

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL
PROCESO DE PESO Y EMPAQUE DE CAFÉ MOLIDO PARA LA EMPRESA
OCCIDENTAL DE CHOCOLATES**

**HUGO ORTIZ BETANCUR
JOSE RICARDO SALAZAR GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA
NEIVA-HUILA
2013**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL
PROCESO DE PESO Y EMPAQUE DE CAFÉ MOLIDO PARA LA EMPRESA
OCCIDENTAL DE CHOCOLATES**

**HUGO ORTIZ BETANCUR
JOSE RICARDO SALAZAR GOMEZ**

**Proyecto De Grado Presentado Para Optar
al título de ingeniero electrónico**

**Director:
Agustín Soto Otálora
Ingeniero electrónico**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA
NEIVA-HUILA
2013**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Neiva, 23 de Agosto de 2013

DEDICATORIA

A mis padres Ignacio y Ana Cecilia que me brindaron su apoyo y afecto durante toda mi vida, a mis hermanos por su amistad y cariño, en especial a Belisario que me brindo su colaboración incondicional durante toda la carrera y a Nelcy por la motivación para empezarla, a mi novia Nathalia por su comprensión y amor y a cada uno de los miembros de mi familia y personas cercanas que de algún modo influyeron en mi formación como persona y como profesional.

HUGO ORTIZ BETANCUR

Dedico este triunfo primero que todo a Dios, a mi madre Amparo Gómez Cruz, a mi padre Librado Salazar; por brindarme el amor y apoyo para salir adelante; a todas aquellas personas que estuvieron presentes en este arduo camino hacia el éxito.

JOSE RICARDO SALAZAR GÓMEZ

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Todas aquellas personas que con su colaboración y paciencia hicieron posible el desarrollo y ejecución de este proyecto de grado.

En especial al Ing. Agustín Soto Otálora, docente de Ingeniería Electrónica y encargado del semillero de investigación de control inteligente, por sus enseñanzas, correcciones y apoyo durante la realización de este proyecto y nuestra formación académica.

A los Ingenieros Ramiro Perdomo Rivera y José de Jesús Salgado Patrón, quienes con sus aportes académicos durante la carrera y concejos prácticos facilitaron la ejecución de este trabajo de grado.

A los ingenieros Germán Martínez, Edilberto Polaina, Javier Rubio, Docentes de Ingeniería Electrónica de la Universidad Surcolombiana por sus enseñanzas y amistad durante la carrera.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. SISTEMAS DE PESAJE	18
1.1 SISTEMA BASADO EN TOLVA DE PESAJE	18
1.2 CELDAS DE CARGA	19
1.2.1 Galgas extensiométricas	19
1.2.2 Celdas de carga de flexión de viga	20
2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA PARTE MECÁNICA DE LA EMPACADORA DE CAFÉ	21
2.1 PUNTO FIJO DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DEL PRODUCTO, (CAFÉ MOLIDO).	23
2.1.1 Tolva y sistema de arrastre de material.	23
2.1.1.1 La tolva	23
2.1.1.2 El tornillo sin fin	24
2.1.1.3 Motor eléctrico	24
2.2 PUNTO FIJO DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DEL MATERIAL DE EMBALAJE (BOLSAS)	35
2.3 DISPOSITIVO DE DESPLAZAMIENTO Y POSICIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS	36
2.3.1 Brazo de posicionamiento	36
2.3.2 Determinación de la fuerza en el mecanismo de los actuadores	40
2.4 DOSIFICACIÓN DEL PRODUCTO (CENSAR EL PESO)	43
2.5 SELLADO DEL PRODUCTO (SELLADO POR TEMPERATURA)	44
2.6 EMBUDO DE ACOPLAMIENTO	45
2.7 INTERFAZ DE USUARIO	46
3. DISEÑO DEL HARDWARE DE PROCESO PARA LA EMPACADORA DE CAFÉ	48
3.1 TARJETA PRINCIPAL DE PROCESO	48
3.2 TARJETA ACONDICIONADORA CELDA DE CARGA	50
3.3 TARJETA DE POTENCIA CON SALIDA DE 110V AC	57
3.4 TARJETA DE POTENCIA CON SALIDA 12V DC	58
4. DISEÑO DEL SOFTWARE DE PROCESO	61
5. MANUAL DE USUARIO	65

	pág.
6. COSTOS	71
7. ANALISIS DE RESULTADOS	73
8. CONCLUSIONES	77
9. RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFÍA	79
ANEXOS	81

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Dimensiones presentadas por las bolsas de empaque	21
Cuadro 2. Relación de producto empacado por 2 operarios en 8 horas de labor	22
Cuadro 3. Relación de producto para la determinación de la capacidad del tornillo	25
Cuadro 4. Características de los materiales según CEMA	26
Cuadro 5. Factor de capacidad Cf_1	27
Cuadro 6. Factor de capacidad Cf_2	27
Cuadro 7. Factor de capacidad Cf_3	27
Cuadro 8. Capacidades de los transportadores de tornillos sin fin	28
Cuadro 9. Relación de los valores de λ	30
Cuadro 10. Factor de diámetro del sin fin	32
Cuadro 11. Relación para la selección de los bujes	32
Cuadro 12. Factor de potencia de tipo de helicoide	33
Cuadro 13. Factor de potencia por paletas	33
Cuadro 14. Factor de transmisión	34
Cuadro 15. Relación de la señal real de salida de la celda de carga	52
Cuadro 16. Relación de la señal entregada por la etapa de amplificación	54
Cuadro 17. Relación de la señal entregada por la etapa restadora	56

	pág.
Cuadro 18. Costos presupuestados	71
Cuadro 19. Costos reales	71
Cuadro 20. Medidas tomadas a las bolsas de 125 gramos	73
Cuadro 21. Medidas tomadas a las bolsas de 250 gramos	73
Cuadro 22. Medidas tomadas a las bolsas de 500 gramos	74
Cuadro 23. Tiempos de trabajo	75

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Sistema basado en tolva de pesaje	19
Figura 2. Celda de carga de flexión de viga	20
Figura 3. Diagrama de bloques empacadora implementada	23
Figura 4. El tornillo sin fin	24
Figura 5. Grafica que relaciona el diámetro del tornillo respecto a las RPM	29
Figura 6. Factor de sobrecarga de potencia	34
Figura 7. Tolva y sistema de arrastre de materia prima	35
Figura 8. Dispensador de las bolsas	36
Figura 9. Brazo de posicionamiento (posición de llenado de bolsa)	38
Figura 10. Brazo de posicionamiento (posición de recolección de bolsa)	39
Figura 11. Brazo de posicionamiento	40
Figura 12. Diagrama de cuerpo libre DCL posición de llenado de la bolsa	41
Figura 13. Diagrama de cuerpo libre después de rotar 90 grados - posición recolección de la bolsa	42
Figura 14. Brazo de dosificación	44
Figura 15. Sistema de sellado	45
Figura 16. Embudo de acoplamiento	46
Figura 17. Interfaz de usuario	47
Figura 18. Diagrama de bloques de la empacadora	48
Figura 19. Microcontrolador PIC 16F877A	49

	pág.
Figura 20. Tarjeta de proceso principal	49
Figura 21. Tarjeta acondicionadora celda de carga	51
Figura 22. Diagrama de conexión del INA125	53
Figura 23. Conexión del restador	54
Figura 24. Diagrama de un seguidor de voltaje	56
Figura 25. Circuito equivalente para el acondicionamiento de la señal	57
Figura 26. Tarjeta de potencia motores de 110V AC	58
Figura 27. Tarjeta de potencia de 12V	60
Figura 28. Diagrama de flujo software diseñado	61
Figura 29. Máquina implementada	65
Figura 30. Dispensador	66
Figura 31. Brazo que censa el peso	67
Figura 32. Botón de arranque y parada de emergencia	67
Figura 33. LCD interfaz de usuario	67
Figura 34. Entrada modo de programación	68
Figura 35. Modo de programación	68
Figura 36. Salida Del Modo De Programación	68
Figura 37. Puesta en marcha de la máquina	69
Figura 38. Visualización máquina trabajando	69

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. Hoja de características de la celda de carga	82
ANEXO B. Hoja de características de los actuadores LA31 TECHLINE	84
ANEXO C. PCB de la tarjeta principal de proceso	86
ANEXO D. PCB de la tarjeta de acondicionamiento de la celda de carga	87
ANEXO E. PCB de la tarjeta de potencia con salida 12V	88
ANEXO F. PCB de la tarjeta de potencia con salida 110V	89
ANEXO G. Circuito impreso de la tarjeta de acondicionamiento de la celda de carga	90
ANEXO H. Circuito impreso de la tarjeta de potencia de 110V AC	91
ANEXO I. Circuito impreso de la tarjeta de potencia con salida de 12VDC	92
ANEXO J. Presentación de la máquina finalizada	93

GLOSARIO

ADC: son las siglas de conversor análogo digital; este es un dispositivo electrónico capaz de convertir una entrada analógica de voltaje en un valor binario.

BORNERA: terminal para conexión eléctrica.

LCD (*Liquid Crystal Display*): pantalla de cristal líquido que facilita la visualización de las diferentes variables presentes en el sistema.

CELDA DE CARGA: dispositivo electrónico capaz de convertir una fuerza en señales eléctricas.

PUENTE DE WHEATSTONE: instrumento de medida de gran precisión que puede operar tanto en corriente continua como en alterna.

RESUMEN

Con este trabajo se presenta el diseño del modelo a escala de un sistema automático para empaquetado y pesado de café. El sistema se compone de un sistema mecánico y uno electrónico, los cuales realizan el proceso de empaque y pesaje de forma automática basándose en valores establecidos por el operario del sistema; la parte electrónica del sistema le permite al operario configurar el peso de café que será empaquetado por la máquina.

En términos generales, los resultados de este trabajo confirman que es viable el diseño de la máquina, conjugando la parte electrónica con la mecánica. En cuanto a su componente electrónico, la maqueta a escala de iguales características y comportamientos de un sistema automático, dispone de su respectivo hardware, consistente en circuitos de control basados en un microcontrolador 16F877A, el cual es el cerebro del sistema de programación.

El microcontrolador recibirá señales enviadas por periféricos de entrada como finales de carrera y actuadores electromecánicos; la información recibida le permitirá al microcontrolador ejecutar su software de forma precisa y así enviar las señales correctas para que la parte mecánica pueda llevar a cabo el proceso de empaquetado de forma automática y eficiente.

La parte mecánica, por su lado, está compuesta por actuadores electromecánicos, sistemas neumáticos, motores eléctricos, sistema de avance, y está en la capacidad de recibir la cantidad exacta de café, alistar la bolsa para empaquetarlo y una vez cargada la bolsa con café, sellarla por medio de calor y entregar el producto. El sistema podrá ser configurado para entregar café en presentaciones de ciento veinticinco (125), doscientos cincuenta (250) y quinientos (500) gramos respectivamente, valores de peso muy comunes en el mercado del café.

Palabras clave: máquina empaquetadora, sistema automático, electrónico.

ABSTRACT

This paper presents the design of the scale model of an automatic system for packaging and weighing coffee. The device consists of a mechanical and electronic system, which made the process of packing and weighing automatically based on values set by the system operator, the electronic part of the system allows the operator to set the weight of coffee that will packed by machine.

In general terms, the results of this study confirm the feasibility of the machine design, combining the electronic part and the mechanic. In terms of electronic component, a scale model of equal characteristics and behaviors of an automatic system, has its respective hardware consisting of control circuits based on a 16F877A microcontroller, which is the brain of the control system.

The microcontroller will receive signals from input devices such as limit switches and electromechanical actuators. The received information will allow the microcontroller to run its software accurately and then send the right signals for that the mechanical part can carry out the packaging process automatically and efficiently.

Meanwhile the mechanical part is composed of electromechanical actuators, pneumatic systems, electric motors, feed system, and it can receive the exact amount of coffee, get the bag ready to package the coffee; and once the bag is filled with coffee, it will be heat-sealed and deliver the product. The system can be set up to deliver the coffee in bags of 125 g, 250 g and 500 g respectively, weight values that are common in the coffee market.

Keywords: packaging machine, automatic system, electronic.

INTRODUCCIÓN

El hombre ha desarrollado sistemas automáticos de control desde la antigüedad, y su principal objetivo ha sido el de liberar al hombre de procesos repetitivos y de fuerza, siendo esta reemplazada por actuadores mecánicos y con fuentes de energía tan antiguas como la hidráulica y el vapor de agua. En los templos budistas fueron desarrollados complejos sistemas de control para abrir las puertas del templo automáticamente y que servían para impresionar a quienes asistían al templo y a extraños.

Con el advenimiento de la revolución industrial la automatización dio avances importantes, el conocimiento que el hombre obtuvo de los metales y su respectiva aplicación le permitió desarrollar máquinas más resistentes y precisas. Máquinas como el telar son un ejemplo de ese avance al igual que algunos sistemas mecánicos como el reloj basado principalmente en piñones que giraban gracias a la energía contenida en un resorte.

La época dorada de la automatización nace con el desarrollo de la electrónica, este nuevo invento le dio la capacidad al hombre de controlar incluso muchos procesos y variables al mismo tiempo las cuales mecánicamente serían imposibles de controlar; la electrónica permitió realizar procesos más rápidos y sumamente precisos lo que se ve reflejado en el producto final. El desarrollo de elementos electrónicos como el transistor, permitió avances importantes en las comunicaciones y en el diseño de equipos de cómputo que se volvieron indispensables en cualquier máquina que realice un proceso industrial.

Todos estos avances permitieron que la industria de alimentos mejorara de la mano con la electrónica, facilitando así la producción y el cumplimiento de los estándares de calidad exigidas por las grandes cadenas de consumidores, desarrollando máquinas capaces de dosificar y empacar los diferentes productos ya fuesen granulados, en polvo o líquidos, y surgiendo con ello nuevas técnicas de diseño como son el caso del sistema basado en tolva de pesaje, la pesadora ensacadora y la pesadora multicabezal, sistemas de los cuales se despliegan la mayoría de las máquinas que efectúan actualmente estos procesos industriales. Sin antes olvidar que la exactitud en el pesaje y una buena dosificación es lo más importante en el empaquetamiento de productos alimenticios.

En estos términos, a continuación se muestran todas las consideraciones tenidas en cuenta para el diseño del modelo a escala de un sistema automático para empacado y pesado de café, precisando que se realizaron las pruebas de simulación que confirman el funcionamiento de la misma. El presente documento expone las principales consideraciones que se tienen en cuenta para su diseño. Su estudio, conocimiento y aplicación, puede llevar a cualquier interesado en el tema, a escudriñarlo, mientras que se aporta al medio académico de la ingeniería

electrónica. En la primera parte del trabajo, se abordan los sistemas de pesaje, de tal manera que sea significativo y ordenado el contenido que se detalla a continuación; aunque la literatura que gira alrededor de un diseño e implementación de la parte mecánica es amplia, sólo se expone en el capítulo segundo con lo que se responde a la necesidad planteada por la empresa Occidental de Chocolates, y que en últimas, inspiró el proyecto. En el tercer capítulo, la atención se centra en lo relacionado al diseño del hardware de proceso para la empacadora de café, mientras que en el cuarto se describe el diseño del software de programación; se finaliza con el manual del usuario.

1. SISTEMAS DE PESAJE

De forma general un sistema de pesaje, es un proceso de control el cual está constituido por diferentes elementos que engranados adecuadamente presentan un conjunto de características, las cuales son determinantes en el desarrollo de una aplicación industrial.

El elemento principal en un sistema de pesaje electrónico, es la celda de carga, encargada de medir las masas de los diferentes materiales encontrados en los procesos industriales. También se observan microcontroladores, dispositivos de visualización como los son la LCD, motores, sensores electrónicos, en fin un conjunto de elementos que van determinados por el proceso que se desee controlar.

Actualmente en el mercado se pueden encontrar diferentes tipos de sistemas de pesaje. Los más utilizados se mencionan a continuación:

- Sistema basado en tolva de pesaje
- Pesadora ensacadora
- Pesadora multicabezal

1.1 SISTEMA BASADO EN TOLVA DE PESAJE

Este método de pesaje también conocido como báscula para tolva, es el sistema más preciso utilizado para conocer la cantidad exacta de material industrial que contiene un recipiente en su interior; tan solo con un margen de error del 1% que incluso en algunas ocasiones puede ser menor.

Actualmente estos sistemas de pesaje, son complementados con diferentes dispositivos electrónicos tales como celdas de carga, microcontroladores, motores, y cualquier otro elemento que permita mejorar su funcionalidad y así lograr que el sistema sea más autónomo; logrando de esta manera, que el mismo sistema pueda efectuar el llenado, el vaciado, y la dosificación, logrando poder ejercer sobre el mismo un mejor control industrial.

El sistema brinda la facilidad de pesar cualquier producto, indicando de manera exacta la cantidad de material existente en el recipiente ya sea la tolva o un tanque, pero independientemente de la temperatura o presión del mismo. Esto permite que el sistema sea funcional tanto para líquidos como para materiales en polvo, viscosos, y sólidos granulados.

Figura 1. Sistema basado en tolva de pesaje



Fuente: "Básculas Prometálicos S.A", Manizales Colombia.

1.2 CELDAS DE CARGA

La celda de carga es un instrumento electrónico, capaz de transformar una fuerza o acción física en señales eléctricas, dichas señales pueden ser tratadas de forma adecuada con el fin de controlar un proceso determinado.

El aparato encargado de realizar esta transformación de fuerza en señales eléctricas se conoce como transductor, el cual para medir una fuerza determinada deforma una galga extensiométrica en el momento que se aplica dicha fuerza, la galga transforma el desplazamiento o deformación en señales eléctricas, a través de un conductor encargado de transmitir una señal proporcionalmente igual a la deformación de una de las galgas que contenga la celda de carga.

En general una celda de carga está compuesta por cuatro (4) galgas extensiométricas, conectadas en configuración tipo puente de *Wheatstone*, pero es posible encontrar celdas de carga con una o dos galgas en el mercado.

1.2.1 Galgas extensiométricas. Son básicamente resistencias eléctricas, cuyo parámetro importante que se debe tener en cuenta para efectuar la medida, es la variación de dicha resistencia eléctrica cuando el material se somete a un esfuerzo mecánico que lo hace deformar.

Lo anterior, si se parte del principio de que el sensor experimenta las mismas deformaciones que la superficie sobre el cual está pegado¹.

¹ Sensores de presión utilizados en las plataformas de fuerza aplicadas al estudio de la posturografía, Bruno Bellini, nucleo de ingeniería biomédica facultad de medicina e ingeniería, pág 2.

1.2.2 Celdas de carga de flexión de viga. Son utilizadas en múltiples aplicaciones entre los cuales se destacan los tanques de pesaje y el control de procesos industriales. Estas celdas tienen un amplio margen de medida máximo, el cual va desde los 45 Kg a 45500 Kg, variando así de unos 340 a unos 800 dólares en el mercado.

Figura 2. Celda de carga de flexión de viga



Fuente: http://img.directindustry.es/images_di/photo-m2/celda-de-carga-de-traccion-compresion-53.jpg

Dependiendo de la aplicación, en el mercado existen varios tipos de celdas de carga además de la flexión de viga, como lo son:

- Celdas de carga de compresión.
- Celdas de carga de tensión y compresión.
- Celdas de carga con viga en forma de s.
- Celdas de carga de un solo punto.

2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA PARTE MECÁNICA DE LA EMPACADORA DE CAFÉ

En el diseño de la máquina empacadora, como primera medida se tuvo en cuenta las necesidades o exigencias presentadas por la empresa Occidental de Chocolates, puesto que en el mercado ya se encuentra el café distribuidos por ellos de una forma artesanal y el cual desean mejorar, debido a esto cuentan con una infraestructura y estándares de calidad que se deben respetar para que la empresa no pierda su credibilidad en el mercado.

Entre los estándares presentados por la empresa Occidental de Chocolates, y en los cuales recayó gran énfasis, están:

- Empacar el producto en cantidades de 1 libra, ½ libra y ¼ de libra.
- Mantener el diseño del empaque; teniendo en cuenta que cada empaque viene independiente, además cada uno presenta dimensiones diferentes las cuales se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Dimensiones presentadas por las bolsas de empaque

Bolsa	Alto (cm)	Ancho(cm)	Profundidad (cm)
1 libra	27.6	9	5
½ libra	22.6	8	3.5
¼ de libra	17.8	6.8	3

Fuente: Autor

Observando el proceso de producción efectuado por la empresa, se realizó un análisis para determinar los tiempos que tardan los operarios en empacar las diferentes cantidades de producto exigido, llegando a la siguiente conclusión.

En una jornada diaria de 8 horas, 2 operarios logran empacar:

- 100 pacas de libra.
- 90 pacas de ½ libra.
- 80 pacas de ¼ de libra.

Aclarando que una paca equivale a 5Kg (5000g) de café.

Esta información se presenta de una forma más detallada en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Relación de producto empacado por 2 operarios en 8 horas de labor

Bolsa	Pacas	Bolsas por paca	Bolsas empacadas	producto empacado (g)	Tiempo de empaque de una bolsa (s)
1 libra	100	10	1000	500.000	28.8
½ Libra	90	20	1800	450.000	16
¼ Libra	80	40	3200	400.000	9

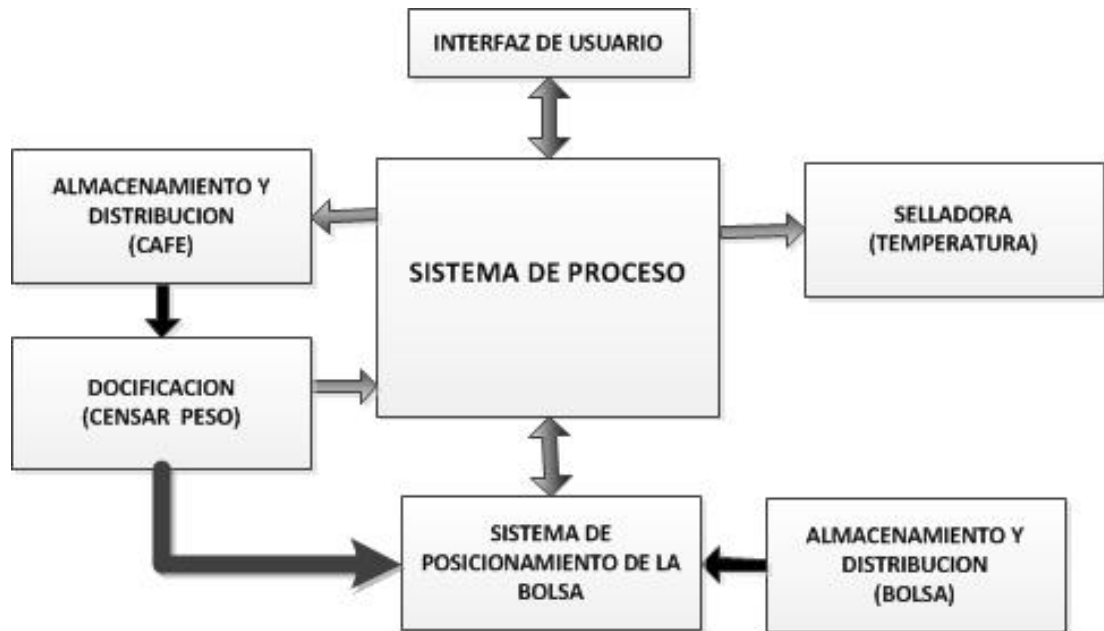
Fuente: Autor

Observando el proceso actual de forma detallada y comparándolo con otros sistemas existentes en el mercado, se determinó para el diseño las siguientes pautas (Figura 3):

- a) Tener un punto fijo de almacenamiento y distribución del producto, (café molido).
- b) Tener un punto fijo de almacenamiento y distribución del material de embalaje (bolsas).
- c) Dispositivo de desplazamiento y posicionamiento de los elementos (personas).
- d) Dosificación del producto (censar peso).
- e) Sellado del producto (sellado por temperatura).
- f) El embudo.
- g) Interfaz de usuario.
- h) Sistema de proceso

La estructura mecánica de la empacadora fue pensada y diseñada de tal forma que tuviera la capacidad de soportar el peso de elementos fundamentales en el proceso, como lo son los actuadores electromecánicos, motores eléctricos, poleas y la respectiva tolva de llenado. El prototipo se implementó en madera para hacerla flexible a los cambios que se pudieran presentar a medida que se realizaba.

Figura 3. Diagrama de bloques empacadora implementada



Fuente: Autor

2.1 PUNTO FIJO DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DEL PRODUCTO, (CAFÉ MOLIDO).

Desarrollando las condiciones anteriores, como primera medida se elaboró una tolva, la cual funciona como dispositivo de almacenamiento y distribución del producto (café molido), adherida a su parte inferior se encuentra un transportador de tornillo sin fin, acoplado a un motor eléctrico DC por medio de dos poleas y una correa.

El diseño de la forma física de la tolva se escogió de tal manera que fuese de fácil acople con el tornillo sin fin, facilitando el desplazamiento del producto dentro de estos.

2.1.1 Tolva y sistema de arrastre de material. Tal como se describe en los párrafos anteriores, el punto fijo de almacenamiento y distribución del producto, lo componen estas partes de la máquina. Su descripción, es la siguiente:

2.1.1.1 La tolva. Fabricada en acero inoxidable y ubicada en la parte superior de la máquina para aprovechar de esta manera el efecto de la gravedad en el desplazamiento del producto.

Tiene la capacidad de recibir hasta 10 kilos de café, con un tamaño de 24 cm de base, 24 cm de profundidad y 10 cm de altura, presentando en la parte superior

un doblez de la lámina y unos orificios que le permiten implementar un suplemento para aumentar su capacidad de almacenamiento.

2.1.1.2 El tornillo sin fin. Este dispositivo el cual se observa en la Figura 4, está fabricado en acero inoxidable y va ubicado en la parte inferior dentro de la tolva, saliendo de ella a través de un tubo también construido en el mismo material, es accionado por un motor eléctrico de 24 voltios DC, el cual lo hace girar indefinidamente a una velocidad constante, al girar el tornillo, trasporta entre sus dientes café molido desplazándolo hacia el final del tubo donde cae dentro del brazo de dosificación llenándolo gradualmente, una vez se llega a la capacidad de peso programado, se apaga el motor que hace girar el tornillo sin fin, parando el flujo de material.

Figura. 4. El tornillo sin fin



Fuente: Autor

2.1.1.3 Motor eléctrico. Este dispositivo es el encargado de dar movimiento al tornillo sin fin para que el producto circule desde la tolva, pasando a través de él y cayendo finalmente en el sistema que controla el peso programado (Brazo de dosificación).

La determinación de los parámetros ideales que debe cumplir el motor para realizar tan importante labor se presentan a continuación:

Como primera medida se determinan las dimensiones del elemento a mover por el motor, que en este caso en particular es el tornillo sin fin.

El diseño para el tornillo sin fin, fue basado con información presentada por la CEMA², empresa dedicada a la fabricación de equipos para manejo de materiales, los cuales en un catálogo denominado catálogo de Martin, plasman tablas y datos, dicha información es confiable debido a la gran credibilidad que presenta esta

² CEMA, asociación americana de constructores de equipos para manejo de materiales.

empresa, por su gran experiencia en el diseño y aplicación exitosa, así como de los estándares de la industria.

Teniendo como base la información detallada en el cuadro número 2, con relación al proceso de producción efectuado por la empresa, se puede determinar que la máxima cantidad de café necesaria por hora para empacar se presenta en el caso de la bolsa de una libra, siendo de 62,5 Kg/H, como la densidad del café seco es de 330Kg/m³, se obtiene una capacidad de 6,688pies³/H datos que se plasman en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Relación de producto para la determinación de la capacidad del tornillo

Bolsa	producto empacado por turno (g)	Producto empacado por hora (Kg)	Flujo necesario (pies³/h)
1 libra	500.000	62,5	6,688
½ Libra	450.000	56,25	6,020
¼ Libra	400.000	50	5,351

Fuente: Autor

Las condiciones iniciales para el diseño del tornillo dosificador son:

- Obtener una capacidad de salida mínima 6,688 pies³/H
- El material deber ser trasportado desde la tolva hasta la zona de empaque una distancia de 59 cm.
- El material a trasportar a través del tornillo es café.

Luego se realiza un análisis del material a trasportar o en este caso específico a dosificar, la CEMA presenta en su catálogo un cuadro donde enmarca los diferentes materiales que son adecuados para ser manejados con tornillo sin fin, dicho cuadro es actualizado cada año por la empresa; esta información se presenta en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Características de los materiales según CEMA

Material	Peso (Lbs/pie ³)	Código CEMA	Rodamiento intermedio	Factor del material	% de carga
Borato de calcio	60	A100-35	L-S-B	0,6	30A
Borato de sodio (ver Borax)	-----	-----	-----	-----	-----
Bórax, en trozos de ½" a 2"	55-60	D3-35	H	1,8	30A
Bórax, en trozos de 2" a 3"	60-70	D3-35	H	2,0	30A
Bórax, polvo fino	45-55	B6-25T	H	0,7	30B
Bórax, en malla ½"	55-60	C1/2 -35	H	1,5	30A
Boro	75	A100-37	H	1,0	30B
Cacahuete sin cáscara	30	B6-35P	S	0,6	30A
Cacahuete sin cáscara	35-45	C1/2-35Q	S	0,4	30A
Cacahuete, sin limpiar	15-20	D3-36Q	H	0,7	30B
Cacahuete, limpio, con cáscara	15-20	D3-35Q	L-S	0,6	30A
Cacao, en escamas	35	C1/2-25	H	0,5	45
Cacao, en pepas	30-45	C1/2-25Q	L-S	0,5	45
Cacao, en polvo	30-35	A100-45XY	S	0,9	30A
Café, en cascarillas	20	B6-25MY	L-S	1,0	45
Café, en polvo, soluble	19	A40-35PUY	S	0,4	45
Café, grano verde	25-32	C1/2-25PQ	L-S	0,5	45
Café, molido, húmedo	35-45	A40-45X	L-S	0,6	30A
Café, molido, seco	25	A40-35P	L-S	0,6	30A
Café, tostado en grano	20-30	C1/2-25PQ	S	0,4	45
Cal hidratada	40	B6-35LM	H	0,8	30A
Cal hidratada, pulverizada	32-40	A40-35LM	L-S	0,6	30A
Cal viva, molida	60-65	B6-35U	L-S-B	0,6	30A
Cal, grava	53-56	C1/2-25HU	L-S	2,0	45
Calcina, polvo	75-85	A100-35	L-S-B	0,7	30A
Caolín, arcilla	63	D3-25	H	2,0	30A
Caolín, arcilla en talco	32-56	A40-35LMP	H	2,0	30A

Fuente: Catálogo de Martin, sección H, pagina H8

Es de este cuadro donde se puede determinar que:

- El material considerado es café molido y seco.
- Posee un peso específico de 25 libras/pie³
- El código que permite identificar ciertas características del café, el cual revela que es un material muy fino (A40), posee un fluido promedio (3), es de abrasidad media (5), además es contaminable – afecta uso (P). El código completo es A40 35P.
- Permite determinar el tipo de rodamiento intermedio, para este caso en particular no se utilizaron rodamientos intermedios puesto que la distancia a transportar es muy corta.
- El factor de material (Fm) es de 0,6, dicho valor es utilizado para el cálculo de potencia del motor.
- La carga de artesa que en el caso del café es de 30A.

Ahora se calcula la capacidad real necesaria para el diseño del tornillo, utilizando la siguiente fórmula:

$$CS = (\text{Capacidad requerida})(Cf_1)(Cf_2)(Cf_3)$$

Donde

La capacidad requerida es de 6,688 pies³/H.

Los valores Cf₁, Cf₂, Cf₃, son determinados por los Cuadros 5, 6 y 7 respectivamente.

Cuadro 5. Factor de capacidad Cf₁

Factor de capacidad del transportador con paso especial		
Paso	Descripción	Cf₁
Estándar	Paso=diámetro del sin fin	1,00
Corto	Paso= 2/3 del diámetro del sin fin	1,50
Medio	Paso= 1/2 del diámetro del sin fin	2,00
Largo	Paso= 1-1/2 del diámetro del sin fin	0,67

Fuente: Catálogo de Martin, sección H, pagina H18

Cuadro 6. Factor de capacidad Cf₂

Factor de capacidad del transportador con paso helicoides especiales			
Tipo de helicoides	Carga del transportador		
	15%	30%	45%
Helicoides con corte	1,95	1,57	1,43
Helicoides con corte y doblez	NR*	3,75	2,54
Helicoides de cinta	1,04	1,37	1,62
Si ninguno de los helicoides indicados en la tabla es usado el valor es igual a 1			

Fuente: Catálogo de Martin, sección H, pagina H18

Cuadro 7. Factor de capacidad Cf₃

Factor de capacidad del transportador especial con paletas mezcladoras					
Paletas estándar de paso invertido a 45	Paletas por paso				
	ninguna	1	2	3	4
Factor Cf ₃	1,0	1,08	1,16	1,24	1,32

Fuente: Catálogo de Martin, sección H, pagina H18

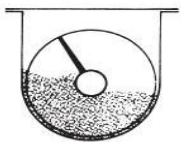
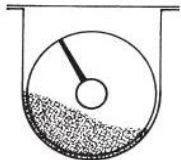
Remplazando los valores de las tablas en la fórmula se obtiene:

$$CS = (6,688)(1)(1)(1) = 6,688 \text{ pies}^3/\text{H}$$

A continuación se encuentra el cálculo del diámetro, tomando como base la información presentada en el Cuadro 8, donde se ubican las capacidades de tornillos sin fin.

Como se determinó en el Cuadro 4, el café molido permite una carga de artesa de 30%A, además la capacidad que se necesita es de 6,688 pies³/H. Ubicados en la sección del Cuadro 8 donde se observa una carga de artesa de 30%A, se compara la fila de los diferentes diámetros de los tornillos con respecto a la máxima capacidad entregada en pies³/H(max.rpm), y es aquí donde se encuentra un problema para este caso en particular, puesto que la capacidad real necesitada es mucho menor que el mínimo valor ubicado en el cuadro, el cual es para diámetros de 4" con una capacidad máxima de 53 pies³/H.

Cuadro 8. Capacidades de los transportadores de tornillos sin fin

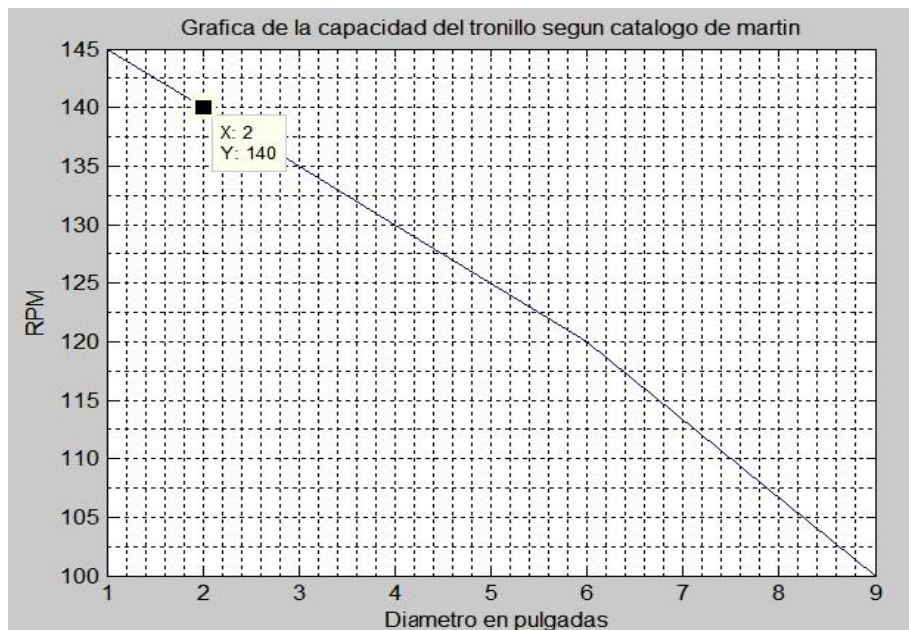
Carga en artesa		Diámetro del sin fin pulgadas	Capacidad en pies ³ /h (paso estándar)		Max. Rpm Recomendadas
			A 1 rpm	A max. rpm	
45%		4	0,21	15	72
		6	0,75	45	70
		9	2,72	150	75
		10	3,80	210	55
		12	6,40	325	50
		14	10,40	520	50
		16	15,60	700	45
		18	22,50	1010	45
		20	31,20	1250	40
		24	54,60	2180	40
30%A		4	0,41	53	130
		6	1,49	180	120
		9	5,45	545	100
		10	7,57	720	95
		12	12,90	1160	90
		14	20,80	1770	85
		16	31,20	2500	80
		18	45,00	3380	75
		20	62,80	4370	70
		24	109,00	7100	65

Fuente: Catálogo de Martin, sección H, pagina H19

Para solucionar este problema se optó por comparar los datos de los diferentes diámetros con respecto a las revoluciones por minuto, pues en los diámetros pequeños estos dos valores se comportan de forma lineal y permite extrapolar y calcular los valores que se necesitan para el diseño del tornillo.

A continuación se presentan los cálculos utilizados para el caso del diámetro de 2", que fue finalmente implementado en el prototipo de la máquina, donde al extrapolar se encontró un valor de 140 RPM como está determinado en la Figura 5.

Figura 5. Gráfica que relaciona el diámetro del tornillo respecto a las RPM



Fuente: Autor

Con la información obtenida se calcula el flujo de material de la siguiente manera:

$$Q = 3600(S)(V)(pies^3/H)$$

Dónde:

Q= Capacidad de transporte.

S= Área de relleno del canalón de transporte.

V= Velocidad de desplazamiento.

El área de relleno de la sección del canalón denominada (S), está determinada por la siguiente ecuación:

$$S = \lambda \frac{\pi D^2}{4}$$

Donde

λ = Coeficiente de relleno de la sección del canalón.

D = Diámetro del helicoide.

Para determinar los valores de λ se encuentra el Cuadro 9, presentado a continuación.

Cuadro 9. Relación de los valores de λ

Tipo de carga	λ
Pesada y abrasiva	0,125
Pesada poco abrasiva	0,25
Ligera poco abrasiva	0,32
Ligera no abrasiva	0,4

Fuente: [En línea] <http://es.scribd.com/doc/99128557/disenio-y-calculo-de-un-filtro-de-magas-y-su-transportador-helicoidal>

Para el café se toma el valor de ligera no abrasivo equivalente 0,4 como lo muestra el Cuadro 9, el diámetro del tornillo al ser estándar es igual al paso, en este caso es de 2" (0,1667pies).

Remplazando estos valores en la ecuación se tiene que:

$$S = 0,4 \frac{\pi (0,1667\text{pies})^2}{4}$$

$$S = 8,73 \cdot 10^{-3} \text{ pies}^2$$

Para calcular la velocidad de desplazamiento se tiene que:

$$V = \frac{Tn}{60}$$

Donde:

V= velocidad de desplazamiento en pies/s

T=paso del tornillo en pies.

n= RPM

$$V = \frac{(0,1667)(140)}{60} = 0,389 \text{ pies/s}$$

Finalmente reemplazando en la ecuación principal se calcula el flujo:

$$Q = 3600(8,73 * 10^{-3})(0,389)(\text{pies}^3/H)$$

$$Q = 12,2(\text{pies}^3/H)$$

Para el cálculo de la potencia en HP, a la cual deberá trabajar el dispositivo para un óptimo funcionamiento se presentan las siguientes fórmulas:

$$HPf = \frac{L * N * Fd * Fb}{1.000.000} = \text{Potencia para mover el material}$$

$$HPm = \frac{C * L * W * Ff * Fm * Fp}{1.000.000} = \text{Potencia al vacio}$$

$$HP = \frac{(HPf + HPm) * Fo}{e} = \text{Potencia Total}$$

Donde

L = Longitud total del transportador, pies. 0,59m= 1,94 pies

N = Velocidad de funcionamiento del tornillo=140RPM

F_d= Factor del diámetro del transportador, (Cuadro 10) = 6

F_b= Material de composición de bujes, (Cuadro 11) =4.4

Cuadro 10. Factor de diámetro del sin fin

Factor de diámetro fd	
Diámetro del sinfín (Pulg)	Factor (fd)
2	6
4	12
6	18
9	31
10	37
12	55
14	78
16	106
18	135
20	165

Fuente: Catálogo de Martin, sección H, pagina H24

Cuadro 11. Relación para la selección de los bujes

Selección de bujes		
Grupo de buje	Tipo de buje	Fb
B	Bolas de rodamientos	1,0
L	Bronce	1,7
S	Bronce Martín	2,0
	Bronce grafito	
	Bronce impregnado en aceite	
	Madera impregnada en aceite	
	Nylatron	
	Nylon	
	Teflón	
	UHMW	
H	Melanine (MCB)	3,4
	Hierro duro Martín	
	Hierro duro	
	Superficie endurecida	
	Estelita	4,4

Fuente: Catálogo de Martin, sección H, pagina H24

Teniendo todos los valores se calcula la potencia para mover el material:

$$HPf = \frac{1,94 * 140 * 6 * 4,4}{1.000.000} = 7,2 * 10^{-3}$$

$$HP_f = 7,2 * 10^{-3} HP = 5,4W$$

Continuando se presentan los valores para el cálculo de la potencia al vacío.

C= Capacidad en pies cúbicos por hora =12,2

W= Peso del material, libras por pie cubico= 25

F_f= Factor de potencia de tipo helicoides, (Cuadro 12) = 1

F_m= Factor material, (recordar cuadro 4) =0,6

F_p= Factor de potencia por paletas, (Cuadro 13) =1

Cuadro 12. Factor de potencia de tipo de helicoides

Tipo de helicoides	Carga del transportador			
	15%	30%	45%	95%
Estándar	1,0	1,0	1,0	1,0
Con corte	1,10	1,15	1,20	1,3
Con corte y doblez	N.R.*	1,50	1,70	2,20
De cinta	1,05	1,14	1,20	--
* No recomendado				

Fuente: Catálogo de Martín, sección H, página H25

Cuadro 13. Factor de potencia por paletas

Factor de potencia por paletas F _p					
Paletas estándar de paso invertido a 45°	Paletas por paso				
	0	1	2	3	4
Factor de paletas (F _p)	1,00	1,29	1,58	1,87	2,16

Fuente: Catálogo de Martín, sección H, página H25

$$HP_m = \frac{12,2 * 1,94 * 25 * 1 * 0,6 * 1}{1.000.000} = 3,6 * 10^{-4}$$

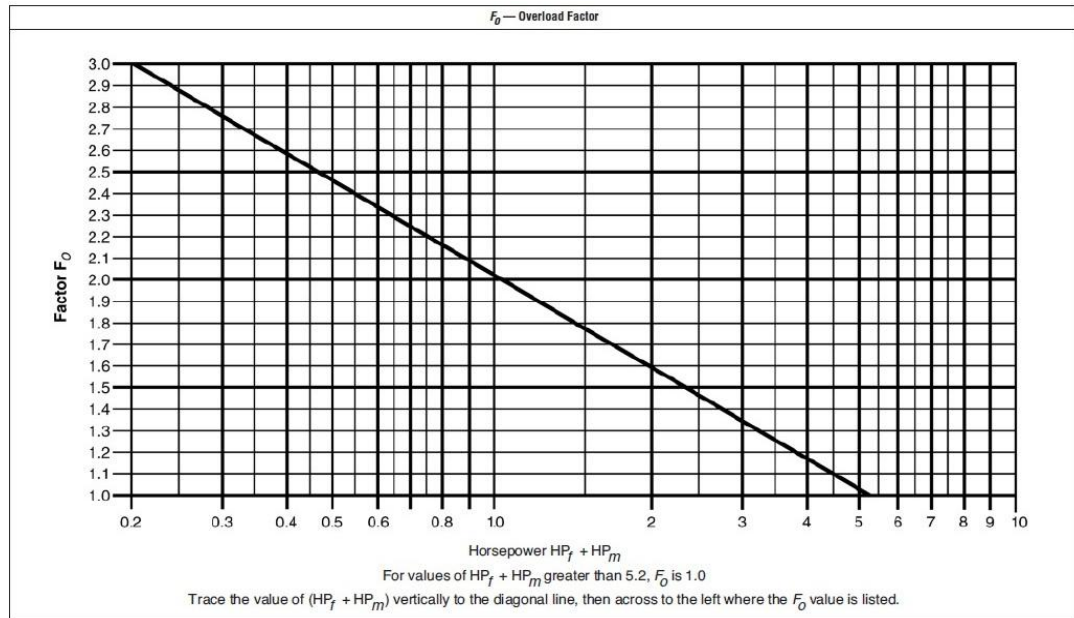
$$HP_m = 3,6 * 10^{-4} HP = 0,26W$$

Para el cálculo final de la potencia, los valores de las variables para reemplazar en la ecuación son:

F_o = Factor de sobre carga, es utilizado para prevenir sobrecargas en motores menores de 5Hp, es determinado en la Figura 6 y para este caso el valor es de 3,08

e = Factor de transmisión, el cual es deducido del Cuadro 14, presenta la relación utilizada en el acople del motor y el tornillo sin fin, dicho valor es de 0,87.

Figura 6. Factor de sobrecarga de potencia



Fuente: Catálogo de Martin, sección H, página H25

Cuadro 14. Factor de trasmisión

Factor de trasmisión e				
Trasmisión de sinfín o montada en eje con trasmisión de banda V.	Trasmisión de banda V a engrane helicoidal y acoplamiento.	Motor reductor con acoplamiento	Motor reductor con trasmisión de cadena.	Engranaje sin fin.
0,88	0,87	0,95	0,87	Consulte al fabricante.

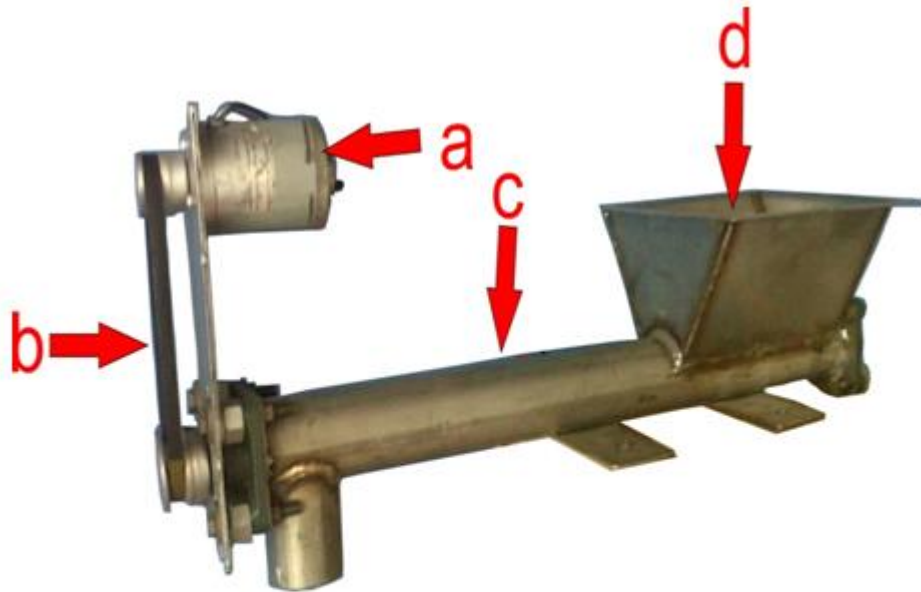
Fuente: Catálogo de Martin, sección H, página H25

$$HP = \frac{(7,2 * 10^{-3} + 3,6 * 10^{-4}) * 3,08}{0,87} = 26,8 * 10^{-3}$$

$$HP = 26,8 * 10^{-3} HP = 19,96W$$

Se implementó un motor de 100W en el sistema de tolva y tornillo sin fin (Figura 7), para garantizar el buen funcionamiento y no recargar el motor, evitando con eso sobre esfuerzos en el mismo brindando una mayor durabilidad. Además de esto fue el dispositivo disponible en el mercado local.

Figura 7. Tolva y sistema de arrastre de materia prima



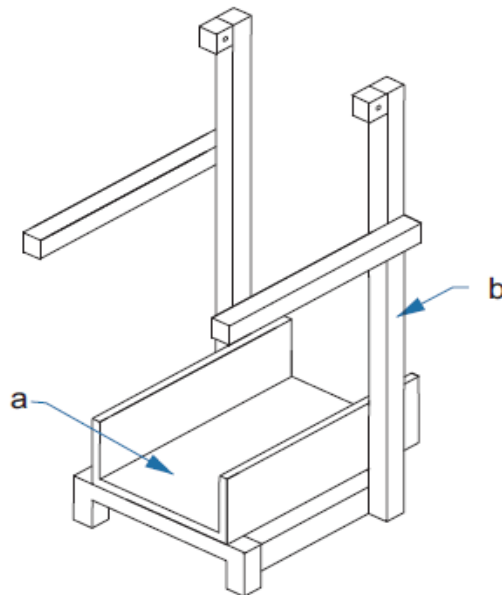
- | | |
|----|--------------------------------------|
| a. | Motor de 24 voltios DC 100W |
| b. | Correa de acoplamiento |
| c. | Tubo contenedor del tornillo sin fin |
| d. | Tolva de almacenamiento |

Fuente: Autor

2.2 PUNTO FIJO DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DEL MATERIAL DE EMBALAJE (BOLSAS)

El punto fijo de almacenamiento y distribución del material de embalaje es un recipiente ubicado en la parte inferior de la máquina (Figura 8) en el cual se almacenan las bolsas requeridas en el proceso según las características solicitadas (tamaño de la bolsa).

Figura 8. Dispensador de las bolsas



- a) Dispensador de las bolsas
- b) Estructura de soporte

Fuente: Autor

2.3 DISPOSITIVO DE DESPLAZAMIENTO Y POSICIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS

Para este punto, se describe el brazo de posicionamiento, sabiendo que este debe ser un dispositivo que permite tomar la bolsa del punto fijo de almacenamiento del material de embalaje y la desplace al punto fijo de distribución del material (café molido) posicionándola para su correspondiente llenado y sellado; pero también se hace referencia a la determinación de la fuerza en el mecanismo para la selección de los actuadores.

2.3.1 Brazo de posicionamiento. La parte funcional de la máquina conocida como brazo de posicionamiento, está conformada por dos actuadores electromecánicos de 12V DC, dos motores a 110V AC, un ducto de succión, una serie de pulsadores (finales de carrera), dos ejes metálicos y un eslabón; todos estos elementos implementados sobre una estructura de madera.

-Descripción de los elementos

Actuadores electromecánicos: dispositivos que permiten convertir las señales eléctricas en movimientos mecánicos requeridos en el sistema con una gran precisión.

Motores a 110 voltios AC (corriente alterna): motores centrífugos los cuales al activarse generan succión (vacío), esta fuerza de succión es la que permite adherir las bolsas al sistema para su desplazamiento y posicionamiento.

Ducto de succión (manguera): como su nombre lo dice, es una manguera plástica con la cual se aplica la succión (vacío) generada por los motores, a los puntos determinados para su correspondiente función.

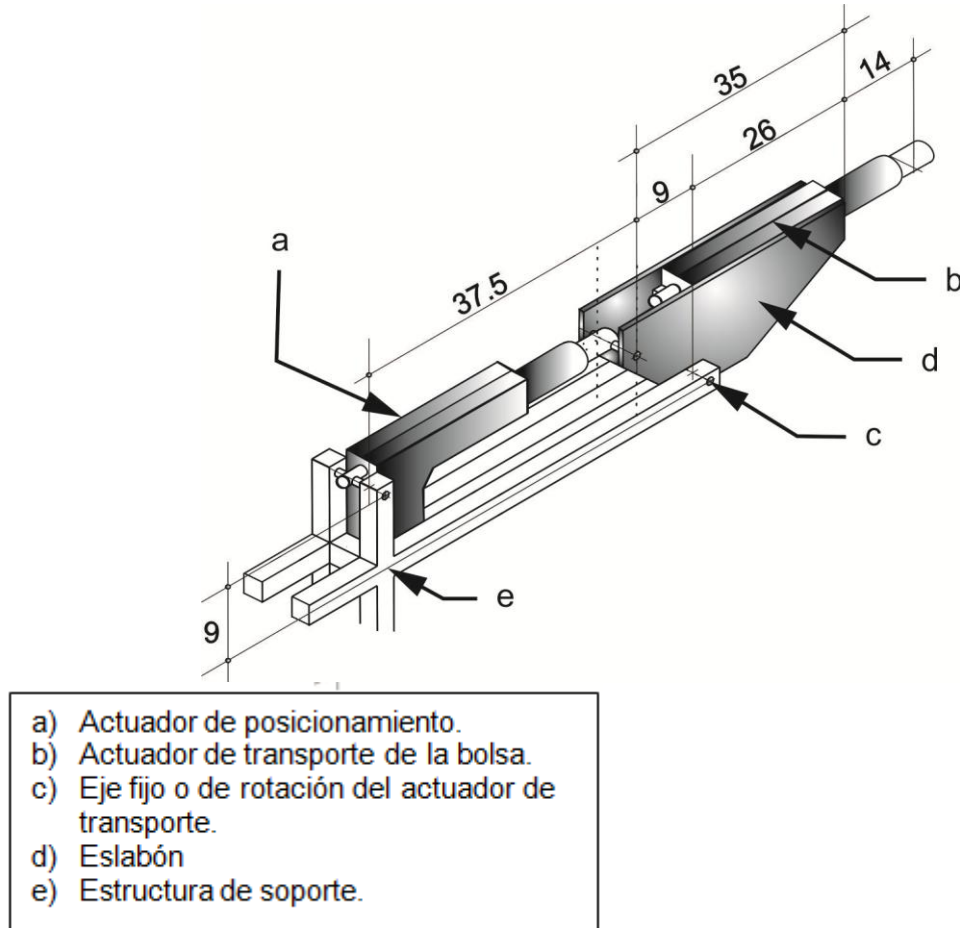
Pulsadores (finales de carrera): dispositivos que al accionarse, según su posición, indican el estado del vástago de los actuadores y de esta forma poder controlarlos. Ellos simplemente permiten el paso de la señal eléctrica al activarse si son normalmente abiertos (NA), e impiden el paso de dicha señal al activarse si son normalmente cerrados (NC).

Ejes metálicos: varillas de metal que permiten posicionar los actuadores a la estructura y que estos giren teniendo un eje fijo y otro móvil.

Eslabón: estructura hecha en madera, sobre la cual se soporta el actuador de transporte; esta estructura es la que rota 90 grados por la interacción con el actuador de posicionamiento.

El brazo de posicionamiento tiene como función principal colocar la bolsa del producto en el lugar preciso, recogéndola desde el dispensador con ayuda del actuador de transporte de la bolsa (Figura 9), el cual se mueve en un ángulo de 90 grados (Figura 10) transportando sobre la superficie un tubo que le permite succionar la bolsa al vacío, succión generada por uno de los motores conectado al otro extremo del tubo, permitiendo llevar la bolsa hasta el lugar de empaque donde es accionado el otro motor abriendo la bolsa para facilitar la caída de producto dentro de ella, y sirviendo además de soporte para que reciba la cantidad de café necesaria. El movimiento presente en el actuador de transporte de la bolsa, es proporcionado por el actuador de posicionamiento, el cual lo empuja, permitiendo que este realice el movimiento mencionado anteriormente.

Figura 9. Brazo de posicionamiento (posición de llenado de bolsa) (cm)



Fuente: Autor

Secuencia de funcionamiento del dispositivo

Se explica a continuación, la secuencia del sistema en el brazo de posicionamiento, sin tener en cuenta la tarjeta principal de proceso.

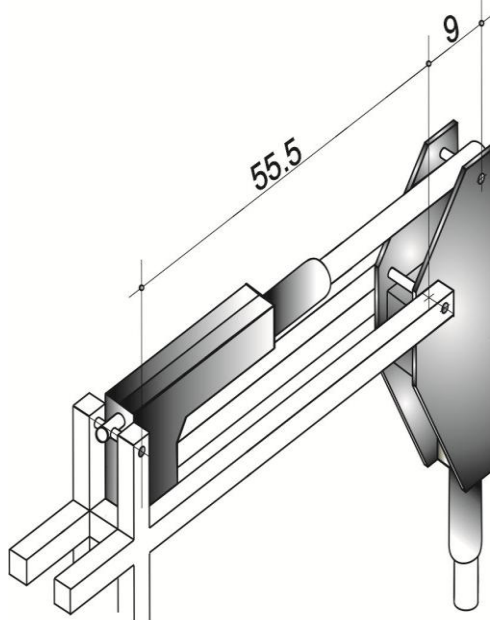
Al activar la máquina, lo primero que hace el sistema es verificar que el actuador de transporte se encuentre con el vástago recogido, si este no es el caso procederá a recogerlo; recoge el actuador de posicionamiento (retraer el vástago), el cual se encuentra adherido al eslabón, haciendo que este quede en posición horizontal (Figura 9).

Este procedimiento se realiza para verificar que en el momento que la máquina no esté ejecutando el proceso y si se desea apagarla, los vástagos de los actuadores queden protegidos.

Proceso de posicionamiento de la bolsa

El actuador de posicionamiento expulsará el vástago ejerciendo una fuerza en uno de los extremos del eslabón, provocando que este rote 90 grados sobre el eje fijo, ubicando el actuador de transporte en la posición de recolección de la bolsa; una vez ubicado el actuador de transporte, procederá a sacar el vástago hasta hacer contacto con la bolsa, automáticamente se activará uno de los motores de succión (M1) generando el vacío necesario para que la bolsa se adhiera a la zona de contacto; de inmediato el actuador de transporte recogerá el vástago levantando la bolsa para continuar con su desplazamiento, a continuación el actuador de posicionamiento retrae el vástago (Figura 9), provocando que el eslabón vuelva a su posición inicial, ubicando el actuador de transporte en la posición de llenado de la bolsa; una vez en posición, el actuador de transporte expulsará el vástago hasta hacer contacto con la boquilla (rejilla) del motor de succión (M2), para su correspondiente activación, provocando que el otro extremo de la bolsa se adhiera a ella; el vástago del actuador de transporte se retrae y de esta forma deja la bolsa lista para el proceso siguiente.

Figura 10. Brazo de posicionamiento (posición de recolección de bolsa) (cm)

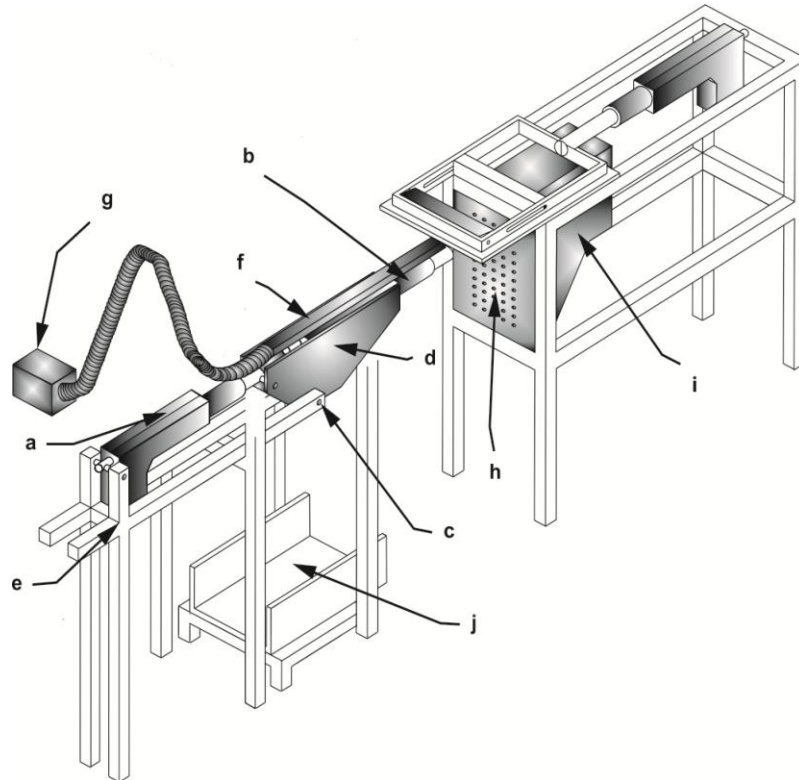


Fuente: Autores

Para un correcto funcionamiento del dispositivo (Figura 11), se realizaron cálculos, sin los cuales había sido imposible determinar la capacidad de los actuadores teniendo en cuenta que para la presente maqueta se implementaría actuadores electromecánicos los cuales presentan una velocidad constante.

Los límites de los movimientos de los actuadores están determinados por la posición de los finales de carrera.

Figura 11. Brazo de posicionamiento



- a. Actuador de posicionamiento
- b. Actuador de transporte de la bolsa
- c. Eje de rotación
- d. Eslabón
- e. Soporte
- f. Manguera de succión
- g. Motor de succión M1
- h. Boquilla de succión
- i. Motor de succión M2

Fuente: Autores

2.3.2 Determinación de la fuerza en el mecanismo de los actuadores. Para el cálculo de las fuerza presentes en el mecanismo tenemos en cuenta el concepto de:

Condición de equilibrio de una partícula: si la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre una partícula es cero, la partícula se encuentra en equilibrio³.

³ Cfr. Mecánica vectorial para ingenieros. Estática de Beer. Mc Graw Hill. 8 edición, capítulo 2; 2.9

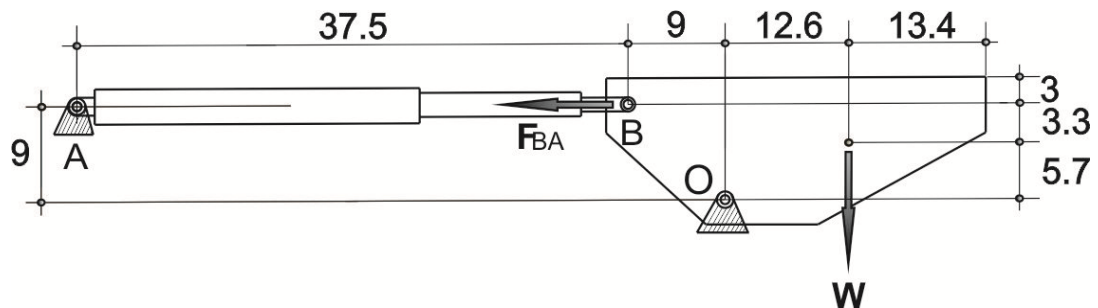
Diagrama de cuerpo libre: es un bosquejo donde la partícula se aísla de su entorno, indicando luego todas las fuerzas que actúan sobre ella. Una vez realizado este diagrama de cuerpo libre será fácil aplicar la ecuación de equilibrio⁴.

Momento de una fuerza: cuando un cuerpo se encuentra sometido a una fuerza, ésta produce una tendencia a que el cuerpo gire alrededor de un punto que está fuera de la línea de acción de la fuerza. A esta tendencia de giro se le conoce como Momento de una Fuerza, o simplemente momento⁵.

Se hace necesario destacar que en la estructura, los actuadores estarán en dos posiciones posibles: Una de llenado de la bolsa y la otra de recolección de la misma; como se observaba en las Figuras 9 y 10.

Para pasar de una posición a la otra, el actuador de transporte tendrá que rotar 90 grados sobre el eje fijo del eslabón, debido a la acción del actuador de posicionamiento sobre dicho eslabón; posiciones representadas en los diagramas de cuerpo libre de las Figuras 12 y 13.

Figura 12. Diagrama de cuerpo libre DCL posición de llenado de la bolsa (cm)



Fuente: Autor

Donde F_{BA} es la fuerza ejercida por el actuador

W es la suma de las masas del eslabón, el Actuador de transporte de la bolsa y el eje, en el centro de gravedad de la estructura.

Se tiene que:

$$\sum m = 365g + 2380g + 95g = 2840g = 2,84 \text{ kg}$$

$$F_w = (2,84\text{kg}) (9,81\text{m/s}^2) = 27,8604 \text{ N}$$

⁴ Ibíd. capítulo 2; 2.11

⁵ Ibíd. capítulo 3; 3.6

Ecuación de equilibrio del sistema:

M = momentos de torque

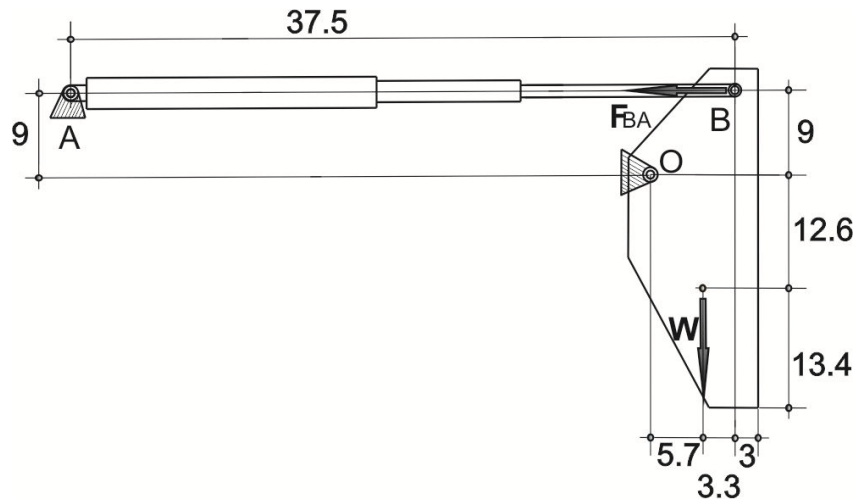
$$\sum M_o = 0$$

$$F_{BA} * 0.09m = F_w * 0.126m$$

$$F_{BA} = (27,8604 \text{ N} * 0.126m) / 0.09m$$

$$F_{BA} = 39.0096 \text{ N}$$

Figura 13. Diagrama de cuerpo libre después de rotar 90 grados - posición recolección de la bolsa



Fuente: Autor

Se tiene que:

$$\sum m = 365g + 2380g + 95g = 2840g = 2,84 \text{ kg}$$

$$F_w = (2,84\text{kg}) (9,81\text{m/s}^2) = 27,8604 \text{ N}$$

Ecuación de equilibrio:

$$\sum M_o = 0$$

$$F_{BA} * 0.09m = F_w * 0.057m$$

$$F_{BA} = (27,8604 \text{ N} * 0.057m) / 0.09m$$

$$F_{BA} = 17.64492 \text{ N}$$

Medidas de las fuerzas en las dos posiciones tomadas en el laboratorio de física utilizando un dinamómetro de 10kb (kilopondio)⁶

$$1 \text{ kp} = 9.80665 \text{ N}$$

Fuerza obtenida en la posición horizontal sin rotar:

$$F_{BA} = 3.8 \text{ Kp} = 37.278 \text{ N}$$

Fuerza obtenida en posición vertical después de rotar 90 grados:

$$F_{BA} = 1.8 \text{ Kp} = 17.658 \text{ N}$$

Todos estos cálculos y prácticas de laboratorio se realizaron para determinar la fuerza mínima requerida para realizar los movimientos en el sistema y así seleccionar el actuador adecuado, decidiéndose por un actuador con una capacidad mayor a 39 N.

Para este diseño en particular se implementó el actuador electromecánico *LA31 TECHLINE*, el cual cumple con los requerimientos necesarios obtenidos en los cálculos desarrollados anteriormente. Aclarando que dicho dispositivo sobrepasa los niveles de fuerzas utilizados en el sistema, evitando con esto sobrecargas y permitiendo que tenga una funcionalidad más duradera.

2.4 DOSIFICACIÓN DEL PRODUCTO (CENSAR EL PESO)

En esta etapa del diseño, lo que se pretende es implementar un dispositivo que permita censar el peso del producto suministrado por el punto fijo de almacenamiento y distribución del producto (tolva y sistema de arrastre de material), y de esta forma, suministrar este dato a la tarjeta de control (Anexo C).

Para este fin se implemento una parte funcional denominada brazo de dosificación (Figura 14), consta de una celda de carga (Anexo A) un recipiente de forma triangular el cual tiene un punto fijo y otro movable por el funcionamiento de un motor de bajas revoluciones alimentado a 110 voltios AC.

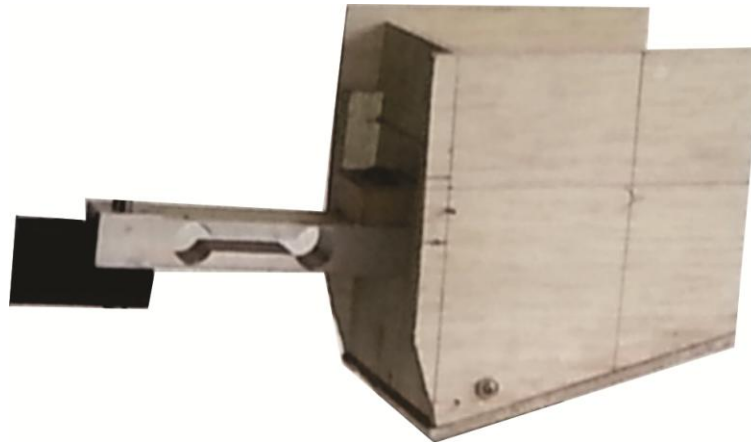
Este dispositivo es el encargado de recibir la materia prima (café), entregada por el tornillo sin fin, acumularlo en el recipiente triangular que está ubicado en un extremo del brazo. En el otro extremo se encuentra la celda de carga registrando el peso del producto contenido en dicho recipiente, cuando la cantidad de café alcanza la medida solicitada por el usuario se acciona el motor realizando un giro

⁶ Según pruebas realizadas por los autores, en el laboratorio de física de la UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA, febrero de 2013.

que permite mover la pared frontal del recipiente abriendo un espacio suficiente para que el café siga el camino indicado hacia la zona de empaque.

La celda de carga es la encargada de proporcionar las señales que permiten tanto detener el tornillo sin fin para que no suministre más producto al recipiente en el brazo de dosificación, como la de accionar el motor que permite el continuo paso de producto hacia las demás dependencias de la máquina.

Figura 14. Brazo de dosificación



Fuente: Autor

2.5 SELLADO DEL PRODUCTO (SELLADO POR TEMPERATURA)

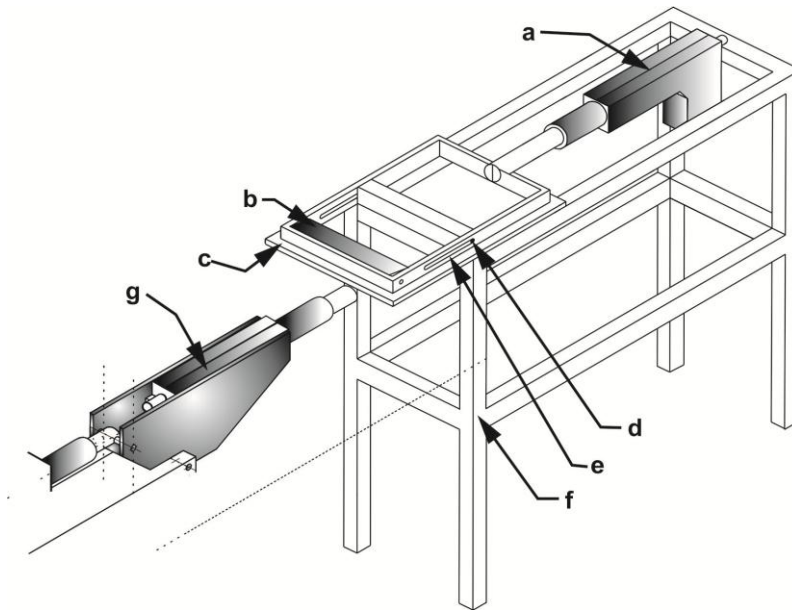
Denominado sistema de sellado del producto, formado por una resistencia eléctrica, una cuchilla, un termostato análogo y un actuador electromecánico, es el encargado de sellar las bolsas de café ya dosificada con las cantidades establecidas por el usuario y determinadas paso a paso por los diferentes sistemas encontrados anteriormente, siendo este el proceso final para la entrega de un producto listo (Figura 15).

Su funcionamiento consta del calentamiento de la resistencia eléctrica, la cual al estar ubicada dentro de la cuchilla o mordaza de bronce la calienta, al entrar en contacto con la bolsa y la parte metálica de la estructura u otra cuchilla opuesta cerrará la bolsa sellándola por fusión del material.

El termostato análogo controla la temperatura de la cuchilla para evitar sobrecalentamientos que puedan destruir la bolsa.

El actuador de sellado es el encargado de posicionar la cuchilla y así finalizar el proceso de empaque del material.

Figura 15. Sistema de sellado



- | | |
|----|--|
| a) | Actuador que genera los movimientos de la selladora. |
| b) | Cuchilla. |
| c) | Soporte de desplazamiento de la cuchilla. |
| d) | Eje fijo. |
| e) | Ranura guía para el desplazamiento del soporte. |
| f) | Estructura. |
| g) | Actuador de transporte de la bolsa. |

Fuente: Autor

Este sistema se diseñó con su respectivo soporte para ser fijado a la estructura mecánica, facilitando el acoplamiento con los diferentes sistemas ya presentes.

2.6 EMBUDO DE ACOPLAMIENTO

La idea de incluir un embudo de acoplamiento, surge posterior al diseño de la máquina, en el preciso momento en que se reconoce la necesidad de que el producto pasará de una posición a otra, dentro del proceso. Se decide incluirlo, y para ello se diseñó en acero inoxidable; en conclusión, este es el encargado de facilitar la interacción entre el brazo de dosificación, y el brazo de posicionamiento, recogiendo la cantidad de café entregada por el primero, direccionándolo para que caiga dentro de la bolsa (Figura 16).

Figura 16. Embudo de acoplamiento



Fuente: Autor

2.7 INTERFAZ DE USUARIO

Fijo a la estructura mecánica, se aprecia el interfaz de usuario. Este se encuentra formado por un botón de parada, un teclado matricial, un LCD de visualización y la perilla del termostato; permite que el operario pueda manipular la máquina desde la puesta en marcha de la misma a través del botón de parada que acciona los sistemas de funcionamiento, como también pueda ajustar los valores de peso que desee empacar ingresándolos con ayuda del teclado matricial y visualizándolos en el LCD.

A un costado se aprecia la perilla del termostato que permite controlar la temperatura de la cuchilla de sellado.

El botón de parada, al ser accionado, tiene la capacidad de detener el funcionamiento de la máquina en cualquier instante del proceso, evitando de esta manera daños severos en la misma, en caso de presentar bloqueo en el sistema, el cual provoque el represamiento del producto, ocasionando pérdidas de material que se traduce en pérdidas de dinero para la empresa.

La interfaz de usuario (sombreado verde de la Figura 17) se diseñó para que la máquina tenga la capacidad de empacar valores de peso intermedios a los comerciales; es posible con esta máquina empacar una cantidad mínima que puede ir desde los ochenta gramos hasta un kilogramo de café.

Figura 17. Interfaz de usuario

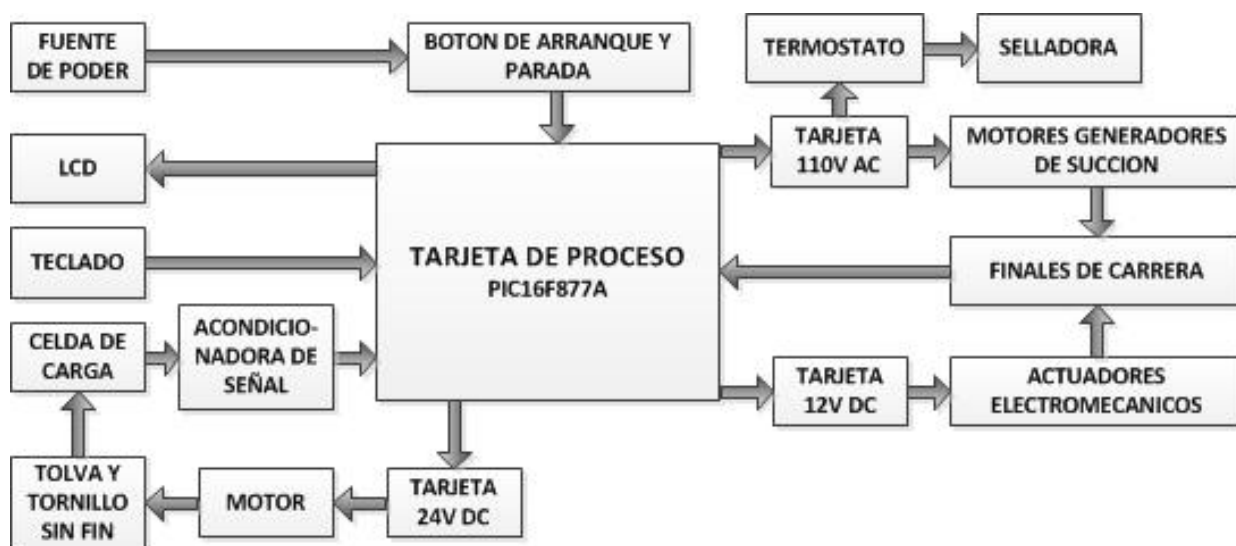


Fuente: Autor

3. DISEÑO DEL HARDWARE DE PROCESO PARA LA EMPACADORA DE CAFÉ

La empacadora que se diseñó cuenta con elementos de potencia como motores eléctricos, actuadores electromecánicos (Anexo B) que permiten darle robustez al sistema. Para el control de estos motores y actuadores, se implementó un sistema de tarjetas encargadas de manejar de forma adecuada estos dispositivos (Figura 18).

Figura 18. Diagrama de bloques de la empacadora

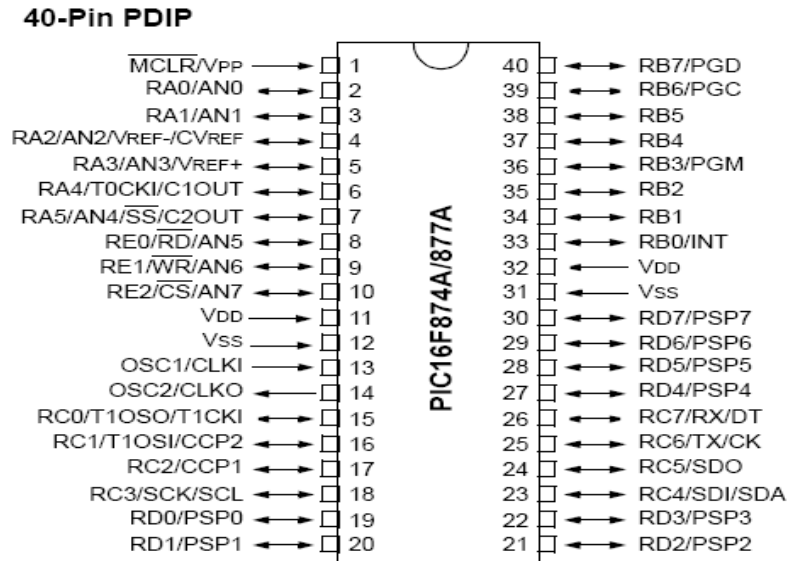


Fuente: Autor

3.1 TARJETA PRINCIPAL DE PROCESO

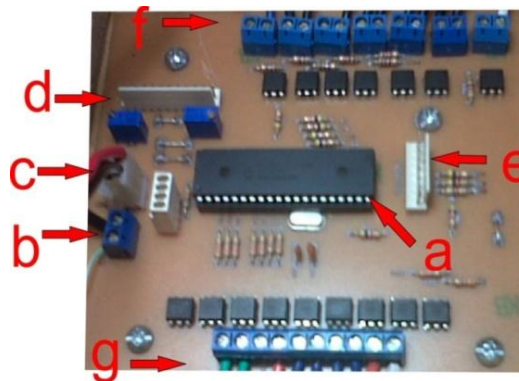
La tarjeta principal de proceso (Figura 20) cuenta con las respectivas entradas de señal provenientes de los actuadores y finales de carrera que se instalaron en la máquina para su control, está compuesto por un microcontrolador PIC 16F877A de la casa fabricante MICROCHIP (Figura 19). Se escogió este microcontrolador por su facilidad de configuración de trabajo, excelente resolución de su conversor análogo/digital, la gran cantidad de información que se encuentra acerca de la programación de este dispositivo como también se tuvo en cuenta su facilidad para encontrarlo en el mercado local y su precio.

Figura 19. Microcontrolador PIC 16F877A



Fuente: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b>

Figura 20. Tarjeta principal de proceso



Fuente: Autor

a). Microcontrolador PIC16F877A: es el cerebro de la tarjeta principal la cual recibe las señales de los periféricos como lo son la celda de carga (Anexo D), los interruptores o finales de carrera y el teclado, procesando estas señales y enviando otras para manipular los periféricos que interactúan en el proyecto (empacadora y selladora); los cuales son:

- LCD: indica el proceso en el cual se encuentra el dispositivo.
- Tarjeta de potencia 12V DC: la cual maneja los actuadores electromecánicos, que generan los movimientos para recoger la bolsa o material de empaque como también el sellado de la misma.

- Un motor DC que mueve el tornillo sin fin de la tolva el cual desplaza el material (café molido) hacia el brazo dosificador.
- Un motor AC de bajas revoluciones el cual abre la compuerta del recipiente triangular encontrado en el brazo de dosificación.

Los recorridos de cada actuador están determinados por los interruptores o finales de carrera; a cada actuador le corresponde dos de estos, indicando cuando el vástago o embolo está extendido o contraído.

- b) Entrada señal de la celda de carga acondicionada
- c) Entrada señal de alimentación 5 V DC.
- d) Conector para el LCD
- e) Conector para teclado matricial
- f) Entrada: señales de posicionamiento de los tres actuadores que forman parte del sistema.
- g) Salidas de control para accionar los distintos periféricos que interactúan en el proceso.

3.2 TARJETA ACONDICIONADORA CELDA DE CARGA

Esta tarjeta cumple con la función de acondicionar la señal proveniente de la celda de carga, la señal de esta celda es recibida por la tarjeta y amplificada por el amplificador de instrumentación INA125 a valores de voltaje suficientemente altos para poder ser procesados y enviados al microcontrolador (Figura 21).

La función principal de esta tarjeta es el acondicionamiento de la señal de la celda de carga, dicho acondicionamiento se presenta a continuación:

Partiendo de las especificaciones de la celda de carga presentes en la información suministrada por el dispositivo, como también la conexión de alimentación, se tiene que:

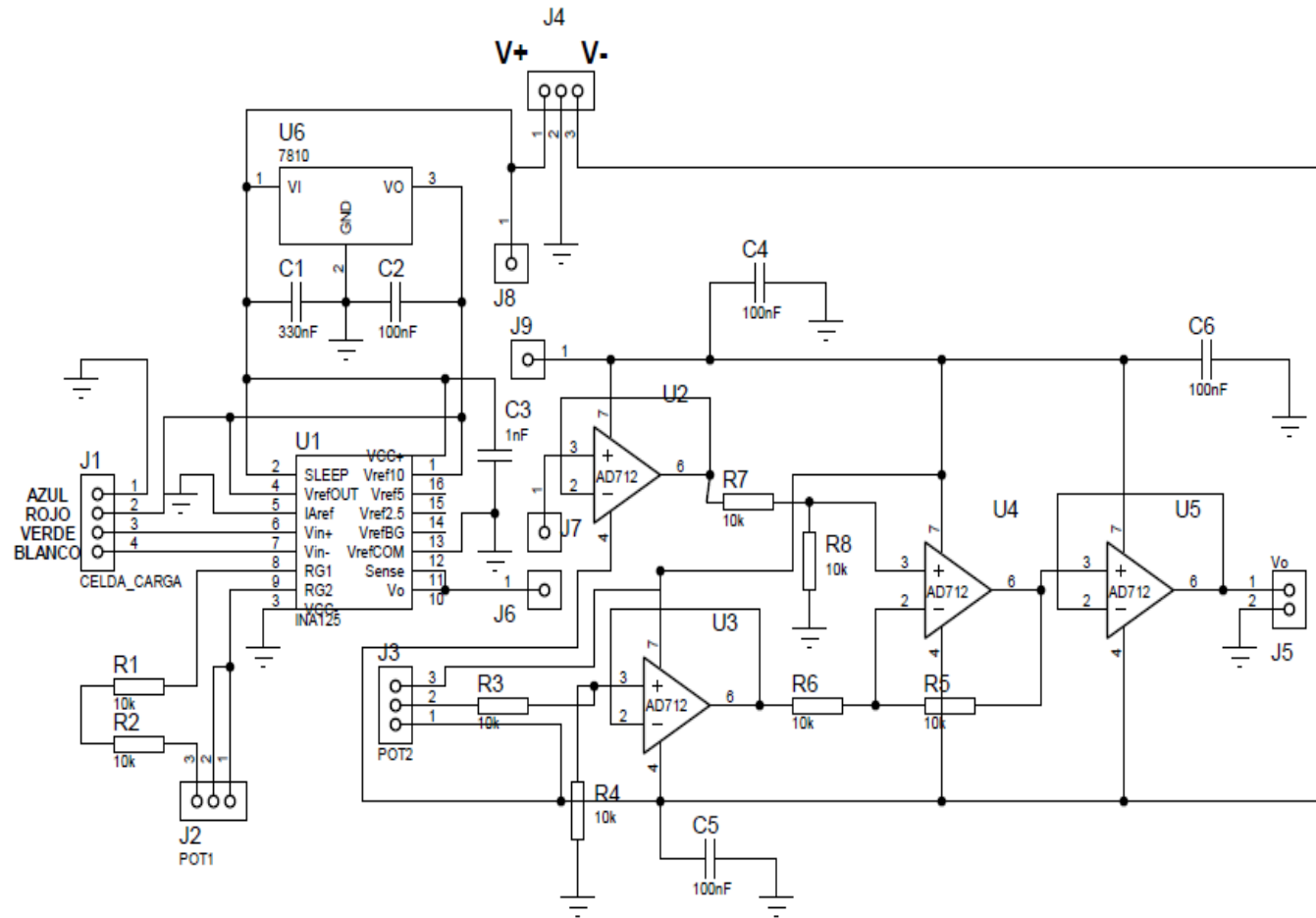
- La celda de carga tiene una sensibilidad de 2 mV/V.
- Una capacidad máxima de 3 Kg (3000g) de peso.
- Es alimentada por 10V DC

Entonces, la celda de carga a plena escala entregará una señal de salida de 20mV.

Si se divide la salida de voltaje a plena escala sobre la capacidad máxima de peso de la celda de carga se encuentra el paso por gramo.

$$\frac{20 * 10^{-3} \text{ voltios}}{3 * 10^3 \text{ gramos}} = 6,66666667 * 10^{-6} \text{ voltios/gramo}$$

Figura 21. Tarjeta acondicionadora celda de carga



Fuente: Autor

Teniendo un paso por gramo de 6,666666667 μV .

A hora, se calcula la resolución PIC16f877A para 10 bit teniendo que:

$$\frac{5 \text{ voltios}}{1024 \text{ bit}} = 0,0048828125 \text{ voltios/bit}$$

Por lo tanto la resolución del convertidor análogo digital del PIC16F877A es de 4.88 mV/bit.

La señal entregada por la celda de carga al ser muy pequeña en el orden de mV debe ser amplificada, la ganancia por la cual se debe multiplicar dicha señal para que sea equivalente a la resolución del microcontrolador, es calculada a continuación:

$$\frac{4.88 * 10^{-3} \text{V}}{6.667 * 10^{-6} \text{V}} = 731.9 \cong 732$$

Para el cálculo anterior se determinó no utilizar toda la escala de medida presentada por la celda de carga, dejando una relación de 1:1 con respecto al convertidor análogo digital del PIC16F877A. Esto permite utilizar la tercera parte de la capacidad máxima de la celda, pero garantiza el rango de pesado del producto, cuyo mayor valor es la bolsa de 500 g.

De una forma ideal esta será la ganancia que se debe aplicar a la señal entregada por la celda de carga para obtener el resultado deseado, pero al realizar las pruebas correspondientes se encontró que al alimentar el sistema (polarizarlo) sin tener producto alguno, este presentaba una señal de salida de 11.4 mV (Cuadro 15), debido al peso generado por los elementos que componen el sistema de pesaje, dicho voltaje representa más de la mitad de la escala máxima de salida razón por la cual debe ser eliminado.

Cuadro 15. Relación de la señal real de salida de la celda de carga

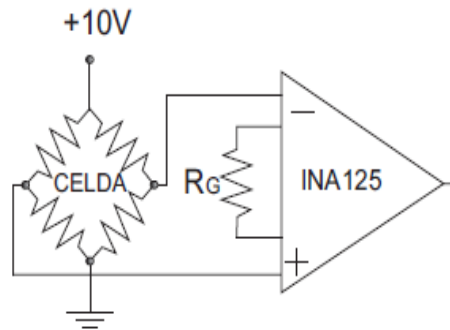
Peso (g)	Señal de salida (mV)
0	11.40
125	12.23
250	13.07
500	14.73
1000	18.07

Fuente: Autor

Para la eliminación de esta señal no deseada y perjudicial para el prototipo, por medio del hardware, se acoplo la señal arrojada por la celda de carga implementando una etapa de adecuación con amplificadores de instrumentación.

Donde para amplificar la señal de la celda de carga se implementa el amplificador de instrumentación INA125 (Figura 22), dispositivo recomendado por el distribuidor de la celda, además sus características son ideales pues posee un voltaje de referencia de precisión, permite obtener una ganancia desde 4 hasta 10.000 con tan solo variar una resistencia denominada R_G , bajo nivel de offset ($2\text{mV}/^\circ\text{C}$), y alto rechazo en modo común (100dB at $G = 100$).

Figura 22. Diagrama de conexión del INA125



Fuente: Autor

El cálculo de la resistencia R_G , necesaria en el INA125 para alcanzar la amplificación deseada, se presenta a continuación (Cuadro 16):

$$G = 4 + \frac{(60)(10^3)}{R_G}$$

Donde

G: Ganancia.

R_G : Resistencia de ganancia.

Como la ganancia es conocida se reemplaza en la ecuación, obteniendo:

$$732 = 4 + \frac{(60)(10^3)}{R_G}$$

Despejando R_G :

$$RG = \frac{(60)(10^3)}{732 - 4}$$

$$RG = \frac{(60)(10^3)}{728}$$

$$RG = 82.42\Omega$$

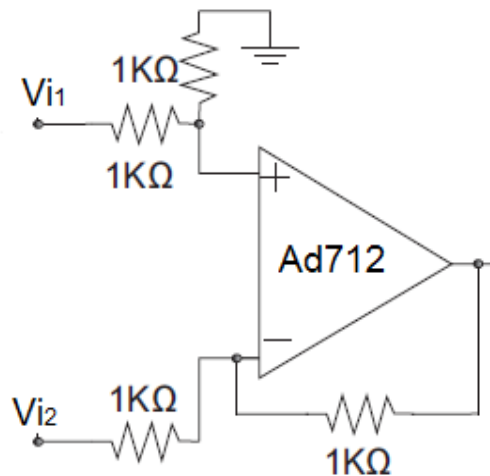
Cuadro 16. Relación de la señal entregada por la etapa de amplificación

Peso (g)	Señal de salida (V)
0	8,35
125	8,95
250	9,56
500	10,78
1000	13,23

Fuente: Autor

Luego, para eliminar el voltaje no deseado presente en el circuito como se puede observar en el Cuadro 16, se desarrolla un restador con amplificadores operacionales (Figura 23), para este caso se utilizó el Ad712 dispositivo de precisión muy económico, de alta velocidad y con bajo nivel de offset ($5\text{mV}/^\circ\text{C}$), el cual recibe la señal entregada por la celda de carga a través de la entrada positiva, a dicha señal se le resta un voltaje equivalente al entregado por la misma celda cuando no tiene material para pesar, este voltaje es generado por un divisor de voltaje el cual lo mantiene fijo.

Figura 23. Conexión del restador.



Fuente: Autor

Analizando el restador presentado en la Figura 23, se puede determinar que para la entrada positiva del amplificador se presenta la siguiente ecuación:

$$\frac{Vi_1 - V^+}{1k\Omega} - \frac{V^+}{1k\Omega} = 0$$

Despejando el V^+ se obtiene que:

$$\frac{Vi_1}{1k\Omega} = \frac{V^+}{1k\Omega} + \frac{V^+}{1k\Omega}$$

$$\frac{Vi_1}{2} = V^+$$

Y para la entrada negativa se presenta la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{Vi_2 - V^-}{1k\Omega}\right) - \left(\frac{V^- - V^0}{1k\Omega}\right) = 0$$

Despejando el V^- se obtiene que:

$$\frac{Vi_2}{1k\Omega} - \frac{V^-}{1k\Omega} - \frac{V^-}{1k\Omega} + \frac{V^0}{1k\Omega} = 0$$

$$\frac{Vi_2}{1k\Omega} + \frac{V^0}{1k\Omega} = \frac{V^-}{1k\Omega} + \frac{V^-}{1k\Omega}$$

$$Vi_2 + V^0 = V^- + V^-$$

$$\frac{Vi_2 + V^0}{2} = V^-$$

Por principio de funcionamiento del amplificador operacional se sabe que:

$$V^+ = V^-$$

Lo anterior permite relacionar la ecuación de la entrada positiva, con la ecuación de la entrada negativa del amplificador obteniendo:

$$\frac{Vi_1}{2} = \frac{Vi_2 + V^0}{2}$$

$$Vi_1 = Vi_2 + V^0$$

La ecuación final que identifica el sistema restador es:

$$Vi_1 - Vi_2 = V^0$$

De aquí se puede determinar que el montaje posee ganancia unitaria y cumple con las características necesarias para el buen funcionamiento del sistema, como se puede observar en el Cuadro 17.

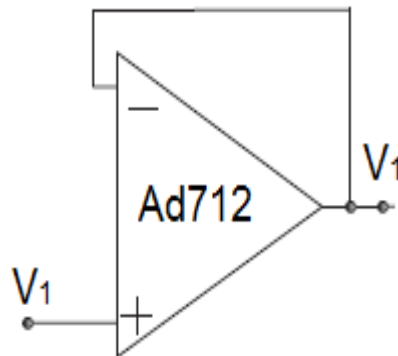
Cuadro 17. Relación de la señal entregada por la etapa restadora

Peso (g)	Señal de salida (V)
0	0
125	0,61
250	1,22
500	2,44
1000	4,88

Fuente: Autor

Finalmente para el acoplamiento de las diferentes etapas se utilizan seguidores de voltaje (Figura 24), que gracias a su alta impedancia de entrada y baja impedancia de salida aísla las diferentes etapas que componen el circuito.

Figura 24. Diagrama de un seguidor de voltaje

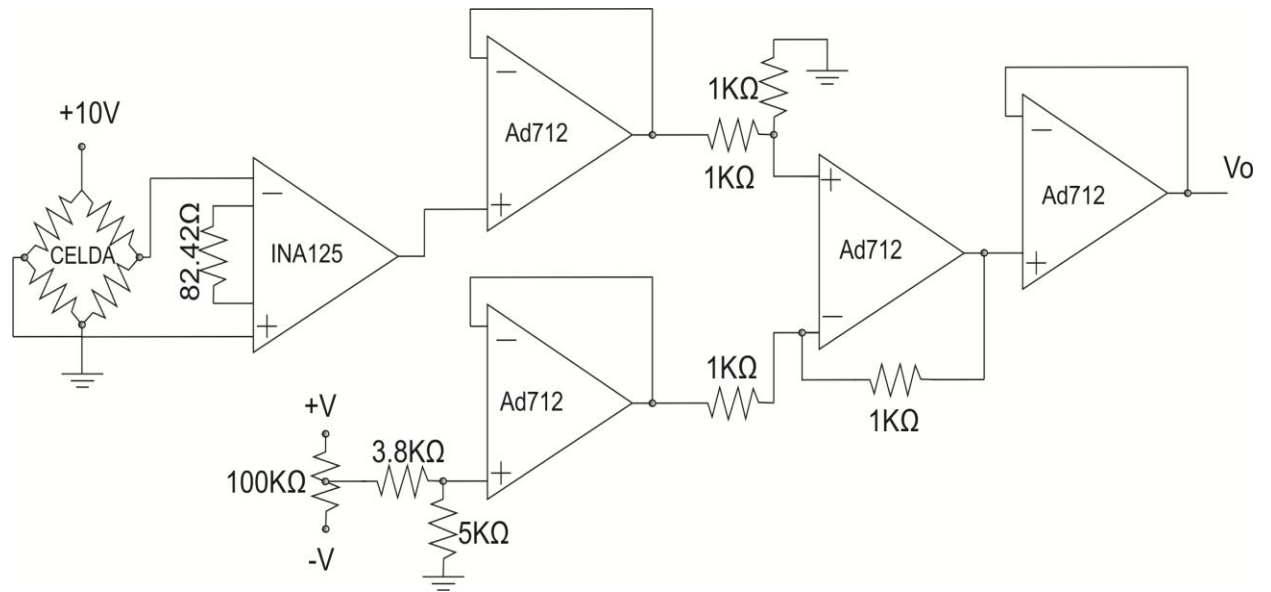


Fuente: Autor

En la Figura 25, se observa el circuito que se implementó para el acondicionamiento de la señal de la celda de carga, donde se detallan las

diferentes etapas que lo componen como lo son la de amplificación, los seguidores de voltaje para realizar el acoplamiento y el restador.

Figura 25. Circuito equivalente para el acondicionamiento de la señal



Fuente: Autor

3.3 TARJETA DE POTENCIA CON SALIDA DE 110V AC

La principal función de esta tarjeta es manejar los motores AC con los que cuenta la máquina, los cuales generan succión para adherir y posteriormente abrir la bolsa de empaque (Figura 26).

También dentro de esta tarjeta se encuentran diferentes señales que son muy importantes para el funcionamiento del sistema como lo son:

- a) Entrada: señal de alimentación 12V DC, señales de control para los motores de succión (aspiradoras), señal de control para el motor que mueve el brazo dosificador y señal de control para activar la alimentación de la resistencia calefactora que se encuentra en la cuchilla de sellado.
- b) Entrada: señal de alimentación 110V AC.
- c) Salidas de potencia para los dos motores de succión, el motor que mueve el brazo dosificador y la resistencia calefactora que se encuentra en la cuchilla de sellado.

En la Figura 26 se detalla el circuito de dicha tarjeta donde

Conector J1:

Pin 1, 2, 3 y 5 entrada de señal del microcontrolador

Pin 6 entrada 12VDC

Pin 4 entrada GND

Conector J6 entrada 110vVAC

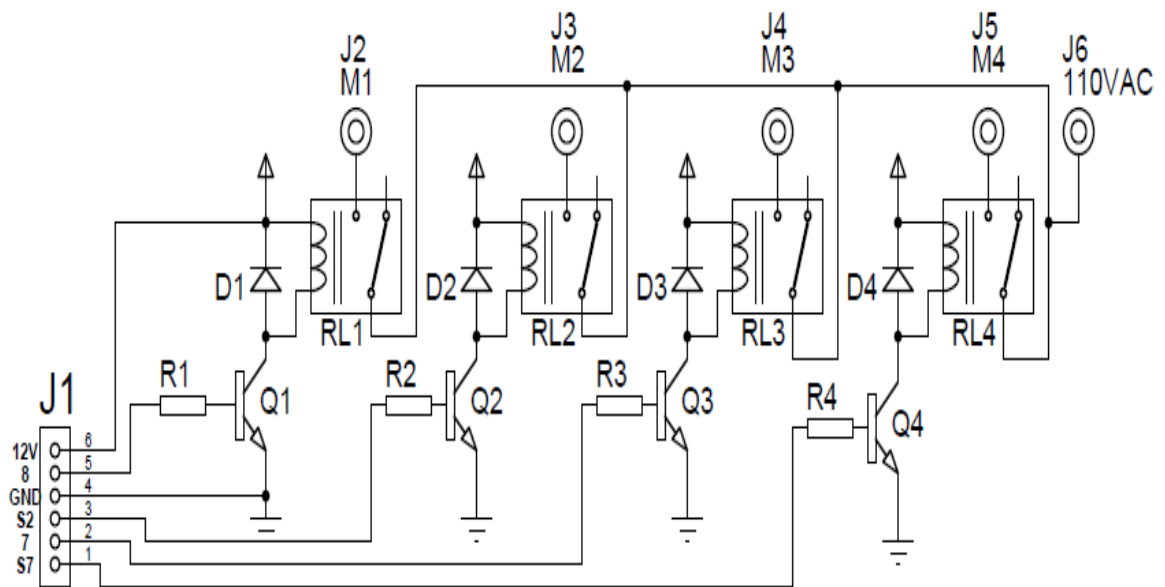
Conectores J2, J3, J4 y J5 salidas de 110VAC

$R1=R2=R3=R4=4.7K\Omega$

$D1=D2=D3=D4=1N4007$

$Q1=Q2=Q3=Q4=BC548$

Figura 26. Tarjeta de potencia motores de 110V AC



Fuente: Autor

3.4 TARJETA DE POTENCIA CON SALIDA 12V DC

Esta tarjeta (Figura 27) es la encargada de alimentar los actuadores electromecánicos y los motores de 12V presentes en el sistema, permitiendo a su vez controlar el funcionamiento de dichos dispositivos. Entre las señales que actúan en el funcionamiento de esta tarjeta se encuentran:

Conector J1 entrada de señal del microcontrolador

Conector J2 entrada 12VDC Y GND

Conector J3, J4 y J5 salida (12VDC) alimentación para los actuadores.

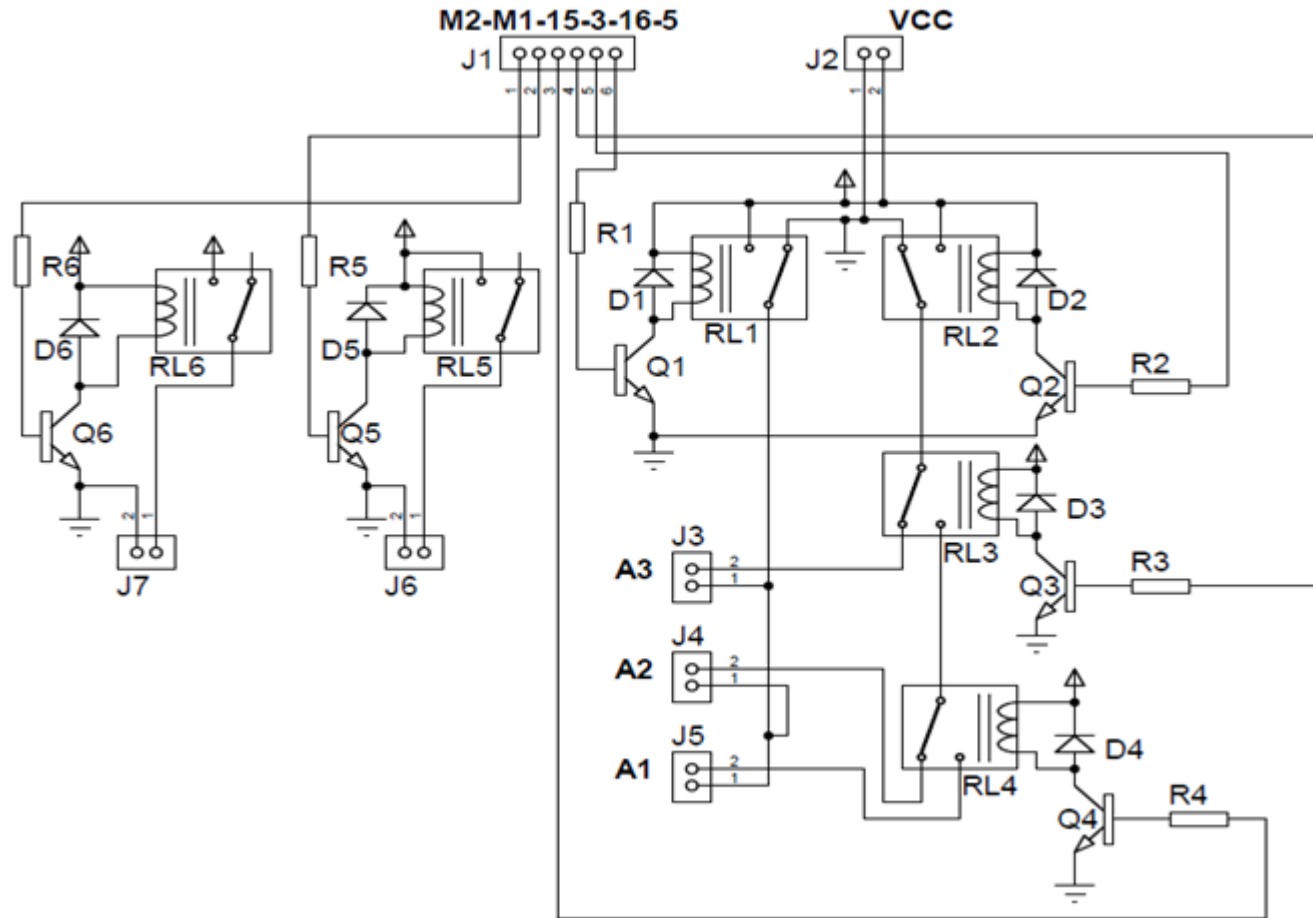
Conectores J6 y J7 salidas adicionales (12VDC)

$R1=R2=R3=R4=R5=R6=4.7K\Omega$

$D1=D2=D3=D4=D5=D6=1N4007$

$Q1=Q2=Q3=Q4=Q5=Q6=BC548$

Figura 27. Tarjeta de potencia de 12V

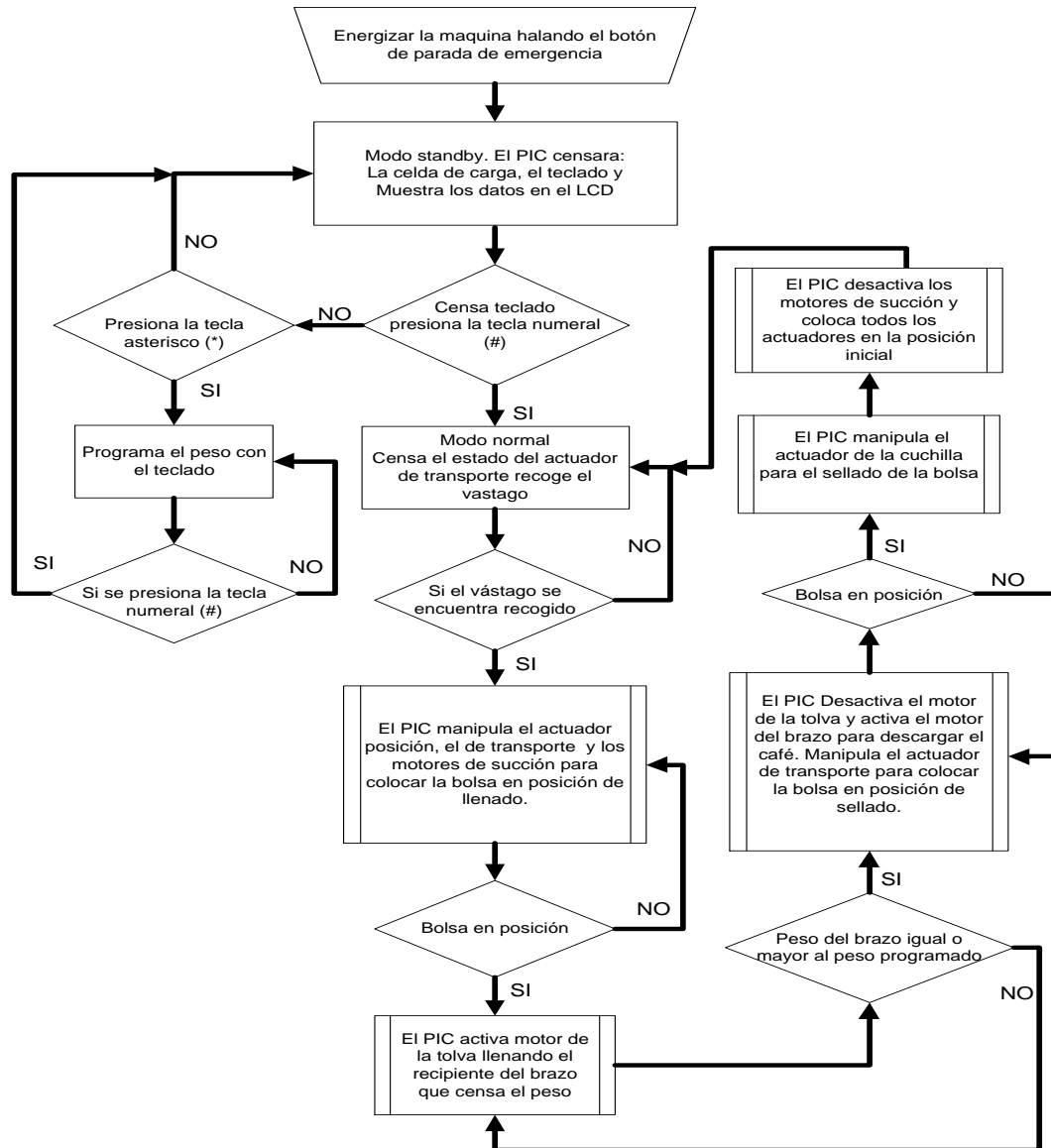


Fuente: Autor

4. DISEÑO DEL SOFTWARE DE PROCESO

El sistema trabaja de forma automática gracias al software de proceso (Figura 28) que se diseñó para tal fin; el software que se utilizó para implementar esta parte intangible pero no menos importante de la máquina empacadora, fue *MicroCode Studio* el cual es un entorno de desarrollo integrado (IDE), diseñado exclusivamente para facilitar la programación de los microcontroladores.

Figura 28. Diagrama de flujo software diseñado



Fuente: Autor

Se escogió este lenguaje por la sencillez de sus instrucciones para construir códigos eficientes y por la gran cantidad de literatura e información de cómo utilizarlo y también por su facilidad para ser compilado y luego grabado en el microcontrolador.

Secuencia del diagrama de flujo

El primer paso consiste en energizar la máquina, halando el botón de parada de emergencia; dicho elemento se encuentra ubicado en la interfaz de usuario, presenta los colores reglamentarios (rojo y amarillo), que permiten captar su ubicación rápidamente, y en caso de ser necesario, detener el proceso simplemente con ejercer una pequeña presión sobre él.

Energizada la máquina, el dispositivo entrará en el modo *standby*, con lo que se iluminará el LCD, mostrando a margen inferior izquierda, la abreviatura ST; de inmediato, el microcontrolador PIC registrará la información suministrada por la celda de carga y el teclado, tomando las decisiones correspondientes. La señal análoga de la celda de carga, se registrará en el pin RA0 del microprocesador PIC; configurado como conversor análogo digital de 10 bits, y se visualizará en el LCD.

En el modo *standby* los datos suministrados por el teclado permiten interactuar con el dispositivo de la siguiente forma:

Si se presiona la tecla asterisco (*), el sistema entra al modo de programación del peso a empacar; dicho peso se registra en gramos. Para salir del modo de programación, se presiona la tecla numeral (#), reanudando así, al modo *standby*.

Si presiona nuevamente la tecla numeral (#), el sistema empezará el proceso de dosificado y empaque, el cual se explica detalladamente a continuación:

Al iniciar el funcionamiento el sistema verifica que el actuador de transporte se encuentre con el vástago recogido; para lo cual el pin⁷ RC5 censa el estado del final de carrera instalado en la estructura para tal función, el cual entrega cero voltios cuando el vástago está recogido y 5 voltios cuando el vástago se encuentra afuera.

En el caso que el vástago no se encuentre en la posición deseada, el microcontrolador colocará en alto⁸ los pines RC0 y RC1, señales que activan la tarjeta que alimenta el actuador provocando que este recoja el vástago hasta

⁷ N. A. Se aclara que los pines del microcontrolador RC2, RC3, RC4, RC5, RC6, RC7 y RD7, se configuraron como entradas digitales, y los pines RA1, RA3, RA5, RC1, RC0, RE0, RE1, RE2, se configuraron como salidas digitales.

⁸ Señal equivalente a 5 voltios.

accionar el final de carrera, ingresando un cero lógico⁹ en el pin RC5 y desactivando los pines RC0 y RC1¹⁰.

Continuando con el proceso, el microcontrolador colocará en alto el pin RC1; dicha señal energiza la tarjeta que alimenta el actuador de posicionamiento, provocando que este expulse el vástago, generando que el actuador de transporte gire 90 grados sobre un eje fijo. Este proceso se detendrá cuando el microcontrolador detecte un cero lógico en el pin RC7 señal que es suministrada por un final de carrera ubicado estratégicamente en la estructura, el cual arroja un cero lógico cuando el actuador de transporte se encuentre abajo, y un uno lógico cuando no.

El microcontrolador desactivará el pin RC1 y colocará en alto los pines RCO y RA3, señales que activan el actuador de transporte causando que este expulse el vástago; este movimiento se detendrá en el momento que el microcontrolador detecte un cero lógico en el pin RC4, señal generada por otro final de carrera ubicado en la boquilla de succión, que indica que el sistema está en posición para recoger la bolsa; de forma instantánea, el microcontrolador desactivará el pin RA3 y colocará en alto los pines RC1 y RE1.

La señal presente en pin RE1, activa el motor M1, el cual genera la fuerza de succión necesaria para adherir la bolsa al actuador de transporte. Las señales presentes en los pines RCO y RC1 provocan que el actuador de transporte recoja el vástago hasta que el microcontrolador detecte un cero lógico en el pin RC5 desactivando de inmediato los pines RCO y RC1.

Continuando con el proceso, el microcontrolador entregará un uno lógico en el pin RA3, generando que el actuador de posicionamiento recoja el vástago; movimiento que se detendrá hasta que el microcontrolador detecte un cero lógico en el pin RC6; ubicando de nuevo al actuador de transporte en posición horizontal, el microcontrolador entregará de nuevo un uno lógico en el pin RC0, señal que en conjunto con la señal del pin RA3 generan que el actuador de transporte expulse el vástago hasta que el microcontrolador detecte un cero lógico en el pin RD7, señal generada por un final de carrera el cual indica al sistema que la bolsa está en posición para abrirla y llenarla; de inmediato el microcontrolador desactiva los pines RCO y RA3; permitiendo detectar a la salida el pin RE2 un uno lógico, señal que activa el motor M2 el cual genera la fuerza de succión de la segunda boquilla utilizada para abrir la bolsa.

De inmediato, el microcontrolador entregará un uno lógico en los pines RC0 y RC1, señales que generan que el actuador de transporte recoja el vástago hasta que el sistema detecte un cero lógico en el pin RC5, desactivando automáticamente las señales de los pines RCO y RC1, y entregando un uno lógico

⁹ Señal equivalente a 0 voltios.

¹⁰ Los pines quedan a 0 voltios.

en el pin RE0, señal que activa el motor de la tolva generando, de esta manera, el desplazamiento del café hacia el brazo de dosificación y censando la señal de la celda de carga recibida en el pin RA0.

Cuando el dato generado en la conversión análoga digital es mayor o igual al peso programado, el microcontrolador desactiva el pin RE0, deteniendo el suministro de café hacia el brazo de dosificación.

El microcontrolador entregará un uno lógico el pin RA5 en un tiempo determinado¹¹, activando el motor de bajas revoluciones para que el producto se desplace del brazo de dosificación a la bolsa de empaque, utilizando como guía el embudo. Una vez realizado este proceso, el microcontrolador entregará un uno lógico en la salida de los pines RC0 y RA3, señales que generan que el actuador de transporte expulse el vástago hasta que el microcontrolador detecte un cero lógico en el pin RD7 desactivando los pines RC0 y RA3.

Para finalizar el proceso, el microcontrolador entregará un uno lógico a la salida de los pines RA1 y RC1, señales que generan que el actuador de sellado recoja el vástago, hasta que el microcontrolador detecte un cero lógico en el pin RC3, desactivando inmediatamente el pin RC1; este movimiento genera que la cuchilla haga contacto con la bolsa para realizar el sellado.

Después de un tiempo determinado¹² el microcontrolador desactiva los pines RE1 y RE2 y entrega un uno lógico en el pin RA3, señal que en conjunto con la del pin RA1, generan que el actuador de sellado expulse el vástago hasta colocar la cuchilla en la posición inicial; posición indicada con un cero lógico en el pin RC2 por la acción de un final de carrera; inmediatamente el microcontrolador desactivará los pines RA1 y RA3, entregando un uno lógico en los pines RC0 y RC1, señales que generan que el actuador de transporte recoja el vástago hasta que en el pin RC5 se detecte un cero lógico desactivando los pines RC0 y RC1.

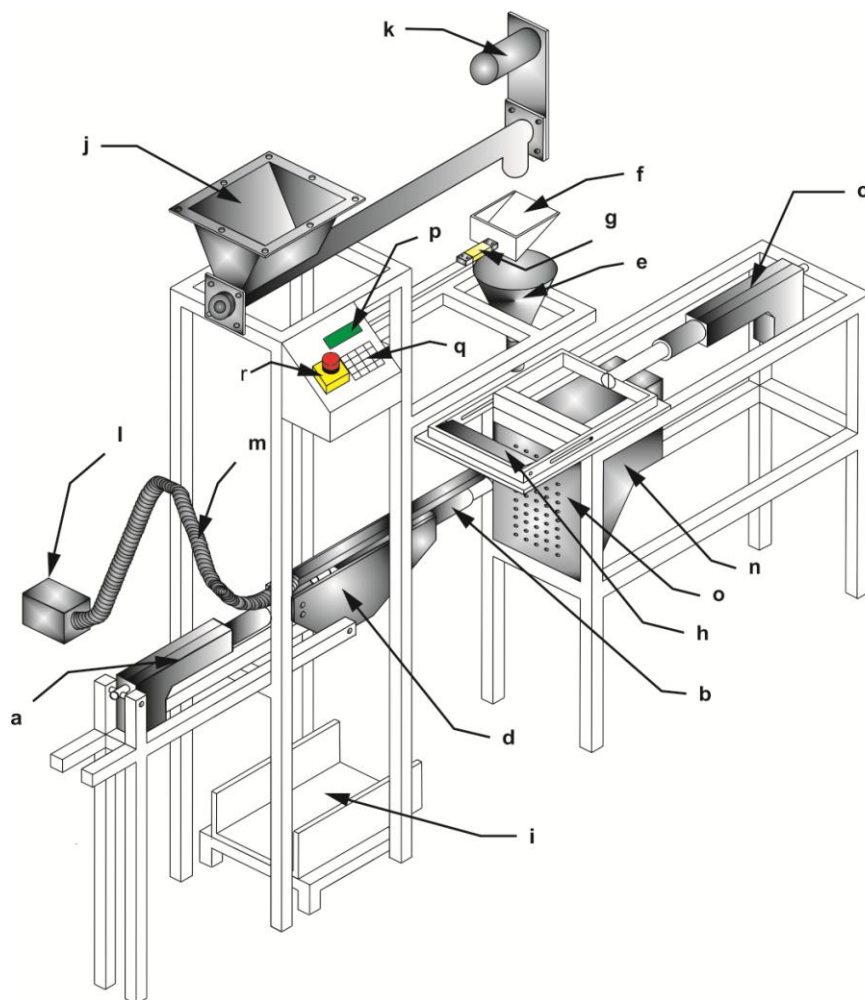
Este proceso de dosificado y empaque es cíclico.

¹¹ Este tiempo es de 13000 milisegundos.

¹² Este tiempo es de 500 milisegundos

5. MANUAL DE USUARIO

Figura 29. Máquina implementada



- | | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| a) Actuador de posicionamiento | j) Tolva y tornillo sin fin |
| b) Actuador de transporte | k) Motor 24 VDC |
| c) Actuador de sellado | l) Motor de succión M1 |
| d) Eslabón | m) Manguera de succión |
| e) Embudo | n) Motor de succión M2 |
| f) Recipiente brazo de pesado | o) Boquilla de succión |
| g) Celda de carga | p) LCD |
| h) Cuchilla para sellado | q) Teclado |
| i) Dispensador (bolsa) | r) Parada de emergencia |

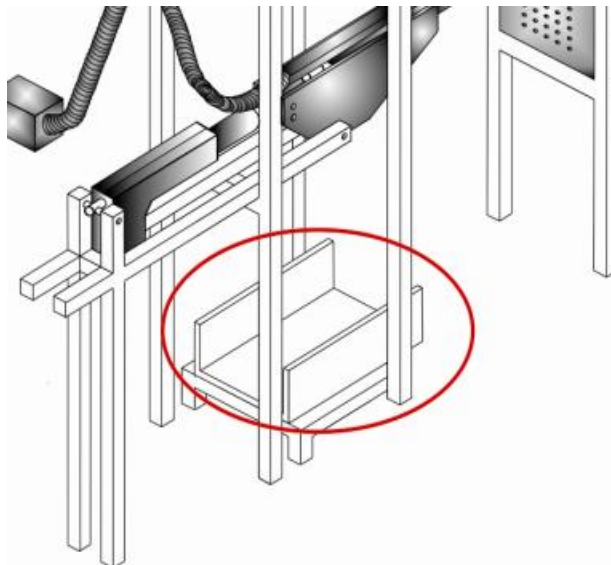
Fuente: Autor

Esta máquina permite empacar el producto (café molido) en cantidades de 125 gramos, 250 gramos y 500 gramos. Siendo estos valores los ofrecidos inicialmente en el diseño; pero también permite empacar valores intermedios a estos programados a gusto del operario, quien ingresa los datos a través de la interfaz de usuario (Figura 29).

Para un óptimo desempeño de la máquina y una buena vida útil, el fabricante recomienda tener en cuenta los siguientes pasos a la hora de trabajar con ella:

- Llene la tolva con el producto (café molido).
- Llene o verifique que las bolsas se encuentren en el dispensador (Figura 30) según el tamaño requerido.

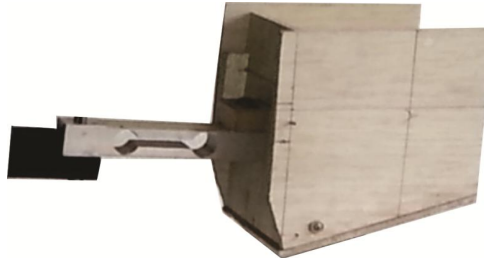
Figura 30. Dispensador



Fuente: Autor

- Verifique que la máquina se encuentre conectada a la red eléctrica de 110 voltios AC.
- Verifique que el brazo de pesado (Figura 31) se encuentre vacío.

Figura 31. Brazo que censa el peso



Fuente: Autor

- Presione el botón de poder energizando con esto la máquina.
- Hale el botón de parada de emergencia (Figura 32).

Figura 32. Botón de arranque y parada de emergencia



Fuente: Autor

En este momento ingresará al modo *standby* (Figura 33), el LCD (pantalla de cristal líquido) se iluminará mostrando los siguientes datos:

Peso actual: Peso del material que se encuentra en el brazo en ese momento.

Setp: Peso a empacar el cual lo podemos programar con el teclado.

En la parte derecha de la pantalla, aparece en mayúscula las letras ST, indicando que la máquina se encuentra en un proceso intermedio de arranque.

Figura 33. LCD interfaz de usuario



Fuente: Autor

Para configurar el *Setp*: presione la tecla asterisco (*) ubicada en teclado (Figura 34).

Entrara al modo de programación del *setp* (Figura 35). Donde se programa el valor del peso que desee empacar digitándolo con las teclas 0 al 9.

Figura 34. Entrada modo de programación



Fuente: Autor

Figura 35. Modo de programación



Fuente: Autor

Presionando la tecla numeral (#) regresará al modo *standby* (Figura 36).

Figura 36. Salida del modo de programación



Fuente: Autor

- Una vez estando en el modo *standby*, si se presiona la tecla numeral (#), la máquina empezará a realizar el proceso normal de trabajo (Figura 37).

Figura 37. Puesta en marcha de la máquina



Fuente: Autor

Una vez la máquina inicia el proceso de trabajo, el LCD permite visualizar la cantidad de producto pesado, y el peso al cual se están empacando las bolsas (Figura38).

Figura 38. Visualización máquina trabajando



Fuente: Autor

En este punto la máquina inicia su trabajo de forma automática siguiendo de manera detallada los pasos programados durante el diseño de la misma.

Verificará que el actuador transporte se encuentre retraído.

El actuador de posicionamiento saca el vástago haciendo que el actuador de transporte de la bolsa baje (se coloque en posición vertical); cuando este se encuentra en esa posición empieza a sacar el vástago; en la punta del vástago se encuentra un interruptor o final de carrera que indicará cuando haga contacto con la bolsa; una vez se acciona el interruptor, es encendido el motor de succión 1, haciendo que la bolsa se adhiera al vástago; el actuador de transporte se retrae, recogiendo de esta manera la bolsa adherida en la punta; el actuador de posicionamiento recoge el vástago haciendo que el actuador de transporte suba colocándose en la posición horizontal.

El actuador de transporte sacará el vástago hasta colocar la bolsa en el punto de succión 2, activando el motor de succión número 2, haciendo que la bolsa se pegue a la boquilla de dicho motor. Después de esto, retrae el vástago provocando que la bolsa se abra y quede en posición de llenado.

Se accionará el motor de la tolva llenando el brazo de pesado; cuando el material en el brazo indique el mismo peso configurado anteriormente en el *setp*, el motor de la tolva se apagará y se activará el motor que descarga el contenido del brazo en la bolsa de empaque.

El actuador de sellado sacará el vástago presionando la parte superior de la bolsa con la cuchilla de sellado y la parte metálica ubicada en frente de ella, sellando de esta manera la bolsa, regresando de manera consecutiva a la posición inicial; se apagan los motores de succión soltando la bolsa que cae de la máquina hasta el lugar donde es recogida por el operario. El actuador de transporte recoge el vástago a su posición normal para comenzar de nuevo el proceso.

6. COSTOS

A continuación se presentan el presupuesto inicial (Cuadro 18), y el costo real (Cuadro 19), tenidos en cuenta para el diseño y ejecución del proyecto. Ellos muestran detalladamente desde la planeación los valores de los dispositivos a utilizar, entregando un costo total presupuestado de \$5.700.000 pesos y un valor del montaje del prototipo, que fue de \$2.914.172 pesos.

Cuadro 18. Costos presupuestados

Dispositivo	Costo
Microcontrolador	80.000
Motores	1.500.000
Resistencias para sellado	200.000
Piñonearía o poleas	500.000
Sensores y cableado	1.000.000
Material para la construcción de la estructura y tolva.	2.000.000
Cadena o correas	200.000
Display	20.000
Celda de carga	100.000
Fotocopias e impresiones	100.000
TOTAL	5.700.000
Imprevistos 20%	

Fuente: Autor

Cuadro 19. Costos reales

Dispositivo		Cantidad	Costo
Microcontrolador	PIC16F877A	4	80.000
Amplificadores de instrumentación	INA125	1	40.000
	INA128	1	45.000
Celda de carga		1	60.000
Opto acopladores		16	24.000
LCD		1	16.000
Teclado		1	11.000
Transistores		12	6.000
Relay	12v DC	12	18.000
Bornera	Doble	30	15.000

Cuadro 19. (Continuación)

Dispositivo		Cantidad	Costo
	De 12 terminales	1	4.000
Baquelita			20.000
Finales de carrera		6	9.000
Cableado			150.000
Resistencias			50.000
Termostato		1	18.000
Actuadores electromecánicos		3	658.172
Tolva y tornillo sin fin en acero inoxidable.		1	400.000
Laminas en acero inoxidable			160.000
Embudo en acero inoxidable		1	70.000
Motores	12V DC	1	100.000
	110V AC	3	300.000
Resistencias para sellado			10.000
Cuchilla para sellado			100.000
Poleas y correa			150.000
Material para la estructura			100.000
Fuentes de poder		4	200.000
Fotocopias e impresiones			100.000
TOTAL			2.914.172

Fuente: Autor

7. ANALISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se encuentran detallados los resultados de las diferentes pruebas tomadas con la máquina en funcionamiento para determinar la exactitud y eficiencia de la misma. En el Cuadro 20 se plasman los valores para los pesos correspondientes a 125 g, en el Cuadro 21 para los pesos de 250 g, en el Cuadro 22 para los pesos de 500 g. y en el Cuadro 23 los tiempos de proceso realizados manualmente y los tiempos de proceso realizados automáticamente.

Cuadro 20. Medidas tomadas a las bolsas de 125 gramos.

	Tiempo de empaque (min)	Voltaje calculado en la celda (mv)	Voltaje medido en la celda (mv)	Error absoluto Celda	Error relativo Celda %	Dato en el LCD (gr)	Error absoluto	Error relativo %
1	1,21	11,93	11,9	0,03	0,25	130	-5	-4
2	1,25	11,93	11,9	0,03	0,25	128	-3	-2,4
3	1,28	11,93	11,9	0,03	0,25	129	-4	-3,2
4	1,24	11,93	11,9	0,03	0,25	132	-7	-5,6
5	1,28	11,93	11,9	0,03	0,25	130	-5	-4
6	1,22	11,93	11,9	0,03	0,25	127	-2	-1,6
7	1,24	11,93	12,0	-0,07	-0,59	131	-6	-4,8
8	1,21	11,93	11,9	0,03	0,25	120	5	4
9	1,25	11,93	11,9	0,03	0,25	129	-4	-3,2
10	1,24	11,93	12,1	-0,17	-1,42	133	-8	-6,4
Σ	1,24	11,93	11,93	0,0	0,00	128,9	-3.9	-3,12

Fuente: Autor

Para 125 g se presenta un error absoluto de ± 4 gramos y un error relativo del 3,12%

Cuadro 21. Medidas tomadas a las bolsas de 250 gramos.

	Tiempo de empaque (min)	Voltaje calculado en la celda (mv)	Voltaje medido en la celda (mv)	Error absoluto Celda	Error relativo Celda %	Dato en el LCD (gr)	Error absoluto	Error relativo %
1	1,21	12,8	12,8	0,00	0,00	260	-10	-4
2	1,25	12,8	12,7	0,10	0,78	245	5	2
3	1,28	12,8	12,8	0,00	0,00	261	-11	-4,4
4	1,24	12,8	12,8	0,00	0,00	259	-9	-3,6
5	1,28	12,8	12,8	0,00	0,00	262	-12	-4,8
6	1,22	12,8	12,8	0,00	0,00	258	-8	-3,2
7	1,24	12,8	12,8	0,00	0,00	259	-9	-3,6
8	1,21	12,8	12,7	0,10	0,78	246	4	1,6
9	1,25	12,8	12,8	0,00	0,00	259	-9	-3,6
10	1,24	12,8	12,8	0,00	0,00	261	-11	-4,4
Σ	1,24	12,8	12,78	0,02	0,16	257	-7	-2,8

Fuente: Autor

Para 250 g se presenta un error absoluto de ± 7 gramos y un error relativo del 3%

Cuadro 22. Medidas tomadas a las bolsas de 500 gramos.

	Tiempo de empaque (min)	Voltaje calculado en la celda (mv)	Voltaje medido en la celda (mv)	Error absoluto Celda	Error relativo Celda %	Dato en el LCD (gr)	Error absoluto	Error relativo %
1	1,21	14,43	15,00	-0,57	-3,95	512	-12	-2,4
2	1,25	14,43	14,00	0,43	2,98	508	-8	-1,6
3	1,28	14,43	15,00	-0,57	-3,95	513	-13	-2,6
4	1,24	14,43	14,00	0,43	2,98	508	-8	-1,6
5	1,28	14,43	15,00	-0,57	-3,95	515	-15	-3
6	1,22	14,43	14,00	0,43	2,98	490	10	2
7	1,24	14,43	15,00	-0,57	-3,95	511	-11	-2,2
8	1,21	14,43	15,00	-0,57	-3,95	515	-15	-3
9	1,25	14,43	15,00	-0,57	-3,95	512	-12	-2,4
10	1,24	14,43	15,00	-0,57	-3,95	515	-15	-3
Σ	1,24	14,43	14,70	-0,27	-1,87	509,9	-9,9	-1,98

Fuente: Autor

Para 500 g se presenta un error absoluto de ± 10 gramos y un error relativo del 2%

Cuadro 23. Tiempo de trabajo

Bolsa	Tiempo operario (s)	Tiempo maqueta (s)
1 libra	28,8	84
½ Libra	16	74,4
¼ Libra	9	75,57

Fuente: Autor

Del anterior análisis se concluye que el dispositivo arroja resultados aceptables para realizar la labor de dosificado y empaque, siendo el máximo error presentado en el sistema de 3,12%.

Cabe aclarar que ésta es la maqueta y que los elementos que la conforman no tienen los tiempos requeridos para un óptimo desempeño, además de eso hay distintos factores que influyen a la hora de la medición, como el punto de precisión de los elementos de medida; sin dejar atrás los factores naturales como la temperatura y la gravedad.

8. CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó una maqueta funcional de un sistema automático para el proceso de peso y empaque de café molido teniendo en cuenta los requerimientos de la empresa OCCIDENTAL DE CHOCOLATES.
- Al reemplazar el recurso humano por este sistema automatizado, se eliminaron los errores a los cuales estaba expuesto el proceso, en cuanto al cansancio del operario, presiones psicológicas y el estrés laboral, disminuyendo de igual manera los accidentes de trabajo que son ocasionados en su mayoría por distracciones en las que incurren las personas cuando están sujetas a presiones presentes en su entorno.
- La interfaz de usuario, la cual se presenta para el manejo de la máquina, permite que un operario sin conocimientos en electrónica sea capaz de manipularla y lograr el mejor desempeño del sistema.
- La implementación del catálogo de MARTIN en el diseño del transportador helicoidal, permitió que una herramienta como esta, empleada por una empresa reconocida en el diseño de dispositivos de transporte de material, como es la CEMA, facilitara los diferentes cálculos necesarios para el buen funcionamiento del sistema.
- Se logró poner en práctica los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera, afianzando sobretodo el tema relacionado con los microcontroladores; se adquirieron habilidades tanto en el tema del desarrollo del hardware, como en el de software, manejo de sensores análogos (celda de carga) y sensores digitales como los finales de carrera.
- Es de resaltar que para el desarrollo de un proyecto de estas magnitudes se debe tener en cuenta la importancia de formar un buen equipo de trabajo, puesto que se requieren de habilidades en diferentes áreas como lo son la mecánica, la neumática, el diseño estructural y la electrónica. Dicho personal que se encuentre capacitado en cada área, para no crear incertidumbre en el transcurso del proyecto.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda el empleo de una Interfaz que permita controlar el proceso de empacado desde un computador, mejorando la capacidad de memoria de la máquina, facilitando el desempeño del operario y permitiendo que la tarjeta de control pueda ser modificada para un mejor funcionamiento. Esto es posible con la implementación de un sistema SCADA el cual ha incursionado en el mercado laboral mejorando notablemente los procesos industriales.
- La implementación de una fase de calidad es muy importante, puesto que permite que el sistema seleccione productos con un empaque que cumpla con condiciones estéticas, como lo son un sellado firme y recto, un empaque de color consistente sin manchas, evitar residuos de café sobre la bolsa y principalmente sobre la máquina que depende de una buena limpieza para su óptimo funcionamiento. Esto es posible empleando el recurso de selección mediante visión artificial.
- Es recomendable acudir a un microcontrolador con una resolución mayor a 10 bit, o la utilización de un DSPIC que permita reducir el porcentaje de error presente en las diferentes medidas tomadas por el sistema, el cual genera cambios en el resultado final, puesto que los pesos solicitados son pequeños (125g, 250g, 500g), evitando la comercialización de la máquina con productos que exigen una mejor confiabilidad en su peso.
- A través de este trabajo, se decide recomendar la sustitución de los actuadores electromecánicos por actuadores neumáticos; este tipo de actuador es más rápido y esto le daría un mayor porcentaje de producción a la máquina; sustituirlos por este tipo de actuador también generaría una disminución en el consumo eléctrico y menos motores o cargas inductivas generando interferencias con la parte electrónica.
- De igual forma se recomienda, complementar el sistema de automatización dotando a la tolva de carga con los sensores necesarios para entregar la información de la cantidad del producto que posee y así evitar que la producción se detenga o las bolsas salgan vacías; también es posible que el sistema entregue la cantidad de bolsas que fueron empaçadas para que el operario lleve un mejor control del proceso. Algunos de estas sugerencias no se implementaron debido netamente al factor económico.

BIBLIOGRAFÍA

AVILÉS CONDE, María José y CAVIEDES GUILLÉN, Gustavo Andrés. Implementación del sistema de dosificación y control de pesaje dinámico para empaquetamiento de comestibles sólidos. Trabajo de grado. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. 2011 [en línea] <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3870/1/CD-3687.pdf>

BEER, y otros. Mecánica vectorial para ingenieros - Estática. 8ª ed. España: McGraw Hill, 2007. Caps. 2 y 3

BURR-BROWN. Precision. Low power instrumentation amplifiers. USA, 2000. [en línea] <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/texasinstruments/ina128.pdf>

COUGHLIN, Robert F. Electrónica. Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales. 2 ed. México: Prentice Hall, 1990. p. 304-345

GRUPO CLAVIJO (España). [en línea] <http://www.grupoclavijo.net/>

HIBBELER, R. C. Mecánica vectorial para ingenieros. Estática. 10 ed. México: Pearson Educacion, 2004. Cap. 3, p.81; cap. 4 p.113

MARTIN SPROCKET. (Catálogo). En: Direct Industry. Grupo VirtualExpo. 2013. [en línea] <http://pdf.directindustry.com/pdf/martin-sprocket-gear/general-catalog/9091-246439.html>

MICROSHIP, Technology Inc. USA, 2003. [en línea] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf>

MOTT, Robert, Maquinaria. Diseño De Elementos De Máquinas. 3 Ed. México. Pearson Prentice Hall, 1992. p. 320-345.

MOTT, Robert, Maquinaria. Diseño De Maquinaria. 3 ed.

PALLAS, Ramón, Electrónica. Sensores Acondicionadores De Señal. 4 Ed. Barcelona: Marcombo, 2004, p. 230-233

PYCMESA. Pesadoras automáticas. [en línea] <http://www.pycmesa.com/>

REYES, Carlos A. Microcontroladores PIC Programación en Basic. Tercera edición. Impreso por RISPGRAF. Quito – Ecuador: 2008. p. 120-280. ISBN-13: 978-9978-45-004-8.

WIM-SYSTEMS. Weighing Inspecting and Marking. (Canadá). [en línea]
www.wim-systems.com

ANEXOS

Anexo A. Hoja de características de la celda de carga



Capacities

GROUP 1 : 1, 2, 3Kg

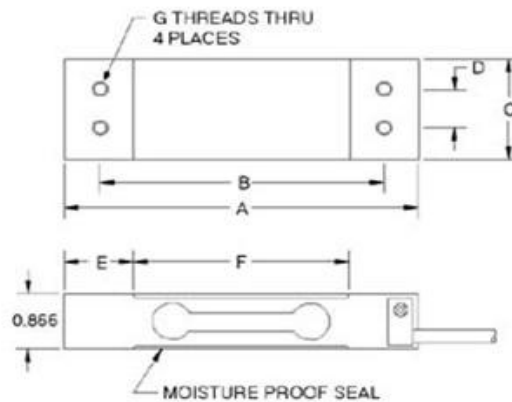
**GROUP 2 : 1, 2, 3, 6, 10, 12, 15, 20, 25,
30, 35, 50, 100, 250Kg**

Rated Output (R.O.)

GROUP 1 : 1.0 MV/V \pm 10%

GROUP 2 : 2.0 MV/V \pm 10%

CABLE LENGTH : 400mm



CAPACITY (lb)	A	B	C	D	E	F	G (mm)
1 — 3 Kg(Grp. 1)	70	58	15	7	12	46	M3
1 — 20 Kg(Grp. 2)	130	106	30	15	25	80	M6
25 — 35 Kg	130	106	40	15	25	80	M6
50 — 250 Kg	130	106	50	25	25	80	M6

Anexo A. (Continuación)

SPS Series

- Single Point Small Load Cell • Aerospace Aluminum
- Meets OIML and HB44 Class III Standards

ORDER



Ordering Code : SPS – (capacity) • Specifications subject to change without notice.



Capacities	GROUP 1 : 1, 2, 3Kg
	GROUP 2 : 1, 2, 3, 6, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35, 50, 100, 250Kg
Rated Output (R.O.)	GROUP 1 : 1.0 MV/V \pm 10%
	GROUP 2 : 2.0 MV/V \pm 10%
Zero Balance	\pm 2% of R.O.
Non-Linearity	0.015% of R.O.
Hysteresis	0.015% of R.O.
Non-Repeatability	0.020% of R.O.
Creep (1 hour)	0.020% of Load
Insulation	> 5,000M Ohm
Input Impedance	420 \pm 30 Ohm
Output Impedance	350 \pm 4 Ohm
Safe Overload	150% F.S.
Ultimate Overload	300% F.S.
Compensated Temperature Range	-10° to 40° C
Operating Temperature Range	-40° to 80° C
Temperature Effect on Output	15 ppm/°C of Load
Temperature Effect on Zero	40 ppm/°C of R.O.
Recommended Excitation	10V DC/AC

Anexo B. Hoja de características de los actuadores *La31 techline*

HOJA TÉCNICA DEL PRODUCTO

ACTUADOR LA31 TECHLINE

Características:

- Motor de 12 V ó 24 V DC de imanes permanentes
- Esfuerzo máximo de hasta 6.000 N en empuje y hasta 4.000 N en tiro
- Fijación del vástago de acero eléctrico cromado con ranura
- Una carcasa de plástico altamente resistente protege el motor y los piñones
- Diseño compacto y elegante con dimensiones de instalación pequeñas
- Grado de protección: IP51
- Color: negro
- 2.25 m de cable recto
- Finales de carrera incorporados (no ajustables)
- Tubo exterior de $\varnothing 30\text{mm}$ pintado con pintura resistente al polvo, las ralladas y el deterioro
- Fijación trasera de una aleación de zinc
- Tubo interior de un acero inoxidable altamente resistente al deterioro y la corrosión
- Nivel de ruido 45 dB (A); método de medición DSIEN ISO 3746, actuador sin carga

Opciones:

- Varias fijaciones traseras
- Varias fijaciones del vástago
- Emisor de impulsos (Reed switch) (8 pulsos por vuelta del conjunto eje-émbolo.) para un posicionamiento exacto de la memoria
- Hall
- Motor rápido
- Desembrague mecánico (el actuador sólo puede empujar)
- Grado de protección IP 54, IP66
- Color: gris
- Tuerca de seguridad para aplicaciones de empuje

Utilización:

- Ciclo de trabajo: 10% o 2 min./hora a uso continuo seguido de 18 minutos en reposo
- Temperatura de trabajo: de +5° a +40° C



El LA31 es un actuador muy silencioso y potente diseñado para una gran variedad de aplicaciones. El actuador LA31 estándar está disponible en la gama de productos de las series TECHLINE™, HOMELINE®, CARELINE® y DESKLINE®.

Debido a su alta capacidad, diseño y grado de protección de hasta un IP 66, el actuador TECHLINE™ es ideal para aplicaciones industriales.

Las numerosas combinaciones de pasos del eje, fijaciones traseras y fijaciones del vástago, permiten generar un gran número de soluciones, lo que asegura que una gran cantidad de necesidades diferentes sean cubiertas por el actuador LA31 TECHLINE™.

Anexo B. (Continuación)

Especificaciones técnicas:

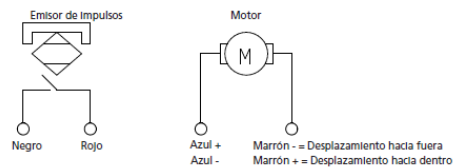
Tipo de conjunto eje-émbolo	Paso del eje del conjunto eje-émbolo (mm)	Carga máxima		Consumo típico (A)	Velocidad típica Sin carga/Con carga (mm/s)	Máximo auto-bloqueo	
		Empuje (N)	Tiro (N)			Empuje (N)	Tiro (N)
Motor 24 V Estándar							
31.1	3	6000	4000	4.0	6.2/3.2	6000	4000
31.2	5	4000	4000	3.1	11.2/5.4	2000	2000
31.2 Con freno	5	4000	4000	3.3	11.2/5.6	4000	4000
31.3 Con freno	9	1500	1500	2.5	19.4/10.5	1500	1500
31.4 Con freno	4	6000	4000	4.1	8.2/5.4	6000	4000
31.6 Con freno	12	1000	1000	2.4	26.6/14.5	1000	1000
31.7 Con freno	6	2500	2500	2.5	13.2/6.8	2500	2500
Motor rápido 24V							
31.1	3	6000	4000	4.2	8.2/4.9	6000	4000
31.2	5	4000	4000	3.7	14/6.9	2000	2000
31.2 Con freno	5	4000	4000	4.0	14/6.4	4000	4000
31.3 Con freno	9	1500	1500	2.9	26.6/13	1500	1500
31.4 Con freno	4	6000	4000	5.0	10.7/5.3	1000	1000
31.6 Con freno	12	1000	1000	2.8	32.6/17.6	6000	4000
31.7 Con freno	6	2500	2500	3.1	16.7/8.3	2500	2500
Motor 12 V Estándar							
31.1	3	6000	4000	7.2	4.5/3.2	6000	4000
31.2	5	4000	4000	3.9	7.4/6.4	2000	2000
31.2 Con freno	5	4000	4000	6.5	7.5/5.7	4000	4000
31.3 Con freno	9	1500	1500	4.7	13/10.9	1500	1500
31.6 Con freno	12	1000	1000	4.1	18/15.9	1000	1000
31.4 Con freno	4	6000	4000	9.0	6/3.7	6000	4000
31.7 Con freno	6	2500	2500	5.2	9.1/7.7	2500	2500

Comentarios sobre la tabla:

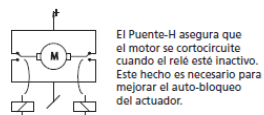
- * Las fuentes de alimentación LINAK están diseñadas de manera que cortocircuitarán los terminales del motor (polos) del actuador cuando el actuador no esté funcionando. Esta solución da al actuador una mayor capacidad de auto-bloqueo. Si el actuador no está conectado a una fuente de alimentación LINAK, los terminales del motor deben cortocircuitarse para alcanzar la capacidad de auto-bloqueo del actuador.
- ** Cuando la carga a empujar está por encima de 4.000 N (más. 6.000 N), la longitud máxima de carrera es 250 mm.

Conexiones del LA31:

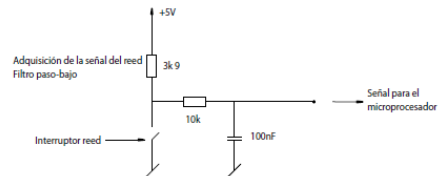
Diagrama de bloques



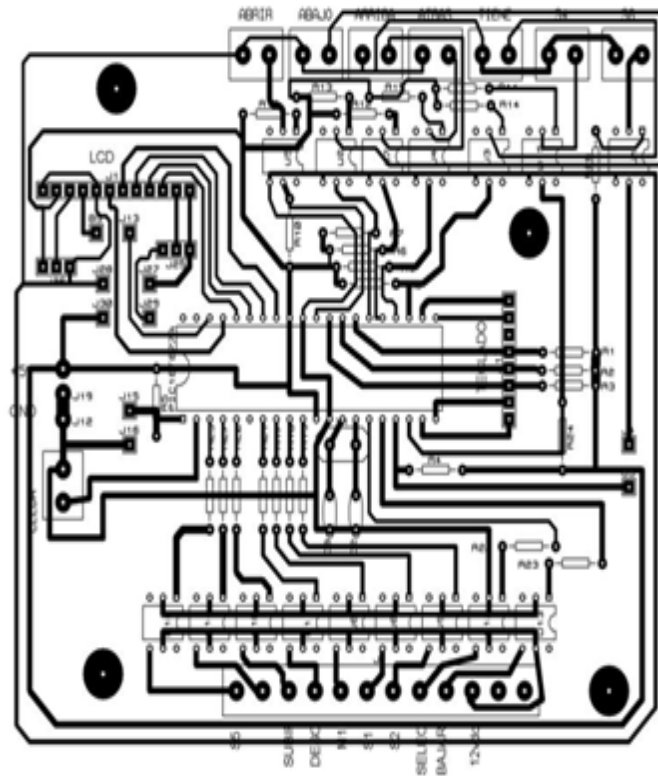
Mejorada la capacidad de auto-bloqueo



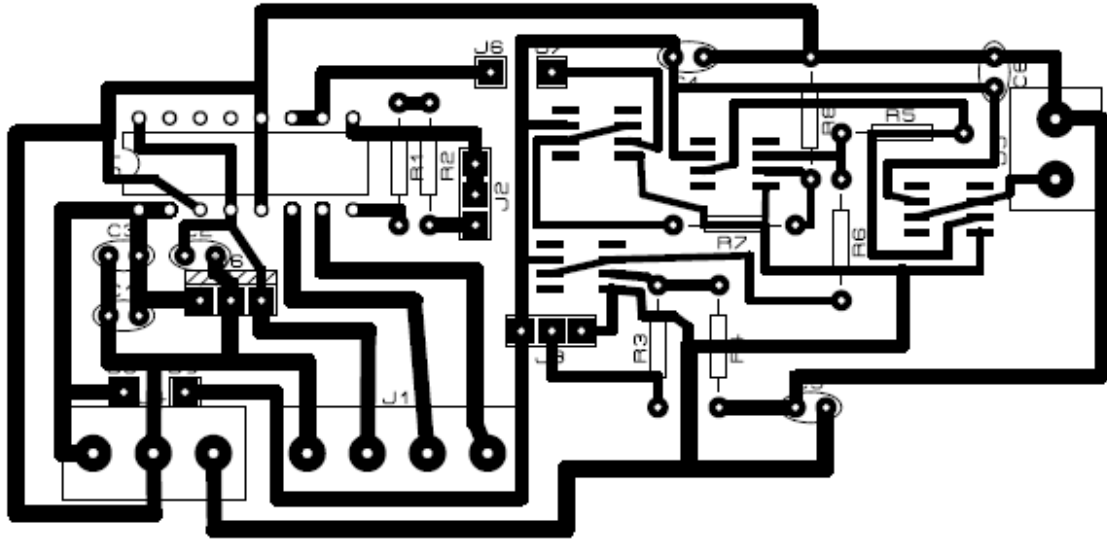
Acondicionamiento del emisor de impulsos



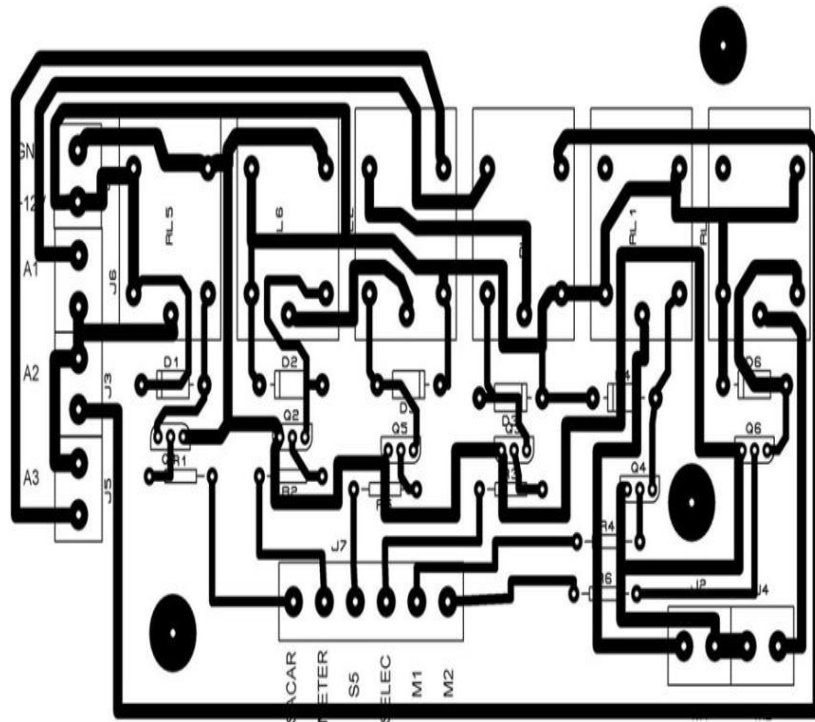
Anexo C. PCB de la tarjeta principal de proceso



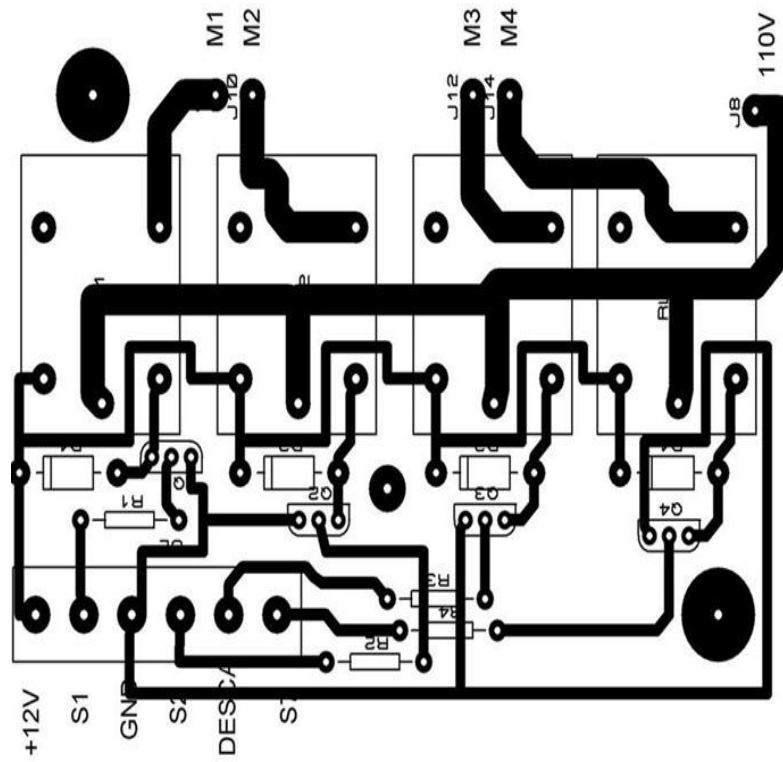
Anexo D. PCB de la tarjeta de acondicionamiento de la celda de carga



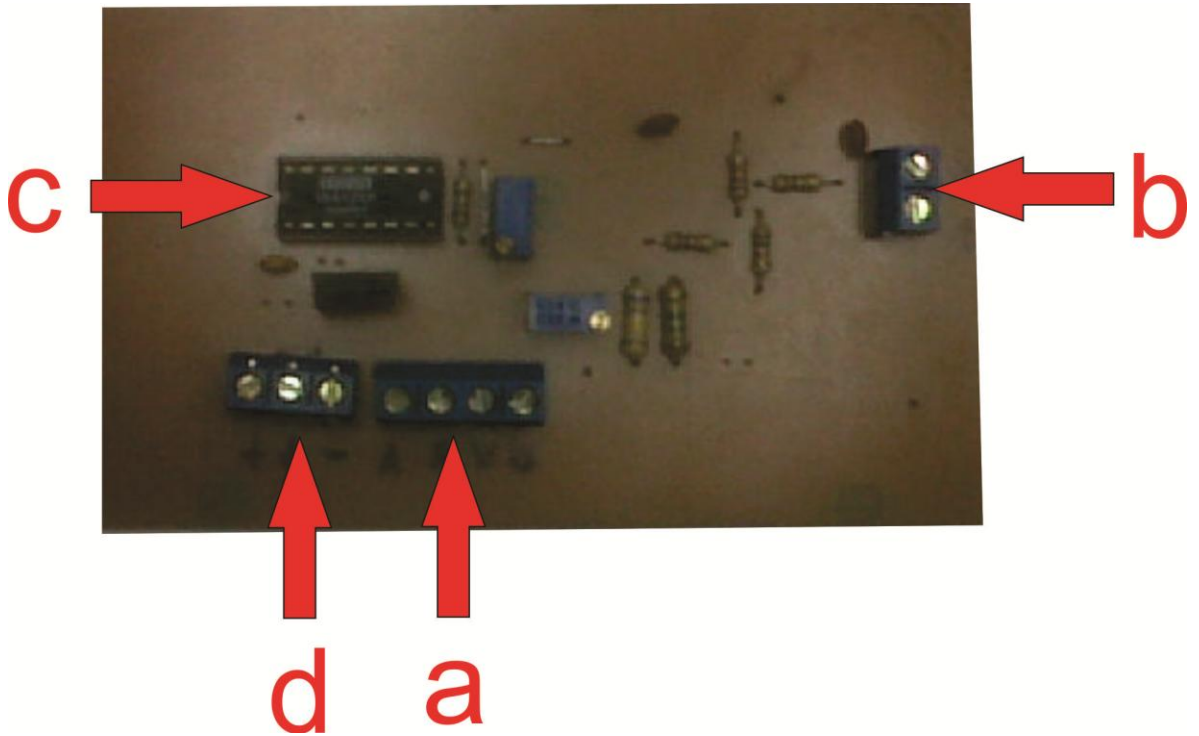
Anexo E. PCB de la tarjeta de potencia con salida 12 voltios



Anexo F. PCB de la tarjeta de potencia con salida 110 voltios

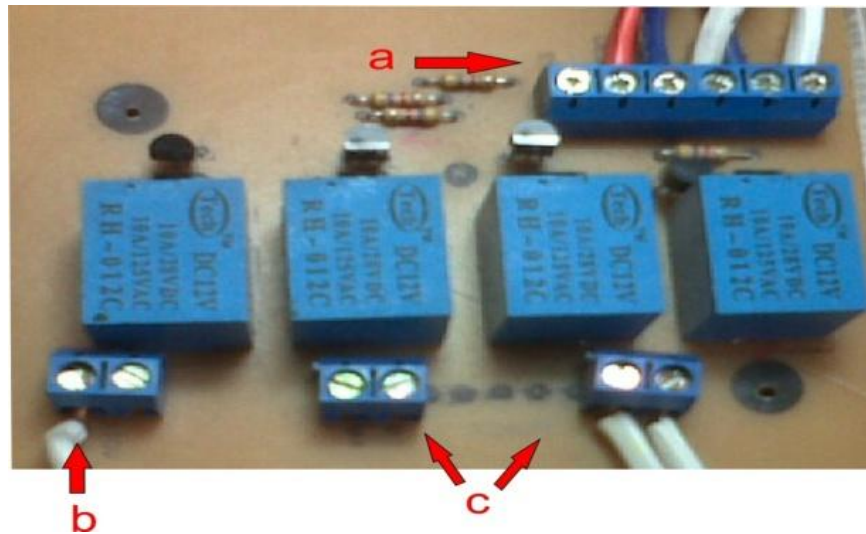


Anexo G. Circuito impreso de la tarjeta de acondicionamiento de la celda de carga



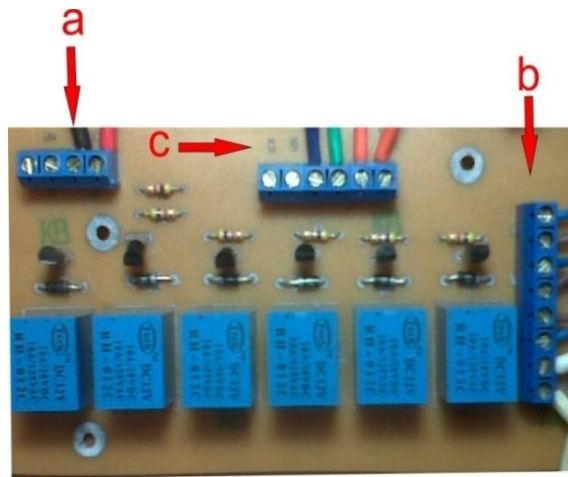
- a) Conexión para la celda de carga.
- b) Salida de la señal acondicionada.
- c) Amplificadores de instrumentación.
- d) Señal de alimentación.

Anexo H. Circuito impreso de la tarjeta de potencia de 110V AC



- a) Entrada: señal de alimentación 12V DC, señales de control.
- b) Entrada: señal de alimentación 110V AC.
- c) Salidas de potencia.

Anexo I. Circuito impreso de la tarjeta de potencia con salida de 12VDC



- a) Salida de voltaje 12V DC
- b) Salida de voltaje para el accionamiento de los tres actuadores según lo requiera el programa
- c) Entrada: Señales de control para los tres actuadores.

Anexo J. Presentación de la máquina finalizada

