

MODALIDAD DE GRADO PLAN COMPLEMENTARIO EN
PROGRAMA DE POSTGRADO
INFORME DE ESPECIALIZACIÓN EN AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

JUAN DAVID CERQUERA PALOMA

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA - FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ELECTRÓNICA

NEIVA, 2012

MODALIDAD DE GRADO PLAN COMPLEMENTARIO EN
PROGRAMA DE POSTGRADO
INFORME DE ESPECIALIZACIÓN EN AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

JUAN DAVID CERQUERA PALOMA

Código: 2007270391

En cumplimiento de los requisitos para optar al título de:

INGENIERO ELECTRONICO

Director de modalidad de grado:

Prof. MSc. FAIBER IGNACIO ROBAYO BETANCOURT

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA - FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE ELECTRONICA

NEIVA, 2012

PÁGINA DE ACEPTACIÓN

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

Neiva, Septiembre de 2012

AGRADECIMIENTOS

A Dios creador del universo y dueño de mi vida, que me permite entender las leyes que rigen nuestra realidad.

Este logro nunca hubiera sido posible sin el amparo incondicional de mi familia, el amor de mi madre, el apoyo de mi padre y el ánimo de mis hermanitas. Este también es su premio.

Agradezco al profesor Faiber Ignacio Robayo por haber confiado en mí, por su Inmensa paciencia, por sus consejos, su apoyo, y por la dirección de este trabajo.

Gracias también a mis amigos: Over Parra, Alex Chicue, Rafael Mateus, Tania Polo, Yuli Perdomo, Diana Yate, Miguel Polanía, John Peña y todos aquellos que me acompañaron en esta aventura que significó la universidad, durante estos casi seis años de convivir dentro y fuera del salón de clase.

Finalmente agradezco al equipo docente de la Universidad Surcolombiana y de la Universidad Ibagué por sus aportes en conocimientos y experiencias para integrar mi formación profesional y mi futuro desempeño laboral.

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	8
1. JUSTIFICACIÓN	9
2. ANTECEDENTES	10
3. OBJETIVOS	11
3.1 GENERAL.....	11
3.2 ESPECÍFICOS.....	11
4. DESARROLLO DEL POSTGRADO	12
4.1 SEÑALES Y SISTEMAS	12
4.2 MODELIZACIÓN Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DINÁMICOS.....	16
4.3 TEORÍA DE CONTROL	20
4.4 INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL.....	23
4.5 CONTROL DIGITAL.....	27
5. CONCLUSIONES.....	30
6. REFERENCIAS.....	31
7. ANEXOS	32
7.1 ANEXO 1: NOTAS DEL POSTGRADO.....	32

RESUMEN

Para obtener el título Profesional como Ingeniero Electrónico en la Universidad Surcolombiana, he optado por la modalidad de grado: Plan complementario en Programa de Postgrado, eligiendo la especialización de Automatización Industrial de la universidad de Ibagué que se da en convenio con la Universidad Surcolombiana.

A lo largo de este informe final presentare la respectiva argumentación de la complementariedad de los cursos desarrollados, el análisis de los objetivos y los temas más relevantes estudiados en los cursos, para finalmente presentar un análisis concluyente acerca de la experiencia adquirida en el desarrollo del postgrado.

ABSTRACT

For the professional title as Electronic Engineer at the University Surcolombiana, I opted for the method of degree: Plan complementary Graduate Program, choosing the specialization of Industrial Automation at Ibaguè University, given in partnership with the Surcolombiana University.

Throughout this final report, I will present the respective arguments of the complementarity of the developed courses, the analysis of the objectives and studied the most relevant topics in the courses, and finally I will present a compelling analysis of the experience gained in the development of graduate.

INTRODUCCIÓN

Ante los nuevos escenarios sociales y técnicos en los que se desenvuelven la Facultad de Ingeniería y la Universidad Surcolombiana en general, exigiendo un nuevo orden conceptual y metodológico, es imperativo para todos los estudiantes desarrollar al máximo, la capacidad crítica, investigativa, técnica, creativa, de liderazgo e interés social. Es por eso que ante la amplia posibilidad y flexibilidad de decidir sobre mi modalidad de grado, he acogido la modalidad: Plan Complementario en Programa de Postgrado como la mejor opción para desarrollar mis aptitudes y perspectivas.

Un componente esencial en la modernización tecnológica en la que nos encontramos justo ahora, es la automatización industrial como herramienta para mejorar la eficiencia de procesos y calidad de los mismos. El trabajo de modelización, control y automatización, requieren conocimientos tales como: Algebra Lineal, Variable Compleja, Ecuaciones Diferenciales, Transformada de Laplace, Ecuaciones en Diferencia, Transformada Z y Física, como herramientas primordiales para un buen desempeño en la implementación de un sistema de control.

A través del conocimiento adquirido a lo largo de mi carrera y el conocimiento complementario obtenido con un estudio de postgrado, podré contribuir con una mayor formación integral, al desarrollo de tareas de nivel científico, tecnológico y de interés social en mi región Surcolombiana. Las clases de postgrado se llevaran a cabo en el campus de la universidad de Ibagué, en un horario de viernes de (2 a 10) pm y sábados de (8am a 12pm) y de (2 a 5) pm; contando con personal de coordinación y profesores compuesto por Ingenieros Colombianos y Europeos, con títulos de magister y doctorado, ampliamente capacitados para cumplir con dicha labor.

1. JUSTIFICACIÓN

El presente Informe se realiza primordialmente porque es un requerimiento que presenta la Universidad Surcolombiana para culminar la modalidad plan complementario en programa de postgrado; terminando satisfactoriamente el plan de estudio de pregrado con un promedio ponderado superior a (3.75) y obteniendo calificaciones meritorias en el estudio del postgrado, con promedio ponderado superior a (4.0) correspondientes al 50% de los créditos académicos del plan de estudios.

El deseo de optar por esta modalidad y cursar la especialización de Automatización Industrial, radica en la pasión y el gusto por el área del control en la industria y su amplio campo de acción, unido a la necesidad de profundizar y complementar mi carrera de Ingeniería Electrónica siguiendo el ritmo actual de competitividad nacional e internacional.

El Estudio de postgrado tomado se enfoca en el estudio de Señales y sistemas, Control de Procesos, Instrumentación Industrial, Modelización de Sistemas dinámicos para control, Identificación de sistemas dinámicos, Control Multivariable, Control de plantas de tratamiento de aguas residuales, Robótica, Control de procesos químicos, Control de motores, Control Hidráulico y Neumático, Tecnologías de PLC, Control Adaptivo y Predictivo, Control de irrigaciones y Control no lineal Fuzzy y de Redes Neuronales. El estudio realizado responde a la necesidad de cualificación de los profesionales en Ingeniería y Ciencias Básicas, que se desempeñaran en el campo industrial y académico relacionado con procesos de control industriales.

2. ANTECEDENTES

La Universidad Surcolombiana a través del Consejo Académico, estableció y reglamento las modalidades de grado para la Facultad de Ingeniería, mediante el **ACUERDO NUMERO 007 DE 2004** firmado el día 27 de abril de 2004 por el Presidente LUIS EVELIO VANEGAS RUBIO y el Secretario RAMIRO CARDOSO CAMACHO.

La Universidad Ibagué junto con la Universidad Surcolombiana, cuentan con un convenio académico celebrado el día 2 de marzo de 2011, en el cual permite que estudiantes de la Universidad Surcolombiana, que opten por la modalidad Plan complementario en programa de Postgrado, puedan acogerse a la Especialización de Automatización Industrial y consigan graduarse como Ingenieros Electrónicos.

3. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Alcanzar un promedio ponderado superior a (4.0) correspondientes al 50% de los créditos académicos en el postgrado. Para así conseguir graduarme como Ingeniero Electrónico de la Universidad Surcolombiana, optando por la modalidad de grado (Plan Complementario en Programa de Postgrado).

3.2 ESPECÍFICOS

- Recibir una formación académica que me permita llevar a cabo la automatización de procesos en líneas de producción industrial, para mejorar la productividad y eficiencia.
- Analizar los objetivos y los temas más relevantes de los cursos estudiados.

4. DESARROLLO DEL POSTGRADO

El postgrado se desarrollara a lo largo de dos semestres académicos consecutivos, que comprende cursos básicos y cursos avanzados; abarcando una totalidad de veinte cinco (25) créditos académicos, repartidos en cinco (5) cursos, correspondientes a quince (15) créditos académicos en el primer semestre; y cuatro (4) cursos, correspondientes a diez (10) créditos académicos en el segundo semestre. El primer semestre se desarrolló entre los meses de marzo y agosto del presente año.

Las clases se realizaron en una sala de computación, bajo ambiente Windows – Linux, con una red que contiene software como Matlab/Simulink 8.0, Labview 9.0 y otros paquetes auxiliares de amplio uso en ingeniería.

Los cursos vistos y aprobados en el primer semestre del postgrado son: Señales y Sistemas, Modelización y Simulación de Sistemas Dinámicos, Teoría de Control, Instrumentación y Control Digital.

4.1 SEÑALES Y SISTEMAS

Habiendo culminado el curso anterior, y obteniendo una nota de cuatro coma cinco (4,5) final, se puede concluir de los temas vistos que:

Las señales no tienen significado sin sistemas que las interpreten, y los sistemas son inútiles sin señales que procesar. Una señal es cualquier fenómeno que puede ser representado de manera cuantitativa mediante una función continua cuyo dominio son los números reales, o discreta cuyo dominio son los números enteros. El estudio de la clasificación de las señales y sistemas toma gran

importancia ante el manejo y desarrollo que se le quiera dar a un sistema específico.

El conocimiento e interpretación de las funciones elementales y sus operaciones básicas, son vitales para la generación de señales más complejas, puesto que estas son la base para la simulación de sistemas. La mayoría de las operaciones que se realizan sobre las señales tienen que ver con la transformación de la variable independiente, una de estas es la operación de reflexión y desplazamiento en conjunto, es de aclarar que para obtener un resultado valedero, se debe realizar en primera medida la operación de reflexión y posteriormente la de desplazamiento, en caso contrario se obtendría una respuesta totalmente diferente y por lo tanto errónea.

Las señales de energía finita se denominan señales de energía y poseen potencia media cero, las señales de potencia media finita, se denominan señales de potencia y poseen energía infinita, aunque existen señales que no son ni de energía ni de potencia, puesto que poseen energía y potencia media infinita. Por otro lado, una señal arbitraria puede ser representada o expresarse como la suma de dos señales, una de las cuales es la componente par de dicha señal, y la otra la componente impar de la misma.

La clasificación de los sistemas encuentra mayor importancia a la hora de distinguir sistemas LTI (lineales e invariantes en el tiempo), puesto que con estos sistemas se dedica el estudio y el planteamiento de soluciones en el ámbito de modelización y control de sistemas dinámicos. Los sistemas LTI son aquellos que cumplen con el principio de superposición y que además sus parámetros permanecen constantes al transcurrir del tiempo.

La estabilidad de un sistema está determinada por los sistemas BIBO (bounded input, bounded output), y se refieren al comportamiento de la salida del sistema ante una entrada acotada; si la salida del sistema crece en un rango el cual puede

se acotado, el sistema se denomina estable, pero si por el contrario, la salida crece sin límite, se dice que el sistema es inestable.

Para sistemas continuos LTI con única entrada y única salida, el modelo que describe el sistema corresponde a una ecuación diferencial ordinaria lineal de coeficientes constantes, cuya solución está dada por la suma de la solución homogénea y la solución particular; la respuesta forzada o solución particular es debida a la entrada y la respuesta natural o solución homogénea es debida a la historia del sistema o condiciones iniciales. Los sistemas físicos tales como, los sistemas mecánicos, sistemas eléctricos, hidráulicos, entre otros, pueden llegar a ser modelados mediante ecuaciones diferenciales lineales o no-lineales.

La respuesta impulso es de gran utilidad para el entendimiento y estudio de la convolución; esta es la respuesta de un sistema con condiciones iniciales iguales a cero, ante una entrada de función impulso, delta dirac o delta de kronecker, para sistemas continuos o discretos respectivamente; siendo la convolución una operación entre dos funciones, la cual permite hallar la salida de un sistema para cualquier entrada dada, a partir de la respuesta impulso del sistema.

La transformada de Laplace es adecuada para resolver sistemas de ecuaciones diferenciales lineales con condiciones iniciales en el origen; una de sus ventajas más significativas radica en que la integración y derivación se convierten en multiplicación y división, esto transforma las ecuaciones diferenciales e integrales en ecuaciones polinómicas, mucho más fáciles de resolver. La transformada de Laplace junto con la transformada inversa de Laplace cumplen con un número de propiedades que las hacen útiles para el análisis de sistemas dinámicos lineales en invariantes en el tiempo; uno de los métodos más utilizados para encontrar la respuesta de un sistema en términos del espacio temporal, a partir de la transformada inversa de Laplace es el de fracciones parciales y sus casos particulares.

Existen diversas formas de representar sistemas, entre ellas tenemos, la función de transferencia, el diagrama de bloques y la representación en espacio de estados; además de esto existen métodos para correlacionar estos diferentes métodos de representación dinámica, por lo que se hace necesario conocer cada representación y sus características específicas.

La función de transferencia de un sistema lineal e invariante en el tiempo (LTI), se define como el cociente entre la transformada de Laplace de la entrada y la transformada de Laplace de la salida, se expresa como una función exclusiva de la variable compleja s , bajo la suposición de condiciones iniciales nulas. Esta representación es exclusiva para sistemas SISO (single input, single output), de única entrada y única salida, puesto que su naturaleza es de causa y efecto. De los ceros o raíces del numerador de la función de transferencia, se puede determinar si el sistema se comporta como un sistema de fase no mínima, arrancando en oposición al valor deseado; y de la ecuación característica, se puede definir la estabilidad del sistema con respecto a la ubicación de las raíces en el plano complejo s .

El diagrama de bloques es utilizado para representar sistemas físicos mediante un modelo matemático, en el cual, intervienen gran cantidad de variables que se relacionan en todo el proceso. El modelo matemático que representa un sistema físico de alguna complejidad conlleva a la abstracción entre la relación de cada una de sus partes y luego de una representación del modelo matemático final en bloques, se puede encontrar la relación entre una entrada y una salida específica del sistema conocida como función de transferencia.

La representación matricial en Espacio de estados consiste en partir de una ecuación diferencial de n -ésimo orden, que se puede descomponer en n ecuaciones diferenciales de primer orden, esto debido a que una ecuación de primer orden es más fácil de resolver que otra de orden más alto. Los sistemas

dinámicos pueden ser representados para condiciones iniciales diferentes de cero y la salidas estar en función de las variables de estado y/o de las entradas establecidas. Esta representación permite el estudio y simulación de sistemas tanto lineales como no-lineales.

Para los sistemas en tiempo discreto, se pueden obtener las mismas conclusiones de los sistemas en tiempo continuo, aunque en este caso las señales vienen representadas por secuencias o muestras, y los modelos vienen dados por ecuaciones en diferencia. En este tiempo se hace necesario recurrir a la transformada Z y su transformada inversa, para análisis y estudio de las señales y sistemas discretos.

4.2 MODELIZACIÓN Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DINÁMICOS

Habiendo culminado el curso anterior, y obteniendo una nota de tres coma siete (3,7) final, se puede concluir de los temas vistos que:

La Dinámica de Sistemas es uno de los cursos de Ingeniería en el que todas las materias fundamentales tienen un elevado nivel de integración y se aplican a los problemas físicos particulares. El disponer de un buen modelo matemático para un determinado sistema físico es esencial a la hora de hacer simulaciones y predicciones de su comportamiento. En este curso se hizo uso de las herramientas matemáticas y tecnológicas para tal fin, a la vez para adquirir destrezas en la modelización de sistemas dinámicos (mecánicos, eléctricos, hidráulicos, entre otros). Son necesarios conocimientos previos en Álgebra y Cálculo básicos y de Variable Compleja, así como de Física básica, donde se abordan la resolución y simulación de sistemas dinámicos con ayuda del paquete informático Matlab-Simulink, los recursos computacionales y gráficos de dicho

software matemático ayudan a una mejor comprensión y manejo de sistemas complejos.

El proceso de modelado consiste en la delimitación del modelo en función de los fenómenos que resultan relevantes de acuerdo al problema que se quiere resolver, esta es una etapa que no puede sistematizarse fácilmente y que requiere una cierta dosis de intuición y por sobre todo de una vasta experiencia en relación con el sistema a modelar; una vez delimitados los fenómenos que se consideraron relevantes para la construcción del modelo, se pasa a la siguiente etapa en la que se deben formalizar las relaciones estructurales asociadas respectivamente a los fenómenos considerados y a la forma en que estos se disponen dentro del sistema. En los sistemas físicos, estas relaciones estructurales encuentran su expresión formal matemática en las leyes fundamentales de la física asociados a los fenómenos tratados.

Existen básicamente tres métodos para la construcción de modelos matemáticos, los basados en los principios físicos y leyes fundamentales, conocidos como modelos de caja blanca; los basados exclusivamente en datos de entrada-salida, denominados modelos de caja negra; y por último los basados en los principios físicos fundamentales y datos de entrada-salida en conjunto, conocidos como modelos de caja gris. En el curso de modelamiento y simulación de sistemas dinámicos se dedico gran parte del tiempo al estudio de sistemas de caja blanca.

La validación de un modelo se lleva a cabo básicamente comparando el comportamiento del modelo con el del sistema real y evaluando la diferencia, es de notar que todos los modelos tienen un rango limitado de confiabilidad, como es el caso de las leyes de newton que son valederas en un amplio rango de velocidades, pero ante la velocidad de la luz estas son incapaces de describir el movimiento de las partículas.

Es necesario obtener un modelo lineal, a partir de uno no-lineal, puesto que las técnicas convencionales de diseño de controladores, en su gran mayoría están establecidas para modelos exclusivamente lineales; ante esto, se ha de obtener un modelo lineal aproximado alrededor de un punto de operación dado, haciendo uso de las series de Taylor, truncando y asumiendo que los términos de mayor orden son iguales a cero; obteniendo así un modelo lineal lo más próximo posible al modelo real no-lineal, referenciando ante con un nuevo sistema de coordenadas.

En los sistemas mecánicos, las fuerzas, los desplazamientos y las velocidades son las variables comúnmente encontradas. La ecuación fundamental es la segunda ley de Newton, que indica que la suma de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo es igual al producto de la masa por la aceleración. Las Ecuaciones de LaGrange proporcionan una herramienta poderosa para la solución de sistemas mecánicos, tanto simples como complejos, de una manera sencilla teniendo en cuenta las energías asociadas al sistema. La dinámica de LaGrange no es en absoluto una nueva teoría para la mecánica, los resultados obtenidos por este método han de ser idénticos a los que proporcionan las fórmulas de Newton, lo único que varía es el procedimiento para llegar al resultado; mientras que con la mecánica newtoniana se maneja un agente exterior al cuerpo, en la mecánica analítica de LaGrange se manejan magnitudes asociadas al cuerpo.

Para los sistemas hidráulicos las variables normalmente encontradas son niveles, caudales, presiones, velocidades, entre otras, y se proceden mediante balances de masa. En los sistemas térmicos, las señales comúnmente utilizadas son la temperatura y las potencias (flujos de calor por unidad de tiempo), el modelado de estos sistemas en un principio es complicado, ya que la temperatura no suele ser homogénea en el cuerpo, lo que da lugar a ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, y por lo tanto a modelos de parámetro distribuidos, pero se suele simplificar en la mayoría de los casos, considerando un solo cuerpo de

temperatura homogénea, obteniendo en este caso ecuaciones diferenciales ordinarias, y por lo tanto modelos de parámetros concentrados.

Los balances de materia y energía son contabilidad de entradas y salidas de materiales y energía de un proceso o de una parte de este. Dichos balances se basan en las leyes de la conservación de la masa y la energía, indicando que la masa y energía son constantes y solo se transforman; por lo que la masa y la energía entrantes a un proceso, deben ser iguales a la masa y energía salientes, a menos que se produzca una acumulación dentro del proceso. La teoría de estos balances es muy sencilla, y su aplicación es bastante amplia en el modelamiento de sistemas de Hidráulicos y térmicos.

En la simulación de sistemas dinámicos tanto lineales como no-lineales, se hizo uso del software Matlab y todas sus herramientas disponibles, como es el caso de la (s-funtion), la cual es una herramienta valiosa que ante la complejidad elevada que poseen los modelos no lineales, resulta muy eficaz utilizar un conjunto de ecuaciones diferenciales escritas en un archivo-m que accederán por Simulink a través del bloque (s-funtion), combinando las ventajas de un archivo-m que se puede ejecutar directamente por solucionadores como ode45 u ode15s, con los enlaces gráficos a otros bloques de Simulink.

Finalmente, Ante un conjunto de ecuaciones diferenciales, donde el valor de algunos parámetros es desconocido o difícil de calcular, Matlab ofrece una herramienta para la estimación de parámetros y evitar este inconveniente. Esto a partir de las ecuaciones diferenciales que describen el sistema y ciertos datos de entrada y salida, para estimar y validar los valores obtenidos.

4.3 TEORÍA DE CONTROL

Habiendo culminado el curso anterior, y obteniendo una nota de cuatro coma dos (4,2) final, se puede concluir de los temas vistos que:

La ingeniería de Control no es específica para una determinada disciplina de ingeniería. Al contrario, la Ingeniería de Control es clave en la electrónica, la industria química, la instrumentación, las telecomunicaciones, la ciencia de los materiales, la electrotecnia, la aeronáutica, la navegación espacial, la navegación marítima, y hoy por hoy incluso en autos y hogares.

Un sistema de control sirve para controlar el valor de ciertas variables de salida por medio de otras variables de entrada, existiendo dos opciones para lograr ello: el control en lazo abierto y el control en lazo cerrado. En el control en lazo abierto, la entrada actúa directamente sobre el dispositivo de control del sistema para producir el efecto deseado en las variables de salida, aunque sin comprobar el valor que toma dicha variable; mientras que el control en lazo cerrado tiene una entrada llamada referencia, que sirve para introducir en el sistema el valor deseado para la salida que se mide mediante un sensor apropiado, que a su vez partiendo de dicha medida se compara con el valor de la entrada de referencia, haciendo que la diferencia entre ambos valores incida sobre el dispositivo controlador, y la salida de este sobre el elemento actuador, el cual a su vez ejerce la debida acción de control sobre la planta.

Se puede decir que el sistema en lazo cerrado responde mejor ante la presencia de una entrada perturbadora o de ruido, sin embargo, hay que ser muy cautos ante este tipo de razonamientos, ya que muchas veces puede fallar. No es posible predecir el comportamiento general de un sistema con retroalimentación sin conocer previamente su modelo matemático.

Son objetivos del diseño de controladores, el seguimiento absoluto de la entrada o referencia, el rechazo del sistema ante todo tipo de perturbaciones y que el sistema de control responda bien lo más remoto posible. Esto cumpliendo con las especificaciones de diseño dadas, como un comportamiento absolutamente estable, una respuesta transitoria deseada, un error de estado permanente aceptable o de valor cero, una robustez conveniente y por último y muy importante a la hora de implementarse, una relación de precio-calidad interesante y realizable.

El curso de control estuvo dirigido a conceptos de uso más práctico que a conceptos teóricos, donde se tratan sistemas exclusivamente lineales e invariantes en el tiempo con condiciones iniciales iguales a cero, y para la representaciones de sistemas dadas exclusivamente por función de transferencia.

La estrategia de diseño más conveniente, sigue pasos metodológicos que comienzan definiendo el sistema físico mediante un modelo matemático lo más aproximado posible; elaborando un diagrama de bloques funcional que describa el modelo hallado y el lazo de control; determinando las especificaciones de diseño del controlador; especificando el comportamiento dinámico de actuadores y sensores a utilizar e identificando el modelo de cada subsistema; diseñando el controlador y sus parámetros cumpliendo con las especificaciones de diseño; y por último, probando el comportamiento general del sistema controlado mediante simulación, ante diferentes entradas a conveniencia, para saber si el sistema cumple con lo especificado y se puede implementar.

La técnica de Rlocus resulta importante para la compensación dinámica tanto para controladores PID como para filtros en general, presentan un esquema rápido y sencillo del lugar geométrico de las raíces de lazo cerrado, a partir de los polos y ceros del proceso en lazo abierto; dando una idea rápida para el diseño final. Las herramientas gráficas rápidas como el CAD (diseño asistido por computadora) que

ofrece Matlab, crean nuevas posibilidades para la simulación de los resultados finales, en sistemas de control complejos, sin dejar de lado la creatividad y experiencia que resultan indispensables. Para sistemas con tiempo muerto puro, el concepto de Rlocus no es aplicable, pero a menudo se suelen aproximar estos retardos a funciones polinómicas que alteran y aumentan el grado del sistema.

El criterio de Routh Hurwitz toma gran importancia a la hora de encontrar la estabilidad de un sistema, por medio de una matriz y cálculos sencillos a partir de la ecuación característica del proceso en lazo cerrado, obteniendo como resultado cambios de signos en la primera columna de dicha matriz, que corresponden al número de polos a lado derecho del plano complejo s . Este sistema resulta bastante conveniente para encontrar el valor de una constante o ganancia denominada (k crítico) para la cual el sistema oscila en forma permanente.

El estudio de sistemas de primer y segundo orden se hace conveniente, puesto que en resumidas cuentas todos los sistemas de orden superior al segundo orden, pueden llegar a ser aproximados, por medio de criterios de aproximación y cancelación de polos y ceros, para una mayor facilidad de entendimiento y manejo del sistema. Se tiene que para un comportamiento en estado estacionario ante diferentes entradas, se pueden obtener errores de valor constante, de valor cero o de valor infinito; esto puede ser determinado de manera sencilla, observando simplemente la función de transferencia del proceso y encontrando a que 'tipo' pertenece, dependiendo del grado o número de integradores que posea. En conclusión se puede llegar a decir, que el número de integradores es directamente proporcional al grado de propensión de la inestabilidad ante diferentes entradas.

El controlador tipo PID es uno de los controladores más utilizados en la industria, cerca del noventa y cinco por ciento (95%) de lazos de control están basados en estos métodos, debido a sus importantes características de control. Como ventaja se tiene que ante el simple cálculo de los parámetros K_p , K_i y K_d , mediante

métodos de diseños convencionales y una leve sintonización, se logra estabilizar el sistema y alcanzar especificaciones de diseño establecidas; ante la desventaja de ser muy sensibles al ruido y por lo tanto su implementación se debe realizar en conjunto con filtros que atenúen estas perturbaciones al sistema.

Existen tres métodos de diseño para controladores tipo PID: el de Ziegler Nichols, el cual consiste en encontrar el ($K_{critico}$) por medio de los métodos convencionales como el criterio de estabilidad de Routh Hurwitz o por el método de Rlocus que muestra el lugar geométrico de las raíces; el de Astrom Hagglund que encuentra el ($K_{critico}$) por medio del método del relé y entrada al sistema igual a cero; y por último el método de Kaiser Rajka que se basa en el principio del método del relé de Astrom Hagglund, pero adicionalmente tiene un bloque de retardo variable, que de alguna manera modifica el margen de fase del proceso, haciendo de este la técnica de diseño más completa y con la que mejores resultados se obtienen.

Las técnicas de compensación, son una buena herramienta para ajustar las ganancias de un sistema de control para poder cumplir con las especificaciones dadas. Existen dos tipos de compensación, una en serie y otra en paralelo, la primera es sencilla en comparación con la otra; pero con la otra, generalmente, podemos ahorrarnos los amplificadores en el sistema. Existen tres técnicas para calcular la compensación en un sistema de control, las cuales son, compensación en atraso, compensación en adelanto y compensación en adelanto - atraso.

4.4 INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Habiendo culminado el curso anterior, y obteniendo una nota de cuatro coma cero (4,0) final, se puede concluir de los temas vistos que:

La instrumentación industrial es el grupo de elementos que sirven para medir, convertir, transmitir, controlar o registrar variables de un proceso con el fin de optimizar los recursos utilizados en éste. La instrumentación es lo que ha permitido el gran avance tecnológico de la ciencia actual en casos tales como: los viajes espaciales, la automatización de los procesos industriales y muchos otros de los aspectos de nuestro mundo moderno; ya que la automatización es solo posible a través de elementos que puedan sensor lo que sucede en el ambiente de trabajo, para luego tomar alguna acción de control pre-programada que actúe sobre el sistema para obtener el resultado previsto.

El elemento primario cumple con la tarea de recibir la energía del medio y producir una salida de variable física, como un desplazamiento producido por algún fenómeno natural y aprovechado para tal fin. La cantidad medida se ve perturbada constantemente por el elemento primario de medición, por lo que una medida teóricamente perfecta es imposible; finalmente el elemento de conversión se encarga de convertir la señal física a otra más conveniente, conservando la información de la señal original. Los transductores involucran en su funcionamiento conversión de energía, ya sea mecánica, eléctrica, Hidráulica o cualquier otra; si la energía de salida del componente conversor se suministra completamente o casi completamente por la señal de entrada, se considera un transductor activo; pero si por el contrario el transductor posee una fuente externa de energía para tal fin, se considera transductor pasivo.

Las características de desempeño estático se obtienen usando la calibración estática, donde todas las entradas deseadas, perturbadoras y modificadoras excepto una, se mantienen constantes; Para así cambiar dicha entrada variable sobre algún rango de valores constantes, los cuales causaran en la salida una variación sobre otro rango de valores constantes. Así y repitiendo el procedimiento a cada una de las entradas de interés, se obtiene la familia de relaciones estáticas entrada-salida, que finalmente y por medio de superposición de todos los efectos

individuales encontrados, se encuentra el comportamiento estático del instrumento global. El estándar de calibración debe ser al menos 10 veces tan exacto como el instrumento que está siendo calibrado; queriendo decir que es imposible calibrar un instrumento a una exactitud mayor que la del estándar con el cual es comparado.

La precisión y la exactitud son términos que se emplean a menudo como sinónimos; pero es un error, puesto que la exactitud indica la proximidad de la medición con respecto del valor de referencia que se ha usado para calibrar el instrumento, mientras que la precisión indica la dispersión de los valores de mediciones repetidas de una magnitud, en unas determinadas e idénticas condiciones.

Existen dos formas de clasificar los elementos, una es de acuerdo a su función en el proceso, pudiendo ser: indicadores, registradores, elementos primarios, sensores, transmisores, transductores, receptores, convertidores, controladores o elementos finales de control; y la otra es de acuerdo a la variable de proceso que miden. En la actualidad se pueden medir casi sin excepción, todas las variables de proceso existentes, sin embargo unas se miden de forma indirecta y otras de forma directa.

Las mediciones de flujo son un aspecto importante del control de procesos, se mide en ratas de flujo másico o en ratas de flujo volumétrico. Las ratas de flujo másico son valores de medición ideal que son independientes de la presión y la temperatura; mientras que las ratas de flujo volumétrico técnicamente son más fáciles y baratas de medir, pero son dependientes y se deben considerar las presiones y las temperaturas del sistema. En fluidos normales o incompresibles el efecto de la presión es despreciable, mientras que los de la temperatura pueden ser significativos; en mediciones de gases los efectos de la presión y la

temperatura son muy importantes y las mediciones deben estar basadas bajo condiciones normales.

Las mediciones de presión son bastante comunes para las mediciones indirectas de flujo, nivel y temperatura. La medición de presión consiste de dos partes: el elemento primario que está en contacto con el medio y los cambios de presión; y el elemento secundario, que convierte estas interacciones en una señal reutilizable. Para entender a fondo estas mediciones es necesario tener claro los conceptos de presión absoluta, presión atmosférica o presión barométrica, presión diferencial, presión manométrica, Presión Hidrostática y vacío.

Las mediciones de temperatura se basan en fenómenos de cambios de presión en un gas con volumen constante, cambios de volumen en líquidos, cambios de longitud de sólidos, cambios en la presión de vapor de un líquido con vapor saturado, cambios en la resistencia en un material de metal o semiconductor, cambios en la potencia eléctrica entre metales, cambios en la cantidad de radiación emitida o cambios en la longitud de onda de la radiación emitida.

Las mediciones de nivel informan sobre la cantidad de líquido o sólido en algún tanque, bunker o silo, y se expresa en alguna unidad de distancia con respecto a un punto de referencia o en porcentajes expresando (0%='vacío' y 100%='lleno'). Pueden utilizar fenómenos como la presión hidrostática, la flotabilidad, la medición capacitiva, el nivel ultrasónico, nivel electromagnético y de radar.

Es necesario conocer y distinguir las siguientes características estáticas: exactitud, precisión, campo de medida o rango, alcance, error, escala completa de salida, zona muerta, saturación, sensibilidad, repetibilidad, Histéresis, campo de medida con supresión de cero, y campo de medida con elevación de cero; ya que son las de mayor importancia y jugaran un papel muy importante a la hora de adquirir un elemento de instrumentación.

Seleccionar un instrumento de medición correcto para algún trabajo es complicado, pues no hay una simple elección correcta, no hay un procedimiento para seleccionar un instrumento de medición dentro del inmenso mar de posibilidades que ofrecen los fabricantes, y el juicio es parte importante durante el proceso de adquisición. Ante esto nos debemos hacer varias preguntas acerca de: ¿cuál es la variable medida?, ¿qué exactitud se requiere?, ¿cuáles son los límites del rango más alto y más bajo?, ¿qué sobre-rango se puede presentar?, y ¿qué velocidad de respuesta o dinámica del sensor necesito?, también es necesario preguntarse acerca del instrumento de medición, como: ¿cuál es el sensor primario?, ¿qué efecto tendrá sobre la variable medida?, ¿cuál es el propósito de la variable medida?, ¿de salida analógica o digital?, ¿su naturaleza de(3-15psi) o de (4-20mA)?, ¿qué tipo de acondicionamiento para la señal se provee?, ¿en qué condiciones ambientales se encontrara el instrumento?, entre estas y muchas más características que el usuario crea conveniente a tener en cuenta, se basa el juicio para adquirir un elemento de instrumentación.

Finalmente, para presentar un diagrama donde se encuentren todos los elementos de un proceso en forma ordenada, la mejor opción es el diagrama de flujo, que es uno de los documentos más importantes para un ingeniero; en este se presentan de forma secuencial los equipos involucrados en el proceso, así como los datos de proceso deseables y las expectativas de los rangos de variación, características más resaltantes de los equipos, sentidos de los fluidos y cualquier otro dato de proceso relevante para el diseño.

4.5 CONTROL DIGITAL

Habiendo culminado el curso anterior, y obteniendo una nota de cuatro coma cinco (4,5) final, se puede concluir de los temas vistos que:

Los sistemas digitales de control se utilizan ampliamente debido a su bajo costo en comparación con los analógicos. Presentan ventajas en cuanto a inmunidad al ruido, precisión y facilidad de implementar funciones complejas. Los sistemas de control de procesos con realimentación computarizada se utilizan en muchas industrias para controlar sus distintos procesos de fabricación. En el mundo físico, las variables son continuas y es preciso transformarlas, amplificarlas y convertirlas a variables digitales para que un sistema digital las pueda procesar.

Los sistemas de adquisición de datos realizan todas estas funciones, y se usan para procesar señales analógicas y convertirlas en digitales para su posterior procesamiento o análisis mediante un programa en computador. En general un sistema de adquisición de datos toma una magnitud física tal como la presión, la temperatura, la posición, u otra anteriormente sensada para ser muestreada y digitalizada. Una vez conseguido esto, el tratamiento será descrito por controladores digitales, que realizarán las pertinentes acciones de corrección. Un sistema discreto se inserta en el lazo de control a fin de reemplazar el regulador análogo pero el proceso físico continuará siendo continuo, en la mayoría de los casos de interés.

La buena elección de un tiempo de muestreo, está dado por el criterio de Nyquist-Shannon, el cual demuestra que la reconstrucción exacta de una señal periódica continua en banda base a partir de sus muestras, es matemáticamente posible si la señal está limitada en banda y la tasa de muestreo es superior al doble de su ancho de banda. Evitando de esta forma los fenómenos como el de Aliasing.

El diseño de controladores en tiempo discreto, es sencillamente la transformación del controlador diseñado en tiempo continuo por los métodos convencionales, teniendo en cuenta la adición de un bloque ZOH (Zero Order Hold) que antecede la función de transferencia del proceso. Mediante el uso de la transformada Z y su

inversa, se obtiene el controlador deseado en términos de Z y su correspondiente ecuación en diferencia, la cual será implementada por un computador.

5. CONCLUSIONES

Se Obtuvo un promedio ponderado de cuatro coma dieciocho (4,18) de los primeros cinco cursos del postgrado, correspondientes al sesenta por ciento (60%) de la totalidad de créditos académicos del programa de Especialización en Automatización Industrial, cumpliendo con el objetivo general del presente informe.

Se Recibió una formación académica bastante completa y complementaria al plan de estudio de pregrado; que me permitirá llevar a cabo la automatización de procesos en líneas de producción industrial, mejorando la productividad y la eficiencia.

Es de vital importancia el conocimiento y seguimiento riguroso de las medidas de prevención de riesgos, en espacios de trabajo donde nos encontremos laborando, para evitar que sucedan accidentes lamentables, como los acontecidos en el transcurso del postgrado.

En el presente informe se mostro un análisis crítico y concluyente de cada uno de los cursos vistos en el postgrado, teniendo en cuenta los temas de mayor relevancia y experiencias adquiridas a lo largo de este, por parte de profesores muy bien calificados, comprometidos a mejorar la calidad de nuestra formación humana y académica.

Tomar la modalidad de plan complementario en programa de postgrado, sigue siendo un riesgo, ante la reglamentación y exigencias por parte del consejo académico de la Universidad Surcolombiana. Ha sido un reto personal alcanzado, culminar satisfactoriamente los primeros cinco cursos del postgrado, gracias a los profesionales afines al área de automatización que me brindaron su apoyo incondicional ante dudas y temas de complejidad.

6. REFERENCIAS

- Chen, Chi-tsong.: *System and signal Analysis*. Saunders College Publishing. San Diego. CA. USA, 1994.
- Kamen, Edward W.: *Introduction to Signals and Systems*. Second Edition. Prentice Hall. New Jersey. USA. 1990
- Kuo, Benjamin C.: *Sistemas de Control Automático*. Septima Edición. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. Naucalpan de Juárez, Edo. de México. 1996
- Ogata, Katsuhiko.: *Ingeniería de Control Moderna*. Cuarta Edición. Pearson Educación S.A. Madrid. España. 2003
- Oppenheim, Alan V., Willsky, Alan S., Nawad, Hamid S.: *Señales y Sistemas*. Segunda Edición. Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México D. F. 1998.
- Poularikas, Alexander D., Seely, Samuel.: *Signals and Systems*. Second Edition. PWS-KENT Publishing Company. Boston. USA. 1991.
- Soliman, Samir S., Srinath, Mandyan D.: *Señales y sistemas continuos y discretos*. Segunda Edición. Prentice Hall. Madrid. España. 2001.
- The Getting Started with MATLAB 7. MathWorks, Inc. 2011.
- Ernesto Doebelin. *Measurement Systems, Application and Design*. McGrawHill, 1990.
- Antonio Creus Sole. *Instrumentación Industrial*. Marcombo, 1992.
- James W Dally, William S Riley, Kenneth G McConnel. *Instrumentation for Engineering Measurements*, 2nd Edition.

7. ANEXOS

7.1 ANEXO 1: Notas del Postgrado



Ibagué, agosto 22 de 2012

Ingeniero
AGUSTIN SOTO OTALORA
Jefe Departamento de Electrónica
Facultad de Ingeniería
Universidad Surcolombiana
Neiva

Respetado ingeniero:


Por medio de la presente, me permito informarle que el estudiante **JUAN DAVID CERQUERA PALOMA**, identificado con C.C. 1075249112 expedida en Neiva (Huila), culminó satisfactoriamente cinco (5) cursos cada uno de tres (3) créditos académicos, que corresponden al primer semestre del plan de estudios de la maestría en ingeniería de control industrial que se cursa en la universidad de Ibagué. Estos cursos corresponden a quince (15) créditos académicos del programa de Especialización en Automatización Industrial, que tiene un total de veinticinco (25) créditos académicos.

La Universidad Surcolombiana y la Universidad de Ibagué, cuentan con un convenio académico celebrado en marzo 2 de 2011, que permite a estudiantes de la Surcolombiana graduarse como ingenieros electrónicos en la modalidad de grado "*Plan Complementario en Programa de Postgrado*". Las notas obtenidas por el estudiante son las siguientes:

CURSO SEMESTRE I	NOTA (/5)	CREDITOS
1. Señales y Sistemas	4.50	3
2. Teoría de Control	4.20	3
3. Control Digital	4.50	3
4. Modelización y Simulación de Sistemas Dinámicos	3.70	3
5. Instrumentación	4.00	3

Es de anotar que, estas notas solamente son validas cuando son emitidas por la Oficina de Registro Académico de la Universidad de Ibagué, por lo cual para que este documento sea valido debe ir acompañado de estas notas emanadas de la Oficina de Registro Académico.

Para constancia se firma en Ibagué a los veintitrés (23) días de mes de agosto de dos mil doce (2012).


LUIS ALFONSO MUÑOZ HERNANDEZ
Coordinador Maestría en Ingeniería de Control Industrial
Director Programa Automatización Industrial

Calle 67 carrera 22 Barrio Ambalá, Ibagué, Colombia - PBX (+57) (8) 2709400 - Apartado 487 - NIT. 890.704.382-1
www.unibague.edu.co E-mail: informacion@unibague.edu.co



Comprometidos con el desarrollo regional

PERSONERIA JURIDICA RESOLUCION N. 1867 DE 1981
MINISTERIO DE EDUCACION NACIONAL REPUBLICA DE COLOMBIA

**EL SUSCRITO JEFE DE ADMISIONES
Y REGISTRO
CERTIFICA**

Que JUAN DAVID CERQUERA PALOMA con cédula de ciudadanía número 1075249112 cursó las asignaturas que se relacionan a continuación, pertenecientes al programa: 105301 CURSOS LIBRES-MAESTRIA CONTROL INDUSTRIA

No.	Codigo Asignatura	Periodo	Notas	Horas
1	SENALES Y SISTEMAS	2012A	4.50	36
2	TEORIA DE CONTROL	2012A	4.20	36
3	CONTROL DIGITAL	2012A	4.50	36
4	MODELIZACION Y SIMULACION	2012A	3.70	36
5	INSTRUMENTACION	2012A	4.00	36

Promedio Carrera : << 4.18 >>

Expedido en Ibagué, a los 24 días del mes de AGOSTO de 2012.


Universidad de Ibagué
Jefe Admisiones y Registro

MARIA DEL PILAR CEDEÑO ZARATE

NOTA: Los certificados que tengan enmendaduras, no tiene validez
La escala de Calificaciones es de 0.00 a 5.00
Nota Conceptual A=Aprobo R=Reprobo



IMPRESO POR UNIVERSIDAD DE IBAGUE S.A. NIT 890.704.382-1