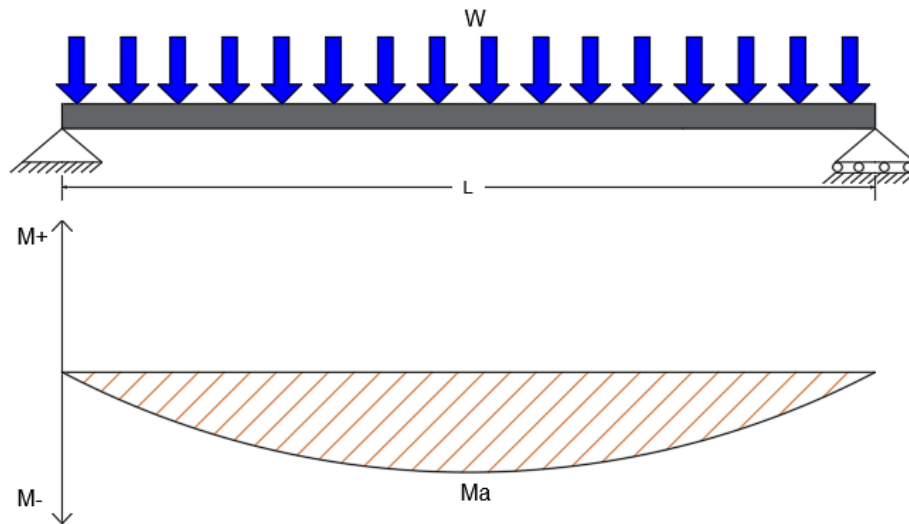


Figura No.2.

$$M_a = \frac{W_{DL} * L^2}{8}$$

```
Ma = ((DL)*(L^2))/8; % [kN-m]
sprintf('Ma: %0.5g [kN-m]',Ma)
```

```
ans =
'Ma: 67.5 [kN-m]'
```

```

if Mcr < Ma
    disp('!!!! Concreto Agrietado !!!!')
else
    disp('!!!! Concreto No Agrietado !!!!')
end

```

```

!!!! Concreto Agrietado !!!!

```

Puesto que el momento por carga muerta M_a es menor que el momento por agrietamiento M_{cr} debe usarse

$$M_{cr} = M_a e I_e = I_g$$

Relación modular

```

n = Es/Ec;
sprintf('n: %0.5g ',n)

```

```

ans =
'n: 9.3023 '

```

Inercia transformada (sección agrietada)

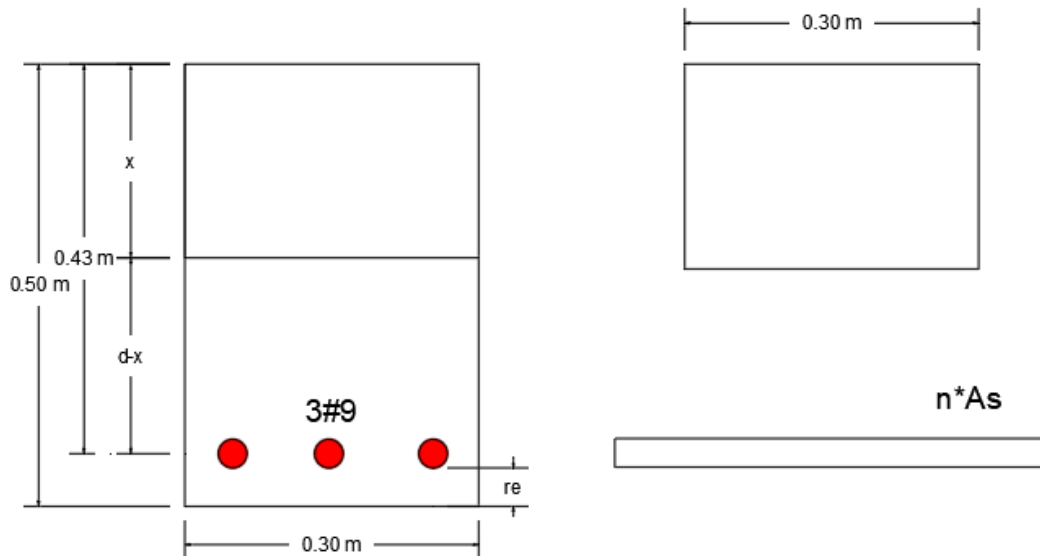


Figura No.3.

Cálculo de x

$$b * x * \left(\frac{x}{2}\right) = +n * A_{s_{t1}} * (d - x)$$

```

syms x
c_iner = b*x*(x/2)-n*As_t1*(d-x)

```

```

c_iner =

```

$$\frac{3x^2}{20} + \frac{9x}{500} - \frac{387}{50000}$$

```

cx = double(solve(c_iner==0));

```

```
ind = find(cx>0);
ci = cx(ind);
sprintf('x: %0.5g [m]',ci)
```

```
ans =
'x: 0.17495 [m]'
```

Inercia I_{cr}

$$I_{cr} = b * \frac{x^3}{3} + n * A_{st1} * (d - x)^2$$

```
Icr = ((b*(ci^3))/3)+n*As_t1*((d-ci)^2);
sprintf('Icr: %0.5g [m^4]',Icr)
```

```
ans =
'Icr: 0.0017064 [m^4]'
```

Cálculo de I_e

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 * I_g + \left(1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right) * I_{cr}$$

```
Ie = (((Mcr/Ma)^3)*(Ig))+(1-((Mcr/Ma)^3))*Icr;
sprintf('Ie: %0.5g [m^4]',Ie)
```

```
ans =
'Ie: 0.001913 [m^4]'
```

Cálculo de la deflexión

$$\delta = \frac{5 * W * L^4}{384 * E_c * I_e}$$

```
Df = (5*DL*1000*(L^4))/(384*Ec*Ie);
sprintf('Deflexión: %0.5g [m]',Df)
```

```
ans =
'Deflexión: 0.0061543 [m]'
```

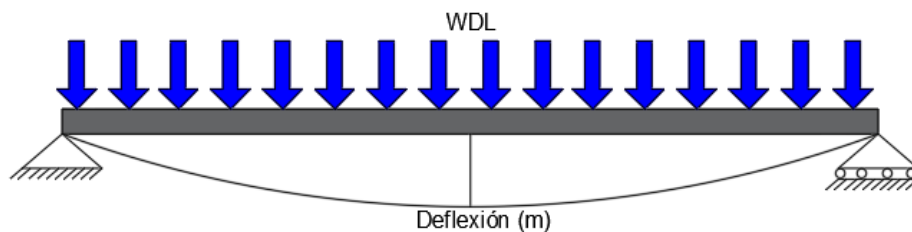


Figura No.4.

3.6- Deflexión instantánea o a corto plazo por carga muerta + carga viva total (δ_{D+L})

Cálculo del momento M_a

$$M_a = \frac{W_{DL} * L^2}{8}$$

```
Ma2 = (((Wa)*(L^2))/8); % [kN-m]
sprintf('Ma: %0.5g [kN-m]',Ma2)
```

```
ans =
'Ma: 114.75 [kN-m]'
```

```
if Mcr < Ma2
    disp('!!!! Concreto Agrietado !!!!')
else
    disp('!!!! Concreto No Agrietado !!!!')
end
```

```
!!!! Concreto Agrietado !!!!
```

Cálculo de I_e

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 * I_g + \left(1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right) * I_{cr}$$

```
Ie2 = (((Mcr/Ma2)^3)*(Ig))+(1-((Mcr/Ma2)^3))*Icr;
sprintf('Ie: %0.5g [m^4]',Ie2)
```

```
ans =
'Ie: 0.0017484 [m^4]'
```

Cálculo de la deflexión

$$\delta = \frac{5 * W * L^4}{384 * E_c * I_e}$$

```
Df2 = (5*Wa*1000*(L^4))/(384*Ec*Ie2);
sprintf('Deflexión: %0.5g [m]',Df2)
```

```
ans =
'Deflexión: 0.011447 [m]'
```

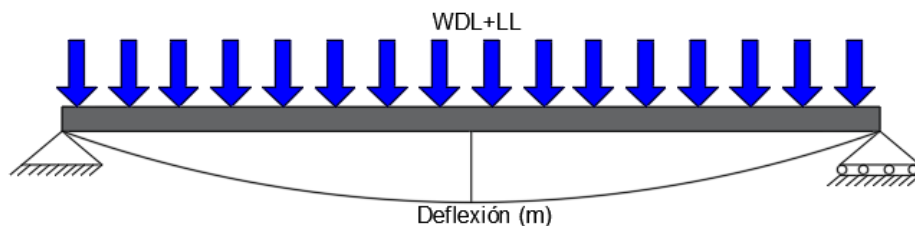


Figura No.5.

3.7- Deflexión inicial por carga muerta + 30% de carga viva al $(\delta_D + \delta_{SL})$

Cálculo del momento M_a

$$M_a = \frac{W_{DL} * L^2}{8}$$

```
Ma3 = ((DL+(0.3*LL))*(L^2))/8; % [kN-m]
sprintf('Ma: %0.5g [kN-m]',Ma3)
```

```
ans =
'Ma: 81.675 [kN-m]'
```

```
if Mcr < Ma3
    disp('!!!! Concreto Agrietado !!!!')
else
    disp('!!!! Concreto No Agrietado !!!!')
end
```

```
!!!! Concreto Agrietado !!!!
```

Cálculo de I_e

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 * I_g + \left(1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right) * I_{cr}$$

```
Ie3 = (((Mcr/Ma3)^3)*(Ig))+(1-((Mcr/Ma3)^3))*Icr;
sprintf('Ie: %0.5g [m^4]',Ie3)
```

```
ans =
'Ie: 0.001823 [m^4]'
```

Cálculo de la deflexión

$$\delta = \frac{5 * W * L^4}{384 * E_c * I_e}$$

```
Df3 = (5*(DL+(0.3*LL))*1000*(L^4))/(384*Ec*Ie3);
sprintf('Deflexión: %0.5g [m]',Df3)
```

```
ans =
'Deflexión: 0.0078143 [m]'
```

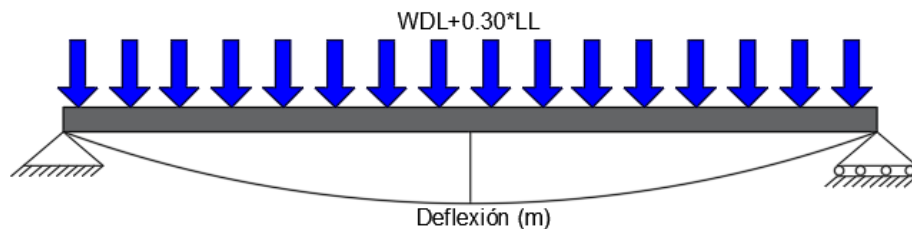


Figura No.6

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Ejemplo No.4: Deflexión en voladizo

1- Introducción

La verificación de las deflexiones es de suma importancia a la hora de diseñar una estructura. De manera de que si son excesivas pueden ocasionar daños en la edificación, tales como en muros divisorios y desajustar puertas y ventanas. Por lo tanto, en la presente guía se muestra de manera detallada cada uno de los parámetros establecidos por la normativa acerca de cómo determinar las deflexiones en una viga en voladizo de concreto reforzado.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de Contenido

Ejemplo No.4: Deflexión en voladizo.....	1
1- Introducción.....	1
2- Enunciado.....	1
3- Desarrollo.....	2
3.1- Datos de entrada.....	2
3.2- Propiedades de los materiales.....	2
3.3- Aceros.....	2
3.4- Cargas.....	3
3.5- Deflexión Instantánea o a corto plazo por carga muerta (.....)	3
4- Bibliografía.....	6

2- Enunciado

La viga en voladizo de la figura No.1 tiene un claro simple de 5 metros y soporta una carga muerta, incluyendo su propio peso, de 22 kN/m y una carga viva de 15 kN/m y un f_c 28 MPa. Calcular deflexión Instantánea o a corto plazo por carga muerta (δ_D).

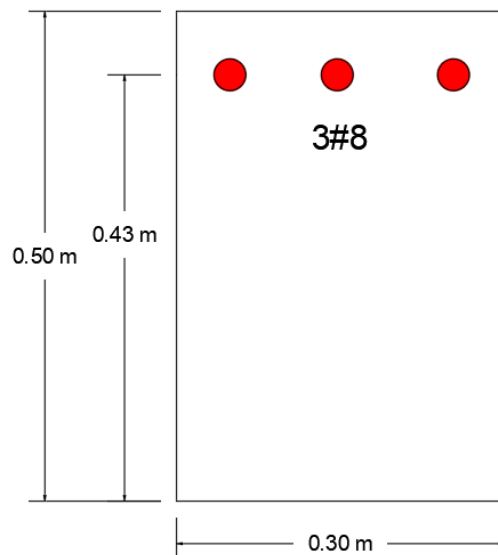


Figura No.1.

3- Desarrollo

3.1- Datos de entrada

Introducir medidas de acuerdo con el elemento.

```
b = 0.30; % Base [m]
h = 0.50; % Altura [m]
L = 5; % Longitud [m]
d = 0.43; % Distancia efectiva [m]
```

3.2- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada uno de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

Concreto

- Resistencia específica a la compresión.

```
fc = 28e6; % [Pa]
```

-Módulo de elasticidad del acero.

```
Ec = 21500e6; % [Pa]
```

Cálculo del factor de modificación con respecto a las propiedades del concreto λ

Seleccione el tipo de concreto.

```
landa = 1;
```

Acero

-Resistencia específica a la fluencia.

```
fy = 420e6; % [Pa]
```

-Módulo de elasticidad del acero.

```
Es = 200000e6; % [Pa]
```

3.3- Aceros

Acero a tracción

Ingresa el número y el tipo de barra que tiene el elemento en la zona de tracción [m²].

```
N_bar_t1 = [510/1000000]; % Área de la barra [m^2].
bar_t1 = 3; % Número de barras.
D_t1 = [25.4/1000]; % Diámetro del acero [m].
As_t1 = bar_t1*N_bar_t1; % Área del acero [m^2].
```

3.4- Cargas

```
DL = 22; % [kN/m].  
LL = 15; % [kN/m].
```

Carga de servicio

```
Wa = DL+LL;  
sprintf('Carga distribuida de servicio es de: %0.5g [kN/m]',Wa)  
  
ans =  
'Carga distribuida de servicio es de: 37 [kN/m]'
```

3.5- Deflexión Instantánea o a corto plazo por carga muerta (δD)

Determinar si la sección se agrieta o no debido al momento actuante de las cargas de servicio M_a (es decir, M_a es el momento máximo debido a las cargas no mayoradas).

Cálculo de y

```
yt = h/2;  
sprintf('y: %0.5g [m]',yt)  
  
ans =  
'y: 0.25 [m]'
```

Módulo de rotura

$$f_r = 0.62\lambda \sqrt{f'_c}$$

```
fr = 0.62*landa*sqrt(fc/1e6); % [MPa]  
sprintf('fr: %0.5g [Mpa]',fr)  
  
ans =  
'fr: 3.2807 [Mpa]'
```

Inercia

$$I_g = \frac{b * (h)^3}{12}$$

```
Ig = (b*(h^3))/12; % [m^4]  
sprintf('Ig: %0.5g [m^4]',Ig)  
  
ans =  
'Ig: 0.003125 [m^4]'
```

Cálculo del momento de agrietamiento

$$M_{cr} = \frac{F_r * I_g}{y_t}$$

```
Mcr = ((fr*1e6*Ig)/yt)/1000; % [kN-m]  
sprintf('Mcr: %0.5g [kN-m]',Mcr)
```

```
ans =
'Mcr: 41.009 [kN-m]'
```

Cálculo del momento M_a

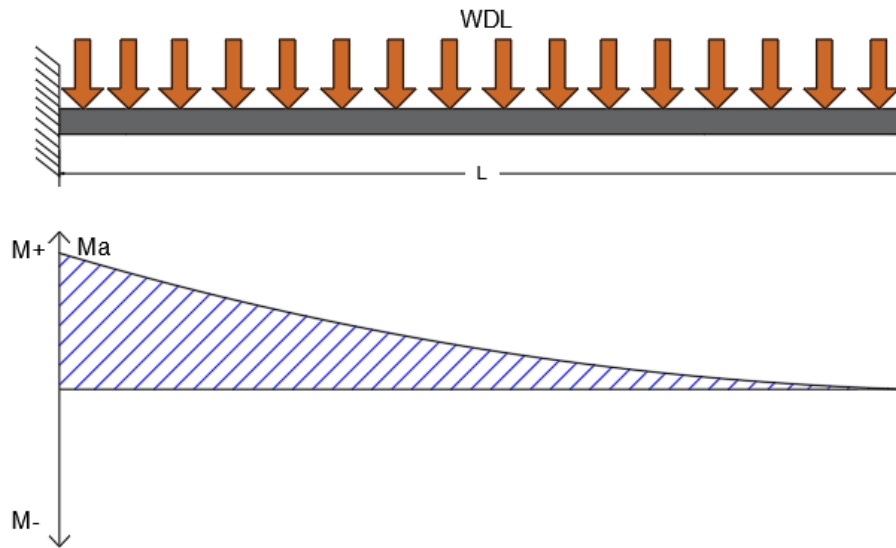


Figura No.2.

$$M_a = \frac{W_a * L^2}{2}$$

```
Ma = ((Wa)*(L^2))/2); % [kN-m]
sprintf('Ma: %0.5g [kN-m]',Ma)
```

```
ans =
'Ma: 462.5 [kN-m]'
```

```
if Mcr < Ma
    disp('!!!! Concreto Agrietado !!!!')
else
    disp('!!!! Concreto No Agrietado !!!!')
end
```

```
!!!! Concreto Agrietado !!!!
```

Puesto que el momento por carga muerta M_a es menor que el momento por agrietamiento M_{cr} debe usarse

$$M_{cr} = M_a e I_e = I_g.$$

Relación modular

```
n = Es/Ec;
sprintf('n: %0.5g ',n)
```

```
ans =
'n: 9.3023 '
```

Inercia transformada (sección agrietada)

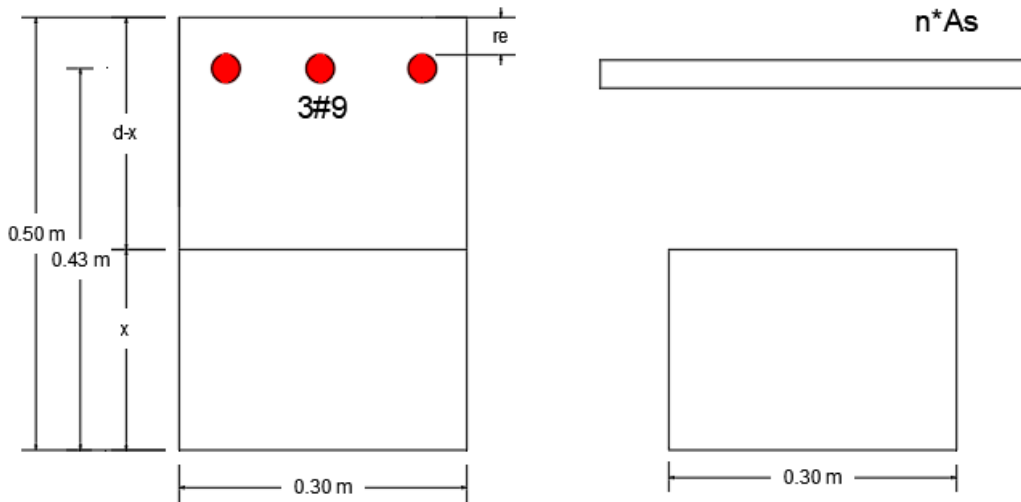


Figura No.3.

Cálculo de x

$$b * x * \left(\frac{x}{2}\right) = +n * A_{s_{t1}} * (d - x)$$

```
syms x
c_iner = b*x*(x/2)-n*As_t1*(d-x)
```

```
c_iner =
 $\frac{3x^2}{20} + \frac{153x}{10750} - \frac{153}{25000}$ 
```

```
cx = double(solve(c_iner==0));
ind = find(cx>0);
ci = cx(ind);
sprintf('x: %0.5g [m]',ci)
```

```
ans =
'x: 0.16004 [m]'
```

Inercia I_{cr}

$$I_{cr} = b * \frac{x^3}{3} + n * A_{s_{t1}} * (d - x)^2$$

```
Icr = ((b*(ci^3))/3)+n*As_t1*((d-ci)^2);
sprintf('Icr: %0.5g [m^4]',Icr)
```

```
ans =
'Icr: 0.0014472 [m^4]'
```

Cálculo de I_e

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 * I_g + \left(1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right) * I_{cr}$$

```
Ie = (((Mcr/Ma)^3)*(Ig))+(1-((Mcr/Ma)^3))*Icr;
sprintf('Ie: %0.5g [m^4]',Ie)
```

```
ans =
'Ie: 0.0014483 [m^4]'
```

Cálculo de la deflexión

$$\delta = \frac{W * L^4}{8 * E_c * I_e}$$

```
Df = (Wa*1000*(L^4))/(8*Ec*Ie);
sprintf('Deflexión: %0.5g [m]',Df)
```

```
ans =
'Deflexión: 0.09283 [m]'
```

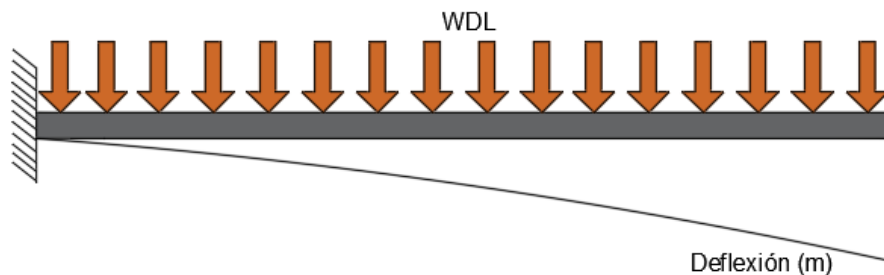


Figura No.4.

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Enunciado

```
clc, clear, close all, format short
```

La viga en voladizo de la figura No.1 tiene un claro de 6 metros y soporta una carga muerta distribuida de servicio sin incluir su propio peso de 27 kN/m, cuenta con una carga puntual mayorada de 30 kN en el borde y una carga viva distribuida de 18 kN/m y un f_c 28 MPa. El elemento está expuesto a la intemperie.

- Calcular deflexión Instantánea o a corto plazo por carga muerta (δ_D)
- Calcular deflexión instantánea o a corto plazo por carga muerta + carga viva total (δ_{D+L})
- Calcular deflexión inicial por carga muerta + 40% de carga viva al ($\delta_D + \delta_{SL}$)

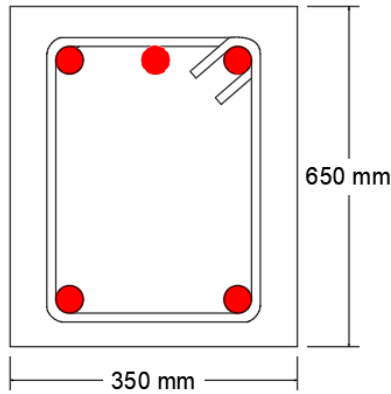


Figura No.1

Tenga en cuenta:

- Acero a tracción No.8
- Acero para estribo No.3

I. Anexo: Guía de torsión.

Diseño para torsión

1- Introducción

Hace un tiempo los factores de seguridad requeridos por los reglamentos para los diseños de elementos de concreto reforzado eran bastante grandes. Los efectos de torsión ante estas circunstancias podían casi siempre despreciarse con certidumbre. Hoy en día, los factores de seguridad son un poco menores que los pasados, en consecuencia, la torsión se ha vuelto un grave problema (McCormac y H. Brown, 2011). Tal es el caso, en la presente guía se dan a conocer cada uno de los parámetros que se deben tomar para el diseño a torsión según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de Contenido

Diseño para torsión.....	1
1- Introducción.....	1
2- Aspectos teóricos.....	1
3- Ejemplo No.1.....	10
4- Desarrollo.....	10
4.1- Datos de entrada.....	10
4.2- Propiedades de los materiales.....	10
4.3- Barra para estribos.....	11
4.4- Barras longitudinales.....	11
4.5- Recubrimiento.....	11
4.6- Carga axial y momentos mayorados.....	11
4.7- Calculo umbral de torsión.....	11
4.8- Propiedades de la sección.....	12
4.9- Verificación de la sección.....	14
4.10- Determinamos la sección.....	14
4.11- Acero por torsión.....	14
4.11.1- Acero requerido por torsión.....	15
4.12- Acero total.....	16
4.12.1- Espaciamiento.....	16
4.12.2- Espaciamientos mínimos.....	16
4.13- Verificar acero mínimo de estribos.....	18
5- Bibliografía.....	20

2- Aspectos teóricos

Es el efecto de las fuerzas exteriores torsionales que “tienden a retorcer al elemento con respecto a su eje longitudinal” (Segura, 2011). Los ingenieros proyectistas promedio, casi no se preocupan mucho por el efecto de torsión. En fuerzas axiales, cortantes y momentos flexionantes son los que exclusivamente tiene en cuenta a la hora de diseñar. De tal forma, es así como la gran parte de las estructuras en concreto reforzado están sujetas hasta cierto grado de torsión (McCormac & Brown, 2011).

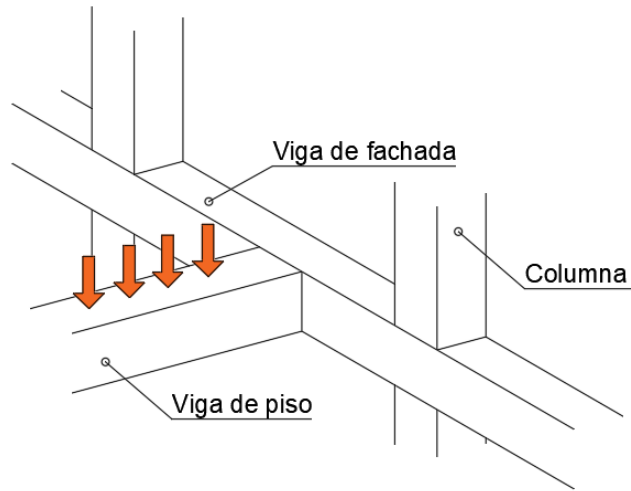


Figura No.1 (Diseño de concreto reforzado pag. 463 McCormac & Brown, 2011).

Un caso más representativo para el efecto de torsión se evidencia en la figura No.1 Donde se tiene una viga de piso cargada, la cual está conectada a una viga de fachada. De tal manera, la viga de piso tiende a torcer lateralmente la viga de fachada, es ahí donde se produce la torsión. Los terremotos pueden producir grandes fuerzas de torsión peligrosas en las estructuras de concreto armado. Esto es evidente en estructuras asimétricas, en las cuales los centros de masa y rigidez no coinciden (McCormac & Brown, 2011).

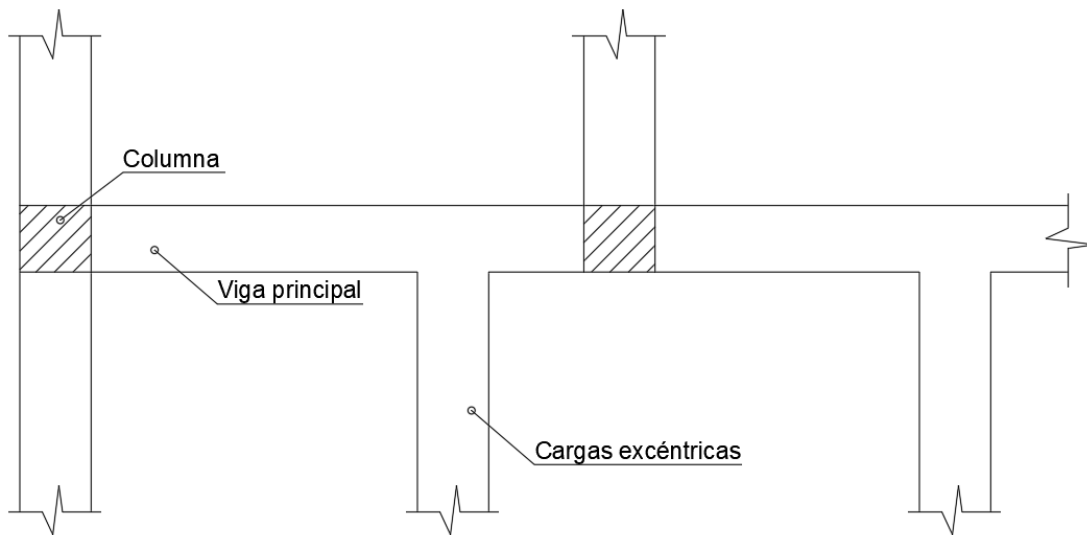


Figura No.2: Vista en planta – Cargas excéntricas (Diseño de concreto reforzado pag. 463 McCormac & Brown, 2011).

Uno más de estos casos en que la torsión puede ser bastante importante, es de acuerdo con la figura No.2. Donde muestra un caso de aplicación excéntrica con esfuerzos resultantes de torsión muy grandes. Esto es debido a que no hay continuidad de la viga, como se señala en la zona 1. La viga contiene un momento de flexión, este se transmite al apoyo. Entonces, como no hay apoyo (columna), sino que hay una viga, esta conexión generar estos efectos. Cabe recalcar que, si el elemento de soporte tiene una buena capacidad de giro, los esfuerzos a torsión serán muy bajos (McCormac & Brown, 2011).

Fuerza para torsión

Los elementos de concreto reforzado que son sometidos a fuerzas torsionales pueden fallar de manera repentina si no se les proporciona refuerzo para este. Al añadir refuerzo torsional no cambia la magnitud de la torsión que generará grietas de tensión diagonal, pero esto hace que no se rompa en pedazos. Lo que sucede es que a la hora que va rotando el elemento, se va descascarando la parte externa (figura No.3). De tal forma, el acero transversal empieza a asumir la torsión, evitando que pase al núcleo del concreto. Por lo tanto, serán capaces de resistir grandes momentos torsionales considerables sin fallar. Los estudios han mostrado que las barras a flexión (longitudinales) con los de cortante (transversales) son requeridos para evitar grietas de tensión diagonal. En consecuencia, ocurre sobre la superficie de los miembros sujetos a fuerzas apreciables (McCormac & Brown, 2011).

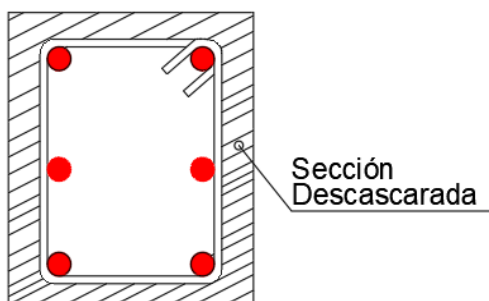


Figura No.3.

Tipos de momentos torsionales

Como bien se sabe, si una parte de una estructura estáticamente indeterminada “cede” al aplicar una fuerza particular, la magnitud de las fuerzas que tendrá que resistir se reducirá apreciablemente. Un ejemplo es cuando tres personas cargan una viga de madera sobre sus hombros (situación estáticamente indeterminada) si uno de ellos baja un poco su hombro, ocurrirá que se redistribuye la carga, las otras dos personas soportarán más a diferencia de la persona que bajo el hombro. De otra forma, si dos personas solamente cargan una viga, (situación estáticamente determinada) al bajar uno de ellos el hombro como en el caso anterior, no ocurrirá ningún cambio en la distribución de cargas. Por lo tanto, estos son casos que ocurren en las estructuras estáticamente determinadas e indeterminadas sometidos a torsión (McCormac & Brown, 2011).

Estas acciones se denominan:

Torsión primaria

También denominada torsión de equilibrio o torsión estáticamente determinada. Es una estructura en la que solo tiene una trayectoria, y esta es a lo largo donde el momento de torsión se puede transmitir a los apoyos. De tal forma, no puede reducirse por medio de una redistribución de fuerzas internas o por un giro de miembro (McCormac & Brown, 2011).

Como se evidencia en la figura No.4 se interpreta la torsión de equilibrio, en la que una viga soporta una losa en voladizo. Donde esta se debe diseñar para soportar la torsión última y compararse con el umbral de torsión según el C.11.5.2.1. Este es un límite para diseñar o no por torsión.

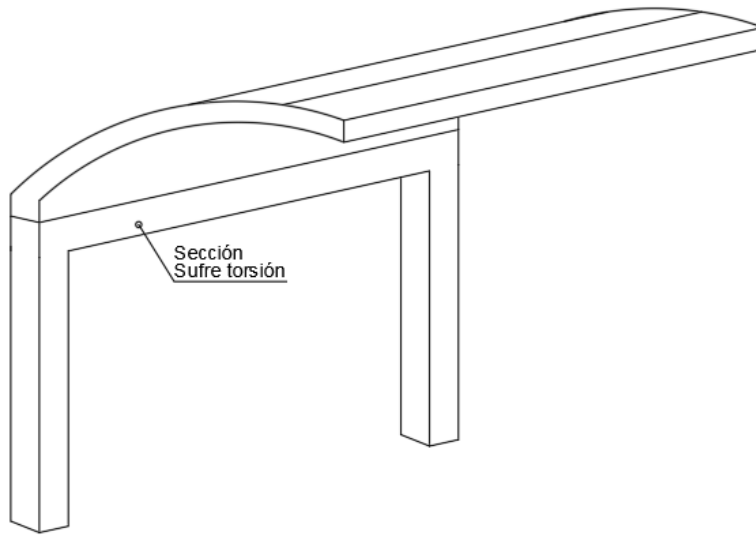


Figura No.4: Torsión primaria (Diseño de concreto reforzado pag. 466 McCormac & Brown, 2011).

Torsión secundaria

Llamada también torsión por compatibilidad o torsión estáticamente indeterminada. El momento de torsión es producido en una parte dada de una estructura, en la que se puede reducir si esa parte del elemento se agrieta bajo la torsión y cede o gira. Como por ejemplo en la figura No.5 donde se evidencia una viga de fachada que soporta viguetas. Esta viga ya no se diseñará con la torsión ultima, ya que se permite reducir al tener la colaboración de las viguetas. Por consiguiente, la torsión para el diseño será el momento flector dados por las ellas.

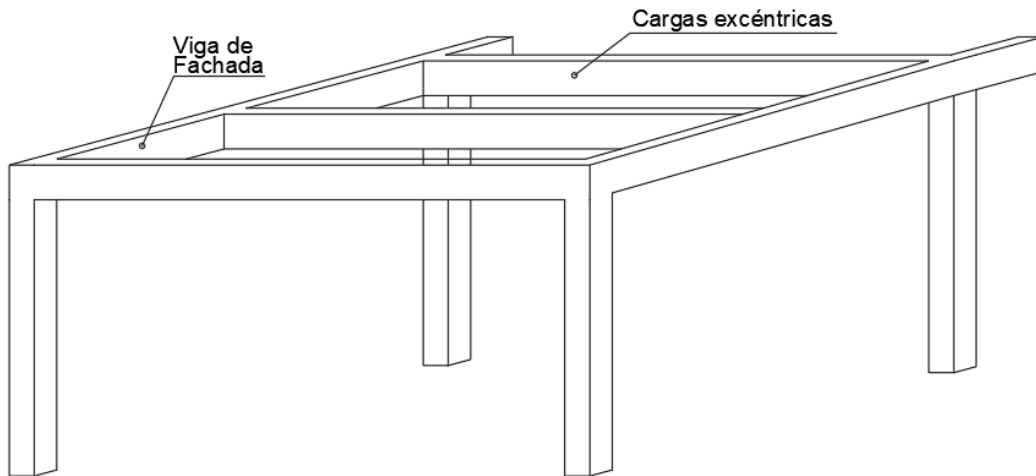


Figura No.5: Torsión secundaria.

En el numeral C.11.5.22 indica que, para una estructura estáticamente indeterminada, donde se puede dar una reducción del momento torsional en la estructura debido a la redistribución de cargas internas después del agrietamiento. De tal forma permite reducir el máximo T_u a los valores dados en las siguientes ecuaciones:

1. Para elementos no presforzados en secciones ubicadas a menos de una distancia d de la cara del apoyo. Si se presenta un torque concentrado dentro de la distancia d , la sección crítica de diseño debe ser la cara del apoyo (Ver C.11.5.2.4).

$$T_u = \phi 0.33 * \lambda * \sqrt{f'c} * \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

2. Para elementos presforzados en secciones ubicadas a menos de una distancia $h/2$ de la cara de un apoyo. Si se presenta un torque concentrado dentro de la distancia dicha, la sección crítica de diseño debe ser la cara del apoyo (Ver C.11.5.2.5).

$$T_u = \phi 0.33 * \lambda * \sqrt{f'c} * \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) * \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{0.33 * \lambda * \sqrt{f'c}}}$$

3. En elementos no presforzados sometidos a una fuerza axial de tracción o compresión.

$$T_u = \phi 0.33 * \lambda * \sqrt{f'c} * \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) * \sqrt{1 + \frac{N_u}{0.33 * \lambda * \sqrt{f'c}}}$$

Por lo que:

A_{cp} = Área encerrada por el perímetro exterior de la sección transversal de concreto en mm^2 .

P_{cp} = Perímetro exterior de la sección transversal de concreto en mm.

N_u = Carga axial mayorada normal a la sección transversal.

A_g = Área bruta de la sección de concreto en mm^2 .

Diseño para torsión

En el comentario CR11.5 menciona que para el diseño de torsión en C.11.5.1 hasta C.11.5.6 esta basado en la analogía de una cercha espacial para un tubo de pared delgada. Tener en cuenta que una viga sometida a torsión se debe idealizar como un tubo de pared delgada, en el que se desprecia el núcleo de la sección sólida de concreto. En el momento en que la viga de concreto se haya agrietado por la torsión, la resistencia ante este esfuerzo será tomada por los estribos cerrados y las barras longitudinales. De tal manera, las secciones sólidas como las secciones huecas de deben idealizar como tubos de pared delgada, tanto como antes y después del agrietamiento (McCormac & Brown, 2011).

A continuación, se muestran dos situaciones en las que se tiene una sección hueca y una sólida. En la figura No.6 a se evidencia como es el flujo de torsión para una sección hueca y como se manifiesta la cortante. Comparando, en la sección izquierda la cortante y la torsión se suman y en la del lado derecho se restan. Para una sección sólida se sigue presentando la torsión como si fuese un tubo de pared delgada, pero la cortante si se presenta en toda la sección.

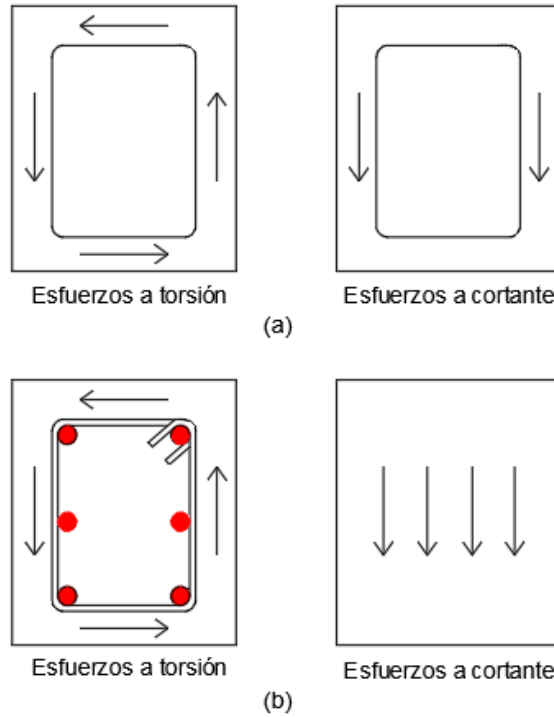


Figura No.6.

Después que se efectúa el agrietamiento, se entiende que la resistencia por torsión del concreto es despreciable. Las grietas que se producen por torsión tienden a darse en forma de espirales alrededor de los elementos ya sean solidos o huecos. Estas grietas son localizadas aproximadamente en ángulos de 45° con respecto a los bordes como se muestra en la figura No.7 (McCormac & Brown, 2011).

Umbral de torsión

Límite de torsión que se permite desarrollar en una viga. Para poder despreciar el diseño por torsión, el momento torsional T_u debe ser menor que:

1- Para elementos no presforzados.

$$T_u < \phi 0.33 * \lambda * \sqrt{f'c} * \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

2- Para elementos no presforzados sometidos a tracción axial o fuerzas de compresión.

$$T_u < \phi 0.33 * \lambda * \sqrt{f'c} * \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) * \sqrt{1 + \frac{N_u}{0.33 * \lambda * \sqrt{f'c}}}$$

Nota: Tener en cuenta el comentario CR.5.1 donde indica que los torques que no exceden de aproximadamente 1/4 de los torques de agrietamiento T_{cr} no producen una relación estructuralmente significativa en la resistencia a flexión ni en la resistencia a cortante, por lo que pueden ser ignorados.

Verificación de sección

Las dimensiones de la sección transversal del elemento sometidos a cortante y torsión están limitadas por la NSR-10 con el objetivo de reducir el agrietamiento y el aplastamiento. Esto se logra según el numeral C.11.5.3.1.

1- En secciones solidas.

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w * d}\right)^2 + \left(\frac{T_u * P_h}{1.7 * A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w * d} + 0.66 * \sqrt{f'c}\right)$$

2- En secciones huecas.

$$\left(\frac{V_u}{b_w * d}\right) + \left(\frac{T_u * P_h}{1.7 * A_{oh}^2}\right) \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w * d} + 0.66 * \sqrt{f'c}\right)$$

$$A_{oh} = X_o * Y_o$$

$$P_h = 2 * (X_o + Y_o)$$

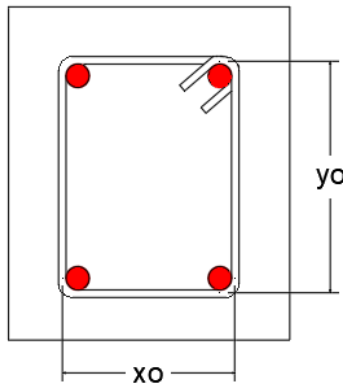


Figura No.7.

Donde:

P_h = Perímetro del eje del refuerzo transversal cerrado más externo en mm.

A_{oh} = Área en cerrada por eje del refuerzo transversal cerrado más externo en mm²

V_c = Resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto.

V_u = Fuerza cortante mayorada en la sección.

Nota: Para elementos preesforzados, d debe determinarse de acuerdo con C.11.4.3.

Diseño del refuerzo

La resistencia al momento torsional de las vigas de concreto armado puede aumentarse agregando un refuerzo de torsión que consiste en estribos y barras longitudinales. Por lo tanto, en numeral C.11.5.3.5 indica donde T_u excede la torsión crítica, el diseño de la sección debe basarse en:

$$\phi T_n \geq T_u$$

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

T_n = Resistencia nominal a torsión en $N * mm$.

T_n debe calcularse según el C.11.5.3.6 por medio de:

$$T_n = \frac{2 * A_o * A_t * f_{yt}}{s} * \cot\theta$$

$$\frac{A_t}{S} = \frac{T_u}{\phi * 2 * A_o * f_{yt}} * \cot\theta$$

Donde:

A_o = Área bruta encerrada por la trayectoria del flujo de cortante en mm^2 .

A_t = Área de una rama de un estribo cerrado que resiste la torsión, con un espaciamiento en mm^2 .

S = Espaciamiento medido centro a centro del refuerzo a cortante o a torsión en una dirección paralela al refuerzo longitudinal en mm .

Tener en cuenta:

- A_o debe determinarse por análisis, excepto que permita tomar A_o igual a $0.85A_{oh}$. Para el ángulo θ no debe tomarse menor a 30° ni mayor que 60° . Se puede tomar el ángulo igual a:

1. 45° en elementos no presforzados o con un presforzado menor al indicado al siguiente,
2. 37.5° para elementos preesforzados con una fuerza efectiva de preesforzado no menor a un 40 por ciento de la resistencia a tracción del refuerzo longitudinal.

- El espaciamiento del refuerzo transversal para torsión así colocado no debe exceder el menor valor entre $\phi/8$ y $300 mm$.

Acero longitudinal

El reglamento en el numeral C.11.5.3.7 señala que el área adicional de refuerzo longitudinal necesario para resistir torsión A_l no debe ser menor que:

$$A_l = \frac{A_t}{S} * P_h * \left(\frac{f_{yt}}{f_y}\right) * \cot^2\theta$$

Detallamiento de refuerzo

Para el detallamiento de refuerzo para torsión, el reglamento en el numeral C.11.5.4 manifiesta que este debe consistir en barras longitudinales o tendones y en uno o mas de los siguientes tipos de refuerzo:

1. Estribos cerrados perpendiculares al eje del elemento.
2. Como también un conjunto cerrado compuesto por refuerzo electrosoldado de alambre, con alambres transversales perpendiculares al eje del elemento.
3. Para refuerzo en espiral en vigas no presforzadas.

El refuerzo transversal debe estar anclado por uno de los siguientes medios, según lo establecido en el numeral C.11.5.4.2:

1. Un gancho estándar de 135° ó un gancho sísmico alrededor de una barra longitudinal, como se define en C.2.2.
2. En zonas donde el concreto que rodea al anclaje está protegido contra el descascamiento mediante un ala, losa o elemento similar.

El refuerzo longitudinal debe ser desarrollado en ambos extremos según lo estipulado en el numeral C.11.5.4.3.

Refuerzo mínimo

Se debe proporcionar un área mínima de refuerzo para torsión en toda la zona donde T_u supere el valor del umbral de torsión ya calculado (C.11.5.5.2). De tal forma, Donde T_u supera el umbral de torsión se requiere de un refuerzo mínimo.

$$(A_v + 2A_t) = 0.062 \sqrt{f'c} * \frac{b_w * S}{f_{yt}}$$

Pero no debe ser menor de:

$$\frac{(0.35 * b_w * S)}{f_{yt}}$$

Donde:

A_v = Área de refuerzo de cortante con espaciamiento S (mm²).

A_t = Área de una rama de un estribo cerrado que resiste la torsión con espaciamiento S (mm²).

El numeral C.11.5.5.3 indica que donde se requiera refuerzo para torsión de acuerdo con lo anterior, el área mínima total de refuerzo longitudinal para torsión debe calcularse como:

$$A_{l,min} = \frac{0.42 * \sqrt{f'c} * A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{S}\right) * P_h * \frac{f_{yt}}{f_y}$$

Donde:

f_y = resistencia especificada a la fluencia f_y del refuerzo longitudinal para torsión, expresada en MPa.

$\frac{A_t}{S}$ No debe tomarse menor que $\frac{0.175b_w}{f_y}$ en donde se refiere al refuerzo trasversal cerrado para torsión.

Espaciamiento del refuerzo para torsión

El refuerzo longitudinal para torsión, así calculado, debe distribuirse alrededor del perímetro de los estribos cerrados con un máximo espaciamiento entre barras de $\frac{P_h}{8}$ y de 300 mm según el numeral C.11.5.6.1.

El C.11.5.6.2 manifiesta que las barras longitudinales deben colocarse dentro de los estribos y por lo menos una barra longitudinal en cada esquina del estribo con espaciamiento de 300 mm. Las barras longitudinales

deben tener un diámetro de al menos 0.042 veces el del espaciamiento entre estribos y no deben ser menores a la barra No. 3 (3/8") o 10M (10mm).

El refuerzo a torsión debe disponerse en una distancia de al menos más allá del punto en que se requiera por análisis (C.11.5.6.3).

3- Ejemplo No.1

Diseñar solamente el refuerzo por torsión para la viga mostrada en la figura No.8, para la cual $f'_c = 25 \text{ MPa}$, $f_y = 420 \text{ MPa}$, $V_u = 150 \text{ kN}$, $T_u = 25 \text{ kN-m}$. Suponer estribos #3 y #7 para barras longitudinales. Tener en cuenta que la estructura no esta expuesta a la intemperie.

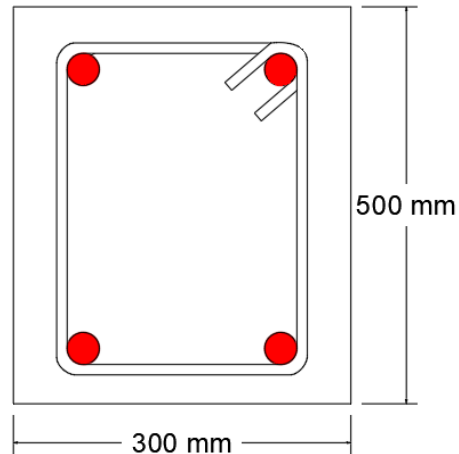


Figura No.8

4- Desarrollo

4.1- Datos de entrada

Introducir medidas de base (b) y altura (d) de acuerdo con el elemento.

```
b = 300;      % Base [mm]
h = 500;      % Altura [mm]
```

4.2- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada uno de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

Concreto

- Resistencia específica a la compresión.

```
f_c = 25e6;    % [Pa]
```

Cálculo del factor de modificación con respecto a las propiedades del concreto λ

Seleccione el tipo de concreto.

```
landa = 1;
```

Acero

-Resistencia específica a la fluencia.

```
fy = 420e6; % [Pa]
```

4.3- Barra para estribos

Definimos una barra para estribos, para este caso, se toma barra #3

```
A_est = 71; % Número de barra a utilizar.  
D_est = 9.5; % Diámetro del acero.
```

- Número de ramas

```
N_ramas = 2;
```

4.4- Barras longitudinales

Especificaciones del acero

```
bar = 387; % Número de barra longitudinal.  
D_bar = 22.2; % Diámetro del acero longitudinal.
```

4.5- Recubrimiento

En este caso se debe verificar en la estructura o en las memorias de cálculo que tipo de recubrimiento es la que tiene el elemento. Seguidamente seleccione que longitud tiene según el capítulo C.7.7 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

```
re = 40; % [mm]  
sprintf('El recubrimiento es de: %0.5g [mm]',re)
```

```
ans =  
'El recubrimiento es de: 40 [mm]'
```

4.6- Carga axial y momentos mayorados

Ingrese la carga axial y el momento mayorado según el cálculo de cargas que tenga la estructura.

```
Vu =150000; % [N]  
Tu =25000; % [N-m]
```

4.7- Cálculo umbral de torsión

Límite de torsión que nos permite tener en una viga. Para elementos no presforzados la torsión de agrietamiento:

$$T_{cr} = \phi 0.33 * \lambda * \sqrt{f'c} * \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Umbral de torsión

$$\phi * \frac{1}{4} * T_{cr} = \phi 0.083 * \lambda * \sqrt{f'c} * \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$\phi = 75$ Para torsión según el numeral C. 9.3.2.3.

```
fi = 0.75;
```

Tener en cuenta que los datos deben ser en mm.

Para $A_{cp} = b_w * h$

```
Acp = b*h;
sprintf('Acp : %0.5g [mm^2]',Acp)
```

```
ans =
'Acp : 1.5e+05 [mm^2]'
```

Para $P_{cp} = 2 * (b_w + h)$

```
Pcp = 2*(b+h);
sprintf('Pcp : %0.5g [mm]',Pcp)
```

```
ans =
'Pcp : 1600 [mm]'
```

Por lo tanto T_{cr}

```
fi_Tcr = (fi*0.083*landa*sqrt(fc/1e6)*((Acp)^2)/(Pcp))/1e6;
sprintf('Tcr : %0.5g [kN-m]',fi_Tcr)
```

```
ans =
'Tcr : 4.377 [kN-m]'
```

Verificamos:

$$T_u < \phi * \frac{1}{4} * T_{cr}$$

```
if Tu/1000 < fi_Tcr
    disp('!!!!!!! No Verificar por torsión !!!!!!!!')
else
    disp('!!!!!!! Si Verificar por torsión !!!!!!!!')
end
```

```
!!!!!!! Si Verificar por torsión !!!!!!!!
```

4.8- Propiedades de la sección

Determinar d

$$d = h - \left(re + \phi Est + \left(\frac{\phi long}{2} \right) \right)$$

```
d = h-(re+(D_est)+((D_bar)/2)); % [m] Distancia desde el borde s
sprintf('d: %0.5g [mm]',d)
```

```
ans =  
'd: 439.4 [mm]'
```

Determinar x_o y y_o

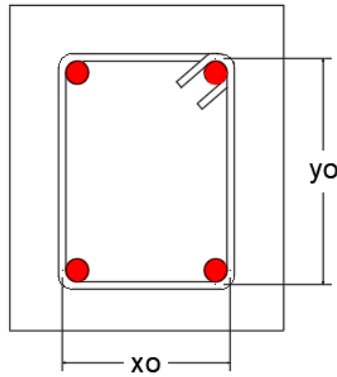


Figura No.9.

$$x_o = b_w - (2re) - \phi_{Est}$$

```
xo = b-(2*re)-(D_est);  
sprintf('xo: %0.5g [mm]',xo)
```

```
ans =  
'xo: 210.5 [mm]'
```

$$y_o = h - (2re) - \phi_{Est}$$

```
yo = h-(2*re)-(D_est);  
sprintf('yo: %0.5g [mm]',yo)
```

```
ans =  
'yo: 410.5 [mm]'
```

Determinar A_{oh} , P_h y A_o

Área encerrada por el eje del refuerzo transversal.

$$A_{oh} = x_o * y_o$$

```
Aoh = xo*yo;  
sprintf('Aoh: %0.5g [mm^2]',Aoh)
```

```
ans =  
'Aoh: 86410 [mm^2]'
```

Perímetro del eje del refuerzo transversal.

$$P_h = 2 * (x_o + y_o)$$

```
Ph = 2*(xo+yo);  
sprintf('Ph: %0.5g [mm]',Ph)
```



```
ans =
'Ph: 1242 [mm]'
```

Área bruta encerrada por la trayectoria del flujo de cortante.

$$A_o = 0.85 * A_{oh}$$

```
Ao = 0.85*Aoh;
sprintf('Ao: %0.5g [mm^2]',Ao)
```

```
ans =
'Ao: 73449 [mm^2]'
```

4.9- Verificación de la sección

Cortante del concreto

$$V_c = 0.17 * \lambda * \sqrt{f'c} * b_w * d$$

```
Vc = 0.17*landa*sqrt(fc/1e6)*b*d;
sprintf('Vc n: %0.5g [kN]',Vc/1000)
```

```
ans =
'Vc n: 112.05 [kN]'
```

4.10- Determinamos la sección

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w * d}\right)^2 + \left(\frac{T_u * P_h}{1.7 * A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w * d} + 0.66 * \sqrt{f'c}\right)$$

```
Sec_act = sqrt(((Vu/(b*d))^2)+(((Tu*1000*Ph)/(1.7*(Aoh^2)))^2));
sprintf(' Sección actuante : %0.5g [Mpa]',Sec_act)
```

```
ans =
' Sección actuante : 2.6979 [Mpa]'
```

```
Sec_res = fi*((Vc/(b*d))+0.66*sqrt(fc/1e6));
sprintf('Sección resistente : %0.5g [Mpa]',Sec_res)
```

```
ans =
'Sección resistente : 3.1125 [Mpa]'
```

Verificamos

```
if Sec_act <= Sec_res
    disp('iiiiiii Si cumple !!!!!!!')
else
    disp('iiiiiii No cumple !!!!!!!')
end
```

```
iiiiiii Si cumple !!!!!!!
```

4.11- Acero por torsión

Comparar la torsión de agrietamiento con la torsión última.

$$\phi T_{cr} < T_u$$

En el numeral C.11.5.2 nos indica que podemos reducir la torsión siempre y cuando se pueda identificar que la viga tenga una torsión de uno o dos planos.

$$T_{cr} = \phi * 0.33 * \lambda * \sqrt{f'_c} * \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

```
Tcr = (fi*0.33*landa*sqrt(fc/1e6)*(((Acp)^2)/(Pcp)))/1e6;  
sprintf(' Tcr : %0.5g [kN-m]',Tcr)
```

```
ans =  
' Tcr : 17.402 [kN-m]'
```

Nota: Si la torsión de agrietamiento es menor que la torsión última, se debe diseñar por la torsión última, de lo contrario se debe diseñar con la torsión de agrietamiento.

Verificamos

```
if Tcr*1000 > Tu  
    disp('!!!!!!! Diseñar por torsión de agrietamiento !!!!!!!!')  
    Td = Tcr*1000;  
    sprintf(' Td : %0.5g [N-m]',Td)  
else  
    disp('!!!!!!! Diseñar por torsión última !!!!!!!!')  
    Td = Tu;  
    sprintf(' Td : %0.5g [N-m]',Td)  
end
```

```
!!!!!!! Diseñar por torsión última !!!!!!!!  
ans =  
' Td : 25000 [N-m]'
```

Por lo tanto:

$$\phi T_n = T_d$$

$$T_n = \frac{T_d}{\phi}$$

```
Tn = Td/fi;  
sprintf(' Tn : %0.5g [kN-m]',Tn/1000)
```

```
ans =  
' Tn : 33.333 [kN-m]'
```

4.11.1- Acero requerido por torsión

$$T_n = \frac{2 * A_o * A_t * f_{yt}}{s} * \cot\theta$$

$$\frac{A_t}{S} = \frac{T_n}{2 * A_o * f_{yt} * \cot\theta}$$

Suponemos un ángulo de 45°

```
At_s = (Tn*1e3)/(2*Ao*(fy/1e6)*((cos(45*pi/180))/(sin(45*pi/180))));
sprintf(' At/s : %0.5g [mm^2/mm]',At_s)
```

```
ans =
' At/s : 0.54028 [mm^2/mm]'
```

4.12- Acero total

$$\frac{2 * A_t}{S}$$

```
Ac_tol = 2*At_s;
sprintf(' Acero total : %0.5g [mm^2/mm]',Ac_tol)
```

```
ans =
' Acero total : 1.0806 [mm^2/mm]'
```

4.12.1- Espaciamiento

$$S = \frac{\text{Área acero estribo} * \text{\#ramas}}{\text{Acero total}}$$

```
S_req = (A_est*N_ramas)/Ac_tol;
sprintf(' S requerido : %0.5g [mm]',S_req)
```

```
ans =
' S requerido : 131.41 [mm]'
```

4.12.2- Espaciamientos mínimos

- El espaciamento del refuerzo transversal para torsión así colocado no debe exceder el menor valor entre $p_h/8$ y 300 mm.

$$S_{\min} = \frac{p_h}{8}$$

$$S_{\min} = 300 \text{ mm}$$

```
S_min1 = Ph/8;
sprintf(' S mínimo 1 : %0.5g [mm]',S_min1)
```

```
ans =
' S mínimo 1 : 155.25 [mm]'
```

```
S_min2 = 300;
sprintf(' S mínimo 2 : %0.5g [mm]',S_min2)
```

```
ans =
' S mínimo 2 : 300 [mm]'
```

- Verificar los espaciamientos mínimos del C.21.5.3.2

1- El espaciamiento de los estribos cerrados de confinamiento no debe exceder el menor que:

$$S_{\min} = \frac{d}{4}$$

```
S_min3 = d/4;  
sprintf(' S mínimo 3 : %0.5g [mm]',S_min3)
```

```
ans =  
' S mínimo 3 : 109.85 [mm]'
```

2- Seis veces el diámetro de las barras longitudinales principales mas pequeñas.

$$S_{\min} = 6 * d_b$$

```
S_min4 = 6*D_bar;  
sprintf(' S mínimo 4 : %0.5g [mm]',S_min4)
```

```
ans =  
' S mínimo 4 : 133.2 [mm]'
```

3- $S_{\min} = 150 \text{ mm}$

```
S_min5 = 150;  
sprintf(' S mínimo 5 : %0.5g [mm]',S_min5)
```

```
ans =  
' S mínimo 5 : 150 [mm]'
```

- Espaciamiento a utilizar zona confinada

Seleccionar el espaciamiento menor.

```
S_min = [S_req S_min1 S_min2 S_min3 S_min4 S_min5];  
S = min(S_min);  
sprintf('Espaciamiento zona confinada: %0.5g [mm]',S)
```

```
ans =  
'Espaciamiento zona confinada: 109.85 [mm]'
```

- Espaciamiento a utilizar zona no confinada

Cuando no se requieren estribos cerrados de confinamiento, se deben colocarse estribos con ganchos sísmicos en ambos extremos, espaciados a no más de $d/2$ en toda la longitud del elemento según el numeral C.21.5.3.4.

$$S_{\text{no conf}} = \frac{d}{2}$$

```
S_nc_req = d/2;  
sprintf(' S req no confinada : %0.5g [mm]',S_nc_req)
```

```
ans =  
' S req no confinada : 219.7 [mm]'
```

Seleccionar el espaciamiento menor entre el requerido y el calculado anteriormente.

```
S_min_nc = [S_req S_nc_req];  
S_nc = min(S_min_nc);  
sprintf('Espaciamiento zona no confinada: %0.5g [mm]',S_nc)
```

```
ans =  
'Espaciamiento zona no confinada: 131.41 [mm]'
```



Figura No. 10.

4.13- Verificar acero mínimo de estribos

Se debe proporcionar un área mínima de refuerzo para torsión en toda la zona donde T_u supere el valor del umbral de torsión ya calculado (C.11.5.5.2). De tal forma, Donde T_u supera el umbral de torsión se requiere de un refuerzo mínimo.

- Zona confinada

$$A_{\min} = 0.062 \sqrt{f_c} * \frac{b_w * S}{f_{yt}}$$

```
Amin_c1 = 0.062*sqrt(fc/1e6)*((b*S)/(fy/1e6));  
sprintf('Acero mínimo zona confinada: %0.5g [mm^2]',Amin_c1)
```

```
ans =  
'Acero mínimo zona confinada: 24.324 [mm^2]'
```

Pero no debe ser menor de:

$$\frac{(0.35 * b_w * S)}{f_{yt}}$$

```
Amin_c2 = 0.35*((b*S)/(fy/1e6));  
sprintf('No menor a : %0.5g [mm^2]',Amin_c2)
```

```
ans =  
'No menor a : 27.462 [mm^2]'
```

Acero mínimo

```
if Amin_c1 >= Amin_c2  
    Amin_c = Amin_c1
```

```

    sprintf('Acero mínimo a utilizar : %0.5g [mm^2]',Amin_c)
else
    Amin_c = Amin_c2;
    sprintf('Acero mínimo a utilizar : %0.5g [mm^2]',Amin_c)
end

```

```

ans =
'Acero mínimo a utilizar : 27.462 [mm^2]'

```

Verificamos

$$(A_v + 2A_t) \geq 0.062 \sqrt{f'c} * \frac{b_w * S}{f_{yt}}$$

```

if (A_est*N_ramas) >= Amin_c
    disp('!!!!!!! Si cumple !!!!!!!')
else
    disp('!!!!!!! No cumple !!!!!!!')
end

```

```

!!!!!!! Si cumple !!!!!!!

```

Nota: En caso de no cumplir con el área de acero mínimo se debe cambiar el acero.

- Zona no confinada

$$(A_v + 2A_t) = 0.062 \sqrt{f'c} * \frac{b_w * S}{f_{yt}}$$

```

Amin_nc1 = 0.062*sqrt(fc/1e6)*((b*S_nc)/(fy/1e6));
sprintf('Acero mínimo zona confinada: %0.5g [mm^2]',Amin_nc1)

```

```

ans =
'Acero mínimo zona confinada: 29.099 [mm^2]'

```

Pero no debe ser menor de:

$$\frac{(0.35 * b_w * S)}{f_{yt}}$$

```

Amin_nc2 = 0.35*((b*S_nc)/(fy/1e6));
sprintf('No menor a : %0.5g [mm^2]',Amin_nc2)

```

```

ans =
'No menor a : 32.854 [mm^2]'

```

Acero mínimo

```

if Amin_nc1 >= Amin_nc2
    Amin_nc = Amin_nc1
    sprintf('Acero mínimo a utilizar : %0.5g [mm^2]',Amin_nc)
else
    Amin_nc = Amin_nc2;
    sprintf('Acero mínimo a utilizar : %0.5g [mm^2]',Amin_nc)
end

```

```
ans =  
'Acero mínimo a utilizar : 32.854 [mm^2]'
```

Verificamos

$$(A_v + 2A_l) \geq 0.062 \sqrt{f'c} * \frac{b_w * S}{f_{yt}}$$

```
if (A_est*N_ramas) >= Amin_nc  
    disp('!!!!!!! Si cumple !!!!!!!')  
else  
    disp('!!!!!!! No cumple !!!!!!!')  
end
```

```
!!!!!!! Si cumple !!!!!!!
```

Nota: En caso de no cumplir con el área de acero mínimo se debe cambiar el acero.

5- Bibliografía

- McCormac, J. C. & Brown, R. H. (2011). Diseño de concreto reforzado. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Ejemplo No.2: Diseño para torsión

1- Introducción

En la presente guía se da a conocer un ejemplo de viga rectangular sometida a esfuerzos de torsión. Para la cual se opta aplicar cada uno de los parámetros dados el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Donde se determinará el acero requerido por el esfuerzo actuante proveniente de las cargas aplicadas.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de Contenido

Ejemplo No.2: Diseño para torsión.....	1
1- Introducción.....	1
2- Enunciado.....	1
3- Desarrollo.....	2
3.1- Datos de entrada.....	2
3.2- Propiedades de los materiales.....	2
3.3- Barra para estribos.....	2
3.4- Barras longitudinales.....	3
3.5- Recubrimiento.....	3
3.6- Carga axial y momentos mayorados.....	3
3.7- Cálculo umbral de torsión.....	3
3.8- Propiedades de la sección.....	4
3.9- Verificación de la sección.....	6
3.10- Determinamos la sección.....	6
3.11- Acero a cortante.....	6
3.11.1- Acero requerido por cortante.....	7
3.12- Acero por torsión.....	8
3.12.1- Acero requerido por torsión.....	9
3.13- Acero total.....	9
3.13.1- Espaciamiento.....	9
3.13.2- Espaciamientos mínimos.....	9
3.14- Verificar acero mínimo de estribos.....	11
3.15- Refuerzo longitudinal.....	13
4- Bibliografía.....	15

2- Enunciado

Diseñar el refuerzo por torsión para la viga mostrada en la figura No.1, para la cual $f'c = 28$ MPa, $f_y = 420$ MPa, $V_u = 190$ kN, $T_u = 30$ kN-m y A_s requerida para M_u es 2050mm^2 . Suponer estribos #12 y #25 para barras longitudinales. Tomar un recubrimiento libre igual a 40 mm.

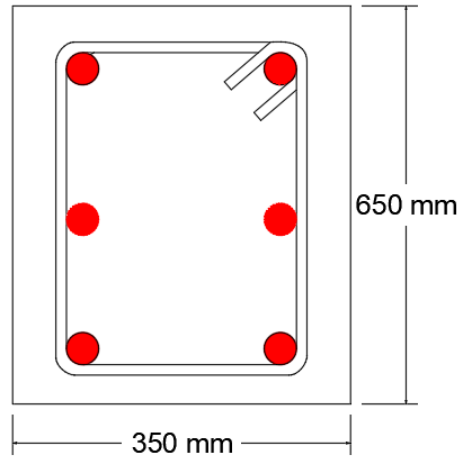


Figura No.1.

3- Desarrollo

3.1- Datos de entrada

Introducir medidas de base (b) y altura (d) de acuerdo con el elemento.

b = 350; % Base [mm]
h = 650; % Altura [mm]

3.2- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada uno de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

Concreto

- Resistencia específica a la compresión.

f_c = 28e6; % [Pa]

Cálculo del factor de modificación con respecto a las propiedades del concreto λ

Seleccione el tipo de concreto.

landa =1;

Acero

-Resistencia específica a la fluencia.

f_y = 420e6; % [Pa]

3.3- Barra para estribos

Definimos una barra para estribos, para este caso.

A_{est} = 113.1; % Número de barra a utilizar.

```
D_est = 12; % Diámetro del acero.
```

- Número de ramas

```
N_ramas = 2;
```

3.4- Barras longitudinales

Especificaciones del acero

```
bar = 490.9 ; % Número de barra longitudinal.  
D_bar = 25 ; % Diámetro del acero longitudinal.
```

3.5- Recubrimiento

En este caso se debe verificar en la estructura o en las memorias de cálculo que tipo de recubrimiento es la que tiene el elemento. Seguidamente seleccione que longitud tiene según el capítulo C.7.7 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

```
re = 40; % [mm]  
sprintf('El recubrimiento es de: %0.5g [mm]',re)
```

```
ans =  
'El recubrimiento es de: 40 [mm]'
```

3.6- Carga axial y momentos mayorados

Ingrese la carga axial y el momento mayorado según el cálculo de cargas que tenga la estructura.

```
Vu = 190000; % [N]  
Tu = 30000; % [N-m]  
Mu = 2050; % [mm^2]
```

3.7- Cálculo umbral de torsión

Límite de torsión que nos permite tener en una viga. Para elementos no presforzados la torsión de agrietamiento:

$$T_{cr} = \phi 0.33 * \lambda * \sqrt{f'c} * \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Umbral de torsión

$$\phi * \frac{1}{4} * T_{cr} = \phi 0.083 * \lambda * \sqrt{f'c} * \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$\phi = 75$ Para torsión según el numeral C.9.3.2.3.

```
fi = 0.75;
```

Tener en cuenta que los datos deben ser en mm.

Para $A_{cp} = b_w * h$

```
Acp = b*h;  
sprintf('Acp : %0.5g [mm^2]',Acp)
```

```
ans =  
'Acp : 2.275e+05 [mm^2]'
```

Para $P_{cp} = 2 * (b_w + h)$

```
Pcp = 2*(b+h);  
sprintf('Pcp : %0.5g [mm]',Pcp)
```

```
ans =  
'Pcp : 2000 [mm]'
```

Por lo tanto T_{cr}

```
fi_Tcr = (fi*0.083*landa*sqrt(fc/1e6)*(((Acp)^2)/(Pcp)))/1e6;  
sprintf('Tcr : %0.5g [kN-m]',fi_Tcr)
```

```
ans =  
'Tcr : 8.5242 [kN-m]'
```

Verificamos

$$T_u < \phi * \frac{1}{4} * T_{cr}$$

```
if Tu/1000 < fi_Tcr  
    disp('!!!!!!! No Verificar por torsión !!!!!!!!')  
else  
    disp('!!!!!!! Si Verificar por torsión !!!!!!!!')  
end
```

```
!!!!!!! Si Verificar por torsión !!!!!!!!
```

3.8- Propiedades de la sección

Determinar d

$$d = h - \left(re + \phi Est + \left(\frac{\phi long}{2} \right) \right)$$

```
d = h-(re+(D_est)+((D_bar)/2));  
sprintf('d: %0.5g [mm]',d)
```

% [m] Distancia desde el borde s

```
ans =  
'd: 585.5 [mm]'
```

Determinar x_o y y_o

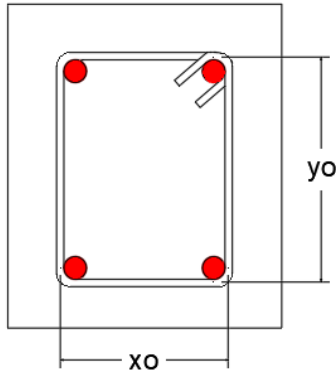


Figura No.2.

$$x_o = b_w - (2re) - \phi_{Est}$$

```
xo = b-(2*re)-(D_est);
sprintf('xo: %0.5g [mm]',xo)
```

```
ans =
'xo: 258 [mm]'
```

$$y_o = h - (2re) - \phi_{Est}$$

```
yo = h-(2*re)-(D_est);
sprintf('yo: %0.5g [mm]',yo)
```

```
ans =
'yo: 558 [mm]'
```

Determinar A_{oh} , P_h y A_o

Área encerrada por el eje del refuerzo transversal.

$$A_{oh} = x_o * y_o$$

```
Aoh = xo*yo;
sprintf('Aoh: %0.5g [mm^2]',Aoh)
```

```
ans =
'Aoh: 1.4396e+05 [mm^2]'
```

Perímetro del eje del refuerzo transversal.

$$P_h = 2 * (x_o + y_o)$$

```
Ph = 2*(xo+yo);
sprintf('Ph: %0.5g [mm]',Ph)
```

```
ans =
'Ph: 1632 [mm]'
```

Área bruta encerrada por la trayectoria del flujo de cortante.

$$A_o = 0.85 * A_{oh}$$

```
Ao = 0.85*Aoh;
sprintf('Ao: %0.5g [mm^2]',Ao)
```

```
ans =
'Ao: 1.2237e+05 [mm^2]'
```

3.9- Verificación de la sección

Cortante del concreto

$$V_c = 0.17 * \lambda * \sqrt{f'c} * b_w * d$$

```
Vc = 0.17*landa*sqrt(fc/1e6)*b*d;
sprintf('Vc n: %0.5g [kN]',Vc/1000)
```

```
ans =
'Vc n: 184.34 [kN]'
```

3.10- Determinamos la sección

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w * d}\right)^2 + \left(\frac{T_u * P_h}{1.7 * A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w * d} + 0.66 * \sqrt{f'c}\right)$$

```
Sec_act = sqrt(((Vu/(b*d))^2)+(((Tu*1000*Ph)/(1.7*(Aoh^2)))^2));
sprintf(' Sección actuante : %0.5g [Mpa]',Sec_act)
```

```
ans =
' Sección actuante : 1.6705 [Mpa]'
```

```
Sec_res = fi*((Vc/(b*d))+0.66*sqrt(fc/1e6));
sprintf('Sección resistente : %0.5g [Mpa]',Sec_res)
```

```
ans =
'Sección resistente : 3.294 [Mpa]'
```

Verificamos:

```
if Sec_act <= Sec_res
    disp('!!!!!!! Si cumple !!!!!!!')
else
    disp('!!!!!!! No cumple !!!!!!!')
end
```

```
!!!!!!! Si cumple !!!!!!!
```

3.11- Acero a cortante

$$V_u \geq \phi * \frac{V_c}{2}$$

```
rta = fi*(Vc/2);
```

Verificamos

```
if Vu >= rta
    disp('iiiiiii Si requiere acero !!!!!!!')
else
    disp('iiiiiii No requiere acero !!!!!!!')
end
```

```
iiiiiii Si requiere acero !!!!!!!
```

$$\phi V_n = \phi V_c + \phi V_s$$

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$V_u = \phi V_c + \phi V_s$$

Despejamos V_s

$$V_s = \left(\frac{V_u}{\phi} \right) - V_c$$

```
Vs = (Vu/fi)-Vc;
sprintf('Vs : %0.5g [kN]',Vs/1000)
```

```
ans =
'Vs : 68.992 [kN]'
```

Verificamos la cortante máxima

$$V_{s-\max} = 0.66 * \lambda * \sqrt{f'_c} * b_w * d$$

```
Vs_max = 0.66*landa*sqrt(fc/1e6)*b*d;
sprintf('Vs máxima : %0.5g [kN]',Vs_max/1000)
```

```
ans =
'Vs máxima : 715.68 [kN]'
```

Verificamos

```
if Vs <= Vs_max
    disp('iiiiiii Si cumple !!!!!!!')
else
    disp('iiiiiii No cumple !!!!!!!')
end
```

```
iiiiiii Si cumple !!!!!!!
```

Nota: Tener en cuenta, si se supera el V_s máxima se debe cambiar la sección. No se debe dar tanta responsabilidad al acero.

3.11.1- Acero requerido por cortante

$$V_s = \left(\frac{A_v * f_y * d}{S} \right)$$

$$\frac{A_v}{S} = \frac{V_s}{f_y * d}$$

```
Av_s = (Vs)/((fy/1e6)*d);
sprintf(' Av/S : %0.5g [mm^2/mm]',Av_s)
```

```
ans =
' Av/S : 0.28056 [mm^2/mm]'
```

3.12- Acero por torsión

Comparar la torsión de agrietamiento con la torsión ultima.

$$\phi T_{cr} < T_u$$

En el numeral C.11.5.2 nos indica que podemos reducir la torsión siempre y cuando se pueda identificar que la viga tenga una torsión de uno o dos planos.

$$T_{cr} = \phi * 0.33 * \lambda * \sqrt{f'_c} * \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

```
Tcr = (fi*0.33*landa*sqrt(fc/1e6)*(((Acp)^2)/(Pcp)))/1e6;
sprintf(' Tcr : %0.5g [kN-m]',Tcr)
```

```
ans =
' Tcr : 33.891 [kN-m]'
```

Nota: Si la torsión de agrietamiento es menor que la torsión ultima, se debe diseñar por la torsión ultima, de lo contrario se debe diseñar con la torsión de agrietamiento.

Verificamos:

```
if Tcr*1000 > Tu
    disp('!!!!!!! Diseñar por torsión de agrietamiento !!!!!!!')
    Td = Tcr*1000;
    sprintf(' Td : %0.5g [N-m]',Td)
else
    disp('!!!!!!! Diseñar por torsión ultima !!!!!!!')
    Td = Tu
    sprintf(' Td : %0.5g [N-m]',Td)
end
```

```
!!!!!!! Diseñar por torsión de agrietamiento !!!!!!!
ans =
' Td : 33891 [N-m]'
```

Por lo tanto:

$$\phi T_n = T_d$$

$$T_n = \frac{T_d}{\phi}$$

```
Tn = Td/fi;
sprintf(' Tn : %0.5g [kN-m]',Tn/1000)
```

```
ans =
' Tn : 45.188 [kN-m]'
```

3.12.1- Acero requerido por torsión

$$T_n = \frac{2 * A_o * A_t * f_{yt}}{s} * \cot\theta$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 * A_o * f_{yt} * \cot\theta}$$

Suponemos un ángulo de 45°

```
At_s = (Tn*1e3)/(2*Ao*(fy/1e6)*((cos(45*pi/180))/(sin(45*pi/180))));
sprintf(' At/s : %0.5g [mm^2/mm]',At_s)
```

```
ans =
' At/s : 0.43962 [mm^2/mm]'
```

3.13- Acero total

$$\frac{2 * A_t}{s} + \frac{A_v}{s}$$

```
Ac_tol = 2*At_s+Av_s;
sprintf(' Acero total : %0.5g [mm^2/mm]',Ac_tol)
```

```
ans =
' Acero total : 1.1598 [mm^2/mm]'
```

3.13.1- Espaciamiento

$$s = \frac{\text{Área acero estribo} * \text{\#ramas}}{\text{Acero total}}$$

```
S_req = (A_est*N_ramas)/Ac_tol;
sprintf(' S requerido : %0.5g [mm]',S_req)
```

```
ans =
' S requerido : 195.04 [mm]'
```

3.13.2- Espaciamientos mínimos

- El espaciamento del refuerzo transversal para torsión así colocado no debe exceder el menor valor entre $\phi/8$ y 300 mm.

$$S_{\min} = \frac{P_h}{8}$$

$$S_{\min} = 300 \text{ mm}$$

```
S_min1 = Ph/8;  
sprintf(' S mínimo 1 : %0.5g [mm]',S_min1)
```

```
ans =  
' S mínimo 1 : 204 [mm]'
```

```
S_min2 = 300;  
sprintf(' S mínimo 2 : %0.5g [mm]',S_min2)
```

```
ans =  
' S mínimo 2 : 300 [mm]'
```

- Verificar los espaciamientos mínimos del C.21.5.3.2

El espaciamiento de los estribos cerrados de confinamiento no debe exceder el menor que:

1- $S_{\min} = \frac{d}{4}$

```
S_min3 = d/4;  
sprintf(' S mínimo 3 : %0.5g [mm]',S_min3)
```

```
ans =  
' S mínimo 3 : 146.38 [mm]'
```

2- Seis veces el diámetro de las barras longitudinales principales mas pequeñas.

$$S_{\min} = 6 * d_b$$

```
S_min4 = 6*D_bar;  
sprintf(' S mínimo 4 : %0.5g [mm]',S_min4)
```

```
ans =  
' S mínimo 4 : 150 [mm]'
```

3- $S_{\min} = 150 \text{ mm}$

```
S_min5 = 150;  
sprintf(' S mínimo 5 : %0.5g [mm]',S_min5)
```

```
ans =  
' S mínimo 5 : 150 [mm]'
```

- Espaciamiento a utilizar zona confinada

Seleccionar el espaciamiento menor.

```
S_min = [S_req S_min1 S_min2 S_min3 S_min4 S_min5];  
S = min(S_min);  
sprintf('Espaciamiento zona confinada: %0.5g [mm]',S)
```

```
ans =
'Espaciamiento zona confinada: 146.38 [mm]'
```

- Espaciamiento a utilizar zona no confinada

Cuando no se requieren estribos cerrados de confinamiento, se deben colocarse estribos con ganchos sísmicos en ambos extremos, espaciados a no más de $d/2$ en toda la longitud del elemento según el numeral C.21.5.3.4.

$$S_{no\ conf} = \frac{d}{2}$$

```
S_nc_req = d/2;
sprintf(' S req no confinada : %0.5g [mm]',S_nc_req)
```

```
ans =
' S req no confinada : 292.75 [mm]'
```

Seleccionar el espaciamento menor entre el requerido y el calculado anteriormente.

```
S_min_nc = [S_req S_nc_req];
S_nc = min(S_min_nc);
sprintf('Espaciamiento zona no confinada: %0.5g [mm]',S_nc)
```

```
ans =
'Espaciamiento zona no confinada: 195.04 [mm]'
```



Figura No.3.

3.14- Verificar acero mínimo de estribos

Se debe proporcionar un área mínima de refuerzo para torsión en toda la zona donde T_u supere el valor del umbral de torsión ya calculado (C.11.5.5.2). De tal forma, Donde T_u supera el umbral de torsión se requiere de un refuerzo mínimo.

- Zona confinada

$$A_{min} = 0.062 \sqrt{f'_c} * \frac{b_w * S}{f_{yt}}$$

```
Amin_c1 = 0.062*sqrt(fc/1e6)*((b*S)/(fy/1e6));
sprintf('Acero mínimo zona confinada: %0.5g [mm^2]',Amin_c1)
```

```
ans =
```

```
'Acero mínimo zona confinada: 40.018 [mm^2]'
```

Pero no debe ser menor de:

$$\frac{(0.35 * b_w * S)}{f_{yt}}$$

```
Amin_c2 = 0.35*((b*S)/(fy/1e6));  
sprintf('No menor a : %0.5g [mm^2]',Amin_c2)
```

```
ans =  
'No menor a : 42.693 [mm^2]'
```

Acero mínimo

```
if Amin_c1 >= Amin_c2  
    Amin_c = Amin_c1  
    sprintf('Acero mínimo a utilizar : %0.5g [mm^2]',Amin_c)  
else  
    Amin_c = Amin_c2;  
    sprintf('Acero mínimo a utilizar : %0.5g [mm^2]',Amin_c)  
end
```

```
ans =  
'Acero mínimo a utilizar : 42.693 [mm^2]'
```

Verificamos

$$(A_v + 2A_t) \geq 0.062 \sqrt{f'c} * \frac{b_w * S}{f_{yt}}$$

```
if (A_est*N_ramas) >= Amin_c  
    disp('!!!!!!! Si cumple !!!!!!!')  
else  
    disp('!!!!!!! No cumple !!!!!!!')  
end
```

```
!!!!!!! Si cumple !!!!!!!
```

Nota: En caso de no cumplir con el área de acero mínimo se debe cambiar el acero.

- Zona no confinada

$$(A_v + 2A_t) = 0.062 \sqrt{f'c} * \frac{b_w * S}{f_{yt}}$$

```
Amin_nc1 = 0.062*sqrt(fc/1e6)*((b*S_nc)/(fy/1e6));  
sprintf('Acero mínimo zona confinada: %0.5g [mm^2]',Amin_nc1)
```

```
ans =  
'Acero mínimo zona confinada: 53.322 [mm^2]'
```

Pero no debe ser menor de:

$$\frac{(0.35 * b_w * S)}{f_{yt}}$$

```
Amin_nc2 = 0.35*((b*S_nc)/(fy/1e6));
sprintf('No menor a : %0.5g [mm^2]',Amin_nc2)
```

```
ans =
'No menor a : 56.885 [mm^2]'
```

Acero mínimo

```
if Amin_nc1 >= Amin_nc2
    Amin_nc = Amin_nc1
    sprintf('Acero mínimo a utilizar : %0.5g [mm^2]',Amin_nc)
else
    Amin_nc = Amin_nc2;
    sprintf('Acero mínimo a utilizar : %0.5g [mm^2]',Amin_nc)
end
```

```
ans =
'Acero mínimo a utilizar : 56.885 [mm^2]'
```

Verificamos

$$(A_v + 2A_t) \geq 0.062 \sqrt{f'c} * \frac{b_w * S}{f_{yt}}$$

```
if (A_est*N_ramas) >= Amin_nc
    disp('!!!!!!! Si cumple !!!!!!!')
else
    disp('!!!!!!! No cumple !!!!!!!')
end
```

```
!!!!!!! Si cumple !!!!!!!
```

Nota: En caso de no cumplir con el área de acero mínimo se debe cambiar el acero.

3.15- Refuerzo longitudinal

El reglamento en el numeral C.11.5.3.7 señala que el área adicional de refuerzo longitudinal necesario para resistir torsión A_t

- Área requerida por torsión para acero longitudinal.

$$A_t = \frac{A_t}{S} * P_h * \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) * \cot^2 \theta$$

```
Al_req = At_s*Ph*((fy/1e6)/(fy/1e6))*((cos(45*pi/180))/(sin(45*pi/180)))^2);
sprintf('Acero longitudinal : %0.5g [mm^2]',Al_req)
```

```
ans =
'Acero longitudinal : 717.45 [mm^2]'
```

Nota: En la normativa nos permite que el f_y del acero longitudinal y el transversal sea diferente.

- Área mínima requerida

De acuerdo con el numeral C.11.5.5.3 indica que donde se requiera acero para torsión, se debe cumplir con un área mínima total para el refuerzo longitudinal.

$$A_{l,min} = \frac{0.42 * \sqrt{f'c} * A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{S}\right) * \frac{f_{yt}}{f_y}$$

Verificamos que $\frac{A_t}{S}$ No debe tomarse menor que $\frac{0.175bw}{f_y}$ en donde se refiere al refuerzo trasversal cerrado para torsión.

```
At_ver = (0.175*b)/(fy/1e6);  
sprintf('At/s >= : %0.5g [mm^2/mm]',At_ver)
```

```
ans =  
'At/s >= : 0.14583 [mm^2/mm]'
```

```
if At_s >= At_ver  
    disp('!!!!!!! Si cumple !!!!!!!')  
else  
    disp('!!!!!!! No cumple !!!!!!!')  
end
```

```
!!!!!!! Si cumple !!!!!!!
```

Entonces $A_{l,min}$

```
Al_min = ((0.42*sqrt(fc/1e6)*Acp)/(fy/1e6))-(At_s*Ph*((fy/1e6)/(fy/1e6)));  
sprintf('Al mínimo: %0.5g [mm^2]',Al_min)
```

```
ans =  
'Al mínimo: 486.36 [mm^2]'
```

Verificamos

```
if Al_req >= Al_min  
    Al = Al_req;  
    sprintf('Acero a utilizar: %0.5g [mm^2]',Al)  
else  
    Al = Al_min;  
    sprintf('Acero a utilizar: %0.5g [mm^2]',Al)  
end
```

```
ans =  
'Acero a utilizar: 717.45 [mm^2]'
```

- Acero total longitudinal

Para determinar que cantidad de acero longitudinal es necesario, se debe sumar el acero requerido por el momento ultimo a flexión y el acero requerido por la torsión ultima.

$$\text{Acero total} = A_{Mu} + A_{Tu}$$

```
Atol_long = Mu+Al;
```

```
sprintf('Área de acero total : %0.5g [mm^2]',Atol_long)
```

```
ans =  
'Área de acero total : 2767.5 [mm^2]'
```

- Cantidad de barras

$$\#barras = \frac{\text{Área de acero total}}{\text{Área de acero barra}}$$

```
N_barras1 = Atol_long/bar;  
sprintf('Cantidad de barras : %0.5g [Unid]',N_barras1)
```

```
ans =  
'Cantidad de barras : 5.6375 [Unid]'
```

Nota: Se recomienda aproximar la cantidad de barras de manera que sea cerrada.

```
N_barras = 6; % Cantidad de barras.
```

- Espaciamiento

$$S_{long} = h - (2r_e + 2\phi_{Est} + 3\phi_{Long})$$

```
S_long = h-(2*re+2*D_est+3*D_bar);  
sprintf('Espaciamiento : %0.5g [mm]',S_long)
```

```
ans =  
'Espaciamiento : 471 [mm]'
```

Verificamos

El C.11.5.6.2 manifiesta que las barras longitudinales deben colocarse dentro de los estribos y por lo menos una barra longitudinal en cada esquina del estribo con espaciamiento de 300 mm.

```
if S_long >= 300  
    disp('iiiiiii Si cumple !!!!!!!')  
else  
    disp('iiiiiii No cumple !!!!!!!')  
end
```

```
iiiiiii Si cumple !!!!!!!
```

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Ejemplo No.3: Diseño para torsión

1- Introducción

En la presente guía se da a conocer un ejemplo de viga rectangular sometida a esfuerzos de torsión. Para la cual se opta aplicar cada uno de los parámetros dados el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Donde se determinará el acero requerido por el esfuerzo actuante proveniente de las cargas aplicadas.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de Contenido

Ejemplo No.3: Diseño para torsión.....	1
1- Introducción.....	1
2- Enunciado.....	1
3- Desarrollo.....	2
3.1- Datos de entrada.....	2
3.2- Propiedades de los materiales.....	2
3.3- Barra para estribos.....	2
3.4- Barras longitudinales.....	3
3.5- Recubrimiento.....	3
3.6- Carga axial y momentos mayorados.....	3
3.7- Cálculo umbral de torsión.....	3
3.8- Propiedades de la sección.....	4
3.9- Verificación de la sección.....	6
3.10- Determinamos la sección.....	6
3.11- Acero a cortante.....	6
3.11.1- Acero requerido por cortante.....	7
3.12- Acero por torsión.....	8
3.12.1- Acero requerido por torsión.....	9
3.13- Acero total.....	9
3.13.1- Espaciamiento.....	9
3.13.2- Espaciamientos mínimos.....	9
3.14- Verificar acero mínimo de estribos.....	11
3.15- Refuerzo longitudinal.....	13
4- Bibliografía.....	15

2- Enunciado

Diseñar el refuerzo por torsión para la viga mostrada en la figura No.1, para la cual $f'c = 21$ MPa, $f_y = 420$ MPa, $V_u = 210$ kN, $T_u = 45$ kN-m y A_s requerida para μ es 3000 mm². Suponer estribos #3 y #8 para barras longitudinales. Tener en cuenta que la estructura está expuesta a la intemperie.

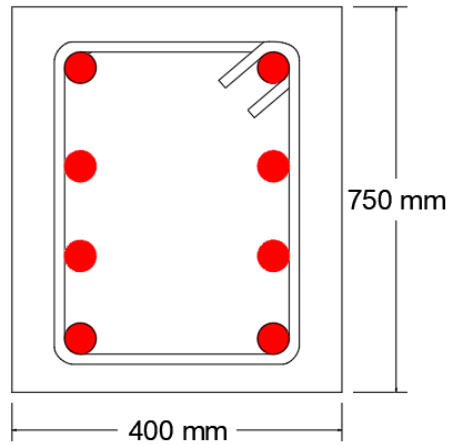


Figura No.1.

3- Desarrollo

3.1- Datos de entrada

Introducir medidas de base (b) y altura (d) de acuerdo con el elemento.

```
b = 400;           % Base [mm]
h = 750;           % Altura [mm]
```

3.2- Propiedades de los materiales

Ingresar el valor correspondiente a cada uno de las propiedades de acuerdo a sus unidades especificadas.

Concreto

- Resistencia específica a la compresión.

```
fc = 21e6;         % [Pa]
```

Cálculo del factor de modificación con respecto a las propiedades del concreto λ

Seleccione el tipo de concreto.

```
landa = 1;
```

Acero

-Resistencia específica a la fluencia.

```
fy = 420e6;        % [Pa]
```

3.3- Barra para estribos

Definimos una barra para estribos, para este caso, se toma barra #3

```
A_est = 71;        % Número de barra a utilizar.
D_est = 9.5;       % Diametro del acero.
```


- Número de ramas

```
N_ramas = 2;
```

3.4- Barras longitudinales

Especificaciones del acero

```
bar = 510; % Número de barra longitudinal.  
D_bar = 25.4; % Diámetro del acero longitudinal.
```

3.5- Recubrimiento

En este caso se debe verificar en la estructura o en las memorias de cálculo que tipo de recubrimiento es la que tiene el elemento. Seguidamente seleccione que longitud tiene según el capítulo C.7.7 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

```
re = 50; % [mm]  
sprintf('El recubrimiento es de: %0.5g [mm]',re)
```

```
ans =  
'El recubrimiento es de: 50 [mm]'
```

3.6- Carga axial y momentos mayorados

Ingrese la carga axial y el momento mayorado según el cálculo de cargas que tenga la estructura.

```
Vu = 210000; % [N]  
Tu = 45000; % [N-m]  
Mu = 3000; % [mm^2]
```

3.7- Cálculo umbral de torsión

Límite de torsión que nos permite tener en una viga. Para elementos no presforzados la torsión de agrietamiento:

$$T_{cr} = \phi 0.33 * \lambda * \sqrt{f'c} * \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Umbral de torsión

$$\phi * \frac{1}{4} * T_{cr} = \phi 0.083 * \lambda * \sqrt{f'c} * \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$\phi = 75$ Para torsión según el numeral C.9.3.2.3

```
fi = 0.75;
```

Tener en cuenta que los datos deben ser en mm.

Para $A_{cp} = b_w * h$

```
Acp = b*h;
sprintf('Acp : %0.5g [mm^2]',Acp)
```

```
ans =
'Acp : 3e+05 [mm^2]'
```

Para $P_{cp} = 2 * (b_w + h)$

```
Pcp = 2*(b+h);
sprintf('Pcp : %0.5g [mm]',Pcp)
```

```
ans =
'Pcp : 2300 [mm]'
```

Por lo tanto T_{cr}

```
fi_Tcr = (fi*0.083*landa*sqrt(fc/1e6)*(((Acp)^2)/(Pcp)))/1e6;
sprintf('Tcr : %0.5g [kN-m]',fi_Tcr)
```

```
ans =
'Tcr : 11.163 [kN-m]'
```

Verificamos

$$T_u < \phi * \frac{1}{4} * T_{cr}$$

```
if Tu/1000 < fi_Tcr
    disp('!!!!!!! No Verificar por torsión !!!!!!!')
else
    disp('!!!!!!! Si Verificar por torsión !!!!!!!')
end
```

```
!!!!!!! Si Verificar por torsión !!!!!!!
```

3.8- Propiedades de la sección

Determinar d

$$d = h - \left(re + \phi Est + \left(\frac{\phi long}{2} \right) \right)$$

```
d = h-(re+(D_est)+((D_bar)/2)); % [m] Distancia desde el borde superior al cen
sprintf('d: %0.5g [mm]',d)
```

```
ans =
'd: 677.8 [mm]'
```

Determinar x_1 y y_1

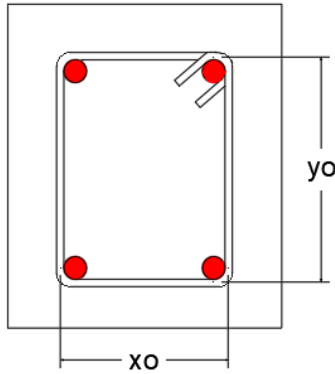


Figura No.2

$$x_o = b_w - (2re) - \phi_{Est}$$

```
xo = b-(2*re)-(D_est);
sprintf('xo: %0.5g [mm]',xo)
```

```
ans =
'xo: 290.5 [mm]'
```

$$y_o = h - (2re) - \phi_{Est}$$

```
yo = h-(2*re)-(D_est);
sprintf('yo: %0.5g [mm]',yo)
```

```
ans =
'yo: 640.5 [mm]'
```

Determinar A_{oh} , P_h y A_o

Área encerrada por el eje del refuerzo transversal.

$$A_{oh} = x_o * y_o$$

```
Aoh = xo*yo;
sprintf('Aoh: %0.5g [mm^2]',Aoh)
```

```
ans =
'Aoh: 1.8607e+05 [mm^2]'
```

Perímetro del eje del refuerzo transversal.

$$P_h = 2 * (x_o + y_o)$$

```
Ph = 2*(xo+yo);
sprintf('Ph: %0.5g [mm]',Ph)
```

```
ans =
'Ph: 1862 [mm]'
```

Área bruta encerrada por la trayectoria del flujo de cortante.

$$A_o = 0.85 * A_{oh}$$

```
Ao = 0.85*Aoh;
sprintf('Ao: %0.5g [mm^2]',Ao)
```

```
ans =
'Ao: 1.5816e+05 [mm^2]'
```

3.9- Verificación de la sección

Cortante del concreto

$$V_c = 0.17 * \lambda * \sqrt{f'_c} * b_w * d$$

```
Vc = 0.17*landa*sqrt(fc/1e6)*b*d;
sprintf('Vc n: %0.5g [kN]',Vc/1000)
```

```
ans =
'Vc n: 211.21 [kN]'
```

3.10- Determinamos la sección

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w * d}\right)^2 + \left(\frac{T_u * P_h}{1.7 * A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w * d} + 0.66 * \sqrt{f'_c}\right)$$

```
Sec_act = sqrt(((Vu/(b*d))^2)+(((Tu*1000*Ph)/(1.7*(Aoh^2)))^2));
sprintf(' Sección actuante : %0.5g [Mpa]',Sec_act)
```

```
ans =
' Sección actuante : 1.6207 [Mpa]'
```

```
Sec_res = fi*((Vc/(b*d))+0.66*sqrt(fc/1e6));
sprintf('Sección resistente : %0.5g [Mpa]',Sec_res)
```

```
ans =
'Sección resistente : 2.8527 [Mpa]'
```

Verificamos

```
if Sec_act <= Sec_res
    disp('!!!!!!! Si cumple !!!!!!!')
else
    disp('!!!!!!! No cumple !!!!!!!')
end
```

```
!!!!!!! Si cumple !!!!!!!
```

3.11- Acero a cortante

$$V_u \geq \phi * \frac{V_c}{2}$$

```
rta = fi*(Vc/2);
```

Verificamos

```
if Vu >= rta
    disp('iiiiiii Si requiere acero !!!!!!!')
else
    disp('iiiiiii No requiere acero !!!!!!!')
end
```

```
iiiiiii Si requiere acero !!!!!!!
```

$$\phi V_n = \phi V_c + \phi V_s$$

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$V_u = \phi V_c + \phi V_s$$

Despejamos V_s

$$V_s = \left(\frac{V_u}{\phi} \right) - V_c$$

```
Vs = (Vu/fi)-Vc;
sprintf('Vs : %0.5g [kN]',Vs/1000)
```

```
ans =
'Vs : 68.787 [kN]'
```

Verificamos la cortante máxima

$$V_{s\text{-max}} = 0.66 * \lambda * \sqrt{f'_c} * b_w * d$$

```
Vs_max = 0.66*landa*sqrt(fc/1e6)*b*d;
sprintf('Vs máxima : %0.5g [kN]',Vs_max/1000)
```

```
ans =
'Vs máxima : 820 [kN]'
```

Verificamos

```
if Vs <= Vs_max
    disp('iiiiiii Si cumple !!!!!!!')
else
    disp('iiiiiii No cumple !!!!!!!')
end
```

```
iiiiiii Si cumple !!!!!!!
```

Nota: Tener en cuenta, si se supera el V_s máxima se debe cambiar la sección. No se debe dar tanta responsabilidad al acero.

3.11.1- Acero requerido por cortante

$$V_s = \left(\frac{A_v * f_y * d}{S} \right)$$

$$\frac{A_v}{S} = \frac{V_s}{f_y * d}$$

```
Av_s = (Vs)/((fy/1e6)*d);
sprintf(' Av/S : %0.5g [mm^2/mm]',Av_s)
```

```
ans =
' Av/S : 0.24163 [mm^2/mm]'
```

3.12- Acero por torsión

Comparar la torsión de agrietamiento con la torsión ultima.

$$\phi T_{cr} < T_u$$

En el numeral C.11.5.2 nos indica que podemos reducir la torsión siempre y cuando se pueda identificar que la viga tenga una torsión de uno o dos planos.

$$T_{cr} = \phi * 0.33 * \lambda * \sqrt{f'c} * \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

```
Tcr = (fi*0.33*landa*sqrt(fc/1e6)*(((Acp)^2)/(Pcp)))/1e6;
sprintf(' Tcr : %0.5g [kN-m]',Tcr)
```

```
ans =
' Tcr : 44.381 [kN-m]'
```

Nota: Si la torsión de agrietamiento es menor que la torsión ultima, se debe diseñar por la torsión ultima, de lo contrario se debe diseñar con la torsión de agrietamiento.

Verificamos

```
if Tcr*1000 > Tu
    disp('!!!!!!! Diseñar por torsión de agrietamiento !!!!!!!!')
    Td = Tcr*1000;
    sprintf(' Td : %0.5g [N-m]',Td)
else
    disp('!!!!!!! Diseñar por torsión ultima !!!!!!!!')
    Td = Tu;
    sprintf(' Td : %0.5g [N-m]',Td)
end
```

```
!!!!!!! Diseñar por torsión ultima !!!!!!!!
ans =
' Td : 45000 [N-m]'
```

Por lo tanto:

$$\phi T_n = T_d$$

$$T_n = \frac{T_d}{\phi}$$

```
Tn = Td/phi;
sprintf(' Tn : %0.5g [kN-m]',Tn/1000)
```

```
ans =
' Tn : 60 [kN-m]'
```

3.12.1- Acero requerido por torsión

$$T_n = \frac{2 * A_o * A_t * f_{yt}}{s} * \cot\theta$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 * A_o * f_{yt} * \cot\theta}$$

Suponemos un ángulo de 45°

```
At_s = (Tn*1e3)/(2*Ao*(fy/1e6)*((cos(45*pi/180))/(sin(45*pi/180))));
sprintf(' At/s : %0.5g [mm^2/mm]',At_s)
```

```
ans =
' At/s : 0.45164 [mm^2/mm]'
```

3.13- Acero total

$$\frac{2 * A_t}{s} + \frac{A_v}{s}$$

```
Ac_tol = 2*At_s+Av_s;
sprintf(' Acero total : %0.5g [mm^2/mm]',Ac_tol)
```

```
ans =
' Acero total : 1.1449 [mm^2/mm]'
```

3.13.1- Espaciamiento

$$s = \frac{\text{Área acero estribo} * \text{\#ramas}}{\text{Acero total}}$$

```
S_req = (A_est*N_ramas)/Ac_tol;
sprintf(' S requerido : %0.5g [mm]',S_req)
```

```
ans =
' S requerido : 124.03 [mm]'
```

3.13.2- Espaciamientos mínimos

- El espaciamento del refuerzo transversal para torsión así colocado no debe exceder el menor valor entre $\phi/8$ y 300 mm.

$$S_{\min} = \frac{P_h}{8}$$

$$S_{\min} = 300 \text{ mm}$$

```
S_min1 = Ph/8;  
sprintf(' S mínimo 1 : %0.5g [mm]',S_min1)
```

```
ans =  
' S mínimo 1 : 232.75 [mm]'
```

```
S_min2 = 300;  
sprintf(' S mínimo 2 : %0.5g [mm]',S_min2)
```

```
ans =  
' S mínimo 2 : 300 [mm]'
```

- Verificar los espaciamientos mínimos del C.21.5.3.2

El espaciamiento de los estribos cerrados de confinamiento no debe exceder el menor que:

1- $S_{\min} = \frac{d}{4}$

```
S_min3 = d/4;  
sprintf(' S mínimo 3 : %0.5g [mm]',S_min3)
```

```
ans =  
' S mínimo 3 : 169.45 [mm]'
```

2- Seis veces el diámetro de las barras longitudinales principales mas pequeñas.

$$S_{\min} = 6 * d_b$$

```
S_min4 = 6*D_bar;  
sprintf(' S mínimo 4 : %0.5g [mm]',S_min4)
```

```
ans =  
' S mínimo 4 : 152.4 [mm]'
```

3- $S_{\min} = 150 \text{ mm}$

```
S_min5 = 150;  
sprintf(' S mínimo 5 : %0.5g [mm]',S_min5)
```

```
ans =  
' S mínimo 5 : 150 [mm]'
```

- Espaciamiento a utilizar zona confinada

Seleccionar el espaciamiento menor.

```
S_min = [S_req S_min1 S_min2 S_min3 S_min4 S_min5];  
S = min(S_min);  
sprintf('Espaciamiento zona confinada: %0.5g [mm]',S)
```



```
ans =
'Espaciamiento zona confinada: 124.03 [mm]'
```

- Espaciamiento a utilizar zona no confinada

Cuando no se requieren estribos cerrados de confinamiento, se deben colocarse estribos con ganchos sísmicos en ambos extremos, espaciados a no más de $d/2$ en toda la longitud del elemento según el numeral C.21.5.3.4.

$$S_{no\ conf} = \frac{d}{2}$$

```
S_nc_req = d/2;
sprintf(' S req no confinada : %0.5g [mm]',S_nc_req)
```

```
ans =
' S req no confinada : 338.9 [mm]'
```

Seleccionar el espaciamento menor entre el requerido y el calculado anteriormente.

```
S_min_nc = [S_req S_nc_req];
S_nc = min(S_min_nc);
sprintf('Espaciamiento zona no confinada: %0.5g [mm]',S_nc)
```

```
ans =
'Espaciamiento zona no confinada: 124.03 [mm]'
```



Figura No.3.

3.14- Verificar acero mínimo de estribos

Se debe proporcionar un área mínima de refuerzo para torsión en toda la zona donde T_u supere el valor del umbral de torsión ya calculado (C.11.5.5.2). De tal forma, Donde T_u supera el umbral de torsión se requiere de un refuerzo mínimo.

- Zona confinada

$$A_{min} = 0.062 \sqrt{f'_c} * \frac{b_w * S}{f_{yt}}$$

```
Amin_c1 = 0.062*sqrt(fc/1e6)*((b*S)/(fy/1e6));
sprintf('Acero mínimo zona confinada: %0.5g [mm^2]',Amin_c1)
```

```
ans =  
'Acero mínimo zona confinada: 33.561 [mm^2]'
```

Pero no debe ser menor de:

$$\frac{(0.35 * b_w * S)}{f_{yt}}$$

```
Amin_c2 = 0.35*((b*S)/(fy/1e6));  
sprintf('No menor a : %0.5g [mm^2]',Amin_c2)
```

```
ans =  
'No menor a : 41.343 [mm^2]'
```

Acero mínimo

```
if Amin_c1 >= Amin_c2  
    Amin_c = Amin_con1  
    sprintf('Acero mínimo a utilizar : %0.5g [mm^2]',Amin_c)  
else  
    Amin_c = Amin_c2;  
    sprintf('Acero mínimo a utilizar : %0.5g [mm^2]',Amin_c)  
end
```

```
ans =  
'Acero mínimo a utilizar : 41.343 [mm^2]'
```

Verificamos

$$(A_v + 2A_t) \geq 0.062 \sqrt{f'c} * \frac{b_w * S}{f_{yt}}$$

```
if (A_est*N_ramas) >= Amin_c  
    disp('!!!!!!! Si cumple !!!!!!!')  
else  
    disp('!!!!!!! No cumple !!!!!!!')  
end
```

```
!!!!!!! Si cumple !!!!!!!
```

Nota: En caso de no cumplir con el área de acero mínimo se debe cambiar el acero.

- Zona no confinada

$$(A_v + 2A_t) = 0.062 \sqrt{f'c} * \frac{b_w * S}{f_{yt}}$$

```
Amin_ncl = 0.062*sqrt(fc/1e6)*((b*S_nc)/(fy/1e6));  
sprintf('Acero mínimo zona confinada: %0.5g [mm^2]',Amin_ncl)
```

```
ans =  
'Acero mínimo zona confinada: 33.561 [mm^2]'
```

Pero no debe ser menor de:

$$\frac{(0.35 * b_w * S)}{f_{yt}}$$

```
Amin_nc2 = 0.35*((b*S_nc)/(fy/1e6));
sprintf('No menor a : %0.5g [mm^2]',Amin_nc2)
```

```
ans =
'No menor a : 41.343 [mm^2]'
```

Acero mínimo

```
if Amin_nc1 >= Amin_nc2
    Amin_nc = Amin_nc1
    sprintf('Acero mínimo a utilizar : %0.5g [mm^2]',Amin_nc)
else
    Amin_nc = Amin_nc2;
    sprintf('Acero mínimo a utilizar : %0.5g [mm^2]',Amin_nc)
end
```

```
ans =
'Acero mínimo a utilizar : 41.343 [mm^2]'
```

Verificamos

$$(A_v + 2A_t) \geq 0.062 \sqrt{f'c} * \frac{b_w * S}{f_{yt}}$$

```
if (A_est*N_ramas) >= Amin_nc
    disp('!!!!!!! Si cumple !!!!!!!')
else
    disp('!!!!!!! No cumple !!!!!!!')
end
```

```
!!!!!!! Si cumple !!!!!!!
```

Nota: En caso de no cumplir con el área de acero mínimo se debe cambiar el acero.

3.15- Refuerzo longitudinal

El reglamento en el numeral C.11.5.3.7 señala que el área adicional de refuerzo longitudinal necesario para resistir torsión A_t

- Área requerida por torsión para acero longitudinal.

$$A_t = \frac{A_t}{S} * P_h * \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) * \cot^2 \theta$$

```
Al_req = At_s*Ph*((fy/1e6)/(fy/1e6))*((cos(45*pi/180))/(sin(45*pi/180)))^2);
sprintf('Acero longitudinal : %0.5g [mm^2]',Al_req)
```

```
ans =
'Acero longitudinal : 840.94 [mm^2]'
```

Nota: En la normativa nos permite que el fy del acero longitudinal y el transversal sea diferente.

- Área mínima requerida

De acuerdo con el numeral C.11.5.5.3 indica que donde se requiera acero para torsión, se debe cumplir con un área mínima total para el refuerzo longitudinal.

$$A_{l,\min} = \frac{0.42 * \sqrt{f'c} * A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{S}\right) * \frac{f_{yt}}{f_y}$$

Verificamos que $\frac{A_t}{S}$ No debe tomarse menor que $\frac{0.175bw}{f_y}$ en donde se refiere al refuerzo transversal cerrado para torsión.

```
At_ver = (0.175*b)/(fy/1e6);  
sprintf('At/s >= : %0.5g [mm^2/mm]',At_ver)
```

```
ans =  
'At/s >= : 0.16667 [mm^2/mm]'
```

```
if At_s >= At_ver  
    disp('!!!!!!! Si cumple !!!!!!!')  
else  
    disp('!!!!!!! No cumple !!!!!!!')  
end
```

```
!!!!!!! Si cumple !!!!!!!
```

Entonces $A_{l,\min}$

```
Al_min = ((0.42*sqrt(fc/1e6)*Acp)/(fy/1e6))-(At_s*Ph*((fy/1e6)/(fy/1e6)));  
sprintf('Al mínimo: %0.5g [mm^2]',Al_min)
```

```
ans =  
'Al mínimo: 533.83 [mm^2]'
```

Verificamos

```
if Al_req >= Al_min  
    Al = Al_req;  
    sprintf('Acero a utilizar: %0.5g [mm^2]',Al)  
else  
    Al = Al_min;  
    sprintf('Acero a utilizar: %0.5g [mm^2]',Al)  
end
```

```
ans =  
'Acero a utilizar: 840.94 [mm^2]'
```

- Acero total longitudinal

Para determinar que cantidad de acero longitudinal es necesario, se debe sumar el acero requerido por el momento último a flexión y el acero requerido por la torsión última.

$$A_{\text{Acero total}} = A_{M_u} + A_{T_u}$$

```
Atol_long = Mu+Al;
```

```
sprintf('Área de acero total : %0.5g [mm^2]',Atol_long)
```

```
ans =  
'Área de acero total : 3840.9 [mm^2]'
```

- Cantidad de barras

$$\#barras = \frac{\text{Área de acero total}}{\text{Área de acero barra}}$$

```
N_barras1 = Atol_long/bar;  
sprintf('Cantidad de barras : %0.5g [Unid]',N_barras1)
```

```
ans =  
'Cantidad de barras : 7.5313 [Unid]'
```

Nota: Se recomienda aproximar la cantidad de barras de manera que sea cerrada.

```
N_barras = 8; % Cantidad de barras.
```

- Espaciamiento

$$S_{long} = h - (2r_e + 2\phi_{Est} + 4\phi_{Long})$$

```
S_long = h-(2*re+2*D_est+4*D_bar);  
sprintf('Espaciamiento : %0.5g [mm]',S_long)
```

```
ans =  
'Espaciamiento : 529.4 [mm]'
```

Verificamos

El C.11.5.6.2 manifiesta que las barras longitudinales deben colocarse dentro de los estribos y por lo menos una barra longitudinal en cada esquina del estribo con espaciamiento de 300 mm.

```
if S_long >= 300  
    disp('iiiiiii Si cumple !!!!!!!')  
else  
    disp('iiiiiii No cumple !!!!!!!')  
end
```

```
iiiiiii Si cumple !!!!!!!
```

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Enunciado

clc, clear, close all, format short

Diseñar el refuerzo por torsión para la viga rectangular mostrada en la figura No.1, para la cual $f'_c = 28$ MPa, $f_y = 420$ MPa, $V_u = 350$ kN, $T_u = 65$ kN-m y A_s requerida para M_u es 3500 mm². Suponer estribos #3 y #7 para barras longitudinales. Tener en cuenta que la estructura esta expuesta a la intemperie.

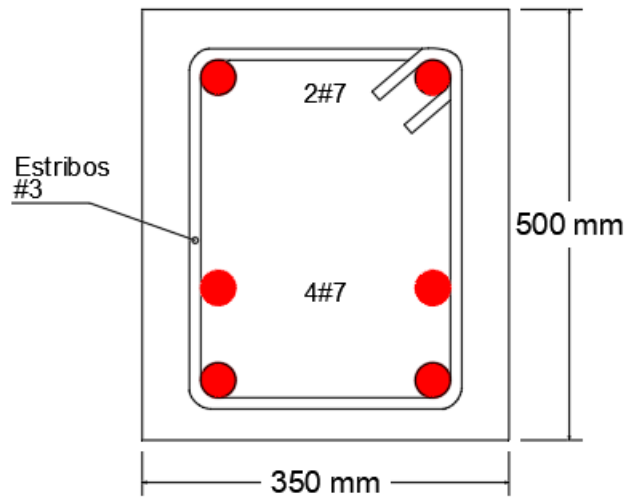


Figura No.1

J.Anexo: Guía diagrama de interacción para columnas.

Diagrama de interacción para columnas

1- Introducción

Un diagrama de interacción para columnas es utilizado para el estudio de la resistencia de estos elementos vinculando las cargas axiales y los momentos mayorados, es importante mencionar que si cualquier variable (punto) queda dentro del diagrama está trabajando apropiadamente, mientras que si alguno queda fuera se considera un elemento que presenta fallas, en esta guía se encontrara el paso a paso para el desarrollo del diagrama de interacción.

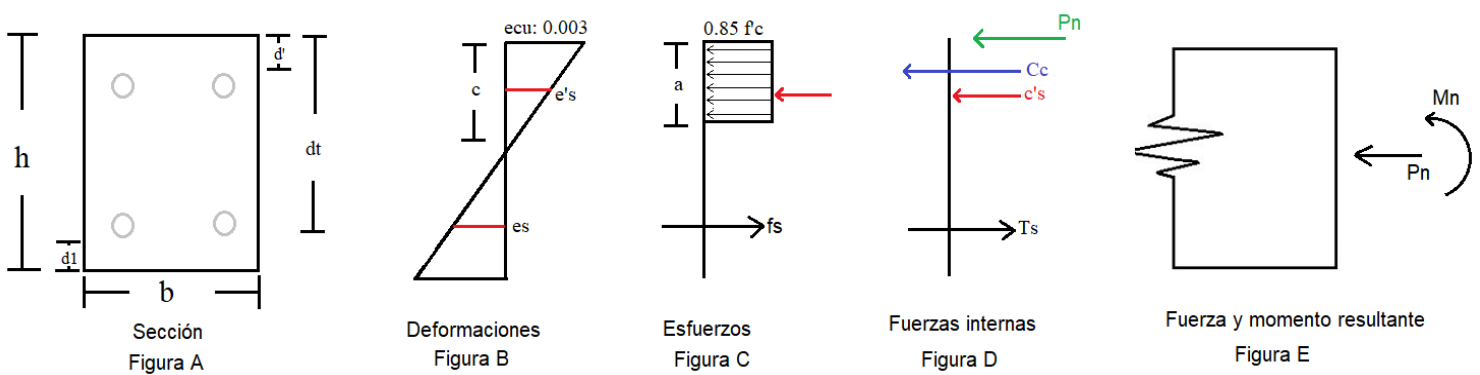
Los comandos claves utilizados en esta guía son:

```
clc, clear, close all, format short
```

Contenido

Diagrama de interacción para columnas.....	1
1- Introducción.....	1
2- Consideraciones para el diseño del diagrama de interacción.....	2
3- Pasos para el diseño.....	2
3.1 Chequeo del elemento como columna.....	2
3.2- Deformación unitaria del concreto.....	2
3.3- Resistencia de diseño CR.9.3 NSR-10.....	3
3.4- Módulo de elasticidad C.8.5 NSR-10.....	3
3.5- Calculo de - C.10.2.7.3 NSR-10.....	3
4- Puntos necesarios para el diagrama de interacción.....	3
Punto A. Falla por compresión axial ($M=0$).....	4
Punto B. Comienzo de la grieta a tracción ()	4
Punto C. Falla balanceada.....	4
Punto D. Límite donde controla tracción ().....	5
Punto E. Corte con el eje x ($P=0$).....	5
Punto F. Falla a tracción.....	5
5- Ejemplo.....	6
5.1- Enunciado.....	6
5.2- Datos de entrada.....	6
Fuerzas y momentos.....	6
Sección.....	6
a). Falla a compresión axial ($M=0$).....	10
b). Deformación en acero a tracción = 0 ()	11
C). Falla balanceada	14
D). Límite donde controla tracción ().....	18
E). Corte con eje X ($P=0$).....	21
F). Falla a tracción	23
5.3- Resumen.....	24
5.4- Diagrama de Interacción.....	24
Funciones.....	25
6- Bibliografía.....	26

2- Consideraciones para el diseño del diagrama de interacción



- Se determina una distancia en el eje neutro C y se calcula las deformaciones ϵ como se muestra en la **figura B**.
- Se calcula el bloque de compresión de cada fila del refuerzo como se representa en la **figura C**.
- Calculo las fuerzas en el acero y en el concreto que vienen de los esfuerzos al multiplicarlos por las áreas correspondientes, como se evidencia en la **figura D**.
- Se calculan las resultantes, es decir, la fuerza axial resistente y el momento resistente P_n y M_n al aplicar equilibrio como se muestra en la **figura E**.
- Los valores resultantes de P_n y M_n representan un punto del diagrama de interacción D.I.

3- Pasos para el diseño

3.1 Chequeo del elemento como columna

Si la carga P_u es mayor a $P_c = 0.1 * f_c * b * h$ se analiza como columna de lo contrario puede ser analizada como viga.

```
%Pc = 0.1*fc*b*h;  
%if Pu > Pc  
    %disp('Analizar como columna!')  
%else disp('Analizar como viga!')  
%end
```

3.2- Deformación unitaria del concreto

Se debe fijar deformación unitaria del concreto $\epsilon_{cu}=0,003$

```
ecu = .003;
```

Nota: La deformación unitaria entre el acero y el concreto deben considerarse proporcionales al eje neutro.

3.3- Resistencia de diseño CR.9.3 NSR-10

La NSR-10 menciona que la resistencia de diseño de un elemento es la resistencia nominal calculada de acuerdo con las condiciones establecidas en el título C, multiplicada por un factor de reducción de resistencia ϕ que siempre es menor que la unidad.

Los propósitos del factor de resistencia ϕ son:

- 1.) Tener en cuenta la probabilidad de existencia de elementos con una resistencia baja debida a variaciones en la resistencia de los materiales y las dimensiones.
- 2.) Tener en cuenta inexactitudes en las ecuaciones de diseño.
- 3.) Reflejar el grado de ductilidad y la confiabilidad requerida para el elemento bajo los efectos de la carga bajo consideración.
- 4.) Reflejar la importancia del elemento en la estructura.

3.4- Módulo de elasticidad C.8.5 NSR-10

Para el módulo de elasticidad E_c , en el concreto el valor medio para toda la información experimental nacional, sin distinguir por tipo de agregado, es:

$$E_c = 3900 \sqrt{f'_c} \text{ en MPa}$$

```
%% Ec = 3900*sqrt(fc) [Pa]
```

3.5- Calculo de β_1 - C.10.2.7.3 NSR-10

Para f'_c entre 17 y 28 MPa, en factor β_1 se debe tomar como 0,85. Para f'_c superior a 28 MPa, β_1 se debe disminuir en forma lineal a razón de 0.05 por cada 7 MPa de aumento sobre 28 MPa, sin embargo, β_1 no debe ser menor de 0,65.

Ecuación para cálculo de $\beta_1 > 28$ MPa

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 * \frac{(f_c - 28)}{7}$$

Ecuación para cálculo de $\beta_1 \leq 28$ MPa

$$\beta_1 = 0.85$$

4- Puntos necesarios para el diagrama de interacción

Punto A. Falla por compresión axial (M=0)

En este punto la carga axial es máxima y se define como P_o

$$P_o = .85f'_c(A_g - A_{st}) + A_{st}f_y$$

$$\phi P_o = 0.65 * P_o$$

$$P_{n(max)} = 0.75 * (0.65 * P_o) = 0.75 * \phi P_o$$

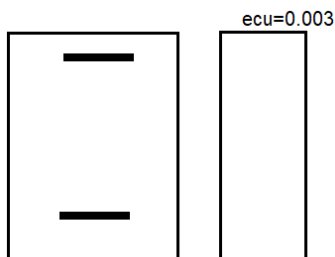


Ilustración. Corte transversal de columna

El valor $\epsilon_{cu} = 0.003$ corresponde a la máxima deformación del concreto que puede soportar antes de la ruptura.

Punto B. Comienzo de la grieta a tracción ($\epsilon_s = 0$)

Este punto representa el comienzo de la grieta a tracción en el concreto, las cargas indican que la sección esta agrietada.

$P_n * M_n \rightarrow$ Nominal

$\phi P_n * \phi M_n \rightarrow$ Diseño

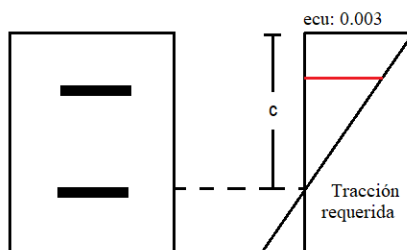


Ilustración. Comienzo de la grieta a tracción

Punto C. Falla balanceada

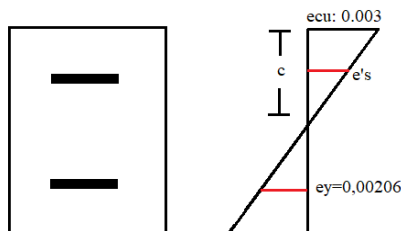


Ilustración. Falla balanceada

El diagrama de deformaciones para la falla balanceada se tiene que:

$$\epsilon_s = \epsilon_y \quad \epsilon_{uc} = 0.003$$

$$\frac{0.003}{C_b} = \frac{\epsilon_y}{d - C_b} \rightarrow C_b = \frac{0.003}{0.003 + \epsilon_y} * d$$

$$\frac{0.003}{C_b} = \frac{\epsilon'_s}{C_b - d'} \rightarrow \epsilon'_s = 0.003 * \frac{C_b - d'}{C_b}$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s'}$$

$$f'_s = \epsilon'_s * E_s'$$

Punto D. Límite donde controla tracción ($\epsilon_s = 0.005$)

En este punto $P_n * M_n$ no definen la zona de tracción de ϕ

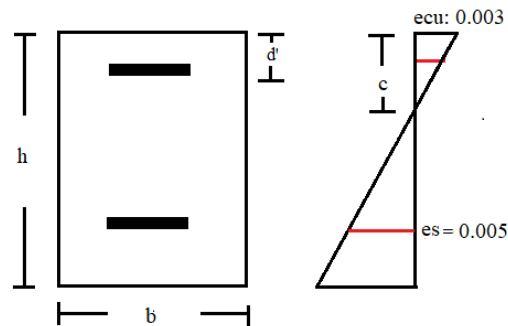


Ilustración. Límite donde controla tracción

Punto E. Corte con el eje x ($P=0$)

Se asume el acero esta fluencia.

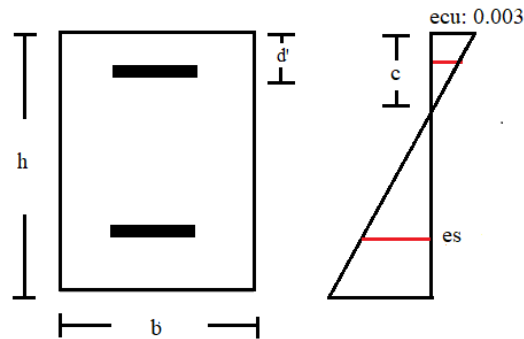


Ilustración. Corte con el eje x

Punto F. Falla a tracción

$$P_{n \min} = A_{st} * f_y$$

Cuando $c < c_b$ el acero localizado en la zona de tracciones presenta una deformación unitaria $\epsilon_s = \epsilon_{y'}$

($f_s = f_y$) \implies El acero a tracción controla el diseño. A causa de la compatibilidad de las deformaciones tenemos:

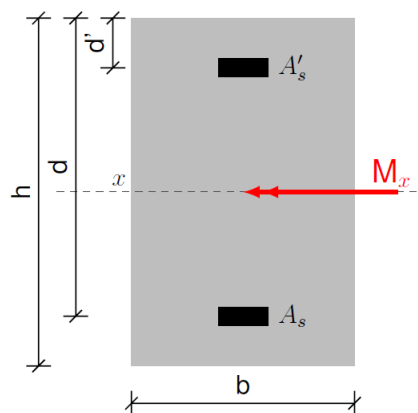
$$\frac{0.003}{c} = \frac{\epsilon'_s}{c - d'} \longrightarrow \epsilon'_s = \frac{0.003 * (c - d')}{c}$$

5- Ejemplo

5.1- Enunciado

Calcular el diagrama de interacción de la siguiente columna. Datos:

- $b = 25 \text{ cm}$, $h = 40 \text{ cm}$, $d' = 5 \text{ cm}$
- $f'_c = 21 \text{ MPa}$, $f_y = 420 \text{ MPa}$
- $E_s = 200 \text{ GPa}$
- 2#10



5.2- Datos de entrada

Fuerzas y momentos

$$P_u = 80e3 \text{ [kg]}$$

$$P_u = 80000$$

$$M_u = 12e3 \text{ [kg-m]}$$

$$M_u = 12000$$

Sección

Base

$$b = 0.25 \text{ Base [m]}$$

$$b = 0.2500$$

Altura

$$h = 0.4 \text{ \% Altura [h]}$$

$$h = 0.4000$$

Distancia a la fila de acero a compresión, d'

$$dp = 0.05 \text{ \% Distancia a la fila de acero a compresión, d' [m]}$$

$$dp = 0.0500$$

Recubrimiento a la fila de acero a tracción, ds

$$ds = 0.05 \text{ \% Recubrimiento a la fila de acero a tracción, ds [m]}$$

$$ds = 0.0500$$

Distancia a la fila de acero a tracción, d

$$d = h - ds \text{ \% Distancia a la fila de acero a tracción, d [m]}$$

$$d = 0.3500$$

Acero

Fluencia del acero

$$fy = 420000000 \text{ \% [Pa]}$$

$$fy = 420000000$$

Módulo de elasticidad del acero

$$Es = 200000000000 \text{ \% [Pa]}$$

$$Es = 2.0000e+11$$

Deformación del acero

$$ey = 0.00206$$

$$ey = 0.0021$$

Área de acero a compresión

$$Aps = 2 * [510 / 1000^2]$$

$$Aps = 0.0010$$

Área de acero a tracción

$$As = 2 * [510 / 1000^2]$$

As = 0.0010

Concreto

Resistencia especifica a la compresión

```
fc = 21000000 % [Pa]
```

```
fc = 21000000
```

=====

```
disp('Chequeo del elemento como viga')
```

Chequeo del elemento como viga

```
Pc = 0.1*fc*b*h;  
if Pu > Pc  
    disp('Analizar como columna!')  
else disp('Analizar como viga!')  
end
```

Analizar como viga!

```
disp('Deformación unitaria del concreto')
```

Deformación unitaria del concreto

```
ecu = .003
```

```
ecu = 0.0030
```

```
disp('Módulo de elasticidad C.8.5 NSR-10')
```

Módulo de elasticidad C.8.5 NSR-10

```
Ec = 3900*sqrt(fc) % [Pa]
```

```
Ec = 1.7872e+07
```

```
disp('Calculo de B1')
```

Calculo de B1

Se calcula el valor de B1 teniendo en cuenta las consideraciones descritas en el punto 1

```
flag=true;
```

```
if fc <= 28e6  
    bt1 = .85;
```

```
elseif fc < 56e6
    bt1 = .85-.05*(fc/1e6-28)/7;
else
    bt1 = 0.65;
end
sprintf('- El valor de B1 es de= %0.5g',bt1)
```

```
ans =
'- El valor de B1 es de= 0.85'
```

```
disp('===== Grafica de B1 =====')
```

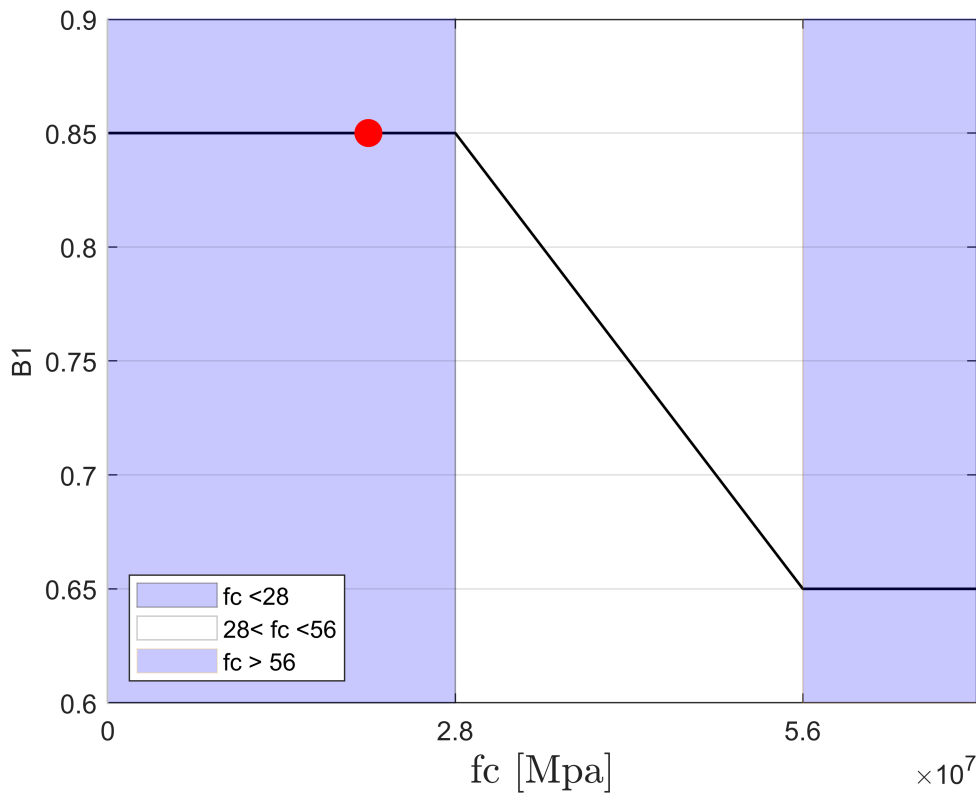
```
===== Grafica de B1 =====
```

```
if flag == true
ves=[0 28e6 56e6 70e6]; % Fijar dobles
aa =[0 28e6 56e6:56e6:70e6];
    if fc > ves(end)
        ves=[0 28e6 56e6 fc];
        aa =[0 28e6 56e6:56e6:fc];
    end
vfi=[.85 .85 .65 .65];

plot(ves,vfi,'color',[ 0 0 0],'linewidth',1), grid on, hold on % Ancho de linea
f1 = fill([0 28e6 28e6 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 0],'FaceAlpha',.5);
f2 = fill([56e6 ves(end) ves(end) 56e6],[.6 .6 .95 .95],'r','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 0],'FaceAlpha',.5);
ft = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3)); % Color de borde
axis([0 ves(end) .6 .90])

% Punto
plot(fc,bt1,'r','marker','o','markersize',10,'MarkerFaceColor','r');
set(gca,'XTick',aa)
ylabel('B1','fontsize',10) % Nombre barra en y
xlabel('fc [Mpa]','fontsize',15,'interpreter','latex')

% Tabla de conversiones
legend([f1 ft f2],{'fc <28','28< fc <56','fc > 56'},'fontsize',9,'location','southwest');
end
```

a). Falla a compresión axial (M=0)

Para determinar el P_o se utiliza la siguiente formula:

$$P_o = .85f'_c(A_g - A_{st}) + A_{st}f_y$$

```
disp('A.) Falla a compresión')
```

A.) Falla a compresión

```
Ast = Aps + As;           % Área total acero
sprintf('- El valor del área total es de= %0.5g',Ast)
```

```
ans =
'- El valor del área total es de= 0.00204'
```

```
fic = 0.65;              % Phi por compresión
sprintf('- El valor de phi a compresión es de= %0.5g',fic)
```

```
ans =
'- El valor de phi a compresión es de= 0.65'
```

```
Po = (.85*fc*(b*h-Ast)+Ast*fy);
sprintf('- El valor de Po es de= %0.5g',Po)
```

```
ans =
'- El valor de Po es de= 2.6054e+06'
```

```
fi_Po = fic*Po;
sprintf('- El valor de fi_Po es de= %0.5g',fi_Po)
```

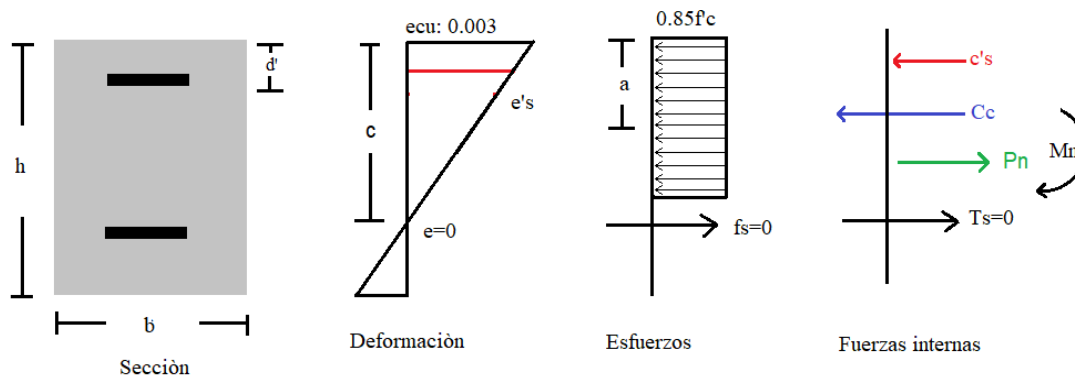
```
ans =
'- El valor de fi_Po es de= 1.6935e+06'
```

```
Pnmax = 0.75*fi_Po;      % Reducción de capacidad
sprintf('- El valor de Pnmax es de= %0.5g',Pnmax)
```

```
ans =
'- El valor de Pnmax es de= 1.2701e+06'
```

```
PP.A = Po;      MM.A = 0;
PP.Ap = fi_Po;  MM.Ap = 0;
PP.App = Pnmax; MM.App = 0;
```

b). Deformación en acero a tracción = 0 ($\epsilon_s = 0$)



```
disp('B.) Comienza grieta en concreto a tracción')
```

B.) Comienza grieta en concreto a tracción

```
c = d;      % En este punto c es igual a d
sprintf('- El valor del c es igual al valor de d= %0.5g',c)
```

```
ans =
'- El valor del c es igual al valor de d= 0.35'
```

```
eps = ecu*(c-dp)/c;      % Defor. en acero a compresión
```

```
sprintf('- El valor del eps es de= %0.5g',eps)
```

```
ans =  
'- El valor del eps es de= 0.0025714'
```

```
if eps > ey;  
    disp('Acero a compr. está en fluencia!!')  
    Cps = Aps*fy;          % C's: Fuerza en barras a comp. [N]  
else  
    disp('Acero a compr. NO está en fluencia!!')  
    fs = Es*eps;  
    Cps = Aps*fs;        % C's: Fuerza en barras a comp. [N]  
end
```

Acero a compr. está en fluencia!!

```
sprintf('- El valor de Cps es de= %0.5g [N]',Cps)
```

```
ans =  
'- El valor de Cps es de= 4.284e+05 [N]'
```

Sumatoria de fuerzas para determinar la carga axial:

$$\sum_{F_x} = C_c + C'_s - P_n = 0$$

```
a = bt1*c;  
sprintf('- El valor de a es de= %0.5g',a)
```

```
ans =  
'- El valor de a es de= 0.2975'
```

```
Cc = 0.85*fc*a*b;          % Resultante del bloque de compresión [N]  
sprintf('- El valor de Cc es de= %0.5g [N]',Cc)
```

```
ans =  
'- El valor de Cc es de= 1.3276e+06 [N]'
```

```
es = 0;                    % Defor. en acero a tracción  
sprintf('- El valor de es= %0.5g',es)
```

```
ans =  
'- El valor de es= 0'
```

```
if es > ey;  
    disp('Acero a tracción está en fluencia!!')  
    Ts = As*fy;          % Ts: Fuerza en barras a tracc. [N]  
else  
    disp('Acero a tracción NO está en fluencia!!')  
    fs = Es*es;  
    Ts = As*fs;        % Ts: Fuerza en barras a tracc. [N]  
end
```

Acero a tracción NO está en fluencia!!

```
sprintf('- El valor de Ts es de= %0.5g',Ts)
```

```
ans =  
'- El valor de Ts es de= 0'
```

```
Pn2 = Cc+Cps; % Pn: Fuerza axial resultante [N]  
sprintf('- El valor de Pn2 es de= %0.5g [N]',Pn2)
```

```
ans =  
'- El valor de Pn2 es de= 1.756e+06 [N]'
```

Sumatoria de momentos en el centroide para determinar (Mn):

$$\sum_{M_{\text{centr.}}} = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) - M_n = 0$$

```
Mn2 = Cc*(h/2-a/2) + Cps*(h/2-dp);  
sprintf('- El valor de Mn2 es de= %0.5g',Mn2)
```

```
ans =  
'- El valor de Mn2 es de= 1.323e+05'
```

Resumen:

```
close all
```

```
fi2 = PHI(es); % Cálculo del fi  
sprintf('- El valor de phi2 es de: %0.5g',fi2)
```

```
ans =  
'- El valor de phi2 es de: 0.65'
```

```
disp('===== Grafica de phi =====')
```

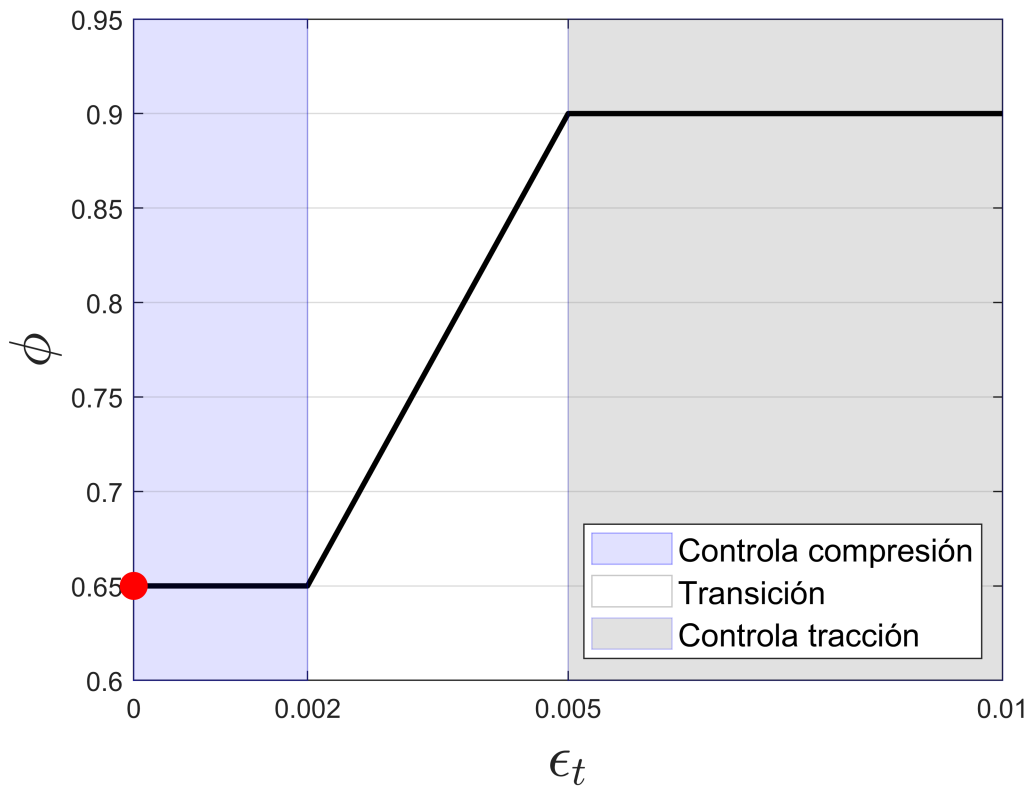
```
===== Grafica de phi =====
```

```
flag=true;  
if flag == true  
ves=[0 .002 .005 .01];  
aa =[0 .002 .005:.005:.02];  
if es > ves(end)  
ves=[0 .002 .005 es];  
aa =[0 .002 .005:.005:es];  
end  
vfi=[.65 .65 .9 .9];  
plot(ves,vfi,'color',[ 0 0 0],'linewidth',2), grid on, hold on  
f1 = fill([0 .002 .002 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1],'FaceAlpha',0.5);  
f2 = fill([.005 ves(end) ves(end) .005],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 0],'EdgeColor',[0 0 0],'FaceAlpha',0.5);  
ft = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));  
axis([0 ves(end) .6 .95])  
plot(es,fi2,'r','marker','o','markersize',10,'MarkerFaceColor','r')
```

```

set(gca,'XTick',aa)
ylabel('\phi','fontsize',22)
xlabel('\epsilon_t','fontsize',22,'interpreter','latex')
legend([f1 ft f2],{'Controla compresión','Transición','Controla tracción'},'fontsize',12,'locat
end

```



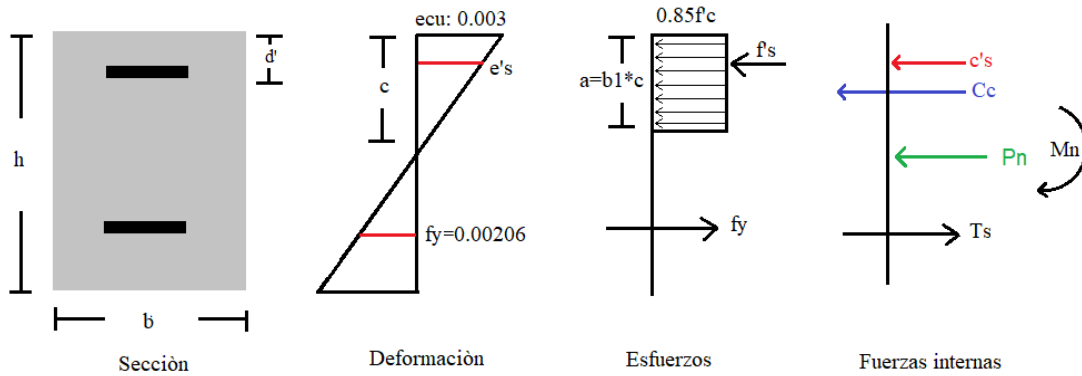
```

PP.B = Pn2;      MM.B = Mn2;
PP.Bp = fi2*Pn2; MM.Bp = fi2*Mn2;
EN.B = c;      % Eje neutro c
ficol.B = fi2;

```

=====

C). Falla balanceada



$$c_b = \frac{\epsilon_{cu} d}{\epsilon_{cu} + \epsilon_y}$$

```
disp('C.) Falla a balanceada')
```

C.) Falla a balanceada

```
cb = ecu*d/(ecu+ey);
sprintf('- El valor de cb es de= %0.5g',cb)
```

```
ans =
'- El valor de cb es de= 0.20751'
```

```
eps = ecu*(cb-dp)/cb;
sprintf('- El valor de eps es de= %0.5g',eps)
```

```
ans =
'- El valor de eps es de= 0.0022771'
```

```
if eps > ey
    disp('Acero a compr. está en fluencia!!')
    Cps = Aps*fy;    % C's: Fuerza en barras a comp. [N]
else
    disp('Acero a compr. NO está en fluencia!!')
    fs = Es*eps;
    Cps = Aps*fs;    % Ts: Fuerza en barras a comp. [N]
end
```

Acero a compr. está en fluencia!!

```
sprintf('- El valor de Cps es de: %0.5g [N]',Cps)
```

```
ans =
'- El valor de Cps es de: 4.284e+05 [N]'
```

Sumatoria de fuerzas para determinar la carga axial balanceada (Pnb):

$$\sum F_x = C_c + C'_s - T_s - P_{nb} = 0$$

```
a = bt1*cb;
sprintf('- El valor de a es de: %0.5g',a)
```

```
ans =
'- El valor de a es de: 0.17638'
```

```
Cc = 0.85*fc*a*b;
sprintf('- El valor de Cc es de: %0.5g',Cc)
```

```
ans =
'- El valor de Cc es de: 7.8711e+05'
```

```
Ts = As*fy;
sprintf('- El valor de Ts es de: %0.5g',Ts)
```

```
ans =
'- El valor de Ts es de: 4.284e+05'
```

```
Pnb = Cc+Cps-Ts;      % Pnb: Fuerza axial balanceada [N]
sprintf('- El valor de Pnb es de: %0.5g [N]',Pnb)
```

```
ans =
'- El valor de Pnb es de: 7.8711e+05 [N]'
```

Sumatoria de momentos en el centroide para determinar (Mnb):

$$\sum_{M_{\text{centr.}}} = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - (h - d) \right) - M_{\text{nb}} = 0$$

```
Mnb = Cc*(h-a)/2 + Cps*(h/2-dp) + Ts*(h/2-(h-d));
sprintf('- El valor de Mnb es de: %0.5g',Mnb)
```

```
ans =
'- El valor de Mnb es de: 2.1653e+05'
```

Resumen:

```
close all

fib = PHI(es);      % Cálculo del fi
sprintf('- El valor de phi balanceado es de: %0.5g',fib)
```

```
ans =
'- El valor de phi balanceado es de: 0.65'
```

```
disp('===== Grafica de phi =====')
```

```
===== Grafica de phi =====
```

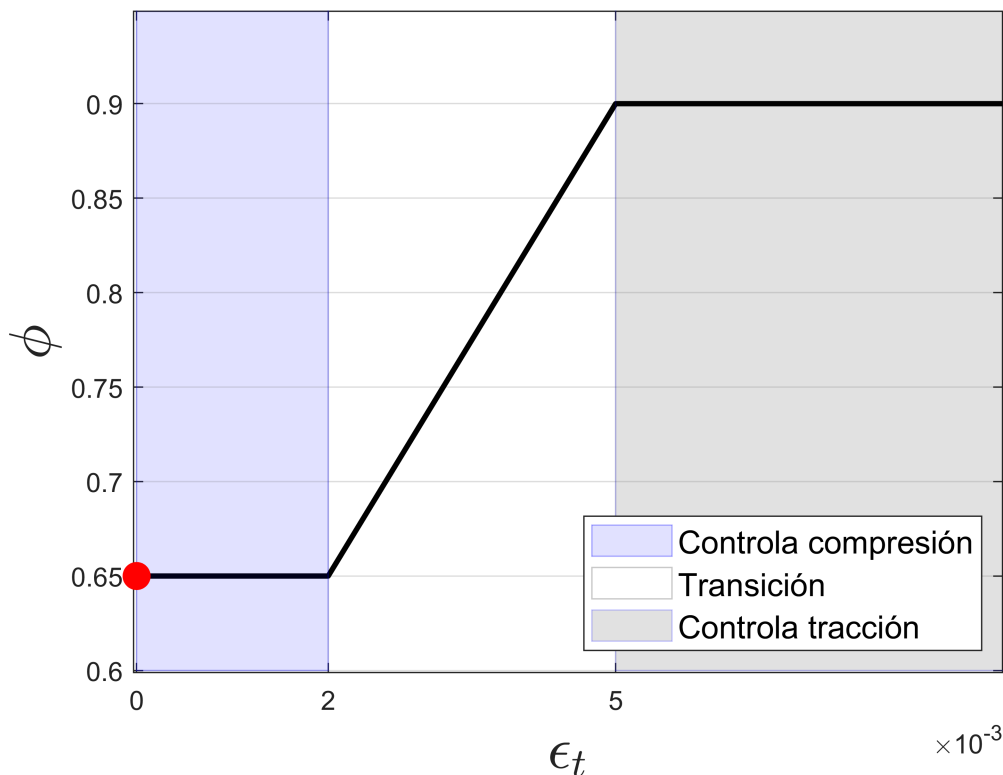
```
flag=true;
if flag == true
```

```

ves=[0 .002 .005 .01];
aa =[0 .002 .005:.005:.02];
    if es > ves(end)
        ves=[0 .002 .005 es];
        aa =[0 .002 .005:.005:es];
    end
vfi=[.65 .65 .9 .9];
plot(ves,vfi,'color',[ 0 0 0],'linewidth',2), grid on, hold on
f1 = fill([0 .002 .002 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1],'FaceAlpha',0.5);
f2 = fill([.005 ves(end) ves(end) .005],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 0],'EdgeColor',[0 0 0]);
ft = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves(end) .6 .95])
plot(es,fib,'r','marker','o','markersize',10,'MarkerFaceColor','r')
set(gca,'XTick',aa)
ylabel('\phi','fontsize',22)
xlabel('\epsilon_t','fontsize',22,'interpreter','latex')
legend([f1 ft f2],{'Controla compresión','Transición','Controla tracción'},'fontsize',12,'location','best')

xlim([-0.00003 0.00904])
ylim([0.599 0.949])
end

```

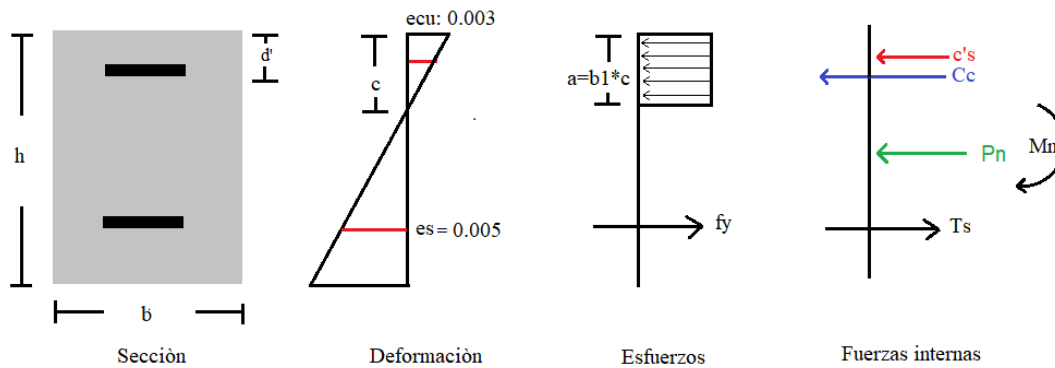


```

PP.C = Pnb;      MM.C = Mnb;
PP.Cp = fib*Pnb; MM.Cp = fib*Mnb;
EN.C = cb;      %% Eje neutro c
ficol.C = fib;

```


D). Límite donde controla tracción ($\epsilon_s = 0.005$)



```
disp('D.) Límite cuando es=.005')
```

```
D.) Límite cuando es=.005
```

```
es = .005;           % Defor. en acero a tracción
sprintf('- El valor de la deformación del acero es de = %0.5g',es)
```

```
ans =
'- El valor de la deformación del acero es de = 0.005'
```

```
c = ecu*d/(ecu+es);
sprintf('- El valor de c es de= %0.5g',c)
```

```
ans =
'- El valor de c es de= 0.13125'
```

```
eps = ecu*(c-dp)/c;
sprintf('- El valor de eps es de= %0.5g',eps)
```

```
ans =
'- El valor de eps es de= 0.0018571'
```

```
if eps > ey
    disp('Acero a compr. está en fluencia!!')
    Cps = Aps*fy;    % C's: Fuerza en barras a compresión [N]
else
    disp('Acero a compr. NO está en fluencia!!')
    fs = Es*eps;
    Cps = Aps*fs;    % Ts: Fuerza en barras a compresión [N]
end
```

```
Acero a compr. NO está en fluencia!!
```

```
sprintf('- El valor de Csp es de: %0.5g [N]',Cps)
```

```
ans =
```

```
'- El valor de Csp es de: 3.7886e+05 [N]'
```

Sumatoria de fuerzas para determinar la carga axial (Pn):

$$\sum_{F_x} = C_c + C'_s - T_s - P_n = 0$$

```
a = bt1*c;  
sprintf('- El valor de a es de= %0.5g',a)
```

```
ans =  
'- El valor de a es de= 0.11156'
```

```
Cc = 0.85*fc*a*b;  
sprintf('- El valor de Cc es de= %0.5g',Cc)
```

```
ans =  
'- El valor de Cc es de= 4.9785e+05'
```

```
if es > ey  
    disp('Acero a tracción está en fluencia!!')  
    Ts = As*fy;    % Ts: Fuerza en barras a tracción [N]  
else  
    disp('Acero a tracción NO está en fluencia!!')  
    fs = Es*es;  
    Ts = As*fs;    % Ts: Fuerza en barras a tracción [N]  
end
```

Acero a tracción está en fluencia!!

```
Pn4 = Cc+Cps-Ts;    % Pn: Fuerza axial resultante [N]  
sprintf('- El valor de Pn4 es de: %0.5g [N]',Pn4)
```

```
ans =  
'- El valor de Pn4 es de: 4.483e+05 [N]'
```

Sumatoria de momentos en el centroide para determinar (Mn):

$$\sum_{M_{centr.}} = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - (h - d) \right) - M_n = 0$$

```
Mn4 = Cc*(h-a)/2 + Cps*(h/2-dp) + Ts*(h/2-(h-d));  
sprintf('- El valor de Mn4 es de= %0.5g',Mn4)
```

```
ans =  
'- El valor de Mn4 es de= 1.9289e+05'
```

Resumen:

```
close all  
  
fi = PHI(es);    % Cálculo del fi  
sprintf('- El valor de phi es de: %0.5g',fi)
```

```
ans =
```

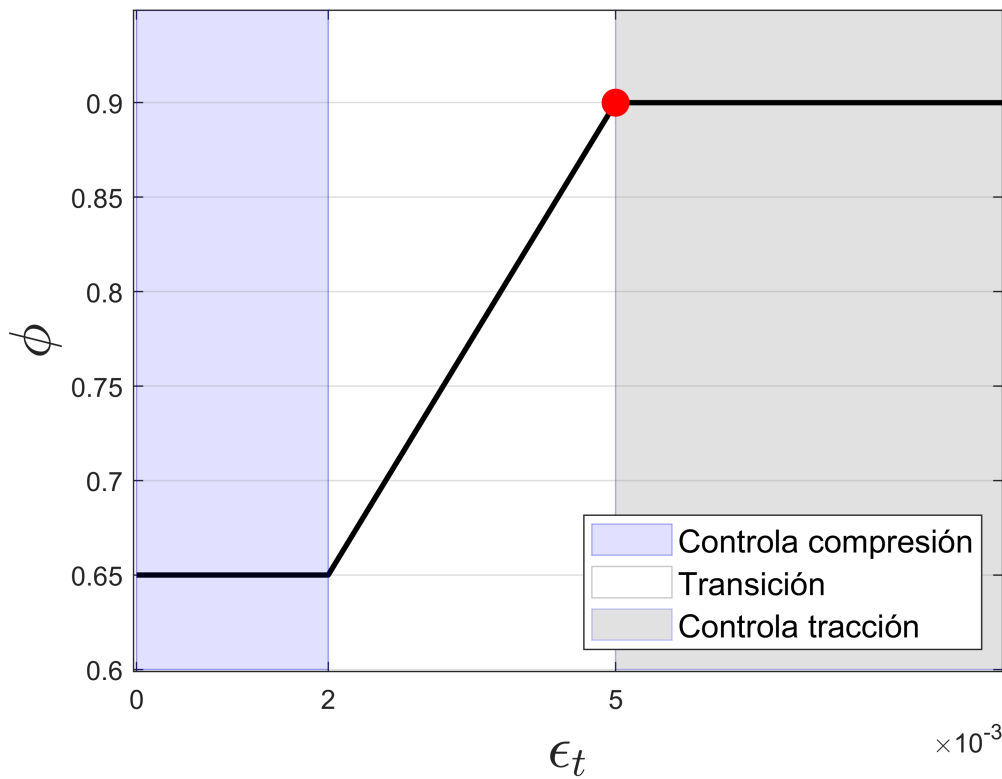
'- El valor de phi es de: 0.9'

```
disp('===== Grafica de phi =====')
```

```
===== Grafica de phi =====
```

```
flag=true;
if flag == true
ves=[0 .002 .005 .01];
aa =[0 .002 .005:.005:.02];
    if es > ves(end)
        ves=[0 .002 .005 es];
        aa =[0 .002 .005:.005:es];
    end
vfi=[.65 .65 .9 .9];
plot(ves,vfi,'color',[ 0 0 0],'linewidth',2), grid on, hold on
f1 = fill([0 .002 .002 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1],'FaceAlpha',0.5);
f2 = fill([.005 ves(end) ves(end) .005],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 0],'EdgeColor',[0 0 0],'FaceAlpha',0.5);
ft = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves(end) .6 .95])
plot(es,fi,'r','marker','o','markersize',10,'MarkerFaceColor','r')
set(gca,'XTick',aa)
ylabel('\phi','fontsize',22)
xlabel('\epsilon_t','fontsize',22,'interpreter','latex')
legend([f1 ft f2],{'Controla compresión','Transición','Controla tracción'},'fontsize',12,'location','best')

xlim([-0.00003 0.00904])
ylim([0.599 0.949])
end
```

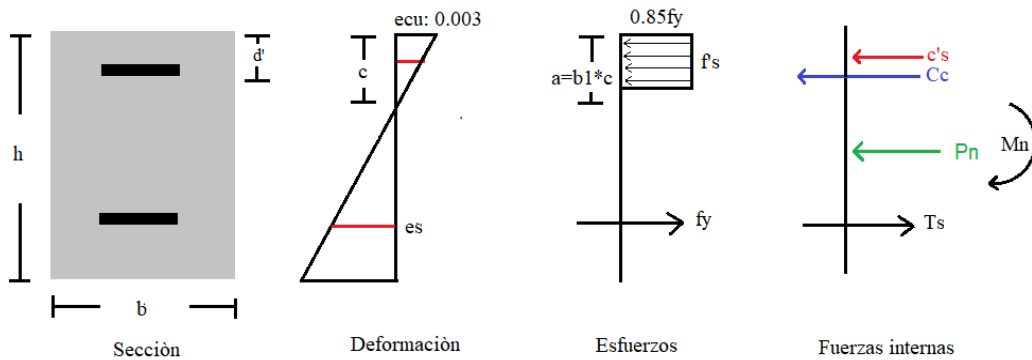


```

PP.D = Pn4;      MM.D = Mn4;
PP.Dp = fi*Pn4; MM.Dp = fi*Mn4;
EN.D = c;      % Eje neutro c
ficol.D = fi;

```

E. Corte con eje X (P=0)



```
disp('E.) Corte con eje X')
```

```
E.) Corte con eje X
```

```
syms c
```

```

Ccx = 0.85*fc*(bt1*c)*b;
eps = ecu*(c-dp)/c;      % def. en el acero a comp.
fps = Es*eps             % Esf. en acero a compr.

```

$$fps = \frac{2000000000000 \left(\frac{3c}{1000} - \frac{3}{20000} \right)}{c}$$

```

Cpsx = Aps*fps          % Fuerza en acero a compr.

```

$$Cpsx = \frac{204000000 \left(\frac{3c}{1000} - \frac{3}{20000} \right)}{c}$$

Para el refuerzo a tracción asumo fluencia:

```

Ts = As*fy              % Fuerza en acero a tracción

```

$$Ts = 4.2840e+05$$

Sumatoria de fuerzas donde (P=0):

$$\sum F_x = C_c + C'_s - T_s + P = 0$$

```

Pn5 = Ccx+Cpsx-Ts      % Pn: Fuerza axial resultante = 0

```

$$Pn5 = 3793125c + \frac{204000000 \left(\frac{3c}{1000} - \frac{3}{20000} \right)}{c} - \frac{7359855958425601}{17179869184}$$

```

cx = double(solve(Pn5==0));
ind = find(cx>0);
cc = cx(ind)           % Profundidad del eje neutro

```

$$cc = 0.0688$$

```

epsn = ecu*(cc-dp)/cc;

```

```

if epsn > ey
    disp('Acero a compr. está en fluencia!!')
    Cps = Aps*fy;      % C's: Fuerza en barras a comp. [N]
else
    disp('Acero a compr. NO está en fluencia!!')
    fs = Es*epsn;
    Cps = Aps*fs;     % Ts: Fuerza en barras a comp. [N]
end

```

Acero a compr. NO está en fluencia!!

```

Cc = double(subs(Ccx,cc)); % Resultante en el bloque de comp.

```

```
sprintf('- El valor de c es de: %0.5g',Cc)
```

```
ans =  
'- El valor de c es de: 2.6104e+05'
```

Sumatoria de momentos en el **centroide** para determinar Mn:

$$\sum_{M_{\text{centr.}}} = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - (h-d) \right) - M_n = 0$$

```
Mn5 = Cc*(h-a)/2 + Cps*(h/2-dp) + Ts*(h/2-(h-d));  
sprintf('- El valor de Mn5 es de= %0.5g',Mn5)
```

```
ans =  
'- El valor de Mn5 es de= 1.2701e+05'
```

Resumen:

```
es = ecu*(d-cc)/cc; % def. en el acero a tracción  
sprintf('- El valor dela deformación del acero a tracción es de= %0.5g',es)
```

```
ans =  
'- El valor dela deformación del acero a tracción es de= 0.012257'
```

```
fi = PHI(es); % Cálculo del fi  
sprintf('- El valor de phi es de: %0.5g',fi)
```

```
ans =  
'- El valor de phi es de: 0.9'
```

```
PP.E = 0; MM.E = Mn5;  
PP.Ep = 0; MM.Ep = fi*Mn5;  
EN.E = cc; % Eje neutro c  
ficol.E = fi;
```

F). Falla a tracción

$$P_{n_{\min}} = A_{st} f_y$$

```
disp('c.) Falla a tracción')
```

```
c.) Falla a tracción
```

```
Pnmin = -Ast*fy;  
sprintf('- El valor de Pnmin es de= %0.5g',Pnmin)
```

```
ans =  
'- El valor de Pnmin es de= -8.568e+05'
```

```
fi = 0.9; % Su valor es de 0.9 porque está a tracción
```

```
PP.F = Pnmin; MM.F = 0;  
PP.Fp = fi*Pnmin; MM.Fp = 0;
```

5.3- Resumen

```
disp('RESUMEN')
```

```
RESUMEN
```

```
format short
```

```
Pareja = {'A','Ap','Pn_max','B','Bp','C (balanc.)','Cp (balanc.)','D','Dp','E','Ep','F','Fp'};
```

```
Fuer = [PP.A PP.Ap PP.App PP.B PP.Bp PP.C PP.Cp PP.D PP.Dp PP.E PP.Ep PP.F PP.Fp];
```

```
Mom = [MM.A MM.Ap MM.App MM.B MM.Bp MM.C MM.Cp MM.D MM.Dp MM.E MM.Ep MM.F MM.Fp];
```

```
% Po 0
```

```
% Pnb 45
```

```
% 0 56
```

```
% Pnmin 0];
```

```
Carga = floor(Fuer/1000)';
```

```
Momento = floor(Mom/1000)';
```

```
T1 = table(Pareja,Carga,Momento, 'VariableNames',{'Punto','Carga (kN)','Momento (kN-m)'});  
disp(T1)
```

Punto	Carga (kN)	Momento (kN-m)
{'A' }	2605	0
{'Ap' }	1693	0
{'Pn_max' }	1270	0
{'B' }	1755	132
{'Bp' }	1141	85
{'C (balanc.)' }	787	216
{'Cp (balanc.)' }	511	140
{'D' }	448	192
{'Dp' }	403	173
{'E' }	0	127
{'Ep' }	0	114
{'F' }	-857	0
{'Fp' }	-772	0

5.4- Diagrama de Interacción

```
close all  
disp('=====')
```

```
disp('Diagrama de Interacción')
```

```
Diagrama de Interacción
```

```
b_d = [0 0.4510 0.7412]; r_d = [0.6350 0.0780 0.1840];
```

```

hold on;
X1=[(MM.A/1000), (MM.B/1000), (MM.C/1000), (MM.D/1000), (MM.E/1000), (MM.F/1000)];
Y1=[(Po/1000), (PP.B/1000), (PP.C/1000), (PP.D/1000), (PP.E/1000), (PP.F/1000)];
plot(X1(3),Y1(3), 'k:');

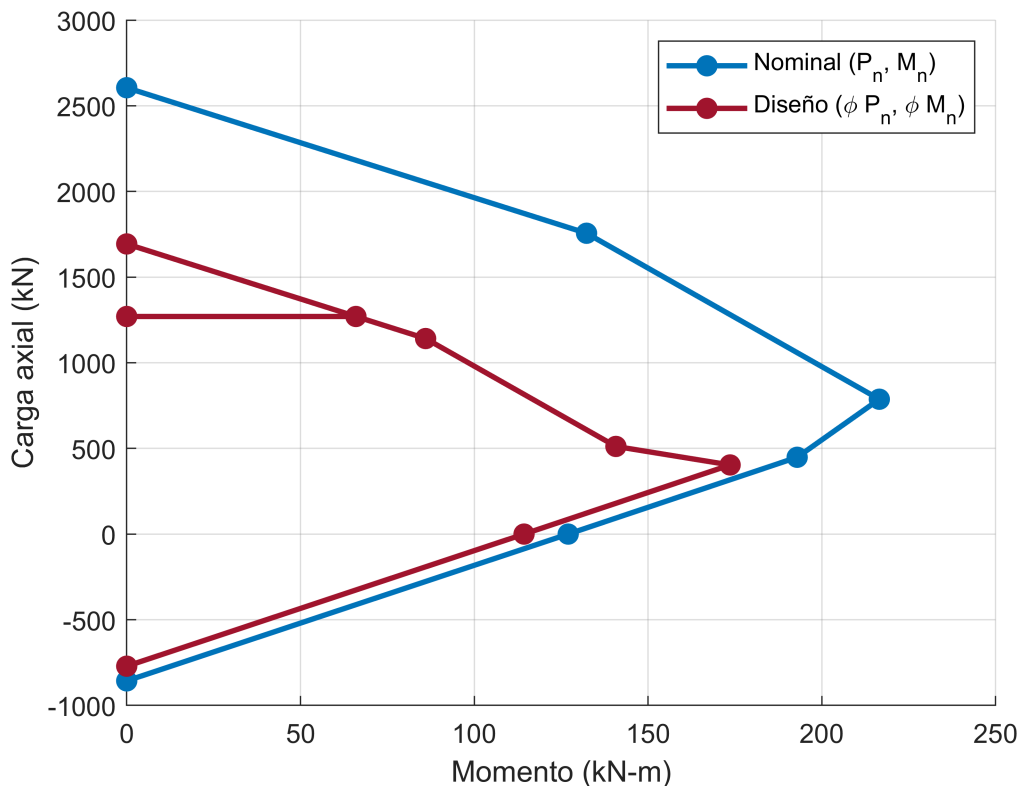
X2= [0, (MM.Bp/1000), (MM.Cp/1000), (MM.Dp/1000), (MM.Ep/1000), (MM.Fp/1000)];
Y2= [(fi_Po/1000), (PP.Bp/1000), (PP.Cp/1000), (PP.Dp/1000), (PP.Ep/1000), (PP.Fp/1000)];
plot(X2(2),Y2(2), 'k--');

inter =((((fi2*Mn2)/1000)-0)/((((fi2*Pn2)/1000)-(fi_Po/1000))*((Pnmax/1000)-(fi_Po/1000)));
X3=[0,inter];
Y3=[(PP.App/1000),(PP.App/1000)];
plot(X3,Y3);
grid;

f1 = plot(X1,Y1, 'color',b_d, 'linewidth',2, 'marker', 'o', 'MarkerFaceColor',b_d);
f2 = plot(X2,Y2, 'color',r_d, 'linewidth',2, 'marker', 'o', 'MarkerFaceColor',r_d);
f3 = plot(X3,Y3, 'color',r_d, 'linewidth',2, 'marker', 'o', 'MarkerFaceColor',r_d);

xlabel('Momento (kN-m)')
ylabel('Carga axial (kN)')
legend([f1 f2],{'Nominal (P_n, M_n)', 'Diseño (\phi P_n, \phi M_n)'})

```



Funciones


```
function fi = PHI(es)
% es Es la deformación unitaria del acero a tracción.
if es <= .002
    fi = .65;
elseif es <= .005
    fi = .65+(es-.002)*(250/3);
else
    fi = 0.9;
end
end
```

6- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- McCormac, J. C. & Brown, R. H. (2011). *Diseño de concreto reforzado*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Diagrama de interacción para columnas

(Ejemplo No.2)

1- Introducción

Un diagrama de interacción para columnas es utilizado para el estudio de la resistencia de estos elementos vinculando las cargas axiales y los momentos mayorados, es importante mencionar que si cualquier variable (punto) queda dentro del diagrama está trabajando apropiadamente, mientras que si alguno queda fuera se considera un elemento que presenta fallas, en esta guía se encontrara el paso a paso para el desarrollo del diagrama de interacción.

Los comandos claves utilizados en esta guía son:

```
clc, clear, close all, format short
```

Contenido

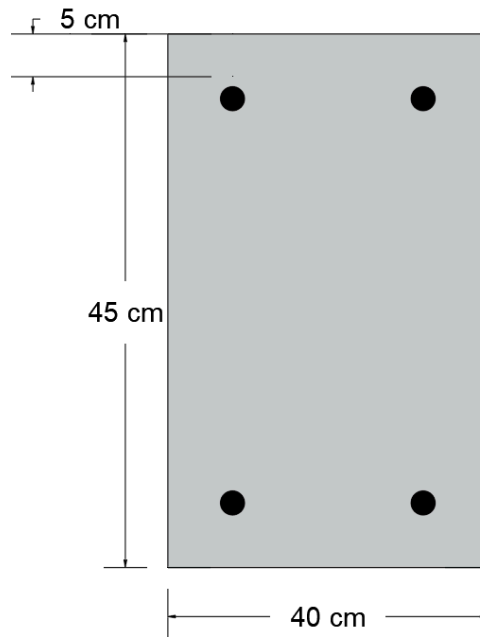
Diagrama de interacción para columnas.....	1
1- Introducción.....	1
2- Ejemplo.....	1
2.1- Enunciado.....	1
2.2- Datos de entrada.....	2
Fuerzas y momentos.....	2
Sección.....	2
a). Falla a compresión axial (M=0).....	5
b). Deformación en acero a tracción = 0 ()	6
C). Falla balanceada	10
D). Limite donde controla tracción ().....	13
E). Corte con eje X (P=0).....	17
F). Falla a tracción	19
2.3- Resumen.....	19
2.4- Diagrama de Interacción.....	20
Funciones.....	21
3- Bibliografía.....	21

2- Ejemplo

2.1- Enunciado

Calcular el diagrama de interacción de la siguiente columna. Datos:

- $b = 40 \text{ cm}$, $h = 45 \text{ cm}$, $d' = 5 \text{ cm}$
- $f'_c = 21 \text{ MPa}$, $f_y = 420 \text{ MPa}$
- $E_s = 200 \text{ GPa}$
- 4#7



2.2- Datos de entrada

Fuerzas y momentos

$$P_u = 400e3 \text{ \%[kg]}$$

$$P_u = 400000$$

$$M_u = 14e3 \text{ \%[kg-m]}$$

$$M_u = 14000$$

Sección

Base

$$b = 0.4 \text{ \% Base [m]}$$

$$b = 0.4000$$

Altura

$$h = 0.45 \text{ \% Altura [h]}$$

$$h = 0.4500$$

Distancia a la fila de acero a compresión, d'

$$d_p = 0.05 \text{ \% Distancia a la fila de acero a compresión, d' [m]}$$

$$d_p = 0.0500$$

Recubrimiento a la fila de acero a tracción, ds

$$d_s = 0.05 \text{ \% Recubrimiento a la fila de acero a tracción, ds [m]}$$

ds = 0.0500

Distancia a la fila de acero a tracción, d

```
d = h-ds % Distancia a la fila de acero a tracción, d [m]
```

d = 0.4000

Acero

Fluencia del acero

```
fy = 420000000 % [Pa]
```

fy = 420000000

Módulo de elasticidad del acero

```
Es = 200000000000 % [Pa]
```

Es = 2.0000e+11

Deformación del acero

```
ey = 0.00206
```

ey = 0.0021

Área de acero a compresión

```
Aps = 2*[387/1000^2]
```

Aps = 7.7400e-04

Área de acero a tracción

```
As = 2*[387/1000^2]
```

As = 7.7400e-04

Concreto

Resistencia específica a la compresión

```
fc = 21000000 % [Pa]
```

fc = 21000000

```
=====
```

```
disp('Chequeo del elemento como viga')
```

Chequeo del elemento como viga

```
Pc = 0.1*fc*b*h;
if Pu > Pc
    disp('Analizar como columna!')
else disp('Analizar como viga!')
end
```

Analizar como columna!

```
disp('Deformación unitaria del concreto')
```

Deformación unitaria del concreto

```
ecu = .003
```

ecu = 0.0030

```
disp('Módulo de elasticidad C.8.5 NSR-10')
```

Módulo de elasticidad C.8.5 NSR-10

```
Ec = 3900*sqrt(fc) % [Pa]
```

Ec = 1.7872e+07

```
disp('Calculo de B1')
```

Calculo de B1

Se calcula el valor de B1 teniendo en cuenta las consideraciones descritas en el punto 1

```
flag=true;

if fc <= 28e6
    bt1 = .85;
elseif fc < 56e6
    bt1 = .85-.05*(fc/1e6-28)/7;
else
    bt1 = 0.65;
end
sprintf('- El valor de B1 es de= %0.5g',bt1)
```

```
ans =
'- El valor de B1 es de= 0.85'
```

```
disp('===== Grafica de B1 =====')
```

===== Grafica de B1 =====

```
if flag == true
ves=[0 28e6 56e6 70e6]; % Fijar dobles
```

```

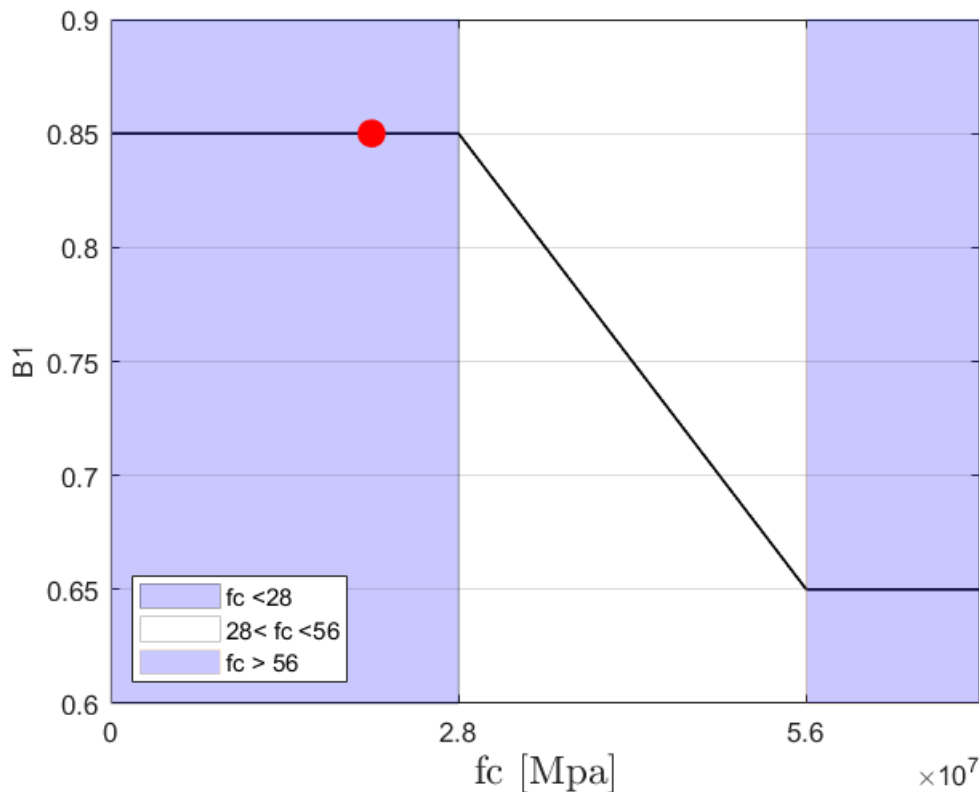
aa =[0 28e6 56e6:56e6:70e6];
    if fc > ves(end)
        ves=[0 28e6 56e6 fc];
        aa =[0 28e6 56e6:56e6:fc];
    end
vfi=[.85 .85 .65 .65];

plot(ves,vfi,'color',[ 0 0 0],'linewidth',1), grid on, hold on % Ancho de linea
f1 = fill([0 28e6 28e6 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 0],'FaceAlpha',.9);
f2 = fill([56e6 ves(end) ves(end) 56e6],[.6 .6 .95 .95],'r','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[.9 .9 .9]);
ft = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3)); % Color de borde
axis([0 ves(end) .6 .90])

% Punto
plot(fc,bt1,'r','marker','o','markersize',10,'MarkerFaceColor','r');
set(gca,'XTick',aa)
ylabel('B1','fontsize',10) % Nombre barra en y
xlabel('fc [Mpa]','fontsize',15,'interpreter','latex')

% Tabla de conversiones
legend([f1 ft f2],{'fc <28','28< fc <56','fc > 56'},'fontsize',9,'location','southwest');
end

```



=====

a). Falla a compresión axial (M=0)

Para determinar el P_o se utiliza la siguiente formula:

$$P_o = .85f'_c(A_g - A_{st}) + A_{st}f_y$$

```
disp('A.) Falla a compresión')
```

A.) Falla a compresión

```
Ast = Aps + As;           % Área total acero
sprintf('- El valor del área total es de= %0.5g',Ast)
```

```
ans =
'- El valor del área total es de= 0.001548'
```

```
fic = 0.65;              % Phi por compresión
sprintf('- El valor de phi a compresión es de= %0.5g',fic)
```

```
ans =
'- El valor de phi a compresión es de= 0.65'
```

```
Po = (.85*fc*(b*h-Ast)+Ast*fy);
sprintf('- El valor de Po es de= %0.5g',Po)
```

```
ans =
'- El valor de Po es de= 3.8355e+06'
```

```
fi_Po = fic*Po;
sprintf('- El valor de fi_Po es de= %0.5g',fi_Po)
```

```
ans =
'- El valor de fi_Po es de= 2.4931e+06'
```

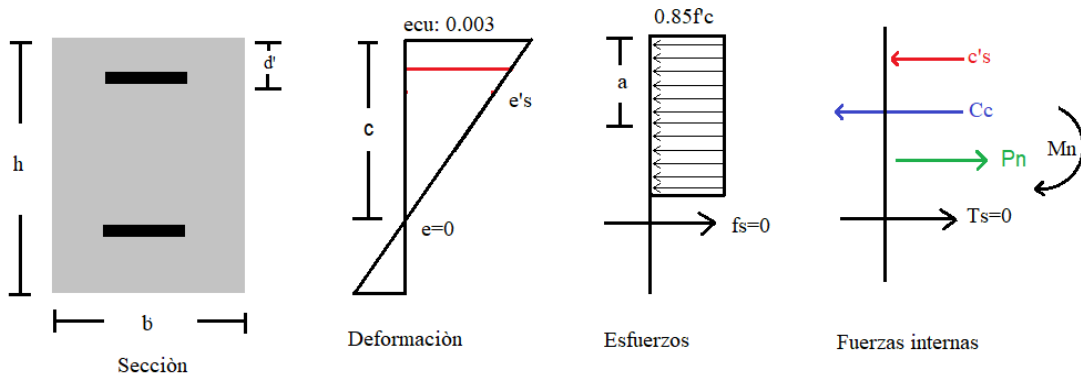
```
Pnmax = 0.75*fi_Po;     % Reducción de capacidad
sprintf('- El valor de Pnmax es de= %0.5g',Pnmax)
```

```
ans =
'- El valor de Pnmax es de= 1.8698e+06'
```

```
PP.A = Po;             MM.A = 0;
PP.Ap = fi_Po;        MM.Ap = 0;
PP.App = Pnmax;       MM.App = 0;
```

=====

b). Deformación en acero a tracción = 0 ($\epsilon_s = 0$)



```
disp('B.) Comienza grieta en concreto a tracción')
```

B.) Comienza grieta en concreto a tracción

```
c = d; % En este punto c es igual a d
sprintf('- El valor del c es igual al valor de d= %0.5g',c)
```

```
ans =
'- El valor del c es igual al valor de d= 0.4'
```

```
eps = ecu*(c-dp)/c; % Defor. en acero a compresión
sprintf('- El valor del eps es de= %0.5g',eps)
```

```
ans =
'- El valor del eps es de= 0.002625'
```

```
if eps > ey;
    disp('Acero a compr. está en fluencia!!')
    Cps = Aps*fy; % C's: Fuerza en barras a comp. [N]
else
    disp('Acero a compr. NO está en fluencia!!')
    fs = Es*eps;
    Cps = Aps*fs; % C's: Fuerza en barras a comp. [N]
end
```

Acero a compr. está en fluencia!!

```
sprintf('- El valor de Cps es de= %0.5g [N]',Cps)
```

```
ans =
'- El valor de Cps es de= 3.2508e+05 [N]'
```

Sumatoria de fuerzas para determinar la carga axial:

$$\sum F_x = C_c + C'_s - P_n = 0$$

```
a = bt1*c;
sprintf('- El valor de a es de= %0.5g',a)
```

```
ans =
```



```
'- El valor de a es de= 0.34'
```

```
Cc = 0.85*fc*a*b;           % Resultante del bloque de compresión [N]
sprintf('- El valor de Cc es de= %0.5g [N]',Cc)
```

```
ans =
'- El valor de Cc es de= 2.4276e+06 [N]'
```

```
es = 0;                    % Defor. en acero a tracción
sprintf('- El valor de es= %0.5g',es)
```

```
ans =
'- El valor de es= 0'
```

```
if es > ey;
    disp('Acero a tracción está en fluencia!!')
    Ts = As*fy;           % Ts: Fuerza en barras a tracc. [N]
else
    disp('Acero a tracción NO está en fluencia!!')
    fs = Es*es;
    Ts = As*fs;           % Ts: Fuerza en barras a tracc. [N]
end
```

```
Acero a tracción NO está en fluencia!!
```

```
sprintf('- El valor de Ts es de= %0.5g',Ts)
```

```
ans =
'- El valor de Ts es de= 0'
```

```
Pn2 = Cc+Cps;             % Pn: Fuerza axial resultante [N]
sprintf('- El valor de Pn2 es de= %0.5g [N]',Pn2)
```

```
ans =
'- El valor de Pn2 es de= 2.7527e+06 [N]'
```

Sumatoria de momentos en el centroide para determinar (Mn):

$$\sum_{M_{\text{centr.}}} = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) - M_n = 0$$

```
Mn2 = Cc*(h/2-a/2) + Cps*(h/2-dp);
sprintf('- El valor de Mn2 es de= %0.5g',Mn2)
```

```
ans =
'- El valor de Mn2 es de= 1.9041e+05'
```

Resumen:

```
close all
```

```
fi2 = PHI(es);           % Cálculo del fi
```

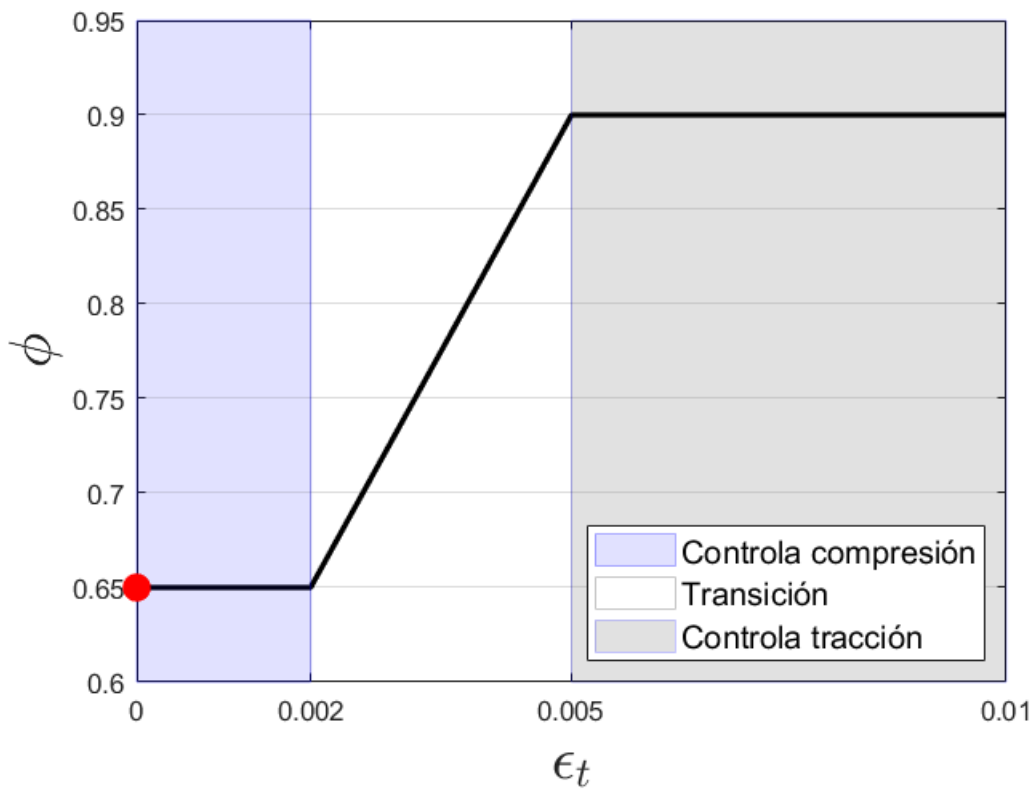
```
sprintf('- El valor de phi2 es de: %0.5g',fi2)
```

```
ans =  
'- El valor de phi2 es de: 0.65'
```

```
disp('===== Grafica de phi =====')
```

```
===== Grafica de phi =====
```

```
flag=true;  
if flag == true  
ves=[0 .002 .005 .01];  
aa =[0 .002 .005:.005:.02];  
    if es > ves(end)  
        ves=[0 .002 .005 es];  
        aa =[0 .002 .005:.005:es];  
    end  
vfi=[.65 .65 .9 .9];  
plot(ves,vfi,'color',[ 0 0 0],'linewidth',2), grid on, hold on  
f1 = fill([0 .002 .002 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1],'FaceAlpha',0.5);  
f2 = fill([.005 ves(end) ves(end) .005],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 0],'EdgeColor',[0 0 0]);  
ft = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));  
axis([0 ves(end) .6 .95])  
plot(es,fi2,'r','marker','o','markersize',10,'MarkerFaceColor','r')  
set(gca,'XTick',aa)  
ylabel('\phi','fontsize',22)  
xlabel('\epsilon_t','fontsize',22,'interpreter','latex')  
legend([f1 ft f2],{'Controla compresión','Transición','Controla tracción'},'fontsize',12,'location','best')  
end
```

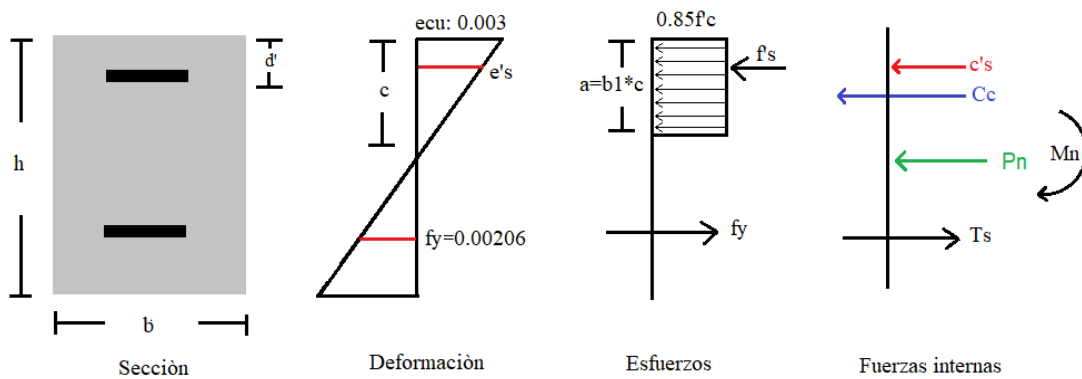


```

PP.B = Pn2;      MM.B = Mn2;
PP.Bp = fi2*Pn2; MM.Bp = fi2*Mn2;
EN.B = c;      % Eje neutro c
ficol.B = fi2;

```

C). Falla balanceada



$$c_b = \frac{\epsilon_{cu} d'}{\epsilon_{cu} + \epsilon_y}$$

```
disp('C.) Falla balanceada')
```

C.) Falla a balanceada

```
cb = ecu*d/(ecu+ey);  
sprintf('- El valor de cb es de= %0.5g',cb)
```

```
ans =  
'- El valor de cb es de= 0.23715'
```

```
eps = ecu*(cb-dp)/cb;  
sprintf('- El valor de eps es de= %0.5g',eps)
```

```
ans =  
'- El valor de eps es de= 0.0023675'
```

```
if eps > ey  
    disp('Acero a compr. está en fluencia!!')  
    Cps = Aps*fy;    % C's: Fuerza en barras a comp. [N]  
else  
    disp('Acero a compr. NO está en fluencia!!')  
    fs = Es*eps;  
    Cps = Aps*fs;    % Ts: Fuerza en barras a comp. [N]  
end
```

Acero a compr. está en fluencia!!

```
sprintf('- El valor de Cps es de: %0.5g [N]',Cps)
```

```
ans =  
'- El valor de Cps es de: 3.2508e+05 [N]'
```

Sumatoria de fuerzas para determinar la carga axial balanceada (Pnb):

$$\sum F_x = C_c + C'_s - T_s - P_{nb} = 0$$

```
a = bt1*cb;  
sprintf('- El valor de a es de: %0.5g',a)
```

```
ans =  
'- El valor de a es de: 0.20158'
```

```
Cc = 0.85*fc*a*b;  
sprintf('- El valor de Cc es de: %0.5g',Cc)
```

```
ans =  
'- El valor de Cc es de: 1.4393e+06'
```

```
Ts = As*fy;  
sprintf('- El valor de Ts es de: %0.5g',Ts)
```

```
ans =
'- El valor de Ts es de: 3.2508e+05'
```

```
Pnb = Cc+Cps-Ts;      % Pnb: Fuerza axial balanceada [N]
sprintf('- El valor de Pnb es de: %0.5g [N]',Pnb)
```

```
ans =
'- El valor de Pnb es de: 1.4393e+06 [N]'
```

Sumatoria de momentos en el centroide para determinar (Mnb):

$$\sum_{M_{\text{centr.}}} = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - (h - d) \right) - M_{nb} = 0$$

```
Mnb = Cc*(h-a)/2 + Cps*(h/2-dp) + Ts*(h/2-(h-d));
sprintf('- El valor de Mnb es de: %0.5g',Mnb)
```

```
ans =
'- El valor de Mnb es de: 2.9255e+05'
```

Resumen:

```
close all
```

```
fib = PHI(es);      % Cálculo del fi
sprintf('- El valor de phi balanceado es de: %0.5g',fib)
```

```
ans =
'- El valor de phi balanceado es de: 0.65'
```

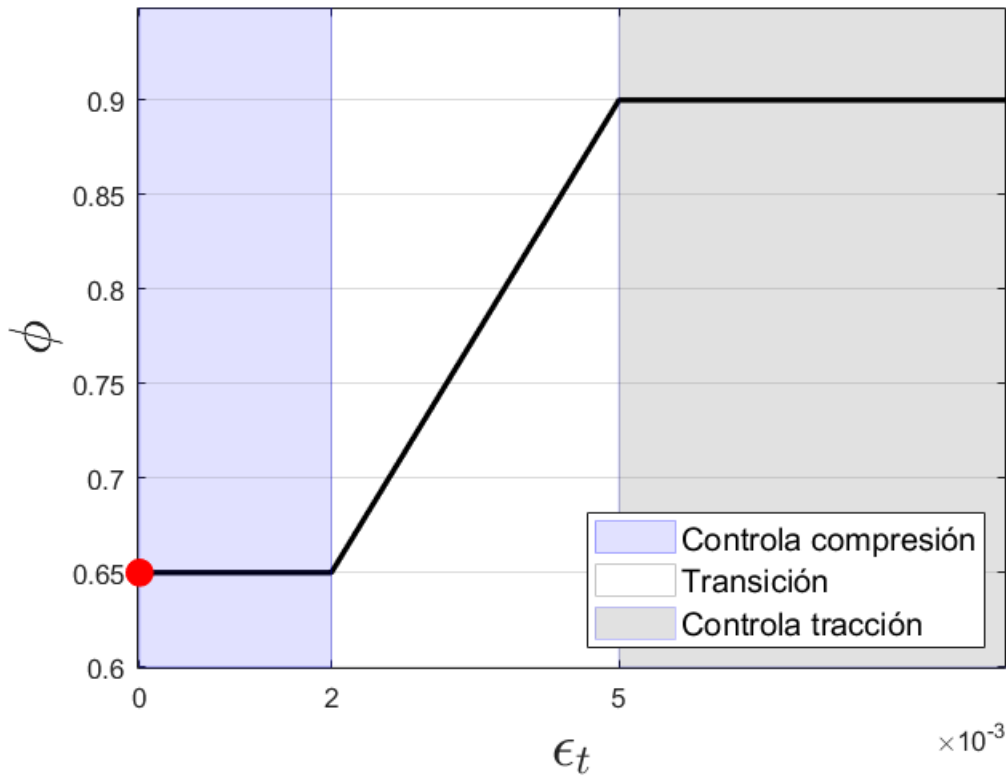
```
disp('==== Grafica de phi ====')
```

```
==== Grafica de phi =====
```

```
flag=true;
if flag == true
ves=[0 .002 .005 .01];
aa =[0 .002 .005:.005:.02];
    if es > ves(end)
        ves=[0 .002 .005 es];
        aa =[0 .002 .005:.005:es];
    end
vfi=[.65 .65 .9 .9];
plot(ves,vfi,'color',[ 0 0 0],'linewidth',2), grid on, hold on
f1 = fill([0 .002 .002 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1],'FaceAlpha',0.5);
f2 = fill([.005 ves(end) ves(end) .005],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 0],'EdgeColor',[0 0 0],'FaceAlpha',0.5);
ft = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves(end) .6 .95])
plot(es,fib,'r','marker','o','markersize',10,'MarkerFaceColor','r')
set(gca,'XTick',aa)
ylabel('\phi','fontsize',22)
xlabel('\$\epsilon_t$', 'fontsize',22,'interpreter','latex')
```

```
legend([f1 ft f2],{'Controla compresión','Transición','Controla tracción'},'fontsize',12,'locat
```

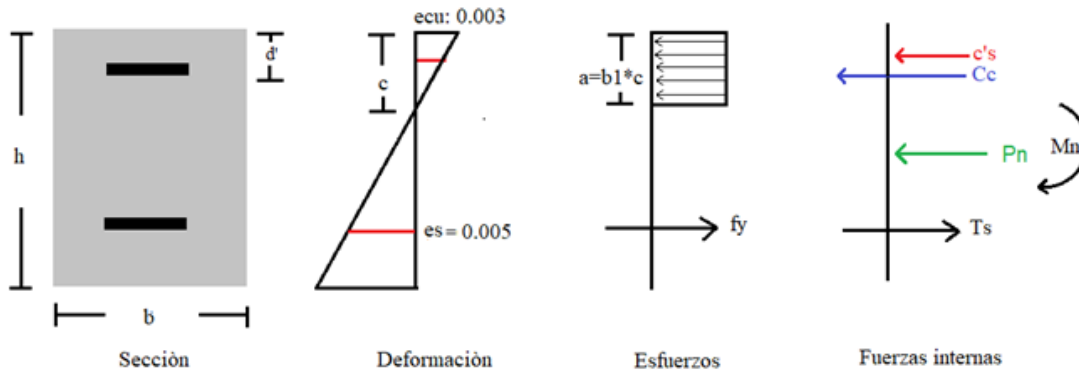
```
xlim([-0.00003 0.00904])  
ylim([0.599 0.949])  
end
```



```
PP.C = Pnb;      MM.C = Mnb;  
PP.Cp = fib*Pnb; MM.Cp = fib*Mnb;  
EN.C = cb;      %% Eje neutro c  
ficol.C = fib;
```

=====

D). Límite donde controla tracción ($\epsilon_s = 0.005$)



```
disp('D.) Límite cuando es=.005')
```

```
D.) Límite cuando es=.005
```

```
es = .005;      % Defor. en acero a tracción
sprintf('- El valor de la deformación del acero es de = %0.5g',es)
```

```
ans =
'- El valor de la deformación del acero es de = 0.005'
```

```
c = ecu*d/(ecu+es);
sprintf('- El valor de c es de= %0.5g',c)
```

```
ans =
'- El valor de c es de= 0.15'
```

```
eps = ecu*(c-dp)/c;
sprintf('- El valor de eps es de= %0.5g',eps)
```

```
ans =
'- El valor de eps es de= 0.002'
```

```
if eps > ey
    disp('Acero a compr. está en fluencia!!')
    Cps = Aps*fy;      % C's: Fuerza en barras a compresión [N]
else
    disp('Acero a compr. NO está en fluencia!!')
    fs = Es*eps;
    Cps = Aps*fs;      % Ts: Fuerza en barras a compresión [N]
end
```

```
Acero a compr. NO está en fluencia!!
```

```
sprintf('- El valor de Csp es de: %0.5g [N]',Cps)
```

```
ans =
'- El valor de Csp es de: 3.096e+05 [N]'
```

Sumatoria de fuerzas para determinar la carga axial (Pn):

$$\sum_{F_x} = C_c + C'_s - T_s - P_n = 0$$

```
a = bt1*c;
sprintf('- El valor de a es de= %0.5g',a)
```

```
ans =
'- El valor de a es de= 0.1275'
```

```
Cc = 0.85*fc*a*b;
sprintf('- El valor de Cc es de= %0.5g',Cc)
```

```
ans =
'- El valor de Cc es de= 9.1035e+05'
```

```
if es > ey
    disp('Acero a tracción está en fluencia!!')
    Ts = As*fy;    % Ts: Fuerza en barras a tracción [N]
else
    disp('Acero a tracción NO está en fluencia!!')
    fs = Es*es;
    Ts = As*fs;    % Ts: Fuerza en barras a tracción [N]
end
```

Acero a tracción está en fluencia!!

```
Pn4 = Cc+Cps-Ts;    % Pn: Fuerza axial resultante [N]
sprintf('- El valor de Pn4 es de: %0.5g [N]',Pn4)
```

```
ans =
'- El valor de Pn4 es de: 8.9487e+05 [N]'
```

Sumatoria de momentos en el centroide para determinar (Mn):

$$\sum_{M_{centr.}} = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - (h - d) \right) - M_n = 0$$

```
Mn4 = Cc*(h-a)/2 + Cps*(h/2-dp) + Ts*(h/2-(h-d));
sprintf('- El valor de Mn4 es de= %0.5g',Mn4)
```

```
ans =
'- El valor de Mn4 es de= 2.5786e+05'
```

Resumen:

```
close all

fi = PHI(es);    % Cálculo del fi
sprintf('- El valor de phi es de: %0.5g',fi)
```

```
ans =
'- El valor de phi es de: 0.9'
```

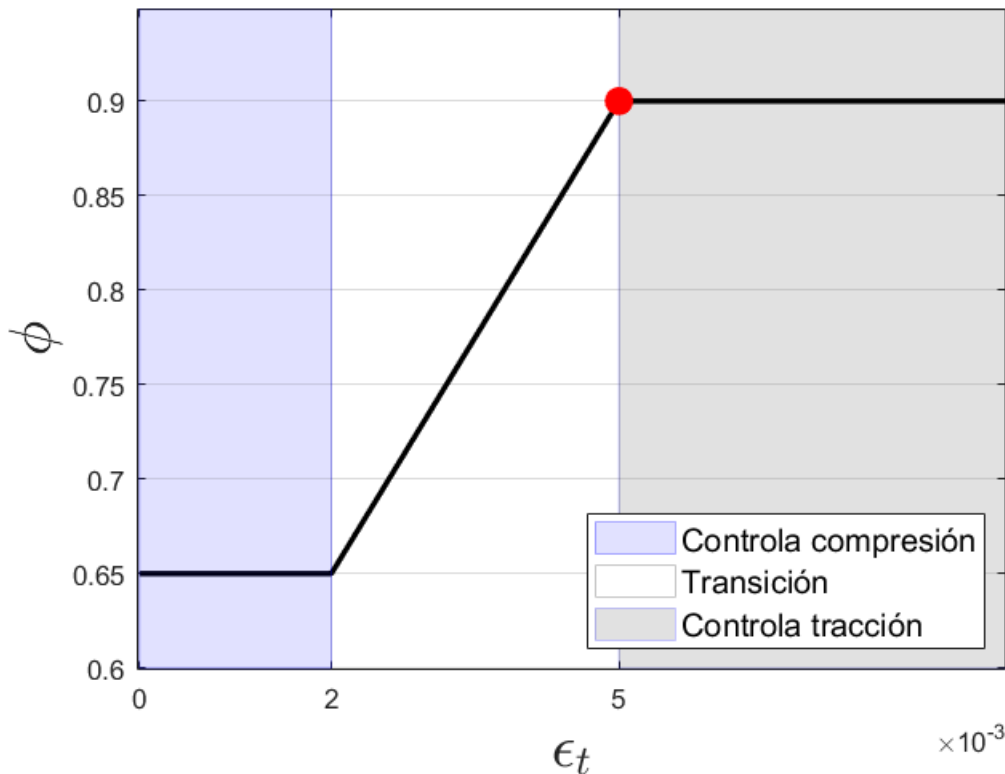


```
disp('===== Grafica de phi =====')
```

```
===== Grafica de phi =====
```

```
flag=true;
if flag == true
ves=[0 .002 .005 .01];
aa =[0 .002 .005:.005:.02];
    if es > ves(end)
        ves=[0 .002 .005 es];
        aa =[0 .002 .005:.005:es];
    end
vfi=[.65 .65 .9 .9];
plot(ves,vfi,'color',[ 0 0 0],'linewidth',2), grid on, hold on
f1 = fill([0 .002 .002 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 1],'FaceAlpha',0.5);
f2 = fill([.005 ves(end) ves(end) .005],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 0],'EdgeColor',[0 0 0],'FaceAlpha',0.5);
ft = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3));
axis([0 ves(end) .6 .95])
plot(es,fi,'r','marker','o','markersize',10,'MarkerFaceColor','r')
set(gca,'XTick',aa)
ylabel('\phi','fontsize',22)
xlabel('\epsilon_t','fontsize',22,'interpreter','latex')
legend([f1 ft f2],{'Controla compresión','Transición','Controla tracción'},'fontsize',12,'location','best')

xlim([-0.00003 0.00904])
ylim([0.599 0.949])
end
```

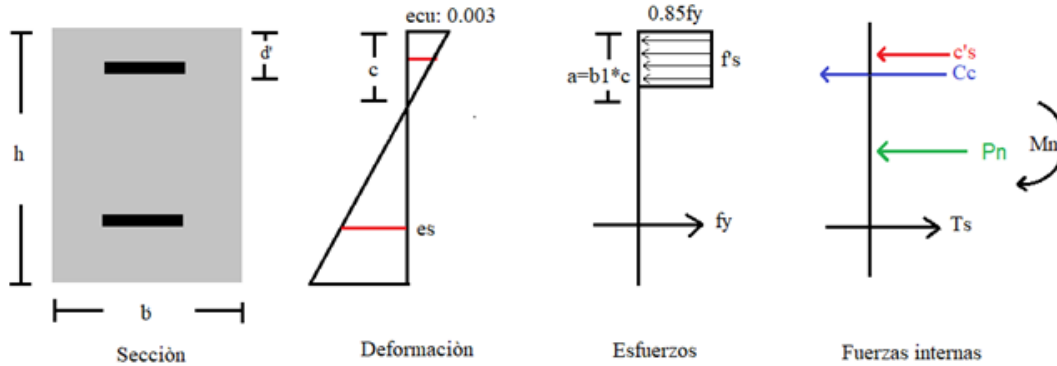


```

PP.D = Pn4;      MM.D = Mn4;
PP.Dp = fi*Pn4; MM.Dp = fi*Mn4;
EN.D = c;      % Eje neutro c
ficol.D = fi;

```

E). Corte con eje X (P=0)



```
disp('E.) Corte con eje X')
```

E.) Corte con eje X

```

syms c
Ccx = 0.85*fc*(bt1*c)*b;
eps = ecu*(c-dp)/c;      % def. en el acero a comp.
fps = Es*eps             % Esf. en acero a compr.

```

fps =

$$\frac{200000000000 \left(\frac{3c}{1000} - \frac{3}{20000} \right)}{c}$$

```
Cpsx = Aps*fps      % Fuerza en acero a compr.
```

Cpsx =

$$\frac{87144652789619091796875 \left(\frac{3c}{1000} - \frac{3}{20000} \right)}{562949953421312c}$$

Para el refuerzo a tracción asumo fluencia:

```
Ts = As*fy      % Fuerza en acero a tracción
```

Ts = 325080

Sumatoria de fuerzas donde (P=0):

$$\sum F_x = C_c + C'_s - T_s - P = 0$$

```
Pn5 = Ccx+Cpsx-Ts          % Pn: Fuerza axial resultante = 0
```

```
Pn5 =
```

$$6069000 c + \frac{87144652789619091796875 \left(\frac{3c}{1000} - \frac{3}{20000} \right)}{562949953421312 c} - 325080$$

```
cx = double(solve(Pn5==0));  
ind = find(cx>0);  
cc = cx(ind)          % Profundidad del eje neutro
```

```
cc = 0.0514
```

```
epsn = ecu*(cc-dp)/cc;  
  
if epsn > ey  
    disp('Acero a compr. está en fluencia!!')  
    Cps = Aps*fy;          % C's: Fuerza en barras a comp. [N]  
else  
    disp('Acero a compr. NO está en fluencia!!')  
    fs = Es*epsn;  
    Cps = Aps*fs;        % Ts: Fuerza en barras a comp. [N]  
end
```

```
Acero a compr. NO está en fluencia!!
```

```
Cc = double(subs(Ccx,cc)); % Resultante en el bloque de comp.  
sprintf('- El valor de c es de: %0.5g',Cc)
```

```
ans =  
'- El valor de c es de: 3.1214e+05'
```

Sumatoria de momentos en el **centroide** para determinar Mn:

$$\sum_{M_{\text{centr.}}} = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - (h-d) \right) - M_n = 0$$

```
Mn5 = Cc*(h-a)/2 + Cps*(h/2-dp) + Ts*(h/2-(h-d));  
sprintf('- El valor de Mn5 es de= %0.5g',Mn5)
```

```
ans =  
'- El valor de Mn5 es de= 1.0949e+05'
```

Resumen:

```
es = ecu*(d-cc)/cc; % def. en el acero a tracción  
sprintf('- El valor dela deformación del acero a tracción es de= %0.5g',es)
```

```
ans =  
'- El valor dela deformación del acero a tracción es de= 0.020332'
```

```
fi = PHI(es);          % Cálculo del fi
```

```
sprintf('- El valor de phi es de: %0.5g',fi)
```

```
ans =  
'- El valor de phi es de: 0.9'
```

```
PP.E = 0;      MM.E = Mn5;  
PP.Ep = 0;     MM.Ep = fi*Mn5;  
EN.E = cc;     % Eje neutro c  
ficol.E = fi;
```

F). Falla a tracción

$$Pn_{\min} = A_{st}f_y$$

```
disp('c.) Falla a tracción')
```

```
c.) Falla a tracción
```

```
Pnmin = -Ast*fy;  
sprintf('- El valor de Pnmin es de= %0.5g',Pnmin)
```

```
ans =  
'- El valor de Pnmin es de= -6.5016e+05'
```

```
fi = 0.9; % Su valor es de 0.9 porque está a tracción
```

```
PP.F = Pnmin;      MM.F = 0;  
PP.Fp = fi*Pnmin; MM.Fp = 0;
```

2.3- Resumen

```
disp('RESUMEN')
```

```
RESUMEN
```

```
format short
```

```
Pareja = {'A', 'Ap', 'Pn_max', 'B', 'Bp', 'C (balanc.)', 'Cp (balanc.)', 'D', 'Dp', 'E', 'Ep', 'F', 'Fp'}';
```

```
Fuer = [PP.A PP.Ap PP.App PP.B PP.Bp PP.C PP.Cp PP.D PP.Dp PP.E PP.Ep PP.F PP.Fp];
```

```
Mom = [MM.A MM.Ap MM.App MM.B MM.Bp MM.C MM.Cp MM.D MM.Dp MM.E MM.Ep MM.F MM.Fp];
```

```
% Po 0
```

```
% Pnb 45
```

```
% 0 56
```

```
% Pnmin 0];
```

```
Carga = floor(Fuer/1000)';
```

```
Momento = floor(Mom/1000)';
```

```
T1 = table(Pareja,Carga,Momento, 'VariableNames',{'Punto','Carga (kN)','Momento (kN-m)'});
```

```
disp(T1)
```

Punto	Carga (kN)	Momento (kN-m)
{'A' }	3835	0
{'Ap' }	2493	0
{'Pn_max' }	1869	0
{'B' }	2752	190
{'Bp' }	1789	123
{'C (balanc.)' }	1439	292
{'Cp (balanc.)' }	935	190
{'D' }	894	257
{'Dp' }	805	232
{'E' }	0	109
{'Ep' }	0	98
{'F' }	-651	0
{'Fp' }	-586	0

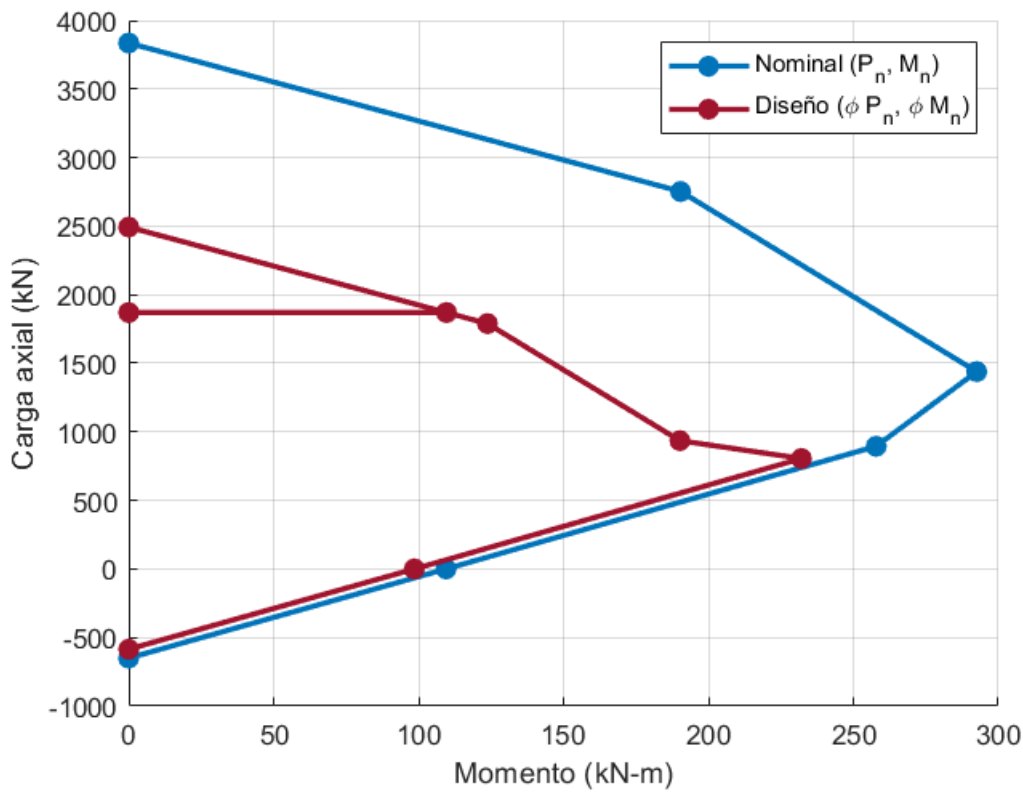
2.4- Diagrama de Interacción

```
close all  
disp('=====')
```

```
disp('Diagrama de Interacción')
```

Diagrama de Interacción

```
b_d = [0 0.4510 0.7412]; r_d = [0.6350 0.0780 0.1840];  
  
hold on;  
X1=[(MM.A/1000), (MM.B/1000), (MM.C/1000), (MM.D/1000), (MM.E/1000), (MM.F/1000)];  
Y1=[(Po/1000), (PP.B/1000), (PP.C/1000), (PP.D/1000), (PP.E/1000), (PP.F/1000)];  
plot(X1(3),Y1(3), 'k:');  
  
X2= [0, (MM.Bp/1000), (MM.Cp/1000), (MM.Dp/1000), (MM.Ep/1000), (MM.Fp/1000)];  
Y2= [(fi_Po/1000), (PP.Bp/1000), (PP.Cp/1000), (PP.Dp/1000), (PP.Ep/1000), (PP.Fp/1000)];  
plot(X2(2),Y2(2), 'k--');  
  
inter =((((fi2*Mn2)/1000)-0)/((((fi2*Pn2)/1000)-(fi_Po/1000))*((Pnmax/1000)-(fi_Po/1000)));  
X3=[0,inter];  
Y3=[(PP.App/1000),(PP.App/1000)];  
plot(X3,Y3);  
grid;  
  
f1 = plot(X1,Y1, 'color',b_d, 'linewidth',2, 'marker', 'o', 'MarkerFaceColor',b_d);  
f2 = plot(X2,Y2, 'color',r_d, 'linewidth',2, 'marker', 'o', 'MarkerFaceColor',r_d);  
f3 = plot(X3,Y3, 'color',r_d, 'linewidth',2, 'marker', 'o', 'MarkerFaceColor',r_d);  
  
xlabel('Momento (kN-m)')  
ylabel('Carga axial (kN)')  
legend([f1 f2],{'Nominal (P_n, M_n)', 'Diseño (\phi P_n, \phi M_n)'})
```



Funciones

```
function fi = PHI(es)
% es Es la deformación unitaria del acero a tracción.
if es <= .002
    fi = .65;
elseif es <= .005
    fi = .65+(es-.002)*(250/3);
else
    fi = 0.9;
end
end
```

3- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- McCormac, J. C. & Brown, R. H. (2011). *Diseño de concreto reforzado*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

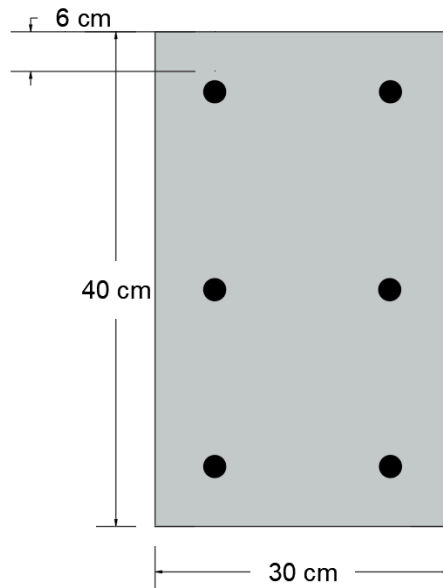
Diagrama de Interacción para Columna

```
clc, clear, close all, format shorteng
```

Enunciado

Calcular el diagrama de interacción para la siguiente columna: Datos:

- $b = 30$ cm
- $h = 40$ cm
- $d' = 6$ cm
- $f'_c = 21$ MPa
- $f_y = 420$ MPa
- $E_s = 200$ GPa
- 6 #8



K. Anexo: Guía flexo-compresión biaxial.

Flexo-compresión biaxial

1- Introducción

En los módulos anteriores se han venido estudiando columnas a carga axial acompañada de un momento actuante alrededor de un solo eje es decir, de forma uniaxial, en este módulo se analizara para dos ejes (biaxial) lo que quiere decir, que el elemento presenta excentricidad e :

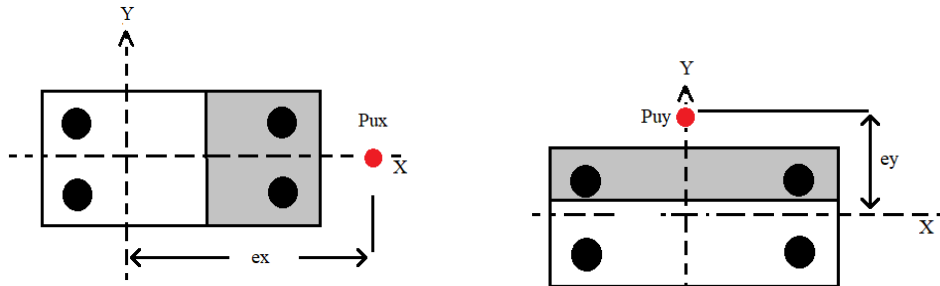


Figura 1. Sección cargada biaxialmente

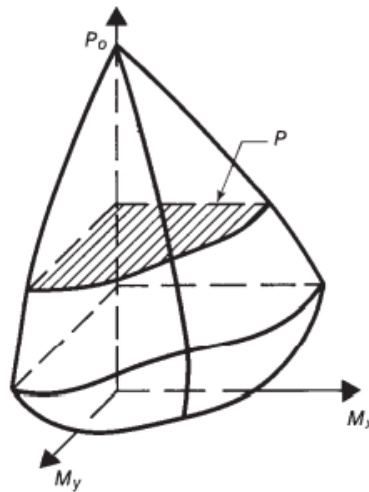


Figura 2. Diagrama de interacción para columnas biaxiales.

Tomado de: (Wight & MacGregor, 2012)

De lo anterior, el profesor ruso Boris Bresler en la Universidad de California en Berkeley diseñó un método para diseñar secciones transversales rectangulares bajo cargas excéntricas biaxiales:

$$\frac{1}{\phi P_n} = \frac{1}{\phi P_{n_x}} + \frac{1}{\phi P_{n_y}} - \frac{1}{\phi P_{\max}}$$

Donde establece las siguientes condiciones:

$$\phi P_n \geq P_u$$

$$ISE = \frac{P_u}{\phi P_n} < 1$$

Al cumplir las condiciones descritas se considera que la columna trabaja apropiadamente.

Los comandos claves utilizados en esta guía son:

clc, clear, close **all**, format **shorteng**

Contenido

Flexo-compresión biaxial.....	1
1- Introducción	1
2- Procedimiento de diseño.....	2
3- Ejemplo.....	3
3.1- Enunciado.....	3
3.2- Datos de entrada.....	3
Fuerzas y momentos.....	3
Sección.....	4
Propiedades del concreto.....	4
Propiedades del acero de refuerzo.....	4
3.3- Chequeo del elemento como columna:.....	7
A.) Falla a compresión (M=0,).....	7
B). Análisis alrededor del eje x-x.....	8
C). Análisis alrededor del eje y-y.....	13
D). Ecuación unitaria de Bresler.....	17
3.4- Funciones.....	17
4- Bibliografía.....	18

2- Procedimiento de diseño

- 1.) Se define las dimensiones de la sección y materiales a utilizar.
- 2.) Chequear la cuantía mínima de refuerzo entre los límites de 1% al 4%
- 3.) Se calcula el valor de Beta_1 teniendo en cuenta las condiciones de la NSR-10.
- 4.) Chequeo el elemento como columna.
- 5.) Se terminan los valores de diseño P_u , M_{ux} y M_{uy}
- 6.) Cuando se tiene una sección rectangular, la carga balanceada es la misma para la flexión sobre el eje X y para la flexión sobre el eje Y.
- 7.) Cuando la sección es rectangular, la carga balanceada evaluada para la flexión sobre el eje X, P_{bx} , es diferente al valor de la carga balanceada evaluada para la flexión sobre el eje Y, P_{by} , en este caso debe hacerse una interpolación para evaluar el valor de la carga balanceada sobre el plano de flexión, α

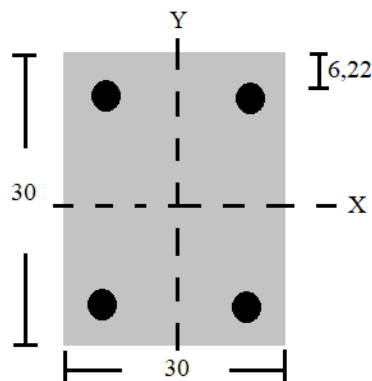
3- Ejemplo

3.1- Enunciado

Calcular el $ISE = P_u / \phi P_n$ para la sección transversal de la columna.

Datos:

- $b = 0.30 \text{ m}$
- $h = 0.30 \text{ m}$
- $d' = 0.0622 \text{ m}$
- $f'_c = 21 \text{ MPa}$
- $f_y = 420 \text{ MPa}$
- $E_s = 200 \text{ Gpa}$
- Refuerzo = 4#8
- $P_u = 800 \text{ kN}$
- $M_{uy} = 150 \text{ kN} - \text{m}$
- $M_{ux} = 250 \text{ kN} - \text{m}$



3.2- Datos de entrada

Fuerzas y momentos

$P_u = 800 \text{ \%[kN]}$

$P_u = 800.0000\text{e}+000$

$M_{uy} = 150 \text{ \%[kN-m]}$

$M_{uy} = 150.0000\text{e}+000$

$M_{ux} = 250 \text{ \%[kN-m]}$

$M_{ux} =$

250.0000e+000

Sección

Base

b = .30 % Base en [m]

b =
300.0000e-003

Altura

h = .30 % Altura [m]

h =
300.0000e-003

Distancia a la fila de acero a compresión, d'

dp = .0622 % Distancia a la fila de acero a compre., d' [m]

dp =
62.2000e-003

Distancia a la fila de acero a tracción, d' [m]

ds = .0622 % Recubrimiento a la fila de acero a tracción, ds [m]

ds =
62.2000e-003

Recubrimiento a la fila de acero a tracción, ds

d = h-ds

d =
237.8000e-003

Propiedades del concreto

Resistencia específica a la compresión [MPa]

fc = 21e6 % [Pa]

fc =
21.0000e+006

Propiedades del acero de refuerzo

Fluencia del acero [MPa]

fy = 420000000 % [Pa]

fy =
420.0000e+006

Módulo de elasticidad del acero [GPa]

```
Es =200000000000 % [Pa]
```

```
Es =  
200.0000e+009
```

Deformación del acero

```
ey =0.00206
```

```
ey =  
2.0600e-003
```

Definir el número y tamaño de las varillas de acero en cada fila

```
Asbarra =1*[510/1000^2]
```

```
Asbarra =  
510.0000e-006
```

Área de acero a compresión

```
Aps = 2*[510/1000^2]
```

```
Aps =  
1.0200e-003
```

Área de acero a tracción

```
As = 2*[510/1000^2]
```

```
As =  
1.0200e-003
```

Área del acero total [m2]

```
Ast = 4*[510/1000^2] % Área total acero [m2]
```

```
Ast =  
2.0400e-003
```

Chequeo de cuantía

```
disp('==== Chequeo de cuantía ====')
```

```
==== Chequeo de cuantía =====
```

```
Ro=Ast/(b*h);  
sprintf('- El valor de Ro es de: %0.5g',Ro)
```

```
ans =  
'- El valor de Ro es de: 0.022667'
```

```

if Ro < 0.04
    disp('Cumple cuantia!!!')
else disp('No cumple cuantia!!!')
end

```

Cumple cuantia!!!

```

disp('===== Deformación unitaria del concreto =====')

```

===== Deformación unitaria del concreto =====

```

ecu = .003

```

```

ecu =
    3.0000e-003

```

Cálculo de β_{1} :

```

disp('===== Calculo de Beta_1 =====')

```

===== Calculo de Beta_1 =====

```

flag=true;
if fc <= 28e6
    bt1 = .85;
elseif fc < 56e6
    bt1 = .85-.05*(fc/1e6-28)/7;
else
    bt1 = 0.65;
end

```

```

sprintf('- El valor de Beta_1 es de: %0.5g',bt1)

```

```

ans =
'- El valor de Beta_1 es de: 0.85'

```

```

if flag == true
ves=[0 28e6 56e6 70e6]; % Fijar dobles
aa =[0 28e6 56e6:56e6:70e6];
    if fc > ves(end)
        ves=[0 28e6 56e6 fc];
        aa =[0 28e6 56e6:56e6:fc];
    end
vfi=[.85 .85 .65 .65];

```

```

plot(ves,vfi,'color',[ 0 0 0],'linewidth',1), grid on, hold on % Ancho de linea
f1 = fill([0 28e6 28e6 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 0],'FaceAlpha',.5);
f2 = fill([56e6 ves(end) ves(end) 56e6],[.6 .6 .95 .95],'r','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 0],'FaceAlpha',.5);
ft = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3)); % Color de borde
axis([0 ves(end) .6 .90])

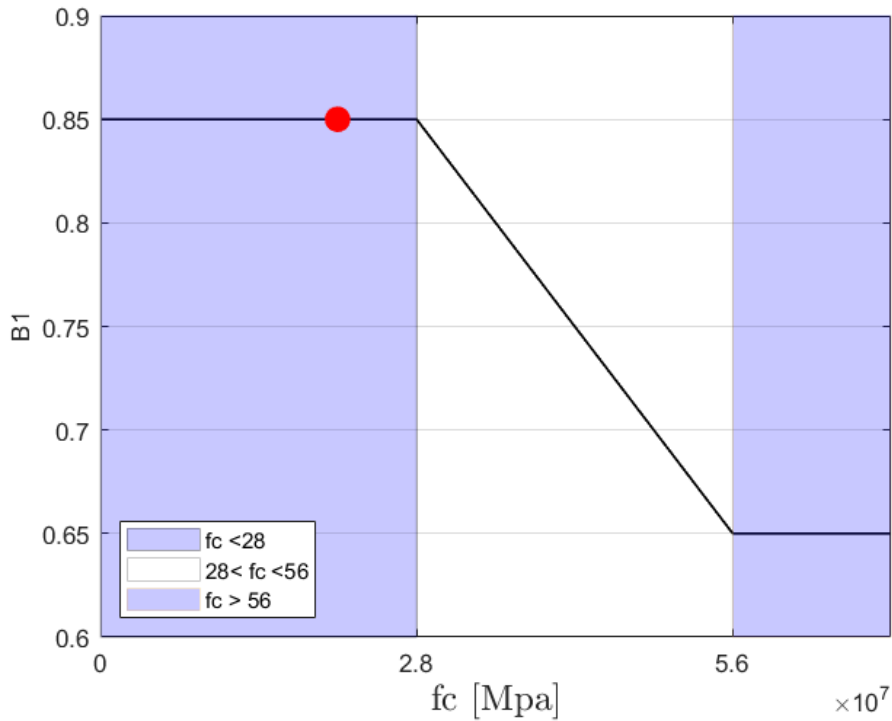
```

```

% Punto
plot(fc,bt1,'r','marker','o','markersize',10,'MarkerFaceColor','r');
set(gca,'XTick',aa)
ylabel('B1','fontsize',10) % Nombre barra en y
xlabel('fc [Mpa]','fontsize',15,'interpreter','latex')

% Tabla de conversiones
legend([f1 ft f2],{'fc <28','28< fc <56','fc > 56'},'fontsize',9,'location','southwest');
end

```



=====

3.3- Chequeo del elemento como columna:

```

Pc = (0.1*fc*b*h)/1000;
if Pu > Pc
    disp('Analizar como columna!')
else disp('Analizar como viga.')
end

```

Analizar como columna!

=====

A.) Falla a compresión (M=0, Pn ≠ 0)

$$P_o = .85f'_c(A_g - A_{st}) + A_{st}f_y$$

```
disp('A.) Falla a compresión')
```

A.) Falla a compresión

```
Ast = Aps + As;           % Área total acero  
sprintf('- El valor del área total es de= %0.5g',Ast)
```

```
ans =  
'- El valor del área total es de= 0.00204'
```

```
fic = 0.65;              % Phi por compresión  
sprintf('- El valor de phi a compresión es de= %0.5g',fic)
```

```
ans =  
'- El valor de phi a compresión es de= 0.65'
```

```
Po = (.85*fc*(b*h-Ast)+Ast*fy);  
sprintf('- El valor de Po es de= %0.5g',Po)
```

```
ans =  
'- El valor de Po es de= 2.4269e+06'
```

```
fi_Po = fic*Po;  
sprintf('- El valor de fi_Po es de= %0.5g',fi_Po)
```

```
ans =  
'- El valor de fi_Po es de= 1.5775e+06'
```

```
Pnmax = 0.75*fi_Po;      % Reducción de capacidad  
sprintf('- El valor de Pnmax es de= %0.5g',Pnmax)
```

```
ans =  
'- El valor de Pnmax es de= 1.1831e+06'
```

```
PP.A = Po; MM.A = 0;  
PP.Ap = fi_Po; MM.Ap = 0;  
PP.fiPnmax = Pnmax;
```

=====

B). Análisis alrededor del eje x-x

```
disp('B.) Análisis alrededor del eje x-x')
```

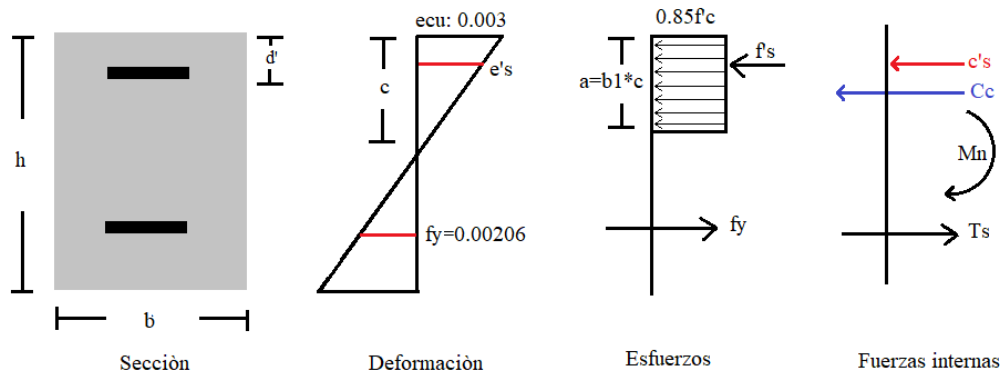
B.) Análisis alrededor del eje x-x

```
ex.y = Mux/Pu;  
sprintf('- El valor de ex.y es de= %0.5g',ex.y)
```



```
ans =
'- El valor de ex.y es de= 0.3125'
```

Falla balanceada:



```
cb = ecu*d/(ecu+ey);
sprintf('- El valor de cb es de= %0.5g',cb)
```

```
ans =
'- El valor de cb es de= 0.14099'
```

```
eps = ecu*(cb-dp)/cb;
sprintf('- El valor de eps es de= %0.5g',eps)
```

```
ans =
'- El valor de eps es de= 0.0016765'
```

```
if eps > ey
    disp(';;Acero a compr. está en fluencia!!')
    Cps = Aps*fy; % C's: Fuerza en barras a comp. [N]
else
    disp(';;Acero a compr. NO está en fluencia!!')
    fs = Es*eps;
    Cps = Aps*fs; % Ts: Fuerza en barras a comp. [N]
end
```

Acero a compr. NO está en fluencia!!

Sumatoria de fuerzas para determinar la carga axial balanceada (Pnb):

```
a = bt1*cb;
sprintf('- El valor de a es de= %0.5g',a)
```

```
ans =
'- El valor de a es de= 0.11984'
```

```
Cc = 0.85*fc*a*b;
sprintf('- El valor de Cc es de= %0.5g',Cc)
```

```
ans =
'- El valor de Cc es de= 6.4174e+05'
```

```
Ts = As*fy;
```

```
sprintf('- El valor de Ts es de= %0.5g',Ts)
```

```
ans =  
'- El valor de Ts es de= 4.284e+05'
```

```
Pnb = Cc+Cps-Ts; % Pnb: Fuerza axial balanceada [N]  
sprintf('- El valor de Pnb es de= %0.5g',Pnb)
```

```
ans =  
'- El valor de Pnb es de= 5.5535e+05'
```

Sumatoria de momentos en el centroide para determinar (Mnb):

```
Mnb = Cc*(h-a)/2 + Cps*(h/2-dp) + Ts*(d-h/2);  
sprintf('- El valor de Mnb es de= %0.5g',Mnb)
```

```
ans =  
'- El valor de Mnb es de= 1.2545e+05'
```

Excentricidad balanceada (eb):

```
ex.eby = Mnb/Pnb; % Excentricidad balanceada en y [m]  
sprintf('- El valor de ex.eby (Excentricidad balanceada) es de= %0.5g [m]',ex.eby)
```

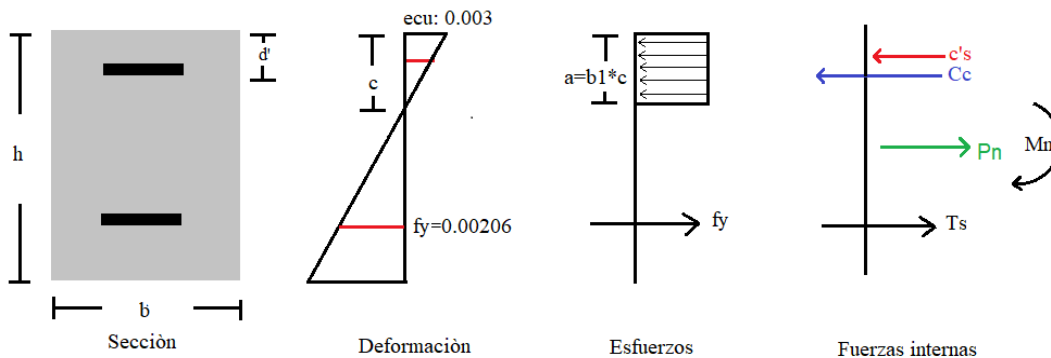
```
ans =  
'- El valor de ex.eby (Excentricidad balanceada) es de= 0.22589 [m]'
```

Determinar si la falla ocurre a compresión o a tracción:

```
if ex.y > ex.eby  
    disp('Col. falla por tracción')  
  
else  
    disp('Col. falla por compresión')  
    % fs = Es*eps;  
    % Cps = Aps*fs; % Ts: Fuerza en barras a comp. [N]  
end
```

Col. falla por tracción

Analizamos la sección:



```
syms cx
```

```
eps = simplifyFraction(ecu*(cx-dp)/cx) % def. en el acero a comp.
```

```
eps =  

$$\frac{3 (5000 cx - 311)}{5000000 cx}$$

```

```
fps = simplifyFraction(Es*eps) % Esf. en acero a compr.
```

```
fps =  

$$\frac{120000 (5000 cx - 311)}{cx}$$

```

```
Cpsx =simplifyFraction(Aps*fps) % Fuerza en acero a compr.
```

```
Cpsx =  

$$\frac{612 (5000 cx - 311)}{5 cx}$$

```

```
Ccx = 0.85*fc*(bt1*cx)*b
```

```
Ccx = 4551750 cx
```

```
Tsx = As*fy % Fuerza en acero a tracción
```

```
Tsx =  
428.4000e+003
```

Sumatoria de fuerzas:

```
Pnx = Ccx+Cpsx-Tsx % Pnx: Fuerza axial resultante aplicada a ey
```

```
Pnx =  

$$4551750 cx + \frac{612 (5000 cx - 311)}{5 cx} - \frac{7359855958425601}{17179869184}$$

```

Despejar c de esta ecuación:

```
Ecua = Ccx*(h-bt1*cx)/2 + Cpsx*(h/2-dp) + Tsx*(d-h/2) - Pnx*ex.y;  
c = double(solve(Ecua==0));  
ind = find(c>0);  
cc = c(ind)
```

```
cc =  
113.7506e-003
```

Chequear la deformación en el acero a compresión:

```
epsn = ecu*(cc-dp)/cc;  
sprintf('- El valor de epsn es de = %0.5g',epsn)
```

```
ans =
```

```
'- El valor de epsn es de= 0.0013596'
```

```
if epsn > ey
    disp('Acero a compr. está en fluencia!!')
    Cps = Aps*fy; % C's: Fuerza en barras a comp. [N]
else
    disp('Acero a compr. NO está en fluencia!!')
    fs = Es*epsn;
    Cps = Aps*fs; % Ts: Fuerza en barras a comp. [N]
end
```

```
Acero a compr. NO está en fluencia!!
```

```
cc = double(subs(Ccx,cc)); % Resultante en el bloque de comp.
sprintf('- El valor de Cc es de= %0.5g',cc)
```

```
ans =
'- El valor de Cc es de= 5.1776e+05'
```

La fuerza resistente por la sección cuando la excentricidad alcanza ey:

```
Pnx = Cc+Cps-Ts;
sprintf('- El valor de Pnx es de= %0.5g',Pnx)
```

```
ans =
'- El valor de Pnx es de= 4.9069e+05'
```

```
es = .003*(d-cc)/cc;
```

Hallamos Φ

```
close all
fi = PHI(es); % Cálculo del fi
sprintf('- El valor de phi es de: %0.5g',fi)
```

```
ans =
'- El valor de phi es de: 0.65'
```

Resumen:

```
PP.balx = Pnb; MM.bal = Mnb;
PP.Pnx = Pnx;
PP.phiPnx = fi*Pnx;
```

=====

C). Análisis alrededor del eje y-y

```
disp('C.) Análisis alrededor del eje y-y')
```

C.) Análisis alrededor del eje y-y

```
ex.x = Muy/Pu;  
sprintf('El valor de ex.x es de: %0.5g',ex.x)
```

```
ans =  
'El valor de ex.x es de: 0.1875'
```

Falla a balanceada:

```
disp('Falla a balanceada')
```

Falla a balanceada

```
cb = ecu*d/(ecu+ey);  
sprintf('- El valor de cb es de: %0.5g',cb)
```

```
ans =  
'- El valor de cb es de: 0.14099'
```

```
eps = ecu*(cb-dp)/cb;  
sprintf('- El valor de eps es de: %0.5g',eps)
```

```
ans =  
'- El valor de eps es de: 0.0016765'
```

```
if eps > ey  
    disp('Acero a compr. está en fluencia!!')  
    Cps = Aps*fy; % C's: Fuerza en barras a comp. [N]  
else  
    disp('Acero a compr. NO está en fluencia!!')  
    fs = Es*eps;  
    Cps = Aps*fs; % Ts: Fuerza en barras a comp. [N]  
end
```

Acero a compr. NO está en fluencia!!

Sumatoria de fuerzas para determinar la carga axial balanceada (Pnb):

```
a = bt1*cb;  
sprintf('El valor de a es de: %0.5g',a)
```

```
ans =  
'El valor de a es de: 0.11984'
```

```
Cc = 0.85*fc*a*b;  
sprintf('El valor de phi es de: %0.5g',Cc)
```

```
ans =  
'El valor de phi es de: 6.4174e+05'
```

```
Ts = As*fy;  
sprintf('- El valor de Ts es de: %0.5g',Ts)
```

```
ans =  
'- El valor de Ts es de: 4.284e+05'
```

```
Pnb = Cc+Cps-Ts; % Pnb: Fuerza axial balanceada [N]  
sprintf('- El valor de Pnb (Fuerza balanceada) es de: %0.5g',Pnb)
```

```
ans =  
'- El valor de Pnb (Fuerza balanceada) es de: 5.5535e+05'
```

Sumatoria de momentos en el centroide para determinar (Mnb):

```
Mnb_y = Cc*(h-a)/2 + Cps*(h/2-dp) + Ts*(d-h/2)
```

```
Mnb_y =  
125.4496e+003
```

Excentricidad balanceada (eb):

```
ex.ebx = Mnb_y/Pnb % Excentricidad balanceada en x [m]
```

```
ex = struct with fields:  
  y: 312.5000e-003  
  eby: 225.8946e-003  
  x: 187.5000e-003  
  ebx: 225.8946e-003
```

Determinar si la falla ocurre a compresión o a tracción:

```
if ex.x > ex.ebx  
  disp('Col. falla por tracción')  
  
else  
  disp('Col. falla por compresión')  
end
```

```
Col. falla por compresión
```

```
syms cy  
eps = simplifyFraction(ecu*(cy-dp)/cy) % def. en el acero a comp.
```

```
eps =
```

$$\frac{3 (5000 \text{ cy} - 311)}{5000000 \text{ cy}}$$

`fps = simplifyFraction(Es*eps) % Esf. en acero a compr.`

$$\text{fps} = \frac{120000 (5000 \text{ cy} - 311)}{\text{cy}}$$

`Cpsy = simplifyFraction(Aps*fps) % Fuerza en acero a compr.`

$$\text{Cpsy} = \frac{612 (5000 \text{ cy} - 311)}{5 \text{ cy}}$$

`Ccy = 0.85*fc*(bt1*cy)*b`

$$\text{Ccy} = 4551750 \text{ cy}$$

`es = simplifyFraction(ecu*(d-cy)/cy)`

$$\text{es} = \frac{-3 (5000 \text{ cy} - 1189)}{5000000 \text{ cy}}$$

`fs = simplifyFraction(Es*es)`

$$\text{fs} = \frac{-120000 (5000 \text{ cy} - 1189)}{\text{cy}}$$

`Tsy = simplifyFraction(As*fs) % Fuerza en acero a tracción`

$$\text{Tsy} = \frac{-612 (5000 \text{ cy} - 1189)}{5 \text{ cy}}$$

Sumatoria de fuerzas:

`Pny = Ccy+Cpsy-Tsy % Pnx: Fuerza axial resultante aplicada a ex`

$$\text{Pny} = 4551750 \text{ cy} + \frac{612 (5000 \text{ cy} - 311)}{5 \text{ cy}} + \frac{612 (5000 \text{ cy} - 1189)}{5 \text{ cy}}$$

Se toma donde el momento resistente para determinar c es :

Se despeja c de esta ecuación:

$$\text{Ecu} = \text{Ccy}*(h-\text{bt1}*cy)/2 + \text{Cpsy}*(h/2-\text{dp}) + \text{Tsy}*(d-h/2) - \text{Pny}*ex.x;$$

```
c = double(solve(Ecu==0));
ind = find(c>0);
cc = c(ind)
```

```
cc =
    147.7163e-003
```

Se chequea la deformación en el acero a compresión y a tracción:

```
epsn = ecu*(cc-dp)/cc;

if epsn > ey
    disp('Acero a compr. está en fluencia!!')
    Cps = Aps*fy; % C's: Fuerza en barras a comp. [N]
else
    disp('Acero a compr. NO está en fluencia!!')
    fs = Es*epsn;
    Cps = Aps*fs; % C's: Fuerza en barras a comp. [N]
end
```

Acero a compr. NO está en fluencia!!

```
es = ecu*(d-cc)/cc
```

```
es =
    1.8295e-003
```

```
if es > ey
    disp('Acero a tracción está en fluencia!!')
    Ts = As*fy; % Ts: Fuerza en barras a tracc. [N]
else
    disp('Acero a tracción NO está en fluencia!!')
    fs = Es*es;
    Ts = As*fs; % Ts: Fuerza en barras a tracc. [N]
end
```

Acero a tracción NO está en fluencia!!

```
Cc = double(subs(Ccx,cc)); % Resultante en el bloque de comp
```

La fuerza resistente por la sección cuando la excentricidad alcanza:

```
Pny = Cc+Cps-Ts
```

```
Pny =
    653.4449e+003
```

Hallamos Φ


```
fi = PHI(es); % Cálculo del fi
sprintf('- El valor de phi es de: %0.5g',fi)
```

```
ans =
'- El valor de phi es de: 0.65'
```

Resumen:

```
PP.baly = Pnb; MM.bal = Mnb_y;
PP.Pny = Pny;
PP.phiPny = fi*Pny;
```

D). Ecuación unitaria de Bresler

$$\frac{1}{\phi P_n} = \frac{1}{\phi P_{nx}} + \frac{1}{\phi P_{ny}} - \frac{1}{\phi P_{n(max)}}$$

```
bres = 1/PP.phiPnx + 1/PP.phiPny - 1/PP.fiPnmax;
fiPn = 1/bres
```

```
fiPn =
215.3119e+003
```

```
ISE = Pu/fiPn
```

```
ISE =
3.7155e-003
```

```
if ISE > 1
disp('¡¡La columna no chequea!!')
else
disp('¡¡La columna chequea !!')
end
```

```
La columna chequea !!
```

3.4- Funciones

```
function fi = PHI(es)
% es Es la deformación unitaria del acero a tracción.
if es <= .002
fi = .65;
elseif es <= .005
```

```
fi = .65+(es-.002)*(250/3);  
else  
fi = 0.9;  
end  
end
```

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10* (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- McCormac, J. C. & Brown, R. H. (2011). *Diseño de concreto reforzado*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Wight, J. K. & MacGregor J. G. (2012). *Reinforced concrete mechanics & design*. New York: Pearson Education.

Ejemplo No.2

Flexo-compresión biaxial

1- Introducción

En la presente guía se realiza un ejemplo de una columna que cuenta con cuatro barras de diferente diámetro. Cabe recalcar que en los módulos anteriores se han venido estudiando columnas a carga axial acompañada de un momento actuante alrededor de un solo eje, es decir, de forma uniaxial, en este módulo se analizará para dos ejes (biaxial) lo que quiere decir, que el elemento presenta excentricidad en ambos sentidos principales.

Los comandos claves utilizados en esta guía son:

```
clc, clear, close all, format shorteng
```

Contenido

Ejemplo No.2	1
Flexo-compresión biaxial.....	1
1- Introducción.....	1
2- Enunciado.....	1
3- Desarrollo.....	2
3.1- Datos de entrada.....	2
Fuerzas y momentos.....	2
Sección.....	2
Propiedades del concreto.....	3
Propiedades del acero de refuerzo.....	3
3.2- Chequeo del elemento como columna.....	7
A.) Falla a compresión ($M=0$,).....	7
B). Análisis alrededor del eje x-x de la sección 1.....	7
C). Análisis alrededor del eje y-y de la sección 1.....	11
D). Análisis alrededor del eje x-x de la sección 2.....	16
E). Análisis alrededor del eje y-y de la sección 2.....	20
F). Ecuación unitaria de Bresler.....	25
4- Bibliografía.....	27

2- Enunciado

Calcular el $ISE = P_u / \phi P_n$ para la sección transversal de la columna.

Datos:

- $b = 0.36 \text{ m}$ $h = 0.36 \text{ m}$, $d' = 0.06 \text{ m}$
- $f'_c = 21 \text{ MPa}$, $f_y = 420 \text{ Mpa}$, $E_s = 200 \text{ Gpa}$
- Refuerzo: 1 #8, 1 #7, 1 #6, 1 #5
- $P_u = 600 \text{ kN}$, $M_{ux} = \pm 300 \text{ kN}$, $M_{uy} = \pm 100 \text{ kN}$

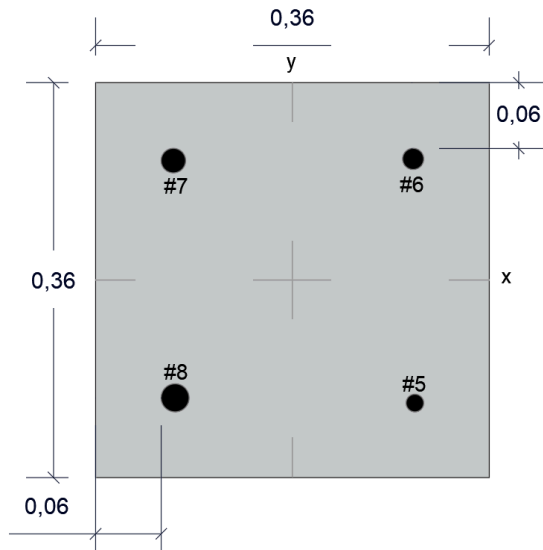


Figura No.1

3- Desarrollo

3.1- Datos de entrada

Fuerzas y momentos

$P_u = 600000$; % [N]
 $M_{ux} = 300000$; % [N-m]
 $M_{uy} = 100000$; % [N-m]

Sección

Base

$b = .36$ % Base en [m]

$b =$
 $360.0000e-003$

Altura

$h = .36$ % Altura [m]

$h =$
 $360.0000e-003$

Distancia a la fila de acero a compresión d'

$d_p = .06$ % Distancia a la fila de acero a compresión, d' [m]

$d_p =$
 $60.0000e-003$

Distancia a la fila de acero a tracción d' [m]

$$ds = .06 \quad \% \text{ Recubrimiento a la fila de acero a tracc., } ds \text{ [m]}$$

$$ds = 60.0000e-003$$

Recubrimiento a la fila de acero a tracción, ds

$$d = h - ds$$

$$d = 300.0000e-003$$

Propiedades del concreto

Resistencia especifica a la compresión [MPa]

$$fc = 21000000 \quad \% \text{ [Pa]}$$

$$fc = 21.0000e+006$$

Propiedades del acero de refuerzo

Fluencia del acero [MPa]

$$fy = 420000000 \quad \% \text{ [Pa]}$$

$$fy = 420.0000e+006$$

Módulo de elasticidad del acero [GPa]

$$Es = 200000000000 \quad \% \text{ [Pa]}$$

$$Es = 200.0000e+009$$

Deformación del acero

$$ey = 0.00206$$

$$ey = 2.0600e-003$$

Definir el número y tamaño de las varillas de acero en cada fila [cm²]

$$\text{Asbarra1} = 1 * [387/1000^2]$$

$$\text{Asbarra1} = 387.0000e-006$$

$$\text{Asbarra2} = 1 * [284/1000^2]$$

$$\text{Asbarra2} = 284.0000e-006$$

$$\text{Asbarra3} = 1 * [510/1000^2]$$

Asbarra3 =
510.0000e-006

Asbarra4 =1*[199/1000^2]

Asbarra4 =
199.0000e-006

Ast = Asbarra1 + Asbarra2 + Asbarra3 + Asbarra4; % Área total acero [m^2]

Áreas Sección 1

Área de acero total eje x-x sección 1

Ast_px1 =Asbarra1 + Asbarra2 % Área acero total compre. x-x [m^2] de la sección 1

Ast_px1 =
671.0000e-006

Ast_tx1 =Asbarra3 + Asbarra4 % Área acero total tracc. y-y [m^2] de la sección 1

Ast_tx1 =
709.0000e-006

Área de acero total eje y-y sección 1

Ast_py1 =Asbarra2 + Asbarra4 % Área acero total compre. x-x [m^2] de la sección 1

Ast_py1 =
483.0000e-006

Ast_ty1 =Asbarra1 + Asbarra3 % Área acero total tracc. y-y [m^2] de la sección 1

Ast_ty1 =
897.0000e-006

Áreas Sección 2

Área de acero total eje x-x sección 2

Ast_px2 =Asbarra3 + Asbarra4 % Área acero total compre. x-x [m^2] de la sección 2

Ast_px2 =
709.0000e-006

Ast_tx2 =Asbarra1 + Asbarra2 % Área acero total tracc. y-y [m^2] de la sección 2

Ast_tx2 =
671.0000e-006

Área de acero total eje y-y sección 2

Ast_py2 =Asbarra1 + Asbarra3 % Área acero total compre. x-x [m^2] de la sección 2

Ast_py2 =
897.0000e-006

Ast_ty2 =Asbarra2 + Asbarra4 % Área acero total tracc. y-y [m^2] de la sección 2

```
Ast_ty2 =  
483.0000e-006
```

Chequeo de cuantía

```
disp('===== Chequeo de cuantía =====')
```

```
===== Chequeo de cuantía =====
```

```
Ro=Ast/(b*h);  
sprintf('- El valor de Ro es de: %0.5g',Ro)
```

```
ans =  
'- El valor de Ro es de: 0.010648'
```

```
if Ro < 0.04  
    disp('¡¡Cumple cuantía!!')  
else disp('¡¡No cumple cuantía!!')  
end
```

```
¡¡Cumple cuantía!!
```

```
disp('===== Deformación unitaria del concreto =====')
```

```
===== Deformación unitaria del concreto =====
```

```
ecu =.003
```

```
ecu =  
3.0000e-003
```

Cálculo de β_{ta_1} :

```
disp('===== Cálculo de Beta_1 =====')
```

```
===== Cálculo de Beta_1 =====
```

```
flag=true;  
if fc <= 28e6  
    bt1 = .85;  
elseif fc < 56e6  
    bt1 = .85-.05*(fc/1e6-28)/7;  
else  
    bt1 = 0.65;  
end  
sprintf('- El valor de Beta_1 es de: %0.5g',bt1)
```

```
ans =  
'- El valor de Beta_1 es de: 0.85'
```

```

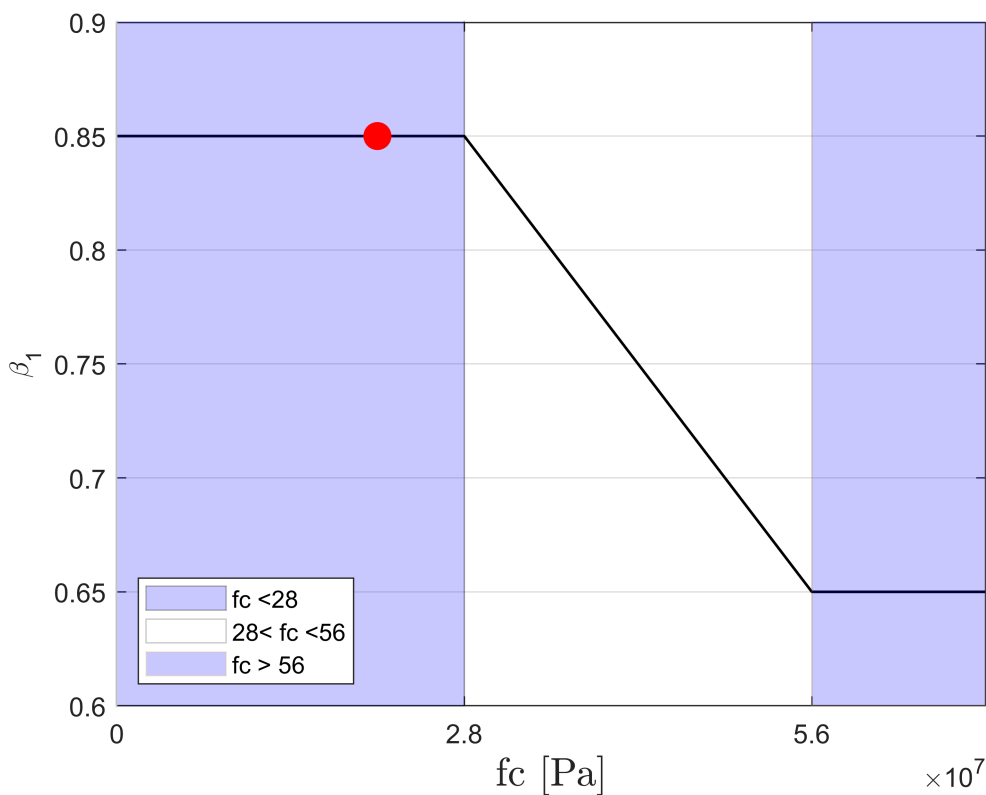
if flag == true
ves=[0 28e6 56e6 70e6]; % Fijar dobles
aa =[0 28e6 56e6:56e6:70e6];
    if fc > ves(end)
        ves=[0 28e6 56e6 fc];
        aa =[0 28e6 56e6:56e6:fc];
    end
vfi=[.85 .85 .65 .65];

plot(ves,vfi,'color',[0 0 0],'linewidth',1), grid on, hold on % Ancho de linea
f1 = fill([0 28e6 28e6 0],[.6 .6 .95 .95],'b','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[0 0 0],'FaceAlpha',.5);
f2 = fill([56e6 ves(end) ves(end) 56e6],[.6 .6 .95 .95],'r','FaceColor',[0 0 1],'EdgeColor',[.9 .9 .9],'FaceAlpha',.5);
ft = fill([-1 -2 -2 -1],[0 0 1 1],'w','EdgeColor',.8*ones(1,3)); % Color de borde
axis([0 ves(end) .6 .90])

% Punto
plot(fc,bt1,'r','marker','o','markersize',10,'MarkerFaceColor','r');
set(gca,'XTick',aa)
ylabel('\beta_1','fontsize',10) % Nombre barra en y
xlabel('fc [Pa]','fontsize',15,'interpreter','latex')

% Tabla de conversiones
legend([f1 ft f2],{'fc <28','28< fc <56','fc > 56'},'fontsize',9,'location','southwest');
end

```



3.2- Chequeo del elemento como columna

```
Pc = 0.1*fc*b*h;  
if Pu > Pc  
    disp('¡Analizar como columna!')  
else disp('¡Analizar como viga!')  
end
```

```
¡Analizar como columna!
```

A.) Falla a compresión (M=0, Pn ≠ 0)

$$P_o = .85f'_c(A_g - A_{st}) + A_{st}f_y$$

```
disp('=====')
```

```
=====
```

```
disp('A.) Falla a compresión')
```

```
A.) Falla a compresión
```

```
fic = 0.65; % Phi por compresión  
Po = .85*fc*(b*h-Ast)+Ast*fy;  
fi_Po = fic*Po;  
Pnmax = 0.75*fi_Po % Reducción de capacidad
```

```
Pnmax =  
1.3983e+006
```

```
Res_fiPnmax = Pnmax;
```

```
disp('Análisis Sección 1')
```

```
Análisis Sección 1
```

B). Análisis alrededor del eje x-x de la sección 1

```
disp('=====')
```

```
=====
```

```
disp('B.) Análisis alrededor del eje x-x sección 1')
```

```
B.) Análisis alrededor del eje x-x sección 1
```

```
ex_x1.y = Mux/Pu % Excent. eje xcon distancia y
```

```
ex_x1 = struct with fields:
  y: 500.0000e-003
```

Falla balanceada:

```
disp('Falla a balanceada')
```

```
Falla a balanceada
```

```
cb_x1 = ecu*d/(ecu+ey) % Valor de C deformación.
```

```
cb_x1 =
  177.8656e-003
```

```
eps_x1 = ecu*(cb_x1-dp)/cb_x1; % Defor. en acero a compr. e's
if eps_x1 > ey
  disp('¡Acero a compr. está en fluencia!')
  Cps_x1 = Ast_px1*fy; % C's: Fuerza en barras a comp. [N]
else
  disp('¡Acero a compr. NO está en fluencia!')
  fs_x1 = Es*eps_x1 % f's=Es*eps
  Cps_x1 = Ast_px1*fs_x1 % Ts: Fuerza en barras a comp. [N]
end
```

```
¡Acero a compr. NO está en fluencia!
fs_x1 =
  397.6000e+006
Cps_x1 =
  266.7896e+003
```

Sumatoria de fuerzas para determinar la carga axial balanceadas (Pnb):

$$\sum f_x = C_c + C'_s - T_s - P_{nb} = 0$$

```
a_x1 = bt1*cb_x1;
Cc_x1 = 0.85*fc*a_x1*b;
Ts_x1= Ast_tx1*fy;
Pnb_x1 = Cc_x1+Cps_x1-Ts_x1 % Pnb: Fuerza axial balanceada [N]
```

```
Pnb_x1 =
  940.5294e+003
```

Sumatoria de momentos en el centroide para determinar (Mnb):

$$\sum M_{\text{centro.}} = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - (h - d) \right) - M_{nb} = 0$$

```
Mnb_x1 = Cc_x1*(h-a_x1)/2 + Cps_x1*(h/2-dp) + Ts_x1*(d-h/2)
```

```
Mnb_x1 =
  169.1819e+003
```

Excentricidad balanceada (eb):

```
ex_x1.eby = Mnb_x1/Pnb_x1 % Excentricidad balanceada en y [m] (Mn=Pnb*eb)
```

```
ex_x1 = struct with fields:
```

y: 500.0000e-003
eby: 179.8795e-003

Determinar si la falla ocurre a compresión o a tracción:

```
if ex_x1.y > ex_x1.eby
    disp('Col. falla por tracción')
else
    disp('Col. falla por compresión')
    % fs = Es*eps;
    % Cps = Aps*fs; % Ts: Fuerza en barras a comp. [N]
end
```

Col. falla por tracción

Analizamos la sección:

```
syms cx_x1
eps_x1 = simplifyFraction(ecu*(cx_x1-dp)/cx_x1) % def. en el acero a comp. cx=c
```

```
eps_x1 =
3 (50 cx_x1 - 3)
50000 cx_x1
```

```
fps_x1 = simplifyFraction(Es*eps_x1) % Esf. en acero a compr
```

```
fps_x1 =
12000000 (50 cx_x1 - 3)
cx_x1
```

```
Cpsx_x1 = simplifyFraction(Ast_px1*fps_x1) % Fuerza en acero a compr.
```

```
Cpsx_x1 =
145051936798348921875 (50 cx_x1 - 3)
18014398509481984 cx_x1
```

```
Ccx_x1 = 0.85*fc*(bt1*cx_x1)*b
```

```
Ccx_x1 = 5462100 cx_x1
```

```
Tsx_x1 = Ast_tx1*fy % Fuerza en acero a tracción
```

```
Tsx_x1 =
297.7800e+003
```

Sumatoria de fuerzas

$$\Sigma F_x = C_c + C'_s - T_s - P_{nx} = 0$$

```
Pnx_x1 = Ccx_x1+Cpsx_x1-Tsx_x1 % Pnx: Fuerza axial resultante aplicada a ey
```

```
Pnx_x1 =
```

$$5462100 c_{x1} + \frac{145051936798348921875 (50 c_{x1} - 3)}{18014398509481984 c_{x1}} - 297780$$

Se toma $\Sigma M_{\text{Centr.}} = 0$ donde el momento resiste para determinar c en $\Sigma M_{\text{nx}} = P_{\text{nx}} e_y$:

$$\Sigma M_{\text{centr.}} = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C'_s \left(\frac{h}{2} - d \right) + T_s \left(d - \frac{h}{2} \right) - M_{\text{nx}} = 0$$

Se despeja la ecuación:

```
Ecua_x1 = Ccx_x1*(h-bt1*cx_x1)/2 + Cpsx_x1*(h/2-dp) + Tsx_x1*(d-h/2) - Pnx_x1*ex_x1.y;
c_x1 = double(solve(Ecua_x1==0));
ind = find(c_x1>0);
cc_x1 = c_x1(ind) % Valor de C despejado
```

```
cc_x1 =
    77.6858e-003
```

Ahora con el valor de C se chequea la deformación en el acero a compresión:

```
epsn_x1 = ecu*(cc_x1-dp)/cc_x1;
if epsn_x1 > ey
    disp('Aceroa compr. está en fluencia!')
    Cps_x1 = Ast_px1*fy; % C's: Fuerza en barras a comp. [N]
else
    disp('Acero a compr. NO está en fluencia!')
    fs_x1 = Es*epsn_x1;
    Cps_x1 = Ast_px1*fs_x1; % Ts: Fuerza en barras a comp. [N]
end
```

Acero a compr. NO está en fluencia!

```
Cc_x1 = double(subs(Ccx_x1,cc_x1)); % Resultante en el bloque de comp.
```

La fuerza resistente por la sección cuando la excentricidad alcanza e_y :

$$P_{\text{nx_x1}} = C_{\text{c_x1}} + C_{\text{ps_x1}} - T_{\text{s_x1}}$$

```
Pnx_x1 =
    218.2028e+003
```

Determinamos el valor de ϕ

```
es_x1 = .003*(d-cc_x1)/cc_x1;
% Cálculo del fi
if es_x1 <= .002
    fi_x1 = .65;
elseif es_x1 <= .005
    fi_x1 = .65+(es_x1-.002)*(250/3);
else
    fi_x1 = 0.9;
end
```

```
fipn_x1 =fi_x1*Pnx_x1
```

```
fipn_x1 =  
196.3825e+003
```

Tabla resumen

```
disp('=====Tabla Resumen=====')
```

```
=====Tabla Resumen=====
```

```
disp('=====Balancedao=====')
```

```
=====Balancedao=====
```

```
Res_Pnb_x1=Pnb_x1
```

```
Res_Pnb_x1 =  
940.5294e+003
```

```
Res_Mnb_x1=Mnb_x1
```

```
Res_Mnb_x1 =  
169.1819e+003
```

```
disp('=====Análisis de la sección=====')
```

```
=====Análisis de la sección=====
```

```
Res_Pnx_x1=Pnx_x1
```

```
Res_Pnx_x1 =  
218.2028e+003
```

```
Res_fiPnx_x1=fipn_x1
```

```
Res_fiPnx_x1 =  
196.3825e+003
```

```
=====
```

C). Análisis alrededor del eje y-y de la sección 1

Definir el número y tamaño de las varillas de acero en cada fila [cm²]

```
disp('===== =====')
```

```
===== =====
```

```
disp('C.) Análisis alrededor del eje y-y de la sección 1')
```

```
C.) Análisis alrededor del eje y-y de la sección 1
```

```
ex_y1.x = Muy/Pu
```

```
% Excent. eje y con distancia x
```

```
ex_y1 = struct with fields:  
x: 166.6667e-003
```

Falla balanceada:

```
disp('Falla a balanceada')
```

Falla a balanceada

```
cb_y1 = ecu*d/(ecu+ey)
```

```
cb_y1 =  
177.8656e-003
```

```
eps_y1 = ecu*(cb_y1-dp)/cb_y1;  
if eps_y1 > ey  
    disp('Acero a compr. está en fluencia!')  
    Cps_y1 = Ast_py1*fy; % C's: Fuerza en barras a comp. [N]  
else  
    disp('Acero a compr. NO está en fluencia!')  
    fs_y1 = Es*eps_y1  
    Cps_y1 = Ast_py1*fs_y1 % Ts: Fuerza en barras a comp. [N]  
end
```

Acero a compr. NO está en fluencia!

```
fs_y1 =  
397.6000e+006  
Cps_y1 =  
192.0408e+003
```

Sumatoria de fuerzas para determinar la carga axial balanceada (Pnb):

$$\Sigma F_x = C_c + C'_s - T_s - P_{nb} = 0$$

```
a_y1 = bt1*cb_y1;  
Cc_y1 = 0.85*fc*a_y1*b;  
Ts_y1 = Ast_ty1*fy;  
Pnb_y1 = Cc_y1+Cps_y1-Ts_y1 % Pnb: Fuerza axial balanceada [N]
```

```
Pnb_y1 =  
786.8206e+003
```

Sumatoria de momentos en el centroide para determinar (M_{nb}):

$$\sum M_{\text{centro.}} = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - (h - d) \right) - M_{nb} = 0$$

```
Mnb_y1 = Cc_y1*(h-a_y1)/2 + Cps_y1*(h/2-dp) + Ts_y1*(d-h/2)
```

```
Mnb_y1 =  
169.6873e+003
```

Excentricidad balanceada (eb):

```
ex_y1.ebx = Mnb_y1/Pnb_y1 % Excentricidad balanceada en x [m]
```

```
ex_y1 = struct with fields:  
x: 166.6667e-003  
ebx: 215.6620e-003
```

Determinar si la falla ocurre a compresión o a tracción:

```
if ex_y1.x > ex_y1.ebx
    disp('Col. falla por tracción')
else
    disp('Col. falla por compresión')
end
```

Col. falla por compresión

Analizamos la sección:

```
syms cy_y1
eps_y1 = simplifyFraction(ecu*(cy_y1-dp)/cy_y1) % def. en el acero a comp.
```

```
eps_y1 =

$$\frac{3 (50 cy_{y1} - 3)}{50000 cy_{y1}}$$

```

```
fps_y1 = simplifyFraction(Es*eps_y1) % Esf. en acero a compr.
```

```
fps_y1 =

$$\frac{12000000 (50 cy_{y1} - 3)}{cy_{y1}}$$

```

```
Cpsy_y1 = simplifyFraction(Ast_py1*fps_y1) % Fuerza en acero a compr.
```

```
Cpsy_y1 =

$$\frac{208822907521915171875 (50 cy_{y1} - 3)}{36028797018963968 cy_{y1}}$$

```

```
Ccy_y1 = 0.85*fc*(bt1*cy_y1)*b
```

```
Ccy_y1 = 5462100 cy_y1
```

```
es = simplifyFraction(ecu*(d-cy_y1)/cy_y1)
```

```
es =

$$-\frac{3 (10 cy_{y1} - 3)}{10000 cy_{y1}}$$

```

```
fs_y1 = simplifyFraction(Es*es)
```

```
fs_y1 =

$$-\frac{60000000 (10 cy_{y1} - 3)}{cy_{y1}}$$

```

```
Tsy_y1 = simplifyFraction(Ast_ty1*fs_y1) % Fuerza en acero a tracción
```

```
Tsy_y1 =
```

$$-\frac{969534927780320390625 (10 c_{y1} - 3)}{18014398509481984 c_{y1}}$$

Sumatoria de fuerzas:

$$\Sigma F_x = C_c + C'_s - T_s - P_{ny} = 0$$

$$P_{ny_y1} = C_{cy_y1} + C_{psy_y1} - T_{sy_y1} \quad \% \text{ Pnx: Fuerza axial resultante aplicada a ex}$$

$$P_{ny_y1} =$$

$$5462100 c_{y1} + \frac{969534927780320390625 (10 c_{y1} - 3)}{18014398509481984 c_{y1}} + \frac{208822907521915171875 (50 c_{y1} - 3)}{36028797018963968 c_{y1}}$$

Se toma $\Sigma M_{centr.} = 0$ donde el momento resistente para determinar c es $M_{ny} = P_{ny} e_x$:

$$\Sigma M_{centr.} = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + \left(d - \frac{h}{2} \right) - M_{nx} = 0$$

Se despeja la c de la ecuación:

```
Ecua_y1 = Ccy_y1*(h-bt1*cy_y1)/2 + Cpsy_y1*(h/2-dp) + Tsy_y1*(d-h/2) - Pny_y1*ex_y1.x;
c_y1 = double(solve(Ecua_y1==0));
ind = find(c_y1>0);
cc_y1 = c_y1(ind)
```

$$cc_y1 = 194.8280e-003$$

Ahora con el valor de C se chequea la deformación en el acero a compresión:

$$\epsilon_{sn_y1} = \frac{e_{cu} * (cc_y1 - dp)}{cc_y1}$$

$$\epsilon_{sn_y1} = 2.0761e-003$$

```
if epsn_y1 > ey
    disp('Acero a compr. está en fluencia!')
    Cps_y1 = Ast_py1*fy; % C's: Fuerza en barras a comp. [N]
else
    disp('Acero a compr. NO está en fluencia!')
    fs_y1 = Es*epsn_y1
    Cps_y1 = Ast_py1*fs_y1; % C's: Fuerza en barras a comp. [N]
end
```

Acero a compr. está en fluencia!

```
disp('Si la deformación del acero es a tracción')
```

Si la deformación del acero es a tracción

$$e_{s_y1} = \frac{e_{cu} * (d - cc_y1)}{cc_y1}$$

$$e_{s_y1} =$$

1.6195e-003

```
if es_y1 > ey
    disp('Acero a tracción está en fluencia!')
    Ts_y1 = Ast_ty1*fy; % Ts: Fuerza en barras a tracc. [N]
else
    disp('Acero a tracción NO está en fluencia!')
    fs_y1 = Es*es_y1
    Ts_y1 = Ast_ty1*fs_y1 % Ts: Fuerza en barras a tracc. [N]
end
```

Acero a tracción NO está en fluencia!

```
fs_y1 =
    323.8916e+006
Ts_y1 =
    290.5308e+003
```

```
Cc_y1 = double(subs(Ccy_y1,cc_y1)) % Resultante en el bloque de comp.
```

```
Cc_y1 =
    1.0642e+006
```

La fuerza resistente por la sección cuando la excentricidad alcanza e_y :

```
Pny_y1 = Cc_y1+Cps_y1-Ts_y1
```

```
Pny_y1 =
    976.4994e+003
```

Determinamos el valor de ϕ

```
es_y1 = .003*(d-cc_y1)/cc_y1;

% Cálculo del fi

if es_y1 <= .002
    fi_y1 = .65;
elseif es_y1 <= .005
    fi_y1 = .65+(es_y1-.002)*(250/3);
else
    fi_y1 = 0.9;
end

fipn_y1 =fi_y1*Pny_y1
```

```
fipn_y1 =
    634.7246e+003
```

Tabla resumen

```
disp('=====Tabla Resumen=====')
```

```
=====Tabla Resumen=====
```

```
disp('=====Balanceado=====')
```

```
=====Balanceado=====
```

```
Res_Pnb_y1=Pnb_y1
```

```
Res_Pnb_y1 =  
786.8206e+003
```

```
disp('=====Análisis de la sección=====')
```

```
=====Análisis de la sección=====
```

```
Res_Pny_y1 = Pny_y1
```

```
Res_Pny_y1 =  
976.4994e+003
```

```
Res_fiPny_y1 = fipn_y1
```

```
Res_fiPny_y1 =  
634.7246e+003
```

```
=====
```

```
disp('=====')
```

```
disp('Análisis de la sección 2')
```

```
Análisis de la sección 2
```

D). Análisis alrededor del eje x-x de la sección 2

```
disp('=====')
```

```
disp('B.) Análisis alrededor del eje x-x sección 2')
```

```
B.) Análisis alrededor del eje x-x sección 2
```

```
ex_x2.y = Mux/Pu % Excent. eje x con distancia y
```

```
ex_x2 = struct with fields:  
y: 500.0000e-003
```

Falla balanceada:

```
disp('Falla a balanceada')
```

```
Falla a balanceada
```

```
cb_x2 = ecu*d/(ecu+ey) % Valor de C deformación.
```

```
cb_x2 =  
177.8656e-003
```

```
eps_x2 = ecu*(cb_x2-dp)/cb_x2 % Defor. en acero a compr. e's
```

```
eps_x2 =
```

1.9880e-003

```
if eps_x2 > ey
    disp('Acero a compr. está en fluencia!')
    Cps_x2 = Ast_px2*fy;           % C's: Fuerza en barras a comp. [N]
else
    disp('Acero a compr. NO está en fluencia!')
    fs_x2 = Es*eps_x2           % f's=Es*eps
    Cps_x2 = Ast_px2*fs_x2      % Ts: Fuerza en barras a comp. [N]
end
```

```
Acero a compr. NO está en fluencia!
fs_x2 =
    397.6000e+006
Cps_x2 =
    281.8984e+003
```

Sumatoria de fuerzas para determinar la carga axial balanceadas (Pnb):

$$\sum f_x = C_c + C'_s - T_s - P_{nb} = 0$$

```
a_x2 = bt1*cb_x2;
Cc_x2 = 0.85*fc*a_x2*b;
Ts_x2 = Ast_tx2*fy;
Pnb_x2 = Cc_x2+Cps_x2-Ts_x2      % Pnb: Fuerza axial balanceada [N]
```

```
Pnb_x2 =
    971.5982e+003
```

Sumatoria de momentos en el centroide para determinar (Mnb):

$$\sum M_{\text{centro.}} = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - (h - d) \right) - M_{nb} = 0$$

```
Mnb_x2 = Cc_x2*(h-a_x2)/2 + Cps_x2*(h/2-dp) + Ts_x2*(d-h/2)
```

```
Mnb_x2 =
    169.0798e+003
```

Excentricidad balanceada (eb):

```
ex_x2.eby = Mnb_x2/Pnb_x2      % Excentricidad balanceada en y [m] (Mn=Pnb*eb)
```

```
ex_x2 = struct with fields:
    y: 500.0000e-003
    eby: 174.0223e-003
```

Determinar si la falla ocurre a compresión o a tracción:

```
if ex_x2.y > ex_x2.eby
    disp('Col. falla por tracción')
else
    disp('Col. falla por compresión')
    % fs = Es*eps;
    % Cps = Aps*fs; % Ts: Fuerza en barras a comp. [N]
end
```

Col. falla por tracción

Analizamos la sección:

```
syms cx_x2
eps_x2 = simplifyFraction(ecu*(cx_x2-dp)/cx_x2) % def. en el acero a comp. cx=c
```

$$\text{eps_x2} = \frac{3 (50 c_{x2} - 3)}{50000 c_{x2}}$$

```
fpx_x2 = simplifyFraction(Es*eps_x2) % Esf. en acero a compr
```

$$\text{fpx_x2} = \frac{12000000 (50 c_{x2} - 3)}{c_{x2}}$$

```
Cpsx_x2 = simplifyFraction(Ast_px2*fpx_x2) % Fuerza en acero a compr.
```

$$\text{Cpsx_x2} = \frac{76633251259336359375 (50 c_{x2} - 3)}{9007199254740992 c_{x2}}$$

```
Ccx_x2 = 0.85*fc*(bt1*cx_x2)*b
```

$$\text{Ccx_x2} = 5462100 c_{x2}$$

```
Tsx_x2 = Ast_tx2*fy % Fuerza en acero a tracción
```

$$\text{Tsx_x2} = 281.8200e+003$$

Sumatoria de fuerzas

$$\Sigma F_x = C_c + C'_s - T_s - P_{nx} = 0$$

```
Pnx_x2 = Ccx_x2+Cpsx_x2-Tsx_x2 % Pnx: Fuerza axial resultante aplicada a ey
```

$$\text{Pnx_x2} = 5462100 c_{x2} + \frac{76633251259336359375 (50 c_{x2} - 3)}{9007199254740992 c_{x2}} - 281820$$

Se toma $\Sigma M_{\text{Centr.}} = 0$ donde el momento resiste para determinar c en $\Sigma M_{nx} = P_{nx}e_y$:

$$\Sigma M_{\text{centr.}} = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(d - \frac{h}{2} \right) - M_{nx} = 0$$

Se despeja la ecuación:

```
Ecua_x2 = Ccx_x2*(h-bt1*cx_x2)/2 + Cpsx_x2*(h/2-dp) + Tsx_x2*(d-h/2) - Pnx_x2*ex_x2.y;
c_x2 = double(solve(Ecua_x2==0));
ind = find(c_x2>0);
cc_x2 = c_x2(ind) % Valor de C despejado
```

```
cc_x2 =  
74.5430e-003
```

Ahora con el valor de C se chequea la deformación en el acero a compresión:

```
epsn_x2 = ecu*(cc_x2-dp)/cc_x2;  
if epsn_x2 > ey  
    disp('Acero a compr. está en fluencia!')  
    Cps_x2 = Ast_px2*fy; % C's: Fuerza en barras a comp. [N]  
else  
    disp('Acero a compr. NO está en fluencia!')  
    fs_x2 = Es*epsn_x2;  
    Cps_x2 = Ast_px2*fs_x2 % Ts: Fuerza en barras a comp. [N]  
end
```

```
Acero a compr. NO está en fluencia!  
Cps_x2 =  
82.9936e+003
```

```
Cc_x2 = double(subs(Ccx_x2,cc_x2)) % Resultante en el bloque de comp
```

```
Cc_x2 =  
407.1614e+003
```

La fuerza resistente por la sección cuando la excentricidad alcanza e_y :

```
Pnx_x2 = Cc_x2+Cps_x2-Ts_x2
```

```
Pnx_x2 =  
208.3350e+003
```

Determinamos el valor de ϕ

```
es_x2 = .003*(d-cc_x2)/cc_x2;  
  
% Cálculo del fi  
  
if es_x2 <= .002  
    fi_x2 = .65;  
elseif es_x2 <= .005  
    fi_x2 = .65+(es_x2-.002)*(250/3);  
else  
    fi_x2 = 0.9;  
end  
  
fipn_x2 =fi_x2*Pnx_x2
```

```
fipn_x2 =  
187.5015e+003
```

Tabla resumen

```
disp('=====Tabla Resumen=====')
```

```
=====Tabla Resumen=====
```

```
disp('====Balancedao====')
```

```
====Balancedao====
```

```
Res_Pnb_x2=Pnb_x2
```

```
Res_Pnb_x2 =  
971.5982e+003
```

```
Res_Mnb_x2=Mnb_x2
```

```
Res_Mnb_x2 =  
169.0798e+003
```

```
disp('====Análisis de la sección====')
```

```
====Análisis de la sección====
```

```
Res_Pnx_x2=Pnx_x2
```

```
Res_Pnx_x2 =  
208.3350e+003
```

```
Res_fiPnx_x2=fipn_x2
```

```
Res_fiPnx_x2 =  
187.5015e+003
```

```
=====
```

E). Análisis alrededor del eje y-y de la sección 2

Definir el número y tamaño de las varillas de acero en cada fila [cm²]

```
disp('C.) Análisis alrededor del eje y-y de la sección 2')
```

```
C.) Análisis alrededor del eje y-y de la sección 2
```

```
ex_y2.x = Muy/Pu % Excent. eje y con distancia x
```

```
ex_y2 = struct with fields:  
x: 166.6667e-003
```

Falla balanceada:

```
disp('Falla a balanceada')
```

```
Falla a balanceada
```

```
cb_y2 = ecu*d/(ecu+ey)
```

```
cb_y2 =  
177.8656e-003
```

```
eps_y2 = ecu*(cb_y2-dp)/cb_y2
```

```
eps_y2 =
```

1.9880e-003

```
if eps_y2 > ey
    disp('Acero a compr. está en fluencia!')
    Cps_y2 = Ast_py2*fy; % C's: Fuerza en barras a comp. [N]
else
    disp('Acero a compr. NO está en fluencia!!')
    fs_y2 = Es*eps_y2;
    Cps_y2 = Ast_py2*fs_y2 % Ts: Fuerza en barras a comp. [N]
end
```

Acero a compr. NO está en fluencia!!

```
Cps_y2 =
    356.6472e+003
```

Sumatoria de fuerzas para determinar la carga axial balanceada (Pnb):

$$\Sigma F_x = C_c + C'_s - T_s - P_{nb} = 0$$

```
a_y2 = bt1*cb_y2;
Cc_y2 = 0.85*fc*a_y2*b;
Ts_y2 = Ast_ty2*fy;
Pnb_y2 = Cc_y2+Cps_y2-Ts_y2 % Pnb: Fuerza axial balanceada [N]
```

```
Pnb_y2 =
    1.1253e+006
```

Sumatoria de momentos en el centroide para determinar (M_{nb}):

$$\sum M_{\text{centro.}} = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - (h - d) \right) - M_{nb} = 0$$

```
Mnb_y2 = Cc_y2*(h-a_y2)/2 + Cps_y2*(h/2-dp) + Ts_y2*(d-h/2)
```

```
Mnb_y2 =
    168.5744e+003
```

Excentricidad balanceada (eb):

```
ex_y2.ebx = Mnb_y2/Pnb_y2 % Excentricidad balanceada en x [m]
```

```
ex_y2 = struct with fields:
    x: 166.6667e-003
    ebx: 149.8031e-003
```

Determinar si la falla ocurre a compresión o a tracción:

```
if ex_y2.x > ex_y2.ebx
    disp('Col. falla por tracción')
else
    disp('Col. falla por compresión')
end
```

Col. falla por tracción

Analizamos la sección:

```
syms cy_y2
eps_y2 = simplifyFraction(ecu*(cy_y2-dp)/cy_y2) % def. en el acero a comp.
```

$$\text{eps_y2} = \frac{3 (50 \text{cy}_{y2} - 3)}{50000 \text{cy}_{y2}}$$

```
fps_y2 = simplifyFraction(Es*eps_y2) % Esf. en acero a compr.
```

$$\text{fps_y2} = \frac{12000000 (50 \text{cy}_{y2} - 3)}{\text{cy}_{y2}}$$

```
Cpsy_y2 = simplifyFraction(Ast_py2*fps_y2) % Fuerza en acero a compr.
```

$$\text{Cpsy_y2} = \frac{193906985556064078125 (50 \text{cy}_{y2} - 3)}{18014398509481984 \text{cy}_{y2}}$$

```
Ccy_y2 = 0.85*fc*(bt1*cy_y2)*b
```

$$\text{ccy_y2} = 5462100 \text{cy}_{y2}$$

```
es = simplifyFraction(ecu*(d-cy_y2)/cy_y2)
```

$$\text{es} = \frac{3 (10 \text{cy}_{y2} - 3)}{10000 \text{cy}_{y2}}$$

```
fs_y2 = simplifyFraction(Es*es)
```

$$\text{fs_y2} = \frac{60000000 (10 \text{cy}_{y2} - 3)}{\text{cy}_{y2}}$$

```
Tsy_y2 = simplifyFraction(Ast_ty2*fs_y2) % Fuerza en acero a tracción
```

$$\text{Tsy_y2} = \frac{1044114537609575859375 (10 \text{cy}_{y2} - 3)}{36028797018963968 \text{cy}_{y2}}$$

Sumatoria de fuerzas:

$$\Sigma F_x = C_c + C'_s - T_s - P_{ny} = 0$$

```
Pny_y2 = Ccy_y2+Cpsy_y2-Tsy_y2 % Pnx: Fuerza axial resultante aplicada a ex
```

$$\text{Pny_y2} =$$

$$5462100 c_{y_2} + \frac{1044114537609575859375 (10 c_{y_2} - 3)}{36028797018963968 c_{y_2}} + \frac{193906985556064078125 (50 c_{y_2} - 3)}{18014398509481984 c_{y_2}}$$

Se toma $\Sigma M_{\text{centr.}} = 0$ donde el momento resistente para determinar c es $M_{ny} = P_{ny}e_x$:

$$\Sigma M_{\text{centr.}} = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C'_s \left(\frac{h}{2} - d \right) + \left(d - \frac{h}{2} \right) - M_{nx} = 0$$

Se despeja la c de la ecuación:

```
Ecua_y2 = Ccy_y2*(h-bt1*cy_y2)/2 + Cpsy_y2*(h/2-dp) + Tsy_y2*(d-h/2) - Pny_y2*ex_y2.x;
c_y2 = double(solve(Ecua_y2==0));
ind = find(c_y2>0);
cc_y2 = c_y2(ind)
```

```
cc_y2 =
    165.4843e-003
```

Ahora con el valor de C se chequea la deformación en el acero a compresión:

```
epsn_y2 = ecu*(cc_y2-dp)/cc_y2
```

```
epsn_y2 =
    1.9123e-003
```

```
if epsn_y2 > ey
    disp('Acero a compr. está en fluencia!')
    Cps_y2 = Aps_y2*fy; % C's: Fuerza en barras a comp. [N]
else
    disp('Acero a compr. NO está en fluencia!')
    fs_y2 = Es*epsn_y2
    Cps_y2 = Ast_py2*fs_y2 % C's: Fuerza en barras a comp. [N]
end
```

```
Acero a compr. NO está en fluencia!
fs_y2 =
    382.4567e+006
Cps_y2 =
    343.0637e+003
```

```
disp('Si la deformación del acero es a tracción')
```

Si la deformación del acero es a tracción

```
es_y2 = ecu*(d-cc_y2)/cc_y2
```

```
es_y2 =
    2.4386e-003
```

```
if es_y2 > ey
    disp('Acero a tracción está en fluencia!')
    Ts_y2 = Ast_ty2*fy % Ts: Fuerza en barras a tracc. [N]
else
    disp('Acero a tracción NO está en fluencia!')
    fs_y2 = Es*es_y2
```

```
Ts_y2 = Ast_ty2*fs_y2 % Ts: Fuerza en barras a tracc. [N]
end
```

```
Acero a tracción está en fluencia!
Ts_y2 =
    202.8600e+003
```

```
Cc_y2 = double(subs(Ccy_y2,cc_y2)) % Resultante en el bloque de comp.
```

```
Cc_y2 =
    903.8919e+003
```

La fuerza resistente por la sección cuando la excentricidad alcanza e_y :

```
Pny_y2 = Cc_y2+Cps_y2-Ts_y2
```

```
Pny_y2 =
    1.0441e+006
```

Cálculo de ϕ

```
es_y2 = .003*(d-cc_y2)/cc_y2;
% Cálculo del fi
if es_y2 <= .002
    fi_y2 = .65;
elseif es_y2 <= .005
    fi_y2 = .65+(es_y2-.002)*(250/3);
else
    fi_y2 = 0.9;
end
fipn_y2 =fi_y2*Pny_y2
```

```
fipn_y2 =
    716.8222e+003
```

Tabla resumen

```
disp('====Tabla resumen====')
```

```
====Tabla resumen=====
```

```
disp('====Balanceado=====')
```

```
====Balanceado=====
```

```
Res_Pnb_y2=Pnb_y2
```

```
Res_Pnb_y2 =
    1.1253e+006
```

```
disp('====Análisis de la sección=====')
```

```
====Análisis de la sección=====
```

```
Res_Pny_y2 = Pny_y2
```

```
Res_Pny_y2 =
```

1.0441e+006

```
Res_fiPny_y2 = fipn_y2
```

```
Res_fiPny_y2 =  
716.8222e+003
```

F). Ecuación unitaria de Bresler

$$\frac{1}{\phi P_n} = \frac{1}{\phi P_{nx}} + \frac{1}{\phi P_{ny}} - \frac{1}{\phi P_{n(max)}}$$

Chequeo No.1 - Alrededor del eje x-x sección 1

```
disp('====Chequeo No.1====')
```

```
====Chequeo No.1====
```

```
bres_1 = 1/Res_fiPnx_x1 + 1/Res_fiPny_y1 - 1/Res_fiPnmax;  
fiPn_1 = 1/bres_1
```

```
fiPn_1 =  
167.9983e+003
```

```
ISE_1 = Pu/fiPn_1
```

```
ISE_1 =  
3.5715e+000
```

```
if ISE_1 > 1  
    disp('¡La columna no chequea!')  
else  
    disp('¡La columna chequea!')  
end
```

```
¡La columna no chequea!
```

Chaqueo No.2 - Alrededor del eje y-y sección 1

```
disp('====Chequeo No.2====')
```

```
====Chequeo No.2====
```

```
bres_2 = 1/Res_fiPnx_x1 + 1/Res_fiPny_y2 - 1/Res_fiPnmax;  
fiPn_2 = 1/bres_2
```

```
fiPn_2 =  
173.2502e+003
```

```
ISE_2 = Pu/fiPn_2
```

```
ISE_2 =  
3.4632e+000
```

```
if ISE_2 > 1
```

```
disp('¡La columna no chequea!')
else
disp('¡La columna chequea!')
end
```

¡La columna no chequea!

Chequeo No.3 - Alrededor del eje x-x sección 2

```
disp('=====Chequeo No.3=====')
```

=====Chequeo No.3=====

```
bres_3 = 1/Res_fiPnx_x2 + 1/Res_fiPny_y1 - 1/Res_fiPnmax;
fiPn_3 = 1/bres_3
```

```
fiPn_3 =
    161.4563e+003
```

```
ISE_3 = Pu/fiPn_3
```

```
ISE_3 =
    3.7162e+000
```

```
if ISE_3 > 1
disp('¡La columna no chequea!')
else
disp('¡La columna chequea!')
end
```

¡La columna no chequea!

Chequeo No.4 - Alrededor del eje y-y sección 2

```
disp('=====Chequeo No.4=====')
```

=====Chequeo No.4=====

```
bres_4 = 1/Res_fiPnx_x2 + 1/Res_fiPny_y2 - 1/Res_fiPnmax;
fiPn_4 = 1/bres_4
```

```
fiPn_4 =
    166.3011e+003
```

```
ISE_4 = Pu/fiPn_4
```

```
ISE_4 =
    3.6079e+000
```

```
if ISE_4 > 1
disp('¡La columna no chequea!')
else
disp('¡La columna chequea!')
end
```

¡La columna no chequea!

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10* (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- McCormac, J. C. & Brown, R. H. (2011). *Diseño de concreto reforzado*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Wight, J. K. & MacGregor J. G. (2012). *Reinforced concrete mechanics & design*. New York: Pearson Education.

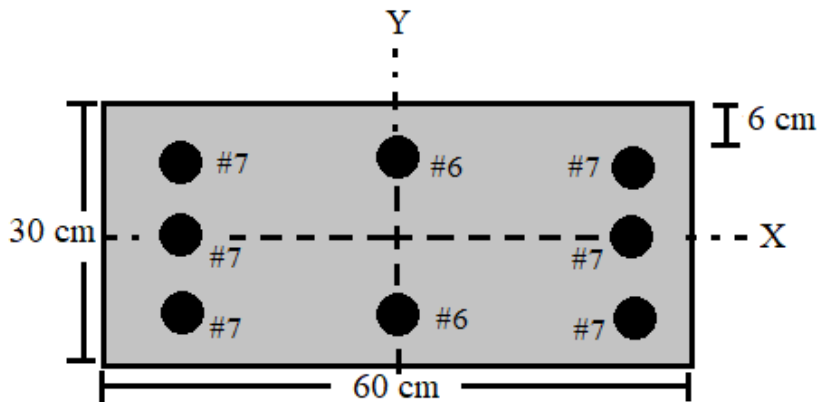
Flexio-compresión biaxial

clc, clear, close all, format shorteng

Enunciado

Calcular el $ISE = P_u / \phi P_n$ para la sección transversal de la columna. Datos:

- $b = 60$ cm
- $h = 60$ cm
- $d' = 6$ cm
- $f'_c = 21$ MPa
- $f_y = 420$ Mpa
- $E_s = 200$ Gpa
- Refuerzo = 6#7 2#6
- $P_u = 1200$ kN
- $M_{uy} = 200$ kN - m
- $M_{ux} = 350$ kN - m



L. Anexo: Guía predimensionamiento de columnas.

Predimensionamiento de Columnas

1- Introducción

En esta guía se aprenderá el procedimiento para realizar el predimensionamiento de columnas, el cual es un tema que se inicia mucho antes al diseño en detalle del elemento estructural, de igual manera se conocerán algunas generalidades que se deben tener en cuenta al momento del chequeo, análisis y construcción de la columna.

Los comandos claves utilizados en esta guía son:

```
clc, clear, close all, format shortG
```

Contenido

Predimensionamiento de Columnas.....	1
1- Introducción.....	1
2- Generalidades sobre columnas.....	1
3- Predimensionamiento.....	2
4- Ejemplo.....	3
4.1- Enunciado.....	3
4.2- Datos de entrada.....	4
Usar la sección:.....	6
4.3- Tabla resumen.....	8
5- Bibliografía.....	9

2- Generalidades sobre columnas

De acuerdo con la NSR-10 existen requisitos geométricos para las columnas de acuerdo con la capacidad de disipación de energía:

- Estructuras con capacidad de disipación de energía moderada (DMO) - NSR-10, C.21.3.5.1: La menor dimensión de la sección del elemento, medida en una línea recta que pasa a través del centroide geométrico de la sección, no debe ser menor de 25 cm.
- Estructuras con capacidad de disipación de energía especial (DME) - NSR-10, C.21.6.1.1: La menor dimensión de la sección del elemento, medida en una línea recta que pasa a través del centroide geométrico de la sección, no debe ser menor de 30 cm.

Requisito para el refuerzo:

- NSR-10, C.10.9.1 menciona que la cuantía de diseño debe estar entre 1% y 4%.
- NSR-10, C.10.9.2 menciona que el mínimo número de barras que debe existir en el refuerzo longitudinal debe ser de 4 barras ubicadas en forma rectangular o circular.

Separación y recubrimiento del refuerzo:

- NSR-10, C.7.6.3 menciona que la separación libre entre barras longitudinales **S** no debe ser menor de $1.5 d_b$, de 4 cm, ni de $\frac{4}{3}$ del tamaño del agregado grueso.
- NSR-10, C.7.7.1 establece que para proteger el refuerzo de la agresividad del medio ambiente el espesor mínimo del concreto depende de la agresividad en que se encuentre expuesto el elemento.
- Para concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo el recubrimiento no debe ser menor a 4 cm.
- Para concreto expuesto a la intemperie o expuesto al suelo el recubrimiento mínimo debe ser de 7.5 cm.

Localización de la zona de traslapo:

- En pórticos cuya demanda de ductilidad moderada, DMO, en la NSR-10, C.21.3.5.3, al restringir los traslapos para estructuras con demanda moderada de ductilidad, DMO, a la mitad central de la longitud de la columna y exigir diseñarlos como empalmes por traslapo a tracción.
- En pórticos de ductilidad especial, DES, las longitudes de empalme por traslapo se permiten únicamente en la mitad central de la longitud de la columna, deben calcularse como traslapos a tracción y deben estar confinados dentro del refuerzo transversal de acuerdo con las NSR 10, C.21.6.4.2 y NSR 10, C.21.6.4.3.

Refuerzo transversal:

- NSR-10, C.7.1.4 el diámetro mínimo de los estribos es #3 ($\frac{3}{8}$ ").
- Solo se permiten estribos de diámetro #2 ($\frac{1}{4}$ ") para estructuras con capacidad de disipación de energía mínima (DMI).
- NSR-10, C.7.1.4 es importante que los estribos de confinamiento se terminen con ganchos sísmicos de 135° o más, con una extensión de 6db pero no menor de 75mm.

3- Predimensionamiento

- Este método de predimensionamiento aplica para edificios no más de 4 pisos.
- Se puede aplicar para edificios intermedios si:

$$P_u \leq \phi P_n$$

donde $\phi_c = 0.65$

$$\phi P_{n \max} = 0.75 * \phi_c * [0.85 * f'_c * (A_g - A_{st}) + A_{st} * f_y]$$

$$\delta = 0.01 \quad f_y = 420 \text{ MPa} \quad \delta = \frac{A_{st}}{A_g} \implies \text{Cuantía mínima de 1\%}$$

$$P_u \leq 0.75 * (0.65) [0.85 * f'_c * A_g * (1 - 0.01) + 0.001A_g * f_y]$$

$$\leq 0.45 * A_g [0.85 * f'_c * (1 - 0.01) + 0.01f_y]$$

$$A_g \geq \frac{P_u}{0.4 * f'_c + 2 * 10^6} \geq \frac{P_u}{0.5 * f'_c} \geq \frac{2P_u}{f'_c}$$

$$A_g \geq \frac{2P_u}{f'_c} \implies \frac{P_u = [N]}{f'_c = [\text{MPa}]}$$

Nota: Se debe entender que una buena columna no siempre es la que tiene más acero, sino aquella que su % de refuerzo es el más bajo.

Para entender mejor lo descrito anteriormente se aplicará el siguiente ejemplo:

4- Ejemplo

4.1- Enunciado

Predimensionar las columnas del siguiente edificio:

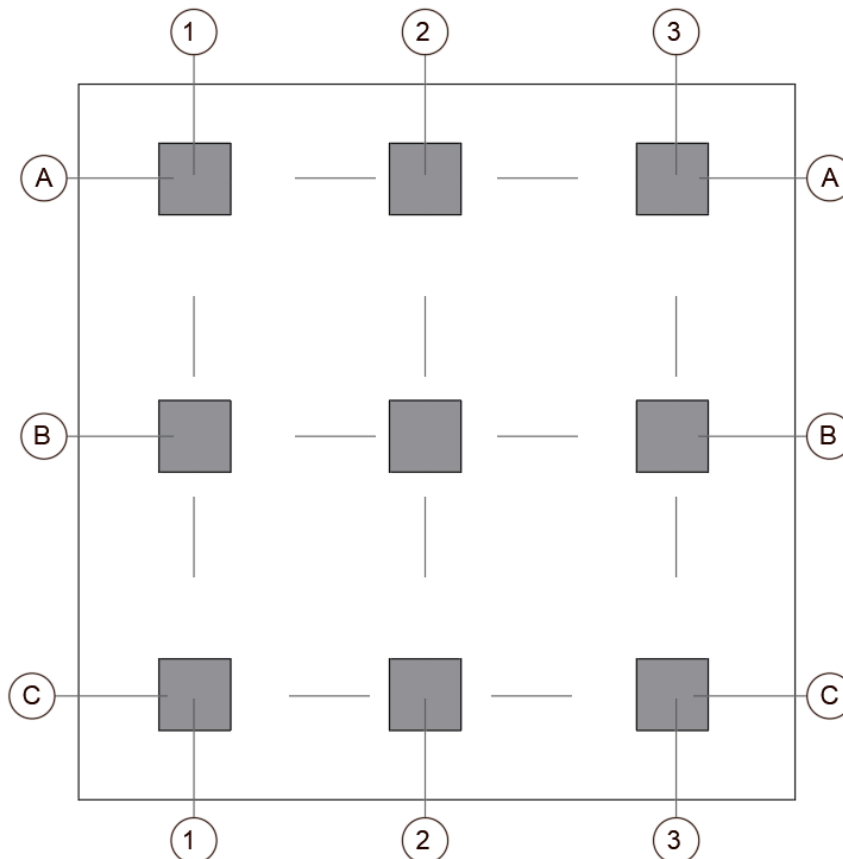


Figura 1. Vista planta

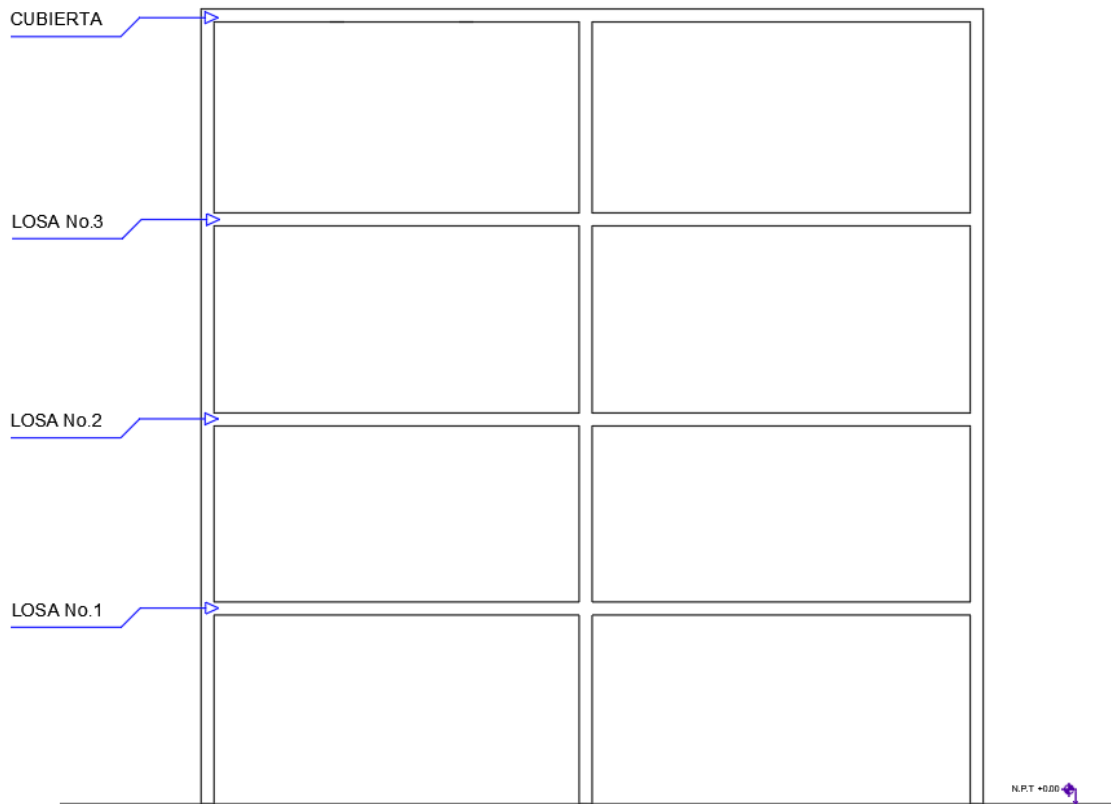


Figura 2. Vista perfil

4.2- Datos de entrada

Resistencia específica a la compresión [MPa]

$f_c = 21 \text{e}6 \text{ \% [Pa]}$

$f_c = 21000000$

Fluencia del acero [MPa]

$f_y = 420000000 \text{ \% [Pa]}$

$f_y = 420000000$

Área por piso [m²]

$A = 30 \text{ \% Área [m}^2\text{]}$

$A = 30$

Carga w por piso y cubierta

$w_p = 12$ % Carga por cada piso [kN/m²]

$w_p =$
12

$w_c = 9$ % Carga de cubierta [kN/m²]

$w_c =$
9

=====

Determinar el P_u [kN]

$P_{u_Cubierta} = (A \cdot w_c)$

$P_{u_Cubierta} =$
270

$P_{u_losa_3} = (A \cdot w_p)$

$P_{u_losa_3} =$
360

$P_{u_losa_2} = (A \cdot w_p)$

$P_{u_losa_2} =$
360

$P_{u_losa_1} = (A \cdot w_p)$

$P_{u_losa_1} =$
360

Determinar el P_u acumulado [kN]

$P_{u_acu_Cubierta} = (P_{u_Cubierta})$

$P_{u_acu_Cubierta} =$
270

$P_{u_acu_losa_3} = (P_{u_Cubierta} + P_{u_losa_3})$

$P_{u_acu_losa_3} =$
630

$P_{u_acu_losa_2} = (P_{u_Cubierta} + P_{u_losa_3} + P_{u_losa_2})$

$P_{u_acu_losa_2} =$
990

$P_{u_acu_losa_1} = (P_{u_Cubierta} + P_{u_losa_3} + P_{u_losa_2} + P_{u_losa_1})$

$P_{u_acu_losa_1} =$
1350

Determinar A_g [m²]

```
Ag_Cubierta = (2*Pu_acu_Cubierta/fc)*1000
```

```
Ag_Cubierta =  
    0.025714
```

```
Ag_losa_3 = (2*Pu_acu_losa_3/fc)*1000
```

```
Ag_losa_3 =  
    0.06
```

```
Ag_losa_2 = (2*Pu_acu_losa_2/fc)*1000
```

```
Ag_losa_2 =  
    0.094286
```

```
Ag_losa_1 = (2*Pu_acu_losa_1/fc)*1000
```

```
Ag_losa_1 =  
    0.12857
```

Determinar bxh[cm]

```
bxh_4 = round(sqrt(Ag_Cubierta),2)
```

```
bxh_4 =  
    0.16
```

```
bxh_3 = round(sqrt(Ag_losa_3),2)
```

```
bxh_3 =  
    0.24
```

```
bxh_2 = round(sqrt(Ag_losa_2),2)
```

```
bxh_2 =  
    0.31
```

```
bxh_1 = round(sqrt(Ag_losa_1),2)
```

```
bxh_1 =  
    0.36
```

Usar la sección:

=====

```
disp('Dimensiones para Columnas piso No.4')
```

```
Dimensiones para Columnas piso No.4
```

```
if bxh_4>=30;  
    Secc_4=bxh_4;  
else  
    Secc_4=0.30;  
end
```

```
sprintf('Las dimensiones de las columnas en el piso No.4 son de %0.5g [m2]',Secc_4)
```

```
ans =  
'Las dimensiones de las columnas en el piso No.4 son de 0.3 [m2]'
```

Nota: Aproxime el valor si considera necesario, de tal manera que sea una sección con dimensiones que faciliten el proceso constructivo.

```
Columna_piso4 = 0.30
```

```
Columna_piso4 =  
    0.3
```

```
=====
```

```
disp('Dimensiones para Columnas piso No.3')
```

```
Dimensiones para Columnas piso No.3
```

```
if bxx_3>=0.30;  
    Secc_3=bxh_3;  
else  
    Secc_3=0.30;  
end
```

```
sprintf('Las dimensiones de las columnas en el piso No.3 son de= %0.5g [m2]',Secc_3)
```

```
ans =  
'Las dimensiones de las columnas en el piso No.3 son de= 0.3 [m2]'
```

Nota: Aproxime el valor si considera necesario, de tal manera que sea una sección con dimensiones que faciliten el proceso constructivo.

```
Columna_piso3 = 0.30
```

```
Columna_piso3 =  
    0.3
```

```
=====
```

```
disp('Dimensiones para Columnas piso No.2')
```

```
Dimensiones para Columnas piso No.2
```

```
if bxx_2>=0.30;  
    Secc_2=(bxh_2);  
else  
    Secc_2=0.30;  
end
```

```
sprintf('Las dimensiones de las columnas en el piso No.2 son de= %0.5g [m2]',Secc_2)
```

```
ans =  
'Las dimensiones de las columnas en el piso No.2 son de= 0.31 [m2]'
```

Nota: Aproxime el valor si considera necesario, de tal manera que sea una sección con dimensiones que faciliten el proceso constructivo.

```
Columna_piso2 = 0.35
```

```
Columna_piso2 =  
    0.35
```

```
disp('Dimensiones para Columnas piso No.1')
```

```
Dimensiones para Columnas piso No.1
```

```
if bxx_1 >= 0.30;  
    Secc_1=bxx_1;  
else  
    Secc_1=0.30;  
end  
sprintf('Las dimensiones de las columnas en el piso No.1 son de= %.5g [m2]',Secc_1)
```

```
ans =  
'Las dimensiones de las columnas en el piso No.1 son de= 0.36 [m2]'
```

Nota: Aproxime el valor si considera necesario, de tal manera que sea una sección con dimensiones que faciliten el proceso constructivo.

```
Columna_piso1 = 0.40
```

```
Columna_piso1 =  
    0.4
```

4.3- Tabla resumen

```
disp('Tabla de resultados')
```

```
Tabla de resultados
```

```
NIVEL = {' Cubierta ' ; ' Losa 4 ' ; ' Losa 3 ' ; ' Losa 2 ' ;  
W = [wc;wp;wp;wp;0];  
A = [A;A;A;A;0];  
Pu = [0;Pu_Cubierta;Pu_losa_3;Pu_losa_2;Pu_losa_1];  
Pu_acumulado = [0;Pu_acu_Cubierta;Pu_acu_losa_3;Pu_acu_losa_2;Pu_acu_losa_1];  
Ag = [0;Ag_Cubierta;Ag_losa_3;Ag_losa_2;Ag_losa_1];  
bxx= [0;bxx_4;bxx_3;bxx_2;bxx_1];  
USAR= [0;Columna_piso4;Columna_piso3;Columna_piso2;Columna_piso1];
```

```
T = table(NIVEL,W,A,Pu,Pu_acumulado,Ag,bxx,USAR)
```

```
T = 5x8 table
```

	NIVEL	W	A	Pu	Pu_acumulado	Ag	bxh	USAR
1	' Cubier...	9	30	0	0	0	0	0
2	' Losa...	12	30	270	270	0.025714	0.16	0.3
3	' Losa...	12	30	360	630	0.06	0.24	0.3
4	' Losa...	12	30	360	990	0.094286	0.31	0.35
5	' Piso '	0	0	360	1350	0.12857	0.36	0.4

5- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Análisis de cargas y predimensionamiento de columnas

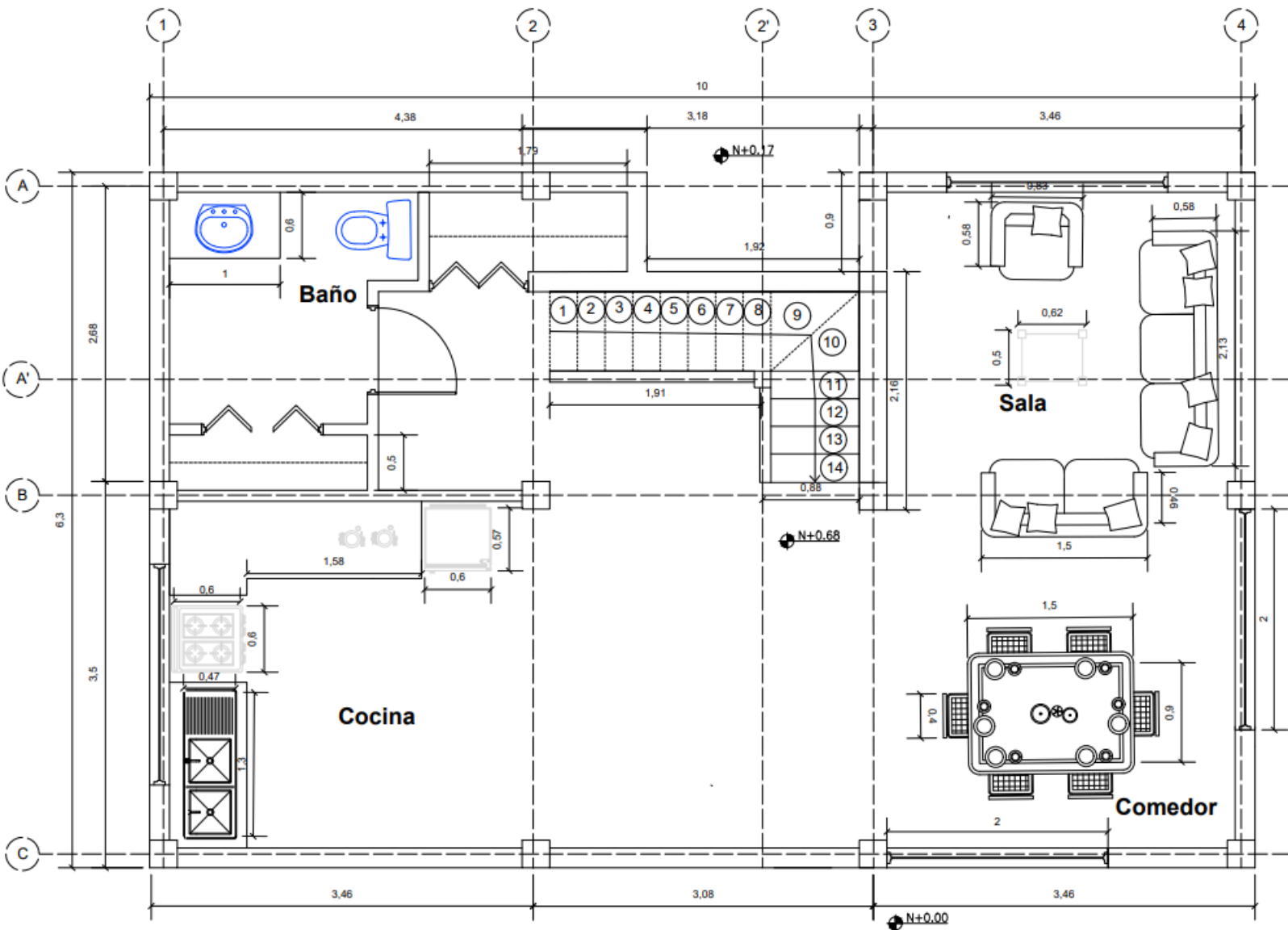
clc, clear, close all, format shortG

Enunciado

Analice las cargas y realice el predimensionamiento de las columnas para la siguiente estructura:

$$f'c = 28 \text{ MPa}, f_y = 420 \text{ MPa}$$

VISTA EN PLANTA



VISTA EN PERFIL



M. Anexo: Guía efectos de esbeltez en
elementos a compresión

Efectos de esbeltez en elementos a compresión (C.10.10. NSR-10)

1- Introducción

El diseño de una columna consiste básicamente en elegir las dimensiones de la sección transversal que sea acorde a los requerimientos normativos, con una armadura que permita soportar las combinaciones axiales mayoradas P_u y momentos mayorados M_u . En elementos esbeltos es importante evaluar los efectos de esbeltez ya que se pueden producir una significativa reducción de la capacidad axial debido al momento adicional producido por el pandeo local y/o global. En este sentido, la presente guía enseñará los aspectos teóricos que se deben tener en cuenta al momento de evaluar los efectos de esbeltez en el diseño de elementos a compresión.

Los comandos claves utilizados en esta guía son:

```
clc, clear, close all, format short
```

Tabla de contenido

Efectos de esbeltez en elementos a compresión (C.10.10. NSR-10)	1
1- Introducción	1
2- Aspectos teóricos	1
2.1- Definición	2
2.2- Evaluación aproximada de los efectos de esbeltez	3
2.2.1 Análisis de primer orden:	3
2.2.2 Análisis de segundo orden:	3
2.3- Se permite ignorar efectos de esbeltez siempre y cuando se cumpla con las siguientes condiciones	4
2.3.1- En columnas No arriostradas con pórticos laterales:	5
2.3.2- En columnas arriostradas con porticos laterales:	5
2.4- Método de amplificación de momentos	6
Cálculo de factor de magnificación	6
2.5- Metodo de magnificación de momentos en estructuras con desplazamiento lateral	7
2.6- Longitud efectiva o longitud de pandeo	8
2.7- Determinación del coeficiente de longitud efectiva k	9
3- Ejemplo	10
3.1- Enunciado	10
3.2- Datos de entrada	11
Sección de la columna	11
Fuerzas y momentos	12
Concreto	12
Acero	12
4- Bibliografía	17

2- Aspectos teóricos

2.1- Definición

Una columna es esbelta si las dimensiones de su sección transversal son pequeñas en comparación con su longitud, evento que provoca la reducción de resistencia del mismo sujeto a compresión axial o a flexo-compresión.

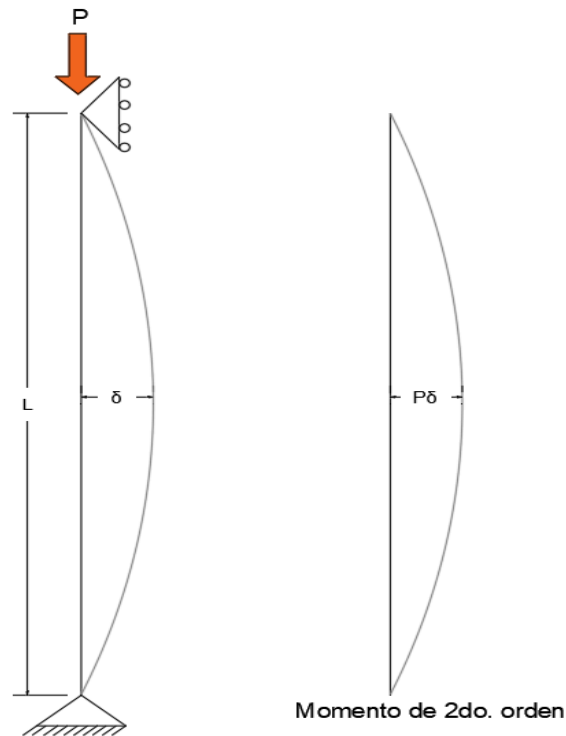


Figura 1. Momento de segundo orden en una columna sometida a expresión

Euler en 1774 dedujo la expresión que permite calcular la carga crítica de pandeo o denominada la **CARGA DE EULER**

$$P_c = \frac{\pi^2 * EI}{L^2}$$

$$\frac{P_c}{A} = \frac{\pi^2 * EI}{A * L^2}$$

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A} = \frac{\pi^2 * E(Ar^2)}{A * L^2}$$

$$\sigma_c = \frac{\pi^2 * E}{\frac{L^2}{r}} \implies \text{Donde } \frac{L}{r} \text{ se denomina la esbeltez de la columna}$$

La carga crítica de Euler es igual a:

$$P_c = \frac{\pi^2 * EI}{(kl)^2}, \quad k = \frac{1}{n}$$

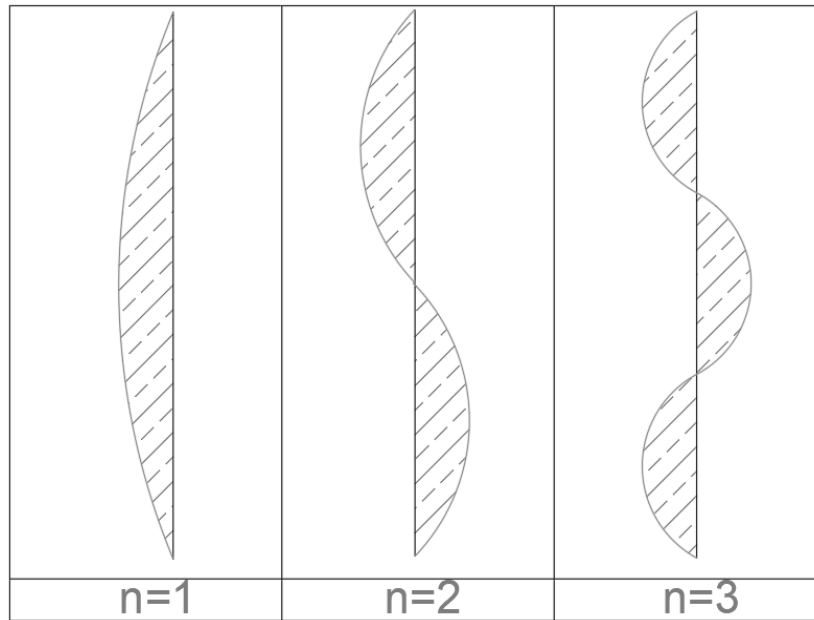


Figura 2. Valores para la variable n

Es importante saber que antes de realizar un diseño de columnas se debe hacer un análisis de esbeltez de acuerdo con lo establecido en el C.10.10 de la NSR-10, para esto se lleva a cabo los siguientes pasos:

- Análisis de primer orden para obtener P_u y M_u .
- Considerar los efectos de segundo orden para tener en cuenta las propiedades de la sección agrietada, considerando la fluencia de las cargas axiales, grietas y efectos de duración de la carga (C.10.10.4).

2.2- Evaluación aproximada de los efectos de esbeltez

- Clasificar el pórtico como arriostrado o No arriostrado.

2.2.1 Análisis de primer orden:

La ecuación de equilibrio son derivadas asumiendo que las deflexiones no tienen ningún efecto en las fuerzas internas.

2.2.2 Análisis de segundo orden:

Las ecuaciones consideran la deformación de la estructura:

- **Efecto $P - \delta$:** (Pandeo local) es el resultado de la deflexión lateral δ efectiva a los elementos que están en un PORTICO ARRIOSTRADO (Es decir que no tiene deformaciones laterales grandes, C.10.10.10.6 NSR -10)
- **Efectos $P - \Delta$:** (Efecto global) es el resultado de la deflexión lateral Δ del nodo de la columna. Este momento $P\Delta$ se da en pórticos NO ARRIOSTRADOS, C.10.10.7 NSR-10).

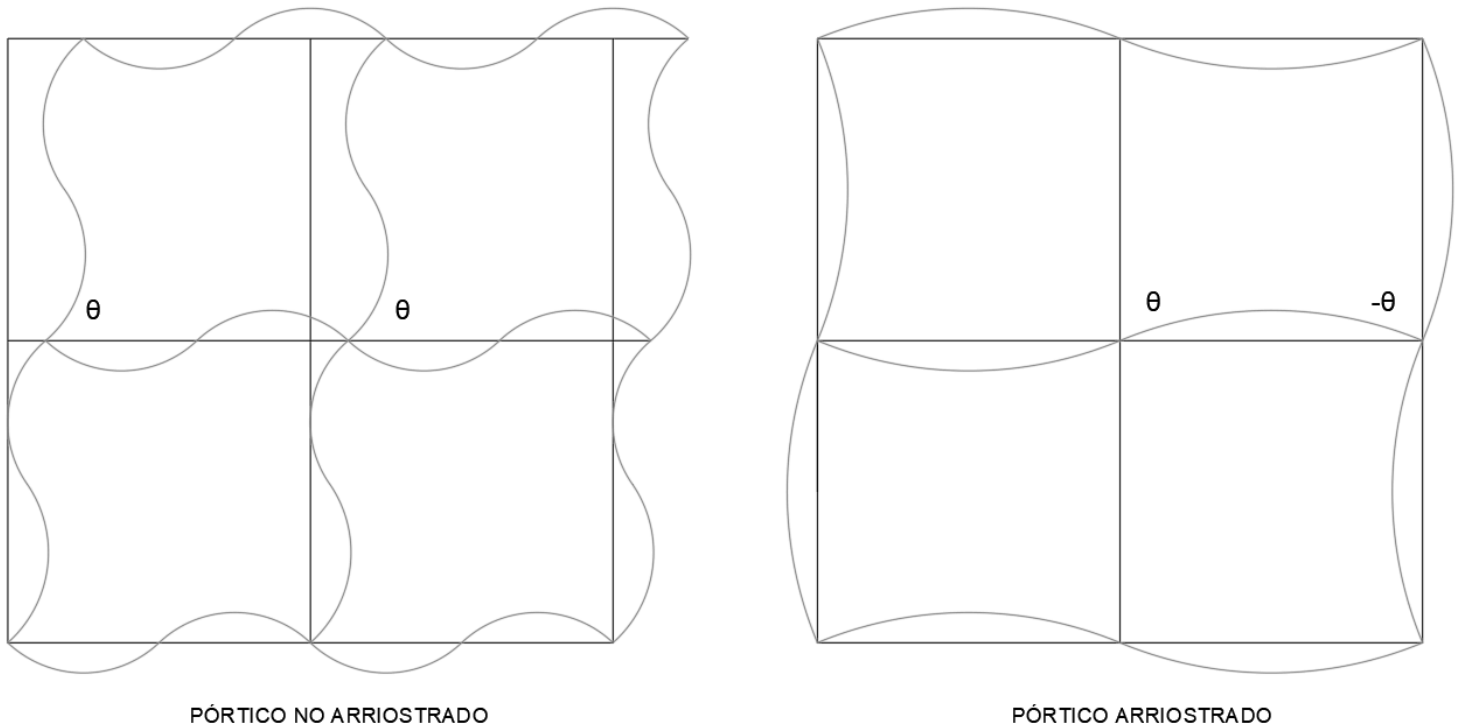


Figura 3. Pórtico No arriostrado y Arriostrado

Clasificar el tipo de pórtico que se tiene:

Se establece el grado de susceptibilidad a la flexión lateral de un piso.

$$Q = \frac{\sum P_u * \Delta o}{V_u * L_c} \leq 0.05$$

Donde:

- $\sum P_u$ = Sumatoria de las cargas axiales mayoradas de las columnas en ese piso.
- Δo = Derivas obtenidas de un análisis de primer orden
- V_u = Cortante horizontal acumulado hasta el piso en consideración
- L_u = Altura de piso medida de centro a centro.

Nota: Es importante que este procedimiento se debe realizar para todas las combinaciones de carga que incluyen sismo o viento.

Para clasificar el pórtico se tiene:

- $Q \leq 0.05 \implies$ El pórtico es **ARRIOSTRADO**, por tanto, el pórtico no sufre efectos globales ya que no tienen deflexiones laterales.
- $Q > 0.05 \implies$ El pórtico es **NO ARRIOSTRADO**, por lo tanto, se tienen en cuenta efectos globales.

2.3- Se permite ignorar efectos de esbeltez siempre y cuando se cumpla con las siguientes condiciones

2.3.1- En columnas No arriostradas con pórticos laterales:

Se pueden ignorar los efectos de esbeltez siempre y cuando se cumpla la siguiente condición:

$$\frac{K L_u}{r} \leq 22$$

Donde:

L_u = Longitud de la columna.

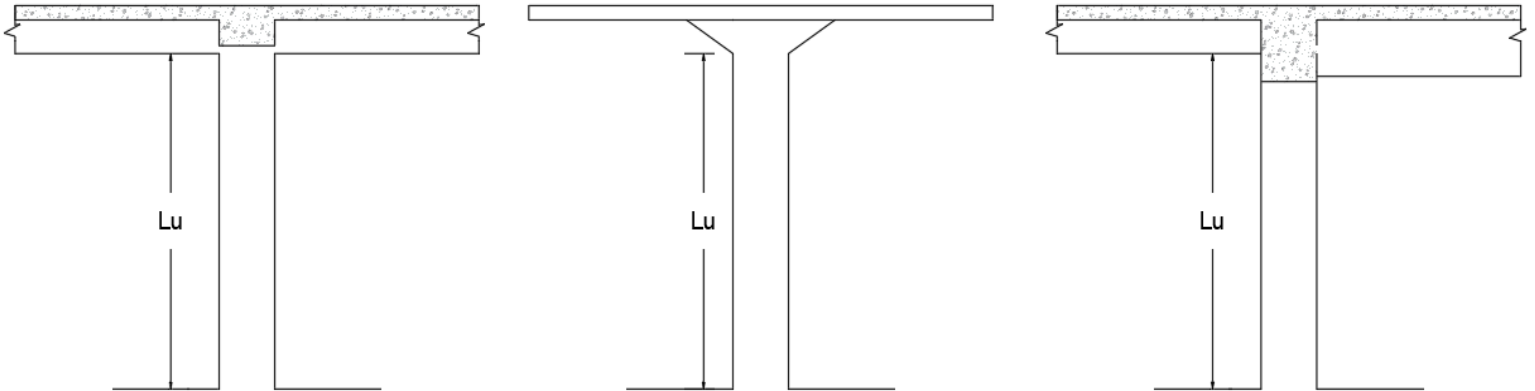


Figura 4. Valor de L_u en columnas.

r = Radio de giro el cual se puede calcular dependiendo la sección :

a.) $r = \sqrt{\frac{I_g}{A_g}}$

- I_g = Inercia de la sección
- A_g = Área de la sección

b) 0.30 veces la dimensión de la sección en la dirección en la cual se está considerando la estabilidad para columnas rectangulares.

c) 0.25 veces el diámetro de las columnas circulares.

2.3.2- En columnas arriostradas con porticos laterales:

$$\frac{K L_u}{r} \leq 34 + 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$$

Donde:

$\left(\frac{M_1}{M_2}\right) < 0$ Es negativo cuando tenemos una curvatura doble.

$\left(\frac{M_1}{M_2}\right) > 0$ Es positivo cuando tenemos una curvatura simple.

2.4- Método de amplificación de momentos

El momento mayorado utilizado en el diseño de columnas M_c , debe ser el momento mayorado de primer orden M_2 amplificado por los efectos de curvatura de miembro de acuerdo a la siguiente expresión:

$$M_c = \delta * M_2$$

Cálculo de factor de magnificación (δ)

1.) Verificación de esbeltez

$$\frac{K L_u}{r} \leq 34 + 12 \left(\frac{M_1}{M_2}\right)$$

$$\frac{K L_u}{r} \leq 40$$

2.) Módulo de Elasticidad del concreto

$$E_c = 3900 \sqrt{f'_c}$$

3.) Calculo la inercia de la sección: Momento de inercia de la sección transversal de la columna respecto al eje centroidal en consideración.

4.) Relación utilizada para calcular la reducción de rigidez de las columnas debido a las cargas axiales permanentes β

$$\beta_{dns} = \frac{\text{Carga muerta axial factorizada}}{\text{Carga axial total factorizada}}$$

5.) Calculo de la rigidez efectiva a flexión del miembro (EI)

$$EI = \frac{0.4 * E_c * I_g}{1 + \beta_{dns}}$$

6.) Calculo de la carga critica de pandeo

$$EI = \frac{\Pi^2 * EI}{\left(\frac{K}{L_u}\right)^2}$$

7.) Calculo de C_m

Factor que relaciona el diagrama real equivalente de momento uniforme C_m

a.) Para columnas sin carga trasversal aplicada entre los apoyos se tiene:

$$C_m = 0.6 + 0.4 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \geq 0.4$$

- M1=Momento menor
- M2= Momento mayor

b.) Para columnas con cargas transversales aplicadas entre los apoyos

$$C_m = 1$$

8.) Calculo del factor de magnificación δ

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0.75 * P_c}} \geq 1$$

9.) Calculo del valor minimo de M2 momento M2min

$$M_{2min} = P_u(0.6 + 0.03h)$$

Cuando $M_{2min} > M_2$, el valor de C_m se debe tomar igual a 1 o bien se debe calcular mediante la ecuación de C_m considerando el cociente de los momentos reales calculados para los extremos M_1 y M_2 .

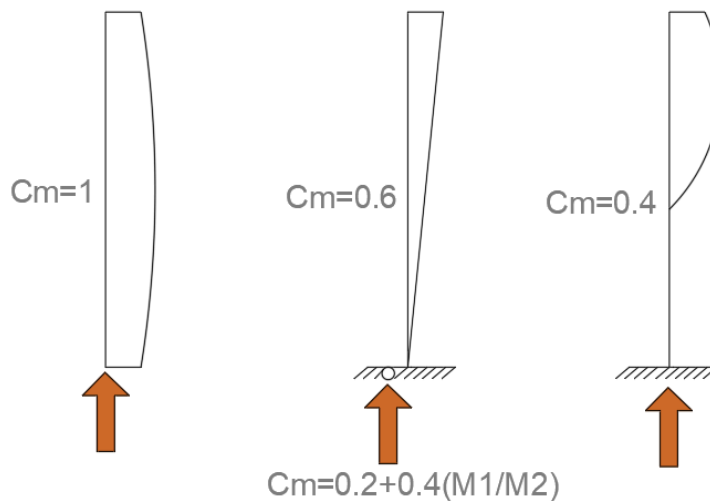


Figura 5. Valores del coeficiente C_m

2.5- Metodo de magnificación de momentos en estructuras con desplazamiento lateral

1.) Verificación de esbeltez

$$\frac{K L u}{r} \leq 22$$

2.) Calcular M₁ y M₂

Los momentos en los extremos del elemento sometido a compresión, M₁ , y M₂ , se determinan a través de las siguientes expresiones:

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s - M_{1s}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s - M_{2s}$$

Donde:

- M_{1ns} = Es el momento debido a las cargas en el extremo que no produce ladeo.
- M_{2ns} = Es el momento debido a las cargas en el extremo que produce ladeo.

Luego se tiene:

$$1 \leq \delta_s = \frac{1}{1 - Q} \leq 1.5; \quad (C. 10. 10. 7. 3)$$

Según MacGregor nos muestra que la ecuación predice apropiadamente los momentos de segundo orden en estructuras no arriostradas mientras el valor de δ no exceda 1.5

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0.75 * \Sigma P_c}} \geq 1$$

Donde:

- ΣP_u = Sumatoria de las cargas axiales mayoradas de un piso.
- ΣP_c = Sumatoria de la carga crítica de un pandeo de Euler en el piso en consideración $P_c = \frac{\Pi^2 * EI}{(kl)^2}$

2.6- Longitud efectiva o longitud de pandeo (kl)

La deformada se muestra en la línea mas clara							
	Valor de k	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0

Figura 5. Valor del factor de longitud efectiva para algunas condiciones típicas de apoyo

Los valores para K mostrada en la figura son para columnas ideales, sin embargo para hallar el valor de este coeficiente en columnas reales se debe seguir el siguiente procedimiento:

2.7- Determinación del coeficiente de longitud efectiva k

La rigidez al giro en dos nodos no se puede sumar como un empotramiento ni como una articulación, por tanto, usamos el diagrama de Jackson y Moreland.

$$\psi_T = \frac{\sum \frac{E_c * I_c}{L_c} \Rightarrow \text{Columna}}{\sum \frac{E_v * I_v}{L_v} \Rightarrow \text{Viga}}$$

Donde:

- I_C =Momento de inercia de la columna
- I_V =Momento de inercia de la viga
- L_C =Longitud de la columna. entre ejes
- L_V =Longitud de la viga. entre ejes
- E_C, E_V =Módulo de elasticidad de las columnas y vigas, respectivamente.

Nota:

- Para hallar el valor de la inercia de la sección tanto de la columna como la viga tenemos:

$$I_C = \frac{b * h^3}{12} \Rightarrow \text{Columna} ; \quad I_V = \frac{b * h^3}{12} \Rightarrow \text{Viga}$$

- Si es de requerirse analizar la sección como agrietada se tiene:

$$I_C = \frac{b * h^3}{12} * 0.70 \Rightarrow \text{Columna} ; \quad I_V = \frac{b * h^3}{12} * 0.35 \Rightarrow \text{Viga}$$

Nota: Se permiten calcular los efectos de esbeltez usando el procedimiento de magnificación de momentos de acuerdo a lo mencionado en el C.10.10.6 y C.10.10.7.

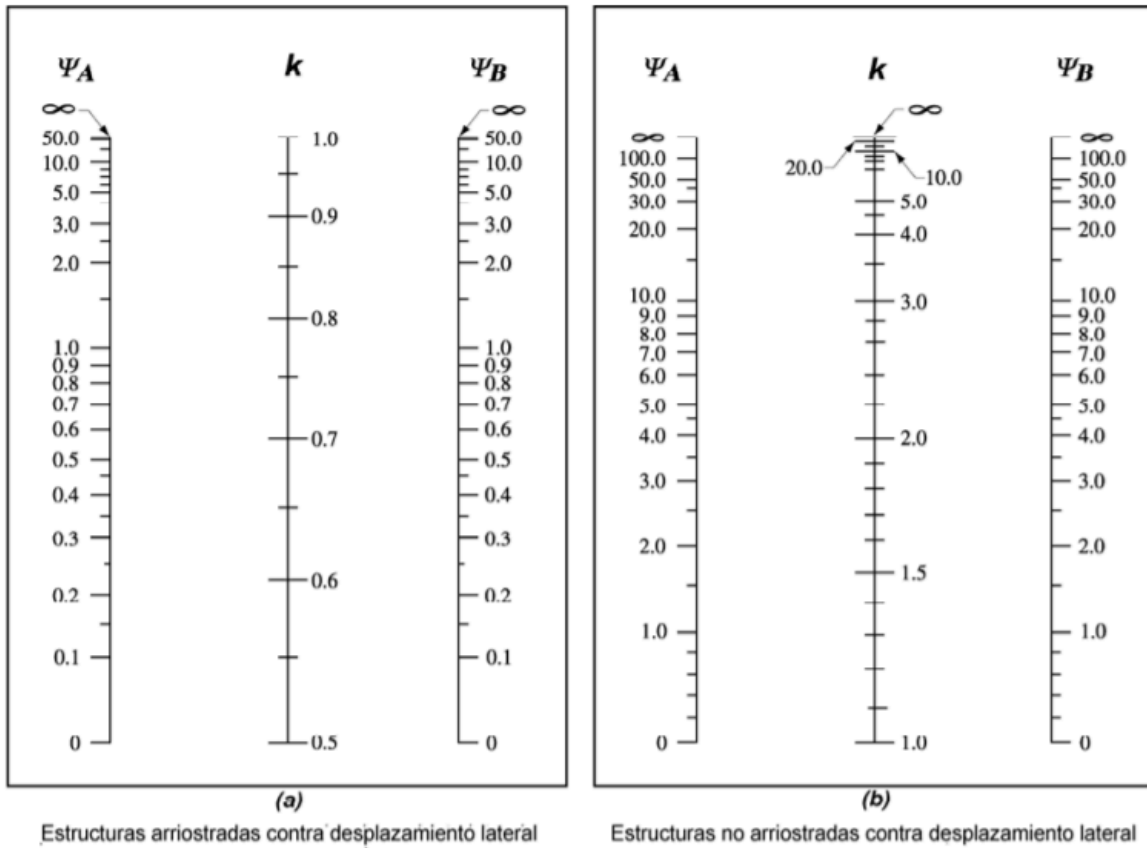
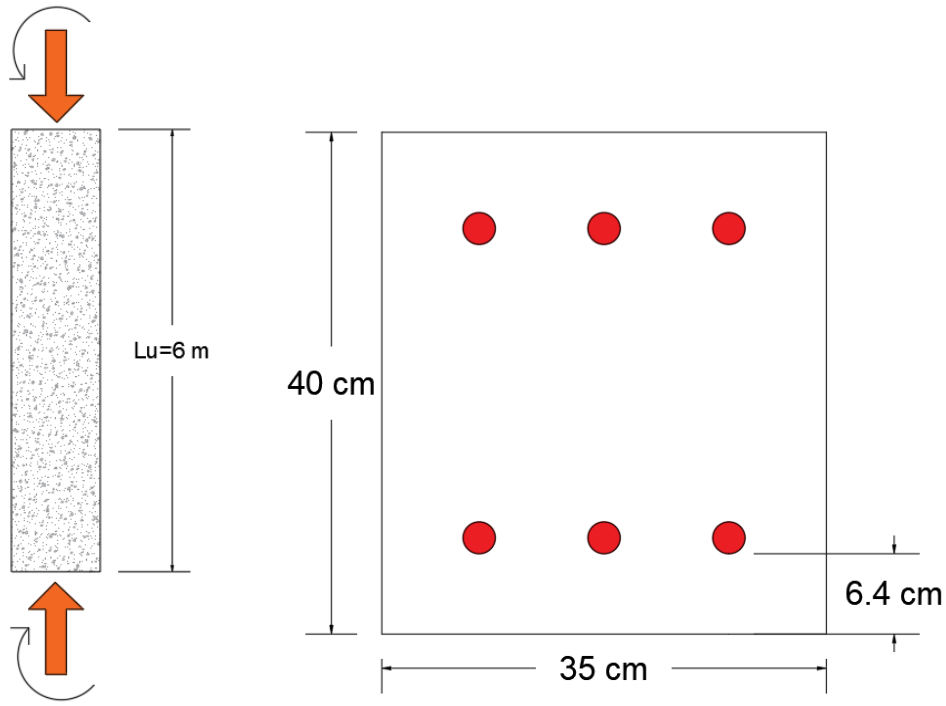


Figura 6. Nomogramas de Jackson y Moreland.

3- Ejemplo

3.1- Enunciado

Determinar el refuerzo de la columna de pórtico arriostrado que flexa sobre eje x:



3.2- Datos de entrada

Sección de la columna

- Base de la columna

b= 0.30 % base=(m)

b = 0.3000

- Altura de la columna

h= 0.35 % (m)

h = 0.3500

- Recubrimiento

rec= 0.064 % (m)

rec = 0.0640

- Longitud libre de la columna

Lu= 6 % (m)

Lu = 6

- ϕ a compresión

fi= 0.65

fi = 0.6500

Fuerzas y momentos

- Carga axial muerta factorizada

Po= 140 % (kN)

Po = 140

- Carga axial total factorizada

Pu= 600 % (kN)

Pu = 600

- M1 y M2

MiA=100 % (kN-m)

MiA = 100

MiB=120 % (kN-m)

MiB = 120

Concreto

Resistencia especifica a la compresión

fc= 28e6; % esf. max compresion (Pa)

Acero

Fluencia del acero

fy= 420000000

fy = 420000000

No. caras=2 % Número de caras de la columna con aceros

No = struct with fields:
caras: 2

Factor de k

K= 0.83

K = 0.8300

- Radio de giro de la sección transversal C.10.10.1.2

$$r=0.3*h$$

$$r = 0.1050$$

- Verificar la esbeltez

$$a=(K*Lu)/r , \text{ disp('Relación de esbeltes efectiva')}$$

$$a = 47.4286$$

Relación de esbeltes efectiva

$$c=34-12*(MiA/MiB)$$

$$c = 24$$

```
if a<c
    disp('LA COLUMNA NO ESBELTA')
else
    disp('LA COLUMNA ES ESBELTA')
end
```

LA COLUMNA ES ESBELTA

- Determinar el módulo de elasticidad del concreto [GPa]

$$E_c=3900*(f_c)^{0.5}$$

$$E_c = 2.0637e+07$$

- Calcular del Momento de inercia [m4]

$$I_g=(b*h^3)/12, \text{ disp('m4')}$$

$$I_g = 0.0011$$

m4

- Relación de carga axial

$$B_d=(1.2*P_o)/P_u$$

$$B_d = 0.2800$$

```
if B_d>1
    disp('NO CHEQUEA B_d>1')
else
    disp('OK CHEQUEA B_d<1')
end
```

OK CHEQUEA B_d<1

- Calcular EI alternativo

```
EI=(0.4*Ec*Ig)/(1+Bd), disp('N-m2')
```

```
EI = 6.9125e+03
N-m2
```

- Determinar la carga de pandeo de Euler

```
Pc=(pi^2*EI)/(K*Lu)^2, disp('N-m2')
```

```
Pc = 2.7509e+03
N-m2
```

- Chequear de Mmin

```
M2min=Pu*(0.6+0.03*(h)), disp('kN-m')
```

```
M2min = 366.3000
kN-m
```

```
if M2min<MiB
    disp('CHEQUEA M2min<MiB')
else
    disp(' NO CHEQUEA M2min>MiB')
    disp(' SE ASUME UN FACTOR DE MODIFICACION Cm=1.0')
end
```

```
NO CHEQUEA M2min>MiB
SE ASUME UN FACTOR DE MODIFICACION Cm=1.0
```

- Calcular el factor de modificación

```
Cm=0.6+0.4*(MiA/MiB)
```

```
Cm = 0.9333
```

```
if M2min>MiB
    Cm=1
else
    if Cm>0.4
        disp(' CHEQUEA Cm > 0.4')
    else
        disp('NO CHEQUEA Cm < 0.4')
    end
end
```

```
Cm = 1
```

- Factor Amplificador de Momento (Estima el efecto de la curvatura del miembro)

$$d=Cm/(1-(Pu/(0.75*Pc)))$$

$$d = 1.4101$$

- Momento de diseño

$$Mc=d*MiB, \text{ disp(' (N-m) ')}$$

$$Mc = 169.2074$$

(N-m)

- Excentricidad amplificada

$$e=Mc/Pu, \text{ disp(' m ')}$$

$$e = 0.2820$$

m

- Porcentaje distancia entre varillas

$$rh=(h*100-(2*6.4))/h/100$$

$$rh = 0.6343$$

$$Pn=Pu/fi$$

$$Pn = 923.0769$$

$$Kn=Pn/(fc/1000*b*h)$$

$$Kn = 0.3140$$

$$Rn=(Pn*e)/(fc/1000*b*h^2)$$

$$Rn = 0.2530$$

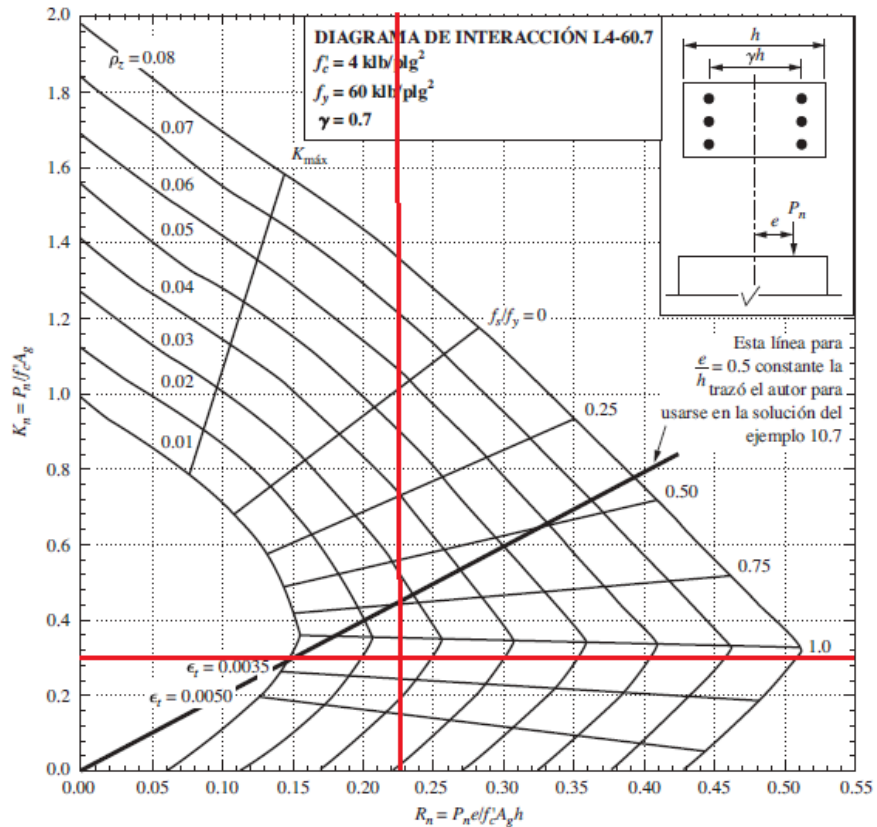


Figura 10.15 Diagramas de interacción del ACI para columnas rectangulares con varillas a lo largo de dos caras frontales. (Permiso del American Concrete Institute.)

- Determinar el valor de la cuantía

$$P_g = 0.025$$

$$P_g = 0.0250$$

- Área de acero longitudinal requerido para la sección

$$A_s = P_g * (b * h * 10000), \text{ disp(' (cm2)')}$$

$$A_s = 26.2500 \text{ (cm2)}$$

Propuesta de acero

Cantidad de aceros

$$N_a = 6$$

$$N_a = 6$$

Tipo de acero

$$N_{ac} = [510/1000^2]$$

Nac = 5.1000e-04

Verificación:

```
Agf=(Na*Nac)*100^2
```

Agf = 30.6000

```
if Agf>As
    disp('CHEQUEA Agf>Ag')
else
    disp(' NO CHEQUEA Agf<Ag')
    disp(' PROPONERSE MAYOR CANTIDAD DE ACEROS O AUMENTAR EL DIAMETRO')
end
```

CHEQUEA Agf>Ag

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10* (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Rochel, R. A. (2012). *Análisis y diseño sísmico de edificios*. Medellín: Fondo editorial universidad EAFIT.
- McCormac, J. C. & Brown, R. H. (2011). *Diseño de concreto reforzado*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Moehle, J. (2015). *Seismic desing of reinforced concrete buildings*. New York: McGraw-Hill Education.

Efectos de esbeltez en elementos a compresión

1- Introducción

El diseño de una columna consiste básicamente en elegir las dimensiones de la sección transversal que sea acorde a los requerimientos normativos, con una armadura que permita soportar las combinaciones axiales mayoradas P_u y momentos mayorados M_u . En elementos esbeltos es importante evaluar los efectos de esbeltez ya que se pueden producir una significativa reducción de la capacidad axial debido al momento adicional producido por el pandeo local y/o global. En este sentido, la presente guía enseñará los aspectos teóricos que se deben tener en cuenta al momento de evaluar los efectos de esbeltez en el diseño de elementos a compresión.

Los principales comandos usados en esta guía son:

```
clc, clear, close all, format short
```

2- Enunciado

Diseñar el acero longitudinal para la columna e-d de portico riostrado teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

$$f'_c = 28 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

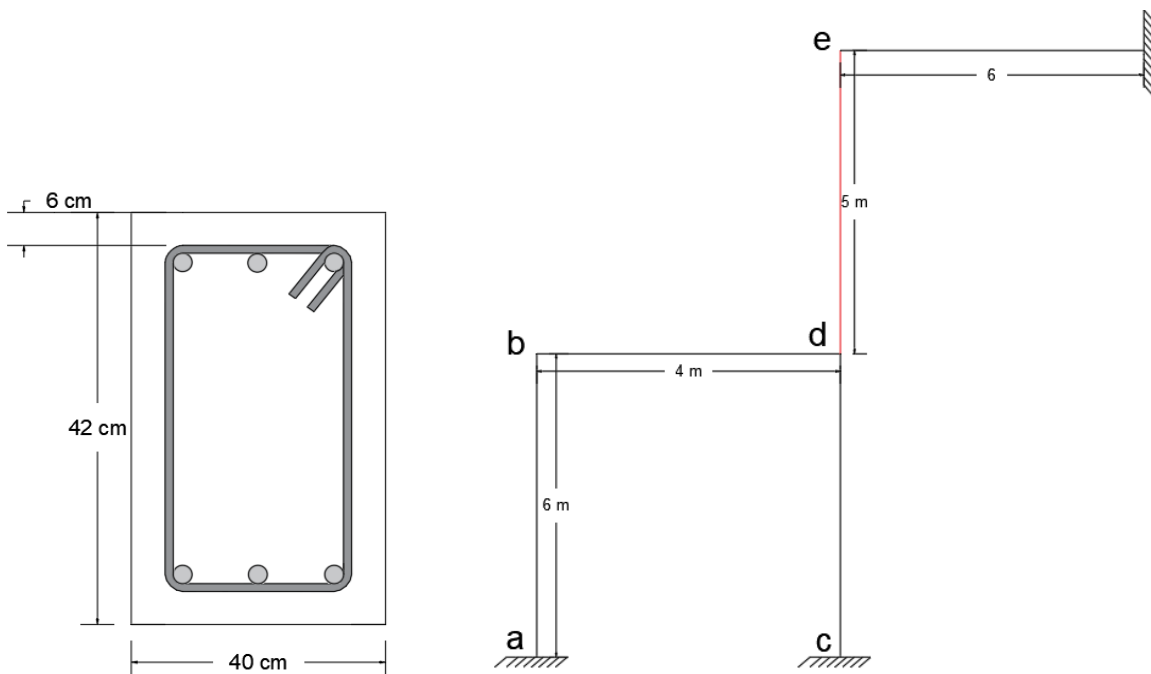


Figura 1. Portico y sección a evaluar

2.1- Datos de entrada

- **Sección de la columna**

Base de la columna

b= 0.40 % (m)

b = 0.4000

Altura

h= 0.42 % (m)

h = 0.4200

- **Sección de la viga**

Base de la viga

b_viga= 0.30 %(m)

b_viga = 0.3000

Altura de la viga

h_viga= 0.40 %(m)

h_viga = 0.4000

- **Cargas y Momentos**

Po= 700 %(kN)

Po = 700

Pu= 2500 %(kN)

Pu = 2500

MiA=250 %(kN-m)

MiA = 250

MiB=100 %(kN-m)

MiB = 100

- **Propiedades de los materiales**

Concreto

fc= 28e6 %(Pa)

fc = 28000000

Acero

$$f_y = 420000000 \text{ (Pa)}$$

$$f_y = 420000000$$

ϕ compresión

$$f_i = 0.65 \text{ (compresión)}$$

$$f_i = 0.6500$$

2.2- Determinar el factor de longitud k para la columna en estudio

$$\psi = \frac{\sum E_c I_c / \ell_c}{\sum E_b I_b / \ell_b}$$

$$\text{columna} = ((b) * (h)^3 / 12)$$

$$\text{columna} = 0.0025$$

$$\text{viga} = ((b_{\text{viga}}) * (h_{\text{viga}})^3 / 12)$$

$$\text{viga} = 0.0016$$

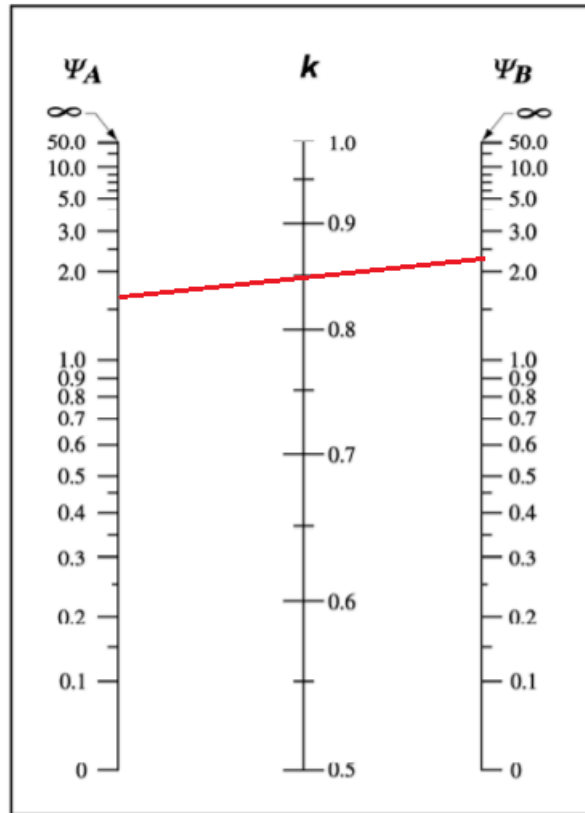
$$\psi_a = (\text{columna} / 5) / (\text{viga} / 6)$$

$$\psi_a = 1.8522$$

$$\psi_b = ((\text{columna} / 5) + (\text{columna} / 6)) / (\text{viga} / 4)$$

$$\psi_b = 2.2638$$

Del nomograma obtenemos:



(a)

Estructuras arriostradas contra desplazamiento lateral

```
K= 0.85 %K=('FACTOR:')
```

```
K = 0.8500
```

2.3- Realizar el análisis por esbeltez de la columna d-e y determinar el índice de mayoración requerido

$$\frac{k\ell_u}{r} \leq 34 - 12(M_1/M_2) \leq 40$$

```
r=0.3*h;
sprintf('El valor del radio de giro transversal es: %0.5g',r)
```

```
ans =
'El valor del radio de giro transversal es: 0.126'
```

```
Lu= 5; % Lu=(Digitar la longitud de la columna en estudio en m)
```

```
a=(K*Lu)/r;
sprintf('La relación de esbeltez efectiva es: %0.5g',a)
```

```
ans =
'La relación de esbeltez efectiva es: 33.73'
```


$$c=34-12*(-MiA/MiB)$$

$$c = 64$$

```
if a<=c
    disp('LA COLUMNA NO ES ESBELTA')
else
    disp('LA COLUMNA ES ESBELTA')
end
```

LA COLUMNA NO ES ESBELTA

- Momento de diseño

$$Mc=MiB$$

$$Mc = 100$$

2.4- Determinar el refuerzo longitudinal

$$e=Mc/Pu$$

$$e = 0.0400$$

$$Pn=(Pu)/fi \quad \% \text{ (kN)}$$

$$Pn = 3.8462e+03$$

$$Kn=Pn/(fc/1000*b*h)$$

$$Kn = 0.8176$$

$$Rn=(Pn*e)/(fc/1000*b*(h^2))$$

$$Rn = 0.0779$$

```
% No. caras 2
disp('Dagrama de iteracion ACI para columnas rectangulares con varillas en dos caras')
```

Dagrama de iteracion ACI para columnas rectangulares con varillas en dos caras

```
disp('DOS CARAS')
```

DOS CARAS

```
disp('f´c=28MPa ----- fy=420MPa ')
```

f´c=28MPa ----- fy=420MPa

Kn

$$Kn = 0.8176$$

Rn

$$R_n = 0.0779$$

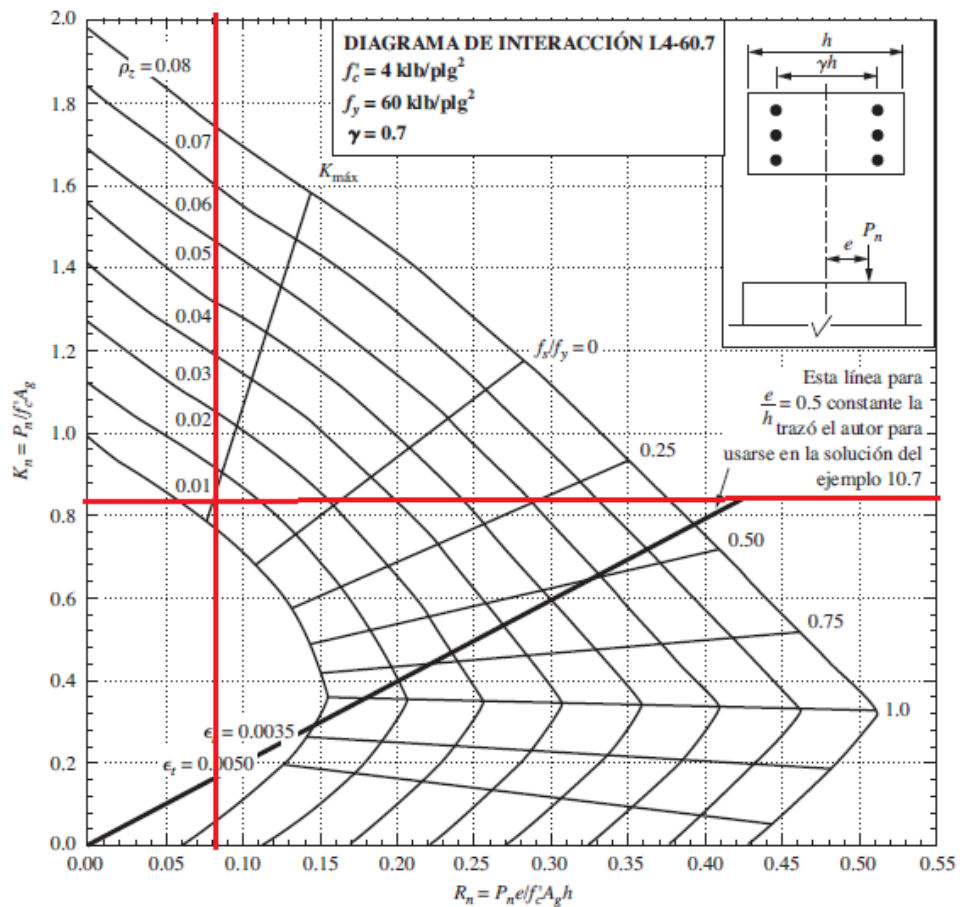


Figura 10.15 Diagramas de interacción del ACI para columnas rectangulares con varillas a lo largo de dos caras frontales. (Permiso del American Concrete Institute.)

Determinar el valor de P_g en el diagrama de interacción para columnas

$P_g = 0.015$ % PORCENTAJE MINIMO DE AREA DE ACERO LONGITUDINAL- Es la cuantía

$$P_g = 0.0150$$

Área de acero longitudinal requerido para la sección (cm²)

$A_s = P_g * (b * h * 10000)$ % área de acero mínima longitudinal en cm²

$$A_s = 25.2000$$

2.5- Propuesta de acero para la columna

Cantidad de aceros

$$N_a = 6$$

$$N_a = 6$$

Tipo de acero

$$N_{ac} = [510 / 1000^2]$$

Nac = 5.1000e-04

Verificación:

```
Agf=(Na*Nac)*100^2
```

Agf = 30.6000

```
if Agf>As
    disp('CHEQUEA Agf>Ag')
else
    disp(' NO CHEQUEA Agf<Ag')
    disp(' PROPONERSE MAYOR CANTIDAD DE ACEROS O AUMENTAR EL DIAMETRO')
end
```

CHEQUEA Agf>Ag

3- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10* (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Efectos de esbeltez en elementos a compresión

clc, clear, close all, format short

Enunciado

Diseñar el acero longitudinal para la columna g - h de portico riostrado teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

$$f'c = 28 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$P_u = 1500 \text{ kN}$$

$$P_d = 500 \text{ kN}$$

$$M_{1b} = 150 \text{ kN} - m \text{ (Momento mayorado de arriba)}$$

$$M_{2b} = 180 \text{ kN} - m \text{ (Momento mayorado de abajo)}$$

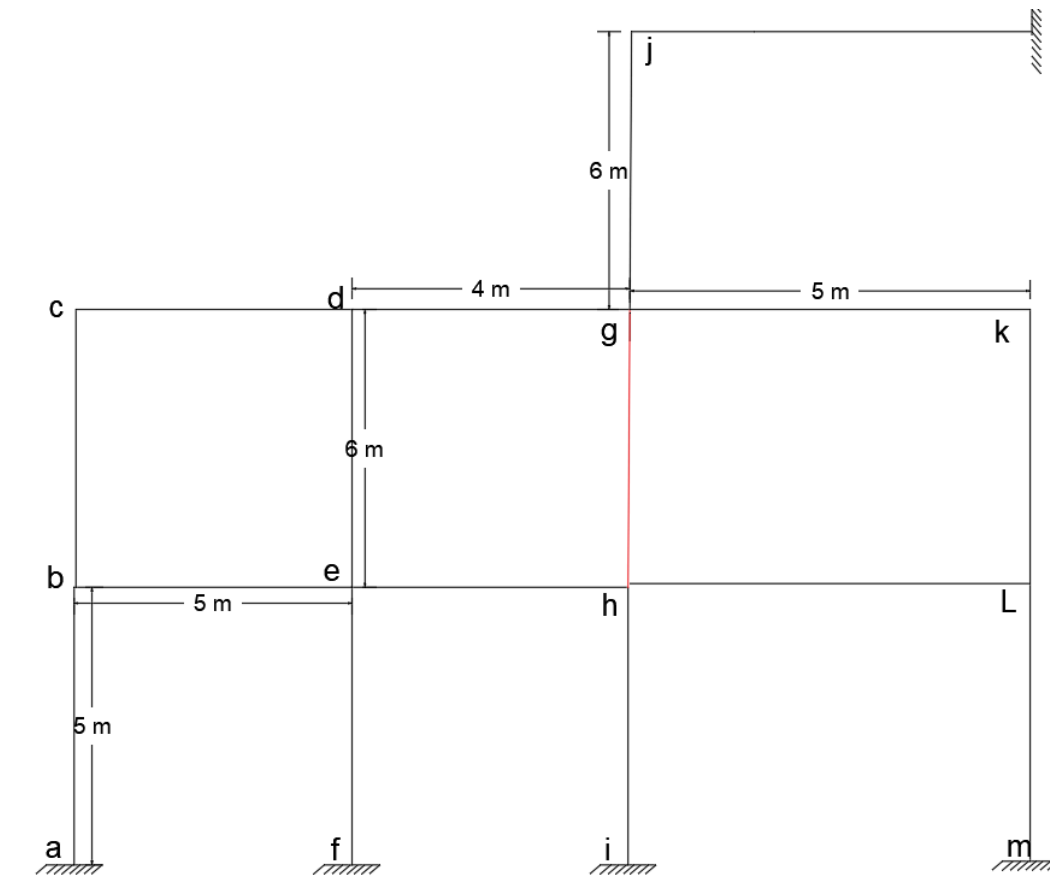


Figura 1. Portico a evaluar

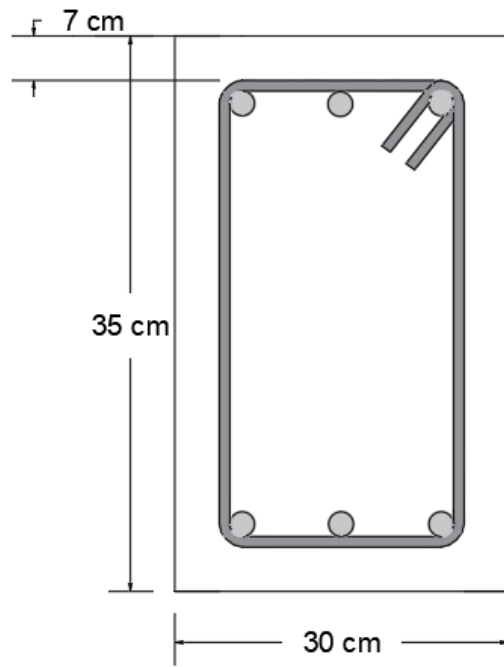


Figura 2. Sección a evaluar

N. Anexo: Guía esfuerzo cortante en columnas.

Esfuerzo cortante en columnas

1- Introducción:

Esta guía explica los aspectos teóricos acerca de los esfuerzos cortantes en las columnas.

Los comandos claves utilizados en esta guía son:

```
clc, clear, close all, format short
```

Contenido

Esfuerzo cortante en columnas.....	1
1- Introducción:.....	1
2- Aspectos teóricos sobre el diseño a cortante en columnas.....	1
2.1- Tipos de refuerzo.....	1
2.1.2- Refuerzo longitudinal o principal.....	1
2.1.2- Refuerzo transversal.....	2
2.2 Cortante de plastificación.....	2
2.3- Esfuerzo cortante soportado por el concreto (C.11.2.12).....	3
2.4 - Esfuerzo cortante soportado por el refuerzo.....	3
2.4.1 - Caso No.1 Se requiere del acero para resistir cortante.....	3
2.4.2 - Caso No.2 La cortante se encuentra en la mitad de lo que resiste el concreto.....	4
2.4.3 - Caso No.3 La cortante es muy pequeña por lo tanto la puede resistir.....	4
3- Ejemplo No.1.....	4
4- Desarrollo.....	5
4.1- Datos de entrada.....	5
Sección de la columna.....	5
Propiedades del concreto.....	6
Propiedades del acero.....	6
4.2- Acero Longitudinal.....	7
4.3- Establecer la cortante con la que se va a diseñar.....	8
4.4- Despiece de columna.....	16
Bibliografía.....	16

2- Aspectos teóricos sobre el diseño a cortante en columnas

2.1- Tipos de refuerzo

Existen dos tipos de refuerzo en las columnas:

2.1.2- Refuerzo longitudinal o principal

Constituido por barras de acero longitudinales, para lelas al eje de la columna. Aumentan la capacidad a la flexo-compresión y reduce la retracción de fraguado por temperatura y el flujo plástico. También mejora el confinamiento del concreto (Rochel,2012).

2.1.2- Refuerzo transversal

Constituido por barras de acero longitudinales, para lelas al eje de la columna. Aumentan la capacidad a la flexo-compresión y reduce la retracción de fraguado por temperatura el flujo plástico. también mejora el confinamiento del concreto (Rochel,2012).

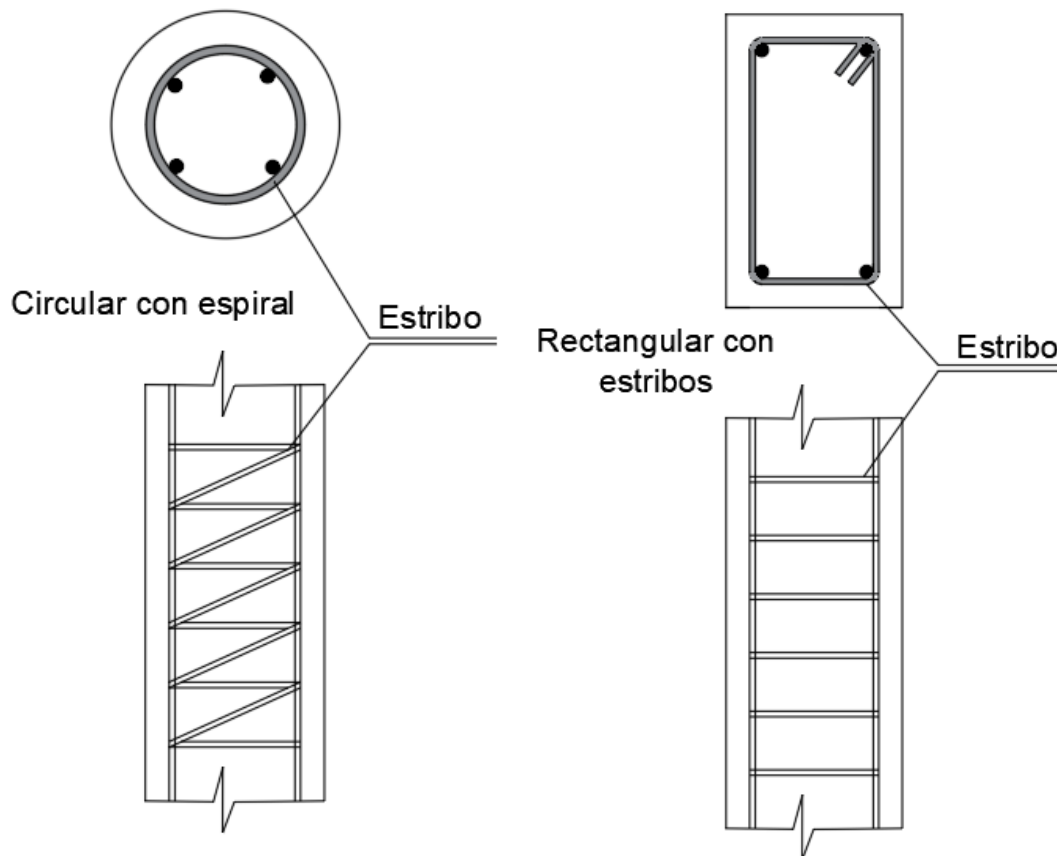


Figura 1. Tipos de columnas. Tomado de: (Rochel,2012)

2.2 Cortante de plastificación

Para el diseño se realiza con cargas mayoradas en las cuales se obtiene $V_u - M_u - P_u - T_u$ de acuerdo con la sección C.21.6.5.1 de la NSR-10. La cortante de plastificación V_e se determina a partir de los momentos nominales calculados para la carga mayor cada que deduce al máximo momento que actúa en la cara del nudo.

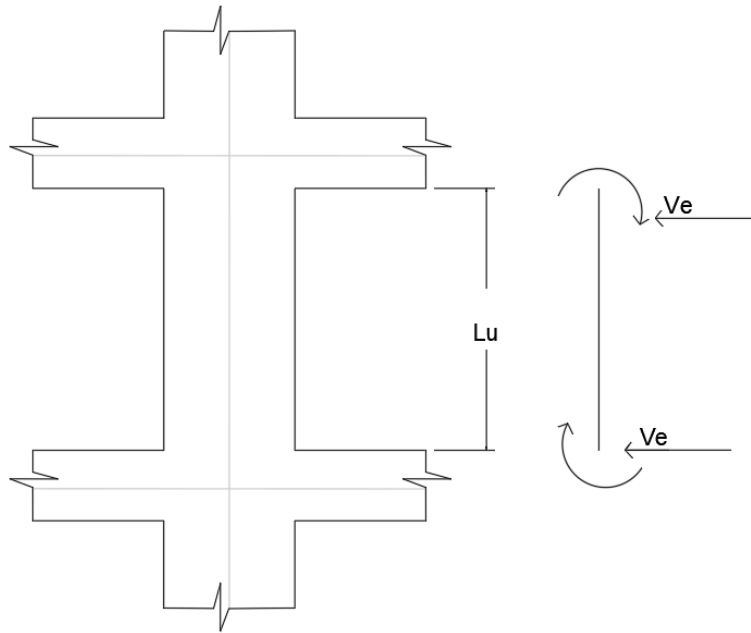


Figura 2. Cortante de plastificación.

$$\text{Formula : } V_e = \left(\frac{M_{n1} + M_{n2}}{L_u} \right)$$

Donde se requiere para determinar M_{n1} y M_{n2} se debe modificar el diagrama de interacción con $f_y = 1.25f_y$

2.3- Esfuerzo cortante soportado por el concreto (C.11.2.12)

En los elementos que están sometidos a compresión axial se considera:

$$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{Nu}{14 * Ag} \right) * \lambda * \sqrt{f'_c} * bw * d$$

Donde :

Nu = Carga mayorada

$\lambda = 1$ (Relación del concreto)

bw = Ancho de la sección

2.4 - Esfuerzo cortante soportado por el refuerzo

2.4.1 - Caso No.1 Se requiere del acero para resistir cortante

Se considera que si $V_u \geq \phi V_c$ se debe ponerle estribos adicionales (C.11.4.7.1)

Entonces, $V_s = \frac{A_v * f_y * d}{s}$ donde s = Separación y f_y = Fluencia del estribo

Criterio $\implies V_n \geq \phi V_c$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$\phi V_n = \phi V_c + \phi V_s = V_u \implies \text{Despejando se obtiene} = \phi V_s = V_u - \phi V_c$$

$$\frac{\phi A_v * f_y * d}{s} = V_u - \phi V_c \implies \text{La separación entre estribos} = s \leq \frac{\phi A_v * f_y * d}{V_u - \phi V_c}$$

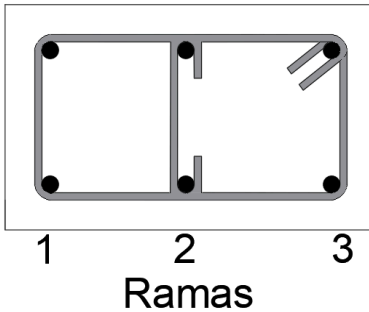


Figura 3.

$$A_v = \# \text{ ramas} * A_E$$

2.4.2 - Caso No.2 La cortante se encuentra en la mitad de lo que resiste el concreto

Sí el rango se encuentra entre $\frac{\phi V_c}{2} \leq V_u \leq \phi V_c$ se debe usar el $A_{v_{\min}}$

$$A_{v_{\min}} = \frac{0.062 * \sqrt{f_c} * b * s}{f_y} \geq \frac{0.35 * b_w * s}{f_y} \quad \text{(Sección C.11.4.6.3 NSR-10)}$$

Entonces la separación máxima debe cumplir lo siguiente:

El máximo valor entre :

$$* \frac{d}{2} \quad \text{(Sección C.11,4,5,1 NSR-10)}$$

$$* 600 \text{ mm}$$

2.4.3 - Caso No.3 La cortante es muy pequeña por lo tanto $\frac{\phi V_c}{2}$ la puede resistir

Sí $\frac{\phi V_c}{2} > V_u$ en este caso en teoría no se necesitaría estribos sin embargo se debe poner en $A_{v_{\min}}$

El máximo valor entre :

$$* \frac{d}{2} \quad \text{(Sección C.11,4,5,1 NSR-10)}$$

$$* 600 \text{ mm}$$

3- Ejemplo No.1

Determine el refuerzo para cortante para la columna como se muestra en la ilustración No.1. Esta cuenta con una longitud de 3 m expuesta a la intemperie. Tener en cuenta que se tiene un concreto de $f'c = 21 \text{ MPa}$ (concreto de peso normal), un módulo de elasticidad de 200 GPa y $f_y = 420 \text{ MPa}$.

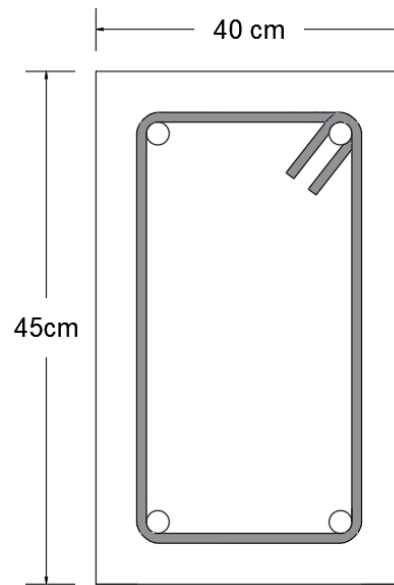


Figura 4.

Fuerzas halladas de un análisis estructural.

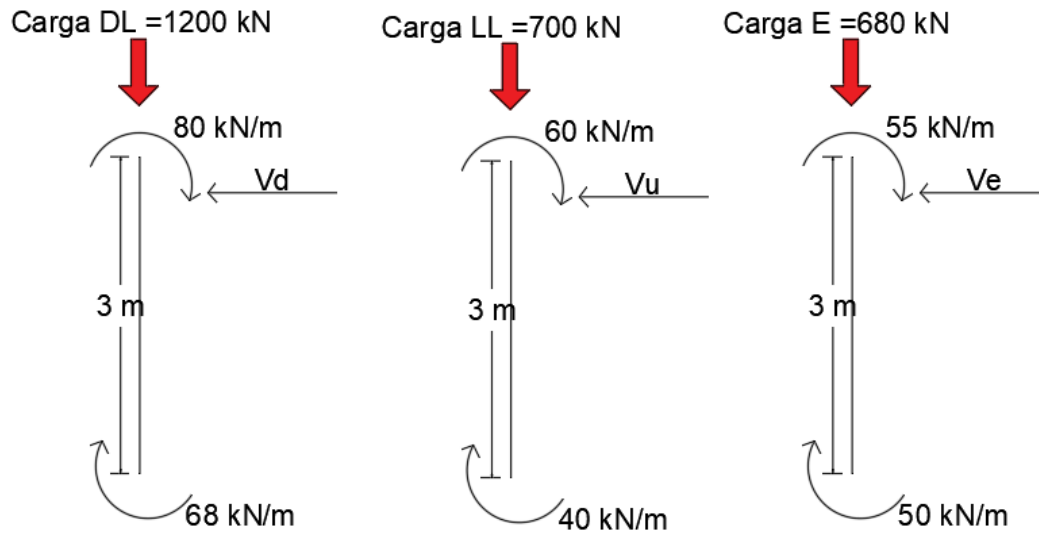


Figura 5.

4- Desarrollo

4.1- Datos de entrada

Sección de la columna

- Longitud [m]

$$L_u = 3$$

$$L_u = 3$$

- Base [m]

$$b = 0.4$$

$$b = 0.4000$$

- Altura [m]

$$h = 0.45$$

$$h = 0.4500$$

- Recubrimiento [m]

$$\begin{aligned} d_s &= 0.05; \\ d_p &= 0.05; \\ d &= h - d_s \end{aligned}$$

$$d = 0.4000$$

Propiedades del concreto

- Esfuerzo máximo a la compresión [Pa]

$$f_c = 21000000$$

$$f_c = 21000000$$

- Módulo de elasticidad [Pa]

$$E_s = 200000000000$$

$$E_s = 2.0000e+11$$

- Valores de ϕ y λ

$$\begin{aligned} f_i &= 0.75; \\ \lambda &= 1; \end{aligned}$$

Propiedades del acero

- Máximo esfuerzo de fluencia [Pa]

$$f_y = 420000000$$

fy = 42000000

4.2- Acero Longitudinal

- Numero de barra a usar

```
As_long =[510/1000^2]
```

```
As_long = 5.1000e-04
```

- Diámetro de la barra a usar

```
Diam_barra =[25.4/1000]
```

```
Diam_barra = 0.0254
```

- Comprobación de acero mínimo requerido C.9.1 (1% de Ag)

```
Ac_min= ((b*1000)*(h*1000)*0.01);  
sprintf('El acero minimo de 1 porciento equivalente al ejemplo es: %0.5g mm2', Ac_min)
```

```
ans =  
'El acero minimo de 1 porciento equivalente al ejemplo es: 1800 mm2'
```

- Comprobación de acero máximo requerido C.9.1 (4% de Ag)

```
Ac_max= ((b*1000)*(h*1000)*0.04);  
sprintf('El acero máximo de 4 porciento equivalente al ejemplo es: %0.5g mm2', Ac_max)
```

```
ans =  
'El acero máximo de 4 porciento equivalente al ejemplo es: 7200 mm2'
```

- Número de barras requeridas

```
No_aceros = (Ac_min)/(As_long*1000^2);  
sprintf('Número de barras requeridas: %0.5g', No_aceros)
```

```
ans =  
'Número de barras requeridas: 3.5294'
```

```
No_barras = round(No_aceros,0);  
sprintf('Número de barras requeridas aproximadas: %0.5g', No_barras)
```

```
ans =  
'Número de barras requeridas aproximadas: 4'
```

```
disp('Aproximación:')
```

```
Aproximación:
```

```
if No_barras<=4
```

```
No_barras=4;
elseif No_barras<=8
    No_barras=8;
elseif No_barras<=12
    No_barras=12;
end

sprintf('Número de barras a usar: %0.5g', No_barras)
```

```
ans =
'Número de barras a usar: 4'
```

- Separación entre barras longitudinales

```
disp('Comprobaciones de todas las condiciones')
```

Comprobaciones de todas las condiciones

```
Separ_1 = 1.5*(Diam_barra*1000);
sprintf('Condición No.1: %0.5g mm', Separ_1)
```

```
ans =
'Condición No.1: 38.1 mm'
```

```
Separ_2 = 40;
sprintf('Condición No.2: %0.5g mm', Separ_2)
```

```
ans =
'Condición No.2: 40 mm'
```

```
Separ_3 = Diam_barra*1000;
sprintf('Condición No.3: %0.5g mm', Separ_3)
```

```
ans =
'Condición No.3: 25.4 mm'
```

```
Separ = [Separ_1 Separ_2 Separ_3];
```

```
disp('Controla la mayor:')
```

Controla la mayor:

```
Separa_long = max(Separ);
sprintf('La separación elegida para el acero longitudinal es: %0.5g mm', Separa_long)
```

```
ans =
'La separación elegida para el acero longitudinal es: 40 mm'
```

4.3- Establecer la cortante con la que se va a diseñar

```
disp('Datos obtenidos del análisis de primer orden')
```

Datos obtenidos del análisis de primer orden

```
disp('Para cargas muertas DL')
```

Para cargas muertas DL

```
Carga_muerta=1200
```

Carga_muerta = 1200

```
M1_DL = 80
```

M1_DL = 80

```
M2_DL = 68
```

M2_DL = 68

```
Vd=(M1_DL+M2_DL)/Lu;  
sprintf('El valor de Vd es: %0.5g kN',Vd)
```

```
ans =  
'El valor de Vd es: 49.333 kN'
```

```
disp('Para cargas vivas LL')
```

Para cargas vivas LL

```
Carga_viva=700
```

Carga_viva = 700

```
M1_LL = 60
```

M1_LL = 60

```
M2_LL = 40
```

M2_LL = 40

```
VL=(M1_LL+M2_LL)/Lu;  
sprintf('El valor de VL es: %0.5g kN',VL)
```

```
ans =  
'El valor de VL es: 33.333 kN'
```

```
disp('Para cargas DE sismo E')
```

Para cargas DE sismo E

```
Carga_de_sismo=680
```

```
Carga_de_sismo = 680
```

```
M1_E = 55
```

```
M1_E = 55
```

```
M2_E = 50
```

```
M2_E = 50
```

```
Vs=(M1_E+M2_E)/Lu;  
sprintf('El valor de Vs es: %0.5g kN',Vs)
```

```
ans =  
'El valor de Vs es: 35 kN'
```

Combinaciones de carga

Combinación No. 1 \implies 1.2DL + 1.6LL

```
Pu1 = 1.2*Carga_muerta+1.6*Carga_viva
```

```
Pu1 = 2560
```

```
Vu1 = 1.2*Vd+1.6*VL
```

```
Vu1 = 112.5333
```

Combinación No. 2 \implies 1.2DL + 1LL \pm 1E

```
Pu2 = 1.2*Carga_muerta+Carga_viva+Carga_de_sismo
```

```
Pu2 = 2820
```

```
Vu2 = 1.2*Vd+VL+Vs
```

```
Vu2 = 127.5333
```

```
Pu3 = 1.2*Carga_muerta+1*Carga_viva-1*Carga_de_sismo
```

```
Pu3 = 1460
```

```
Vu3 = 1.2*Vd+VL-Vs
```

```
Vu3 = 57.5333
```

Combinación No. 3 \implies 0.9DL \pm 1E

```
Pu4 = 0.9*Carga_muerta+Carga_de_sismo
```

```
Pu4 = 1760
```

```
Vu4 = 0.9*Vd+Vs
```


$$Vu4 = 79.4000$$

$$Pu5 = 0.9 * \text{Carga_muerta} - \text{Carga_de_sismo}$$

$$Pu5 = 400$$

$$Vu5 = 0.9 * Vd - Vs$$

$$Vu5 = 9.4000$$

Vu máxima

$$Vu = [Vu1 \ Vu2 \ Vu3 \ Vu4 \ Vu5];$$

$$Vu = \max(Vu)$$

$$Vu = 127.5333$$

Del diagrama modificado ($f_y = 1.25f_y$) se obtiene el M_n para la carga mayorada

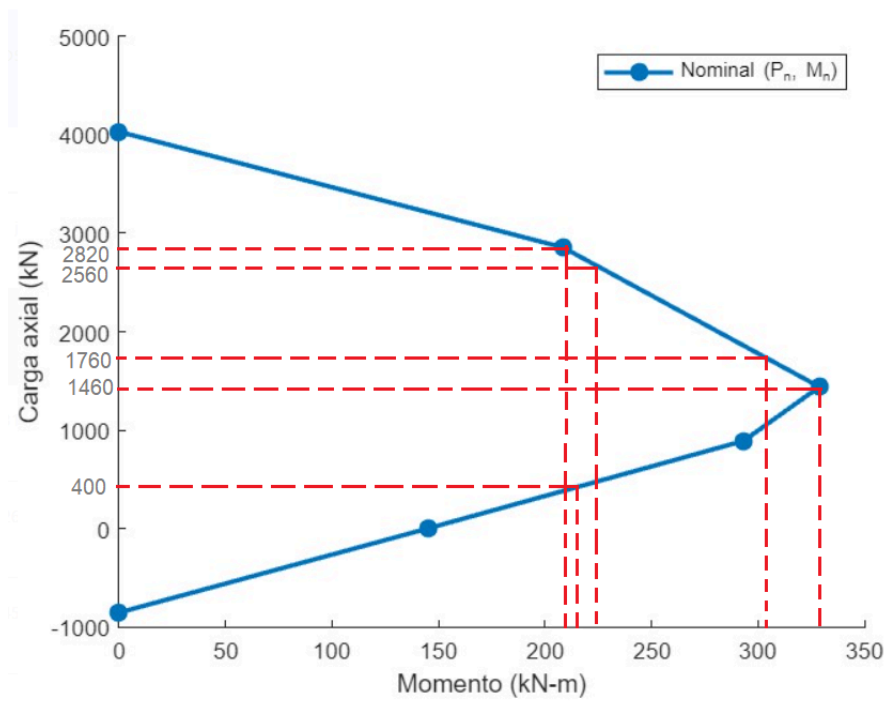


Figura 6.

$$PU1 = Pu1$$

$$PU1 = 2560$$

$$Mn1 = 230$$

$$Mn1 = 230$$

$$PU2 = Pu2$$

$$PU2 = 2820$$

Mn2=210

Mn2 = 210

PU3=Pu3

PU3 = 1460

Mn3=330

Mn3 = 330

PU4=Pu4

PU4 = 1760

Mn4=305

Mn4 = 305

PU5=Pu5

PU5 = 400

Mn5=225

Mn5 = 225

```
Mnmax = [Mn1 Mn2 Mn3 Mn4 Mn5];  
Mnmax = max(Mnmax)
```

Mnmax = 330

```
Ve= (Mnmax+Mnmax)/(Lu);
```

```
if Ve>Vu  
    Vu=Ve  
else  
    Vu=Vu  
end
```

Vu = 220

Para el valor de Pu se elige el que mayor Mn halla obtenido:

PU=PU3

PU = 1460

Nu=PU;

```
Vc=0.17*(1+((Nu/10^3)/((b*h)*14)))*landa*sqrt(fc)*b*d;
```

```
sprintf('El valor de Vc es: %0.5g kN',Vc)
```

```
ans =  
'El valor de Vc es: 196.86 kN'
```

- Multiplicarlo por el factor de reducción 0.75

```
fivc=fi*Vc;  
sprintf('El valor Vc reducido es: %0.5g',fivc)
```

```
ans =  
'El valor Vc reducido es: 147.65'
```

```
disp('Verificación de requerimiento de acero a cortante')
```

Verificación de requerimiento de acero a cortante

```
if Vu>fivc  
    disp('Requiere diseño a cortante')  
else  
    disp('No requiere diseño a cortante')  
end
```

Requiere diseño a cortante

- Seleccionar el acero

Número de barras

```
No = 3;
```

Área del estribo [mm]

```
As_estribo = [71/1000^2]
```

```
As_estribo = 7.1000e-05
```

Número de ramas

```
No_Ramas=2
```

```
No_Ramas = 2
```

- Av mínimo

```
Av_min=No_Ramas*As_estribo*10000;  
sprintf('El valor de Av minimo es: %0.5g cm2',Av_min)
```

```
ans =  
'El valor de Av minimo es: 1.42 cm2'
```

```
disp('=====')
```

```
=====
Sep0=round((fi*(Av_min/100^2)*fy*d)/(Vu-(fi*Vc))/1000,1)
```

```
Sep0 = 0.2000
```

```
Sep1=(d/2)
```

```
Sep1 = 0.2000
```

```
Sep2=600/1000
```

```
Sep2 = 0.6000
```

```
Sep_= round(min(Sep1,Sep2),3)
```

```
Sep_ = 0.2000
```

```
disp('USAR ACERO')
```

```
USAR ACERO
```

```
No = 3 % Numero de la barra
```

```
No = 3
```

```
disp('@')
```

```
@
```

```
Cada= Sep_, disp('cm')
```

```
Cada = 0.2000
cm
```

```
disp('=====')
```

```
=====
```

- En zona de confinamiento C.21.6.4.1

```
L01=Lu/6 %[m]
```

```
L01 = 0.5000
```

```
L02=h %[m]
```

```
L02 = 0.4500
```

```
L03=0.45 %[m]
```

```
L03 = 0.4500
```

```
L0_ = [L03 L02 L01];
```

```
%Controla el mayor
```

```
L0 = max(L0_)
```

```
L0 = 0.5000
```

```
disp('=====')
```

```
=====
```

- Espaciamiento en zona de confinamiento

```
S1=b/4
```

```
S1 = 0.1000
```

```
S2=6*Diam_barra
```

```
S2 = 0.1524
```

```
S3=(100+(350-280.9)/3)/1000
```

```
S3 = 0.1230
```

```
S_confi= [S1 S2 S3];
```

```
% Controla la menor
```

```
S_zonadeconfi = min(S_confi)
```

```
S_zonadeconfi = 0.1000
```

```
disp('=====')
```

```
=====
```

- Espaciamiento en zona No confinada

```
SN1=6*Diam_barra
```

```
SN1 = 0.1524
```

```
SN2=150/1000
```

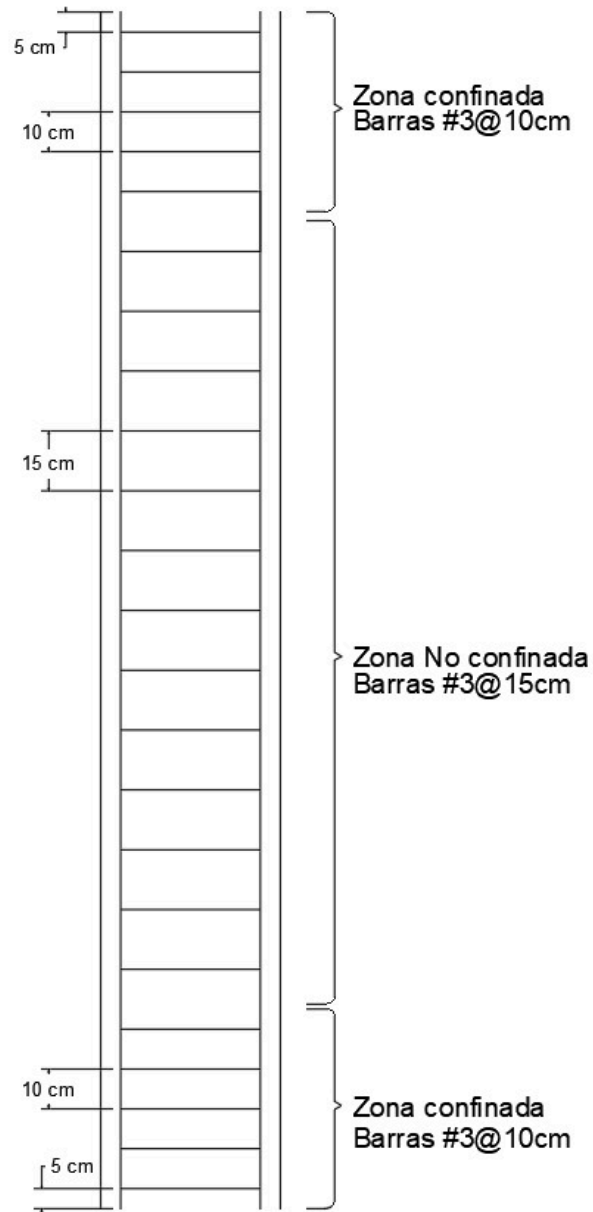
```
SN2 = 0.1500
```

```
% Controla la menor
```

```
S_Noconfi= min(SN2,SN1)
```

```
S_Noconfi = 0.1500
```

4.4- Despiece de columna



Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10* (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Ejemplo No.2

1- Introducción

En la presente guía se muestra de manera detallada un ejemplo donde se muestra cada uno de los parámetros establecidos por el reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10 acerca de cómo determinar de los esfuerzos cortantes de las columnas.

```
clc, clear, close all, format short g
```

Tabla de contenido

Ejemplo No.2.....	1
1- Introducción.....	1
2- Enunciado.....	1
3- Desarrollo.....	2
3.1- Datos de entrada.....	2
Sección de la columna.....	2
Propiedades del concreto.....	3
Propiedades del acero.....	3
3.2- Acero Longitudinal.....	3
3.3.) Establecer la cortante con la que se va a diseñar.....	5
3.4.) Despiece.....	13
4- Bibliografía.....	14

2- Enunciado

Determine el refuerzo para cortante para la columna como se muestra en la figura No.1. Esta cuenta con una longitud de 2.85 m expuesta a la intemperie. Tener en cuenta que se tiene un concreto de $f'c = 28 \text{ MPa}$ a (concreto de peso normal), un módulo de elasticidad de 200 GPa y $f_y = 420 \text{ MPa}$.

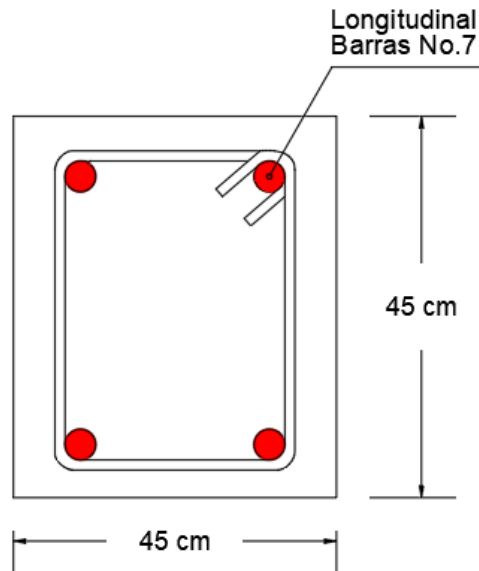


Figura 1.

Fuerzas halladas de un análisis estructural.

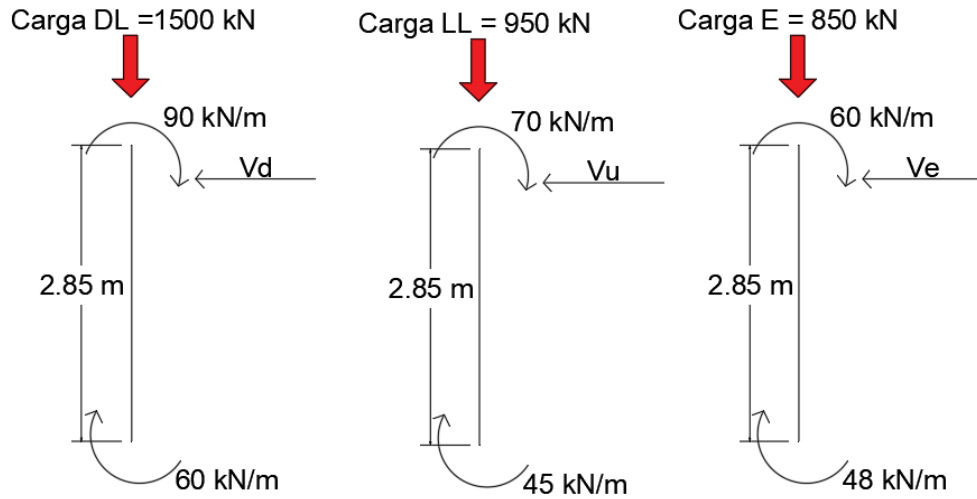


Figura 2.

3- Desarrollo

3.1- Datos de entrada

Sección de la columna

- Longitud [m]

$$L_u = 2.85$$

$$L_u = 2.85$$

- Base [m]

$$b = 0.45$$

$$b = 0.45$$

- Altura [m]

$$h = 0.45$$

$$h = 0.45$$

- Recubrimiento [m]

$$d_s = 0.05;$$
$$d_p = 0.05;$$

$$d = h - d_s$$

$$d = 0.4$$

Propiedades del concreto

- Esfuerzo máximo a la compresión [Pa]

$$f_c = 28000000$$

$$f_c = 28000000$$

- Módulo de elasticidad [Pa]

$$E_s = 200000000000$$

$$E_s = 2e+11$$

- Valores de ϕ y λ

$$f_i = 0.75;$$
$$\lambda = 1;$$

Propiedades del acero

- Máximo esfuerzo de fluencia [Pa]

$$f_y = 420000000$$

$$f_y = 420000000$$

3.2- Acero Longitudinal

- Numero de barra a usar

$$A_{s_long} = [387/1000^2]$$

$$A_{s_long} = 0.000387$$

- Diámetro de la barra a usar

$$Diam_barra = [22.2/1000]$$

$$Diam_barra = 0.0222$$

- Comprobación de acero mínimo requerido C.9.1 (1% de A_g)

```
Ac_min= ((b*1000)*(h*1000)*0.01);  
sprintf('El acero mínimo de 1 por ciento equivalente al ejemplo es: %0.5g mm2', Ac_min)
```

```
ans =  
'El acero mínimo de 1 por ciento equivalente al ejemplo es: 2025 mm2'
```

- Comprobación de acero maximo requerido C.9.1 (4% de Ag)

```
Ac_max= ((b*1000)*(h*1000)*0.04);  
sprintf('El acero máximo de 4 por ciento equivalente al ejemplo es: %0.5g mm2', Ac_max)
```

```
ans =  
'El acero máximo de 4 por ciento equivalente al ejemplo es: 8100 mm2'
```

- Número de barras requeridas

```
No_aceros = (Ac_min)/(As_long*1000^2);  
sprintf('Número de barras requeridas: %0.5g', No_aceros)
```

```
ans =  
'Número de barras requeridas: 5.2326'
```

```
No_barras = round(No_aceros,0);  
sprintf('Número de barras requeridas aproximadas: %0.5g', No_barras)
```

```
ans =  
'Número de barras requeridas aproximadas: 5'
```

```
disp('Aproximación')
```

Aproximación

```
if No_barras<=4  
    No_barras=4;  
elseif No_barras<=8  
    No_barras=8;  
elseif No_barras<=12  
    No_barras=12;  
end  
  
sprintf('Número de barras a usar: %0.5g', No_barras)
```

```
ans =  
'Número de barras a usar: 8'
```

- Separación entre barras longitudinales

```
disp('Comprobaciones de todas las condiciones')
```

Comprobaciones de todas las condiciones

```
Separ_1 = 1.5*(Diam_barra*1000);  
sprintf('Condición No.1: %0.5g mm', Separ_1)
```

```
ans =  
'Condición No.1: 33.3 mm'
```

```
Separ_2 = 40;  
sprintf('Condición No.2: %0.5g mm', Separ_2)
```

```
ans =  
'Condición No.2: 40 mm'
```

```
Separ_3 = Diam_barra*1000;  
sprintf('Condición No.3: %0.5g mm', Separ_3)
```

```
ans =  
'Condición No.3: 22.2 mm'
```

```
Separ = [Separ_1 Separ_2 Separ_3];
```

```
disp('Controla la mayor:')
```

```
Controla la mayor:
```

```
Separa_long = max(Separ);  
sprintf('La separación elegida para el acero longitudinal es: %0.5g mm', Separa_long)
```

```
ans =  
'La separación elegida para el acero longitudinal es: 40 mm'
```

3.3.) Establecer la cortante con la que se va a diseñar

```
disp('Datos obtenidos del análisis de primer orden')
```

```
Datos obtenidos del análisis de primer orden
```

```
disp('Para cargas muertas DL')
```

```
Para cargas muertas DL
```

```
Carga_muerta = 1500
```

```
Carga_muerta =  
1500
```

```
M1_DL = 90
```

```
M1_DL =  
90
```

```
M2_DL = 60
```

```
M2_DL =
```

```
Vd=(M1_DL+M2_DL)/Lu;
sprintf('El valor de Vd es: %0.5g kN',Vd)
```

```
ans =
'El valor de Vd es: 52.632 kN'
```

```
disp('Para cargas vivas LL')
```

```
Para cargas vivas LL
```

```
Carga_viva = 950
```

```
Carga_viva =
 950
```

```
M1_LL = 70
```

```
M1_LL =
 70
```

```
M2_LL = 45
```

```
M2_LL =
 45
```

```
VL=(M1_LL+M2_LL)/Lu;
sprintf('El valor de VL es: %0.5g kN',VL)
```

```
ans =
'El valor de VL es: 40.351 kN'
```

```
disp('Para cargas DE sismo E')
```

```
Para cargas DE sismo E
```

```
Carga_de_sismo = 850
```

```
Carga_de_sismo =
 850
```

```
M1_E = 60
```

```
M1_E =
 60
```

```
M2_E = 48
```

```
M2_E =
 48
```

```
Vs=(M1_E+M2_E)/Lu;
```

```
sprintf('El valor de Vs es: %0.5g kN',Vs)
```

```
ans =  
'El valor de Vs es: 37.895 kN'
```

Combinaciones de carga

Combinación No. 1 \Rightarrow 1.2DL + 1.6LL

```
Pu1 = 1.2*Carga_muerta+1.6*Carga_viva
```

```
Pu1 =  
3320
```

```
Vu1 = 1.2*Vd+1.6*VL
```

```
Vu1 =  
127.72
```

Combinación No. 2 \Rightarrow 1.2DL + 1LL \pm 1E

```
Pu2 = 1.2*Carga_muerta+Carga_viva+Carga_de_sismo
```

```
Pu2 =  
3600
```

```
Vu2 = 1.2*Vd+VL+Vs
```

```
Vu2 =  
141.4
```

```
Pu3 = 1.2*Carga_muerta+1*Carga_viva-1*Carga_de_sismo
```

```
Pu3 =  
1900
```

```
Vu3 = 1.2*Vd+VL-Vs
```

```
Vu3 =  
65.614
```

Combinación No. 3 \Rightarrow 0.9DL \pm 1E

```
Pu4 = 0.9*Carga_muerta+Carga_de_sismo
```

```
Pu4 =  
2200
```

```
Vu4 = 0.9*Vd+Vs
```

```
Vu4 =  
85.263
```

```
Pu5 = 0.9*Carga_muerta-Carga_de_sismo
```

```
Pu5 =  
500
```

$$Vu5 = 0.9 \cdot Vd - Vs$$

$$Vu5 = 9.4737$$

Vu máxima

$$Vu = [Vu1 \ Vu2 \ Vu3 \ Vu4 \ Vu5];$$
$$Vu = \max(Vu)$$

$$Vu = 141.4$$

Del diagrama modificado ($f_y = 1.25f_y$) se obtiene el M_n para la carga mayorada.

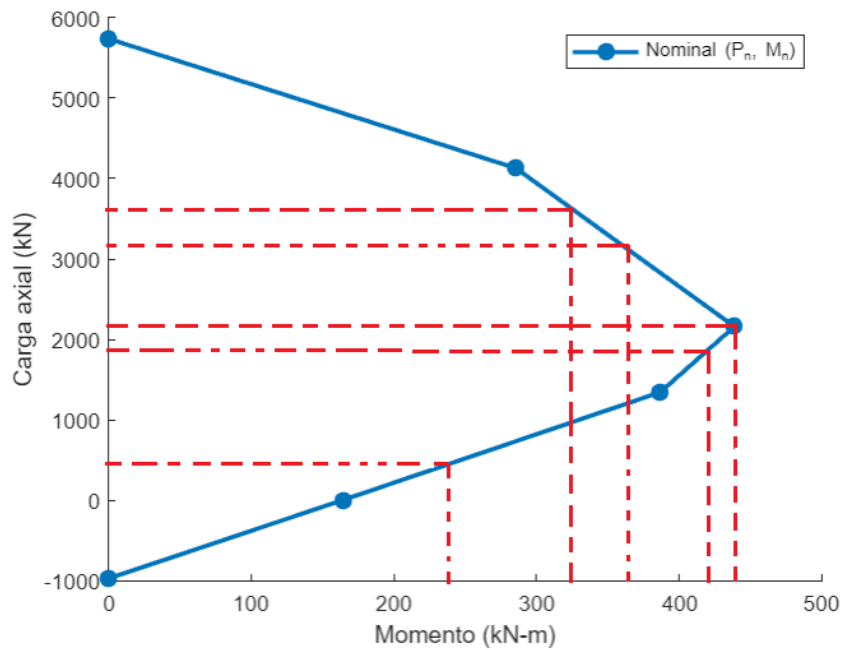


Figura 3.

$$PU1 = Pu1$$

$$PU1 = 3320$$

$$Mn1 = 355$$

$$Mn1 = 355$$

$$PU2 = Pu2$$

$$PU2 = 3600$$

$$Mn2 = 320$$

$$Mn2 =$$

320

PU3=Pu3

PU3 =
1900

Mn3=420

Mn3 =
420

PU4=Pu4

PU4 =
2200

Mn4=440

Mn4 =
440

PU5=Pu5

PU5 =
500

Mn5=245

Mn5 =
245

Mnmax = [Mn1 Mn2 Mn3 Mn4 Mn5];
Mnmax = max(Mnmax)

Mnmax =
440

Ve= (Mnmax+Mnmax)/(Lu);

```
if Ve>Vu  
    Vu=Ve  
else  
    Vu=Vu  
end
```

Vu =
308.77

Para el valor de Pu se elige el que mayor Mn halla obtenido:

PU=PU4

PU =

```
Nu=PU;
```

```
Vc=0.17*(1+((Nu/10^3)/((b*h)*14)))*landa*sqrt(fc)*b*d;
sprintf('El valor de Vc es: %0.5g kN',Vc)
```

```
ans =
'El valor de Vc es: 287.57 kN'
```

- Multiplicarlo por el factor de reducción 0.75

```
fivc=fi*Vc;
sprintf('El valor Vc reducido es: %0.5g',fivc)
```

```
ans =
'El valor Vc reducido es: 215.68'
```

```
disp('Verificación de requerimiento de acero a cortante')
```

```
Verificación de requerimiento de acero a cortante
```

```
if Vu>fivc
    disp('Requiere diseño a cortante')
else
    disp('No requiere diseño a cortante')
end
```

```
Requiere diseño a cortante
```

- Seleccionar el acero

Número del acero

```
No = 3;
```

Área del estribo [mm]

```
As_estribo = [71/1000^2]
```

```
As_estribo =
    7.1e-05
```

Número de ramas

```
No_Ramas=2
```

```
No_Ramas =
    2
```

- Av mínimo

```
Av_min=No_Ramas*As_estribo*10000;
```



```
sprintf('El valor de Av mínimo es: %0.5g cm2',Av_min)
```

```
ans =  
'El valor de Av mínimo es: 1.42 cm2'
```

```
disp('=====')
```

```
Sep0=round((fi*(Av_min/100^2)*fy*d)/(Vu-(fi*Vc))/1000,1)
```

```
Sep0 =  
    0.2
```

```
Sep1=(d/2)
```

```
Sep1 =  
    0.2
```

```
Sep2=600/1000
```

```
Sep2 =  
    0.6
```

```
Sep_ = round(min(Sep1,Sep2),3)
```

```
Sep_ =  
    0.2
```

```
disp('USAR ACERO')
```

```
USAR ACERO
```

```
No = 3 % Número de la barra
```

```
No =  
    3
```

```
disp('@')
```

```
@
```

```
Cada= Sep_, disp('cm')
```

```
Cada =  
    0.2  
cm
```

```
disp('=====')
```

- En zona de confinamiento C.21.6.4.1

```
L01=Lu/6 %[m]
```

```
L01 =  
    0.475
```

```
L02=h    %[m]
```

```
L02 =  
    0.45
```

```
L03=0.45 %[m]
```

```
L03 =  
    0.45
```

```
L0_ = [L03 L02 L01];
```

```
%Controla el mayor  
L0 = max(L0_)
```

```
L0 =  
    0.475
```

```
disp('=====')
```

```
=====
```

- Espaciamiento en zona de confinamiento

```
S1=b/4
```

```
S1 =  
    0.1125
```

```
S2=6*Diam_barra
```

```
S2 =  
    0.1332
```

```
S3=(100+(350-280.9)/3)/1000
```

```
S3 =  
    0.12303
```

```
S_confi= [S1 S2 S3];
```

```
%Controla la menor  
S_zonadeconfi = min(S_confi)
```

```
S_zonadeconfi =  
    0.1125
```

```
disp('=====')
```

- Espaciamiento en zona No confinada

$$SN1=6*Diam_barra$$

$$SN1 = 0.1332$$

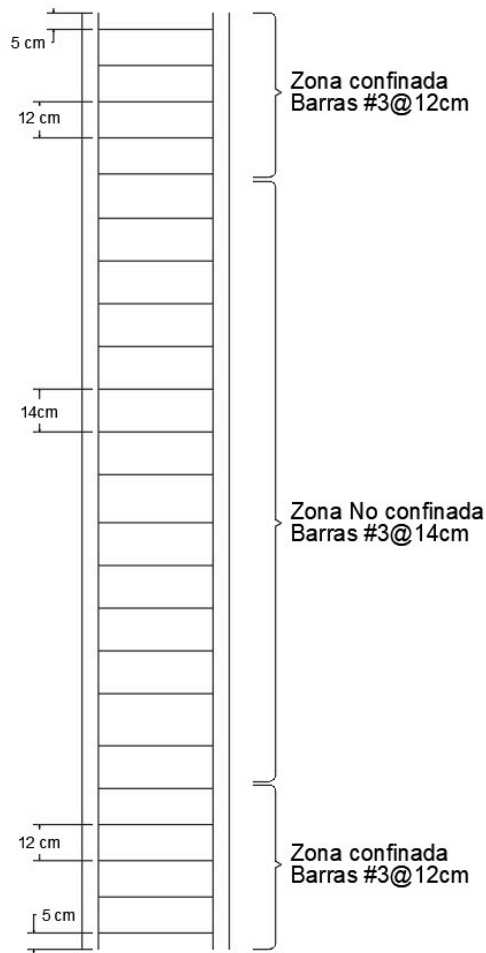
$$SN2=150/1000$$

$$SN2 = 0.15$$

%Controla la menor
 $S_Noconfi= \min(SN2,SN1)$

$$S_Noconfi = 0.1332$$

3.4.) Despiece



4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10* (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Enunciado

clc, clear, close all, format short

Determine el refuerzo para cortante para la columna como se muestra en la figura No.1 ubicada dentro del palacio de justicia de la ciudad de Neiva. Esta cuenta con una longitud de 3.2 m no expuesta a la intemperie. Tener en cuenta que se tiene un concreto de $f'c = 25 \text{ MPa}$ (concreto de peso normal), un módulo de elasticidad de 200 GPa y $f_y = 420 \text{ MPa}$.

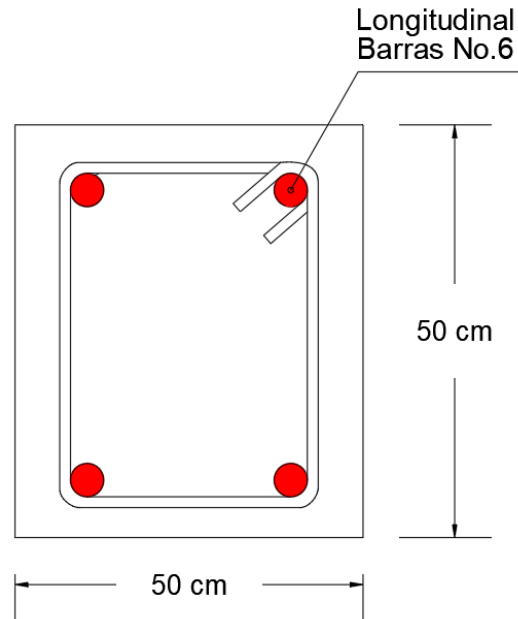


Figura 1.

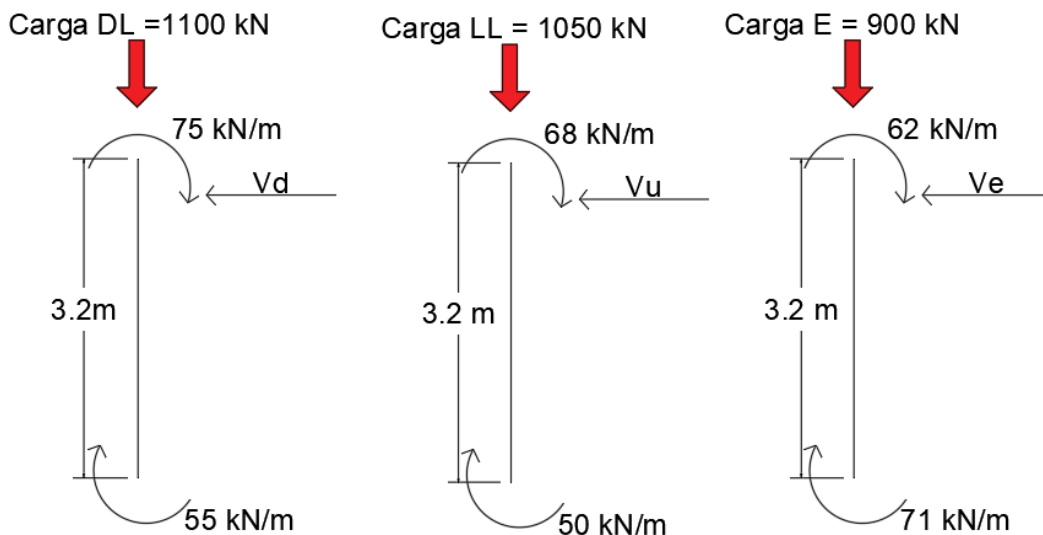


Figura 2.

O. Anexo: Guía de empalmes de barras en columnas.

Empalmes de barras en columnas (Sec.C.12.17.2 NSR-10)

1- Introducción

Las estructuras en concreto no siempre se construyen con los refuerzos continuos, debido a que muchas veces se requieren barras adicionales para alcanzar la longitud necesaria. En el momento en que actúan las fuerzas, los traslapes deben garantizar que resistan dichas fuerzas, es decir que exista adherencia entre los materiales. En la presente guía se encontrará la teoría referente a los traslapes en columnas y ejemplos aplicados.

Los comandos claves utilizados en esta guía son:

```
clc, clear, close all, format short
```

Contenido

Empalmes de barras en columnas (Sec.C.12.17.2 NSR-10).....	1
1- Introducción.....	1
2- Aspectos teóricos.....	1
2.1- Empalmes por tracción.....	2
2.2- Longitud de desarrollo.....	2
2.2.1- Longitud de desarrollo para barras corrugadas en estructuras con demanda mínima DMI, y moderada DMO de ductilidad (NSR-10, Sec. C.12.2.2).....	2
2.2.2- Longitud de desarrollo para barras corrugadas en estructuras con demanda especial DES, de ductilidad (NSR-10, Sec. C.12.2.2).....	3
Nota:	3
2.3- Traslapes a compresión.....	3
2.4- Ilustración de traslapes.....	3
2.5- . Tipos de anclaje.....	4
3- Ejemplo No.1.....	5
3.1- Enunciado.....	6
3.2- Datos de entrada.....	6
3.3- Propiedades de los materiales.....	6
3.4- Recubrimiento.....	7
3.5- Barra para estribos.....	7
3.6- Barras longitudinales.....	7
3.7 - Definir caso.....	7
3.8 - Despiece.....	8
4- Bibliografía.....	8

2- Aspectos teóricos

Los empalmes se realizan de acuerdo con los siguientes criterios:

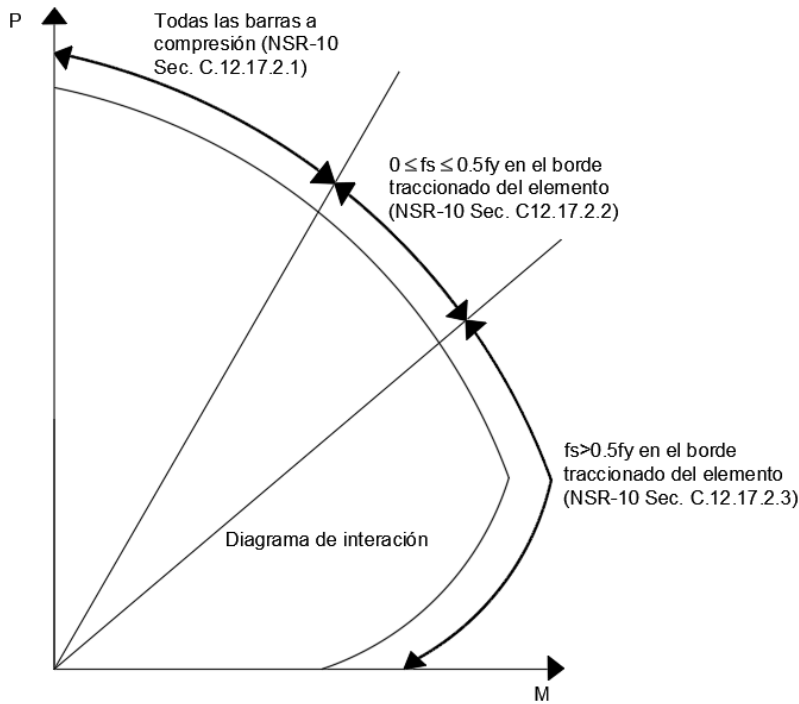


Figura 1. Requisitos especiales para empalmes en columnas. (Tomado de NSR-10 Sec. C.12.17.2.4)

2.1- Empalmes por tracción

Los empalmes por traslapes en columnas se deben realizar como empalmes de tracción de acuerdo con la sección C.21.3.5.3 NSR-10 para DMO y la sección C.21.6.4.4 NSR-10 para DES. La longitud mínima del empalme por traslapo debe ser la requerida por las clases A o B, pero NO menor a 30 cm.

- Empalme por traslapo clase A = $1.0 * L_d \implies$ Sí más del 50% del traslapo que se traslapa ocurre en una sección
- Empalme por traslapo clase B = $1.3 * L_d \implies$ Sí menos del 50% del refuerzo se traslapa.

Los traslapes en las barras corrugadas que están sometidas a tracción pueden ser clase B, excepto que se admitan clase A cuando se presenten las siguientes condiciones:

- El área del refuerzo proporcionada es el doble del valor requerido por el análisis a todo lo largo del empalme
- La mitad, o menos, del refuerzo total está empalmado dentro de la longitud de empalme por traslapo.

Para realizar traslapes de diferentes diámetros en tracción, longitud de empalme debe ser el mayor valor en L_d de la barra de mayor diámetro y el valor de la longitud de empalme de la barra de menor diámetro de acuerdo con la sección C.12.15.3 de la NSR-10.

2.2- Longitud de desarrollo

2.2.1- Longitud de desarrollo para barras corrugadas en estructuras con demanda mínima DMI, y moderada DMO de ductilidad (NSR-10, Sec. C.12.2.2)

La longitud de desarrollo en columnas se calcula de acuerdo con los criterios de la sección C.12.2.2 de la NSR-10. Para el cálculo no debe ser inferior a 30 cm.

$$\text{Para barras } \leq \text{No. 6} \implies L_b = \frac{f_y * d_b * \psi_t * \psi_e}{2.1 \sqrt{f'_c}} \text{ (MPa)}$$

$$\text{Para barras } > \text{No. 6} \implies L_b = \frac{f_y * d_b * \psi_t * \psi_e}{1.7 \sqrt{f'_c}} \text{ (MPa)}$$

Longitudes de traslapo Clase B para barras rectas y corrugadas a tracción, estructuras con demanda mínima, DMI; y demanda moderada, DMO, de ductilidad los valores de $\psi_t = 1$ y $\psi_e = 1$

2.2.2- Longitud de desarrollo para barras corrugadas en estructuras con demanda especial DES, de ductilidad (NSR-10, Sec. C.12.2.2)

La NSR-10 Sec. 21.7.5 menciona que para barras No.3 a No.11 la longitud de desarrollo L_{dh} para las barras que cuentan con ganchos estándar (90°) no debe ser menor que el mayor valor entre:

- $8L_d$
- 15 cm
- $L_{dh} = \frac{f_y * d_b}{5.4 \sqrt{f'_c}} \text{ (MPa)}$

Para barras No.3 a No.11 la longitud de desarrollo en tracción no debe ser menor que:

- $2.5L_{dh}$
- $3.25L_{dh}$

Nota:

La NSR-10 para estructuras con demanda especial de ductilidad, DES, y moderada, DMO, exige realizar el traslapo en la mitad central de la columna; para columnas con demanda de ductilidad mínima, DMI, no hay restricciones (Rochel, 2012).

2.3- Traslapos a compresión

La NSR-10 Sec. C.12.7.2.1 cuando el refuerzo en las barras es de compresión la longitud de desarrollo debe tomarse como el mayor valor entre:

- $0.07 * f_y * d_s$
- 300 mm

2.4- Ilustración de traslapos

Los empalmes se establecen de la siguiente manera:

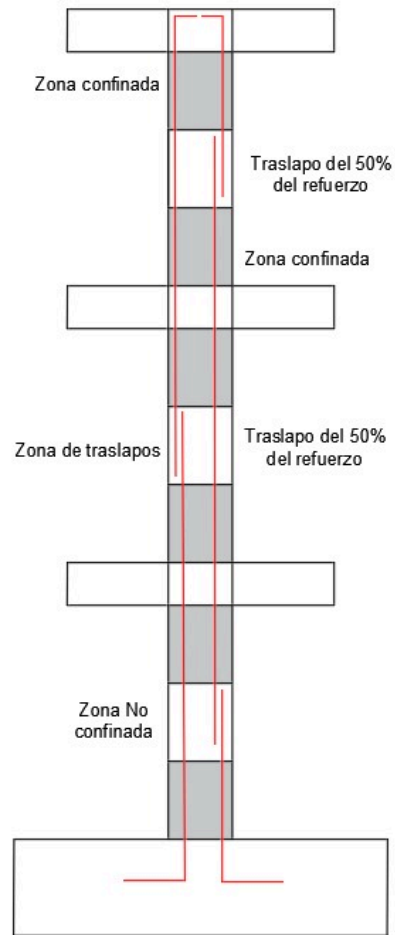


Figura 2. Ilustración que enseña la forma como se realizan los traslapes.

2.5- . Tipos de anclaje

- Gancho estándar.
- Barra terminada en cabeza.
- Anclaje mecánico.

Ahora bien, entre estos tres tipos de anclaje el más económico es el gancho estándar, por lo tanto:

Gancho estándar

Los ganchos estándar pueden colocarse tanto en barras longitudinales y como en estribos. Este tipo de gancho se efectúa en tres tipos de dobles, se tiene el de 90°, 135° y 180°. La longitud del gancho varía según su ángulo y el diámetro de la barra. Estos ganchos permiten que el acero y el concreto se adhieran de una mejor forma.

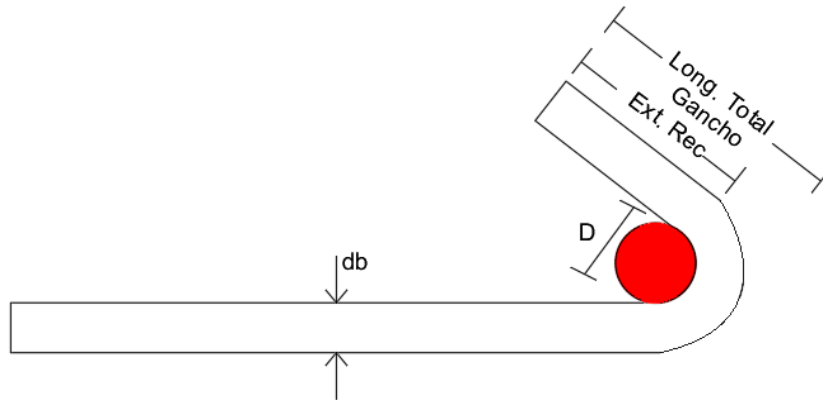


Ilustración No.3. Gancho estándar.

- Barras longitudinales, según el numeral C.7.1 y C.7.2 .

Análisis de dobles	Barras	Diámetro de dobles	Extensión recta	Long. total del gancho.
90°	No.3 a No.8	$6d_b$	$12d_b$	$16d_b$
	No.9 a No.11	$8d_b$	$12d_b$	$17d_b$
180°	No.3 a No.8	$6d_b$	$4d_b \geq 65mm$	$8d_b \geq 4d_b + 65mm$
	No.9 a No.11	$8d_b$	$4d_b \geq 65mm$	$9d_b \geq 5d_b + 65mm$

Tabla No.1

- Barras para estribos, según el numeral C.7.1 y C.7.2 .

Análisis de dobles	Barras	Diámetro de dobles	Extensión recta	Long. total del gancho.
90°	No.3 a No.5	$4d_b$	$6d_b$	$9d_b$
135°	No.3 a No.5	$4d_b$	$6d_b$	$9d_b$

Tabla No.2

Gancho sísmico

Análisis de dobles	Barras	Diámetro de dobles	Extensión recta	Long. total del gancho.
135°	No.3 a No.8	$4d_b$	$6d_b \geq 75mm$	$9d_b \geq 5d_b + 75mm$

Tabla No.3

3- Ejemplo No.1

3.1- Enunciado

Calcular la longitud de traslapo para la columna mostrada en la figura luego de haber obtenido un diseño en el cual se requieren 10 barras No.7

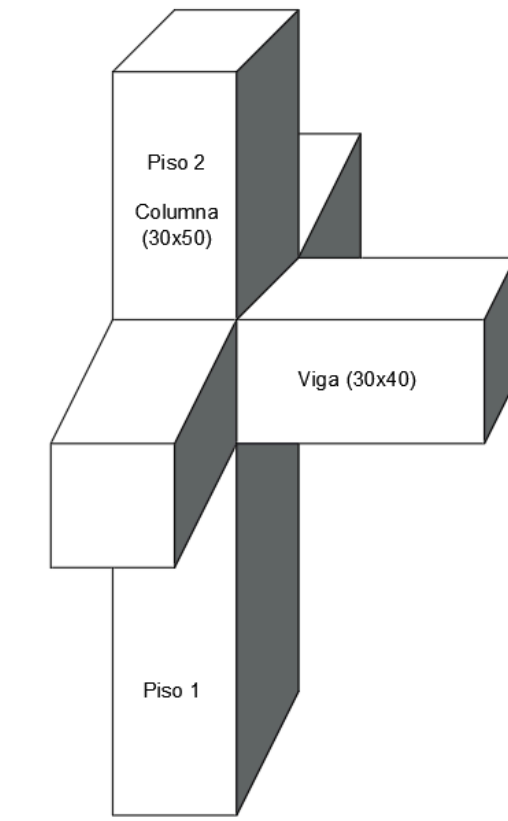


Figura 4. Columna en estudio

3.2- Datos de entrada

Introducir medidas de base (b) y altura (h) de la columna:

b =	0.35;	% Base [m]
h =	0.50;	% Altura [m]

3.3- Propiedades de los materiales

3.3.1 Resistencia especifica

Ingresar el valor correspondiente a cada una de las propiedades de acuerdo con sus unidades especificadas.

- Compresión del concreto.

f_c =	28e6;	% [Pa]
---------	-------	--------

- Fluencia del acero.

```
fy = 420e6; % [Pa]
```

3.3.2- Cálculo del factor de modificación con respecto a las propiedades del concreto λ

Seleccione el tipo de concreto.

```
landa =1;
```

3.4- Recubrimiento

```
re = 40*0.001; % [mm]
sprintf('El recubrimiento es de: %0.5g [m]',re)
```

```
ans =
'El recubrimiento es de: 0.04 [m]'
```

3.5- Barra para estribos

```
A_est = [71/1000000]; % Número de barra para estribo.
D_est = 9.5*0.001; % Diametro del acero para estribo.
```

3.6- Barras longitudinales

Especificaciones del acero

```
bar = [387/1000000]; % Número de barra longitudinal.
D_bar = 22.2*0.001; % Diametro del acero longitudinal.
```

Cantidad de barras longitudinales

```
N_bar = 10; % Cantidad de barras a utilizar.
```

3.7 - Definir caso

El sistema estructura en el cual se encuentra el ejercicio de ejemplo es DES por lo tanto se usa las condiciones establecidas en el numeral 2.2.2 de la presente guía:

$$L_d = \frac{f_y * d_b}{5.4 \sqrt{f'_c}} \text{ (MPa)}$$

```
Ld= ((fy/10^6)*D_bar)/(5.4*sqrt(fc/10^6))*100;
sprintf('El valor de Ldh es: %0.5g [cm]',Ld)
```

```
ans =
'El valor de Ldh es: 32.631 [cm]'
```

Se traslapa el 50% del refuerzo por lo tanto se elige un traslapo clase B:

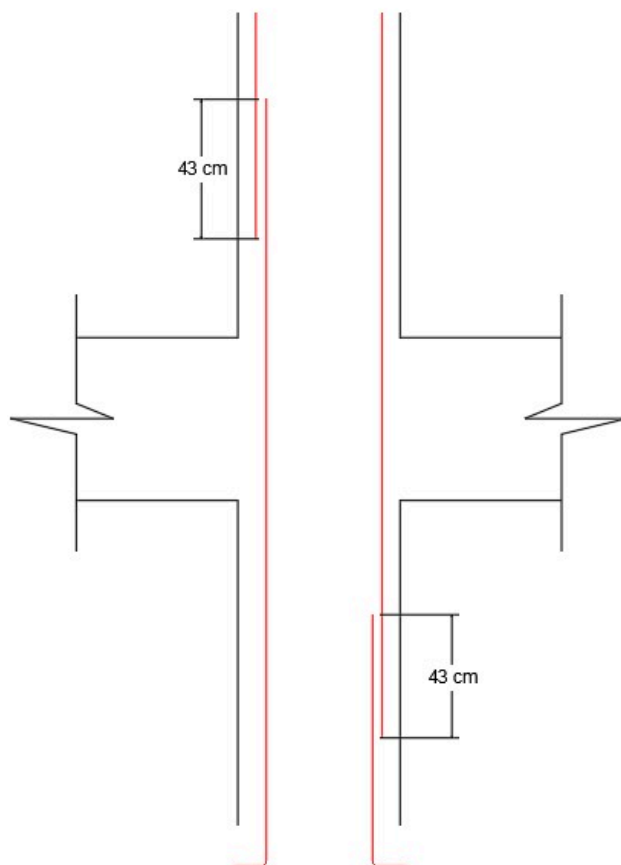
$$L_t = 1.3L_d$$

```
Lt=1.3*Ld;
sprintf('La longitud de traslapo es: %0.5g [cm]',Lt)
```

ans =

'La longitud de traslapo es: 42.42 [cm]'

3.8 - Despiece



4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10* (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Rochel, R. A. (2012). *Análisis y diseño sísmico de edificios*. Medellín: Fondo editorial universidad EAFIT.

Enunciado

clc, clear, close all, format short

Calcular la longitud de traslape para la columna mostrada en la ilustración No.1 luego de haber obtenido un diseño en el cual se requieren 8 barras No.8. Tener en cuenta que se tiene un concreto de $f'_c=25$ MPa, acero de refuerzo para $f_y = 420$ MPa en todos los diámetros. La estructura está expuesta a la intemperie.

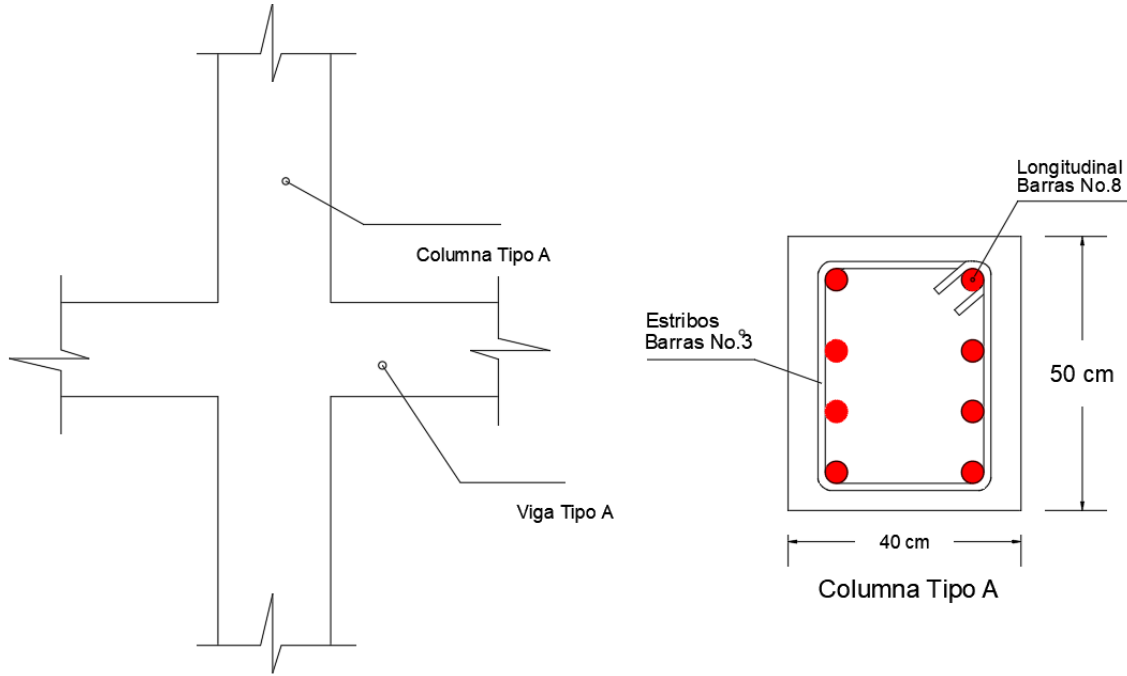


Ilustración No.1.

P. Anexo: Guía de análisis de fuerza horizontal equivalente.

Método de la fuerza horizontal equivalente (FHE)

1- Introducción

En la presente guía encontrará el procedimiento para la obtención de las fuerzas sísmicas horizontales de la edificación y el análisis de la resistencia sísmica, de acuerdo con los requisitos dados en el capítulo A.3 para la utilización de la fuerza horizontal equivalente.

Los comandos clave utilizados en esta guía son:

```
clc, clear, close all; format bank
```

Contenido

Método de la fuerza horizontal equivalente (FHE).....	1
1- Introducción.....	1
2- Consideraciones generales del método de la fuerza horizontal equivalente.....	1
2.1- Período fundamental de la edificación - A.4.2 (NSR-10).....	2
2.2- Zonas de amenaza sísmica A.2.3 (NSR-10).....	3
2.3- Definición del tipo de perfil del suelo - A.2.4.4 (NSR-10).....	4
2.4- Coeficiente de F_a y F_v para periodos cortos del espectro - A.2.4.3 y A.2.4.4 (NSR-10).....	5
2.5- Coeficiente de importancia A.2.5 (NSR-10).....	6
2.6- Espectro de diseño - A.2.6 (NSR-10).....	7
3- Ejemplo.....	7
3.1- Enunciado.....	7
3.2- Datos de entrada.....	8
3.3- Masa del edificio.....	9
3.4- Período fundamental de la edificación.....	9
3.5- Zona de amenaza sísmica.....	9
3.6- Coeficiente de F_a y F_v para periodos cortos del espectro.....	9
3.7- Coeficiente de importancia.....	10
3.8- Período de vibración.....	10
3.9- Cálculo de la aceleración de diseño.....	10
3.10- Cálculo de cortante sísmica.....	11
3.11- Determinación de momentos.....	15
3.12- Tabla resumen.....	17
4. Bibliografía.....	17

2- Consideraciones generales del método de la fuerza horizontal equivalente

El método de la Fuerza Horizontal Equivalente puede aplicarse siempre y cuando cumpla las siguientes condiciones:

- a.) Todas las edificaciones en zona de amenaza sísmica baja.
- b.) Todas las edificaciones del grupo I en zonas de amenaza sísmica intermedia.
- c.) Edificaciones regúlales:

$$\begin{cases} \leq 20 \text{ niveles} \\ 60 \text{ m} \end{cases}$$

En perfiles D, E, F con periodos de vibración $T \geq 2T_c$

- d.) Edificaciones irregulares:

$$\begin{cases} < 6 \text{ niveles} \\ 18 \text{ m} \end{cases}$$

- e.) No se puede aplicar si se cuenta con una estructura flexible sobre una rígida.

2.1- Período fundamental de la edificación - A.4.2 (NSR-10)

En el análisis del periodo fundamental de la edificación, se debe obtener a partir de las propiedades de su resistencia sísmica, existen tres formas para obtener el periodo fundamental:

- 1.)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}} \quad (\text{A.4.2-1})$$

Donde:

δ_i = Deriva que se calcula usando las fuerzas de fi.

El valor de T calculado, de acuerdo a los principios de la dinámica estructural utilizando un modelo matemático lineal elástico no puede exceder $C_u T_a$ donde C_u se calcula por medio de la siguiente ecuación y T_a de acuerdo con el numeral A.4.2.3

$$C_u = 1,75 - 1,2A_v F_v \quad (\text{A.4.2-2})$$

Pero C_u no puede ser menor a 1,2

- 2.) Alternativamente el valor de T puede ser igual al periodo fundamental aproximado T_a

$$T_a = C_t h^\alpha$$

Donde

C_t y α tienen valores dados en la siguiente tabla :

Sistema estructural de resistencia sísmica	Ct	α
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes mas rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos, horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.047	0.9
Pórticos resistentes a momentos de acero estructural que resiste la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes mas rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a fuerzas sísmicas.	0.072	0.8
Pórticos arriostrados de acero estructural con diagonales excéntricas restringidas al pandeo.	0.073	0.75
Todos los otros sistemas estructurales basados en muros de rigidez similar o mayor a la de muros de concreto o mampostería.	0.049	0.75

Tabla A.4.2-1 Valor para los parámetros C_t y α para el cálculo del período aproximado T_a .

3.) Las edificaciones de 12 pisos o menos, por encima de la base con el promedio de alturas h_p menor o igual a 3 m cuyo sistema estructural sean pórticos puede determinarse así:

$$T_a = 0.1N$$

Donde N es el numero de pisos de la edificación por encima de la base.

2.2- Zonas de amenaza sísmica A.2.3 (NSR-10)

De acuerdo al Reglamento Colombiano de Construcción Sísmo Resistente NSR-10 existen tres zonas de amenaza sísmica:

A.2.3.1 — ZONA DE AMENAZA SÍSMICA BAJA — Es el conjunto de lugares en donde tanto **Aa** como **Av** son menores o iguales a 0.10.

A.2.3.2— ZONA DE AMENAZA SÍSMICA INTERMEDIA — Es el conjunto de lugares en donde **Aa** o **Av**, o ambos son mayores de 0.10 y ninguno de los dos excede 0.20.

A.2.3.3— ZONA DE AMENAZA SÍSMICA ALTA — Es el conjunto de lugares en donde **Aa** o **Av** o ambos son mayores que 0.20.

Ciudad	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.10	0.10	Baja
Cúcuta	0.35	0.30	Alta
Florencia	0.20	0.15	Intermedia
Ibagué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.30	0.25	Alta
Montería	0.10	0.15	Intermedia
Neiva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta
Pereira	0.25	0.25	Alta
Popayán	0.25	0.20	Alta
Puerto Carreño	0.05	0.05	Baja
Puerto Inírida	0.05	0.05	Baja
Quibdó	0.35	0.35	Alta
Riohacha	0.10	0.15	Intermedia
San Andrés, Isla	0.10	0.10	Baja
Santa Marta	0.15	0.10	Intermedia
San José del Guaviare	0.05	0.05	Baja
Sincelejo	0.10	0.15	Intermedia
Tunja	0.20	0.20	Intermedia
Valledupar	0.10	0.10	Baja
Villavicencio	0.35	0.30	Alta
Yopal	0.30	0.20	Alta

Tabla A.2.3-2 Valor de A_a y de A_v para las ciudades capitales de departamento

2.3- Definición del tipo de perfil del suelo - A.2.4.4 (NSR-10)

El tipo o perfil del suelo lo debe dar el geotecnista, el procedimiento que se emplea para definir el tipo de perfil de suelo se basa en los valores de los parámetros del suelo de los 30 metros superiores del perfil, medidos en el sitio que se describieron en A.2.4.3.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{v}_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50$, o $\bar{s}_{11} \geq 100$ kPa (≈ 1 kgf/cm ²)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15$, o $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_{11} \geq 50$ kPa (≈ 0.5 kgf/cm ²)
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180 \text{ m/s} > \bar{v}_s$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_{11}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F₁ — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F₂ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F₃ — Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) F₄ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	

Tabla A.2.4-1 Clasificación de los perfiles del suelo.

2.4- Coeficiente de Fa y Fv para periodos cortos del espectro - A.2.4.3 y A.2.4.4 (NSR-10)

Luego de haber obtenido el tipo de suelo se debe determinar los coeficientes de sitio según la tabla 2.4-3 y A.2.4-4

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Tabla A.2.4-3 Valores del coeficiente Fa

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Nota: Para obtener los valores de F_a y F_v cuando no se tienen resultados exactos se debe realizar la una interpolación.

2.5- Coeficiente de importancia A.2.5 (NSR-10)

De acuerdo a la grupo de uso de se clasifica la estructura obteniendo el valor del coeficiente de importancia:

A.2.5.1.1 Grupo IV — Edificaciones indispensables — Son aquellas edificaciones de atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo, y cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alternativo. Este grupo debe incluir:

- Todas las edificaciones que componen hospitales clínicas y centros de salud que dispongan de servicios de cirugía, salas de cuidados intensivos, salas de neonatos y/o atención de urgencias.
- Todas las edificaciones que componen aeropuertos, estaciones ferroviarias y de sistemas masivos de transporte, centrales telefónicas, de telecomunicación y de radiodifusión
- Edificaciones designadas como refugios para emergencias, centrales de aeronavegación, hangares de aeronaves de servicios de emergencia
- Edificaciones de centrales de operación y control de líneas vitales de energía eléctrica, agua, combustibles, información y transporte de personas y productos
- Edificaciones que contengan agentes explosivos, tóxicos y dañinos para el público, y
- En el grupo **IV** deben incluirse las estructuras que alberguen plantas de generación eléctrica de emergencia, los tanques y estructuras que formen parte de sus sistemas contra incendio, y los accesos, peatonales y vehiculares de las edificaciones tipificadas en los literales a, b, c, d y e del presente numeral.

A.2.5.1.2 — Grupo III — Edificaciones de atención a la comunidad — Este grupo comprende aquellas edificaciones, y sus accesos, que son indispensables después de un temblor para atender la emergencia y preservar la salud y la seguridad de las personas, exceptuando las incluidas en el grupo **IV**. Este grupo debe incluir:

- Estaciones de bomberos, defensa civil, policía, cuarteles de las fuerzas armadas, y sedes de las oficinas de prevención y atención de desastres,
- Garajes de vehículos de emergencia,
- Estructuras y equipos de centros de atención de emergencias,
- Guarderías, escuelas, colegios, universidades y otros centros de enseñanza,
- Aquellas del grupo **II** para las que el propietario desee contar con seguridad adicional, y
- Aquellas otras que la administración municipal, distrital, departamental o nacional designe como tales.

A.2.5.1.3 — Grupo II — Estructuras de ocupación especial — Cubre las siguientes estructuras:

- Edificaciones en donde se puedan reunir más de 200 personas en un mismo salón
- Graderías al aire libre donde pueda haber más de 2000 personas a la vez,
- Almacenes y centros comerciales con más de 500 m² por piso,
- Edificaciones de hospitales, clínicas y centros de salud, no cubiertas en A.2.5.1.1.

- Edificaciones donde trabajen o residan más de 3000 personas, y
- Edificios gubernamentales.

A.2.5.1.4— Grupo I — Estructuras de ocupación normal — Todas la edificaciones cubiertas por el alcance de este Reglamento, pero que no se han incluido en los Grupos II, III y IV.

Grupo de Uso	Coefficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Tabla A.2.5-1 Valores del coeficiente de importancia, I

2.6- Espectro de diseño - A.2.6 (NSR-10)

El espectro de diseño representa un sismo que se repite cada 465 años, la forma del espectro de aceleraciones S_a expresado como fricción de la gravedad, para un coeficiente de cinco por ciento (5%) del amortiguamiento crítico, se debe utilizar en el diseño la figura que se representa a continuación:

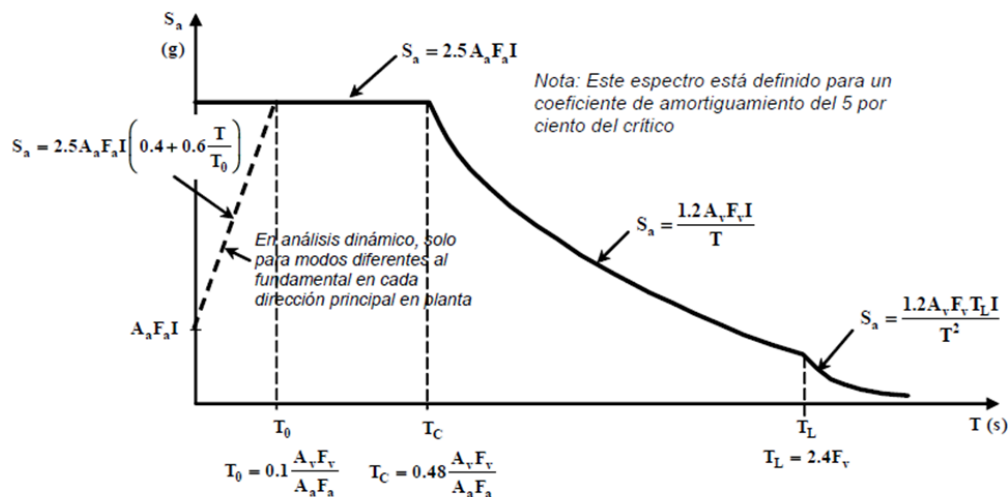


Figura A.2.6.1 - Espectro elástico de Aceleración de Diseño como Fricción de g

3- Ejemplo

3.1- Enunciado

Determinar la Fuerza Horizontal Equivalente - FHE la siguiente edificación:

- Sistema estructural: Pórticos en concreto
- Localización: Neiva
- Uso proyectado: Salones y oficinas
- Tipo de perfil: C



Figura 1. Vista en perfil

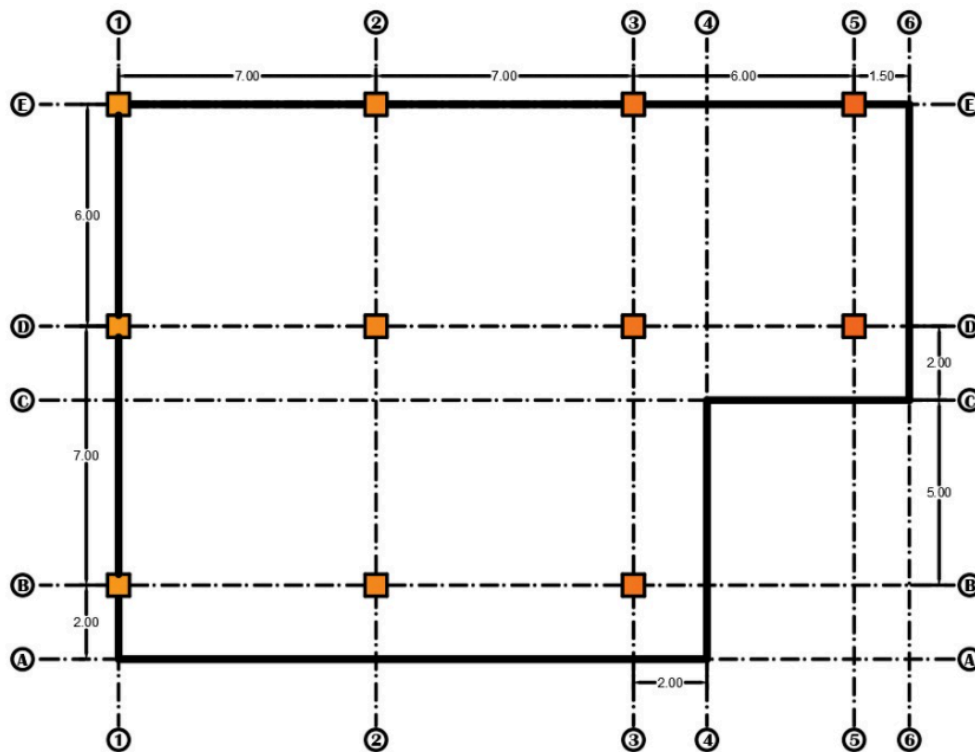


Figura 2. Vista en planta

3.2- Datos de entrada

Ht=13.5 % Altura total de la edificación

Ht =
13.50

3.3- Masa del edificio

WPisotipo = 5808; % WPisotipo= Masa de nivel 2-3 y 4 edificación [kN]
WCubierta = 3529; % WPisotipo= Masa cubierta edificación [kN]

3.4- Periodo fundamental de la edificación

Se utiliza la opción 2 para determinar el periodo fundamental de la edificación usando la *Tabla A.4.2-1* detallada en el numeral 1 de la presente guía:

```
disp('Valores para cálculo del periodo aproximado Ta');
```

Valores para cálculo del periodo aproximado Ta

Ct = 0.047 % Cof. para cálculo del periodo fundamental

Ct =
0.05

alfa = 0.9 % Exponente

alfa =
0.90

3.5- Zona de amenaza sísmica

De acuerdo con la *Tabla A.2.3-2* se elige los valores la zona de amenaza sísmica para la ciudad de Neiva:

Aa = 0.25 % Coef. la aceleración horizontal pico efectiva TABLA A.2.3-2

Aa =
0.25

Av = 0.25 % Coef. la velocidad horizontal pico efectiva TABLA A.2.3-2

Av =
0.25

3.6- Coeficiente de Fa y Fv para periodos cortos del espectro

De acuerdo a la *Tabla 2.4-3* y *A.2.4-4* se realiza una interpolación entre los valores de 0.2 y 0.3 del perfil del suelo tipo C para obtener los valores de Fa y Fv:

Fa = 1.15

Fa =
1.15

% Coef. de ampliación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos TABLA A.2.4-3
Fv = 1.55

Fv =
1.55

% Coef. de ampliación que afecta la aceleración en la zona
% de periodos intermedios TABLA A.2.4-4

3.7- Coeficiente de importancia

De acuerdo con la especificación dada para su uso (oficinas y salones) se ubica en el grupo III

I = 1.25; %Coeficiente de importancia que depende del tipo de Uso TABLA A.2.5-1

3.8- Periodo de vibración

Se calculan los periodos de vibración del edificio con las siguientes formulas:

```
disp('Periodos de vibración');
```

Periodos de vibración

$$T_0 = 0.1 * ((A_v * F_v) / (A_a * F_a))$$

T0 =
0.13

$$T_c = 0.48 * ((A_v * F_v) / (A_a * F_a))$$

Tc =
0.65

$$T_L = 2.4 * F_v$$

TL =
3.72

$$T_a = C_t * H_t^{\alpha}$$

Ta =
0.49

3.9- Cálculo de la aceleración de diseño

```
disp('Espectro elástico de aceleración g');
```

Espectro elástico de aceleración g

```
if Ta < Tc
    if Ta > T0
        Sa = 2.5 * Aa * Fa * I
    end
else
    disp('Verificar *Sa*');
```

```
end
```

```
Sa =  
    0.90
```

3.10- Cálculo de cortante sísmica

```
disp(' =====');  
  
=====
```

```
disp(' Altura por niveles');
```

```
Altura por niveles
```

```
Ht
```

```
Ht =  
    13.50
```

```
H3=10.5
```

```
H3 =  
    10.50
```

```
H2=7.5
```

```
H2 =  
     7.50
```

```
H1=4.5
```

```
H1 =  
     4.50
```

```
disp(' =====');  
  
=====
```

```
disp('Masa W por piso y masa total');
```

```
Masa W por piso y masa total
```

```
W4 = WCubierta
```

```
W4 =  
    3529.00
```

```
W3 = WPisotipo
```

```
W3 =  
    5808.00
```

```
W2 = WPisotipo
```

```
W2 =  
    5808.00
```

```
W1 = WPisotipo
```

```
W1 =  
    5808.00
```

```
Wt = W1+W2+W3+W4
```

```
Wt =  
    20953.00
```

```
disp(' ===== ');
```

```
=====
```

```
disp('Vs - Cortante sísmica');
```

```
Vs - Cortante sísmica
```

```
Vs = Sa * Wt
```

```
Vs=Sa*Wt
```

```
Vs =  
    18824.96
```

```
disp(' ===== ');
```

```
=====
```

```
disp('Wi*Hi');
```

```
Wi*Hi
```

```
WH4=WCubierta*Ht
```

```
WH4 =  
    47641.50
```

```
WH3=WPisotipo*H3
```

```
WH3 =  
    60984.00
```

```
WH2=WPisotipo*H2
```

```
WH2 =  
    43560.00
```

```
WH1=Wpistipo*H1
```

```
WH1 =  
    26136.00
```

```
Wht=WH1+WH2+WH3+WH4
```

```
Wht =  
    178321.50
```

```
disp(' ===== ');
```

```
=====
```

```
disp('Cvx');
```

```
Cvx
```

$$C_{vx} = \frac{W_{piso}}{W_{total}}$$

```
Cvx4=WH4/Wht
```

```
Cvx4 =  
    0.27
```

```
Cvx3=WH3/Wht
```

```
Cvx3 =  
    0.34
```

```
Cvx2=WH2/Wht
```

```
Cvx2 =  
    0.24
```

```
Cvx1=WH1/Wht
```

```
Cvx1 =  
    0.15
```

```
Cvxt=Cvx1+Cvx2+Cvx3+Cvx4
```

```
Cvxt =  
    1.00
```

```
disp(' ===== ');
```

```
=====
```

```
disp('Fu');
```

Fu

$$F_u = C_{vx} * V_s$$

$$Fu4=Cvx4*Vs$$

$$Fu4 = 5029.40$$

$$Fu3=Cvx3*Vs$$

$$Fu3 = 6437.93$$

$$Fu2=Cvx2*Vs$$

$$Fu2 = 4598.52$$

$$Fu1=Cvx1*Vs$$

$$Fu1 = 2759.11$$

$$Fut=Fu4+Fu3+Fu2+Fu1$$

$$Fut = 18824.96$$

```
disp(' ===== ');
```

```
=====
```

```
disp('Vupiso N'); %cortante de piso
```

```
Vupiso N
```

$$Vu4=Fu4$$

$$Vu4 = 5029.40$$

$$Vu3=Fu4+Fu3$$

$$Vu3 = 11467.33$$

$$Vu2=Fu4+Fu3+Fu2$$

$$Vu2 = 16065.85$$

$$Vu1=Fu4+Fu3+Fu2+Fu1$$

$$Vu1 = 18824.96$$

```

if Vu1==Vs
    disp('CHEQUEA');
else
    disp('NO CHEQUEA CORTANTE');
end

```

CHEQUEA

```

disp('*****GRAFICA CORTANTE DE PISO***** ');

```

*****GRAFICA CORTANTE DE PISO*****

```

Y = [Vu1
     Vu2
     Vu3
     Vu4];

```

```

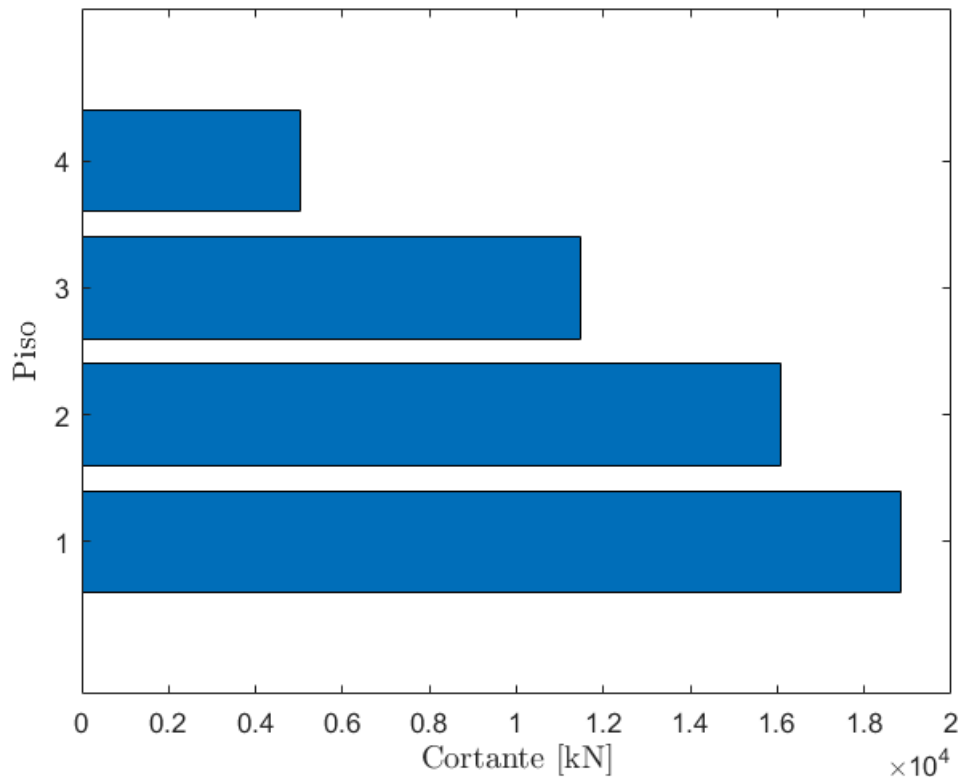
figure
barh(Y)

```

```

ylabel('Piso','fontsize',12,'interpreter','latex') % Nombre barra en y
xlabel('Cortante por piso [kN]','fontsize',12,'interpreter','latex')

```



3.11- Determinación de momentos

```

disp(' ===== ');

```

```
=====
disp('Momentos M')
```

```
Momentos M
```

```
lx = 24 %Longitud en x
```

```
lx =
    24.00
```

```
ly = 24 %Longitud en y
```

```
ly =
    24.00
```

```
eay=0.05*ly %excentricidad Y
```

```
eay =
    1.20
```

```
eax=0.05*lx %excentricidad X
```

```
eax =
    1.20
```

$$M_{xx} = F_a * e_{ay}$$

```
Mxx4=Fu4*eay
```

```
Mxx4 =
    6035.27
```

```
Mxx3=Fu3*eay
```

```
Mxx3 =
    7725.52
```

```
Mxx2=Fu2*eay
```

```
Mxx2 =
    5518.23
```

```
Mxx1=Fu1*eay
```

```
Mxx1 =
    3310.94
```

$$M_{yy} = F_a * e_{ax}$$

```
Myy4=Fu4*eax
```

```
Myy4 =
    6035.27
```



```
Myy3=Fu3*eax
```

```
Myy3 =  
7725.52
```

```
Myy2=Fu2*eax
```

```
Myy2 =  
5518.23
```

```
Myy1=Fu1*eax
```

```
Myy1 =  
3310.94
```

3.12- Tabla resumen

```
disp(' ===== ');
```

```
=====
```

```
disp('Tabla de resultados FHE')
```

Tabla de resultados FHE

```
NIVEL = { ' Cubierta ' ; ' Losa 4 ' ; ' Losa 3 ' ; ' Losa 2 ' ;  
H = [Ht;H3;H2;H1;0];  
W = [W4;W3;W2;W1;Wt];  
WiHi = [WH4;WH3;WH2;WH1;Wht];  
Cvx = [Cvx4;Cvx3;Cvx2;Cvx1;Cvxt];  
Fu = [Fu4;Fu3;Fu2;Fu1;Fut];  
Vupiso = [Vu4;Vu3;Vu2;Vu1;0];  
Mxx = [Mxx4;Mxx3;Mxx2;Mxx1;0];  
Myy = [Myy4;Myy3;Myy2;Myy1;0];
```

```
T = table(NIVEL,H,W,WiHi,Cvx,Fu,Vupiso,Mxx,Myy)
```

T = 5x9 table

	NIVEL	H	W	WiHi	Cvx	Fu	Vupiso	Mxx	Myy
1	' Cubier...	13.50	3529.00	47641.50	0.27	5029.40	5029.40	6035.27	6035.27
2	' Losa...	10.50	5808.00	60984.00	0.34	6437.93	11467.33	7725.52	7725.52
3	' Losa...	7.50	5808.00	43560.00	0.24	4598.52	16065.85	5518.23	5518.23
4	' Losa...	4.50	5808.00	26136.00	0.15	2759.11	18824.96	3310.94	3310.94
5	' Σ '	0	20953.00	178321.50	1.00	18824.96	0	0	0

4. Bibliografía

Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica

Método de la fuerza horizontal equivalente

(Ejemplo No.2)

1- Introducción

En la presente guía encontrará el procedimiento para la obtención de las fuerzas sísmicas horizontales de la edificación y el análisis de la resistencia sísmica, de acuerdo con los requisitos dados en el capítulo A.3 para la utilización de la fuerza horizontal equivalente.

Los comandos clave utilizados en esta guía son:

```
clc, clear, close all; format bank
```

Contenido

Método de la fuerza horizontal equivalente.....	1
1- Introducción.....	1
3- Ejemplo de FHE.....	1
3.1- Enunciado.....	1
3.2- Datos de entrada.....	3
3.3- Masa del edificio.....	3
3.4- Periodo fundamental de la edificación.....	3
3.5- Zona de amenaza sísmica.....	4
3.6- Coeficiente de F_a y F_v para periodos cortos del espectro.....	4
3.7- Coeficiente de importancia.....	4
3.8- Periodo de vibración.....	4
3.9- Cálculo de la aceleración de diseño.....	5
3.10- Cálculo de cortante sísmica.....	5
3.11- Determinación de momentos.....	10
3.12- Tabla resumen.....	11
4. Bibliografía.....	11

3- Ejemplo de FHE

3.1- Enunciado

Determinar la Fuerza Horizontal Equivalente - FHE la siguiente edificación:

- Sistema estructural: Porticos en concreto
- Localización: Bogotá
- Uso proyectado: Escuela la Nueva
- Tipo de perfil: D

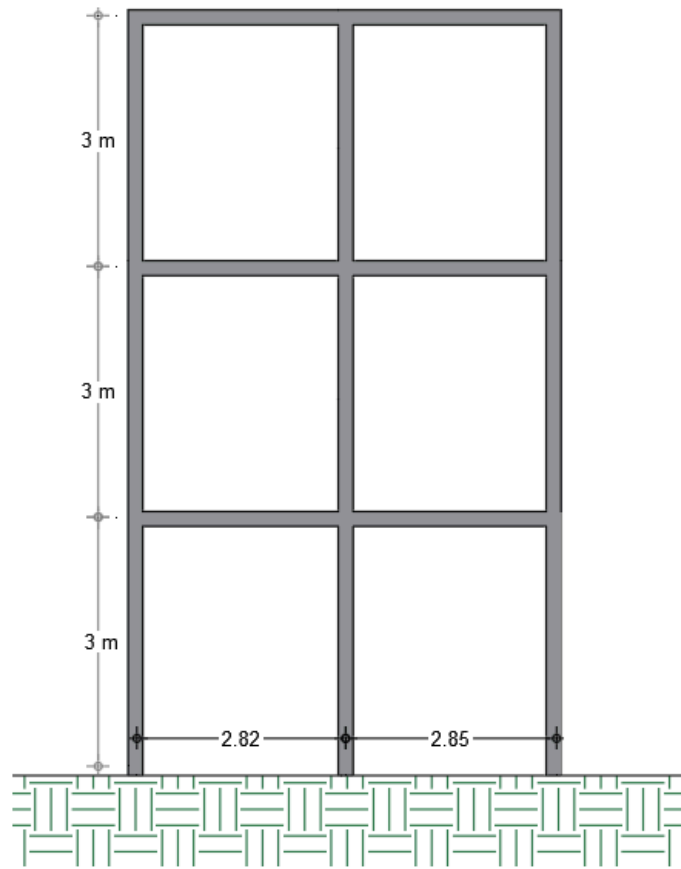


Figura 1. Vista en perfil

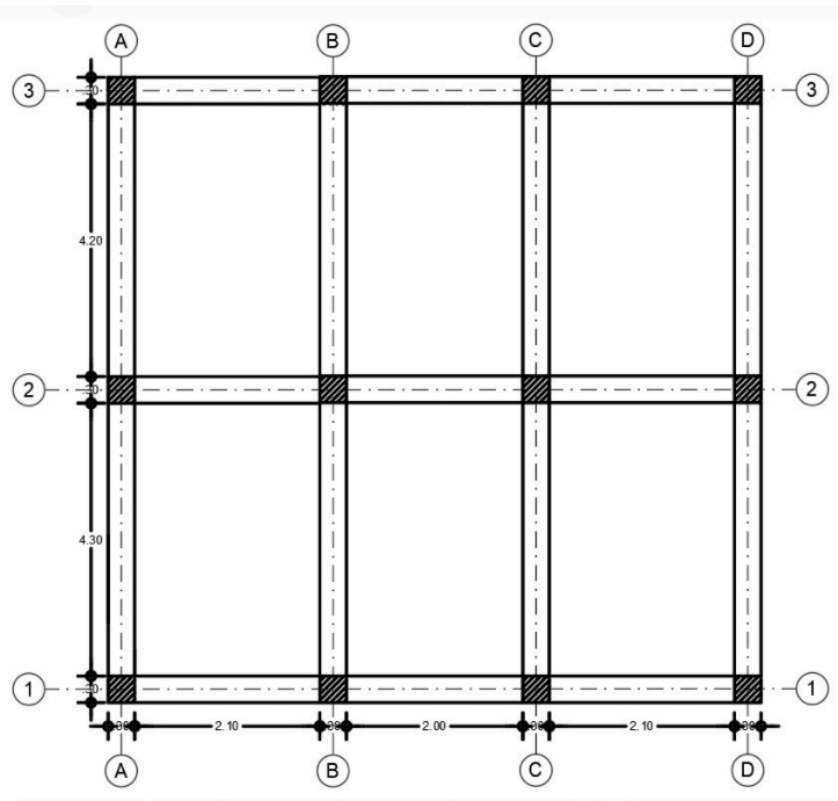


Figura 2. Vista en planta

3.2- Datos de entrada

Ht=9 % Altura total de la edificación

Ht =
9.00

3.3- Masa del edificio

WPisotipo = 2045; % WPisotipo= Masa de nivel 2-3 edificación [kN]
WCubierta = 1200; % WPisotipo= Masa cubierta edificación [kN]

3.4- Periodo fundamental de la edificación

Se utiliza la opción 2 para determinar el periodo fundamental de la edificación usando la *Tabla A.4.2-1* detallada en el numeral 1 de la presente guía:

disp('Valores para calculo del periodo aproximado Ta');

Valores para calculo del periodo aproximado Ta

Ct = 0.047 % Cof. para calculo del perioro fundamentala

Ct =
0.05

alfa = 0.9 % Exponente

alfa =
0.90

3.5- Zona de amenaza sísmica

De acuerdo a la *Tabla A.2.3-2* se elige los valores la zona de amenaza sísmica para la ciudad de Bogotá:

Aa = 0.15 % Coef. la aceleración horizontal pico efectiva TABLA A.2.3-2

Aa =
0.15

Av = 0.20 % Coef. la velocidad horizontal pico efectiva TABLA A.2.3-2

Av =
0.20

3.6- Coeficiente de Fa y Fv para periodos cortos del espectro

De acuerdo a la *Tabla 2.4-3* y *A.2.4-4* se realiza una interpolación entre los valores de 0.2 y 0.3 del perfil del suelo tipo D para obtener los valores de Fa y Fv:

Fa = 1.05

Fa =
1.05

% Coef. de ampliación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos TABLA A.2.4-3

Fv = 2

Fv =
2.00

% Coef. de ampliación que afecta la aceleración en la zona
% de periodos intermedios TABLA A.2.4-4

3.7- Coeficiente de importancia

De acuerdo a la especificación dada para su uso (oficinas y salones) se ubica en el grupo III

I = 1.25; %Coeficiente de importancia que depende del tipo de Uso TABLA A.2.5-1

3.8- Periodo de vibración

Se calculan los periodos de vibración del edificio con las siguientes formulas:

disp('Periodos de vibración');

'Periodos de vibración

$T_0 = 0.1 * ((A_v * F_v) / (A_a * F_a))$

T0 =
0.25

```
Tc=0.48*((Av*Fv)/(Aa*Fa))
```

Tc =
1.22

```
TL=2.4*Fv
```

TL =
4.80

```
Ta=Ct*Ht^alfa
```

Ta =
0.34

3.9- Cálculo de la aceleración de diseño

```
disp('Espectro elastico de aceleración g');
```

Espectro elastico de aceleración g

```
if Ta<Tc
    if Ta>T0
        Sa=2.5*Aa*Fa*I
    end
else
    disp('Verificar *Sa*');
end
```

Sa =
0.49

3.10- Cálculo de cortante sísmica

```
disp(' =====');
```

=====

```
disp(' Altura por niveles');
```

Altura por niveles

```
Ht
```

Ht =
9.00

```
H3=6
```

H3 =
6.00

```
H2=3
```

```
H2 =  
    3.00
```

```
disp(' =====');
```

```
=====
```

```
disp('Masa W por piso y masa total');
```

```
Masa W por piso y masa total
```

```
W3 = WCubierta
```

```
W3 =  
    1200.00
```

```
W2 = WPisotipo
```

```
W2 =  
    2045.00
```

```
W1 = WPisotipo
```

```
W1 =  
    2045.00
```

```
Wt = W1+W2+W3
```

```
Wt =  
    5290.00
```

```
disp(' =====');
```

```
=====
```

```
disp('Vs - Cortante sismica');
```

```
Vs - Cortante sismica
```

$$V_s = S_a * W_t$$

```
Vs=Sa*Wt
```

```
Vs =  
    2603.67
```

```
disp(' ===== ');
```

```
=====
```

```
disp('Wi*Hi');
```

```
Wi*Hi
```

```
WH3=WCubierta*Ht
```

```
WH3 =  
10800.00
```

```
WH2=WPisotipo*H3
```

```
WH2 =  
12270.00
```

```
WH1=WPisotipo*H2
```

```
WH1 =  
6135.00
```

```
WHT=WH1+WH2+WH3
```

```
WHT =  
29205.00
```

```
disp(' ===== ');
```

```
=====
```

```
disp('Cvx');
```

```
Cvx
```

$$C_{vx} = \frac{W_{piso}}{W_{total}}$$

```
Cvx3=WH3/WHT
```

```
Cvx3 =  
0.37
```

```
Cvx2=WH2/WHT
```

```
Cvx2 =  
0.42
```

```
Cvx1=WH1/WHT
```



```
Cvx1 =  
    0.21
```

```
Cvxt=Cvx1+Cvx2+Cvx3
```

```
Cvxt =  
    1.00
```

```
disp(' ===== ');  
  
=====
```

```
disp('Fu');
```

```
Fu
```

$$F_u = C_{vx} * V_s$$

```
Fu3=Cvx3*Vs
```

```
Fu3 =  
    962.84
```

```
Fu2=Cvx2*Vs
```

```
Fu2 =  
    1093.89
```

```
Fu1=Cvx1*Vs
```

```
Fu1 =  
    546.94
```

```
Fut=Fu3+Fu2+Fu1
```

```
Fut =  
    2603.67
```

```
disp(' ===== ');  
  
=====
```

```
disp('Vupiso N'); %cortante de piso
```

```
Vupiso N
```

```
Vu3=Fu3
```

```
Vu3 =  
    962.84
```

```
Vu2=Fu2+Fu3
```

```
Vu2 =
```

```
Vu1=Fu1+Fu2+Fu3
```

```
Vu1 =
    2603.67
```

```
if Vu1==Vs
    disp('CHEQUEA');
else
    disp('NO CHEQUEA CORTANTE');
end
```

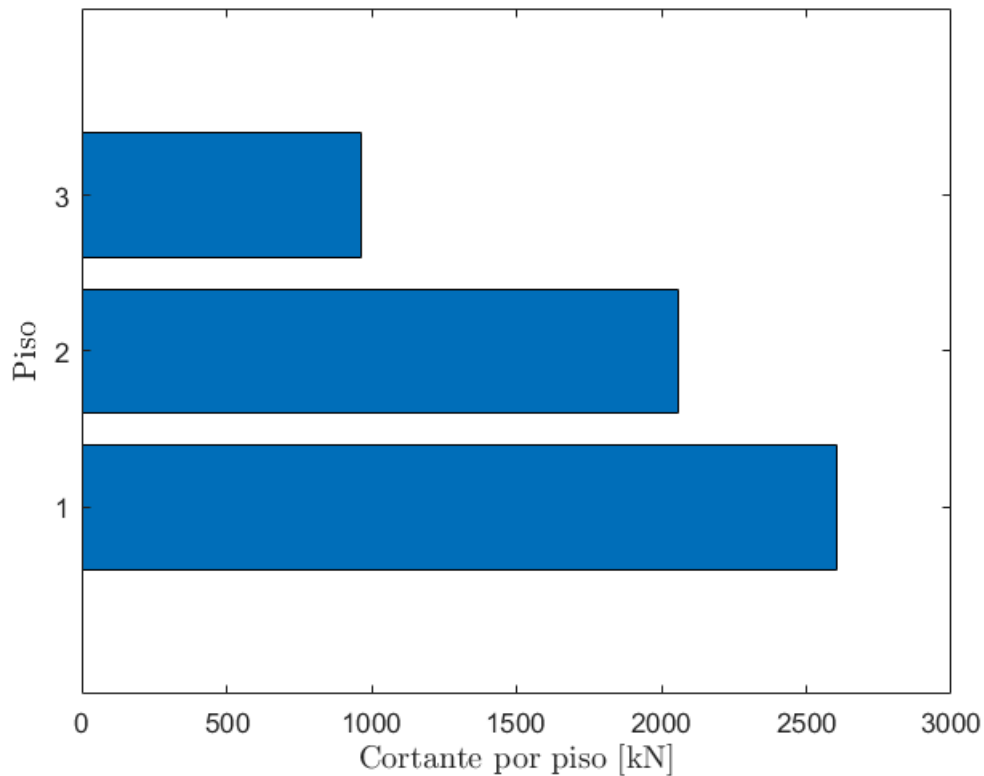
```
CHEQUEA
```

```
disp('*****GRAFICA CORTANTE DE PISO*****');
```

```
*****GRAFICA CORTANTE DE PISO*****
```

```
Y = [Vu1
     Vu2
     Vu3];
figure
barh(Y)

ylabel('Piso','fontsize',12,'interpreter','latex') % Nombre barra en y
xlabel('Cortante por piso [kN]','fontsize',12,'interpreter','latex')
```



3.11- Determinación de momentos

```
disp(' =====');
```

```
=====
```

```
disp('Momentos M')
```

```
Momentos M
```

```
lx = 6.2 %Longitud en x
```

```
lx =  
    6.20
```

```
ly = 8.5 %Longitud en y
```

```
ly =  
    8.50
```

```
eay=0.05*ly %excentricidad Y
```

```
eay =  
    0.43
```

```
eax=0.05*lx %excentricidad X
```

```
eax =  
    0.31
```

$$M_{xx} = F_a * e_{ay}$$

```
Mxx3=Fu3*eay
```

```
Mxx3 =  
    409.21
```

```
Mxx2=Fu2*eay
```

```
Mxx2 =  
    464.90
```

```
Mxx1=Fu1*eay
```

```
Mxx1 =  
    232.45
```

$$M_{yy} = F_a * e_{ax}$$

```
Myy3=Fu3*eax
```

```
Myy3 =  
    298.48
```

```
Myy2=Fu2*eax
```

```
Myy2 =  
    339.11
```

```
Myy1=Fu1*eax
```

```
Myy1 =  
    169.55
```

3.12- Tabla resumen

```
disp(' ===== ');
```

```
=====
```

```
disp('Tabla de resultados FHE')
```

Tabla de resultados FHE

```
NIVEL = {' Cubierta ' ; ' Losa 3 ' ; ' Losa 2 ' ; ' Σ '};  
H = [Ht;H3;H2;0];  
W = [W3;W2;W1;Wt];  
WiHi = [WH3;WH2;WH1;WHT];  
Cvx = [Cvx3;Cvx2;Cvx1;Cvxt];  
Fu = [Fu3;Fu2;Fu1;Fut];  
Vupiso = [Vu3;Vu2;Vu1;0];  
Mxx = [Mxx3;Mxx2;Mxx1;0];  
Myy = [Myy3;Myy2;Myy1;0];
```

```
T = table(NIVEL,H,W,WiHi,Cvx,Fu,Vupiso,Mxx,Myy)
```

T = 4x9 table

	NIVEL	H	W	WiHi	Cvx	Fu	Vupiso	Mxx	Myy
1	' Cubier...	9.00	1200.00	10800.00	0.37	962.84	962.84	409.21	298.48
2	' Losa...	6.00	2045.00	12270.00	0.42	1093.89	2056.73	464.90	339.11
3	' Losa...	3.00	2045.00	6135.00	0.21	546.94	2603.67	232.45	169.55
4	' Σ '	0	5290.00	29205.00	1.00	2603.67	0	0	0

4. Bibliografía

Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica

Método de la Fuerza Horizontal Equivalente

Enunciado:

Determine la fuerza horizontal equivalente del siguiente edificio

Determinar la Fuerza Horizontal Equivalente - FHE la siguiente estructura:

- Sistema estructural: Porticos en concreto
- Localización: Bucaramanga
- Uso proyectado: Alcaldía de la ciudad
- Tipo de perfil: D

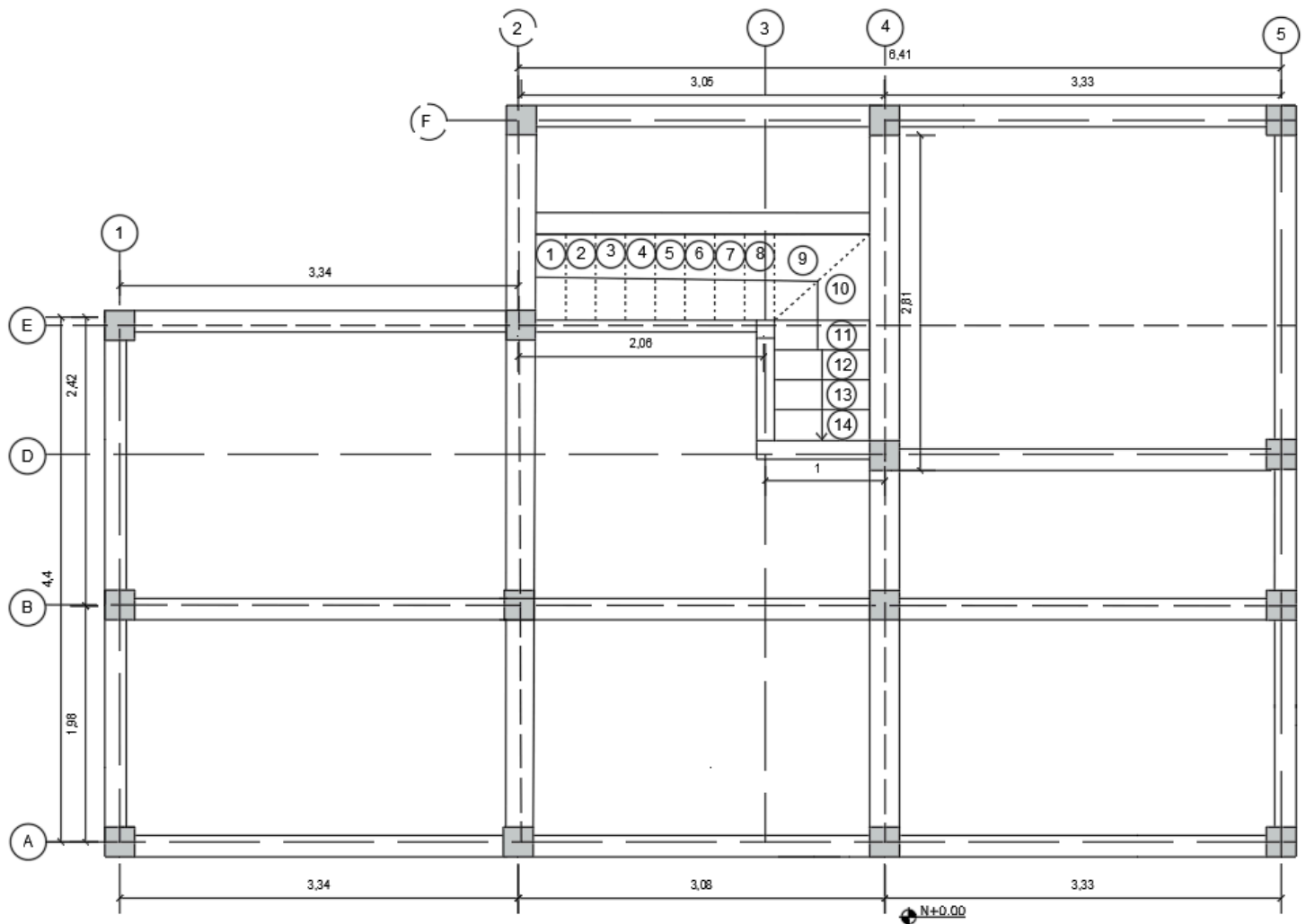


Figura 1. Vista en planta

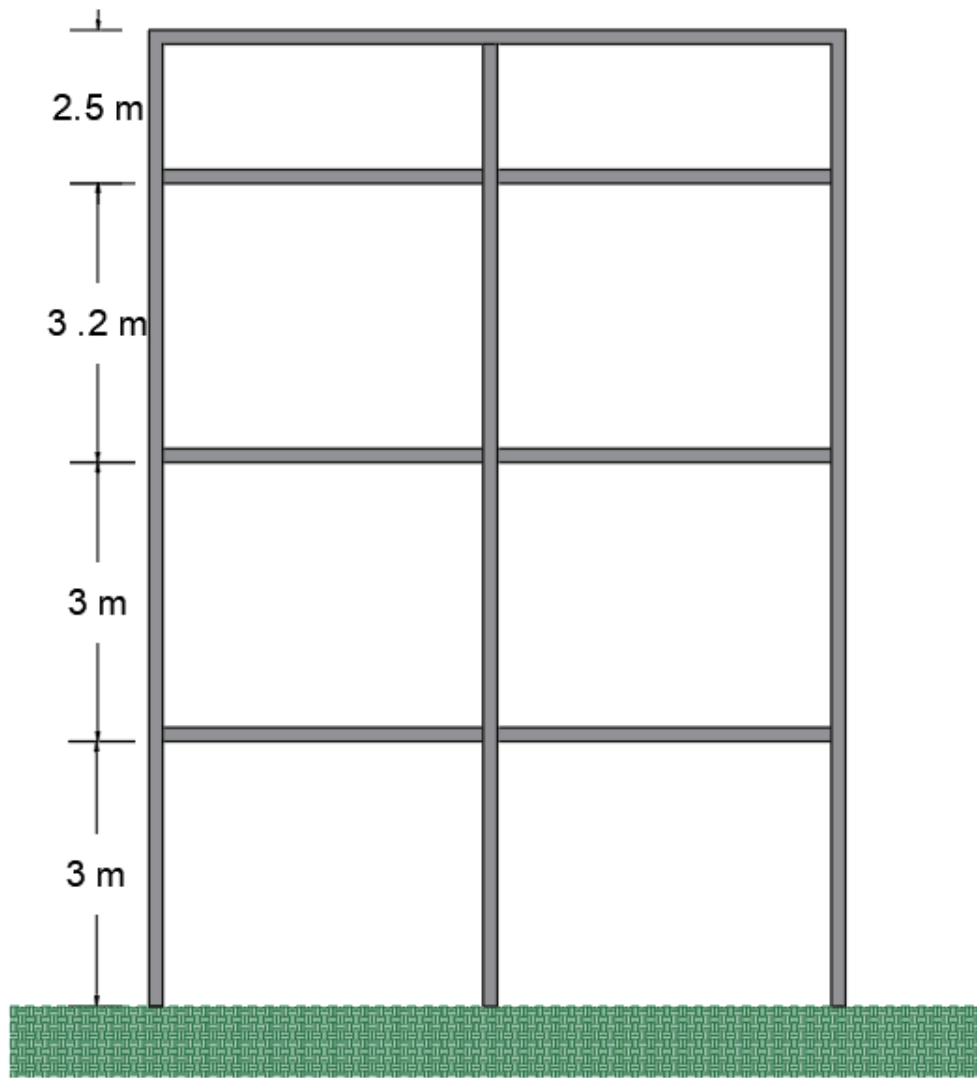


Figura 2. Vista en perfil

Q. Anexo: Guía de cimentaciones.

Cimentaciones Aspectos Teóricos (C.15)

1- Introducción

"Se denomina cimentación al conjunto de elementos estructurales construidos en la base de una estructura con el objeto de transmitir las cargas de esta al subsuelo de soporte" (Segura, 2011). En la presente guía se encontrará la clasificación de las cimentaciones y una breve descripción teórica sobre cada una de ellas.

Contenido

Cimentaciones Aspectos Teóricos (C.15).....	1
1- Introducción	1
2- Objetivos de una cimentación.....	1
3- Cimentaciones superficiales.....	1
3.1- Cimentación corrida (Para muros).....	1
3.2- Cimentación aislada para columnas (Zapatas).....	2
3.3- Cimentación combinada (Para dos o más columnas).....	4
3.4- Cimentación con viga de contrapeso.....	4
3.5- Losa de cimentación.....	4
4. Cimentaciones profundas.....	5
4.1- Cimentación sobre pilotes por punta y por fricción.....	5
4.2- Caisson.....	6
5- Ejemplos.....	6
6- Bibliografía.....	7

2- Objetivos de una cimentación

Los objetivos fundamentales que se buscan en el diseño de una cimentación son:

- La obtención de asentamientos limitados a cantidades admisibles.
- Los asentamientos diferenciales sean mínimos.

Los objetivos se logran si se apoya la estructura en un estrato apropiado y si el tamaño de la fundación es suficiente. Las cimentaciones se pueden dividir en

3- Cimentaciones superficiales

El diseño se hará a partir de la carga de la columna o muro que, si se considera simétricamente distribuida con respecto al cimiento, es decir, coincidentes el centro de gravedad de las cargas a cimentar con el centro de gravedad del cimiento el área de cimentación se puede obtener de la división de la carga total por la presión admisible adjudicada al terreno. Esta suposición de uniformidad en la reacción del suelo no es estrictamente exacta y variará en una u otra forma dependiendo en parte de las características del suelo e influyendo especialmente en la adopción y aproximaciones del diseño estructural.

Las clases de cimentación superficial son:

3.1- Cimentación corrida (Para muros)

Este tipo de cimentación se diseña como una viga T invertida sometida a la relación uniforme del terreno, se resta el peso propio de la cimentación por considerarse integrado con la fundición por lo tanto no productor de flexión y cortante.

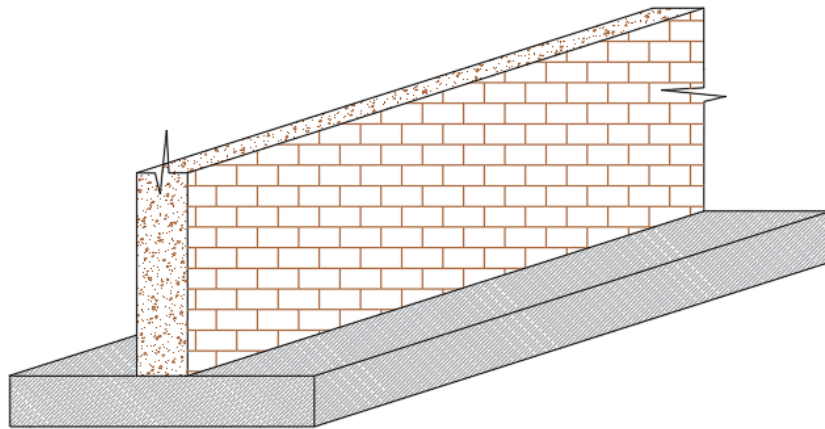


Figura 1. Cimentación corrida

3.2- Cimentación aislada para columnas (Zapatatas)

Este tipo de cimentación es usada especialmente para columnas cuadradas o circulares con cargas axiales, tienen un comportamiento estructural similar al de losas con voladizos en dos direcciones a la carga uniforme del terreno (Segura, 2011).

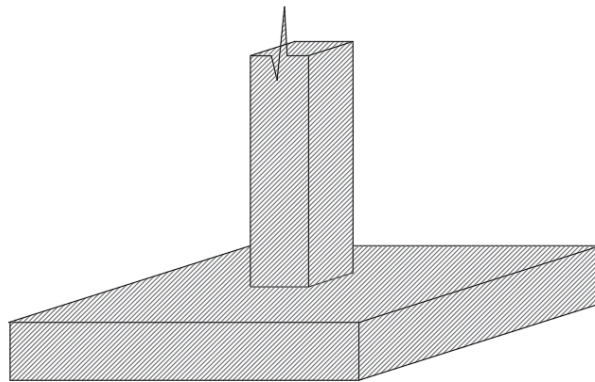


Figura 2. Cimentación aislada centrada

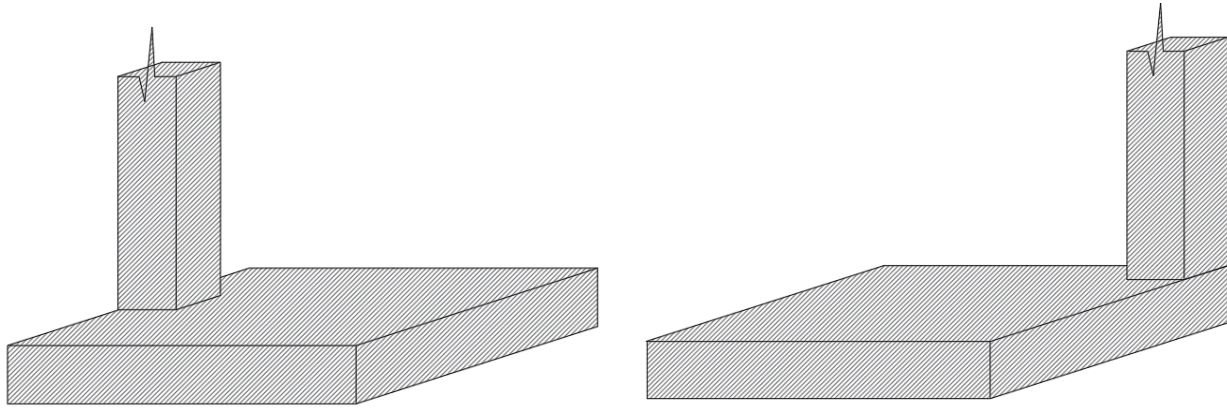
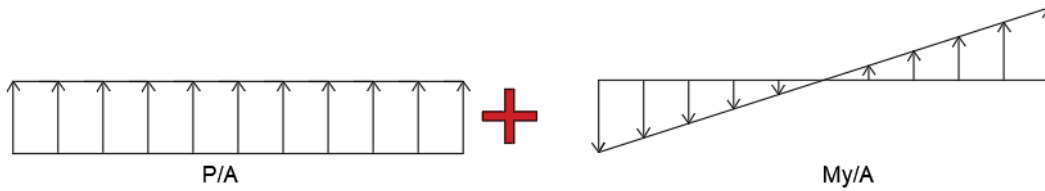
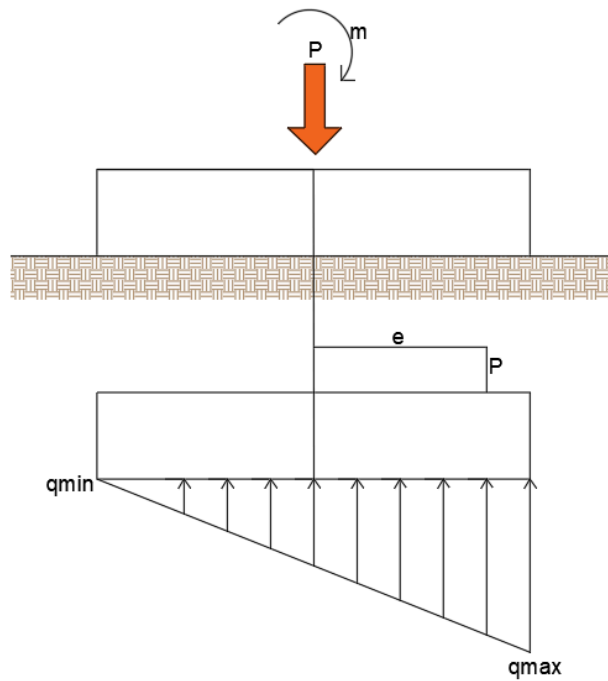


Figura 3. Cimentaciones aisladas concéntricas

Una zapata se considera excentrica cuando:

$$m = P * e$$

$$e = \frac{m}{P} \Rightarrow \text{Excentricidad}$$



$$q_a = \frac{P_u}{A_{req}} \implies P_u = \text{Carga axial mayorada para todas las combinaciones}$$

3.3- Cimentación combinada (Para dos o más columnas)

Son llamadas cimentaciones combinadas o continuas debido a que unen dos o más columnas. Se utilizan dependiendo el espacio. Asimismo, ayudan a generar soluciones de simetría en linderos. Esto genera que el diseñador tenga que hacer coincidir el centro de gravedad de las cargas de las columnas con el centro de gravedad del cimiento (Segura, 2011).

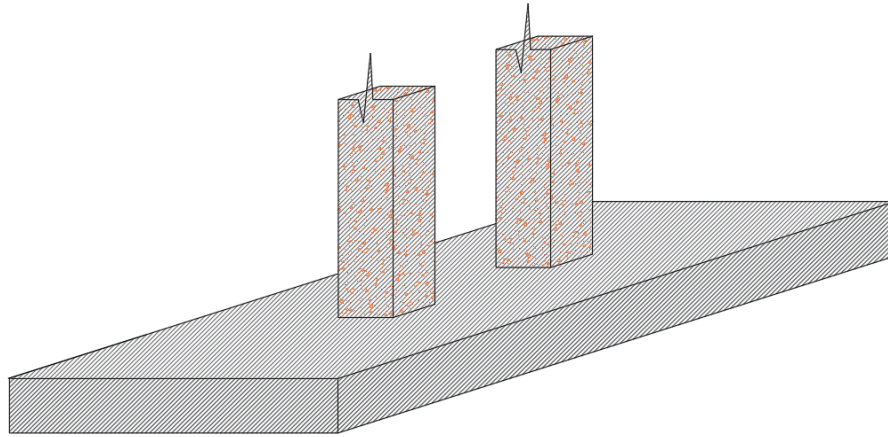


Figura 4. Cimentación combinada

3.4- Cimentación con viga de contrapeso

Este tipo de cimentación es muy usado especialmente para solucionar problemas de excentricidades por columnas en algún linderro. Consiste en unir la cimentación con una viga llamada contrapeso (Segura, 2011).

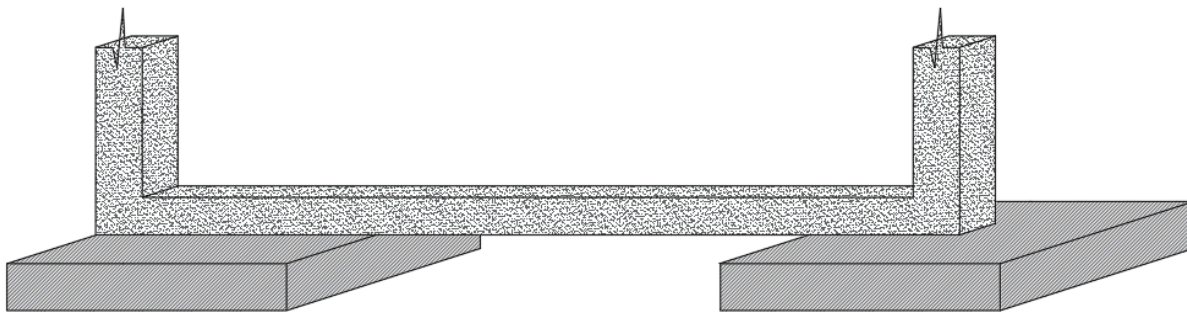


Figura 5. Cimentación con viga de contrapeso

3.5- Losa de cimentación

La losa de cimentación es básicamente una placa de concreto reforzado apoyada sobre el terreno que se encarga de transmitir las cargas de la estructura de una manera uniforme hasta el estrato en el cual se

encuentra soportada. Se utiliza especialmente cuando los edificios cuentan con una gran altura que al usar un sistema de cimentación de zapatas no pueden soportar.

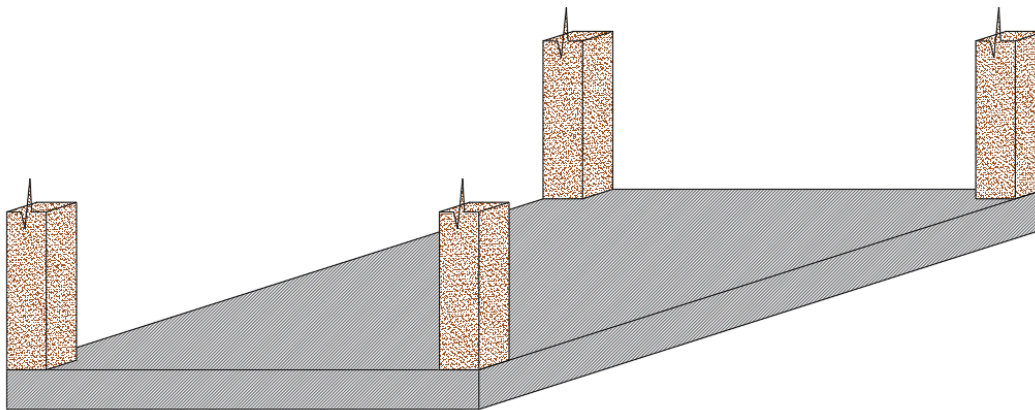


Figura 6. Losa de cimentación

4. Cimentaciones profundas

Las cimentaciones profundas cumplen principalmente la función de transmitir las cargas de la estructura a estratos más estables o de mayor capacidad. Existen diferentes formas de realizar el desplazamiento de las cargas al estrato. En este sentido se distinguen dos grandes clases de pilotes dependiendo la función o fabricación:

1. Por su función:

- Trabajo de punta
- Trabajo
- Trabajo combinado

2. Por su fabricación:

- Prefabricados
- Fundidos en el sitio

4.1- Cimentación sobre pilotes por punta y por fricción

El diseño de este tipo de pilotes consiste básicamente en relacionarlos como columnas. Serán valorados como cortos o esbeltos dependiendo que tan confinados y profundos se encuentren. Asimismo, la longitud dependerá principalmente de la disipación de la carga del pilote por fricción con el terreno y de la localización del refuerzo transversal que requiera (Segura, 2011).

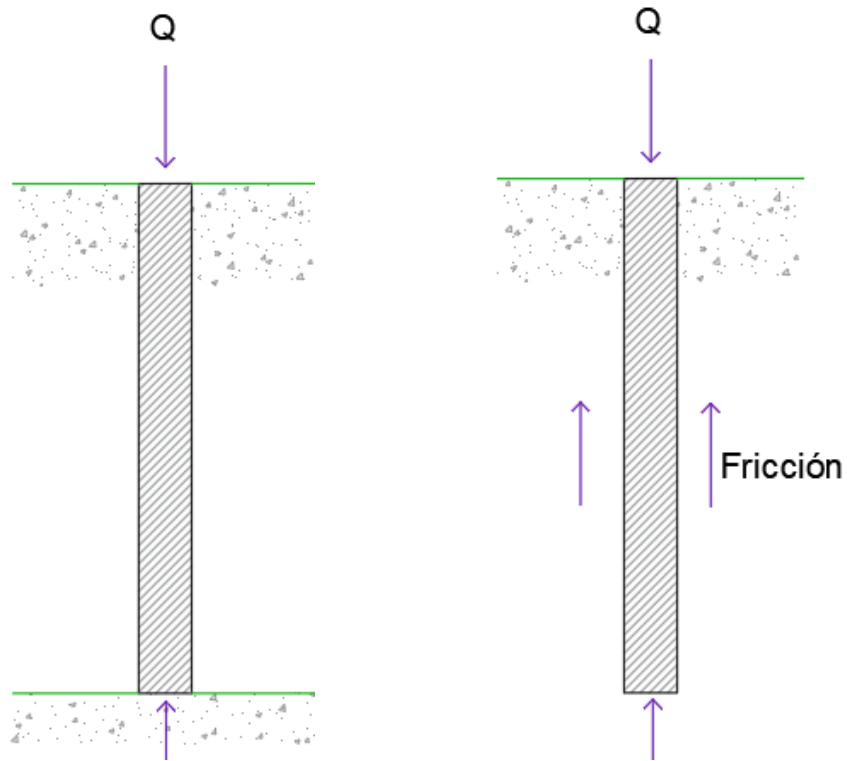
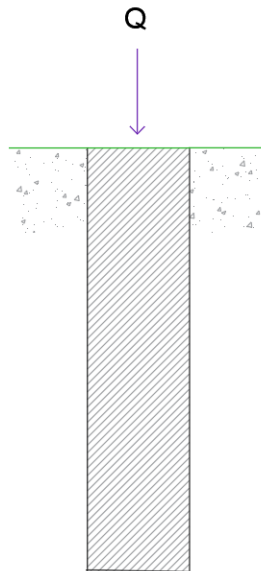


Figura 7. Pilotes por punta y por fricción

4.2- Caisson

Es un tipo de cimentación profunda, utilizada especialmente en los suelos con características blandas. Se reconocen por ser de mayor diámetro que los pilotes por fricción o por punta.



5- Ejemplos

Los ejemplos correspondientes a la presente guía se encuentran en las guías anexas en el mismo Modulo de nominado *Cimentaciones* así:

- Cimentaciones aisladas
- Cimentación corrida

6- Bibliografía

- Segura, J. I. (2011). *Estructuras de concreto I*. Bogotá: Alaya Avila & Cia Ltda.
- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10* (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Cimentaciones Aisladas

Introducción

Una zapata aislada se puede considerar como un tipo de cimentación superficial que sirve de soporte de un elemento estructural, generalmente son cuadradas y transmiten las cargas a través de columnas. En la presente guía se explicará el paso a paso a través de un ejemplo y los aspectos teóricos para realizar el diseño de una zapata aislada.

Los comandos claves utilizados en esta guía son:

```
clc, clear, close all, format shortG
```

Contenido

Cimentaciones Aisladas.....	1
Introducción.....	1
Ejemplo de zapata aislada.....	5
Datos de entrada.....	6
Materiales y características del suelo.....	6
Datos de la sección.....	7
Datos según la posición de la columna.....	8
Cargas.....	8
1.) Predimensionamiento.....	9
2.) Área mínima requerida para la zapata.....	9
3.) Definir espesor (t).....	10
4.) Cortante.....	11
4.1) Por punzonamiento.....	11
4.2) Cortante como viga ancha.....	13
4.3) Verificación del peso asumido de la zapata.....	13
5.) Verificación de la capacidad del suelo o presión de contacto.....	14
6.) Verificación por aplastamiento.....	14
7.) Acero de refuerzo a flexión.....	15
Bibliografía.....	16

Zapatas aisladas: Se conocen como zapatas sin momento flector son usadas para soportar columnas normalmente cuadradas, existen de tres tipos de zapatas aisladas:

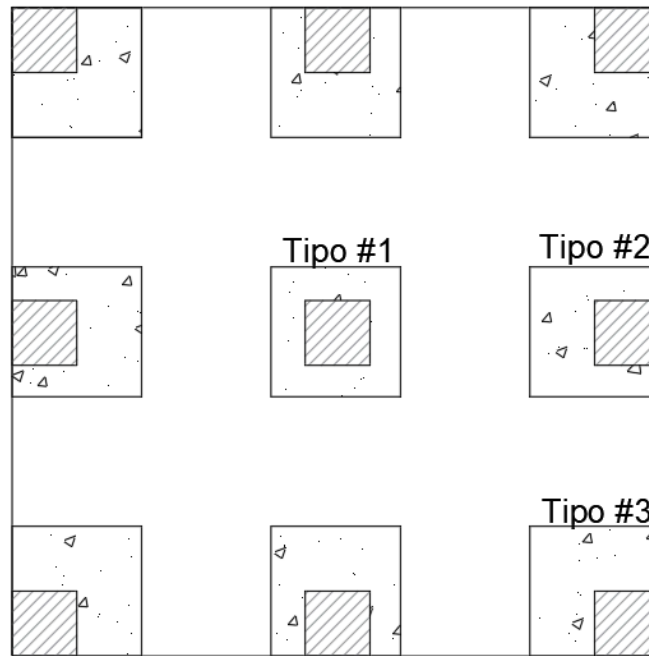
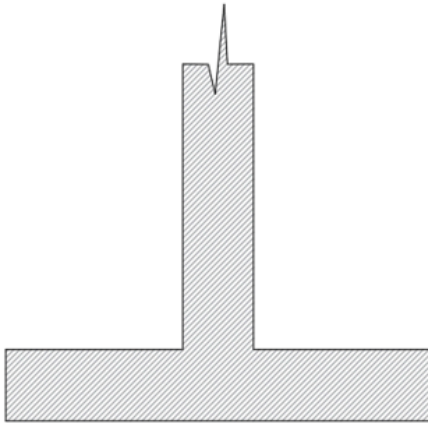
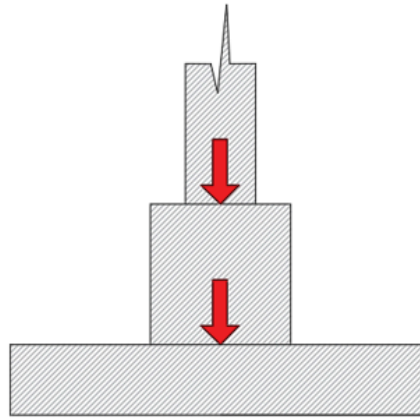


Figura 1. Tipos de cimentaciones aisladas

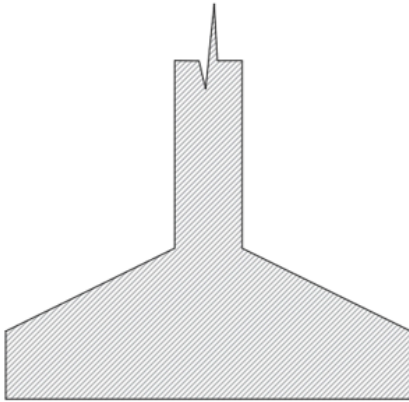
Tipos de zapatas desde el aspecto constructivo: Desde el punto de vista constructivo se pueden encontrar diferentes tipos de zapatas, sin embargo, la tipo c y d son imprácticas debido a la mayor cantidad de formaletas que se deben usar lo que origina un aumento en los costos y mano de obra



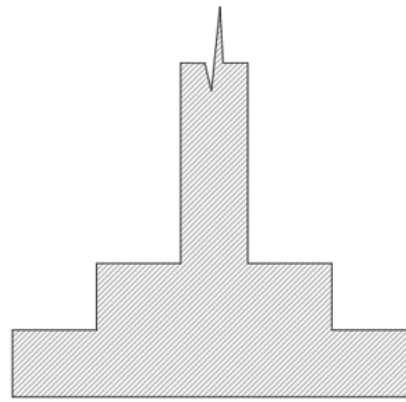
a. **Zapata sencilla:** Es la más sencilla en cuanto al diseño y construcción.



b. **Zapata con pedestal:** El pedestal se calcula como un soporte elemento sometido a compresión simple o compuesta.



c. **Zapata acartelada:** La idea de esta zapata es mantener constante el momento flector sobre la altura relativa en cada sección.



d. **Zapata escalonada:** Este tipo de zapatas disminuye la cantidad de refuerzo a utilizar.

- El área de la zapata se define bajo la siguiente formula:

$$A_{\text{req}} = \frac{P_{\text{Servicio}}}{q_a}$$

- La zapata funciona como un voladizo que flexa hacia arriba producto de la relación con el terreno, estas requieren refuerzo en dos partes.

$$P_{\text{servicio}} = (4 a 10\%)(D + L)$$

- Para el cálculo del refuerzo a cortante el momento flector solo se debe tener en cuenta la relación neta que producida por las cargas mayoradas que se desplazan a través de la columna, pero sin incluir el peso propio de la zapata ni el relleno.
- Normalmente el espesor de la zapata es controlado por la cortante.
- Las zapatas flexan en dos direcciones su comportamiento por fuerza cortante similar al de las losas en dos direcciones en la vecindad de la columna; sin embargo, no se colocan estribos en la zapata.
- Al igual que en losas se presentan dos tipos de cortante: Por punzonamiento y como viga.

Pasos:

1. De acuerdo con la NSR-10 V_c debe ser el menor resultado de las siguientes formulas:

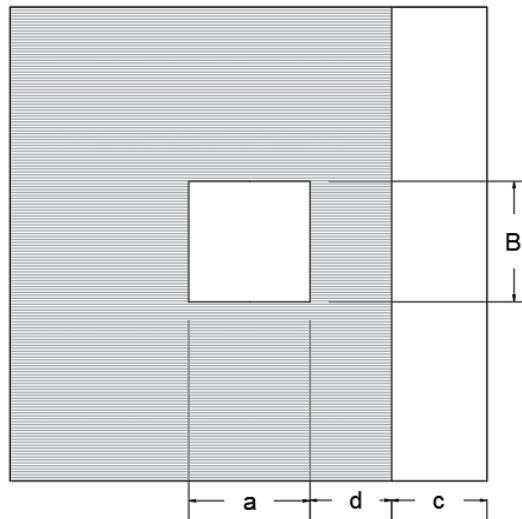
- $V_c = 0.17 \left(1 + \frac{2}{B}\right) * \lambda * \sqrt{f'c} * bo * d$
- $V_c = 0.083 \left(\frac{\alpha * d}{B} + 2\right) * \lambda * \sqrt{f'c} * bo * d$
- $V_c = 0.33 * \lambda * \sqrt{f'c} * bw * d$

Donde:

- $bo = 2[(a + d) + (b + d)]$
- $B =$ Relación entre los lados
- $\alpha =$
40 \implies Para zapatas centricas
30 \implies Para zapatas medianeras
20 \implies Para zapatas esquineras

2. Como una viga ancha (C.11.1.1.1) se debe tomar como un caso similar a la falla por cortante en el lado actuante de losas en dos direcciones.

La sección crítica se toma a una distancia d de la columna.



$$V_u = qu * B \left[\frac{1}{2} (l - a) - d \right] \implies \text{Cortante de diseño como viga ancha}$$

$$V_c = 0.17 * \lambda * \sqrt{f'c} * B * d \implies \text{Cortante del concreto}$$

$$\phi V_c \geq V_u$$

3. Aplastamiento del concreto (C.10.14)

- El diseño debe verificar las cuestiones del aplastamiento del concreto ya que se debe garantizar una correcta transferencia de esfuerzos con la base de la columna y la cimentación.
- La resistencia por aplastamiento no debe exceder las siguientes condiciones:

$$a. \phi a * (0.85) * f'c * A$$

$$b. \phi a * (0.85) * f'c * A * \frac{\sqrt{A2}}{A1}$$

Condiciones de uso:

- Sí el área de la zapata es mayor que el área directamente cargada se debe usar la ecuación b de lo contrario se debe usar a.
- Para las zapatas rectangulares de ancho b, longitud L, el refuerzo en la dirección larga es uniforme espaciado en el menor ancho.
- El refuerzo en la dirección corta debe ser espaciado en el ancho mayor, se coloca en el ancho centrado con respecto a la columna.
- En las partes sobrantes del ancho se coloca el siguiente refuerzo:

$$\frac{\text{Refuerzo ancho } B}{\text{Refuerzo lateral ancho } L} = \frac{2}{\frac{L}{2} + 1}$$

$$\text{Refuerzo lateral} = \frac{1}{2} \left(\frac{L}{B} + 1 \right) (\text{Refuerzo en ancho } B)$$

El refuerzo de retracción de fraguado tiene un $\gamma_{\min} = 0.0018$

Ejemplo de zapata aislada

Diseñar la zapata aislada para una columna interior con las siguientes especificaciones:

$$PD = 1100 \text{ kN}$$

$$PL = 200 \text{ kN}$$

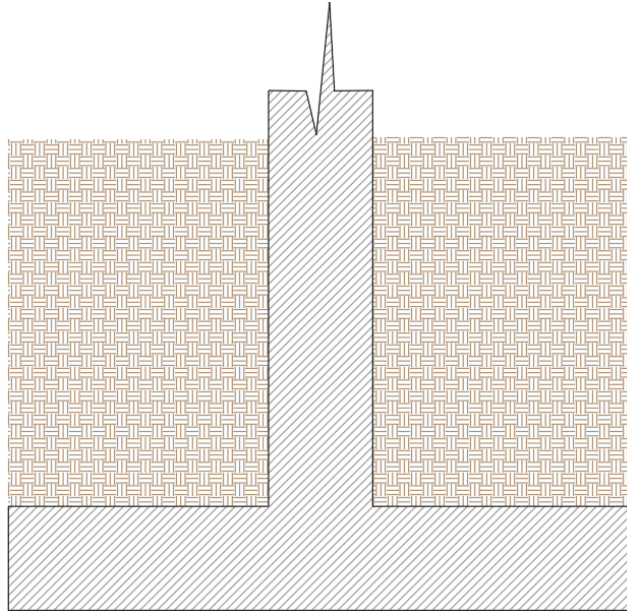
$$f'c = 21 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$q_a = 2.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\gamma_{\text{suelo}} = 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Profundidad de desplante} = 1.5 \text{ m}$$



Datos de entrada

Materiales y características del suelo

- ϕ a fluencia

```
fif = 0.9
```

```
fif =  
    0.9
```

- ϕ a tracción

```
fit = 0.75
```

```
fit =  
    0.75
```

- ϕ a aplastamiento

```
fia = 0.65
```

```
fia =  
    0.65
```

- Peso concreto reforzado

```
c = 24, disp('kN/m3')
```

```
c =  
    24  
kN/m3
```

- Concreto de peso normal

```
landa = 1
```

```
landa =  
1
```

- Resistencia especificada a la compresión del concreto

```
fc = 21000000, disp('Pa')
```

```
fc =  
21000000  
Pa
```

- Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo

```
fy = 420000000, disp('Pa')
```

```
fy =  
420000000  
Pa
```

- Gama del suelo

```
rsuelo = 18, disp('kN/m3')
```

```
rsuelo =  
18  
kN/m3
```

Datos de la sección

- Altura

```
h = 0.4, disp('m')
```

```
h =  
0.4  
m
```

- Base

```
L = 0.4, disp('m')
```

```
L =  
0.4  
m
```

- Área

```
Ac=h*L;
```

```
sprintf('- El valor del área es= %0.5g [m2]',Ac)
```

```
ans =  
'- El valor del área es= 0.16 [m2]'
```

- Profundidad de desplante

```
pd=1.5, disp('m')
```

```
pd =  
    1.5  
m
```

- Recubrimiento de la zapata

```
rec=0.1, disp('m')
```

```
rec =  
    0.1  
m
```

- Ro mínimo a flexión

```
Romin=0.0033
```

```
Romin =  
    0.0033
```

Datos según la posición de la columna

- Columna interior

```
in=40
```

```
in =  
    40
```

- Columna de borde

```
br=30
```

```
br =  
    30
```

- Columna esquinera

```
es=20
```

```
es =  
    20
```

Cargas

1. Carga muerta que llega al elemento:

```
Pd=1100, disp('kN')
```

```
Pd =  
    1100  
kN
```

2. Carga viva que llega al elemento

```
P1=200, disp('kN')
```

```
P1 =  
    200  
kN
```

3. Capacidad del suelo

```
qa=2.5, disp('kg/cm2')
```

```
qa =  
    2.5  
kg/cm2
```

1.) Predimensionamiento

Carga sin mayorar sobre la zapata en kN

```
P=Pd+P1;  
sprintf('- La carga sin mayorar es= %0.5g kN',P)
```

```
ans =  
'- La carga sin mayorar es= 1300 kN'
```

Porcentaje que se asumen del peso de la zapata según carga total sin mayorar

```
Pzasumido=P*0.1
```

```
Pzasumido =  
    130
```

Peso total junto al peso de la zapata sin mayorar en kN

```
Puservicio=P+Pzasumido;  
sprintf('- El peso total es = %0.5g kN',Puservicio)
```

```
ans =  
'- El peso total es = 1430 kN'
```

2.) Área mínima requerida para la zapata

Área requerida por la zapata

```
Ar=(Puservicio/qa)/100;  
sprintf('- El área requerida por la zapata es = %0.5g m2',Ar)
```

```
ans =
```

'- El área requerida por la zapata es = 5.72 m²'

Base de la zapata calculada

```
Bs=sqrt(Ar);  
sprintf('- Base es = %0.5g m',Bs)
```

```
ans =  
'- Base es = 2.3917 m'
```

Se aproxima a un valor mayor para la base de la zapata

```
B=2.5 % Base de zapata seleccionado
```

```
B =  
2.5
```

```
H=2.5 % Altura de la zapata
```

```
H =  
2.5
```

Área de la zapata

```
Az=B*H;  
sprintf('- El área de la zapata es = %0.5g m',Az)
```

```
ans =  
'- El área de la zapata es = 6.25 m'
```

3.) Definir espesor (t)

Distancia desde la parte superior de la zapata a la inferior del acero(m) C.15.7 NSR-10

```
disp('Asumimos "d" por norma debe ser mayor a 15 cm ')
```

Asumimos "d" por norma debe ser mayor a 15 cm

```
d=0.45
```

```
d =  
0.45
```

```
t=d+rec;  
sprintf('- Espesor de zapata es = %0.5g m',t)
```

```
ans =  
'- Espesor de zapata es = 0.55 m'
```

Mayoración de las cargas con las combinaciones requeridas

```
Combinacion_1 = 1.4*Pd;  
Combinacion_2 = (1.2*Pd)+(1.6*Pl);  
if Combinacion_1<Combinacion_2
```



```
Pum=Combinacion_2
else
Pum=Combinacion_1
end
```

```
Pum =
    1640
```

Se aproxima a un valor entero para la carga de servicio:

- Carga de servicio redondeada

```
Pumr=1700;
sprintf('- Carga de servicio redondeada es = %0.5g kN',Pumr)
```

```
ans =
'- Carga de servicio redondeada es = 1700 kN'
```

Esfuerzo de la zapata sobre el suelo

```
qu=Pumr/(B^2);
sprintf('- El esfuerzo que ejerce la zapata sobre el suelo es = %0.5g KPa',qu)
```

```
ans =
'- El esfuerzo que ejerce la zapata sobre el suelo es = 272 KPa'
```

Carga por metro lineal de zapata

```
Wu=qu*1;
sprintf('- La carga por metro lineal es = %0.5g kN/m',Wu)
```

```
ans =
'- La carga por metro lineal es = 272 kN/m'
```

Momento maximo generado en la zapata

```
Mu=Wu*(((B/2)-(h/2))^2)/2;
sprintf('- El momento máximo es = %0.5g kN-m',Mu)
```

```
ans =
'- El momento máximo es = 149.94 kN-m'
```

4.) Cortante

4.1) Por punzonamiento

En la gran mayoría de los casos el punzonamiento es el que controla el espesor t

- Cortante por punzonamiento

```
Vu=qu*((B^2)-((h+d)*(L+d)));
sprintf('- La cortante por punzonamiento es = %0.5g kN',Vu)
```

```
ans =
'- La cortante por punzonamiento es = 1503.5 kN'
```

Calculo de cortante resistido por el concreto a punzonamiento

```
beta=h/L;  
sprintf('- El valor de B es = %0.5g',beta)
```

```
ans =  
'- El valor de B es = 1'
```

Perímetro de la sección crítica

```
bo=2*((h+d)+(h+d)), disp('m')
```

```
bo =  
    3.4  
m
```

Evaluó de ecuaciones de cortante

```
Vca=0.17*(1+(2/beta))*landa*sqrt(fc)*bo*d
```

```
Vca =  
    3575.8
```

```
Vcb=0.083*(2+((in*d)/bo))*landa*sqrt(fc)*bo*d
```

```
Vcb =  
    4244.7
```

```
Vcc=0.33*landa*sqrt(fc)*bo*d
```

```
Vcc =  
    2313.7
```

Se utiliza la menor cortante

```
if Vcb<Vcc  
    Vcp=Vcb %Cortante que controla punzonamiento (kN)  
else  
    Vcb>Vcc  
    Vcp=Vcc %Cortante que controla punzonamiento (kN)  
end
```

```
ans = Logical  
    1  
Vcp =  
    2313.7
```

Cortante que controla punzonamiento reducido

```
fiVcp=fit*Vcp
```

```
fiVcp =  
    1735.3
```

```
if fiVcp>Vu
```

```

('CHEQUEA LA CORTANTE MINIMA DEL CONCRETO')
else
('NO CHEQUEA LA CORTANTE MINIMA DEL CONCRETO "AUMENTAR EL VALOR DE (d)" ')
end

ans =
'CHEQUEA LA CORTANTE MINIMA DEL CONCRETO'

```

4.2) Cortante como viga ancha

```
Vuv=qu*(0.5*(B-L)-d)*H, disp('kN')
```

```
Vuv =
    408
kN
```

Cortante en el concreto

```
Vcv=0.17*landa*sqrt(fc)*B*d;
sprintf('- La cortante en el concreto es = %0.5g kN',Vcv)
```

```
ans =
'- La costante en el concreto es = 876.42 kN'
```

Cortante en el concreto reducida

```
fiVcv=fit*(Vcv);
sprintf('- La cortante reducida es = %0.5g kN',fiVcv)
```

```
ans =
'- La cortante reducida es = 657.31 kN'
```

```

if fiVcv>Vuv
('CHEQUEA LA CORTANTE REDUCIDA DEL CONCRETO')
else
('NO CHEQUEA LA CORTANTE REDUCIDA DEL CONCRETO "AUMENTAR EL VALOR DE (B o L de la zapata)')
end

```

```
ans =
'CHEQUEA LA CORTANTE REDUCIDA DEL CONCRETO'
```

4.3) Verificación del peso asumido de la zapata

```
Pzf=c*(B*H)*t, disp('kN')
```

```
Pzf =
    82.5
kN
```

```

if Pzf<Pzasumido
('CHEQUEA EL PESO ASUMIDO DE LA ZAPATA')
else

```

```
 ('NO CHEQUEA EL PESO ASUMIDO DE LA ZAPATA, SE DEBE AUMENTAR EL % "Pz" ')
end
```

```
ans =
'CHEQUEA EL PESO ASUMIDO DE LA ZAPATA'
```

5.) Verificación de la capacidad del suelo o presión de contacto

Carga total del suelo sobre la zapata

```
Psuelo=rsuelo*((B^2)-(L*h)*(pd-t));
sprintf('- La carga del suelo sobre la zapata es = %0.5g kN',Psuelo)
```

```
ans =
'- La carga del suelo sobre la zapata es = 109.76 kN'
```

Carga total que llega a la zapata

```
PS=Psuelo+Pd+Pl+Pzf;
sprintf('- La carga total que recibe la zapata es = %0.5g kN',PS)
```

```
ans =
'- La carga total que recibe la zapata es = 1492.3 kN'
```

Carga distribuida bajo el suelo de la zapata (kN/m²)

```
q=PS/(B*H);
sprintf('- Carga distribuida es = %0.5g kN',qu)
```

```
ans =
'- Carga distribuida es = 272 kN'
```

Comprobación de capacidad portante del suelo

```
if q<(qa*100)
 ('CHEQUEA LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO')
else
 ('NO CHEQUEA LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO ')
end
```

```
ans =
'CHEQUEA LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO'
```

6.) Verificación por aplastamiento

Altura del área directamente cargada

```
ha=((B/2)-(L/2))/2;
sprintf('- La altura del área cargada es = %0.5g m',ha)
```

```
ans =
'- La altura del área cargada es = 0.525 m'
```

Comprobación del área directamente cargada

Ecuación a usar:

```
if t<ha
    ('Usar la ecuación (A)')
    ('Papla=fia*(0.85)*f`c*Ac')
    Papla=(fia*(0.85)*fc*(Ac))/1000 %Resistencia de la zapata ala aplastamiento
else
    t>ha
    ('Usar la ecuación (B)')
    Papla=fia*(0.85)*fc*Ac*(sqrt(Az/Ac))
end
```

```
ans = Logical
      1
ans =
'Usar la ecuación (B)'
Papla =
      1.1603e+07
```

Comprobación de capacidad

```
if Pumr<Papla
    ('CHEQUEA POR APLASTAMIENTO LA ZAPATA')
else
    ('NO CHEQUEA POR APLASTAMIENTO LA ZAPATA')
end
```

```
ans =
'CHEQUEA POR APLASTAMIENTO LA ZAPATA'
```

7.) Acero de refuerzo a flexión

```
k=Mu/(1*(d^2))/100000;
sprintf('- El valor de k es = %0.5g',k)
```

```
ans =
'- El valor de k es = 0.0074044'
```

```
roc=(0.85*(fc/fy))*(1-(sqrt(1-((2*k)/(0.85*fc))))));
sprintf('- La cuantía mínima calculada es = %0.5g',roc)
```

```
ans =
'- La cuantia minima calculada es = 1.763e-11'
```

```
Rom=0.0033;
sprintf('- El Ro mínimo es = %0.5g',Rom)
```

```
ans =
'- El Ro minimo es = 0.0033'
```

Comprobación del Ro de diseño

```
if roc<Rom
    ('Ro de diseño definido')
```

```

Ro=Rom
else
('Ro de diseño definido')
Ro=roc
end

```

```

ans =
'Ro de diseño definido'
Ro =
    0.0033

```

```

As_requerida=Ro*10000*d;
sprintf('- El área requerida es = %0.5g cm2/m',As_requerida)

```

```

ans =
'- El área requerida es = 14.85 cm2/m'

```

```

Asbarra = [284/1000^2], disp('cm2')

```

```

Asbarra =
    0.000284
cm2

```

```

Sep=round((Asbarra/As_requerida)*10000,2);
sprintf('- La separación requerida es = %0.5g m',Sep)

```

```

ans =
'- La separación requerida es = 0.19 m'

```

```

disp('Resumen de refuerzo por refracción y temperatura:')

```

Resumen de refuerzo por refracción y temperatura:

```

Acero = {'Usar'; 'Barra'; '@'};

```

```

Usar=["Usar"];
Barra = ["No.6"];
Sep=[Sep];

```

```

T = table(Usar,Barra,Sep)

```

T = 1x3 table

	Usar	Barra	Sep
1	"Usar"	"No.6"	0.19

Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10* (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Cimentación corrida (para muros)

1- Introducción

Las cimentaciones combinadas o continuas son usadas para dos o más columnas. Dependen del espacio y se utilizan para solucionar problemas de simetría a causa de linderos, En cualquier situación es importante que se dé una relación uniforme bajo la cimentación por lo cual es importante que coincidan los centros de gravedad. En la presente guía se desarrollará un ejemplo de cómo realizar el diseño de una cimentación continua y la descripción de criterios que se deben tener en cuenta para el proceso.

Los comandos claves utilizados en esta guía son:

```
clc, clear, close all, format shortG
```

Contenido

Cimentación corrida (para muros).....	1
1- Introducción.....	1
2- Aspectos teóricos de la cimentación corrida.....	1
3- Ejemplo de cimentación corrida.....	2
3.1- Enunciado.....	2
3.2- Datos de entrada:.....	2
3.3- Avalúo de cargas.....	3
3.4- Área requería.....	4
3.5- Definir espesor de la zapata.....	5
3.5.1- Momento flector de la zapata.....	5
3.5.2- Cortante.....	7
3.6- Chequear la presión a cortante.....	8
3.7- Refuerzo.....	8
3.8- Despiece.....	9
4- Bibliografía.....	10

2- Aspectos teóricos de la cimentación corrida

Se deben considerar los siguientes criterios:

- Se debe diseñar por metro lineal
- La cimentación funciona como una viga con doble voladizo, es decir, en una sola dirección.
- Se obtiene una falla por flexión y otra falla por cortante.

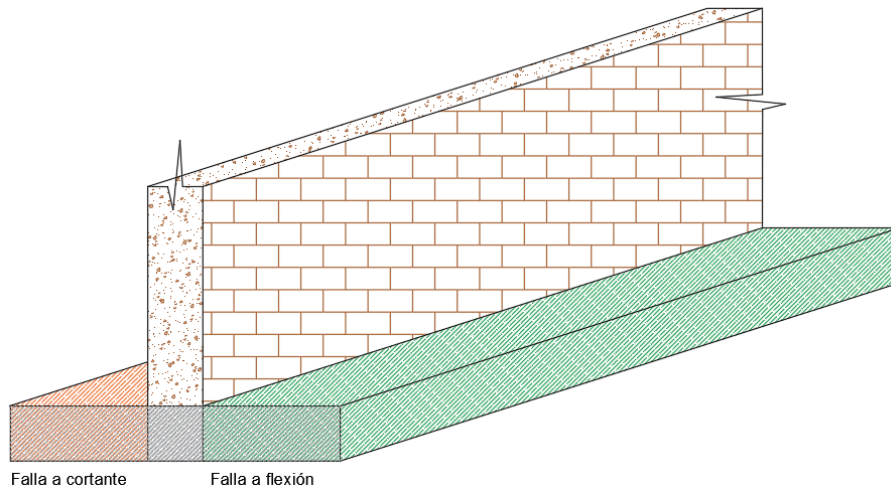


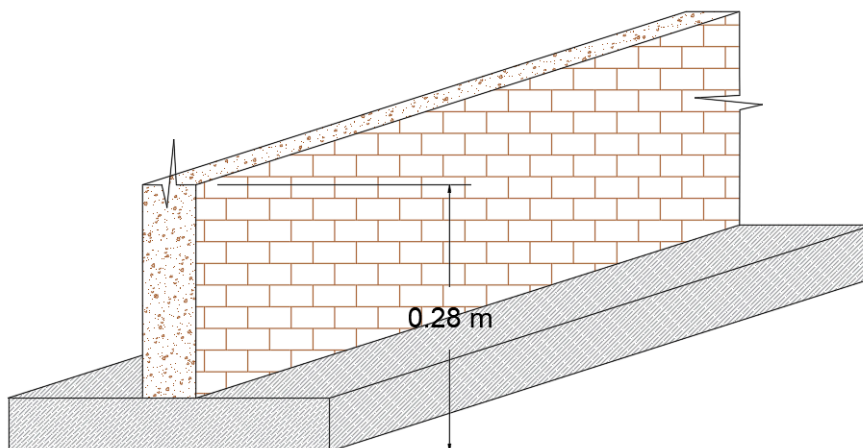
Figura 1. Falla a flexión y cortante

- La cimentación no lleva estribos, lo que quiere decir que el concreto debe soportar todo el cortante.
- El recubrimiento para un elemento que está en contacto con el suelo debe ser de 8 cm (Sección C.7.7.1 NSR-10)
- El valor de d debe ser $d \geq 15 \text{ cm}$ (Sección C.15.7 NSR-10)

3- Ejemplo de cimentación corrida

3.1- Enunciado

Un muro de carga de 0.28 m de espesor en ladrillo tolete macizo de cerámica, que conforma una mampostería confinada. Si la presión admisible del estrato de fundación es de 0.1 MPa (100 kN/m²), diseñar la cimentación corrida del muro utilizando concreto de $f'_c = 21 \text{ MPa}$, acero de refuerzo para $f_y = 420 \text{ MPa}$ en todos los diámetros.



3.2- Datos de entrada:

- Concreto


```
fc = 21e6, disp('Pa')
```

```
fc = 21000000  
Pa
```

```
gama_c = 24, disp('kN/m3')
```

```
gama_c = 24  
kN/m3
```

- Acero

```
fy = 420e6, disp('Pa')
```

```
fy = 420000000  
Pa
```

- Especificaciones del muro

```
esp_muro = 0.30, disp('m')
```

```
esp_muro = 0.3000  
m
```

```
altura_muro = 2.8, disp('m')
```

```
altura_muro = 2.8000  
m
```

- Capacidad portante del suelo

```
qa = 100, disp('kN/m2')
```

```
qa = 100  
kN/m2
```

- Carga adicional

```
DL = 100, disp('kN/m')
```

```
DL = 100  
kN/m
```

```
LL = 30, disp('kN/m')
```

```
LL = 30  
kN/m
```

3.3- Avaluó de cargas

```
PP_muro =gama_c*altura_muro*esp_muro;  
sprintf('- El peso del muro es = %0.5g kN/m',PP_muro)
```

```
ans =  
'- El peso del muro es = 20.16 kN/m'
```

```
Carga_muerta_total = DL+PP_muro;  
sprintf('- La carga muerta total es = %0.5g kN/m',Carga_muerta_total)
```

```
ans =  
'- La carga muerta total es = 120.16 kN/m'
```

En este caso no se conoce el peso de la zapata entonces se asume entre el 4 y 10% de la Carga Viva LL + Carga muerta total DL

```
P_DL_LL = Carga_muerta_total+LL
```

```
P_DL_LL = 150.1600
```

```
Porcentaje_estimado = 0.08
```

```
Porcentaje_estimado = 0.0800
```

```
PP_zapata = Porcentaje_estimado*P_DL_LL;  
sprintf('- El peso asumido de la zapata es = %0.5g kN/m',PP_zapata)
```

```
ans =  
'- El peso asumido de la zapata es = 12.013 kN/m'
```

```
P_servicio = P_DL_LL+PP_zapata;  
sprintf('- El valor de P de servicio es = %0.5g kN/m',P_servicio)
```

```
ans =  
'- El valor de P de servicio es = 162.17 kN/m'
```

3.4- Área requería

Área necesaria en la cimentación:

$$A \geq \frac{P_{servicio}}{q_a}$$

```
a = (P_servicio/qa);  
sprintf('- El área necesaria en la cimentación es= %0.5g m2/m',a)
```

```
ans =  
'- El área necesaria en la cimentación es= 1.6217 m2/m'
```

```
disp('El ancho de cimentación se aproxima en este caso para mejorar el proceso constructivo')
```

El ancho de cimentación se aproxima en este caso para mejorar el proceso constructivo

```
area_real = 1.70, disp('m')
```

```
area_real = 1.7000  
m
```

```
B = area_real
```

```
B = 1.7000
```

```
Pu1=1.4*Carga_muerta_total
```

```
Pu1 = 168.2240
```

```
Pu2=1.2*Carga_muerta_total+1.6*LL
```

```
Pu2 = 192.1920
```

```
Pu = max(Pu1, Pu2)
```

```
Pu = 192.1920
```

Relación en kN/m² productora de flexión y cortante:

Corresponde a la reacción total a la cual se le descuenta la correspondiente al peso propio del cimiento por considerarlo íntegramente apoyado sobre el estrato de fundación y la denominamos q_a neta:

$$q_a \text{ neta} = \frac{P_u}{\text{Area real}}$$

```
qa_neta= P_servicio/area_real;  
sprintf('- El valor de sigma neta es= %0.5g kN/m2',qa_neta)
```

```
ans =  
'- El valor de sigma neta es= 95.396 kN/m2'
```

3.5- Definir espesor de la zapata

3.5.1- Momento flector de la zapata

$$M_u = \frac{q_a * \left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right) \left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right)}{2}$$

```
Mu=(qa_neta*((B/2)-(esp_muro/2))^2)/2;  
sprintf('- El valor del momento es= %0.5g kN/m/m',Mu)
```

```
ans =  
'- El valor del momento es= 23.372 kN/m/m'
```

$$M_u = k * b * d^2$$

Se asume inicialmente un valor para d

```
d = 0.15, disp('m')
```

```
d = 0.1500  
m
```

Se diseña a un metro la cimentación

```
b = 1, disp('m')
```

```
b = 1  
m
```

Despejar:

```
k=Mu/(b*d^2)
```

```
k = 1.0388e+03
```

Calcular cuantía

```
ro=(0.85*(fc/fy))*(1-(sqrt(1-((2*k)/(0.85*fc))))))
```

```
ro = 2.4733e-06
```

Cuantía mínima para un $f_y=420$ MPa

```
Rom=0.0033
```

```
Rom = 0.0033
```

Comprobación de la cuantía de diseño

```
if ro<Rom  
    ('Ro de diseño definido')  
    Ro = Rom  
else  
    ('Ro de diseño definido')  
    Ro = ro  
end
```

```
ans =  
'Ro de diseño definido'  
Ro = 0.0033
```

Área de acero requerida para la sección

```
A_req = Ro*10000*d;
```

```
ans =  
'- El área requerida es = 4.95 cm2/m'
```

```
sprintf('- El área requerida es = %0.5g cm2/m',A_req)
```

Calculo de la separación

```
Asbarra = [129/1000^2]*1000^2, disp('cm2')
```

```
Asbarra = 129  
cm2
```

```
Sep = Asbarra/A_req, disp('cm')
```

```
Sep = 26.0606  
cm
```

```
Sep = round((Asbarra/A_req),0);  
sprintf('- La separación requerida es = %0.5g cm',Sep)
```

```
ans =  
'- La separación requerida es = 26 cm'
```

```
disp('=====')
```

```
disp('Resumen:')
```

Resumen:

```
Acero_abajo= {'Usar'; 'Barra'; 'Cada'; 'Separación'};
```

```
Usar=["Usar"];  
Barra = ["No.4"];  
Cada=["@"];  
Separacion=[Sep];
```

```
T = table(Usar,Barra,Cada,Separacion)
```

T = 1x4 table

	Usar	Barra	Cada	Separacion
1	"Usar"	"No.4"	"@"	26

3.5.2- Cortante

$$V_u = q_a \left(\frac{B}{2} - \frac{a}{2} - d \right)$$

```
Vu = qa_neta*((B/2)-(esp_muro/2)-d), disp('kN')
```

```
Vu = 52.4677  
kN
```

Cortante del concreto:

$$V_c = 0.17 * \lambda * \sqrt{f_c} * b_w * d$$

```
Vc = 0.17*1*sqrt(fc)*b*d
```

```
Vc = 116.8557
```

Cortante del concreto reducida

```
fiVc = 0.75*Vc, disp('kN')
```

```
fiVc = 87.6418  
kN
```

```
if fiVc>Vu  
    ('CHEQUEA LA CORTANTE REDUCIDA DEL CONCRETO')  
else  
    ('NO CHEQUEA LA CORTANTE REDUCIDA DEL CONCRETO')  
end
```

```
ans =  
'CHEQUEA LA CORTANTE REDUCIDA DEL CONCRETO'
```

3.6- Chequear la presión a cortante

```
recubrimiento =0.08
```

```
recubrimiento = 0.0800
```

```
t = (d+recubrimiento), disp('m')
```

```
t = 0.2300  
m
```

Peso de la zapata

```
Pz =gama_c*B*t, disp('kN/m')
```

```
Pz = 9.3840  
kN/m
```

```
disp('Chequear')
```

```
Chequear
```

```
if PP_zapata < Pz  
    disp('No cumple!!!!')  
    disp('Aumentar porcentaje estimado')  
else  
    disp('Cumple!!!!!!')  
end
```

```
Cumple!!!!!!
```

3.7- Refuerzo

Refuerzo de fraguado y temperatura

```
Ro_por_temperatura = 0.0018
```

```
Ro_por_temperatura = 0.0018
```

```
Ast = Ro_por_temperatura*(B)*(t)*100^2, disp('cm2')
```

```
Ast = 7.0380  
cm2
```

```
Asbarra2 = [71/1000^2], disp('cm2 --- acero por refracción y temperatura')
```

```
Asbarra2 = 7.1000e-05  
cm2 --- acero por refracción y temperatura
```

```
No_barras_a_usar = (Ast/Asbarra2)
```

```
No_barras_a_usar = 9.9127e+04
```

```
disp('Resumen de refuerzo por refracción y temperatura:')
```

```
Resumen de refuerzo por refracción y temperatura:
```

```
Acero_abajo= {'Usar'; 'Cantidad'; 'Barra'};
```

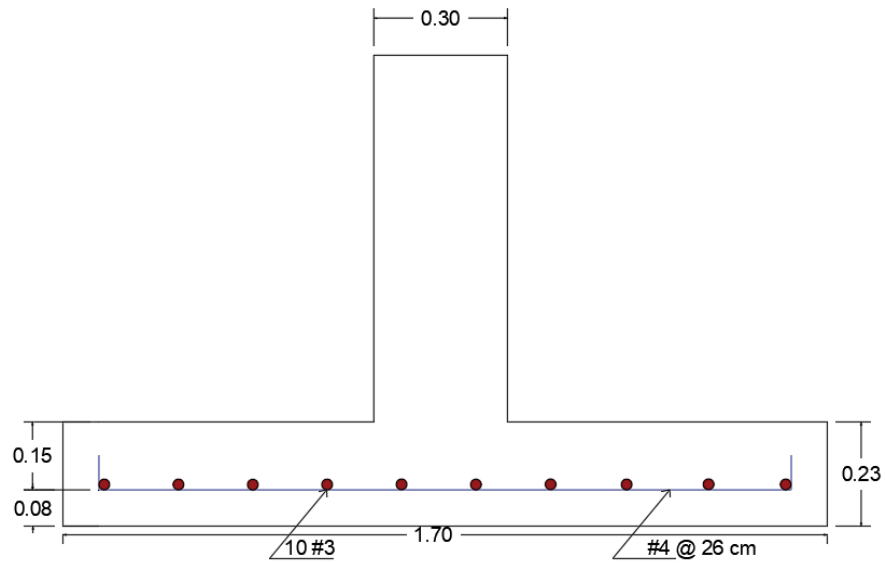
```
Usar=["Usar"];  
Cantidad=[10];  
Barra = ["No.3"];
```

```
T = table(Usar,Cantidad,Barra)
```

```
T = 1x3 table
```

	Usar	Cantidad	Barra
1	"Usar"	10	"No.3"

3.8- Despiece



4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10* (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Enunciado

clc, clear, close all, format short

Un muro de carga de 1.2 m de espesor en ladrillo tolete común de cerámica conforma una mampostería confinada. La estructura hace parte de un silo de almacenamiento de maíz, el cual está ubicado por la ruta 45 a 3 kilómetros del municipio de Altamira (Sur – Norte). La presión admisible del estrato de fundación es de 0.18 MPa (180 kN/m²), diseñar la cimentación corrida del muro utilizando concreto de $f'_c=25$ MPa, acero de refuerzo para $f_s = 420$ MPa en todos los diámetros.

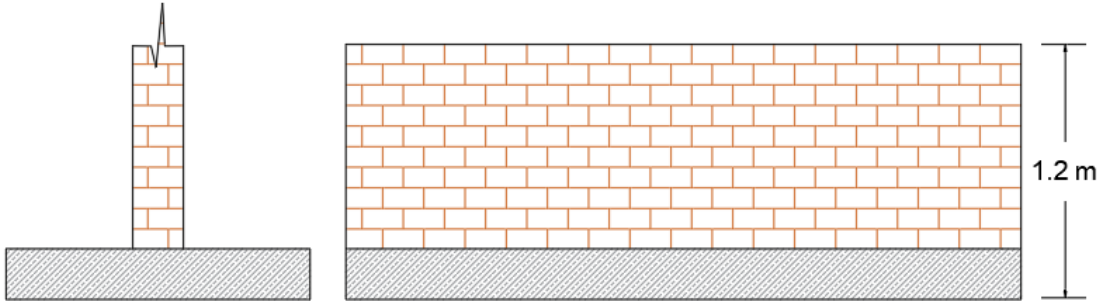


Ilustración No. 1.

R. Anexo: Guía muros de cortante.

Muros de cortante

1- Introducción

Los edificios que son muy altos deben contar con una rigidez para soportar las fuerzas laterales causadas por sismo o viento. En caso de que estos edificios no cuenten con un diseño adecuado pueden presentar grandes deflexiones laterales, esfuerzos y vibraciones. En este sentido, ocasionar graves daños a la edificación y poner en riesgo la integridad de sus habitantes.

Los comandos claves utilizados en esta guía son:

```
clc, clear, close all, format shortG
```

Tabla de contenido

Muros de cortante.....	1
1- Introducción.....	1
2- Aspectos teóricos de los muros de cortante.....	1
2.1- Requisitos para muros cortantes.....	2
3- Ejemplo de muro cortante.....	3
3.1- Enunciado.....	3
3.2- Datos de entrada.....	3
Concreto.....	3
Acero.....	3
Sección.....	3
Cortante.....	4
Coeficiente de reducción.....	4
3.3- Pasos para el diseño.....	4
Bibliografía.....	10

2- Aspectos teóricos de los muros de cortante

Los muros cortantes en concreto reforzado, colocados lateralmente en las edificaciones de gran altura pueden brindar más resistencia, Además, resultan una solución económica ya que actúan como vigas en voladizo verticalmente. La figura 1 muestra una vista en planta de un piso soportado por muros de cortante:

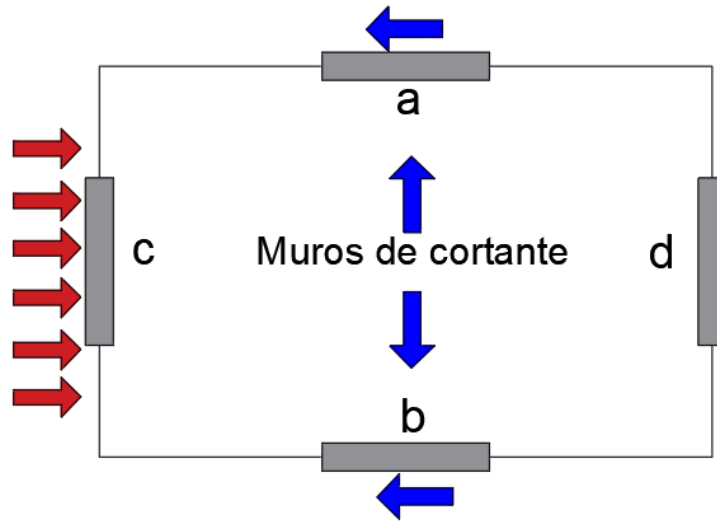


Figura 1. vista en planta de un piso soportado por muros de cortante / Fuente: (Brown & McCorman, 2011)

En la presente guía se encontrará los aspectos teóricos para el diseño de muros de cortante y un ejemplo práctico el cual puede ser modificado de tal forma que pueda analizar desde diferentes perspectivas académicas.

Los muros deben ser rígidos para evitar las deflexiones laterales. Generalmente se colocan filas de ventanas, puertas o balcones en loperspectivas académicass edificios de alto nivel. Las secciones que contienen dichas aberturas con una planeación cuidadosa es posible que afecten la rigidez de la edificación. Como puede verse, los muros cortantes son una solución para evitar los daños que pueden ocasionar (Brown & McCorman, 2011).

2.1- Requisitos para muros cortantes

Fuente: (Brown & McCORMAN, 2011)

1.) La fuerza cortante factorizada de la viga debe ser igual o menor que la resistencia de diseño por cortante del muro

$$V_u \leq \phi V_n$$

2. La resistencia de diseño por cortante del muro es igual a la resistencia de diseño por cortante del concreto más la del refuerzo por cortante.

$$V_u \leq \phi V_c + \phi V_s$$

3. La resistencia nominal por cortante V_n en cualquier sección horizontal en el plano del muro no debe tomarse mayor que

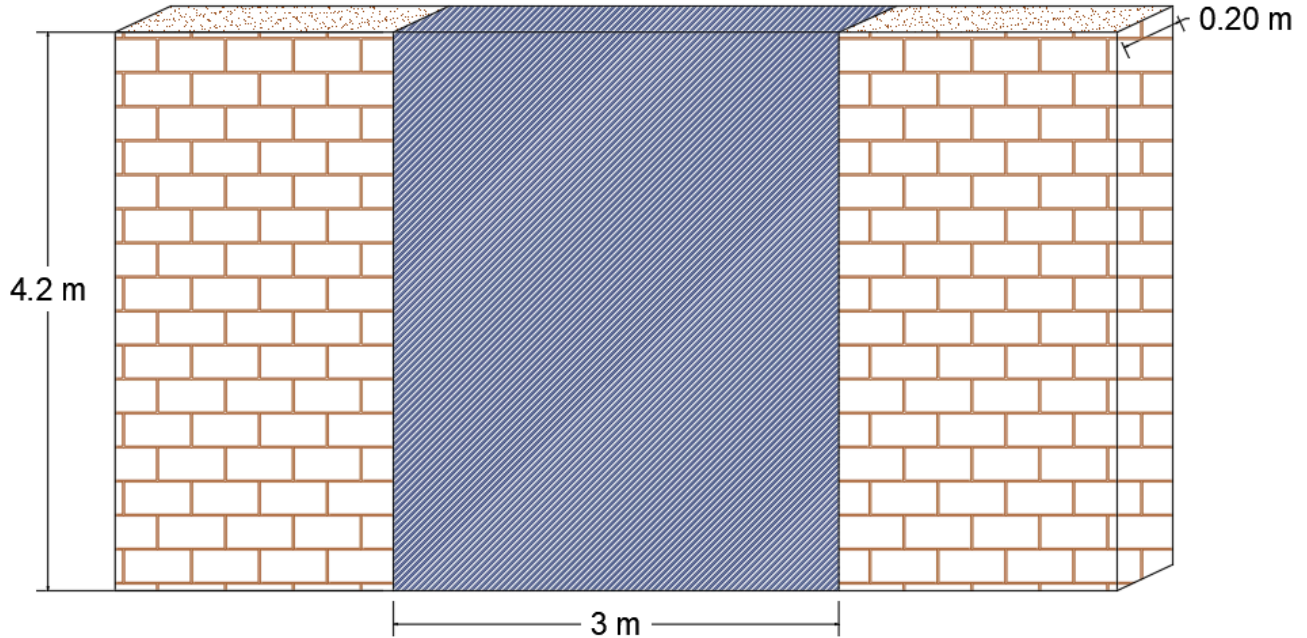
$$10 \sqrt{f'_c} h d$$

4. Al diseñar las fuerzas cortantes horizontales en el plano de un muro, d debe tomarse igual a $0.8C_w$, donde C_w es la longitud horizontal del muro entre las caras de los apoyos, a menos que pueda justificarse un valor mayor por medio de un análisis de compatibilidad de deformaciones (11.9.4).

3- Ejemplo de muro cortante

3.1- Enunciado

Diseñar un muro de concreto reforzado mostrado en la figura:



3.2- Datos de entrada

Concreto

Resistencia específica a la compresión

$$f_c = 21e6; \quad \% Pa$$

Acero

Fluencia del acero

$$f_y = 420e6; \quad \% Pa$$

Sección

Ancho

$$h = 0.20; \quad \% m$$

Altura

$$h_w = 4.2; \quad \% m$$

Largo

```
Lw = 3; % m
```

Cortante

```
Vu = 1070
```

```
Vu =  
    1070
```

Coefficiente de reducción

```
fi = 0.75
```

```
fi =  
    0.75
```

3.3- Pasos para el diseño

1.) ¿Cumple espesor?

$$V_u = 0.83 \sqrt{f'_c} * h * d$$

$$d = 0.8L_w$$

```
d= 0.8*Lw;  
sprintf('El valor de d es: %0.5g m',d)
```

```
ans =  
'El valor de d es: 2.4 m'
```

```
Vu1= (0.83*sqrt(fc)*h*d);  
sprintf('La cortante Vu1 es: %0.5g kN',Vu1)
```

```
ans =  
'La cortante Vu1 es: 1825.7 kN'
```

```
if Vu1 > Vu  
    disp('!!!!Cumple!!!!')  
else  
    disp('!!!!No Cumple!!!!')  
end
```

```
!!!!Cumple!!!!
```

2.) Calcule V_c para el muro (el menor de dos valores)

a.) $V_c = 0.27\lambda \sqrt{f'_c} h d \frac{N_u * d}{4l_w}$

```
landa=1;
Vc1=0.27*landa*sqrt(fc)*h*d;
sprintf('El valor de la primera Vc del muro es: %0.5g kN',Vc1)
```

```
ans =
'El valor de la primera Vc del muro es: 593.9 kN'
```

$$b.) V_c = \left(0.05\lambda \sqrt{f'_c} + \frac{l_w \left(0.1\lambda \sqrt{f'_c} + 0.2 \frac{N_u}{l_w * h} \right)}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}} \right) h d$$

Calcular Vu y Mu en el menor valor de $\frac{l_w}{2}$ o $\frac{h_w}{2}$ desde la base:

```
lu=Lw/2;
sprintf('Lu: %0.5g [m]',lu)
```

```
ans =
'Lu: 1.5 [m]'
```

```
hu=hw/2;
sprintf('hu: %0.5g [m]',hu)
```

```
ans =
'hu: 2.1 [m]'
```

```
Mu=Vu*(hw-lu);
sprintf('El valor de Mu es: %0.5g kN*m',Mu)
```

```
ans =
'El valor de Mu es: 2889 kN*m'
```

```
Vc2=((0.05*landa*sqrt(fc))+(Lw*0.1*landa*sqrt(fc)))/((Mu/Vu)-(Lw/2))*h*d;
sprintf('El valor de la segunda Vc del muro es: %0.5g kN',Vc2)
```

```
ans =
'El valor de la segunda Vc del muro es: 659.89 kN'
```

Eligir la menor:

```
Vc_muro=min(Vc1,Vc2);
sprintf('La cortante Vc elegido es: %0.5g kN',Vc_muro)
```

```
ans =
'La cortante Vc elegido es: 593.9 kN'
```

Muros:

3.) ¿Es necesario refuerzo por cortante?

$$\frac{\phi V_c}{2}$$

```
Vc_reducido=(fi*Vc_muro)/2;
sprintf('El valor de Ve reducido es: %0.5g kN',Vc_reducido)
```

```
ans =
'El valor de Ve reducido es: 222.71 kN'
```

```
disp('Compruebo:')
```

Compruebo:

```
if Vc_reducido>Vu
    disp('!!!!No requiere refuerzo por cortante!!!!')
else
    disp('!!!!Requiere refuerzo por cortante!!!!')
end
```

```
!!!!Requiere refuerzo por cortante!!!!
```

4.) Selección del refuerzo horizontal por cortante

$$V_u = \phi V_c + \phi V_s$$

$$V_u = \phi V_c + \phi \frac{A_v f_y d}{s}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_u + \phi V_c}{\phi f_y d}$$

```
parte_1_ecua = ((Vu*10^3)-(fi*(Vc_muro*10^3)))/(fi*fy*d);
```

En este caso se usarán varillas horizontales de diferente tamaño con A_v = área transversal de dos varillas. Se colocan dos capas de varillas horizontales con la separación calculada, por tanto

A_v = dos veces el área de una varilla.

Calcular:

Separación vertical entre los estribos horizontales

```
No_ramas = 2;
```

Opción No.1 de barras

```
No_bar_est1 = [71/1000^2];
```

```
S1= (No_bar_est1*No_ramas/(parte_1_ecua));
sprintf('S1: %0.5g [m]',S1)
```

```
ans =
'S1: 0.17188 [m]'
```

Opción No.2 de barras


```
No_bar_est2 = [129/1000^2];  
S2= No_bar_est2*No_ramas/parte_1_ecua;  
sprintf('S2: %0.5g [m]',S2)
```

```
ans =  
'S2: 0.31229 [m]'
```

Separación horizontal máxima entre estribos horizontales

- $\frac{Lw}{5}$

```
Smax1 = Lw/5;  
sprintf('S3: %0.5g [m]',Smax1)
```

```
ans =  
'S3: 0.6 [m]'
```

- $3h$

```
Smax2 = 3*h;  
sprintf('S4: %0.5g [m]',Smax2)
```

```
ans =  
'S4: 0.6 [m]'
```

- 450 mm

```
Smax3 = 0.45;  
sprintf('S5: %0.5g [m]',Smax3)
```

```
ans =  
'S5: 0.45 [m]'
```

```
Smax= [S2 Smax1 Smax2 Smax3];  
Smax=min(Smax);
```

```
sprintf('Usar estribo #4 cada %0.5g',Smax)
```

```
ans =  
'Usar estribo #4 cada 0.31229'
```

$$\rho = \frac{A_v}{A_s}$$

```
pn= ([129/1000^2]*No_ramas)/(h*Smax);  
sprintf('Cuantía %0.5g',pn)
```

```
ans =  
'Cuantía 0.0041308'
```

Es mayor que el valor permitido por la NSR-10 de 0.0025

```
sprintf('Usar estribo #4 horizontales cada %0.5g',Smax) %Transversal
```

```
ans =  
'Usar estribo #4 horizontales cada 0.31229'
```

5.) Diseñar el refuerzo vertical por cortante

La NSR-10 en la sección C.11.9.9.4 menciona que la cuantía de refuerzo vertical para cortante ρ_l , no debe ser menor que la mayor de:

$$\min. \rho_l = 0.0025 + 0.5 \left(2.5 \frac{hw}{Lw} \right) (\rho_t - 0.0025)$$

```
min_pl=0.0025+0.5*(2.5-hw/Lw)*(pn-0.0025)
```

```
min_pl =  
0.0033969
```

```
s = ([129/1000^2]*2)/(h*min_pl);  
sprintf('S1: %0.5g [m]',s)
```

```
ans =  
'S1: 0.37975 [m]'
```

Separación horizontal máxima entre estribos verticales

- $\frac{Lw}{3}$

```
Smax_v1 = Lw/3;  
sprintf('S2: %0.5g [m]',Smax_v1)
```

```
ans =  
'S2: 1 [m]'
```

- $3h$

```
Smax_v2 = 3*h;  
sprintf('S3: %0.5g [m]',Smax_v2)
```

```
ans =  
'S3: 0.6 [m]'
```

- 450 mm

```
Smax_v3 = 0.45;  
sprintf('S4: %0.5g [m]',Smax_v3)
```

```
ans =  
'S4: 0.45 [m]'
```

```
Smax= [s Smax1 Smax2 Smax3];  
Smax=min(Smax);
```

```
sprintf('Usar estribo #4 verticales cada %0.5g',Smax) % Medio
```

```
ans =  
'Usar estribo #4 verticales cada 0.37975'
```

6.) Diseñar el refuerzo vertical por flexión

6.1) Cálculo del momento ultimo

$$M_u = V_u * h_w$$

```
Mu =Vu*1e3*hw;  
sprintf('El momento ultimo: %0.5g [N*m]',Mu)
```

```
ans =  
'El momento ultimo: 4.494e+06 [N*m]'
```

6.2) Cálculo de la cuantía requerida

$$\rho_{req} = \frac{0.85 * f'c}{f_y} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * K}{0.85 * f'c * \phi}} \right)$$

Determinar el valor de $K = \frac{M_u}{b * d^2}$

```
k= ((Mu)/(h*(d^2)));  
sprintf('K: %0.5g [kN/m^2]',k/1000)
```

```
ans =  
'K: 3901 [kN/m^2]'
```

```
b=h;
```

```
ro_req = ((0.85*fc)/(fy))*(1-sqrt(1-((2*k)/(0.85*fc*0.9))));  
sprintf('Cuantía es de: %0.5g ',ro_req)
```

```
ans =  
'Cuantía es de: 0.01202 '
```

6.3) Cálculo del área de acero requerido

$$A_{S_{req}} = \rho_{req} * b * d$$

```
As=ro_req*b*d;  
sprintf('Área de acero requerida es de: %0.5g [cm^2]',As)
```

```
ans =  
'Área de acero requerida es de: 0.0057696 [cm^2]'
```

6.4) Selección de acero

No. de barra que desea utilizar

```
No_ba = [510/1000000]; % Número de barra a utilizar.  
D_bar = 25.4*0.001; % Diámetro del acero asumido.
```

6.5) Cantidad de barras

$$\# \text{ barras} = \frac{A_{S_{\text{requerido}}}}{A_{S_{\text{barra}}}}$$

```
n_barras = As/No_ba;  
sprintf('Cantidad de barras requeridas: %0.5g [und]',n_barras)
```

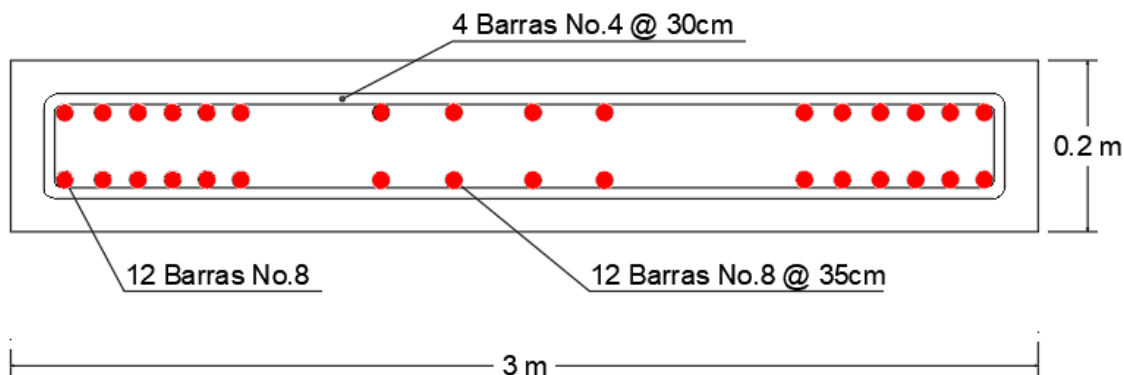
```
ans =  
'Cantidad de barras requeridas: 11.313 [und]'
```

Nota: Se recomienda aproximar la cantidad de barras de manera que sea cerrada.

```
No_barras = 12; % Base [m]  
sprintf('Cantidad de barras utilizadas: %0.5g [und]',No_barras)
```

```
ans =  
'Cantidad de barras utilizadas: 12 [und]'
```

7. Dibujo de la sección diseñada



Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10* (Vol. Título C). Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- McCormac, J. C. & Brown, R. H. (2011). *Diseño de concreto reforzado*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

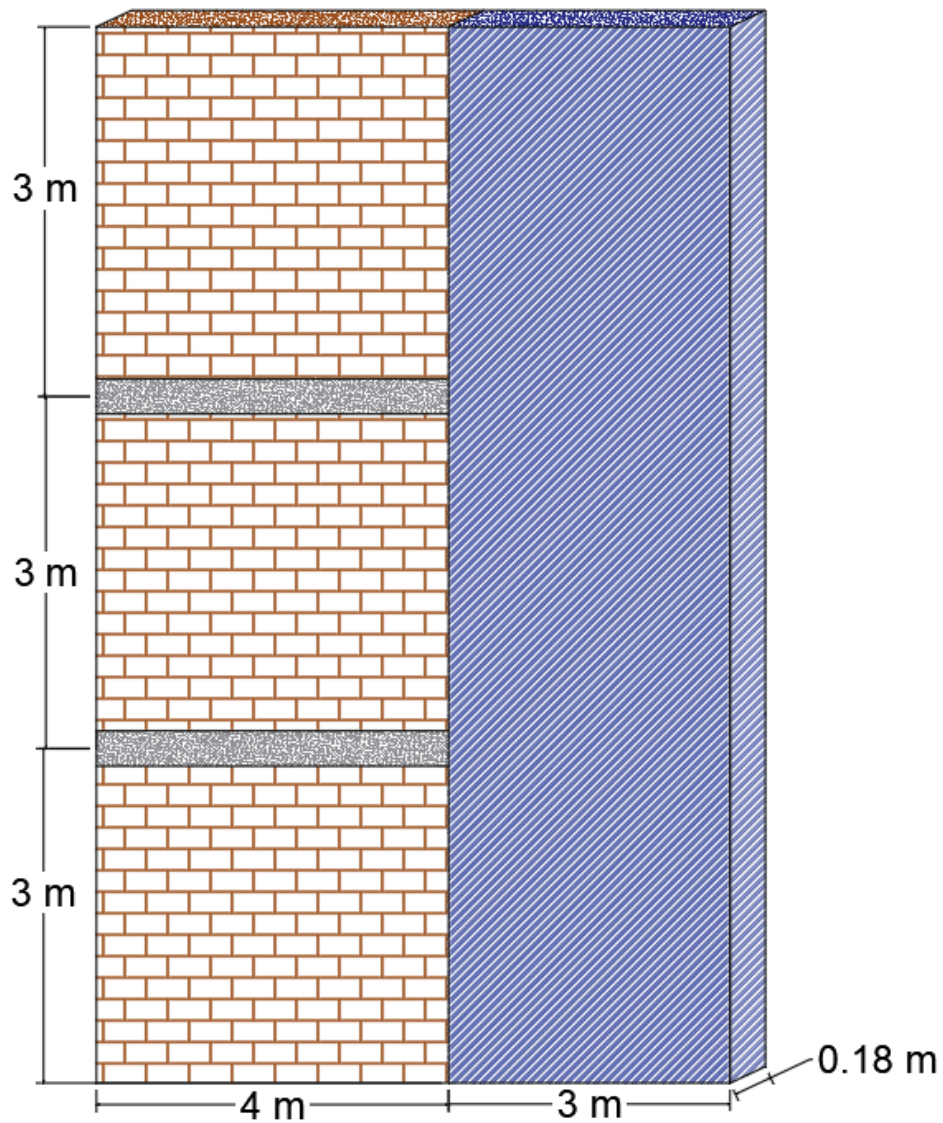
Muros de cortante

Los comandos claves utilizados en esta guía son:

```
clc, clear, close all, format shortG
```

1- Enunciado

Diseñar el muro de concreto reforzado mostrado en la figura 1 si $f'_c = 25$ MPa y $f_y = 420$ MPa



S. Anexo: Guía de escaleras.

Escaleras

1- Introducción

Las escaleras son elementos que se componen de escalones que contienen una huella y una contrahuella. En la presente guía se explican los aspectos teóricos y ejemplos aplicados para el diseño simplificado de una escalera en concreto reforzado. Asimismo, se atienden los requisitos estipulados en la NSR-10 y demás aplicables.

Los comandos claves utilizados en esta guía son:

```
clc, clear, close all, format shortG
```

Tabla de contenido

Escaleras.....	1
1- Introducción.....	1
2- Aspectos generales del diseño.....	1
2.1- Consideraciones.....	1
2.2- Torsión de diseño.....	3
2.2- Pasos para el diseño.....	4
2.2.1- Enunciado.....	4
2.2.2- Datos de entrada.....	4
2.2.3- Realizar el avalúo de cargas por m ² de la escalera.....	6
2.2.4- Aplicar combinaciones de cargas.....	7
2.2.5- Hallar los momentos generados en la escalera.....	8
2.2.6- Diseñar acero para momento negativo (Mu-).....	8
2.2.7- Diseñar acero para momento positivo (Mu+).....	10
2.2.8- Diseñar aceros transversales.....	12
3- Despiece de escalera.....	14
4- Bibliografía.....	14

2- Aspectos generales del diseño

2.1- Consideraciones

- Tener en cuenta el momento torsor y flector
- Se debe diseñar la huella (H) y la contrahuella (CH)
- La dimensión de la contrahuella (CH) debe estar entre 15 a 25 cm
- Para el avalúo de cargas se utiliza la tabla C.9.5 (a) losas simplemente apoyadas

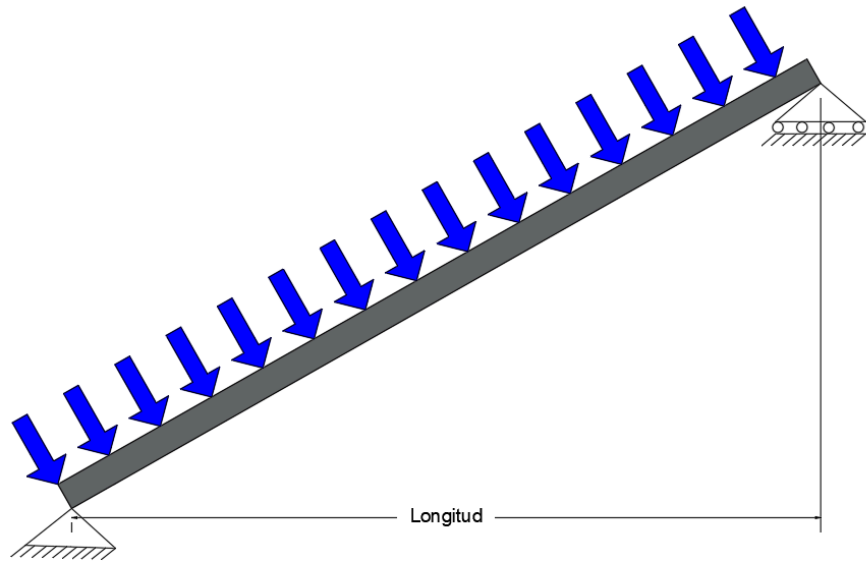


Figura 1. Distribución de cargas en la escalera

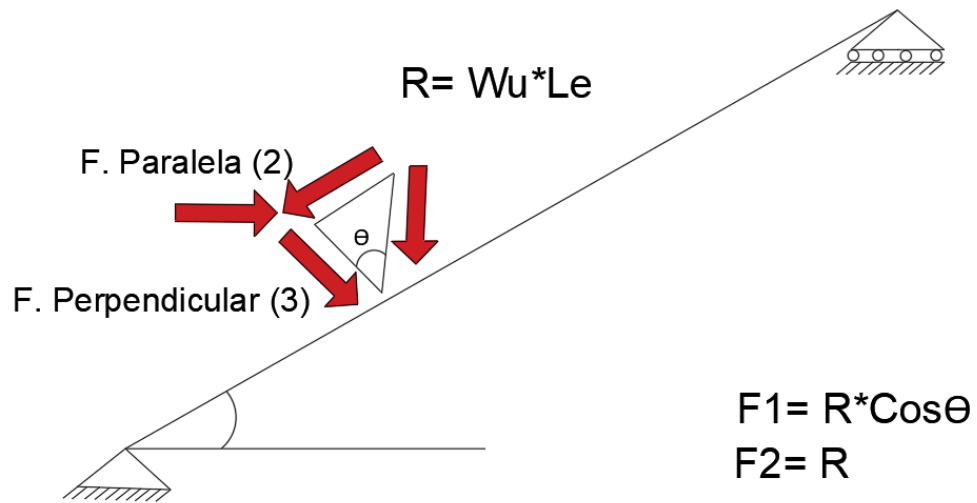


Figura 2. Diagrama de cuerpo libre de escalera

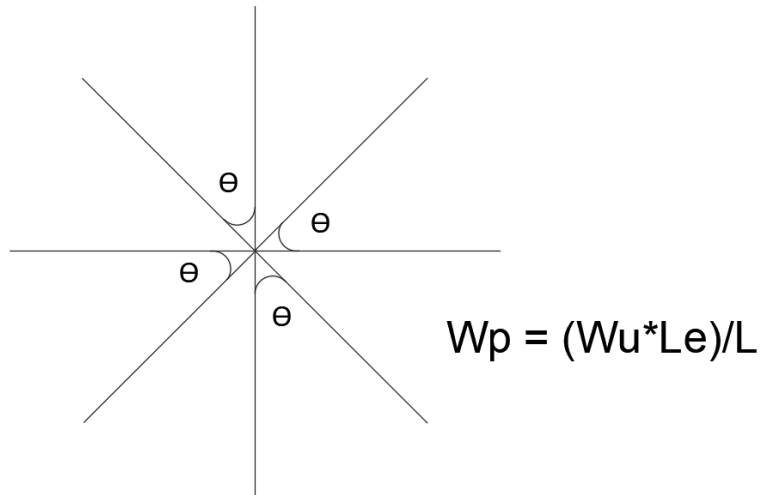


Figura 3.

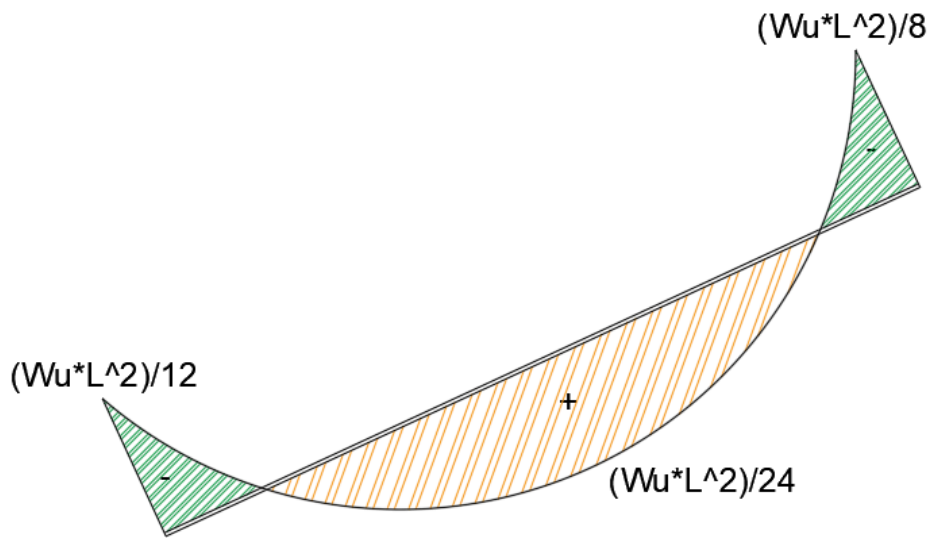


Figura 4. Diagrama de momentos en la escalera

2.2- Torsión de diseño

$$T_{ud} = M_u \left(X_o - \frac{a}{2} - d \right)$$

Nota 1: Para despreciar el efecto por torsión en la viga se usa el umbral de torsión, así:

$$T_{ud} \leq \phi * 0.83 * \lambda * \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

A_{cp} = Área encerrada por el perímetro exterior de la sección transversal del concreto.

P_{cp} = Perímetro de la sección transversal (mm).

Nota 2: El objetivo es obtener un momento torsional máximo con el cual no exista la necesidad de realizar un diseño por torsión.

Torsión por compacidad

$$M_u < \phi * (0.083) * \lambda * \sqrt{f'_c} * \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

2.2- Pasos para el diseño

2.2.1- Enunciado

Diseñar una escalera para un el piso de un edificio el cual tiene una altura de 3 m.

2.2.2- Datos de entrada

Materiales

- Resistencia especificada a la compresión del concreto [Pa]

fc= 28e6

fc =
28000000

- Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo [Pa]

fy= 420e6

fy =
420000000

- ϕ a tracción

fi= 0.75

fi =
0.75

- Peso específico del concreto reforzado [N/m3]

c= 24e3

c =
24000

- λ para concreto de peso normal

landa= 1

$$\text{landa} = 1$$

Sección

- Longitud de la huella [m]

$$H = 0.28$$

$$H = 0.28$$

- Altura de la contrahuella [m]

$$CH = 0.175$$

$$CH = 0.175$$

- Ángulo de inclinación de la escalera

$$\text{alfa} = (\text{atand}(CH/H))$$

$$\text{alfa} = 32.005$$

- Longitud total en planta de la escalera [m]

$$L = 3,6$$

$$L = 3$$
$$\text{ans} = 6$$

- Espesor de la losa perpendicular a la inclinación de la escalera [m]

$$t = L/20$$

$$t = 0.15$$

- Espesor de la losa vertical a la inclinación de la escalera [m]

$$h = t / (\text{cosd}(\text{alfa}))$$

$$h = 0.17689$$

- Espesor del recubrimiento mínimo del acero [m] (C.7.7)

$$\text{rec} = 0.02$$

```
rec =  
    0.02
```

- Longitud total de la escalera [m]

```
Le=round((L/cosd(alfa)),2)
```

```
Le =  
    3.54
```

- Ancho asumido escalera

```
B=1
```

```
B =  
    1
```

Viga

Dimensiones:

- Base [m]

```
bv= 0.30
```

```
bv =  
    0.3
```

- Altura [m]

```
hv= 0.50
```

```
hv =  
    0.5
```

2.2.3- Realizar el avalúo de cargas por m2 de la escalera

```
Losa=c*h;  
sprintf('- Peso de la losa de la escalera es= %0.5g [N/m2]',Losa)
```

```
ans =  
'- Peso de la losa de la escalera es= 4245.3 [N/m2]'
```

```
Peldanos=(c*((H*CH)/2))*(1/H);  
sprintf('- Peso de los peldaños es= %0.5g [N/m2]',Peldanos)
```

```
ans =  
'- Peso de los peldaños es= 2100 [N/m2]'
```

```
Acabados=0.8e3*((CH+H)/H);  
sprintf('- Peso de acabados es= %0.5g [N/m2]',Acabados)
```

```
ans =  
'- Peso de acabados es= 1300 [N/m2]'
```

```
Afinado=0.5e3*(Le/cosd(alfa))*(1/Le);  
sprintf('- Peso del acabado inferior de la escalera es= %0.5g [N/m2]',Afinado)
```

```
ans =  
'- Peso del acabado inferior de la escalera es= 589.62 [N/m2]'
```

```
DL=Losa+Peldanos+Acabados+Afinado;  
sprintf('- Sumatoria de cargas muertas= %0.5g [N/m2]',DL)
```

```
ans =  
'- Sumatoria de cargas muertas= 8234.9 [N/m2]'
```

```
LL=3e3;  
sprintf('- Carga viva (Uso oficinas)= %0.5g [N/m2]',LL)
```

```
ans =  
'- Carga viva (Uso oficinas)= 3000 [N/m2]'
```

2.2.4- Aplicar combinaciones de cargas

- $Wu1 = 1.2DL + 1.6LL$

```
Wu1=(1.2*DL)+(1.6*LL);  
sprintf('- El valor de la combinación No.1 es)= %0.5g',Wu1)
```

```
ans =  
'- El valor de la combinación No.1 es)= 14682'
```

- $Wu2 = 1.4DL$

```
Wu2=1.4*DL;  
sprintf('- El valor de la combinación No.2 es)= %0.5g',Wu2)
```

```
ans =  
'- El valor de la combinación No.2 es)= 11529'
```

Seleccionar la combinación de mayor valor

```
if Wu1<Wu2  
    Wu=round(Wu2,0),disp('N/m2')  
    disp('Combinación seleccionada (1.4*DL)')  
else  
    Wu=round(Wu1,0) ,disp('N/m2')  
    disp('Combinación seleccionada (1.2*DL+1.6*LL)')  
end
```

```
Wu =  
    14682  
N/m2
```

Combinación seleccionada (1.2*DL+1.6*LL)

2.2.5- Hallar los momentos generados en la escalera

- **Nota:** No es conveniente considerar un momento M(-) grande.

```
Acp=(bv*hv);  
sprintf('- Área encerrada por el perímetro exterior de la sección transversal del concreto es)=
```

```
ans =  
'- Área encerrada por el perímetro exterior de la sección transversal del concreto es)= 0.15'
```

```
Pcp=2*(bv+hv);  
sprintf('- Perímetro exterior de la sección transversal del concreto es)= %0.5g',Pcp)
```

```
ans =  
'- Perímetro exterior de la sección transversal del concreto es)= 1.6'
```

- Momento negativo M(-) --- (Umbral de torsión C.11.5.1)

```
MuN=fi*0.083*landa*sqrt(fc)*((Acp^2)/Pcp)*1000;  
sprintf('- Momento torsor máximo)= %0.5g (N*m)',MuN)
```

```
ans =  
'- Momento torsor máximo)= 4632.1 (N*m)'
```

```
disp('Nota: Se desprecia el efecto por torsión en la viga')
```

Nota: Se desprecia el efecto por torsión en la viga

- Momento positivo M(+)

```
MuP=round(((Wu*Le^2)/8),2)-MuN;  
sprintf('- El momento positivo en la parte inferior de la escalera es)= %0.5g',MuP)
```

```
ans =  
'- El momento positivo en la parte inferior de la escalera es)= 18366'
```

2.2.6- Diseñar acero para momento negativo (Mu-)

```
disp('Asumir el número de varilla a usar:')
```

Asumir el número de varilla a usar:

```
Ad= [71/1000^2];  
sprintf('- No del acero que soportar Mu(-))= %0.5g',Ad)
```

```
ans =  
'- No del acero que soportar Mu(-))= 7.1e-05'
```

```
Ab=((pi*((Ad/8)*0.0254)^2)/4)*10e12;  
sprintf('- Área de la sección de acero seleccionada = %0.5g cm2',Ab)
```

```
ans =  
'- Área de la sección de acero seleccionada = 0.39911 cm2'
```

```
ds=(rec+(Ad/8)*0.0254);  
sprintf('- Distancia a la fibra = %0.5g m',ds)
```

```
ans =  
'- Distancia a la fibra = 0.02 m'
```

```
d=t-ds;  
sprintf('- El valor de d es= %0.5g',d)
```

```
ans =  
'- El valor de d es= 0.13'
```

```
Rn=MuN/(B*d^2);  
sprintf('- El valor de Rn es= %0.5g',Rn)
```

```
ans =  
'- El valor de Rn es= 2.7409e+05'
```

```
fi=0.9;  
sprintf('- El valor de fi a flexión es= %0.5g',fi)
```

```
ans =  
'- El valor de fi a flexión es= 0.9'
```

```
Ro=0.85*(fc/fy)*(1-sqrt(1-((2*Rn)/(fi*0.85*fc))));  
sprintf('- La cuantía requerida es= %0.5g',Ro)
```

```
ans =  
'- La cuantía requerida es= 0.00072981'
```

Chequeo de la cuantía mínima C7.7.1

```
if Ro<0.0018  
    disp('No chequea cuantía, se toma la mínima 0.0018 por temperatura y retracción')  
    Y=0.0018;  
else Ro>0.0018  
    disp('Chequea cuantía por temperatura y retracción')  
    Y=Ro;  
end
```

No chequea cuantía, se toma la mínima 0.0018 por temperatura y retracción

```
Ast=Y*B*t*10000;  
sprintf('- El área de acero requerido que soporta Mu(-) es= %0.5g (cm^2)',Ast)
```

```
ans =  
'- El área de acero requerido que soporta Mu(-) es= 2.7 (cm^2)'
```

Comprobación de acero mínimo en la sección:

```
Asmin=0.25* sqrt(fc)*((B*d)/fy)*1e7;  
sprintf('- El área mínima permitida es= %0.5g (cm^2)',Asmin)
```

```
ans =  
'- El área mínima permitida es= 4.0946 (cm^2)'
```

```
if Ast>Asmin  
    AsN=Ast
```

```

disp('Área acero seleccionada en (cm^2)')
else
AsN=Asmin
disp('Área de acero seleccionada en (cm^2)')
end

```

```

AsN =
    4.0946
Área de acero seleccionada en (cm^2)

```

Refuerzo que controla en momento negativo Mu(-)

```

sep=round((Ab/AsN)*100,0);
sprintf('- Separación entre ejes de los aceros %0.5g (cm)',sep)

```

```

ans =
'- Separación entre ejes de los aceros 10 (cm)'

```

```

disp('=====')

```

```

disp('USAR ACERO')

```

```

USAR ACERO

```

```

No= 3

```

```

No =
    3

```

```

disp('@')

```

```

@

```

```

Cada= sep, disp('cm')

```

```

Cada =
    10
cm

```

2.2.7- Diseñar acero para momento positivo (Mu+)

```

disp('Asumir el número de varilla a usar:')

```

```

Asumir el número de varilla a usar:

```

```

Ad= [129/1000^2]

```

```

Ad =
    0.000129

```

```

sprintf('- No del acero para soportar Mu(+) %0.5g',Ad)

```

```

ans =

```



```
'- No del acero para soportar Mu(+) 0.000129'
```

```
Ab=((pi*((Ad/8)*0.0254)^2)/4)*10e12;  
sprintf('- Área de la sección de acero seleccionada %0.5g (cm^2/m)',Ab)
```

```
ans =  
'- Área de la sección de acero seleccionada 1.3175 (cm^2/m)'
```

```
ds=(rec+(Ad/8)*0.0254);  
sprintf('- Distancia a la fibra %0.5g (m)',ds)
```

```
ans =  
'- Distancia a la fibra 0.02 (m)'
```

```
d=t-ds;  
sprintf('- El valor de d es %0.5g (m)',d)
```

```
ans =  
'- El valor de d es 0.13 (m)'
```

```
Rn=MuP/(B*d^2);  
sprintf('- El valor de Rn es %0.5g',Rn)
```

```
ans =  
'- El valor de Rn es 1.0868e+06'
```

```
Ro=0.85*(fc/fy)*(1-sqrt(1-((2*Rn)/(fi*0.85*fc))));  
sprintf('- El valor de la cuantía requerida es %0.5g',Ro)
```

```
ans =  
'- El valor de la cuantía requerida es 0.002952'
```

Chequeo de la cuantía mínima C7.7.1

```
if Ro<0.0018  
    disp('No chequea cuantía, se toma la mínima 0.0018 por temperatura y retracción')  
    Y=0.0018;  
else Ro>0.0018  
    disp('Chequea cuantía ')  
    Y=Ro;  
end
```

```
ans = logical  
     1  
Chequea cuantía
```

```
Ast=Y*B*d*10000;  
sprintf('- El área de acero requerido que soporta Mu(-) es %0.5g (cm^2/m)',Ast)
```

```
ans =  
'- El área de acero requerido que soporta Mu(-) es 3.8376 (cm^2/m)'
```

Comprobación del área mínima de la sección

```
Asmin=0.25* sqrt(fc)*((B*d)/fy)*1e7;  
sprintf('- El área mínima de acero permitida es %0.5g (cm^2)',Asmin)
```

```
ans =  
'- El área mínima de acero permitida es 4.0946 (cm^2)'
```

```
if Ast>Asmin  
    AsP=Ast    % Área acero seleccionada(cm^2)  
else  
    AsP=Asmin % Área acero seleccionada(cm^2)  
end
```

```
AsP =  
    4.0946
```

```
disp('REFUERZO QUE CONTROLA Mu(-)')
```

```
REFUERZO QUE CONTROLA Mu(-)
```

```
sep=round((Ab/AsP)*100,0) % Separación entre ejes de los aceros (cm)
```

```
sep =  
    32
```

```
disp('=====')
```

```
=====
```

```
disp('USAR ACERO')
```

```
USAR ACERO
```

```
No= 4
```

```
No =  
    4
```

```
disp('@')
```

```
@
```

```
Cada= sep
```

```
Cada =  
    32
```

2.2.8- Diseñar aceros transversales

```
disp('Asumir el número de varilla a usar:')
```

```
Asumir el número de varilla a usar:
```

```
Ad= [71/1000^2]
```

```
Ad =  
    7.1e-05
```

```
sprintf('- No del acero %0.5g',Ad)
```

```
ans =  
'- No del acero 7.1e-05'
```

```
Ab=(pi*((Ad/8)*0.0254)^2)/4)*10e12;  
sprintf('- Área de la sección de acero seleccionada %0.5g (cm^2/m)',Ab)
```

```
ans =  
'- Área de la sección de acero seleccionada 0.39911 (cm^2/m)'
```

```
Ast=0.0018*B*t*10000;  
sprintf('- Área de acero transversal requerido %0.5g (cm^2/m)',Ast)
```

```
ans =  
'- Área de acero transversal requerido 2.7 (cm^2/m)'
```

```
sep=round((Ab/Ast)*100,0)
```

```
sep =  
    15
```

```
sprintf('- Separación entre ejes de los aceros %0.5g (cm)',sep)
```

```
ans =  
'- Separación entre ejes de los aceros 15 (cm)'
```

```
disp('=====')
```

```
disp('USAR ACERO')
```

```
USAR ACERO
```

```
No= 3
```

```
No =  
    3
```

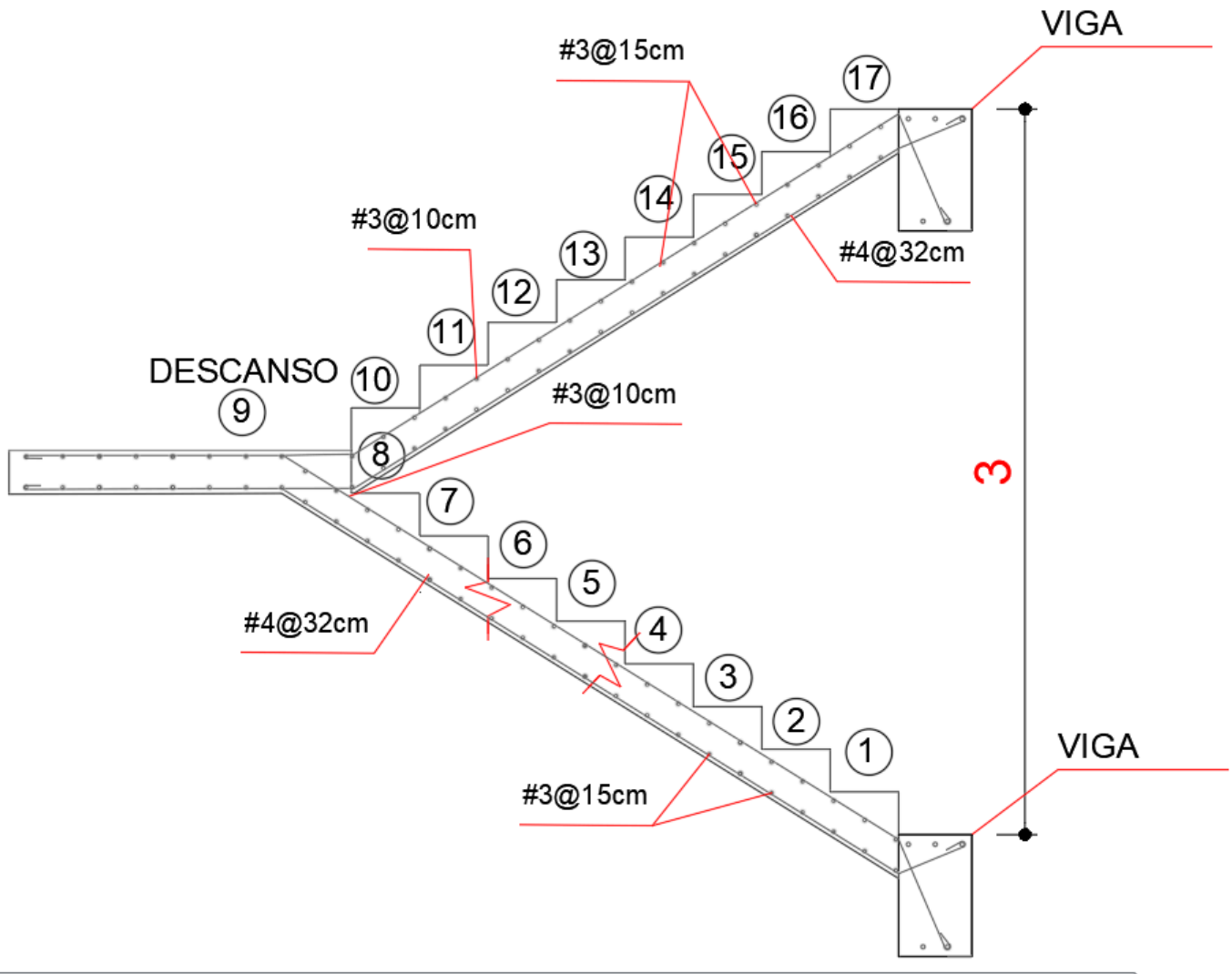
```
disp('@')
```

```
@
```

```
Cada= sep
```

```
Cada =  
    15
```

3- Despiece de escalera



4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Escaleras

(Ejemplo No.2)

1- Introducción

Las escaleras son elementos que se componen de escalones que contienen una huella y una contrahuella. En la presente guía se explican los aspectos teóricos y ejemplos aplicados para el diseño simplificado de una escalera en concreto reforzado. Asimismo, se atienden los requisitos estipulados en la NSR-10 y demás aplicables.

Los comandos claves utilizados en esta guía son:

```
clc, clear, close all, format shortG
```

Tabla de contenido

Escaleras.....	1
1- Introducción.....	1
2.2.1- Enunciado.....	1
2.2.2- Datos de entrada.....	2
2.2.3- Realizar el avalúo de cargas por m ² de la escalera.....	4
2.2.4- Aplicar combinaciones de cargas.....	5
2.2.5- Hallar los momentos generados en la escalera.....	6
2.2.6- Diseñar acero para momento negativo (Mu-).....	6
2.2.7- Diseñar acero para momento positivo (Mu+).....	8
2.2.8- Diseñar aceros transversales.....	10
3- Despiece de escalera.....	12
4- Bibliografía.....	12

2.2.1- Enunciado

Diseñar una escalera para el acceso al segundo piso de un edificio el cual tiene una altura de 4.5 m.

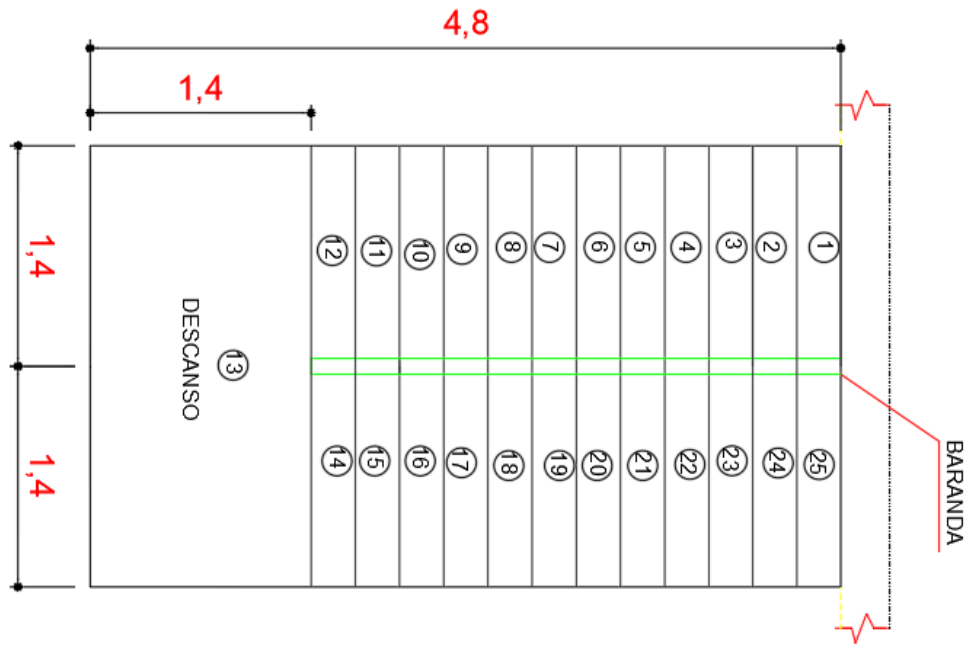


Figura 1. Vista en planta de la escalera.

2.2.2- Datos de entrada

Materiales

- Resistencia especificada a la compresión del concreto [Pa]

$f_c = 28e6$

$f_c =$
28000000

- Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo [Pa]

$f_y = 420e6$

$f_y =$
420000000

- ϕ a tracción

$f_i = 0.75$

$f_i =$
0.75

- Peso específico del concreto reforzado [N/m³]

$c = 24e3$

$c =$
24000

- λ para concreto de peso normal

$$\lambda = 1$$

$$\lambda = 1$$

Sección

- Longitud de la huella [m]

$$H = 0.28$$

$$H = 0.28$$

- Altura de la contrahuella [m]

$$CH = 0.18$$

$$CH = 0.18$$

- Ángulo de inclinación de la escalera

$$\alpha = (\arctan(CH/H))$$

$$\alpha = 32.735$$

- Longitud total en planta de la escalera [m]

$$L = 4.8$$

$$L = 4.8$$

- Espesor de la losa perpendicular a la inclinación de la escalera [m]

$$t = L/20$$

$$t = 0.24$$

- Espesor de la losa vertical a la inclinación de la escalera [m]

$$h = t / (\cos(\alpha))$$

$$h = 0.28531$$

- Espesor del recubrimiento mínimo del acero [m] (C.7.7)

```
rec= 0.02
```

```
rec =
    0.02
```

- Longitud total de la escalera [m]

```
Le=round((L/cosd(alfa)),2)
```

```
Le =
    5.71
```

- Ancho asumido escalera

```
B=1
```

```
B =
    1
```

Viga

Dimensiones:

- Base [m]

```
bv= 0.30
```

```
bv =
    0.3
```

- Altura [m]

```
hv= 0.50
```

```
hv =
    0.5
```

2.2.3- Realizar el avaluo de cargas por m2 de la escalera

```
Losa=c*h;
sprintf('- Peso de la losa de la escalera es= %0.5g [N/m2]',Losa)
```

```
ans =
'- Peso de la losa de la escalera es= 6847.5 [N/m2]'
```

```
Peldanos=(c*((H*CH)/2))*(1/H);
sprintf('- Peso de los peldaños es= %0.5g [N/m2]',Peldanos)
```

```
ans =
```



```
'- Peso de los peldaños es= 2160 [N/m2]'
```

```
Acabados=0.8e3*((CH+H)/H);  
sprintf('- Peso de acabados es= %0.5g [N/m2]',Acabados)
```

```
ans =  
'- Peso de acabados es= 1314.3 [N/m2]'
```

```
Afinado=0.5e3*(Le/cosd(alfa))*(1/Le);  
sprintf('- Peso del acabado inferior de la escalera es= %0.5g [N/m2]',Afinado)
```

```
ans =  
'- Peso del acabado inferior de la escalera es= 594.4 [N/m2]'
```

```
DL=Losa+Peldanos+Acabados+Afinado;  
sprintf('- Sumatoria de cargas muertas= %0.5g [N/m2]',DL)
```

```
ans =  
'- Sumatoria de cargas muertas= 10916 [N/m2]'
```

```
LL=3e3;  
sprintf('- Carga viva (Uso oficinas)= %0.5g [N/m2]',LL)
```

```
ans =  
'- Carga viva (Uso oficinas)= 3000 [N/m2]'
```

2.2.4- Aplicar combinaciones de cargas

- $Wu1 = 1.2DL + 1.6LL$

```
Wu1=(1.2*DL)+(1.6*LL);  
sprintf('- El valor de la combinación No.1 es)= %0.5g',Wu1)
```

```
ans =  
'- El valor de la combinación No.1 es)= 17899'
```

- $Wu2 = 1.4DL$

```
Wu2=1.4*DL;  
sprintf('- El valor de la combinación No.2 es)= %0.5g',Wu2)
```

```
ans =  
'- El valor de la combinación No.2 es)= 15283'
```

Seleccionar la combinación de mayor valor

```
if Wu1<Wu2  
    Wu=round(Wu2,0),disp('N/m2')  
    disp('Combinación seleccionada (1.4*DL)')  
else  
    Wu=round(Wu1,0) ,disp('N/m2')  
    disp('Combinación seleccionada (1.2*DL+1.6*LL)')
```

```
end
```

```
Wu =  
    17899  
N/m2  
Combinación seleccionada (1.2*DL+1.6*LL)
```

2.2.5- Hallar los momentos generados en la escalera

- **Nota:** No es conveniente considerar un momento $M(-)$ grande.

```
Acp=(bv*hv);  
sprintf('- Área encerrada por el perímetro exterior de la sección transversal del concreto es)=
```

```
ans =  
'- Área encerrada por el perímetro exterior de la sección transversal del concreto es)= 0.15'
```

```
Pcp=2*(bv+hv);  
sprintf('- Perímetro exterior de la sección transversal del concreto es)= %0.5g',Pcp)
```

```
ans =  
'- Perímetro exterior de la sección transversal del concreto es)= 1.6'
```

- Momento negativo $M(-)$ --- (Umbral de torsión C.11.5.1)

```
MuN=fi*0.083*landa*sqrt(fc)*((Acp^2)/Pcp)*1000;  
sprintf('- Momento torsor maximo)= %0.5g (N*m)',MuN)
```

```
ans =  
'- Momento torsor maximo)= 4632.1 (N*m)'
```

```
disp('Nota: Se desprecia el efecto por torsión en la viga')
```

Nota: Se desprecia el efecto por torsión en la viga

- Momento positivo $M(+)$

```
MuP=round(((Wu*Le^2)/8),2)-MuN;  
sprintf('- El momento positivo en la parte inferior de la escalera es)= %0.5g',MuP)
```

```
ans =  
'- El momento positivo en la parte inferior de la escalera es)= 68315'
```

2.2.6- Diseñar acero para momento negativo ($Mu(-)$)

```
disp('Asumir el número de varilla a usar:')
```

Asumir el número de varilla a usar:

```
Ad= [71/1000^2];  
sprintf('- No del acero que soportar  $Mu(-)$ )= %0.5g',Ad)
```

```
ans =  
'- No del acero que soportar  $Mu(-)$ )= 7.1e-05'
```

```
Ab=(pi*((Ad/8)*0.0254)^2)/4)*10e12;  
sprintf('- Área de la sección de acero seleccionada = %0.5g cm2',Ab)
```

```
ans =  
'- Área de la sección de acero seleccionada = 0.39911 cm2'
```

```
ds=(rec+(Ad/8)*0.0254);  
sprintf('- Distancia a la fibra = %0.5g m',ds)
```

```
ans =  
'- Distancia a la fibra = 0.02 m'
```

```
d=t-ds;  
sprintf('- El valor de d es= %0.5g',d)
```

```
ans =  
'- El valor de d es= 0.22'
```

```
Rn=MuN/(B*d^2);  
sprintf('- El valor de Rn es= %0.5g',Rn)
```

```
ans =  
'- El valor de Rn es= 95705'
```

```
fi=0.9;  
sprintf('- El valor de fi a flexión es= %0.5g',fi)
```

```
ans =  
'- El valor de fi a flexión es= 0.9'
```

```
Ro=0.85*(fc/fy)*(1-sqrt(1-((2*Rn)/(fi*0.85*fc))));  
sprintf('- La cuantía requerida es= %0.5g',Ro)
```

```
ans =  
'- La cuantia requerida es= 0.00025376'
```

Chequeo de la cuantía mínima C7.7.1

```
if Ro<0.0018  
    disp('No chequea cuantía, se toma la mínima 0.0018 por temperatura y retracción')  
    Y=0.0018;  
else Ro>0.0018  
    disp('Chequea cuantía por temperatura y retracción')  
    Y=Ro;  
end
```

No chequea cuantia, se toma la minima 0.0018 por temperatura y retracción

```
Ast=Y*B*t*10000;  
sprintf('- El área de acero requerido que soporta Mu(-) es= %0.5g (cm^2)',Ast)
```

```
ans =  
'- El área de acero requerido que soporta Mu(-) es= 4.32 (cm^2)'
```

Comprobación de acero mínimo en la sección:

```
Asmin=0.25* sqrt(fc)*((B*d)/fy)*1e7;  
sprintf('- El área mínima permitida es= %0.5g (cm^2)',Asmin)
```

```
ans =  
'- El área mínima permitida es= 6.9293 (cm^2)'
```

```
if Ast>Asmin  
    AsN=Ast  
    disp('Área acero seleccionada en (cm^2)')  
else  
    AsN=Asmin  
    disp('Área de acero seleccionada en (cm^2)')  
end
```

```
AsN =  
    6.9293  
Área de acero seleccionada en (cm^2)
```

Refuerzo que controla en momento negativo Mu(-)

```
sep=round((Ab/AsN)*100,0);  
sprintf('- Separacion entre ejes de los aceros %0.5g (cm)',sep)
```

```
ans =  
'- Separacion entre ejes de los aceros 6 (cm)'
```

```
disp('=====')
```

```
disp('USAR ACERO')
```

```
USAR ACERO
```

```
No= 3
```

```
No =  
    3
```

```
disp('@')
```

```
@
```

```
Cada= sep, disp('cm')
```

```
Cada =  
    6  
cm
```

2.2.7- Diseñar acero para momento positivo (Mu+)

```
disp('Asumir el número de varilla a usar:')
```

```
Asumir el número de varilla a usar:
```

```
Ad= [129/1000^2]
```

```
Ad =
```

0.000129

```
sprintf('- No del acero para soportar Mu(+) %0.5g',Ad)
```

```
ans =  
'- No del acero para soportar Mu(+) 0.000129'
```

```
Ab=(pi*((Ad/8)*0.0254)^2)/4)*10e12;  
sprintf('- Área de la sección de acero seleccionada %0.5g (cm^2/m)',Ab)
```

```
ans =  
'- Área de la sección de acero seleccionada 1.3175 (cm^2/m)'
```

```
ds=(rec+(Ad/8)*0.0254);  
sprintf('- Distancia a la fibra %0.5g (m)',ds)
```

```
ans =  
'- Distancia a la fibra 0.02 (m)'
```

```
d=t-ds;  
sprintf('- El valor de d es %0.5g (m)',d)
```

```
ans =  
'- El valor de d es 0.22 (m)'
```

```
Rn=MuP/(B*d^2);  
sprintf('- El valor de Rn es %0.5g',Rn)
```

```
ans =  
'- El valor de Rn es 1.4115e+06'
```

```
Ro=0.85*(fc/fy)*(1-sqrt(1-((2*Rn)/(fi*0.85*fc))));  
sprintf('- El valor de la cuantía requerida es %0.5g',Ro)
```

```
ans =  
'- El valor de la cuantia requerida es 0.003866'
```

Chequeo de la cuantía mínima C7.7.1

```
if Ro<0.0018  
    disp('No chequea cuantía, se toma la mínima 0.0018 por temperatura y retracción')  
    Y=0.0018;  
else Ro>0.0018  
    disp('Chequea cuantía ')  
    Y=Ro;  
end
```

```
ans = Logical  
     1  
Chequea cuantia
```

```
Ast=Y*B*d*10000;
```

```
sprintf('- El área de acero requerido que soporta Mu(-) es %0.5g (cm^2/m)',Ast)
```

```
ans =  
'- El área de acero requerido que soporta Mu(-) es 8.5051 (cm^2/m)'
```

Comprobación del área mínima de la sección

```
Asmin=0.25* sqrt(fc)*((B*d)/fy)*1e7;  
sprintf('- El área mínima de acero permitida es %0.5g (cm^2)',Asmin)
```

```
ans =  
'- El área mínima de acero permitida es 6.9293 (cm^2)'
```

```
if Ast>Asmin  
    AsP=Ast    % Área acero seleccionada(cm^2)  
else  
    AsP=Asmin % Área acero seleccionada(cm^2)  
end
```

```
AsP =  
    8.5051
```

```
disp('REFUERZO QUE CONTROLA Mu(-)')
```

```
REFUERZO QUE CONTROLA Mu(-)
```

```
sep=round((Ab/AsP)*100,0) %Separación entre ejes de los aceros (cm)
```

```
sep =  
    15
```

```
disp('=====')
```

```
=====
```

```
disp('USAR ACERO')
```

```
USAR ACERO
```

```
No= 4
```

```
No =  
    4
```

```
disp('@')
```

```
@
```

```
Cada= sep
```

```
Cada =  
    15
```

2.2.8- Diseñar aceros transversales

```
disp('Asumir el número de varilla a usar:')
```

Asumir el número de varilla a usar:

```
Ad= [71/1000^2]
```

```
Ad =  
    7.1e-05
```

```
sprintf('- No del acero %0.5g',Ad)
```

```
ans =  
'- No del acero 7.1e-05'
```

```
Ab=((pi*((Ad/8)*0.0254)^2)/4)*10e12;  
sprintf('- Área de la sección de acero seleccionada %0.5g (cm^2/m)',Ab)
```

```
ans =  
'- Área de la sección de acero seleccionada 0.39911 (cm^2/m)'
```

```
Ast=0.0018*B*t*10000;  
sprintf('- Área de acero transversal requerido %0.5g (cm^2/m)',Ast)
```

```
ans =  
'- Área de acero transversal requerido 4.32 (cm^2/m)'
```

```
sep=round((Ab/Ast)*100,0)
```

```
sep =  
    9
```

```
sprintf('- Separación entre ejes de los aceros %0.5g (cm)',sep)
```

```
ans =  
'- Separacion entre ejes de los aceros 9 (cm)'
```

```
disp('=====')
```

```
=====
```

```
disp('USAR ACERO')
```

USAR ACERO

```
No= 3
```

```
No =  
    3
```

```
disp('@')
```

@

```
Cada= sep
```

Cada =
9

3- Despiece de escalera

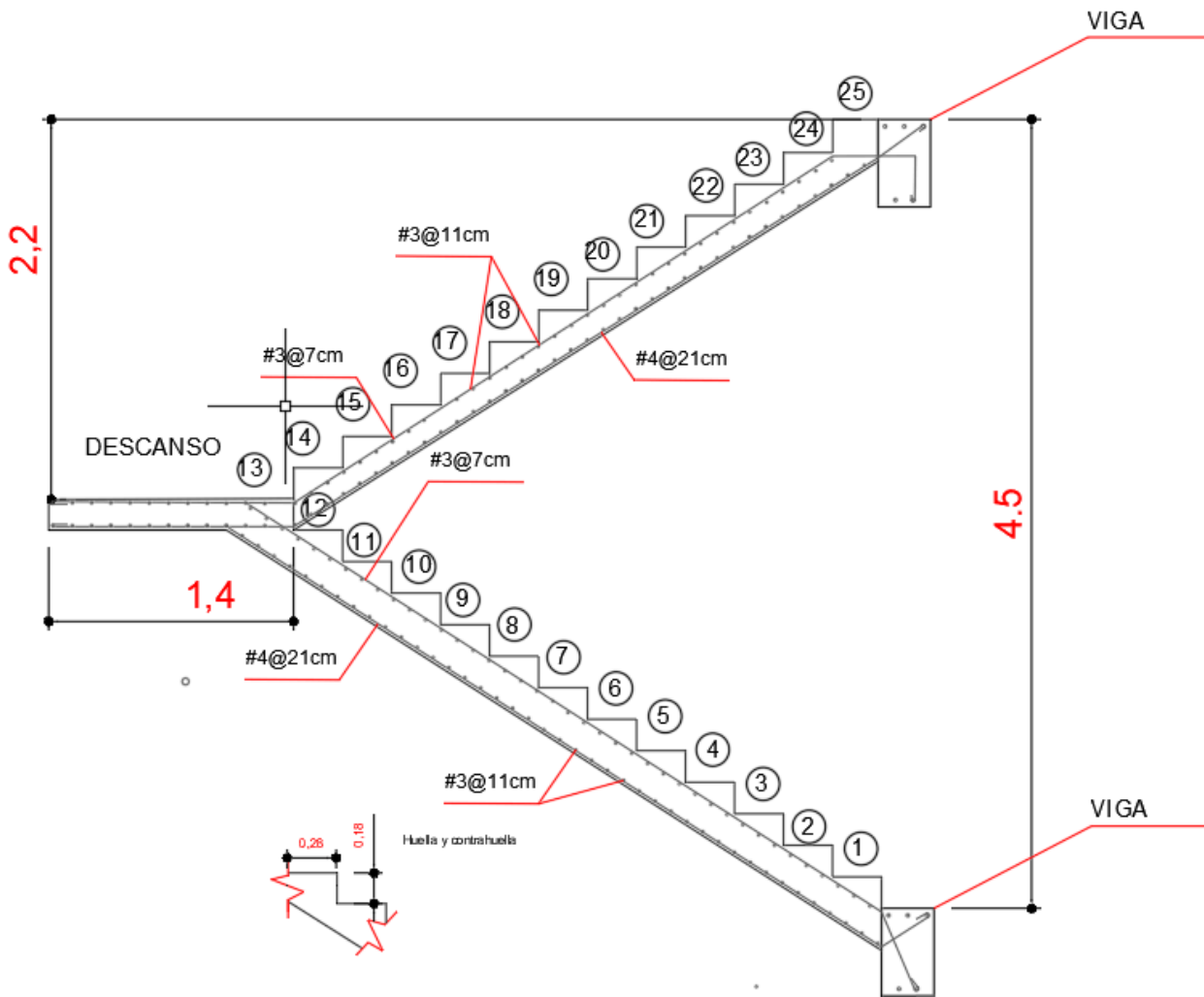


Figura 2. Despiece de escalera

4- Bibliografía

- Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Escaleras

Los comandos claves utilizados en esta guía son:

```
clc, clear, close all, format shortG
```

1- Enunciado

Diseñar la escalera mostrada en la figura:

