ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACÓN DE UN MÓDULO DE AJUSTE Y CORRECCIÓN DE PESO PARA UNA EMPAQUETADORA DE GRANOS INDUMAK (MODELO GR-1000) PERTENECIENTE A LA EMPRESA MASCORONA.

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL

LUIS FABÍAN QUIMBIAMBA SIMBAÑA

luqusi@yahoo.com

WILSON ERNESTO SALAZAR ULLOA

will_ernesto@hotmail.com

DIRECTORA: ING. YADIRA LUCIA BRAVO NARVAEZ, Msc.

yadira.bravo@epn.edu.ec

Quito, Octubre 2011

DECLARACIÓN

Nosotros, Luis Fabián Quimbiamba Simbaña y Wilson Ernesto Salazar Ulloa, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Luis Fabián Quimbiamba Simbaña

Wilson Ernesto Salazar Ulloa

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Luis Fabián Quimbiamba Simbaña y Wilson Ernesto Salazar Ulloa, bajo mi supervisión.

_____

Ing. Yadira Bravo, Msc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

La presente tesis es un esfuerzo en el cual participaron directa o indirectamente varias personas dando en gran parte el ánimo, acompañando en los momentos de crisis al igual que en los momentos felices.

Agradezco a Dios por darme la sabiduría y salud necesaria para la realización de nuestro proyecto.

A mis padres por su perseverancia, apoyo incondicional y espíritu de lucha que fue un factor determinante para culminar con éxito esta etapa de mi vida, por su paciencia y colaboración en cada momento.

Wilson Salazar U.

DEDICATORIA

A mis padre Franklin y Carmen quienes han sido un pilar fundamental en mi vida inculcaron en mi valores, principios y me han hecho todo lo que soy como persona.

A mis hermanas Karina, Diana y Albita quienes con alegría, paciencia, y regaños me apoyaron a pesar de la las adversidades.

A mis sobrinos Alejandro y Natalia.

A todos ellos, muchas gracias de todo corazón.

Wilson Salazar U.

DEDICATORIA

Esta meta alcanzada está dedicada a Mi Padre, Dios, quien me ha dado la fuerza necesaria para poder soportar los momentos más difíciles de mi vida. A mis queridos padres José María y Luz María quienes con sus enseñanzas cultivaron en mí, día a día la perseverancia, la honestidad y el trabajo, y gracias a estos valores pude luchar con esfuerzo y dedicación para culminar con éxito uno de mis más anhelados sueños, ustedes son el regalo más grande que ha dado Mi Padre Dios.

Luis Quimbiamba S.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme terminar con una etapa importante en mi vida.

A mis padres Segundo José María y Luz María quienes con esfuerzo y dedicación han sido parte importante en este proceso de formación académica y humana.

A mis tíos que supieron creer en mí y que me dieron un apoyo moral ante tantas complicaciones que se me presentaron.

Como olvidar aquellas personas que siempre estuvieron en los momentos difíciles tanto en nuestra formación académica, así como también en problemas personales, gracias a todos AMIGOS.

Un agradecimiento muy especial a Pablo, Lucho y Diego por su ayuda tanto en conocimiento como en tiempo para el desarrollo de nuestro proyecto de titulación.

Agradezco a la Ing. Ana Rodas, por los concejos para el desarrollo de nuestra tesis. A mi compañero de tesis por su esfuerzo diario y por su paciencia.

Luis Quimbiama S.

CONTENIDO

DECLARACIÓN ii
CERTIFICACIÓN iii
AGRADECIMIENTOS iv
DEDICATORIA v
CONTENIDO viii
PRESENTACIÓN 1
RESUMEN 3
CAPÍTULO 1 4
1.1 INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE EMPAQUETADO 4
1.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA MÁQUINA EMPACADORA 4
1.2.1. SISTEMA DE CONTROL DE LA MÁQUINA EMPACADORA 4
1.2.2. PARTES IMPORTANTES DE LA MÁQUINA 5
1.2.2.1 Descripción del Funcionamiento 5
1.3 DOSIFICADOR VOLUMÉTRICO ROTATIVO 7
1.3.1 FUNCIONAMIENTO 7
1.4 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS PARA EL DISEÑO DEL MÓDULO DE AJUSTE Y CORRECCIÓN DE PESO 8
1.4.1 BALANZA ELECTRÓNICA 8
1.4.2 TOUCHSCREEN GLCD 9
1.4.2.1 Tecnología de la Pantalla Resistiva 10
1.4.2.2 Pantalla Gráfica LCD 12
1.4.3 ALMACENAMIENTO DE DATOS 13
1.4.3.1 Tarjeta MMC / SD 13
1.4.3.2 Comunicación SPI para Almacenamiento de Datos 15
1.4.3.3 Especificaciones del Bus 15
1.4.3.4 Modos del Reloj 16
1.4.4 SERVOMOTORES O MOTORREDUCTOR 17
1.4.4.1 Motores de Inducción Monofásicos 17
1.4.4.2 Caja Reductora 19
1.4.5 ENCODER 20

1.4.5.1 Tecnología 21
1.4.6 INTERRUPTOR FIN DE CARRERA 21
1.4.7 CILINDROS NEUMÁTICOS 22
1.4.5.1 Cilindros de Simple Efecto 23
1.4.5.2 Cilindros de Doble Efecto 24
CAPÍTULO 2 26
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE DEL MÓDULO DE AJUSTE Y CORRECCIÓN DE PESO 26
INTRODUCCIÓN 26
2.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA 26
2.2. EL MICROCONTROLADOR PIC18F452 27
2.3. INTERFAZ GRÁFICA PARA EL INGRESO DE VARIABLES 29
2.4. DISEÑO DE LA BALANZA ELECTRÓNICA PARA EL PASAJE DE LAS FUNDAS ... 31
2.4.1 PARÁMETROS DE SELECCIÓN PARA LA CELDA DE CARGA 32
2.4.2 APLICACIÓN DE LA GARGA EN LA CELDA 33
2.4.3 DISEÑO DEL CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO DE LA CELDA DE CARGA 34
2.4.3.1 Diseño de la Etapa de Amplificación 34
2.4.3.2 Diseño de la Etapa de Filtrado a las Entradas del Amplificador de Instrumentación AD620 37
2.4.3.3 Diseño de la Etapa de Filtrado a la Entrada del Microcontrolador 38
2.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DEL VOLANTE DE SELECCIÓN MANUAL DE PESO. 40
2.6. DISEÑO DEL ENCODER. 42
2.7 ALMACENAMIENTO DE DATOS EN LA MEMORIA SD. 44
2.7.1 COMUNICACIÓN SPI PARA ALMACENAMIENTO DE DATOS. 44
2.7.1.1 Comunicación SPI 44
2.8 DISEÑO DE LA FUENTE DE 24 V 49
2.9 DISEÑO DEL SISTEMA NEUMÁTICO DE CLASIFICACIÓN DE LAS FUNDAS EMPAQUETADAS 52
2.9.1 SELECCIÓN DE ELEMENTOS NEUMÁTICOS 52
2.9.1.1 Diseño de los Circuitos Electro neumáticos 54

2.10 ESTRUCTURA DEL MECANISMO DE PESAJE Y CLASIFICACIÓN DE LAS FUNDAS 55
2.11 ADAPTACION DEL SISTEMA MANUAL DE AJUSTE Y CORRECCIÓN DE PESO.. 56
2.11.1.1. Encoder y Fin de Carrera..... 58
2.12 TABLERO DE CONTROL. 59
2.12.1 PANEL DE MANDO, VISULAIZACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS... 60
2.12.1.1 Panel de Mando 60
2.12.1.2 Almacenamiento de Datos..... 61
2.13 IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE AJUSTE Y CORRECCION DE PESO..... 62
2.13.1. TARJETA PRINCIPAL DE CONTROL..... 63
2.13.2. TARJETA DE POTENCIA 63
2.13.3 FUENTES DE VOLTAJE DEL SISTEMA..... 64
CAPÍTULO 3..... 68
DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL 68
INTRODUCCIÓN 68
3.1 DIAGRAMAS DE FLUJO DEL SISTEMA DE AJUSTE Y CORRECCIÓN DE PESO..... 68
3.1.1 SUBRUTINA PRINCIPAL 69
3.1.2 SUBRUTINA PARA LA SELECCIÓN DE LAS OPCIONES EN EL MÓDULO..... 69
3.1.3 SUBRUTINA PARA LA OPCIÓN MANUAL..... 71
3.1.4 SUBRUTINA PARA LA POSICIÓN INICIAL DEL MOTOR 72
3.1.5 SUBRUTINA MOTOR MANUAL..... 73
3.1.6 SUBRUTINA PARA LA SELECCIÓN AUTOMÁTICA DEL PESO Y PRODUCTO (OPCIÓN AUTOMÁTICO) 74
3.1.7 SUBRUTINA PARA LA POSICIÓN DEL MOTOR CORRESPONDIENTE AL PESO REQUERIDO (MOTOR MARCHA) 77
3.1.8 SUBRUTINA DE LECTURA DEL CONVERSOR AD 78
3.1.9 SUBRUTINA PARA EL ALMACENAMIENTO DE DATOS EN LA TARJETA SD. 80
3.1.10 SUBRUTINA PARA LA VISUALIZACIÓN DE LAS BARRAS DE PORCENTAJE DE PRODUCCIÓN 82
3.2 COSTOS DEL PROTOTIPO. 83
CAPÍTULO 4..... 85
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS 85
INTRODUCCIÓN 85

4.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MECANISMO DE PESAJE Y CLASIFICACIÓN 85
4.1.1 PRUEBAS REALIZADAS A LA CELDA DE CARGA 86
4.4.1.1 Pruebas para la Determinación del Rango de Error 88
4.1.2 PRUEBAS REALIZADAS EN EL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN NEUMÁTICO. 93
4.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE SELECCIÓN DE PESO. 94
4.2.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTORREDUCTOR 94
4.2.1.1 Pruebas de Funcionamiento del Encoder y Fin de Carrera 94
4.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL TABLERO DE CONTROL 96
4.3.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA PANTALLA TÁCTIL 96
4.4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL ALMACENAMIENTO DE DATOS 98
4.5 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS BARRAS DE POCENTAJE DE PRODUCCIÓN 100
CAPÍTULO 5 102
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 102
5.1 CONCLUSIONES 102
5.2 RECOMENDACIONES 105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 106

PRESENTACIÓN

En la empresa MASCORONA ubicada en la cuidad de Ambato se realiza labores inherentes al empacamiento de granos, cuenta con dos máquinas las cuales empacan las diversas clases de granos y cereales como son: arroz, arveja, lenteja, maíz, etc.

La máquina empacadora INDUMAK modelo GR 1000 semiautomática, mantiene un funcionamiento manual en la dosificación del producto, siendo el operador el encargado de controlar el volumen de las copas mediante el giro de un volante lateral. El volante abre o cierra los vasos volumétricos aumentando o disminuyendo el peso en el producto.

Con los antecedentes antes mencionados se propone en el siguiente proyecto diseñar e implementar un módulo encargado del ajuste y corrección de peso en la máquina empacadora, que permita determinar el peso correcto en la fundas de forma automática.

El primer capítulo describe el funcionamiento de la máquina empacadora a la cual se propone adaptar el módulo de ajuste y corrección de peso, adicionalmente se describe los elementos a utilizar.

En el capítulo dos se realiza el diseño electrónico de las siguientes partes que constituyen la máquina: Acondicionamiento de la celda de carga, acoplamiento y censado de la posición del motor, fuentes de alimentación, manejo de electroválvulas, interfaz gráfica con la Pantalla GLCD Touchscreen con el microcontrolador.

En el capítulo tres se realiza una descripción de la implementación del módulo de ajuste y corrección de peso acoplado a la maquina empacadora INDUMAK.

En el capítulo cuatro se realizan las pruebas de funcionamiento en las diferentes partes que constituyen el módulo y la recopilación de los resultados en el desarrollo del siguiente proyecto.

El capítulo cinco contiene las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el proyecto.

En los anexos se incluyen los planos de control y las hojas técnicas de los equipos utilizados.

RESUMEN

El presente trabajo tiene la finalidad de proveer a la Empresa Mascorona un módulo de ajuste y corrección, para la máquina empacadora GR-1000, con el propósito de controlar el volante que regula el peso del grano.

El módulo también controla el sistema de verificación y clasificación de las fundas según su peso (correcto e incorrecto), después de la etapa del corte y sellado de las mismas.

Para controlar las variables que gobiernan el proceso, se utilizó una interfaz gráfica GLCD, a través de la cual el operador puede seleccionar las diferentes opciones de control y visualización.

Para el control y monitoreo de los parámetros, se utilizó un microcontrolador PIC18F452, el cual se encarga de controlar el motorreductor que regula el peso (vasos volumétricos), así como también controla las electroválvulas para la clasificación de las fundas.

En el sistema de verificación, se acopló estratégicamente una celda de carga para controlar el ajuste del peso.

En la pantalla táctil GLCD se visualizan en barras de porcentaje el proceso de empaquetamiento.

El módulo guarda la información en un dispositivo de memoria externa SD con los datos de producción (fundas bien, fundas mal, fundas total).

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE EMPAQUETADO

Este capítulo se enfoca a la descripción de las características técnicas de la máquina empacadora, define también conceptos generales sobre el proceso de empaquetado. Además los componentes necesarios para el diseño y construcción del módulo de corrección de peso.

1.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA MÁQUINA EMPACADORA

1.2.1. SISTEMA DE CONTROL DE LA MÁQUINA EMPACADORA

Varios componetes conforman el sistema eléctrico de la máquina empacadora, siendo el más importante el PLC (Controlador Lógico Programable), responsable de todo el sincronismo de la máquina, lectura de las señales de los sensores y el accionamiento de los dispositivos (elementos finales de control o actuadores), como contactores, relés, bobinas de válvulas y llaves estáticas (para el soldado final de la funda).

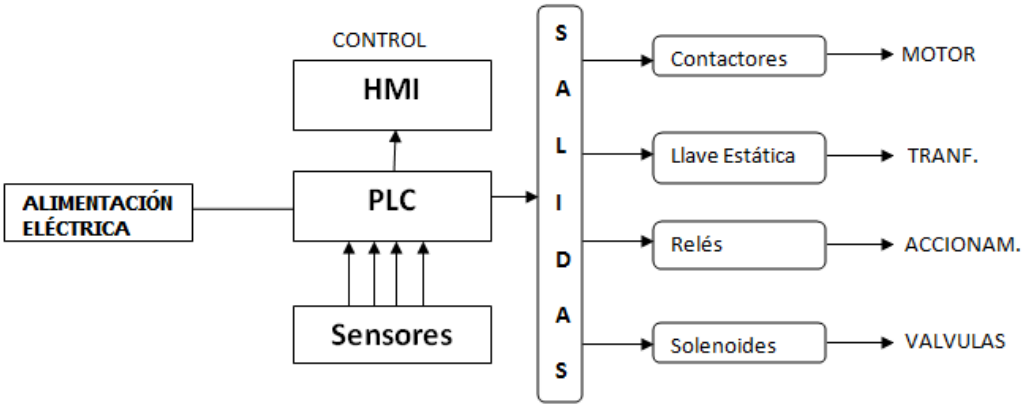


Figura 1.1 *Diagrama de bloques de los componentes del sistema de control de la máquina empacadora.*

1.2.2. PARTES IMPORTANTES DE LA MÁQUINA

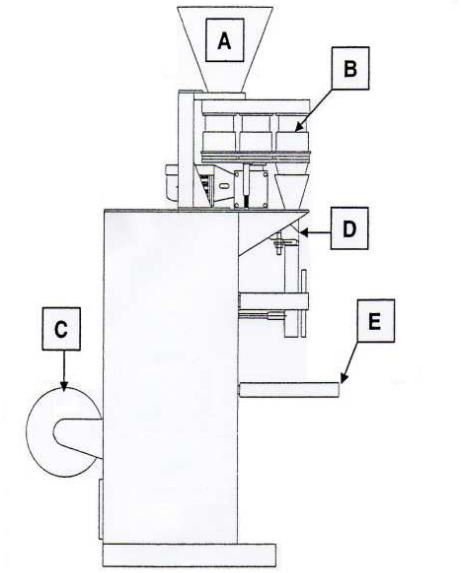


Figura 1.2 *Partes importantes de la máquina. [1]*

A. Embudo de deposito: Almacenamiento de materia prima a empaquetar.
B. Dosificador: Donde es controlado el peso del producto que será empacado
C. Bobina Plástica: Envoltura del producto.
D. Tubo formador: Transforma la lámina de plástico en tubo
E. Mordaza: Donde es realizada la soladadura superior e inferior del paquete y consecuentemente el corte.

1.2.2.1 Descripción del Funcionamiento

La máquina empacadora utiliza varios dispositivos de control y elementos mecánicos necesarios para el empaquetamiento del producto. A continuación una breve descripción del funcionamiento de la máquina empacadora.

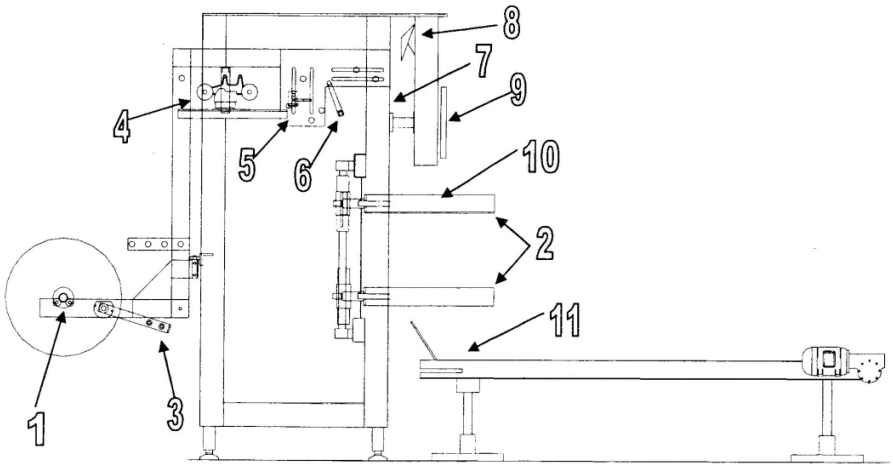


Figura 1.3 *Descripción de los componentes y su funcionamiento en la máquina. [1]*

La bobina plástica (film) es colocada en el eje del rodillo de la bobina (1), desenrollado por el fraccionamiento del filme, realizado por la meza frontal (sube baja) (2), éste libera el freno del eje de la bobina (3), liberando la bobina.

La bobina pasa a través del fechador (4), éste imprime la fecha de validación y fabricación. Luego pasa por el control fotoeléctrico (5) que determina el tamaño del paquete, a través de las marcas impresas en el filme plástico. El control del punto de corte del paquete es realizado a través de un rodillo móvil (6), regulado por una manopla (volante) en la parte frontal de la máquina (7).

La película plástica entra en el conjunto formador (8), donde es dado el formato al paquete. La soldadura lateral del paquete es realizado por el brazo de la soldadora vertical (9), sirviendo también para sujetar el paquete en el momento en que la mordaza lo libera y sube para iniciar el contra ciclo.

La soldadura de la boca y del fondo del paquete es realizada por la mordaza en conjunto con el metal de la soldadora horizontal (10) y el enfriamiento de la soldadura.

Después de completado el ciclo (paquete armado), la mordaza libera el paquete sobre una banda trasportadora, en caso de existir la necesidad de trasportar los paquetes a una área de embalaje.

1.3 DOSIFICADOR VOLUMÉTRICO ROTATIVO

La aplicación del dosificador volumétrico es empleado en productos de granulometria regular, uniforme y sin polvo.

1.3.1 FUNCIONAMIENTO

El producto es colocado sobre el embudo de depósito, manteniedo siempre lleno la tolva (01), el dosificador gira los vasos pasándolos bajo el embudo (02) como se indica en la Figura 1.4. .

El vaso lleno es transportado hasta el punto de despeje (03), el producto es conducido por el embudo de despeje (04) hacia el interior del paquete formado como se observa en la Figura 1.4.

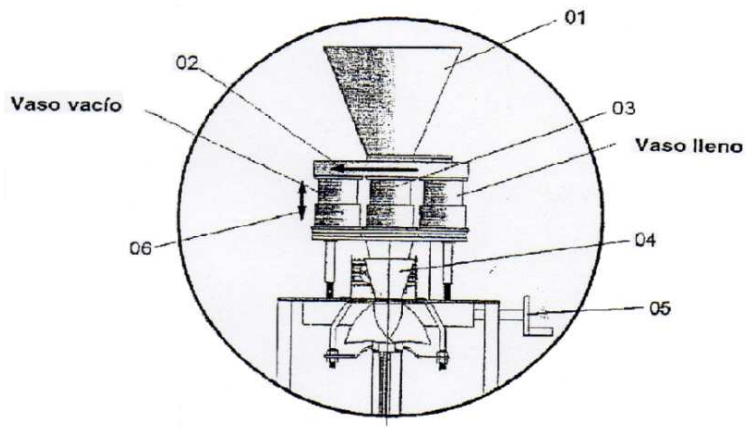


Figura 1.4 *Partes importantes del dosificador volumétrico. [1]*

La regulación es hecha por un volante lateral (05), éste abre o cierra los vasos aumentando o diminuyendo el peso.

El giro del dosificador es ejecutado por un motorreductor. En el eje principal del dosificador (eje árbol) bajo el reductor, está sujeto un disco con cuatro tornillos. Este disco es responsable del punto de parada del dosificador.

El punto de parada es regulado soltando un tornillo traba y girando el disco en sentido horario para atrasar el punto de parada o antihorario para adelantar el punto de parada. El conteo es realizado por un PLC, para sincronizarlo con los otros accionamientos de la máquina.

La parada es realizada por el sensor que emite una señal en el pasaje del tornillo preso en el disco.

1.4 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS PARA EL DISEÑO DEL MÓDULO DE AJUSTE Y CORRECCIÓN DE PESO

1.4.1 BALANZA ELECTRÓNICA

No existe diferencia entre los términos balanza y báscula, sin embargo se tiende a usar la expresión báscula para designar a una balanza de mayor capacidad como son las balanzas para ganado o camiones.

La balanza o báscula es un instrumento utilizado para conocer la masa de un cuerpo, a través de la medición de la fuerza de gravedad que la tierra ejerce sobre éste, es decir el peso. Realiza la medición basándose en las leyes de la mecánica y funciona equilibrando dos fuerzas que pueden ser de diferente naturaleza, pero al menos una de éstas es el peso.

Las balanzas pueden clasificarse según su tipo de funcionamiento en balanzas mecánicas y balanzas electrónicas.

Sea cual fuere el mecanismo sensor de peso en una balanza electrónica, la característica básica es que entrega una señal de voltaje o frecuencia que debe ser acondicionada y procesada para su posterior visualización.

Las balanzas electrónicas actualmente operan de una forma determinada gracias a la presencia de un sensor. Dicho sensor, funciona de manera electrónica y es conocido comúnmente con el nombre de celda de carga o bien célula de carga. Se trata de la base que permite el funcionamiento de la balanza en cuestión, en especial porque envía una señal a un sistema de indicador electrónico de lectura.

En definitiva, podemos pensar al sensor como un tipo de resorte, al cual es posible medirle las deformaciones que presenta a través de un operativo de índole electrónica.

Los elementos de una balanza estarán orientados a soportar el peso para el que fue diseñado el equipo y a proporcionar el rango de medición requerido en la aplicación.

Como elementos se tiene:

- Bandeja de Pesaje.
- Sensor de Peso.
- Acondicionador de la señal.
- Microprocesador.
- Elementos de Visualización.

1.4.2 TOUCHSCREEN GLCD

Una pantalla TOUCHSCREEN GLCD es un panel táctil, que tiene un fino panel autoadhesivo colocado sobre la pantalla de un LCD gráfico. Es muy sensible a la presión de manera que un suave toque provoca algunos cambios en la señal de

salida. Hay diferentes tipos de paneles táctiles. El más sencillo de ellos es el panel táctil resistivo [2].

1.4.2.1 Tecnología de la Pantalla Resistiva

La pantalla táctil propiamente dicha está formada por dos láminas o capas de material conductor transparente, con una cierta resistencia a la corriente eléctrica, y con una separación entre las dos capas. Cuando se toca la capa exterior se produce un contacto entre las dos capas conductoras.

Las láminas o capas conductoras están inpregnadas de un material conductivo transparente hecho de óxido de indio (ITO), el cuál permite conducir un voltaje cuando se aplica presión entre las laminas. Un sistema electrónico detecta el contacto, midiendo la resistencia se puede calcular el punto de contacto.

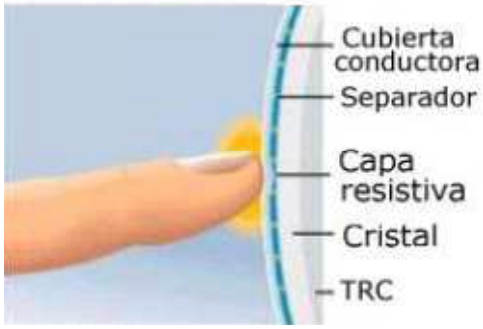


Figura 1.5 *Panel táctil de tecnología resistiva. [2]*

Las láminas conductora transparentes tienen a sus extremos barras conductoras las cuales están fabricadas con un material conductor (Tinta de Plata) como se muestra en la figura 1.6.

Hay varios tipos de pantallas resistiva y de acuerdo al número de hilos podemos encontrar de cuatro, cinco, u ocho hilos, basados en el mismo sistema.

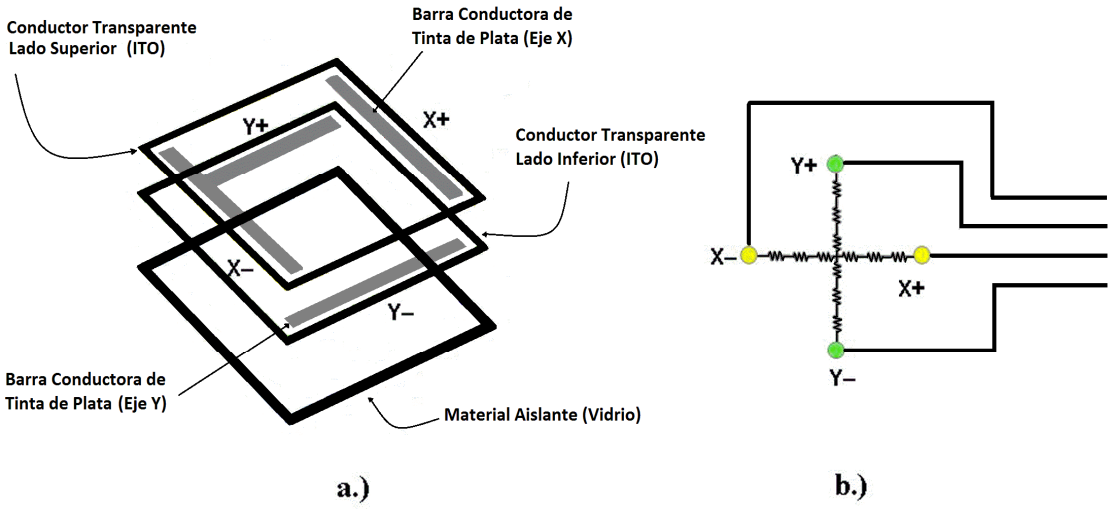


Figura 1.6: ***a)*** *Capas del panel táctil.* ***b)*** *Esquema resistivo de la lámina touchscreen.*

Un panel táctil resistivo está compuesto por dos láminas rígidas transparentes, formando una estructura “sándwich”, que tienen una capa resistiva en sus caras internas. La resistencia de estas capas no excede normalmente de 1Kohm.

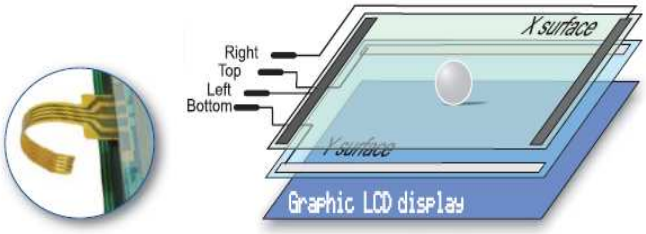


Figura 1.7 *Estructura Interna del panel táctil. [3]*

Los lados opuestos de las láminas disponen de contactos para acceder a un cable plano. El procedimiento para determinar las coordenadas de la posición del panel que ha sido presionada puede dividirse en dos pasos. El primero es la determinación de la coordenada X y el segundo el de la coordenada Y del punto.

Para determinar la coordenada X, es preciso conectar el contacto izquierdo de la superficie X a masa y el contacto derecho a la fuente de alimentación. Esto

permite obtener un divisor de tensión presionando el panel táctil. El valor de la tensión obtenida en el divisor se puede leer en el contacto inferior de la superficie Y. La tensión variará en el rango de 0V a la tensión suministrada por la fuente de alimentación y depende de la coordenada X. Si el punto está próximo al contacto izquierdo de la superficie X, la tensión estará próxima a 0 V. Para la determinación de la coordenada Y, es preciso conectar el contacto inferior de la superficie Y a masa, mientras que el contacto superior se conectará a la fuente de alimentación. En este caso, la lectora de la tensión se hará en el contacto izquierdo de la superficie X.

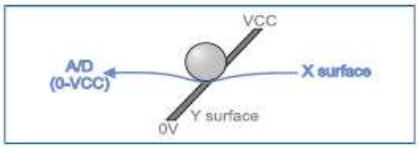


Figura 1.8 *Determinación de la coordenada Y [3].*

1.4.2.2 Pantalla Gráfica LCD

Una Pantalla Grafica de Cristal Líquido GLCD (acrónimo de inglés Graphic Liquid Crystal Display) es una pantalla delgada y plana formada por un cierto número de pixeles en color o monocromático colocado delante de una fuente de luz o reflectora.

CARACTERISTICAS:

- Formato del Display: 128 X 64
- Interfaz sencilla con 8 bits MPU
- Bajo consumo de energía
- Color de Luz: (Backlight) Red/Green/Blue (RGB).
- Controlador CI: S6B0108

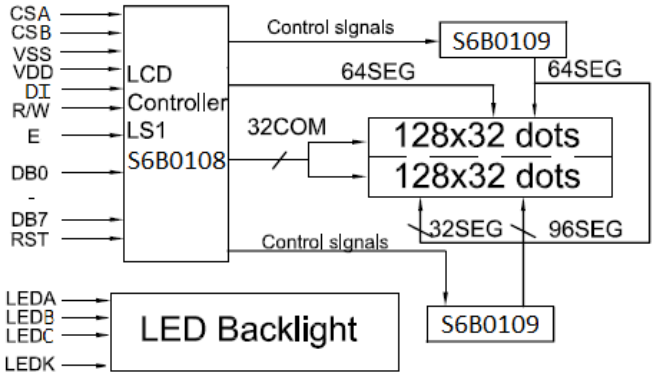


Figura 1.9 *Diagrama de Bloques de un GLCD [4].*

1.4.3 ALMACENAMIENTO DE DATOS

1.4.3.1 Tarjeta MMC / SD

En este diseño usamos como interfaz la tarjeta digital segura (SD), que también se aplica para tarjeta multi-media (MMC). El diseño fue elaborado principalmente con el propósito de almacenar datos de producción en una tarjeta MMC ó SD.

El protocolo de las tarjetas SD es SPI (Serial Peripherical Interface), el cual requiere ciclos de reloj (con chip select inactivo) que se suministra después de cada comando y permite que el dispositivo termine la ejecución del comando.

La interfaz de la tarjeta SD acoge de igual forma la operación de una tarjeta multi-media (MMC), se podría decir que la compatibilidad entre las dos es grande con pequeñas diferencias entre la SD card y la MMC las cuales se muestran a continuación.

La tarjeta SD respalda otros modos que no están presentes en la MMC, incluyendo SDIO (Entrada/salida digital segura o en inglés Secure Digital

Input/Ouput) que se puede utilizar como interfaz de comunicación externa usando el formato de tarjeta estándar del SD.

Las especificaciones de la tarjeta SD soportan una frecuencia de reloj máxima de 25 MHZ, y las especificaciones de las MMC tienen una frecuencia de reloj máxima de 52 MHZ.

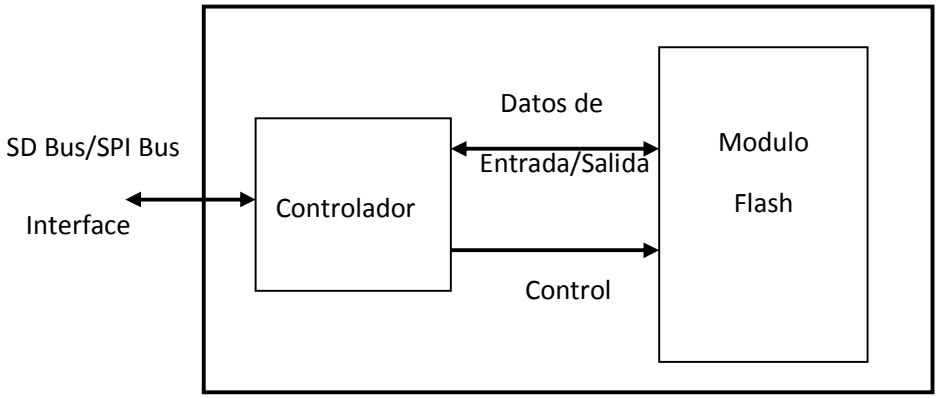
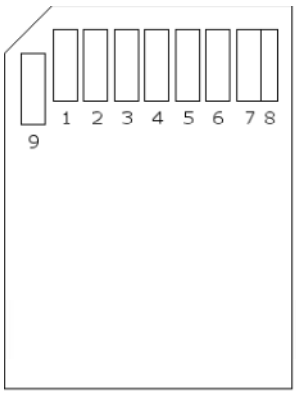


Figura 1.10 *Diagrama de Bloques de la MMC / SD Card [5].*

La tarjeta SD soporta una interfaz básica tipo SPI para una conexión sencilla a otros dispositivos. A continuación se muestra en la figura 1.11 la distribución de los pines en la tarjeta SD.



Pin	SPI Function
1	Chip select
2	MOSI
3	GND
4	VCC
5	SCLK
6	GND
7	MISO
8	NC (SD only)
9	NC (SD only)

Figura 1.11 *Distribución de los pines en la tarjeta SD.*

1.4.3.2 Comunicación SPI para Almacenamiento de Datos

La comunicación SPI es un bus de tres líneas, sobre el cual se transmiten paquetes de información de 8 bits. Cada una de estas tres líneas porta la información entre los diferentes dispositivos conectados al bus. Cada dispositivo conectado al bus puede actuar como transmisor y receptor al mismo tiempo, por lo que este tipo de comunicación serial es full dúplex. Dos de estas líneas trasfieren los datos (una en cada dirección) y la tercer línea es la del reloj.

Algunos dispositivos solo pueden ser transmisores y otros solo receptores, generalmente un dispositivo que tramite datos también puede recibir.

Los dispositivos conectados al bus son definidos como maestros y esclavos. Un maestro es aquel que inicia la transferencia de información sobre el bus y genera las señales de reloj y control.

Un esclavo es un dispositivo controlado por el maestro. Cada esclavo es controlado sobre el bus a través de una línea selectora llamada **Chip Select o Select Slave**, por lo tanto el esclavo es activado solo cuando esta línea es seleccionada. Generalmente una línea de selección es dedicada para cada esclavo.

El bus SPI emplea un simple registro de desplazamiento para transmitir la información.

1.4.3.3 Especificaciones del Bus

Todas las líneas del bus transmiten la información sobre una sola dirección. La señal sobre **la línea de reloj (SCLK)** es generada por el maestro y sincroniza la transferencia de datos.

La línea MOSI (Master Out Slave In) transporta los datos del maestro hacia el esclavo.

La línea MISO (Master In Slave Out) transporta los datos del esclavo hacia el maestro.

Cada esclavo es seleccionado por un nivel lógico bajo ('0') a través de la línea **CS** (Chip Select) o **SS** (Select Slave). Los datos sobre este bus pueden ser transmitidos hasta 1 Megabit/ segundo**.** Los datos son transferidos en bloques de 8 bits, en donde el bit más significativo (MSB) se transmite primero.

1.4.3.4 Modos del Reloj

Todas las transferencias de los datos, son sincronizados por la línea de reloj de este bus. Un BIT es transferido por cada ciclo de reloj. La mayoría de las interfaces SPI tienen 2 bits de configuración, llamados **CPOL** (Clock Polarity o Polaridad de Reloj) y **CPHA** (Clock Phase o Reloj de Fase). **CPOL** determina si el estado **Idle** (Detección de línea inactiva para el reloj) de la línea de reloj está en bajo (**CPOL=0**) o si se encuentra en un estado alto (**CPOL=1**). CPHA determina en que flanco de reloj los datos son desplazados hacia dentro o hacia fuera. (Si **CPHA=0** los datos sobre la línea MOSI son detectados cada flanco de bajada y los datos sobre la línea MISO son detectados cada flanco de subida).

Cada BIT tiene 2 estados, lo cual permite 4 diferentes combinaciones, las cuales son incompatibles una de la otra. Por lo que si dos dispositivos SPI desean comunicarse entre si, estos deben tener la misma Polaridad de Reloj **(CPOL)** y la misma Fase de Reloj **(CPHA)** [6]**.**

A continuación podemos ver cómo se realiza la entrada y la salida de datos en el modo SPI:

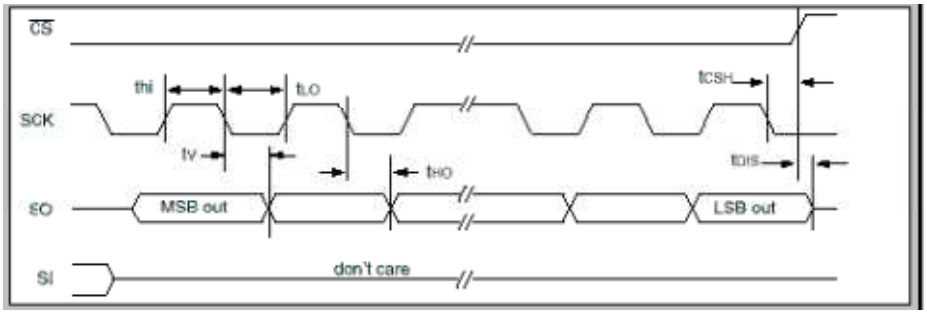


Figura 1.12 *Entrada de datos SPI*

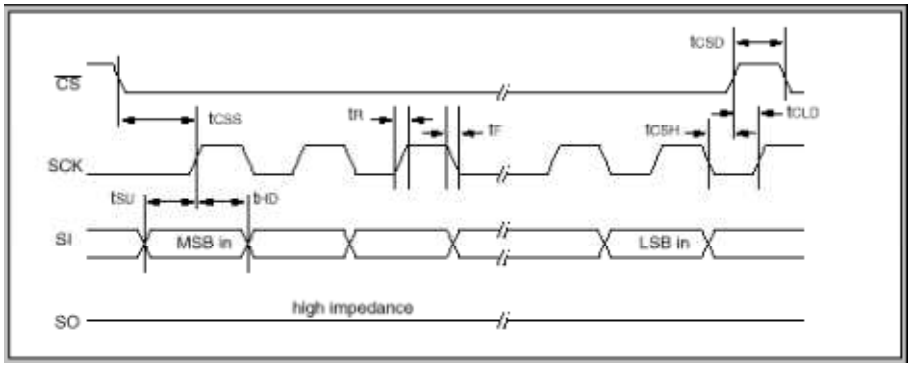


Figura 1.13 *Salida de datos SPI*

1.4.4 SERVOMOTORES O MOTORREDUCTOR

1.4.4.1 Motores de Inducción Monofásicos

Son motores con un solo devanado en el estator o también llamado devanado inductor. Prácticamente todas las realizaciones de este tipo de motores son con el rotor jaula de ardilla. Suelen tener potencias menores de 1KW, aunque hay notables excepciones como los motores de los aires acondicionados con potencias superiores a 10KW [7].

El rotor de jaula de ardilla es la parte que rota y es usada comúnmente motores de inducción de corriente alterna. Un motor eléctrico con un rotor de jaula de ardilla también se llama "motor de jaula de ardilla". En su forma instalada, es un cilindro montado en un eje. Internamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o de cobre con surcos y conectados juntos en ambos extremos poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula.

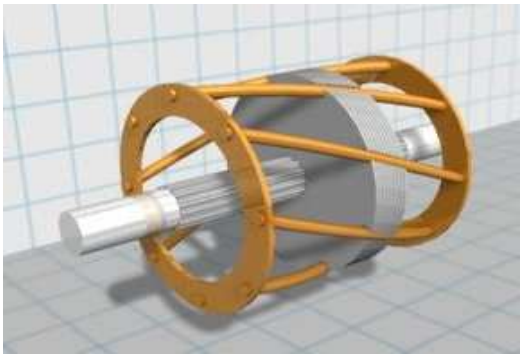


Figura 1.14 *Esquema del rotor jaula de ardilla [8].*

Los devanados en el estator de un motor de inducción estimulan al campo magnético a rotar alrededor del rotor. El movimiento relativo entre este campo y la rotación del rotor induce una corriente eléctrica en las barras conductoras. Alternadamente, estas corrientes que fluyen longitudinalmente en los conductores reaccionan con el campo magnético del motor produciendo una fuerza que actúa tangente al rotor, dando por resultado un esfuerzo de torsión para dar vuelta al eje.

En efecto, el rotor se lleva alrededor el campo magnético pero en un índice levemente más lento de la rotación de campo. La diferencia en velocidad se llama "deslizamiento" y aumenta con la carga.

El núcleo de hierro sirve para llevar el campo magnético a través del motor. En estructura y material se diseña para reducir al mínimo las pérdidas.

Los motores monofásicos se pueden alimentar entre una fase y el neutro o entre dos fases. No presentan los problemas de excesiva corriente de arranque, debido a su pequeña potencia, por tanto todos ellos utilizan el arranque directo [9].

1.4.4.2 Caja Reductora

Las cajas reductoras o unidades reductoras son diseñadas a base de engranajes, mecanismos circulares y dentados con geometrías especiales de acuerdo con su tamaño y la función en cada motor. Permiten que los motores eléctricos funcionen a velocidades menores que las que fueron diseñados [10].

Rara vez las máquinas funcionan de acuerdo con las velocidades que les ofrece el motor, por ejemplo, a 1.800, 1.600 o 3.600 revoluciones por minuto. La función de una caja reductora es disminuir esta velocidad (a 50, 60, 100, 134 rpm) y permitir el adecuado funcionamiento de las máquinas, agregándole por otro lado mayor torque.

Las cajas reductoras son utilizadas con el propósito de manejar velocidades pequeñas de forma eficiente y segura en máquinas, bandas transportadoras, en general todo lo que se refiere a máquinas para la industria.

Figura 1.15 *Motor acoplado a una caja reductora.*

Los beneficios obtenidos al usar esta forma de reducción de velocidad son:

- Una regularidad perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.
- Una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.

- Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos en el mantenimiento.
- Menor espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.
- Menor tiempo requerido para su instalación.

Los motor reductores se suministran normalmente acoplando a la caja o unidad reductora un motor eléctrico normalizado asincrónico tipo jaula de ardilla, totalmente cerrado y refrigerado por ventilador en caso de ser necesario para conectar a redes trifásicas de 110/220/440 voltios y 60 Hz [11].

1.4.5 ENCODER

Los Encoders son sensores que generan señales digitales en respuesta al movimiento. Están disponibles en dos tipos, uno que responde a la rotación, y el otro al movimiento lineal. Cuando son usados en conjunto con dispositivos mecánicos tales como engranes, ruedas de medición o flechas de motores, estos pueden ser utilizados para medir movimientos lineales, velocidad y posición.

Los encoders están disponibles con diferentes tipos de salidas, uno de ellos son los ENCODER INCREMENTABLES, que generan pulsos mientras se mueven, se utilizan para medir la velocidad o la trayectoria de posición. El otro tipo son los ENCODERS ABSOLUTOS que generan multi-bits digitales, que indican directamente su posición actual.

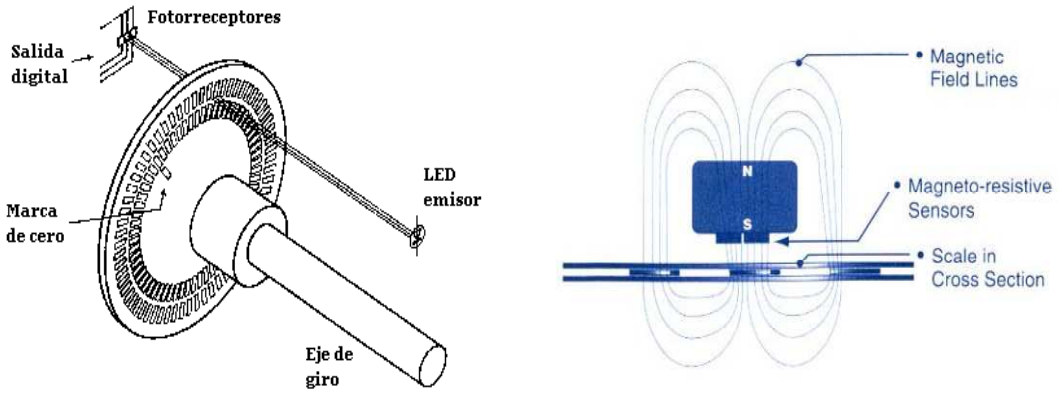
Los encoders pueden ser utilizados en una gran variedad de aplicaciones. Actúan como transductores de retroalimentación para el control de la velocidad en motores, como sensores para medición, de corte y de posición. También como entrada para velocidad y controles de rango.

1.4.5.1 Tecnología

Los Encoders utilizan tanto tecnología óptica como magnética. El sensor óptico provee altas resoluciones, velocidades de operaciones altas, y con seguridad, operación de larga vida en la mayoría de los ambientes industriales.

Los sensores magnéticos, se utilizan frecuentemente en aplicaciones de trabajo pesado como en laminadoras de papel y acero, proveen buena resolución, altas velocidades de operación, y máxima resistencia al polvo, humedad, y golpe térmico y mecánico.

A continuación en la figura se muestra las tecnologías utilizadas en la fabricación del encoder:



a) **b)**

Figura 1.16 a) *Encoder Óptico.* ***b)*** *Encoder Magnético [12].*

1.4.6 INTERRUPTOR FIN DE CARRERA

El Interruptor final de carrera o sensor de contacto (también conocido como "interruptor de límite" o limit swicht), es un dispositivo mecánico situados al final del recorrido de un elemento móvil, como por ejemplo una cinta transportadora,

con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito. Internamente pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA), cerrados (NC) o conmutador dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados.

Generalmente estos sensores están compuestos por dos partes: un cuerpo donde se encuentran los contactos y una cabeza que detecta el movimiento.

Su uso es muy diverso, empleándose, en general, en todas las máquinas que tengan un movimiento rectilíneo de ida y vuelta o sigan una trayectoria fija, es decir, aquellas que realicen una carrera o recorrido fijo, como por ejemplo ascensores, montacargas, robots, etc [13].

Figura 1.17 *Interruptor Fin de Carrera.*

1.4.7 CILINDROS NEUMÁTICOS

Los cilindros neumáticos transforman la energía del aire comprimido en un movimiento lineal, este movimiento puede ser utilizado para el avance y retroceso de un mecanismo.

Los actuadores neumáticos son los componentes capaces de transformar la energía del aire comprimido en trabajo mecánico. Los cilindros neumáticos se encuentran dentro de esta clasificación.

Un cilindro es un tubo que está cerrado por los extremos, en cuyo interior se desliza un émbolo unido a un vástago que atraviesa uno de los fondos. Dispone de aperturas por donde entra y sale el aire comprimido.

Figura 1.18 *Cilindros Neumáticos.*

Los cilindros neumáticos se pueden dividir en dos grandes grupos: de simple y de doble efecto. Los primeros realizan el esfuerzo activo en un solo sentido y el retorno depende de un muelle o membrana que devuelve el émbolo a su posición inicial. Los cilindros de doble efecto actúan de modo activo en los dos sentidos [14].

1.4.5.1 Cilindros de Simple Efecto

Los más comunes tienen un retorno por muelle. El aire comprimido alimenta la cámara posterior, lo que hace avanzar el pistón, venciendo la resistencia del muelle. El retroceso se verifica al evacuar el aire a presión de la parte posterior, lo que permite al muelle comprimido devolver libremente el vástago a su posición de partida.

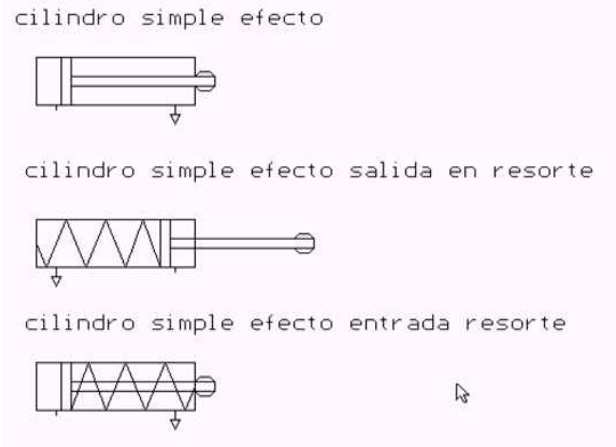


Figura 1.19 *Simbología de los cilindros de simple efecto.*

1.4.5.2 Cilindros de Doble Efecto

Tal y como se ha dicho, en estos cilindros desaparece el muelle o la membrana de retorno y ambas carreras (avance y retroceso) son activas.

Al dar aire a la cámara posterior del cilindro y evacuar simultáneamente el aire de la cámara anterior, el vástago del cilindro avanza y, cuando se realiza la función inversa, el vástago retrocede.

Estos cilindros son los más utilizados ya que el retorno no depende de un elemento mecánico sometido a desgaste y fatiga.

Los cilindros de doble efecto con doble vástago es una variante del cilindro de doble efecto. El émbolo, en este caso, tiene dos vástagos, uno a cada lado, de modo que, cuando uno avanza, el otro retrocede. Es ideal para montarlo en instalaciones donde, por razones de espacio, la detección del final de carrera deberá hacerse sobre el vástago auxiliar y no sobre el de trabajo.

Los cilindros de doble efecto con amortiguador son una variante del cilindro de doble efecto. Esta ejecución se utiliza para amortiguar masas con gran inercia, asegurando una disminución de la velocidad al final de su recorrido y evitando golpes bruscos que podrían afectar al cilindro y a los útiles que éste transporta.

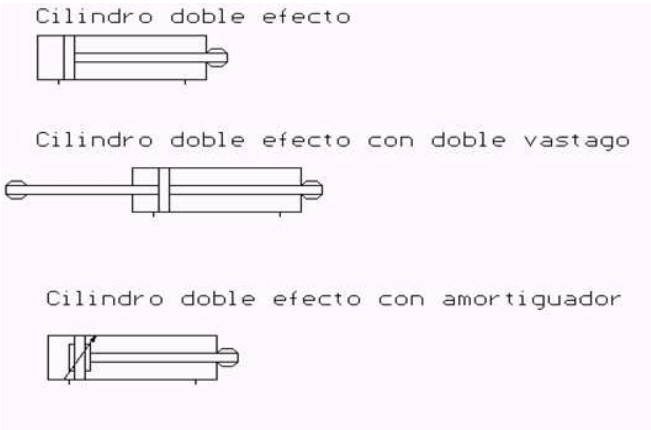


Figura 1.20 *Simbología de los cilindros de doble efecto.*

CAPÍTULO 2

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE DEL MÓDULO DE AJUSTE Y CORRECCIÓN DE PESO

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se detallará los aspectos de diseño de las diferentes etapas que componen el módulo de ajuste y corrección de peso, que hacen posible la corrección del peso en las fundas y el correcto funcionamineto del sistema.

El sistema consta de una balanza encargada de pesar el producto, un sistema clasificador mediante cilindros neumáticos que se encargan del transporte y descarte de las fundas, un sistema de ajuste de peso (motorreductor), una interfaz gráfica por medio de una GLCD Touch y un sistema de microprocesamiento de las variables que intervienen en el proceso.

2.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA

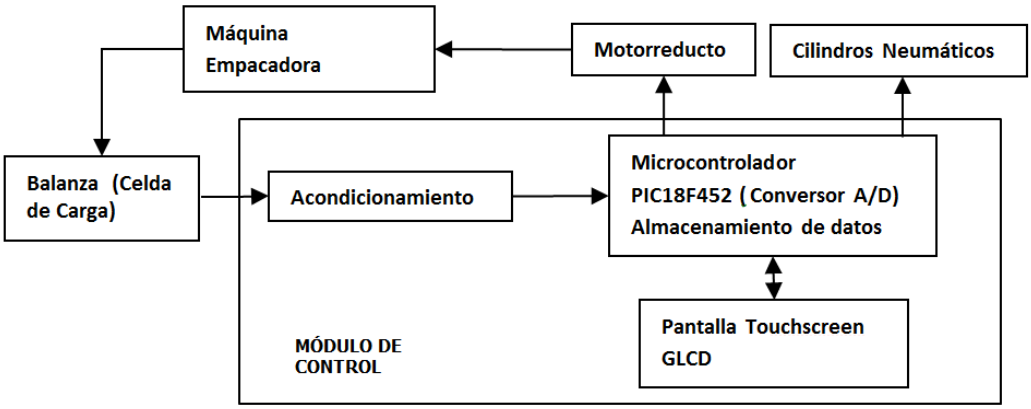


Figura 2.1 *Diagrama de bloques del módulo de control y elementos del sistema.*

La máquina empacadora al estar conectada al módulo de ajuste y correcion de peso necesita de los siguientes componentes para el análisis de las variables que intervienen en el proceso, como se muestra en la figura 2.1.

2.2. EL MICROCONTROLADOR PIC18F452

Para la realización de este proyecto de titulación se decidió usar el microcontrolador PIC18F452, que es el dispositivo encargado de realizar cálculos aritméticos y lógicos y que temporiza y controla las operaciones de los demás elementos de un sistema.

Una de las razones principales para la selección de este microcontrolador fue el hecho que soporta la comunicación serial SPI, que requiere para el intercambio de datos en la tarjeta SD; como otro argumento, es que posee 5 puertos para cubrir todas la necesidades del presente proyecto; adicionalmente, este PIC cuenta con una capacidad de memoria de programa (32 Kilobytes) y de datos (1.5 Kilobytes) suficientes para esta aplicación.

Las características fundamentales del microcontrolador utilizado en éste proyecto se resume a continuación.

Características PIC18F452	
Frecuencia de operación	DC- 40 MHz
Memoria de programa	32 kilo bytes
Memoria de datos	1.5 Kilo bytes
Memoria de datos EEPROM	256 bytes
Fuentes de Interrupción	18

Puertos I/O	5
Timers	4
Módulo PWM	2
Comunicación serial	MSSP, USART
Comunicación paralelo	1 PSP
Módulo ADC	8 canales de ingreso
Set de instrucciones	75 instrucciones
Encapsulado	40 pines

Tabla 2.1 *Características principales del Microcontrolador PIC18F452*

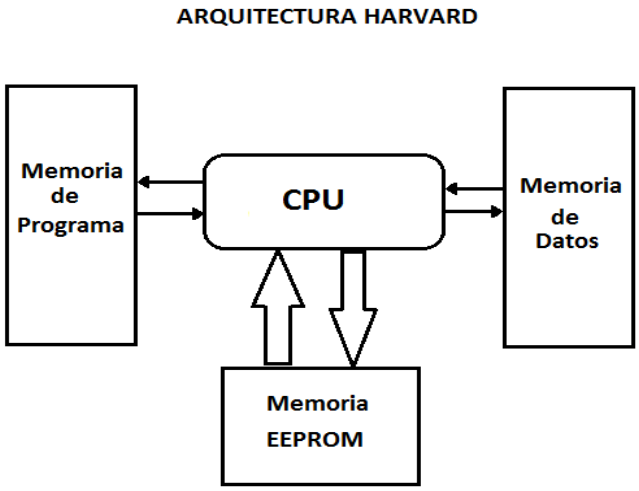


Figura 2.2 *Organización de la Memoria del Microprocesador*

2.3. INTERFAZ GRÁFICA PARA EL INGRESO DE VARIABLES

Este proyecto utiliza una interfaz gráfica constituida por una pantalla gráfica de cristal líquido (GLCD) para la presentación de datos de producción; además, sobre su superficie está colocado el panel táctil, a través de la cual se ingresa los valores de las variables que intervienen en el proceso.

Este LCD gráfico posee 21 pines de conexión, que son descritos en el anexo correspondiente a la hoja de datos del dispositivo; de los cuales, 8 pines corresponden a un bus de datos (D0, D1,……, D7) y 5 conforman el bus de control (CS1, CS2, RS, RW, RST). Además, este dispositivo cuenta con un backlight (luz de fondo) de color rojo, verde y azul para una mejor visualización de los datos presentados en la LCD. Para este proyecto solo se utilizó el led de color verde.

La arquitectura presente en la pantalla tactil, usa una configuración de cuatro hilos (RX1, RX2, RY1, RY2), las cuales se conectan ditectamente a los pines del microcontrolador PIC, para determinar el punto de presion en la pantalla,como se muestra en la figura 2.3.

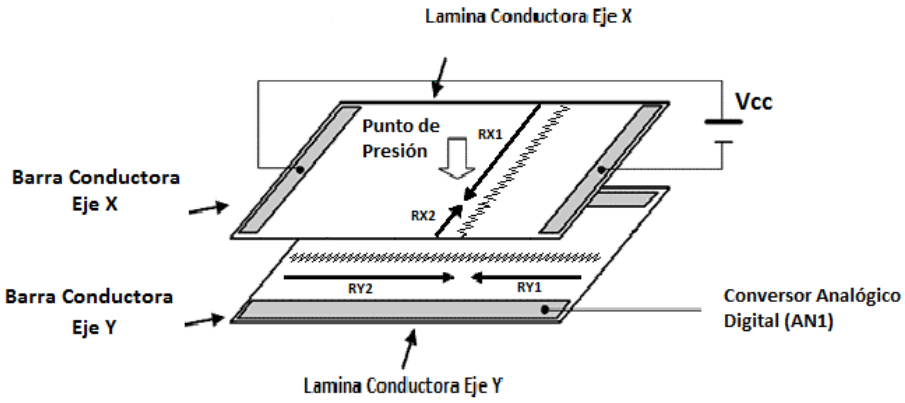


Figura 2.3 *Gráfico del Punto de Presión en la Pantalla Táctil.*

El funcionamiento de la pantalla táctil y su interacción con los conversores ADC del microprocesador se lo puede resumir de la siguiente forma:

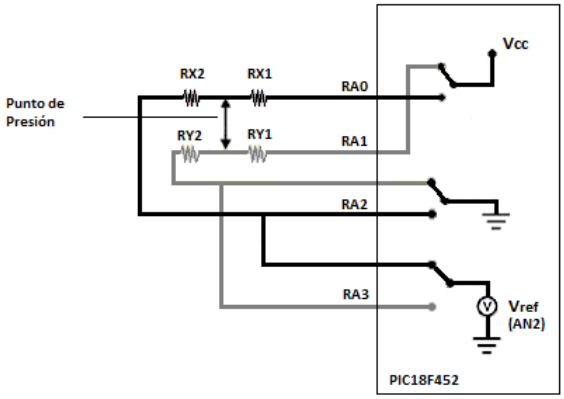


Figura 2.4 *Conexión de los filamentos de la Pantalla Táctil a los conversores del Microcontrolador*

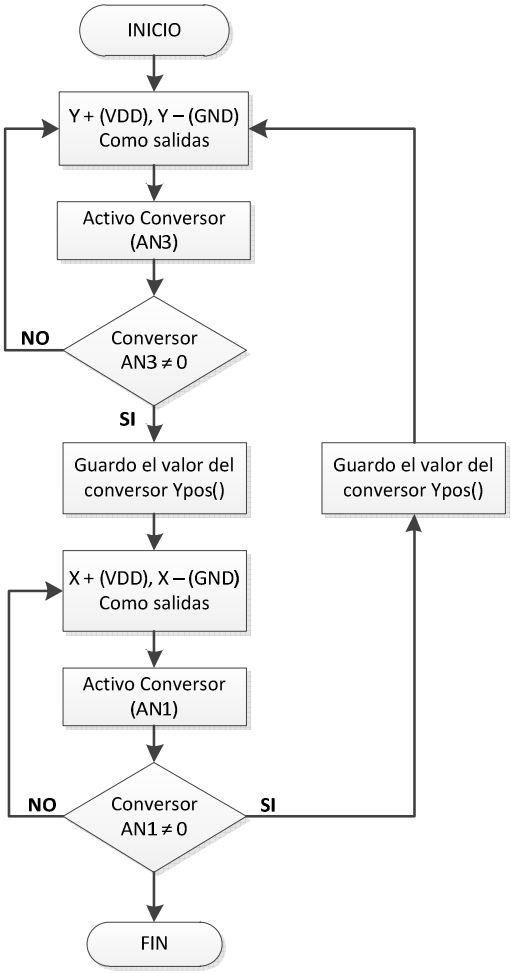


Figura 2.5 *Diagrama de flujo para la subrutina de detección de las coordenadas en la pantalla táctil.*

- Se conecta una de las barras conductoras (Y-) a uno de los conversores analógicos digitales (AN1) y los terminales X+ y X-, se someten a una tensión de 5V. Al momento de aplicar presión en las láminas, la señal en el conversor ADC es procesado por el microprocesador para determinar las coordenadas en el eje X.

- De igual forma, para la otra lamina conductora, se conecta una de las barras conductoras (X-) al conversor analógico digital (AN3) y conectamos una tesión continua de 5V a los terminales Y+ y Y- , el procesador se encarga de calcular las coordenadas en el eje Y obteniendo de esta forma la posicion del punto de presión.

De esta froma obtenemos las coordendas de cualquier punto que presionemos en la pantalla.

2.4. DISEÑO DE LA BALANZA ELECTRÓNICA PARA EL PASAJE DE LAS FUNDAS

El sistema de pesaje puede resumirse en el siguiente diagrama de bloques.

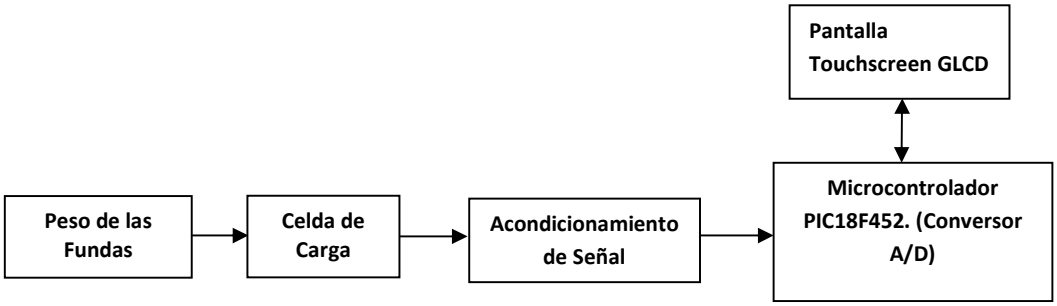


Figura 2.6 *Diagrama de bloques del sistema de pesaje*

2.4.1 PARÁMETROS DE SELECCIÓN PARA LA CELDA DE CARGA

Los parámetros más utilizados para la selección de una celda de carga, son el voltaje de excitación, la capacidad y la resolución. La capacidad nos indica el peso máximo al cual se puede someter la celda, por ejemplo 10 Kg. La resolución indica la señal que la celda entrega a plena carga por voltaje de excitación, para este caso 2mV/V. La fórmula [2.1] es usada para determinar la señal (en mili voltios) entregada por una celda de carga, a determinado esfuerzo o peso es la siguiente:

$$Señal = \frac{Carga * Resolucion * Vexcitacion}{Capacidad} \qquad [2.1]$$

Dónde:

Carga = esfuerzo en Kg. a la que la celda es sometida
Res = resolución en mV/V
Vexc = voltaje con el que se alimenta la celda
Capacidad = carga máxima soportada por la celda en Kg.

Para el este proyecto, la celda de carga utilizada es de 10.000g = 10Kg de capacidad con salida de 2 mV/V, se excita con 12V. Suponiendo que se le aplica 10.000 g; aplicando la ecuación [2.1] la señal resultante sería:

$$Señal = \frac{10.000g * 2\frac{mV}{V} * 12V}{10.000g} = 24mV$$

2.4.2 APLICACIÓN DE LA GARGA EN LA CELDA

El entendimiento de la forma en que una carga o fuerza debe ser aplicada a la celda de carga, es de vital importancia para el buen diseño de una balanza o sistema de peso.

Las especificaciones técnicas de las celdas de cargas han sido determinadas, aplicando la carga o fuerza a la celda bajo condiciones lo más cercanas posibles a la perfección.

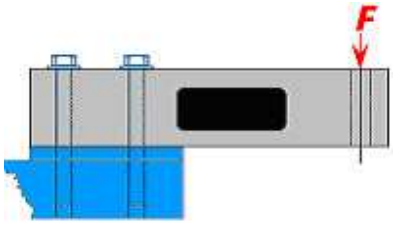


Figura 2.7 *Aplicación ideal de fuerza en una celda de carga*

En la figura 2.7 vemos una simple aplicación con una celda de carga de tipo viga de flexión. Uno de los lados está firmemente fijado a una base rígida, con el extremo opuesto libre para flexionar de acuerdo al peso. Bajo condiciones ideales, la superficie será perfectamente plana, horizontal y totalmente rígida. La carga F se introduce en forma vertical con un mínimo de fuerzas extrañas aplicadas. Las celdas de carga están preparadas para ser insensibles en lo posible a todas las fuerzas distintas a la vertical.

La aplicación de la carga es del tipo viga de flexión (figura 2.8), por lo que la salida de la celda de carga modelo MT1022 es de 2 mV/V y se excita con 12V.

El peso de la funda más grande es mayor a 1000 g, por lo tanto el diseño se lo hará para 2000 g; aplicando la ecuación 2.1 la señal resultante sería:

$$Señal = \frac{2000g * 2\frac{mV}{V} * 12V}{10.000g} = 4.8\, mV$$

$$Señal = Vin = 4.8\ mV$$

La celda de carga tiene un voltaje muy pequeño y además diferencial en su salida, por lo tanto es necesario amplificar esa señal para que el Microcontrolador pueda detectar un voltaje variable entre 0V y 5V proporcional al peso de la funda.

2.4.3 DISEÑO DEL CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO DE LA CELDA DE CARGA

El circuito de acondicionamiento de la celda de la señal perteneciente a la carga consta de las siguientes partes:

- Etapa de amplificación
- Etapa o circuito de filtrado a la entrada del amplificador
- Etapa o circuito de filtrado a la entrada del microcontrolador

2.4.3.1 Diseño de la Etapa de Amplificación

Para el circuito de amplificación, se ha escogido el integrado AD620, que es un amplificador de instrumentación cuyas características generales de indican a continuación:

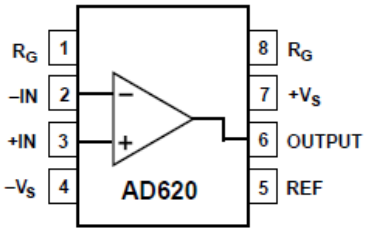


Figura 2.8 *Diagrama de terminales correspondiente al Amplificador de Instrumentación*

- La ganancia se coloca utilizando una sola resistencia
- Rango de ganancia de 1 a 1000

- Amplificador de bajo ruido
- Opera con voltajes BIPOLARES de +- 2.3 a +- 18 volts
- Disponible en empaquetado de 8 pines
- Consumo de 1.3 mA
- El desempeño en DC es excelente ya que solo tiene un máximo de 50
- uV de offset
- Desvío máximo de 0.6 uV/℃

Para determinar la resistencia externa del amplificador de instrumentación se lo hace con la ecuación provista por el fabricante:

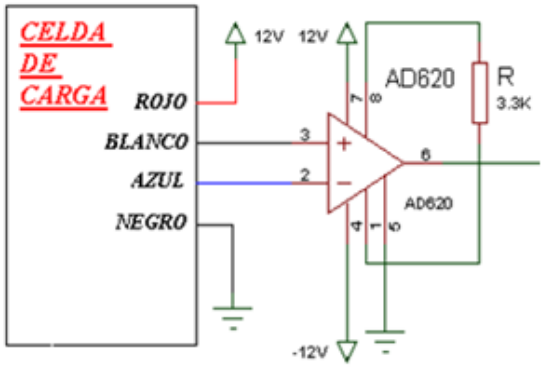


Figura 2.9 *Diagrama de Conexión del Conversor AD620 y la Celda de carga.*

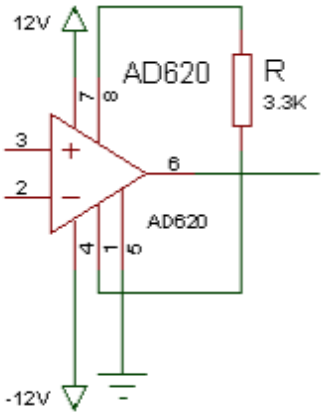


Figura 2.10 *Diagrama del Amplificador de Instrumentación AD620.*

Para peso requerido el voltaje de señal será:

$$Vout = 5\ V$$

$$G = \frac{Vout}{Vin} \quad [2.2]$$

$$G = \frac{5V}{4.8mV}$$

$$G = 1041.66 \approx 1000$$

Para esta ganancia calculamos el valor de la resistencia:

$$G = \frac{49.4K\Omega}{R} + 1 \qquad [2.3]$$

Sea: $G = 1000$

$$1000 = \frac{49.4K\Omega}{R} + 1$$

$$R = \frac{49.4K\Omega}{1000 - 1}$$

$$R = 49.44\Omega$$

Estandarizando los valores de resistencia tenemos:

$$R = 47\ \Omega$$

Realizando de nuevo los cálculos de la ganancia con el valor nuevo de resistencia tenemos:

$$G = \frac{49.4K\Omega}{R} + 1$$

Condición de diseño, ver Anexo.

$$G = \frac{49.4K\Omega}{47\Omega} + 1$$

$$G = 1052.06$$

Recalculamos los valores de voltaje:

$$Vout = 1052.06 * 4.8\, mV = 5.04\, V$$

Estos resultados son obtenidos para un valor crítico de peso (2000 gr) para mayor seguridad.

2.4.3.2 Diseño de la Etapa de Filtrado a las Entradas del Amplificador de Instrumentación AD620

En los amplificadores de instrumentación se puede corregir la señal de salida, ya que cuando se trata de señales pequeñas, rectificadas, estas actúan como pequeños errores de desplazamiento (offset errors) en DC.

El AD620 permite al usuario aplicar filtros de primer orden para evitar señales de radiofrecuencia (RF) no deseadas, conectando elementos de protección como se muestra en la figura 2.11.

Siendo la formula $RC \approx \frac{1}{2\pi f}$, la frecuencia menor al ancho de banda del AD620 ($f \geq 12$ KHz) y $C = 100\, pF$, adaptando las capacitancias externas a los pines 1 y 8, y los pines 2 y 3 ayudando a mantener un alto CMR (rechazo en Modo Común).

Escogemos los valores de $f \geq 12$ KHz Bandwidth (ancho de banda), para la ganancia $G = 1000$, de esta forma para el diseño tenemos:

Sea: $f = 12\, KHz$ y $C = C_1 = C_2 = 0.1\, \mu F$

Además: $R = R_1 = R_2$

Calculamos:

$$R = \frac{1}{2\pi f C} \qquad [2.4]$$

$$R = \frac{1}{2\pi * 12 * 10^3 * 0.1 * 10^{-6}}$$

$$R = R_1 = R_2 = 132.6\Omega$$

Estandarizando tendremos:

$$R \approx 120\Omega$$

$$f = \frac{1}{2\pi * 120 * 0.1 * 10^{-6}}$$

$$f = 13.26\ KHz$$

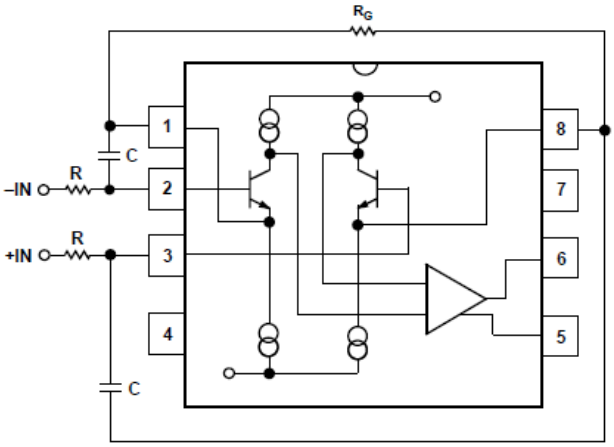


Figura 2.11 *Diagrama de Conexión del Filtro de Primer Orden al Amplificador AD620.*

2.4.3.3 Diseño de la Etapa de Filtrado a la Entrada del Microcontrolador

Como protección, ante las posibles interferencias de RF, a la salida del amplificador AD620, colocamos un filtro RC a fin de evitar el ingreso de ruido al microcontrolador. Para este efecto se colocó a la salida del amplificador AD620 un

capacitor de 0.1 uF y una resistencia de 100 Ω como filtro de entrada de voltaje al microcontrolador, como se muestra en la figura 2.12.

El Manual del microcontrolador PIC recomienda que para iniciar la adquisición de datos con el módulo interno del microcontrolador, es necesario un tiempo mínimo de 12 TAD (12 Tiempos de Adquisición de datos de Máquina) es decir 12 µs, para lo cual adicionamos retardos propios del programa, por lo que decidimos hacer los cálculos para 25 µs que da como resultado 40 KHz

Para el diseño del filtro es necesario tener una frecuencia de corte menor a la mitad de la frecuencia de muestreo del conversor AD, para este caso la frecuencia la hemos calculado en 40 KHz, por lo tanto, la frecuencia de corte del filtro debe ser de 20 KHz o menor. De esta forma se obtienen así los valores del capacitor y la resistencia antes mencionados:

Sea: $f = 20\ KHz$ y $C = C_3 = 0.1\ \mu F$
Además: $R = R_4$

$$R = \frac{1}{2\pi C f}$$

$$R = \frac{1}{2\pi * 20 * 10^3 * 0.1 * 10^{-6}}$$

$$R = 79.57 \approx 100\ \Omega$$

Recalculamos los valores:

Sea: $R = R_4 = 100\ \Omega$ y $C = C_3 = 0.1\ \mu F$

$$f = \frac{1}{2\pi R C}$$

$$f = \frac{1}{2\pi * 100 * 0.1 * 10^{-6}}$$

$$f = 15.91\ KHz$$

El resultado cumple con los requerimientos de diseño para la frecuencia de corte.

Adicionalmente, es necesario también agregar al filtro una protección adicional, por lo que se coloca un diodo zener de 5.1 V, para evitar que ingresen valores mayores de voltaje al microcontrolador.

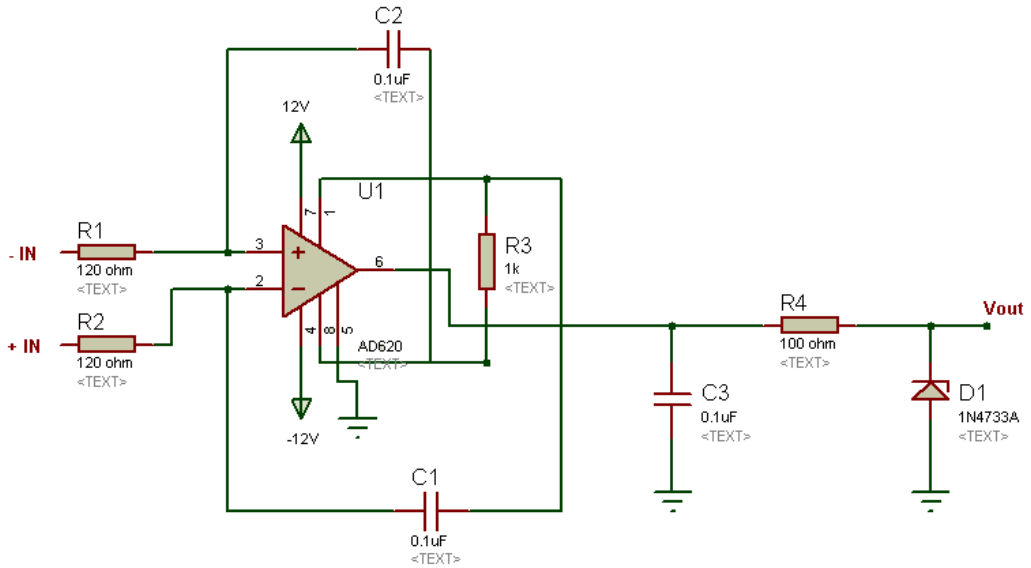


Figura 2.12 *Diagrama de Conexión del Acondicionamiento de la Celda de Carga con sus Respectivas Protecciones.*

2.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DEL VOLANTE DE SELECCIÓN MANUAL DE PESO.

Para accionar el volante de selección de peso, en este proyecto se utilizó un motorreductor con las siguientes características:

Voltaje	110 V
Frecuencia	50 / 60 Hz
RPM	134
Corriente	1.3 A
Potencia	0.5 Hp

Tabla 1.0 *Valores nominales del Motorreductor.*

Para el control del motor se utiliza un microcontrolador PIC18F452 que enviara la señal de activación a 2 relés que energizan al motorreductor para uno u otro sentido de giro.

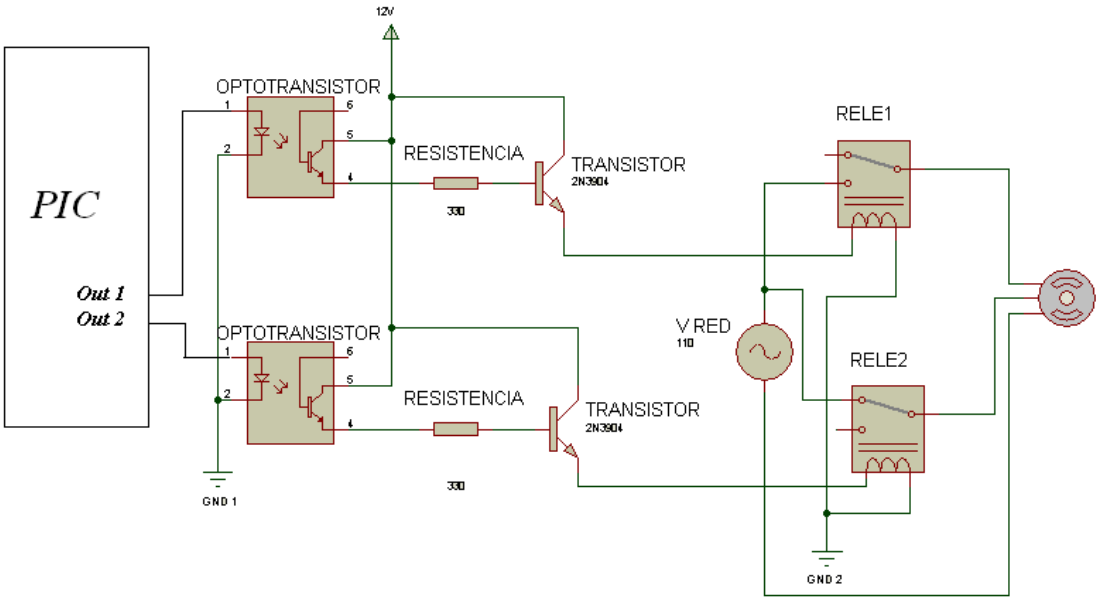


Figura 2.13 *Diagrama de conexión del motorreductor.*

2.6. DISEÑO DEL ENCODER.

Se utiliza un interruptor de accionamiento magnético para determinar el número de vueltas de la rueda dentada, se dispone de cuatro dientes magnetizados, de forma que cada vez que un diente pase frente al interruptor, este reaccione por la fuerza magnética. Así por cada vuelta descrita por la rueda, el interruptor genera 4 pulsos de voltaje.

Un simple sistema lógico permite determinar el desplazamiento de la rueda a partir de un origen, con base al conteo de pulsos en el canal del microcontrolador y de esta forma determinar también el sentido de giro.

Con el propósito de mejorar la precisión de la posición del eje del motor, se diseñó un encoder adaptado a las necesidades de esta aplicación y tiene las siguientes características:

- Número de pulsos por vuelta: 4.
- Tipo de detección: Magnético.
- Tipo de señal y rango: Voltaje de 0 a 5V.

En esta aplicación fue necesario diseñar un sistema mecánico que soporte el receptor de señal magnética y la rueda o disco donde se encuentran los imanes permanentes. La rueda está ubicada entre los acoples del eje del motor y el eje de la máquina, de tal forma que gire en conjunto con los ejes y pueda enviar información de la posición del motorreductor.

Para el ingreso de la señal de corriente del encoder al microcontrolador se requiere colocar una resistencia de que limite la corriente.

El microcontrolador admite en sus periféricos de entrada hasta 20 mA, por seguridad se trabaja con una corriente de 1mA para el diseño del circuito de acondicionamiento de la señal del encoder.

$$V = R * I \qquad [2.5]$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{5V}{1mA}$$

$$R = 5\ K\Omega$$

Estandarizando el valor de la resistencia tenemos:

$$R = 5{,}6K\Omega$$

Adicionalmente se coloca un capacitor de 0.1 uF para eliminar cambios bruscos de la señal de corriente.

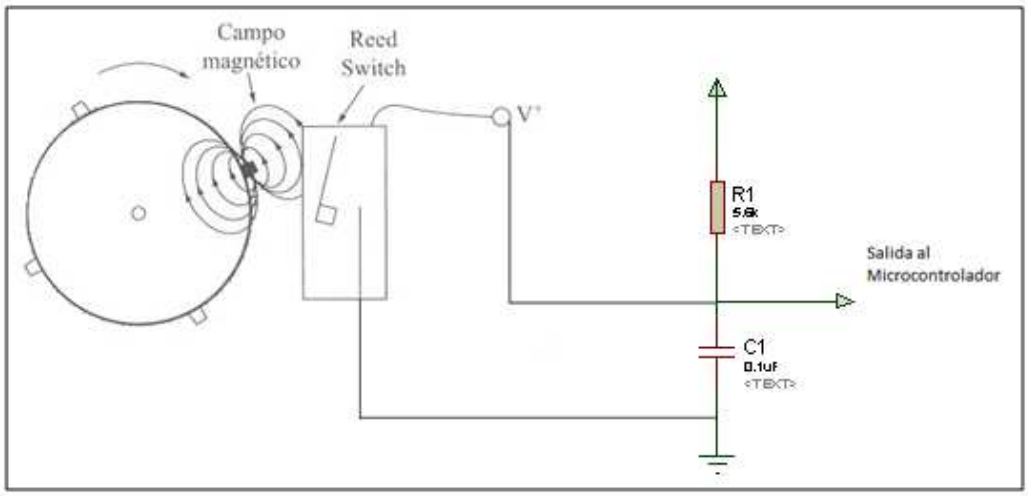


Figura 2.14 *Diagrama circuital de acondicionamiento de señal del encoder.*

2.7 ALMACENAMIENTO DE DATOS EN LA MEMORIA SD.

2.7.1 COMUNICACIÓN SPI PARA ALMACENAMIENTO DE DATOS.

Las tarjetas SD son dispositivos de almacenamiento masivo, las mismas que entran en la categoría de memorias flash. Este dispositivo cumple la función de almacenar los datos del proceso. La tarjeta SD está diseñada para proporcionar seguridad adicional al permitir el cifrado de los contenidos del dispositivo.

Para la comunicación y el envío de datos hacia la tarjeta SD se usa la comunicación SPI, con sus respectivas conexiones de hardware y parámetros de protocolo de comunicación.

Mickrobasic, que es el compilador usado en el desarrollo de los programas para esta tesis, incluye un conjunto de librerías que facilitan y permiten el desarrollo de diversos proyectos. Para nuestras necesidades podemos destacar el uso de la librería FAT, la misma que nos permite la inicialización del dispositivo de almacenamiento con características que le permiten ser reconocida por cualquier ordenador.

2.7.1.1 Comunicación SPI

La comunicación SPI se caracteriza por tener pulsos de sincronización entre el transmisor y receptor que se encuentran conectados por medio de una línea física.

El bus SPI por sus características de diseño necesita identificar el maestro y el esclavo los cuales tienen comunicación punto a punto, y soporta mayor velocidad de transmisión de datos en comparación al bus I2C.

Desde este punto de vista podríamos colocar sobre un bus de este tipo varios dispositivos, pero utilizando un dispositivo decodificador adicional.
Otra línea que podemos observar es la línea HOLD, la cual permite al procesador detener momentáneamente la comunicación.

El modo SPI del PIC 18F4520 permite que 8 bits de datos sean transmitidos y recibidos simultáneamente de manera sincrónica, además posee una línea de selección CS (chip select), el cual se coloca en nivel bajo (0V) para poder realizar la comunicación con la tarjeta de almacenamiento SD.

Para lograr esta comunicación, se tienen 4 pines del PIC que serán usados:

- Serial Data Out (SDO) – RC5/SDO
- Serial Data In (SDI) – RC4/SDI/SDA
- Serial Clock (SCK) – RC3/SCK/SCL
- Chip Select (CS) – RC2/CCP1

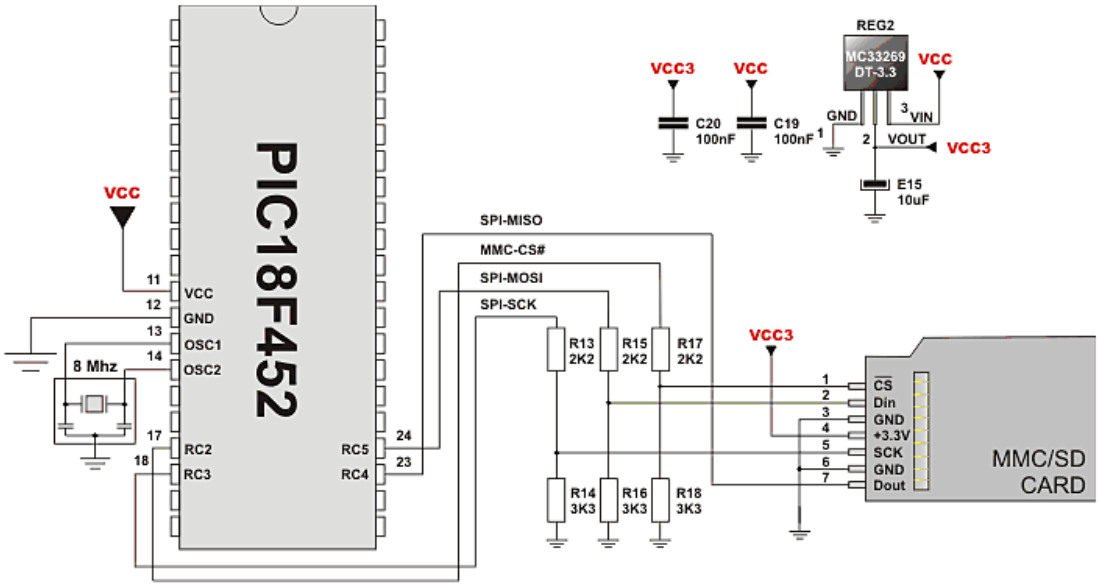


Figura 2.15 *Diagrama de conexión de los pines de la Tarjeta SD.*

Es necesario un divisor de voltaje a la entrada de la tarjeta SD puesto que esta soporta voltajes comprendidos entre 0 a 3.3 V.

La figura 2.17 muestra el diagrama de bloques de la interface serial sincrónico cuando trabaja en modo SPI:

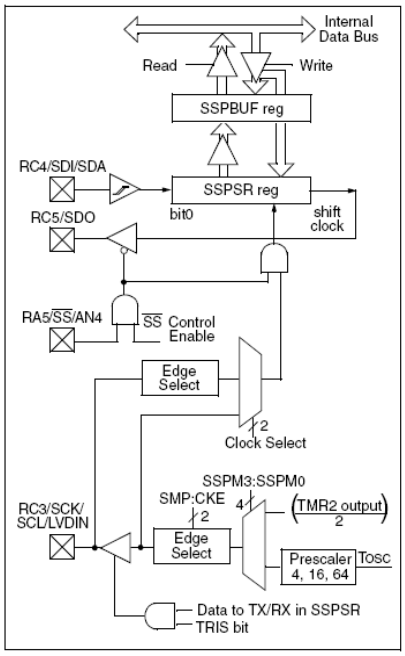


Figura 2.16 *Diagrama de bloques de portico serial modo SPI.*

El módulo MSSP (Pórtico Maestro Serial Sincrónico), tiene cuatro registros asociados al modo SPI:

- MSSP Control Register 1 (SSPCON1)
- MSSP Status Register (SSPSTAT)
- Serial Receive/Transmit Buffer Register (SSPBUF)
- MSSP Shift Register (SSPSR) – Not directly Accesible

Los registros SSPCON1 y SSPSTAT son de control y de estado en el modo de operación SPI.

Cuando se inicializa el SPI, se necesitan especificar muchas opciones, programando los bits de control apropiados (SSPCON1<5:0> y SSPSTAT<7:6>). Con esto, se logra configurar el modo maestro, el modo esclavo, la polaridad del reloj, la fase de muestreo de la entrada de los datos, la lógica del reloj, la velocidad del reloj y el modo de selección del modo esclavo.

Como la línea SPI- MISO (Master In Slave Out) transporta los datos del esclavo (SD) hacia el maestro (MICROCONTROLADOR) no es necesario poner una resistencia entre los pines de los dispositivos debido a que la tarjeta envía una señal de 5 V al microcontrolador.

En las líneas SPI-MOSI, SPI-SCK, MMC-CS, el microcontrolador envía señales de 5 V a la tarjeta.

La tarjeta solo puede recibir señales de 3.3 V, por lo que fue necesario diseñar un sistema que proporcione el voltaje requerido desde la salida del microcontrolador.

$$Vout(microcontrolador) = 5V$$

$$Vin(Tarjeta\ SD) = 3.3V$$

Para el diseñó de este sistema se procedió a realizar un divisor de voltaje.

$$Vin(Tarjeta\ SD) = Vout(microcontrolador)\frac{R2}{R2 + R1} \qquad [2.6]$$

$$3.3V = 5V\frac{R2}{R2 + R1}$$

Asumiendo: $R_2 = 3.3K\Omega$

$$3.3V = 5V\frac{3.3K\Omega}{3.3K\Omega + R1}$$

El valor de la resistencia es igual a: $R_1 = 2.2K\Omega$

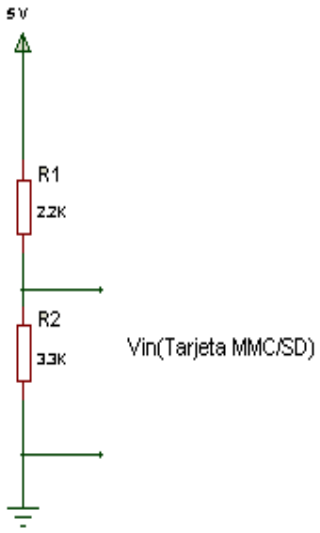


Figura 2.17 *Divisor de voltaje para los pines de la tarjeta SD.*

2.8 DISEÑO DE LA FUENTE DE 24 V

Una parte muy importante en el diseño del módulo de ajuste y corrección de peso es el de contar con una fuente de alimentación que proporcione el nivel de voltaje requerido sin variaciones, que sea confiable en todos los aspectos, ya que si no se cumple con estos requisitos podría existir fallas muy graves en el sistema.

Así mismo, es primordial el aislamiento que se debe tener entre las tarjetas de control y la red de voltaje suministrada por la empresa eléctrica.

Para cumplir estos objetivos se diseñó una fuente de alimentación para suministrar un voltaje de 24V para los relés que controlan el motorreductor y las electroválvulas.

La carga a ser alimentada tiene un consumo de 500 mA, pero como se trabaja con un factor de seguridad, se realizaron los cálculos para el diseño de la fuente con una corriente de 600 mA.

Como el nivel de voltaje que se requiere a la salida debe ser fijo, se utilizó un regulador de voltaje con circuito integrado, ya que contiene los circuitos para la fuente de referencia, el amplificador de error, el dispositivo de control y la protección de sobrecarga, todos en un solo chip.

El grupo de reguladores de voltaje positivo es la serie 78xx, que brinda voltajes fijos desde 5V hasta 24V.

Partiendo de las características de estos integrados, se necesita un nivel de voltaje mínimo a la entrada para que exista a la salida la regulación de voltaje deseada, por lo que es necesario dimensionar primero al transformador.

El circuito integrado a utilizado para la fuente es el 7824 (Vout=24V) que requiere un voltaje mínimo de entrada de 27V; considerando el factor de rizado se va a utilizar un transformador con voltaje en el primario de 120Vrms y un voltaje en el secundario, con tap central de 25Vrms y una corriente nominal de 1 A.

Con esto se calcula el valor del voltaje pico mediante la ecuación 2.7.

$$Vp = \sqrt{2} \times V_{RMS} \quad [2.7]$$

$$Vp = \sqrt{2}\, x25 \ = 35.35\, V$$

Como se utiliza para el filtrado un capacitor de 1000 uF, el voltaje de rizado se calcula mediante la ecuación 2.8.

$$Vr_{RMS} = \frac{2.4 * I_{DC}}{C} \qquad [2.8]$$

$$Vr_{RMS} = \frac{2.4^{-3} \times 600^{-3}}{1000^{-6}} = 1.44\, V$$

Y el voltaje de rizado pico se calcula mediante la ecuación 2.9.

$$V_r(pico) = \sqrt{3} \times Vr_{RMS} \quad [2.9]$$

$$V_r(pico) = \sqrt{3} \times 1.44 = 2.49V$$

El nivel de voltaje de continua a través del capacitor es.

$$V_{dc} = Vp - V_r \qquad [2.10]$$

$$V_{dc} = 35.35 - 2.49 = 32.86\ V$$

El factor de rizado del capacitor cuando opera dentro de una carga de 600 mA es entonces.

$$r = \frac{2.4^{-3} \times I_{dc}}{C \times V_{dc}} \times 100\% \qquad [2.11]$$

$$r = \frac{2.4^{-3} \times 600^{-3}}{1000^{-6} \times 32.86} \times 100\% = 4.382\%$$

El transformador utilizado reduce el voltaje de la línea de alimentación de 120 Vrms a un voltaje en el secundario de 25 Vrms, produciendo un voltaje pico que se calcula con la ecuación 2.7.

$$Vp = \sqrt{2}\, x25 \ = 35.35\ V$$

El voltaje del capacitor filtro C tiene un rizo de aproximadamente 4.382% y se reduce a un voltaje mínimo de.

$$Vent_{min} = Vp - 2Vr(pico)$$

$$Vent_{min} = 35.35 - 2 \times 2.49V = 30.37\ V$$

Las especificaciones del dispositivo señalan el Vin mínimo requerido para mantener la regulación de la línea es de 25V. El voltaje más bajo que se mantiene en el capacitor esta alrededor de 30.37V, con lo cual se garantiza que siempre va mantener la regulación de voltaje, aunque cabe indicar que se debe tener

precaución en el voltaje máximo de entrada al regulador (V ent máx.= 38V), ya que si se le alimenta con un voltaje mayor se produciría el daño del mismo.

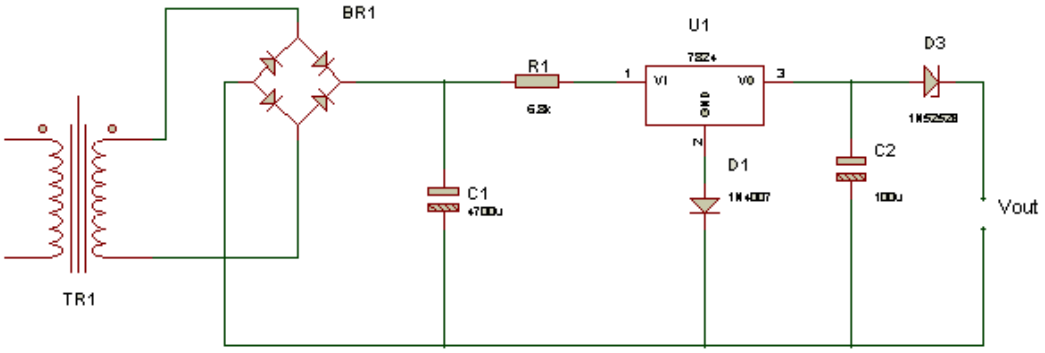


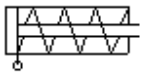
Figura 2.18 *Fuente de voltaje de 24 V.*

2.9 DISEÑO DEL SISTEMA NEUMÁTICO DE CLASIFICACIÓN DE LAS FUNDAS EMPAQUETADAS

2.9.1 SELECCIÓN DE ELEMENTOS NEUMÁTICOS

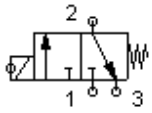
Para el sistema de clasificación de fundas empaquetadas se utilizarán algunos elementos neumáticos, ya que se facilita la tarea de clasificación y movilidad del producto una vez terminado el proceso de sellado y corte de las fundas, hacia el área de descarte o aprobación sin la intervención de un operario.

Los elementos necesarios para el diseño del proceso de clasificación son:



Cilindro de simple efecto

Valvula extranguladora unidireccional



Electrovalvula 3/2 retorno por fuelle

La lógica de control se realiza en el Microcontrolador, el cual en base a la señal de la balanza electrónica y envía señales de control a las electroválvulas, como se indica en la figura 2.19.

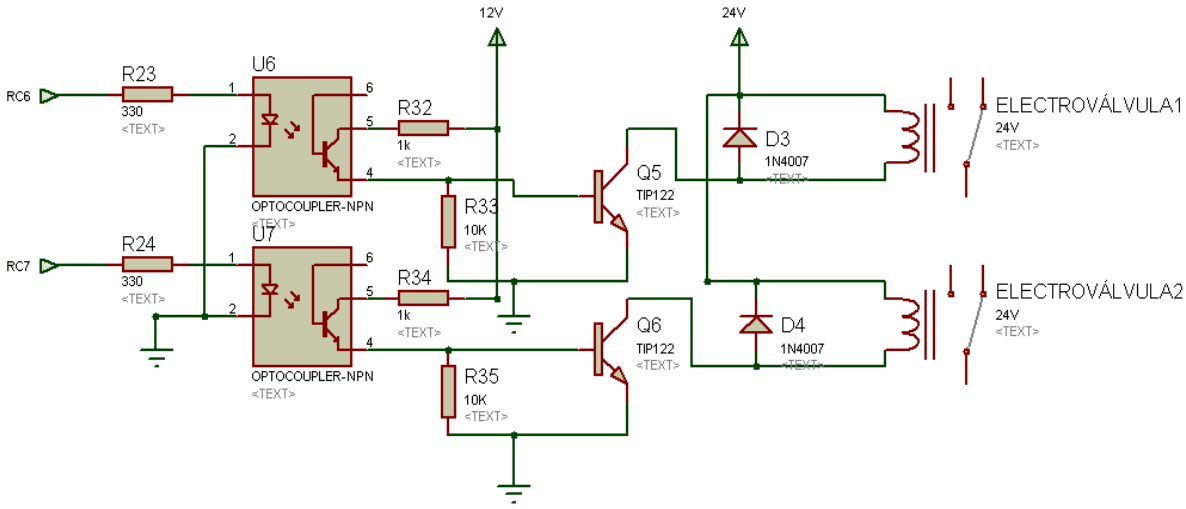


Figura 2.19 *Diagrama de conexión eléctrica de las electroválvulas.*

Cuando ingresa la señal de la balanza electrónica al Microcontrolador, este se encarga de comparar el valor de entrada con el de referencia, si el valor de la señal digital es igual al valor ingresado por el operario, entonces el producto empaquetado es correcto y se activa la electroválvula que controla un cilindro1, caso contrario, si el valor de la señal es incorrecta se activa la electroválvula que controlar un cilindro 2.

2.9.1.1 Diseño de los Circuitos Electro neumáticos

Una vez que la máquina empacadora termina el proceso de sellado y corte de las fundas, ésta ubica la funda sellada sobre una balanza electrónica la cual envía una señal al Microcontrolador.

Una vez recibida la señal de la balanza electrónica, el Microcontrolador verifica el peso de la funda, en caso de ser correcto envía una señal para activar el cilindro 1, desplazando la funda hacia la banda transportadora. Terminado el desplazamiento el vástago retorna a su posición inicial hasta detectar nuevamente la señal activación.

Para el diseño del sistema de clasificación de fundas es necesario tomar en cuenta todos los elementos de la parte eléctrica y neumática, como se muestra en la figura 2.20.

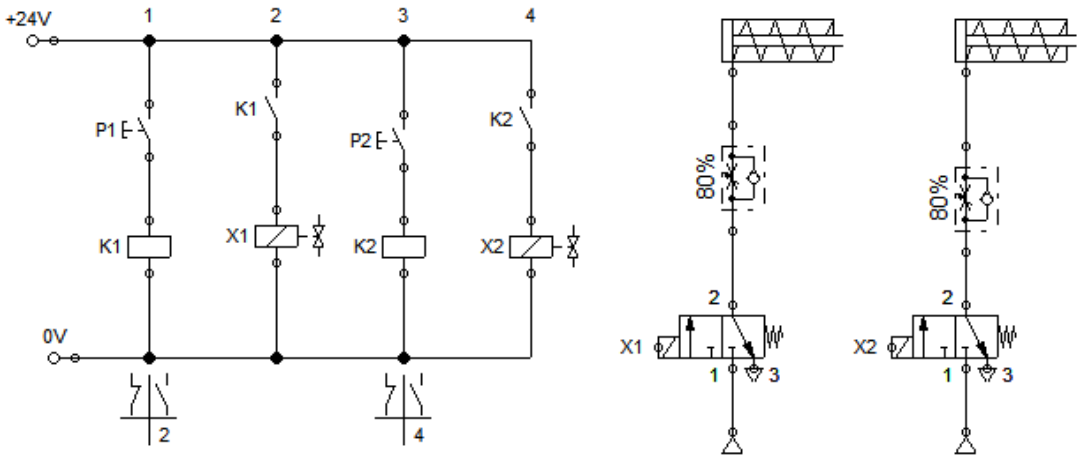


Figura 2.20 *Diagrama de conexión de los cilindros*

Con los requerimientos expuestos anteriormente es necesario para el diseño neumático de clasificación de las fundas selladas se puede observar que es necesario un cilindro de simple efecto, de igual forma una electroválvula

distribuidora neumática 3/2, 1 escapes, tipo muelle, la cual servirá para controlar el ingreso del aire (salida del vástago).

Para comprender mejor el funcionamiento del sistema de clasificación de las fundas, se muestra el diagrama espacio – fase del cilindro de simple efecto y de las electroválvulas. Siendo el punto cero (0) el inicio del ciclo.

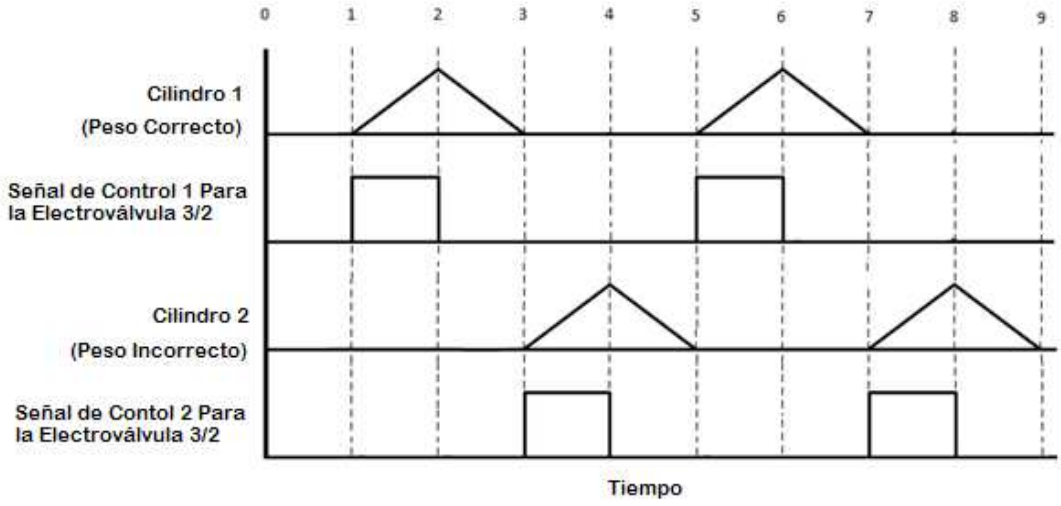


Figura 2.21 *Diagrama espacio – fase del sistema neumáticos.*

2.10 ESTRUCTURA DEL MECANISMO DE PESAJE Y CLASIFICACIÓN DE LAS FUNDAS

Tratándose de productos alimenticios se debe adoptar criterios de manejo seguro de los mismos, por lo que la estructura está fabricada con materiales como son: acero inoxidable, aluminio y bronce, como se muestra en la figura 2.22.

El sistema de pesaje y clasificación de fundas consta de tres pedestales en los cuales se ubican los cilindros y la balanza.

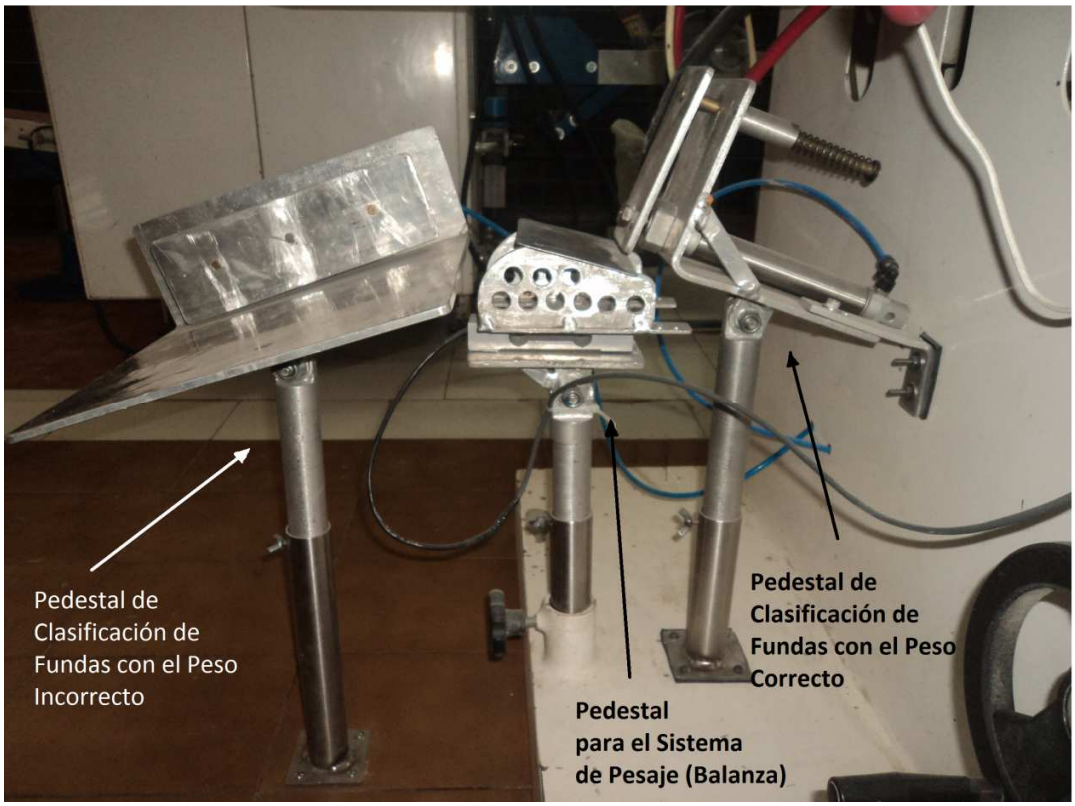


Figura 2.22 *Estructura del sistema de pesaje y clasificación de las fundas.*

2.11 ADAPTACION DEL SISTEMA MANUAL DE AJUSTE Y CORRECCIÓN DE PESO

La máquina, en su diseño original, consta de un sistema manual de selección de peso a través de volante, el cual está acoplado al eje del tornillo sinfín, el mismo que mueve los vasos volumétricos hacia la posición deseada, como se indica en la figura 2.23, a fin de tener el peso requerido en la funda.

Figura 2.23 *Sistema manual para el ajuste del peso (volante de selección de peso).*

Para el proyecto fue necesario reemplazar el sistema manual por un sistema automático, el cual consta de un acople (matrimonio) entre el eje del tornillo sinfín y el eje del motorreductor. Con el propósito de saber la ubicación del eje del motorreductor, adicionalmente se acopló un encoder magnético diseñado para este propósito, como se observa en la figura 2.24.

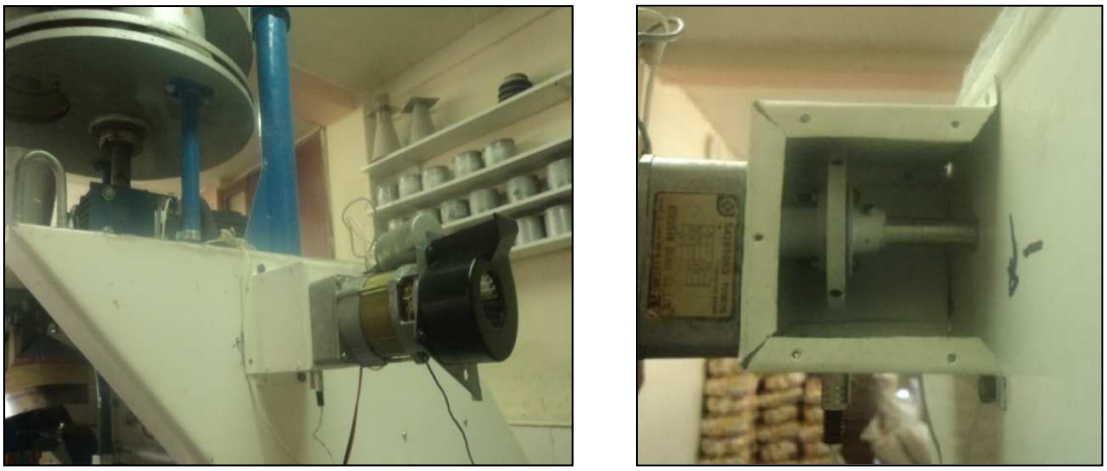


Figura 2.24 *Acople entre el eje del motorreductor y el eje del tornillo sinfín.*

El eje del motorreductor acoplado al eje del tornillo sinfín, es controlado por el módulo de ajuste y corrección de peso, moviendo al eje del tornillo sinfín a una velocidad prudencial, de tal manera que puede regular los vasos volumétricos y consecuentemente el pesos de las fundas.

2.11.1.1. Encoder y Fin de Carrera.

El encoder se encuentra ubicado en el acople entre el eje del motorreductor y el eje del tornillo sinfín, como se indica en la figura 2.25.

El encoder es el encargado de enviar al microcontrolador una señal eléctrica que representa el número de vueltas del motor reductor. El valor en gramos, el cual es seleccionado por el usuario, es equivalente a un determinado número de vueltas.

La relación entre el peso de grano a ser empacado, y el número de vueltas del motorreductor, puede ser utilizada para cualquier valor de peso, lo que permite tener un control tanto en modo automático como en modo manual.

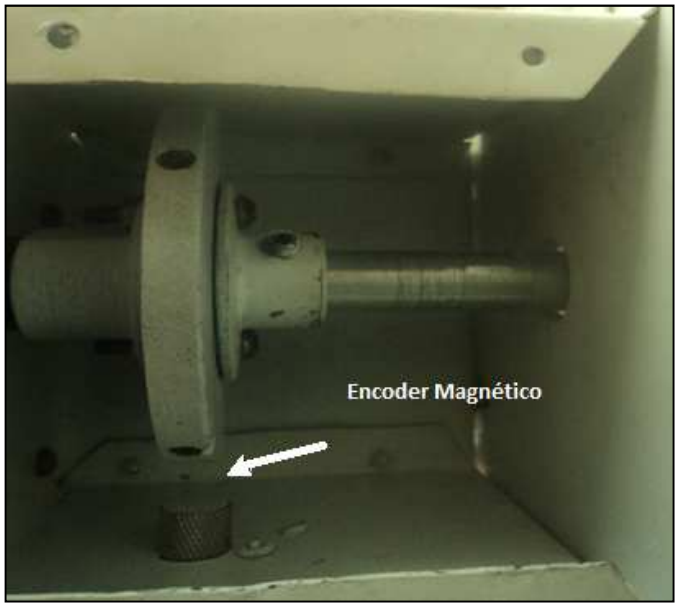


Figura 2.25 *Ubicación del encoder.*

El fin de carrera que se encuentra ubicado estratégicamente en la máquina empacadora, tiene el propósito de detectar la posición límite al que pueden desplazarse los vasos volumétricos, siendo esta la posición inicial, desde donde se desplazan los vasos volumétricos a la posición requerida.

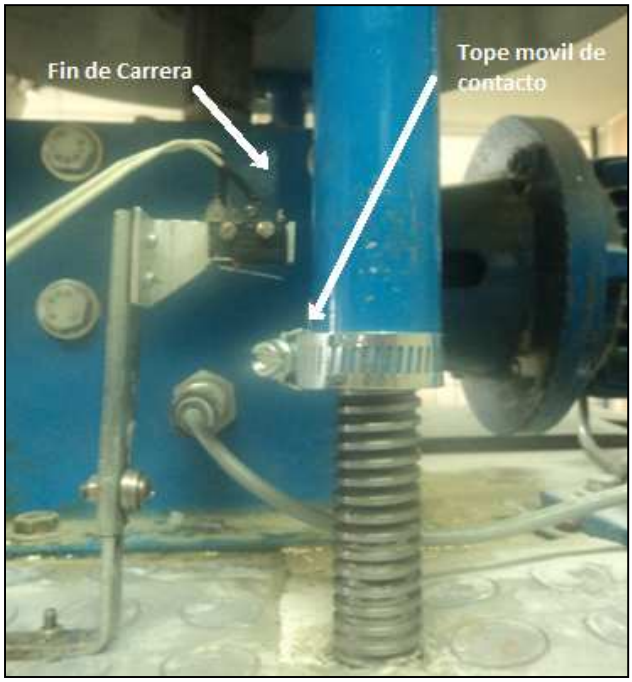


Figura 2.26 *Ubicación del fin de carrera.*

2.12 TABLERO DE CONTROL.

El módulo de ajuste y corrección está estructurado en un gabinete metálico de forma rectangular de 30 cm de largo, 20 cm de ancho y 15 cm de profundidad. Al interior del gabinete están alojadas las tarjetas de control, potencia, fuentes de alimentación y en la parte frontal la pantalla Touchscreen GLCD.

El tablero de control está ubicado en la parte lateral derecha de la máquina empacadora, a una altura de 1.20 m para facilitar su operación.

Figura 2.27 *Gabinete metálico del módulo de ajuste y corrección de peso.*

2.12.1 PANEL DE MANDO, VISULAIZACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS

En la parte frontal del tablero está instalada la GLCD, que constituye el panel de mando y visualización, en el cual un operador interactúa con el proceso, introduciendo datos y comandos de control, además de visualizar ciertos resultados del proceso.

También se encuentra en el tablero la ranura de inserción de la tarjeta SD.

2.12.1.1 Panel de Mando

Para el control de módulo se utiliza una pantalla táctil que actúa como interfaz entre el operario y la máquina, mediante el contacto directo sobre su superficie se

permite el ingreso de datos y comandos de ejecución al microcontrolador. A su vez, actúa como periférico de salida, mostrando los resultados obtenidos, como se muestra en la figura 2.28.

Figura 2.28 *Interfaz entre el operario y la máquina.*

2.12.1.2 Almacenamiento de Datos

Para el almacenamiento de datos utilizamos la ranura mmc/sd, donde se coloca una tarjeta de memoria SD para guardar la información del proceso. La información guardada en la memoria puede ser leída desde un computador.

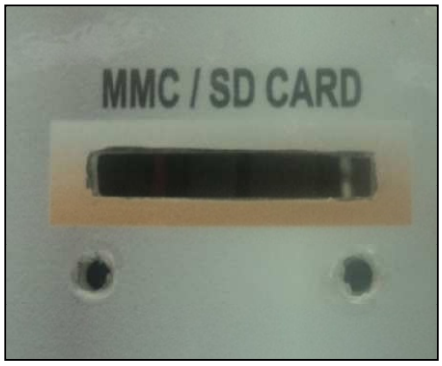


Figura 2.29 *Ranura del lector para tarjetas SD.*

La forma en que el conector para la tarjeta SD se encuentra instalado en el tablero permite que el dispositivo de almacenamiento masivo se inserte en el equipo evitando que éste expuesto a manipulación o daño externo que puedan ser producidos accidentalmente.

2.13 IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE AJUSTE Y CORRECCION DE PESO

Las placas de control, potencia, fuentes, GLCD y conector para la tarjeta SD se encuentran estratégicamente ubicados en el interior del gabinete metálico para facilitar el cambio de elementos en caso de hacer un mantenimiento correctivo.

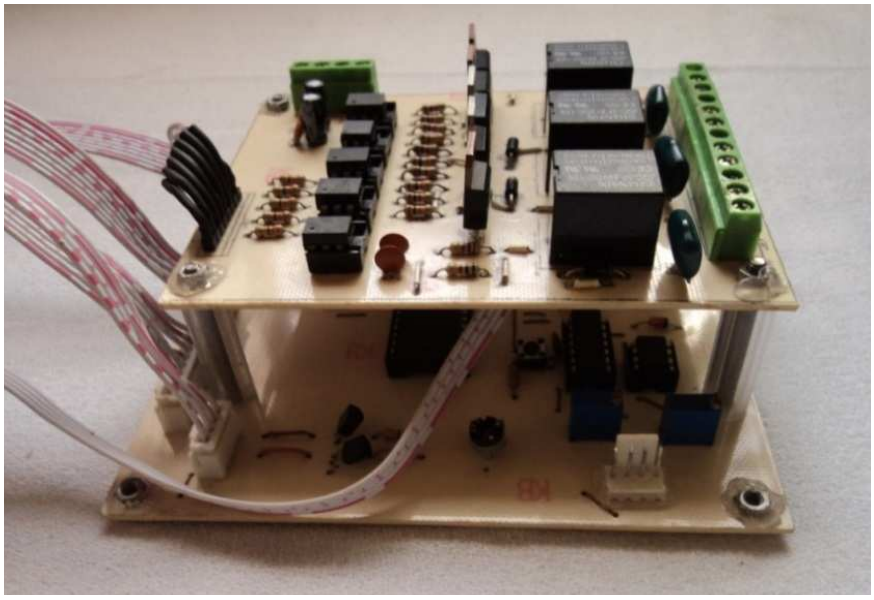


Figura 2.30 *Tarjetas eléctricas del módulo de ajuste y corrección de peso implementadas.*

Las placas de control y potencia se encuentran sobrepuestas a una distancia considerable para que sea posible la conexión o reemplazo de los elementos de la placa.

2.13.1. TARJETA PRINCIPAL DE CONTROL

El circuito impreso correspondiente a la placa de control principal se ilustra en la Figura 2.31, en la cual están ubicados estratégicamente los componentes eléctricos de tal manera que sea posible enviar y recibir las señales de control, necesarias para realizar el proceso de ajuste y corrección del peso.

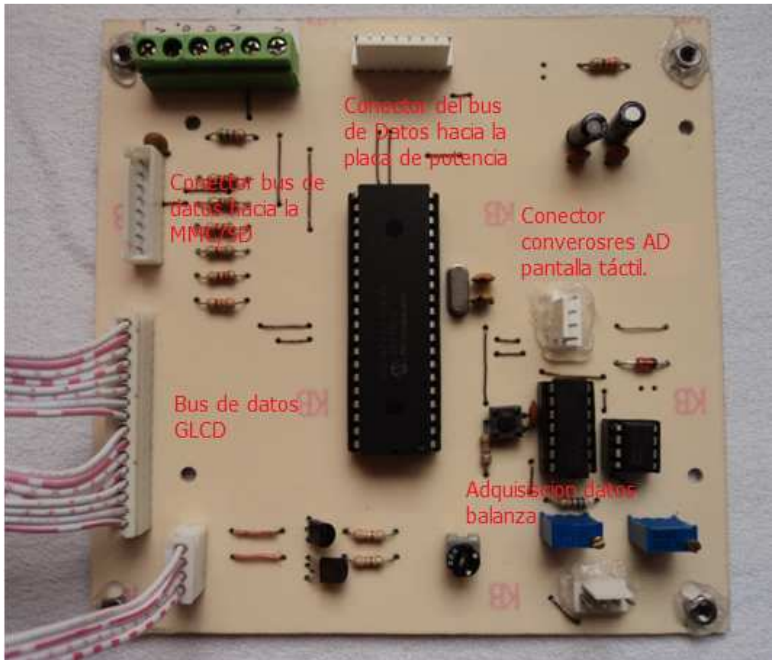


Figura 2.31 *Tarjeta de Control Principal.*

2.13.2. TARJETA DE POTENCIA

La s señales provenientes de la placa de control principal activan, en la placa de potencia, los elementos para la acción mecánica: movimiento del motor, activación de las electroválvulas, detección del fin de carrera y encoder.

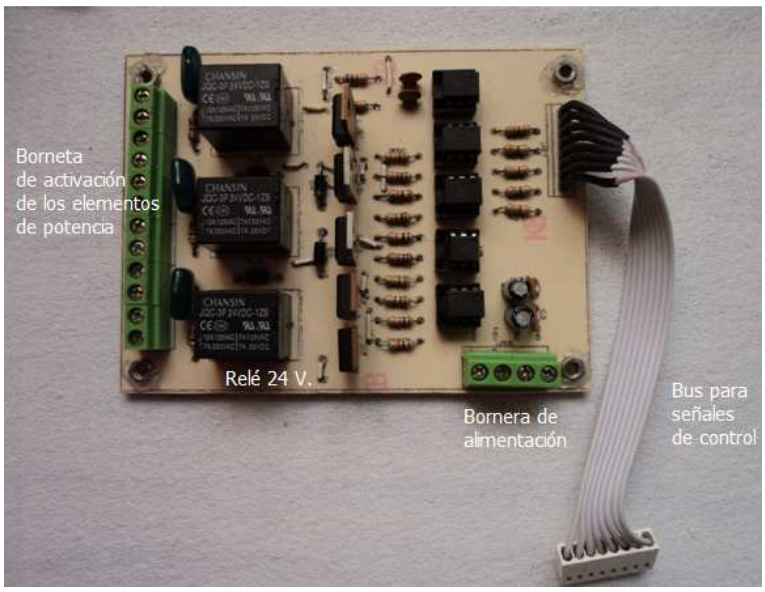


Figura 2.32 *Tarjeta de Potencia.*

2.13.3 FUENTES DE VOLTAJE DEL SISTEMA

Para la alimentación de la placa de control, la celda de carga, y la tarjeta SD, se utilizó una fuente comercial de iguales características a las de un computador de escritorio. Esta fuente comercial nos provee de los siguientes voltajes: 3.3Vdc, 5Vdc, 12Vdc, -12Vdc y GND.

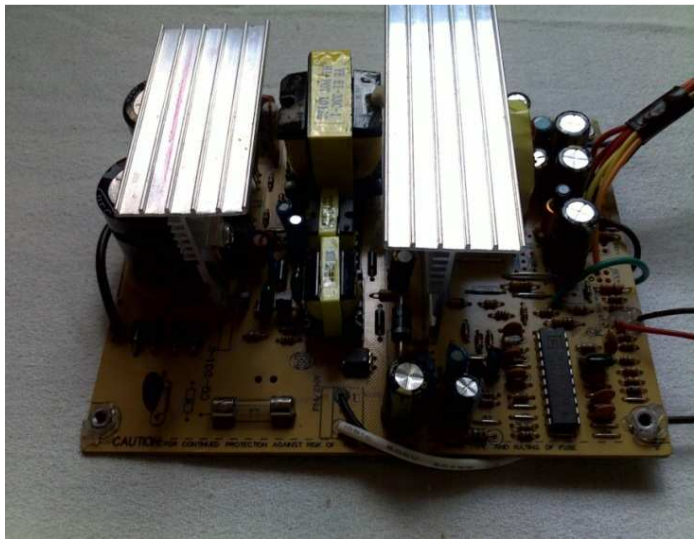
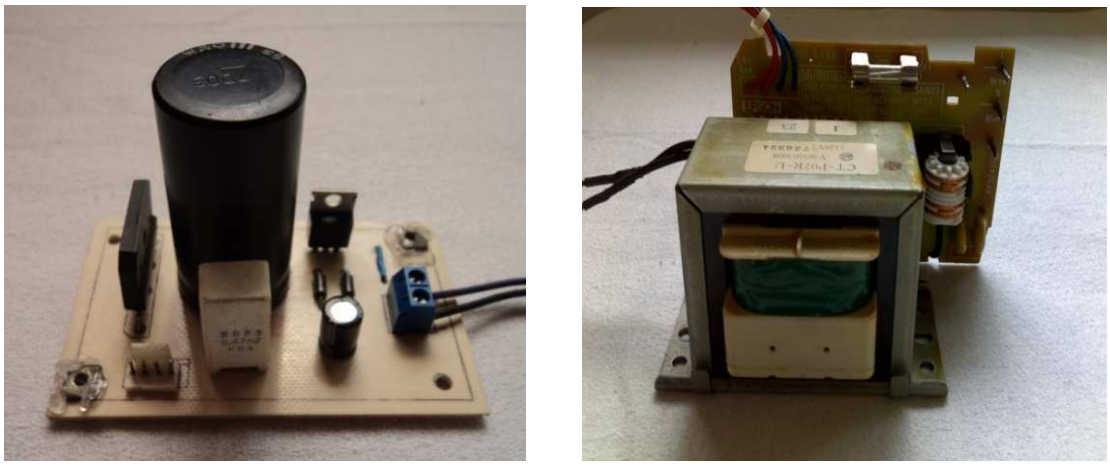


Figura 2.33 *Fuente para la tarjeta de control.*

Adicionalmente se diseñó una fuente de 24V para el accionamiento de los relés que alimentan las electroválvulas y al motorreductor.



a) **b)**

Figura 2.34 a) *Fuente alimentación de 24 V.* ***b)*** *Transformador aislamiento*

Recursos Utilizados:

N°	PERIFERICOS	ENTRADAS	SALIDAS	N° PINES
1	GLCD		14	14
1	TOUCHSCREEN	4		4
1	SERVOMOTOR		2	2
1	ENCODER	1		1
1	FIN DE CARRERA	1		1
2	CILINDROS ELECTRONEUMÁTICOS		2	2
1	TARJETA SD		5	5
1	BALANZA	1		1
	TOTAL PINES			30

Recursos del Microcontrolador PIC18F452

PUERTOS	PIN	DISTRIBUCIÓN	ASIGNACIÓN DE PINES
	1	MCLR	Reset.
PORTA	2	RA0 – AN0	Salida Digital Pantalla Táctil (X+)
	3	RA1 – AN1	Entrada Analógica Pantalla Táctil (X–)
	4	RA2 – AN2	Salida Digital Pantalla Táctil (Y+)
	5	RA3 – AN3	Entrada Analógica Pantalla Táctil (Y–)
	6	RA4 – T0KI	Detección Tarjeta SD.
	7	RA5 – AN4	Entrada Analógica Balanza.
PORTE	8	RE0 – AN5	Encendido Empacadora
	9	RE1 – AN6	Encoder.
	10	RE2 – AN7	Fin de Carrera.
	11	VDD	Conexión a Tierra.
	12	VSS	Alimentación 5V.
	13	OSC1 – CLK1	Oscilador.
PORTA	14	RA6 – OSC2 – CLK0	Oscilador.
PORTC	15	RC0 – T1OSO – T1CKI	Motor (Aumenta Volumen Funda)
	16	RC1 – T1OSI – CCP2	Motor (Disminuye Volumen Funda)
	17	RC2 – CCP1	MMC – CS. Comunicación SD Card.
	18	RC3 – SCK – SCL	SPI – SCK. Comunicación SD Card.
	19	RD0 – PSP0	CSA – Inicialización GLCD.
PORTD	20	RD1 – PSP1	CSB – Inicialización GLCD.
	21	RD2 – PSP2	RS – Inicialización GLCD.
	22	RD3 – PSP3	RW – Inicialización GLCD.
PORTC	23	RC4 – SDI – SDA	SPI – MISO. Comunicación SD Card.
	24	RC5 – SDO	SPI – MOSI. Comunicación SD Card.
	25	RC6 – TX – CK	Cilindros Neumáticos 1.
	26	RC7 – RX – DT	Cilindros Neumáticos 2.
PORTD	27	RD4 – PSP4	RST – Inicialización GLCD.
	28	RD5 – PSP5	EN – Inicialización GLCD.
	29	RD6 – PSP6	Pantalla GLCD (Color Verde)
	30	RD7 – PSP7	Pantalla GLCD (Color Azul)
	31	VSS	Conexión a Tierra.
	32	VDD	Alimentación 5V.

PORTB	33	RB0 – INT0	DB0 - I/O dato GLCD.
	34	RB1 – INT1	DB1 - I/O dato GLCD.
	35	RB2 – INT2	DB2 - I/O dato GLCD.
	36	RB3 – CCP2	DB3 - I/O dato GLCD.
PORTB	37	RB4	DB4 - I/O dato GLCD.
	38	RB5 – PGM	DB5 - I/O dato GLCD.
	39	RB6 – PGC	DB6 - I/O dato GLCD.
	40	RB7 – PGD	DB7 - I/O dato GLCD.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe mediante diagramas de flujo, las diferentes subrutinas que constituye el programa de control del proceso de ajuste y corrección de peso, tomando en cuenta las condiciones de diseño que fueron establecidas para la realización de este proyecto.

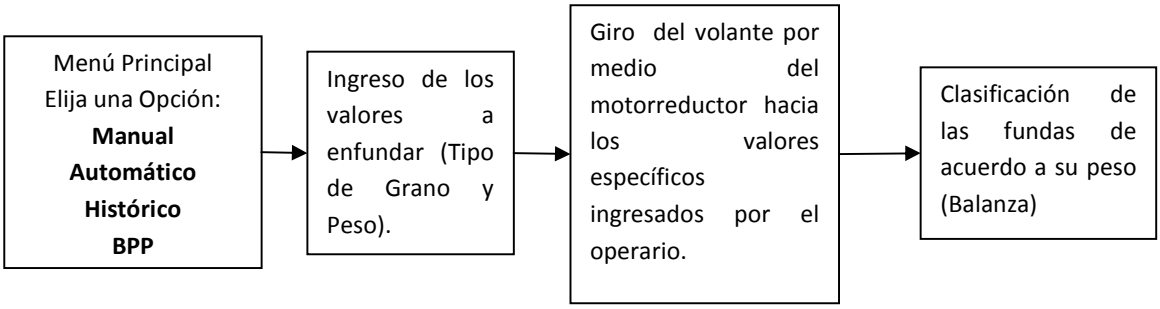


Figura 3.1 *Diagrama de bloques del proceso de ajuste, corrección y clasificación de las fundas.*

3.1 DIAGRAMAS DE FLUJO DEL SISTEMA DE AJUSTE Y CORRECCIÓN DE PESO.

En los siguientes diagramas de flujo, se describen gráficamente las subrutinas de control correspondientes al proceso de empaquetado con el módulo de ajuste y corrección de peso.

3.1.1 SUBRUTINA PRINCIPAL

El microcontrolador consta de una subrutina del programa principal en el cual se encuentra una subrutina de selección de las opciones a trabajar en el módulo.

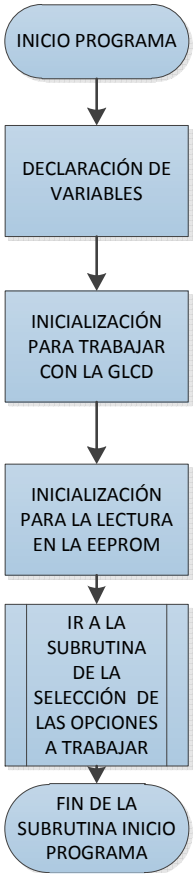


Figura 3.2 *Diagrama de flujo del programa principal.*

3.1.2 SUBRUTINA PARA LA SELECCIÓN DE LAS OPCIONES EN EL MÓDULO

Mediante esta subrutina se habilita la interfaz gráfica (GLCD), a través de la cual el operador puede seleccionar diferentes opciones de control y visualización. Así:

- Opción Manual: Si el ajuste de peso se realiza manualmente.

- Opción automático: Si el ajuste de peso se realiza automáticamente.
- Opción histórico: Para desplegar en la GLCD el número de fundas con el peso correcto e incorrecto.
- Opción BPP: Para desplegar en la GLCD el valor del porcentaje en barras indicadoras.

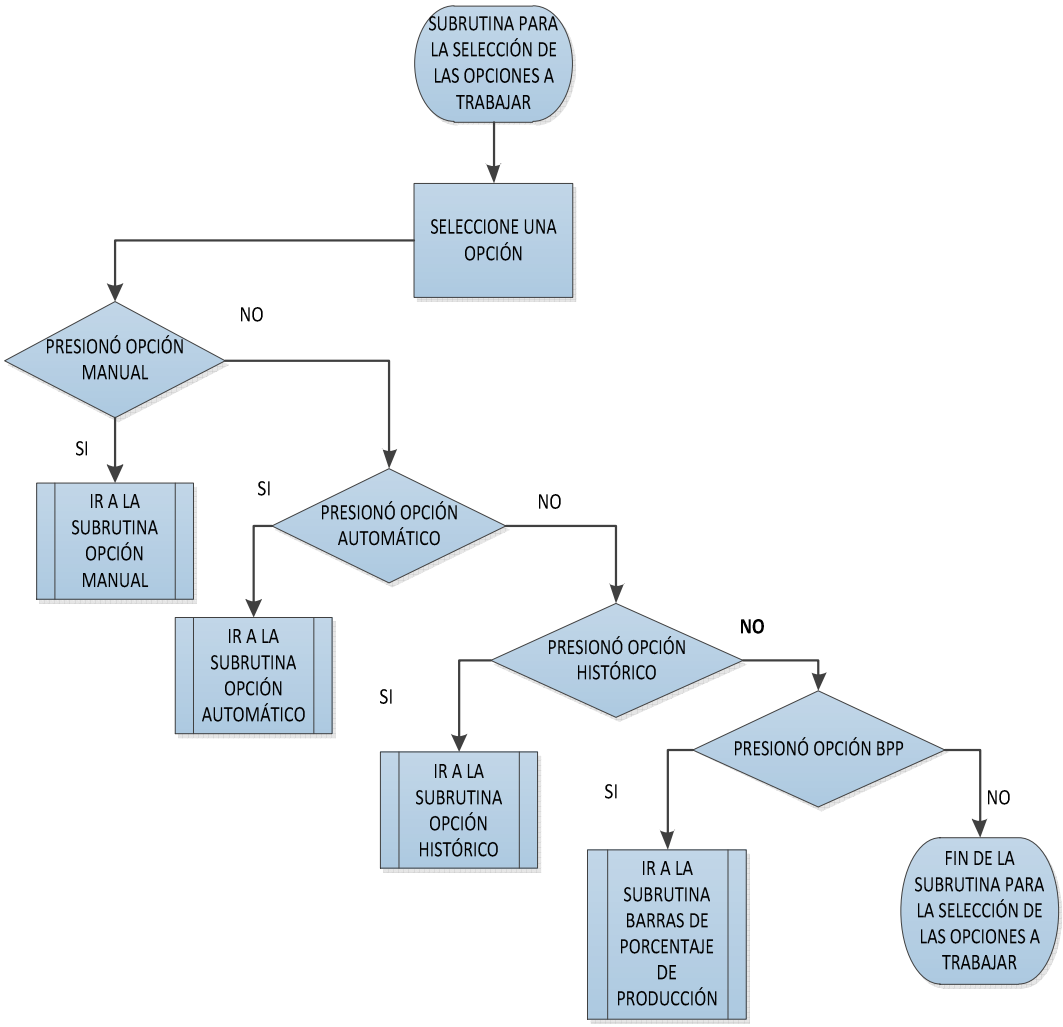


Figura 3.3 *Subrutina para escoger las opciones en el módulo.*

3.1.3 SUBRUTINA PARA LA OPCIÓN MANUAL

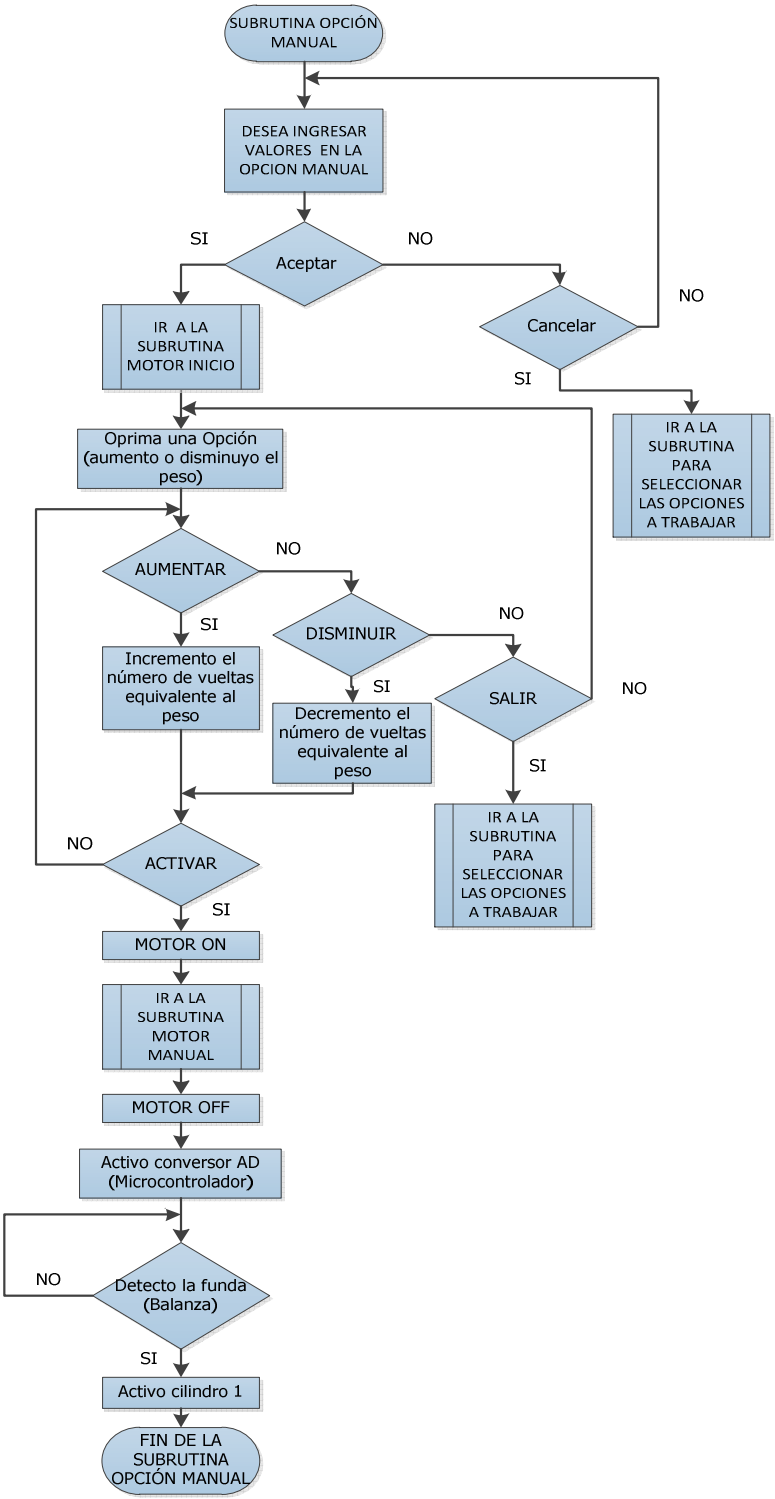


Figura 3.4 *Diagrama de flujo del Menú Manual.*

En la subrutina para la opción manual se encuentran las siguientes subrutinas:

- Subrutina motor inicio
- Subrutina motor manual

3.1.4 SUBRUTINA PARA LA POSICIÓN INICIAL DEL MOTOR

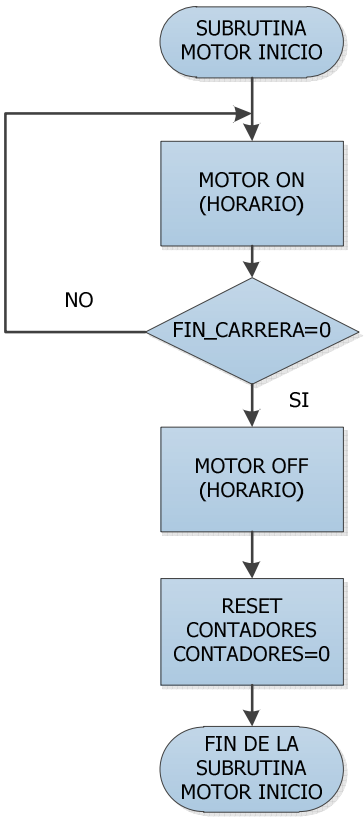


Figura 3.5 *Subrutina de Movimiento del Motor a la Posición Inicial.*

Esta subrutina es la encargada de posicionar el motorreductor a la posición inicial de partida.

Una vez activado el motor (HORARIO), éste se dirige hacia arriba disminuyendo el volumen de los vasos al mínimo, y se detiene cuando el fin de carrera se activa; a su vez se hace un “RESET” de los contadores dentro del microcontrolador.

3.1.5 SUBRUTINA MOTOR MANUAL.

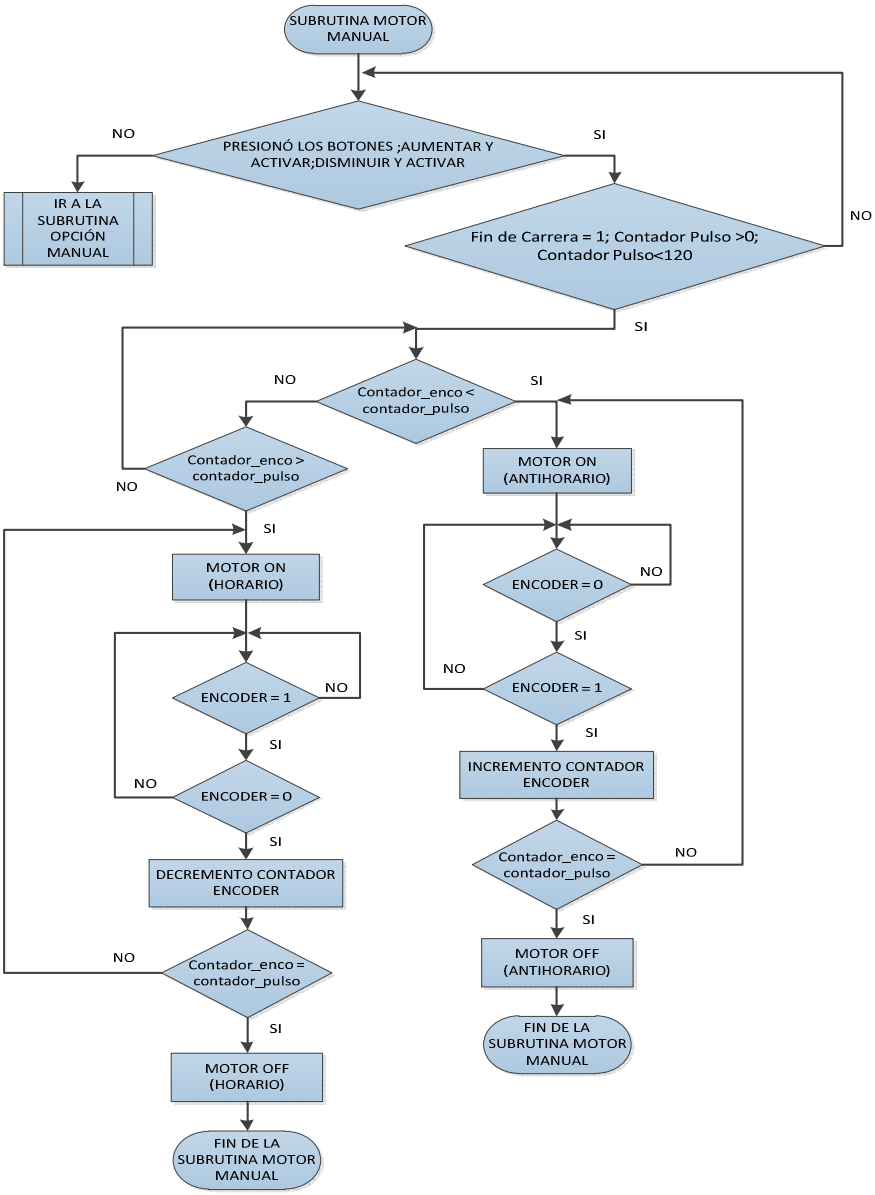


Figura 3.6 *Subrutina de Movimiento del Motor de manera manual.*

Los valores ingresados en los botones se almacenan en contadores para luego realizar una comparación con otros contadores que contienen valores predeterminados para la lectura del encoder.

3.1.6 SUBRUTINA PARA LA SELECCIÓN AUTOMÁTICA DEL PESO Y PRODUCTO (OPCIÓN AUTOMÁTICO)

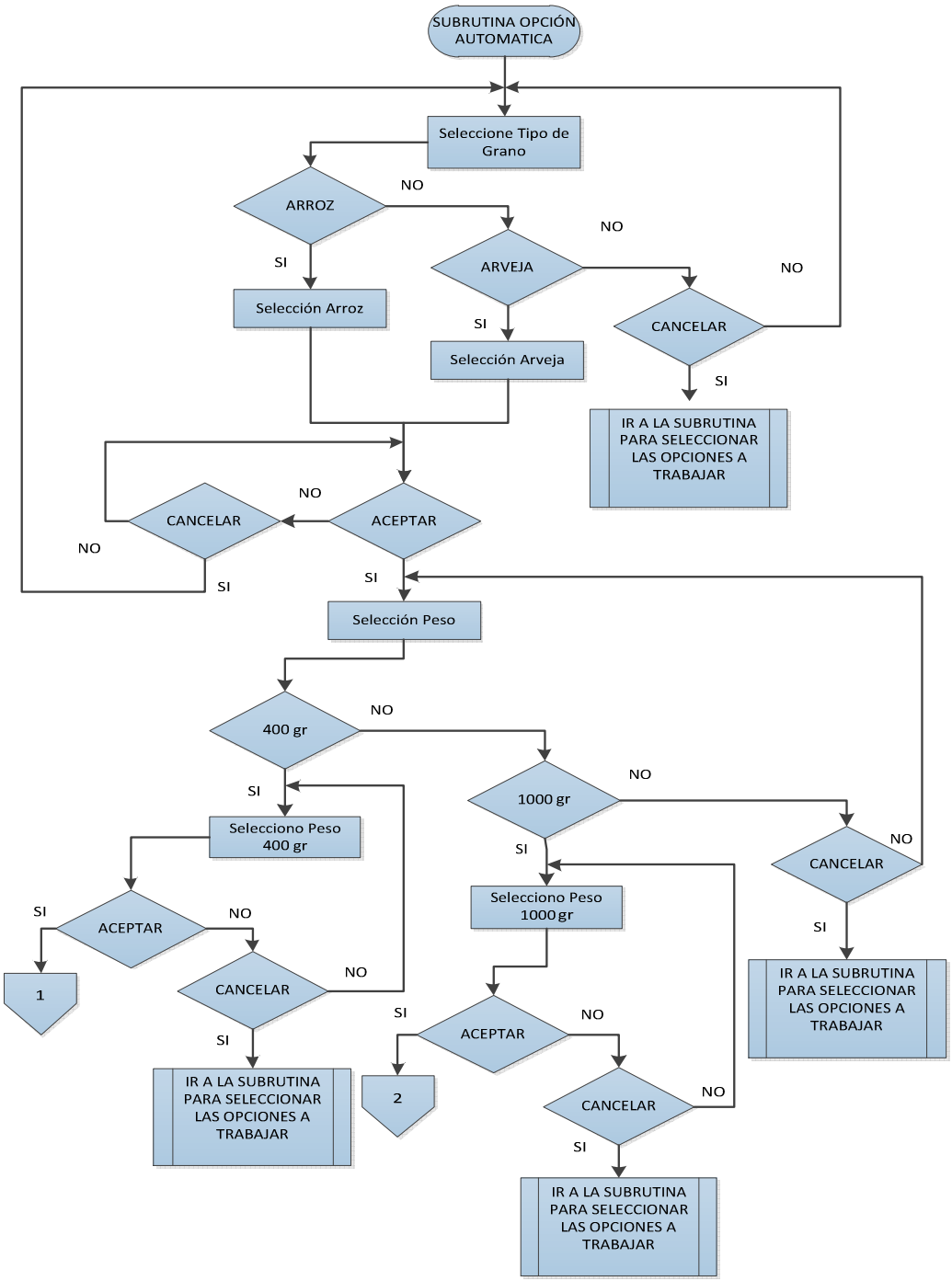


Figura 3.7 *Subrutina para la selección Automático de peso y producto.*

Para la opción Automático, se escoge el tipo de grano a enfundar, se selecciona el peso a enfundar (400 gr).

A continuación el microcontrolador coloca el motor en la posición de inicio, una vez colocado en el inicio, el microcontrolador activa el motor que mueve los vasos volumétricos a la posición equivalente a 400 gr. Este procedimiento de repite de igual manera para la opción de 1000 gr.

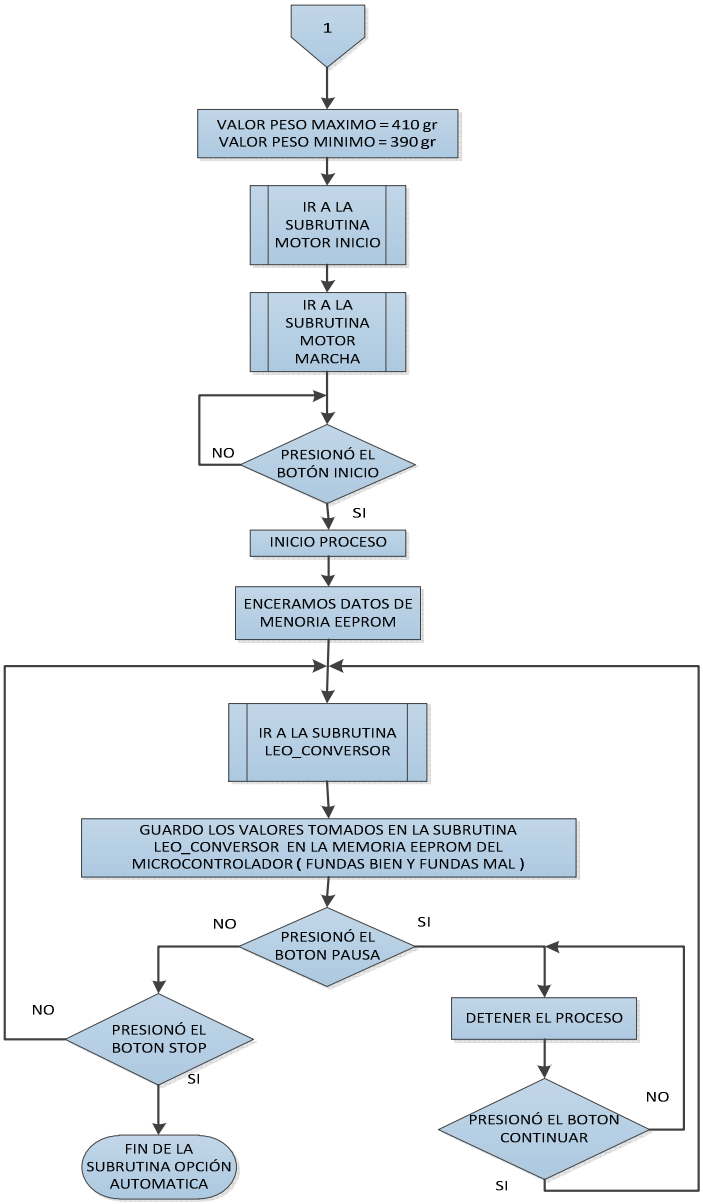


Figura 3.8 *Parte de la subrutina para la selección Automática del peso y el producto.*

Una vez parametrizados los valores para el proceso de empacado, se da lugar a la lectura del conversor análogo-digital (AN4) y con el dato obtenido se tiene la lectura del peso. El dato obtenido del conversor es guarda en la memoria EEPROM del microcontrolador para tener una base de datos de producción.

Cuando se presiona el botón PAUSA el usuario puede detener por un momento el proceso de verificación de las fundas selladas. Adicionalmente al hacer una pausa los datos de la última funda son almacenados para posteriormente seguir con el proceso de empaquetado al presionar el botón CONTINUAR.

Al finalizar el proceso se debe presionar el botón STOP, con lo que se guarda el conteo de las fundas totales, fundas con el peso incorrecto y las fundas con el peso correcto. Para de esta manera obtener una base de datos para mostrar en el HISTORIAL y en el BPP.

En el paso de página 1se encuentran las siguientes subrutinas:

- Subrutina para seleccionar las opciones a trabajar.
- Subrutina motor inicio.
- Subrutina motor marcha.
- Subrutina leo_conversor.

La subrutina para seleccionar las opciones de trabajo para el usuario y la subrutina para el motor inicio ya se explicó en la subrutina de la opción manual.

Esta subrutina se repite en los diferentes valores de peso que se seleccionan en el programa según las necesidades y características requeridas en el proceso de empaquetado.

El paso de página 1 es para trabajar con un valor de medida de 400 gramos, el paso de página 2 es para el valor de 1000 gramos que características similares a la página 1.

3.1.7 SUBRUTINA PARA LA POSICIÓN DEL MOTOR CORRESPONDIENTE AL PESO REQUERIDO (MOTOR MARCHA)

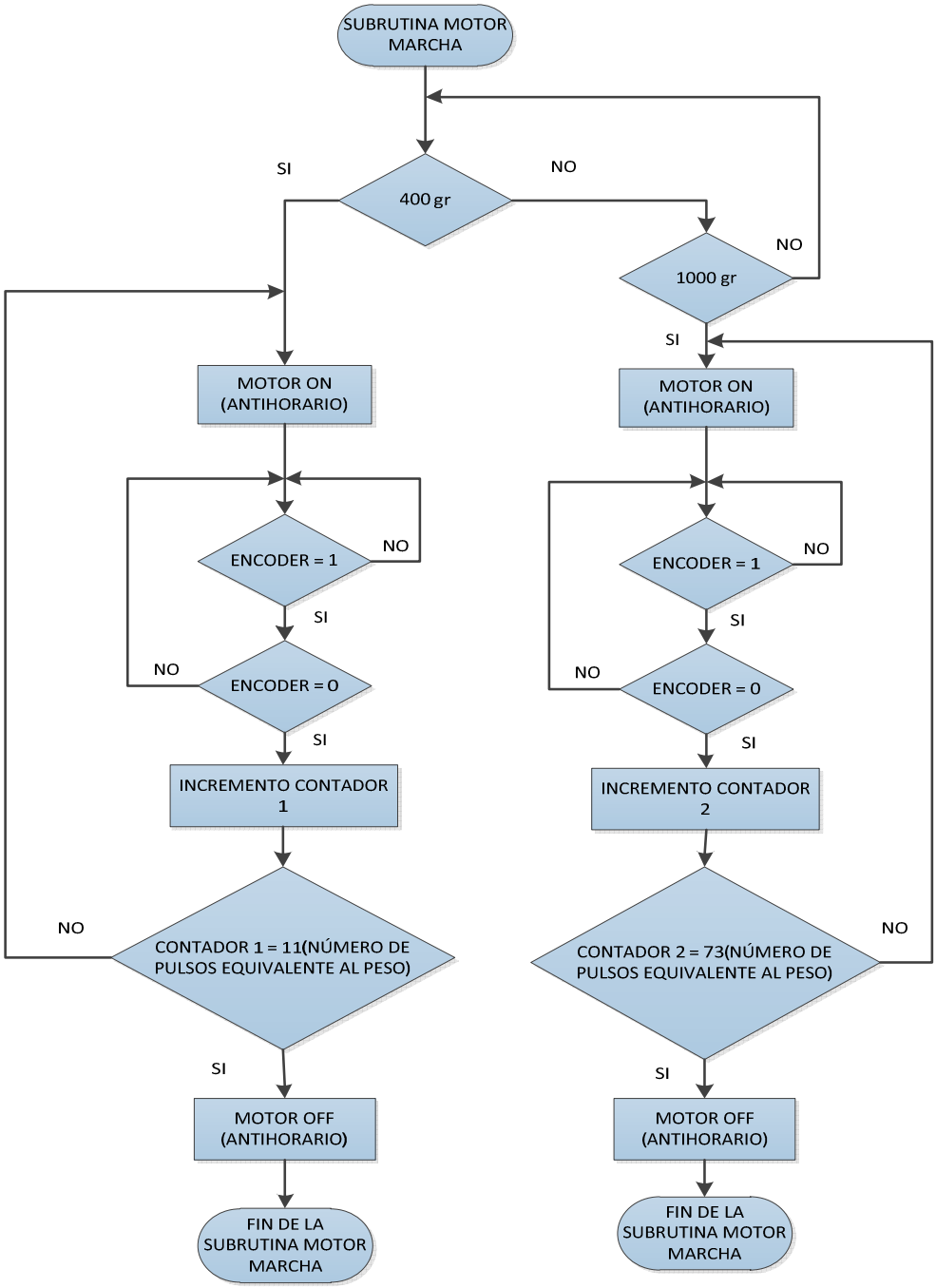


Figura 3.9 *Subrutina Motor Marcha.*

Para la subrutina Motor Marcha se verifican nuevamente los valores ingresados, una vez seleccionado el peso a empaquetar el microcontrolador activa el motorreductor para mover en conjunto con el acople de los ejes el disco que contiene los magnetos del encoder.

Al girar el disco en fracción de vuelta, el interruptor magnético envía una señal de voltaje al microcontrolador que son interpretados como pulsos.

En el microcontrolador un contador es el encargado del conteo de los pulsos hasta un valor ingresado internamente, que se los interpreta como números de vueltas, si el valor del número de pulsos llega al valor predeterminado para el peso, entonces se desactiva al motorreductor.

De esta forma calibramos la posición de los vasos volumétricos, para luego dar inicio al proceso de empaquetado. Esta subrutina únicamente se aplica para la opción AUTOMÁTICO.

3.1.8 SUBRUTINA DE LECTURA DEL CONVERSOR AD

En la subrutina Leo Conversor se habilita el conversor AD, en el cual ingresan valores analógicos provenientes de la balanza, estos valores una vez digitalizados ayudan a determinar el peso en las fundas.

Si el peso de la funda es correcto, el microcontrolador almacena el dato en la memoria EEPROM y envía una señal de activación al cilindro 1 que traslada la funda hacia el área de empacado del producto.

Cuando las fundas contienen un peso mayor al requerido por el proceso, los datos se almacenan en la memoria EEPROM, se activa el cilindro 1 y seguidamente el cilindro 2 para desplazar la funda fuera del proceso.

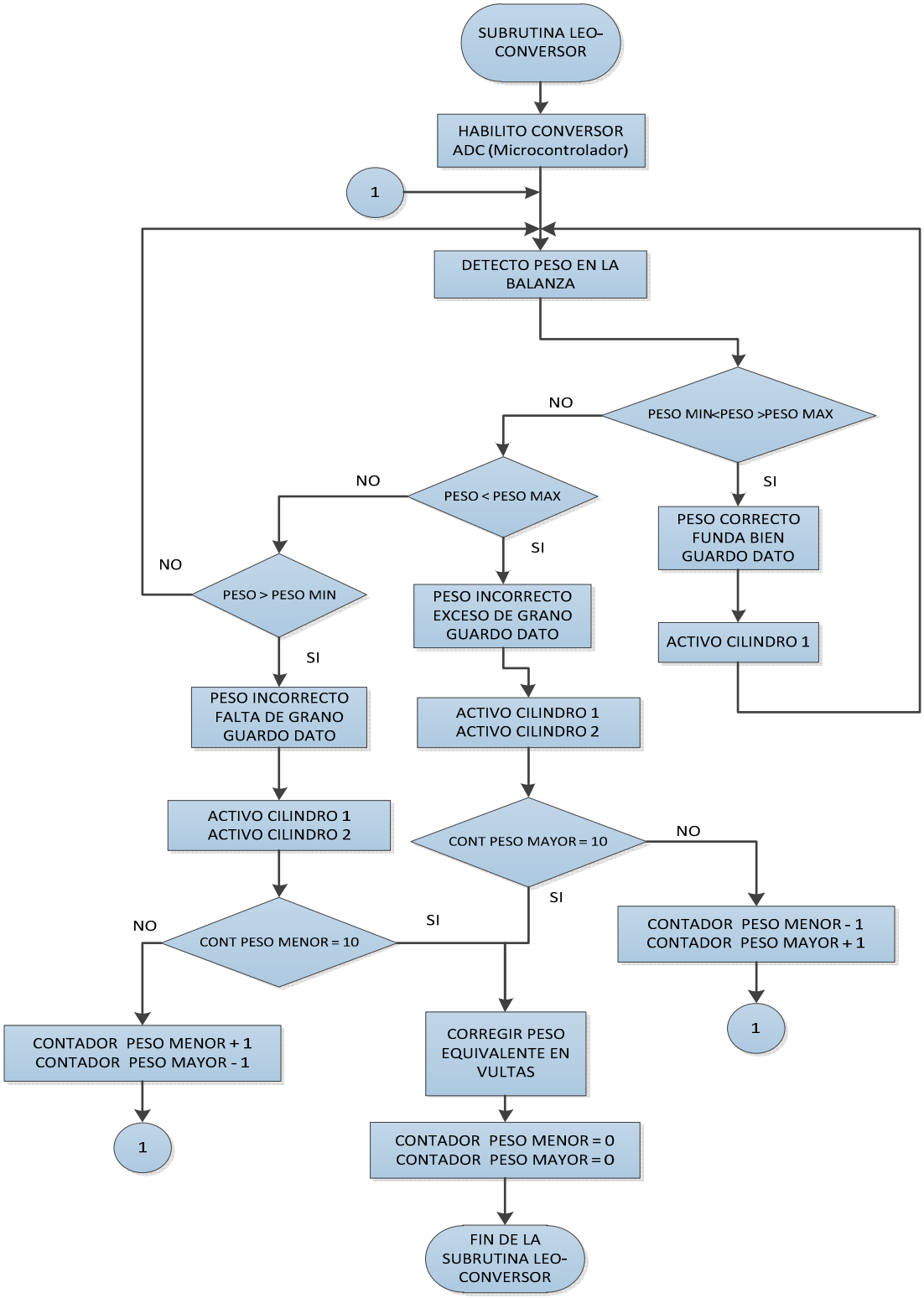


Figura 3.10 *Subrutina para la lectura del converso AD del microcontrolador.*

Se incrementa un contador para realizar un muestreo de las fundas malas y verificar si es necesario recalibrar el peso en las fundas.

Cuando 10 fundas seguidas contienen el peso incorrecto se procede a la activación del motorreductor para que este gire fracciones de vuelta el eje que gobierna el movimiento de los vasos volumétricos, teniendo como resultado la disminución del peso en la funda y colocándolo en los rangos aceptables para el proceso. Terminado esta secuencia se procede a seguir verificando el peso.

El contador actúa de igual forma para la lectura de las fundas que contienen el peso menor al requerido con la única diferencia de que el motorreductor varía en fracción de vuelta tomando en cuenta que el volumen en los vasos debe aumentar para mantenerse en los rangos ya establecidos.

Una vez que los contadores han culminado su conteo, el conversor verifica el peso nuevamente para determinar si es necesario calibrar el peso nuevamente. Consecuente a esto los valores de los contadores son encerados y mantienen un chequeo continuo del proceso.

3.1.9 SUBRUTINA PARA EL ALMACENAMIENTO DE DATOS EN LA TARJETA SD

Para la subrutina de almacenamiento de datos en la opción HISTÓRICO, se utiliza el protocolo SPI que consiste en el intercambio de información entre el controlador (master) y la tarjeta (Slave). Este intercambio se lleva a cabo mediante el envío de comandos por parte del controlador y de respuestas por parte de la tarjeta. Así, en la lectura, el controlador envía el comando de petición de lectura a

la tarjeta y esta le envía la respuesta de confirmación seguida del bloque de datos con la información contenida a partir de la dirección solicitada.

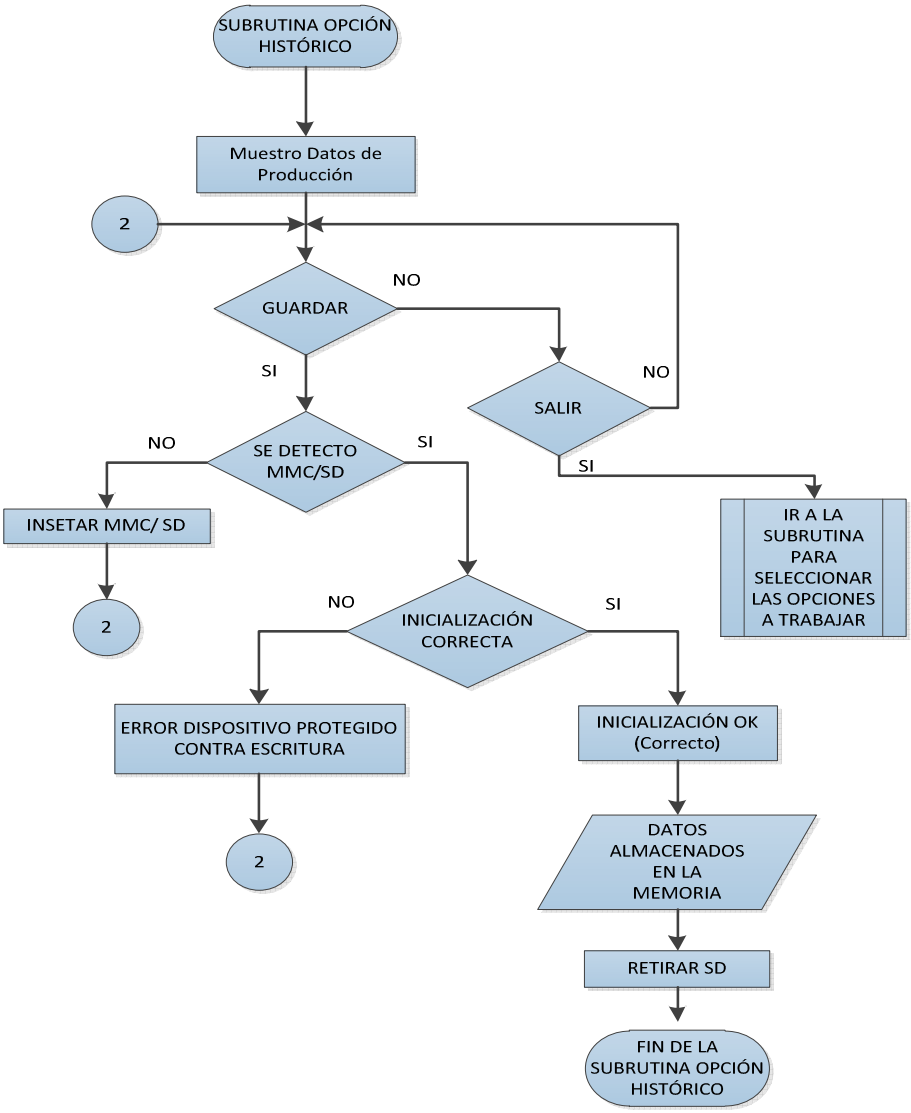


Figura 3.11 *Subrutina para el almacenamiento de datos en la tarjeta SD.*

En la escritura el proceso es parecido, el controlador indica a la tarjeta mediante el comando de escritura que quiere escribir información en una determinada

dirección, esta le responde indicando que esta lista y seguidamente el controlador envía el bloque de datos a escribir.

3.1.10 SUBRUTINA PARA LA VISUALIZACIÓN DE LAS BARRAS DE PORCENTAJE DE PRODUCCIÓN

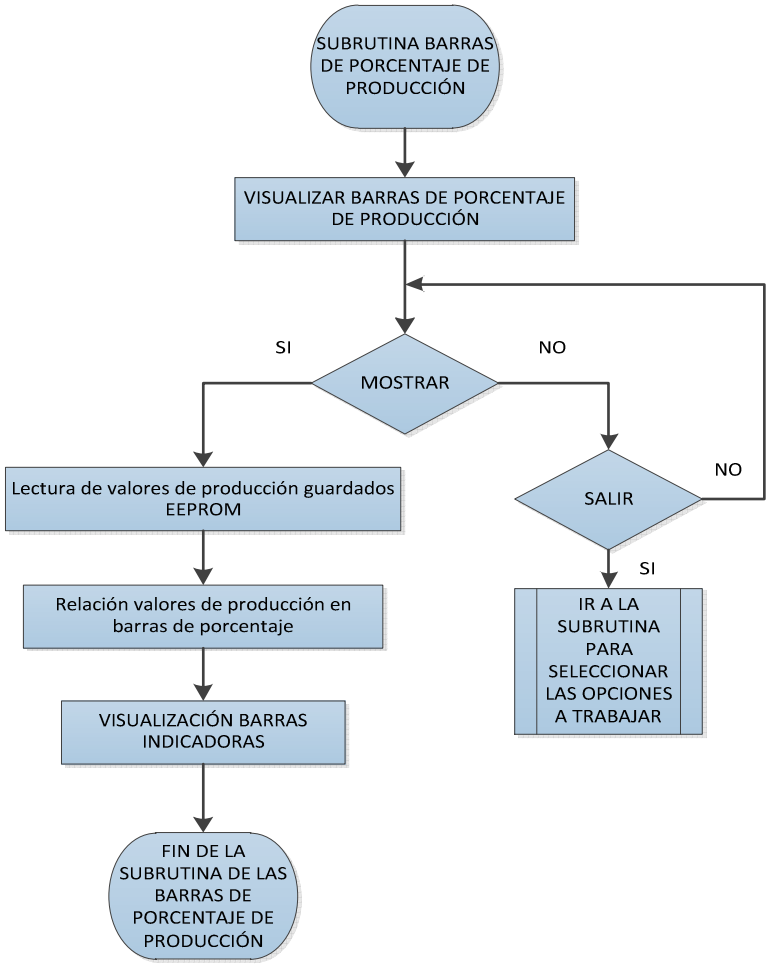


Figura 3.12 *Subrutina para visualizar las barras de porcentaje de la producción en la GLCD.*

Los valores de peso obtenidos en el proceso, son almacenados en la memoria del microcontrolador, el que internamente se realiza un muestreo de la producción con los datos almacenados para luego por medio de artificios matemáticos ser visualizados en la opción BPP (barras de porcentaje de producción) del menú.

3.2 COSTOS DEL PROTOTIPO.

En las tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4; se muestran el listado detallado de los elementos utilizados en la construcción del módulo de ajuste y corrección de peso.

TARJETA DE CONTROL DEL MÓDULO			
ELEMENTO	**CANTIDAD**	**VALOR UNITARIO**	**VALOR TOTAL**
Circuito impreso	1	30.00	30.00
Microcontrolador PIC18F452	1	9.00	9.00
Cristal 8 MHz	1	1.00	1.00
Borneras	12	0.50	6.00
Potenciómetros	2	0.50	1.00
Zócalo de 40 pines	1	1.50	1.50
Zócalo de MMC /SD	1	3.00	3.00
Resistencias 1/4W	25	0.02	0.50
Operacional TL084	1	0.50	0.50
Amplificador de instrumentación AD620	1	12.00	12.00
Condensadores electrolíticos	5	0.15	0.75
Pulsador	1	0.35	0.35
Diodo de señal	3	0.50	1.50
Diodo zener	1	0.50	0.50
Regulador de voltaje LM7812	1	0.50	0.50
Regulador de voltaje LM7824	1	0.50	0.50
Disipador de calor	1	0.50	0.50
Opto acopladores 4N25	2	0.50	1.00
Relé 110/24 10ª	2	1.00	2.00
Bus de datos (8 líneas)	4	1.00	4.00
TOTAL			**76.10**

Tabla 3.1 *Costos de la tarjeta de control del módulo.*

ELEMENTOS NEUMÁTICOS			
ELEMENTO	**CANTIDAD**	**VALOR UNITARIO**	**VALOR TOTAL**
Cilindro simple efecto	2	70.00	140.00

Electroválvula 3/2, 24vdc	2	40.00	80.00
Racor codo 1/8”X6MM	2	1.50	3.00
Racor codo 1/8”X6MM	8	1.00	8.00
Silenciador plástico 8 MM”	4	1.00	4.00
Tubo poliuretano 6MM(azul)	3	1.00	3.00
Filtro regulador 1/4	1	35.00	35.00
Unión ” T” 6MM”	2	1.50	3.00
TOTAL			296.00

Tabla 3.2 *Costos de los elementos neumáticos.*

ELEMENTOS DEL MÓDULO			
ELEMENTO	**CANTIDAD**	**VALOR UNITARIO**	**VALOR TOTAL**
Motorreductor	1	150.00	150.00
Estructura y mano de obra	1	500.00	500.00
Caja de control	1	30.00	30.00
Sensor magnético	4	2.50	10.00
GLCD de 128 X 64 pixeles	1	140.00	150.00
TOTAL			**840.00**

Tabla 3.3 Costos de Elementos del módulo.

DESCRIPCIÓN FINAL	
Tarjeta de control del módulo	76.10
Elementos neumáticos	296.00
Elementos del módulo	840.00
Diseño Mecánico	500.00
Diseño Neumático	350.00
Diseño Electrónico	1000.00
TOTAL	**3062.10**

Tabla 3.4 *Costo total del módulo de ajuste y corrección de peso.*

CAPÍTULO 4

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS

INTRODUCCIÓN

Una vez finalizada la implementación de todos y cada uno de los subsistemas que constituyen el módulo de ajuste y corrección de peso, se procedió a ejecutar pruebas de funcionamiento para determinar el comportamiento del módulo y sus componentes principales como son: electroválvulas, encoder (sensor magnético), celda de carga, motorreductor, pantalla táctil, almacenamiento de datos (tarjeta SD) y el sistema neumático de clasificación de fundas.

Las pruebas priorizaron el cumplimiento de las diferentes etapas que conforman el proceso, ya que es importante completar cada secuencia, pues cualquier falla interrumpiría el proceso de clasificación, pudiendo desencadenar en un error en la medida de las fundas selladas.

Las pruebas realizadas fueron las siguientes:

1. Pruebas de funcionamiento del mecanismo de pesaje y clasificación.
2. Pruebas de funcionamiento sistema automático de selección de peso.
3. Pruebas de funcionamiento del tablero de control.
4. Pruebas de funcionamiento del almacenamiento de datos.
5. Pruebas de Visualización de barras de porcentaje de producción.

4.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MECANISMO DE PESAJE Y CLASIFICACIÓN

Al momento de la activación de los cilindros neumáticos se observó, mediante un osciloscopio, señales transitorias provocadas por las vibraciones mecánicas, que afectaban la lectura de la señal de la celda de carga.

Cada una de las estructuras que conforma el mecanismo de pesaje y clasificación fueron sujetas de mejor manera, colocando láminas de goma para eliminar las vibraciones y ruido.

4.1.1 PRUEBAS REALIZADAS A LA CELDA DE CARGA

A la salida del acondicionamiento de la celda se observó señales de ruido provocado por vibraciones mecánicas, por lo que fue necesario poner filtros RC entre la salida de la celda y la entrada del amplificador de instrumentación AD620.

Como medida adicional para evitar el ingreso de ruido, se utilizó un cable apantallado entre la celda de carga y el circuito de acondicionamiento.

En la calibración de la celda se utilizaron fundas selladas con valores de peso de 400 y 1000 gramos, para obtener una relación de los gramos *vs* voltajes, de entre 1V y 5V respectivamente.

Se procedió a tomar las siguientes medidas de peso con sus respectivos valores de voltaje como respuesta:

- El valor de la celda de carga sin la estructura donde se deposita la funda es la siguiente.

Voltaje [V]	Peso [gr]
0.11	0

- El valor de la celda de carga con la estructura donde se deposita la funda es la siguiente.

Voltaje [V]	Peso [gr]
1.10	530

Los valores de voltaje correspondientes al peso aplicado en la celda de carga descartando el peso del soporte donde se depositan las fundas son:

t	Voltaje	Peso
1	1.14 V	400 gr
2	1.40 V	600 gr
3	2.8 V	1000 gr

Adicionalmente se verificó el tiempo de estabilización de la señal por medio de un osciloscopio, obteniendo como resultado el valor de ts = 200 ms como se indica en la figura 4.1. Siendo este dato importante para la activación del conversor y tomar lectura de voltaje en la celda de carga.

Después del tiempo de estabilización de la señal, se activó el conversor A/D con un tiempo determinado, para que el ruido producido por la vibración mecánica no afecte la adquisición de los datos.

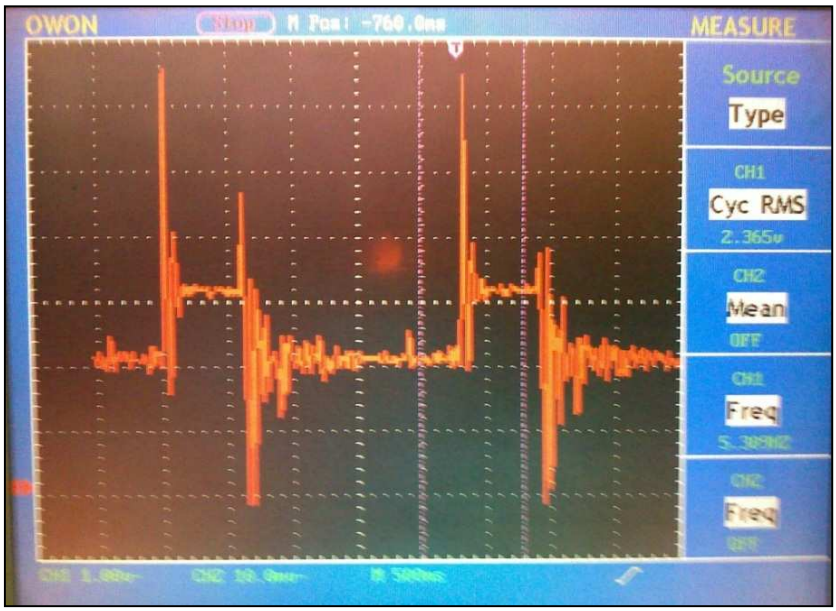


Figura 4.1 *Señal de voltaje obtenidas en la celda de carga.*

4.4.1.1 Pruebas para la Determinación del Rango de Error

Para obtener el rango de error del peso, que produce el módulo de ajuste y corrección de peso, se realizó un muestreo de las fundas selladas de 400 gramos de lenteja. La verificación se realizó de manera manual con una balanza electrónica comercial. Fue necesario realizar las pruebas de peso con lenteja ya que este producto se encontraba en gran cantidad almacenado en bodega y además por su granulometría regular, es muy manejable y se acomodan sin dejar muchos espacion vacios en los vasos volumétricos.

N° Muestras	Peso 400[gr]	Error [%]
1	384,09	-3,9775
2	399,99	-0,0025
3	387,79	-3,0525
4	404,69	1,1725
5	403,79	0,9475
6	408,19	2,0475
7	388,49	-2,8775

8	387,29	-3,1775
9	391,09	-2,2275
10	387,04	-3,2400
11	403,00	0,7500
12	391,80	-2,0500
13	394,80	-1,3000
14	396,00	-1,0000
15	401,05	0,2625
16	395,40	-1,1500
17	403,00	0,7500
18	408,00	2,0000
19	393,80	-1,5500
20	403,90	0,9750
21	408,19	2,0475
22	391,09	-2,2275
23	394,80	-1,3000
24	403,00	0,7500
25	401,05	0,2625
Promedio	**397,25**	**-0,69**
Desviación	**7,39**	**1,85**

Tabla 4.1 *Muestreo manual del proceso de empaquetado de 400 gr de lenteja.*

Con los datos tablulados obtenidos del muestreo, se procedio a calcular la media aritmética y desviación estándar, de esta manera se obtuvieron los rangos de error con los que trabaja la máquina y la calibración realizada por el módulo.

Cálculo de la media aritmética para las fundas de 400 gr.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{9999}{25} = 397.25$$

Cálculo de la desviación estándar para la muestra de 400 gr.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})^2}{n-1}}$$

$$\sigma = 7.93$$

El cálculo del error relativo de 400 gr se encuentra detallado en la tabla 4.1.

$$e_r = \frac{V_m - V_r}{V_r} * 100$$

$$e_r = \frac{V_m - V_r}{V_r} * 100$$

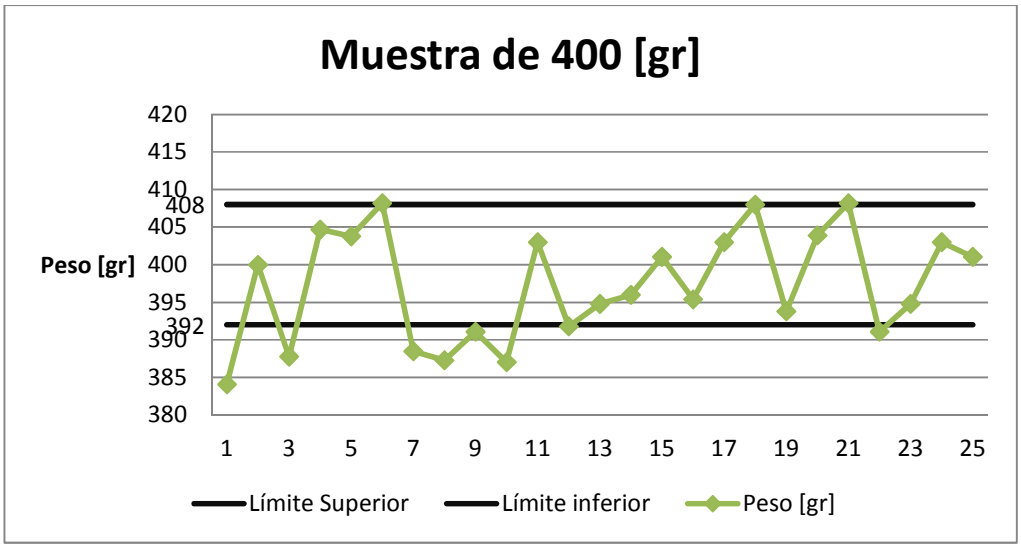


Figura 4.2 *Gráfica del muestreo de las fundas selladas de 400 gr.*

En la figura 4.2, se indica los valores del muestreo realizado a las fundas de 400 gramos de lenteja.

N° Muestras	Peso 1000 [gr]	Error [%]
1	987,79	-1,2210
2	1006,69	0,6690
3	1003,79	0,3790
4	994,09	-0,5910
5	999,99	-0,0010
6	987,79	-1,2210
7	1004,69	0,4690
8	993,79	-0,6210
9	1003,90	0,3900
10	1009,19	0,9190
11	986,09	-1,3910
12	994,80	-0,5200
13	1003,00	0,3000
14	1006,05	0,6050
15	994,80	-0,5200
16	996,00	-0,4000
17	1007,05	0,7050
18	995,40	-0,4600
19	1003,00	0,3000
20	1008,00	0,8000
21	993,80	-0,6200
22	1003,90	0,3900
23	987,79	-1,2210
24	1004,69	0,4690
25	1003,79	0,3790
Promedio	**999,19**	**-0,08**
Desviación	**7,15**	**0,72**

Tabla 4.2 *Muestreo manual del proceso de empaquetado de 1000 gr de arveja.*

De igual manera se caluló los valores de media aritmética, desviación estándar y error promedio para las fundas de 1000 gr de arroz.

Cálculo de la media aritmética para las fundas de 1000 gr.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{24979{,}75}{25} = 999.19$$

Cálculo de la desviacion estandar para la muestra de 1000 gr.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$\sigma = 7.15$$

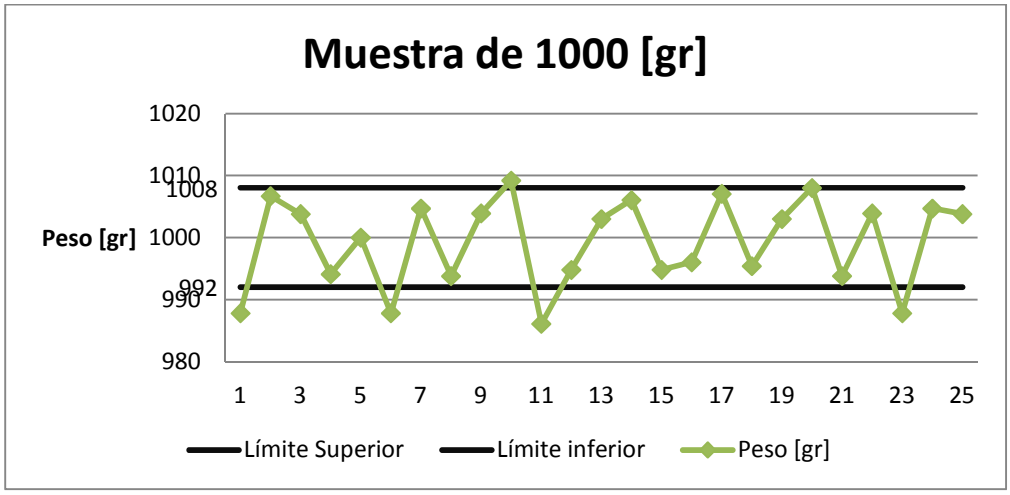


Figura 4.3 *Gráfica del muestreo de las fundas selladas de 1000 gr.*

Con los valores que ingresan al conversor, el microcontrolador internamente se encarga de evaluar el peso, tomado en cuenta el rango de error admisible, para después determinar su clasificación.

Por los resultados obtenidos en la gráfica de la media de producción, consideramos que el módulo está trabajando en los rangos de tolerancia aceptable para el proceso.

4.1.2 PRUEBAS REALIZADAS EN EL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN NEUMÁTICO

Las pruebas que se realizaron al sistema neumático, se las hizo sobre las electroválvulas, comprobando que el aire fluye a través de éstas hasta llegar al cilindro de simple efecto, y observando que el vástago se desplace y retorne a su posición inicial.

Para la activación de los cilindros neumáticos del sistema de clasificación del módulo de ajuste y corrección de peso, se utilizó como fuente el aire que ingresa a la máquina empacadora cuya presión es de 5 a 7; como la presión requerida por lo cilindros del módulo es de 3 a 4 bares, fue necesario utilizar una válvula reguladora de presión, como se muestra en la figura 4.4.

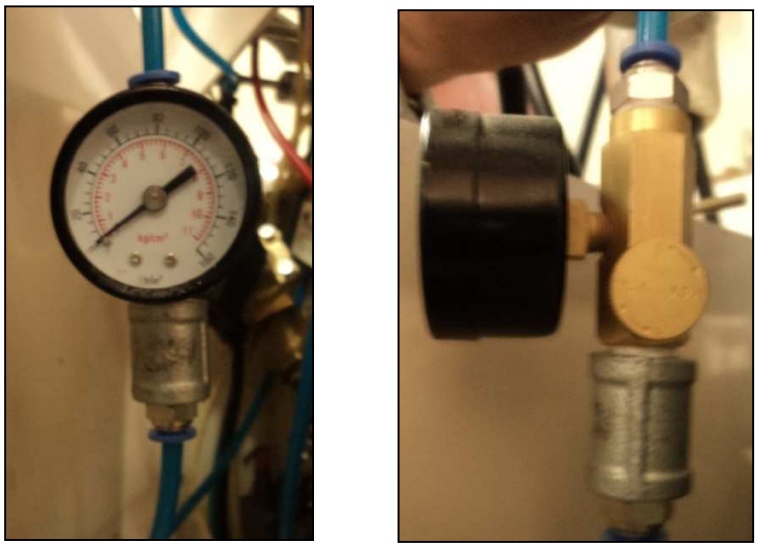


Figura 4.4 *Válvula reguladora de presión.*

Se determinó también el tiempo máximo de activación de las electroválvulas que controla el aire para los cilindros de simple efecto (fundas bien, fundas mal) y de esta forma no provocar discontinuidad y desincronización con la máquina empacadora.

4.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE SELECCIÓN DE PESO.

Una vez acoplado el motorreductor a la máquina empacadora se verificó el correcto funcionamiento del fin de carrera, encoder magnético, acople y movilidad de los ejes, tanto en sentido horario como anti horario.

4.2.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTORREDUCTOR

El motorreductor con las características de potencia, torque y velocidad, expuestas en los capítulos anteriores, cumplen satisfactoriamente el trabajo para el que fue escogido.

Las pruebas realizadas al acoplamiento entre el motorreductor y la máquina no mostraron problemas en su funcionamiento, obteniendo como resultado la interpretación correcta de todas las variables que participan en el sistema de selección de peso automático.

4.2.1.1 Pruebas de Funcionamiento del Encoder y Fin de Carrera

Para el funcionamiento del sistema automático de selección de peso, se realizaron pruebas de manera independiente, obteniendo de esta manera información de los elementos que gobiernan el proceso.

Para construir el encoder se utilizó un sensor magnético y de esta forma determinar número de vueltas del eje del motor. Esta señal eléctrica está en el rango de 0 V a 5 V, lo que es interpretado por el microprocesador como 0L o 1L.

Los tiempos en alto y en bajo dependen de la velocidad del motor en vacío y con carga, como se muestra en la figura 4.5. Para objeto de éste estudio, los tiempos adquiridos se encuentran en rangos aceptables, puesto que al acoplar el eje del motorreductor a la máquina, la velocidad disminuye por efecto de la carga, dándonos un rango mayor de tiempo para la lectura de la señal y determinar la posición del eje del motorreductor.

Adicionalmente se realizaron pruebas para la inversión de giro del motorreductor con la ayuda del fin de carrera, para determinar la apertura mínima a la que pueden desplazarse los vasos volumétricos. Esto con el propósito de evitar desperfectos mecánicos en el proceso de empacado.

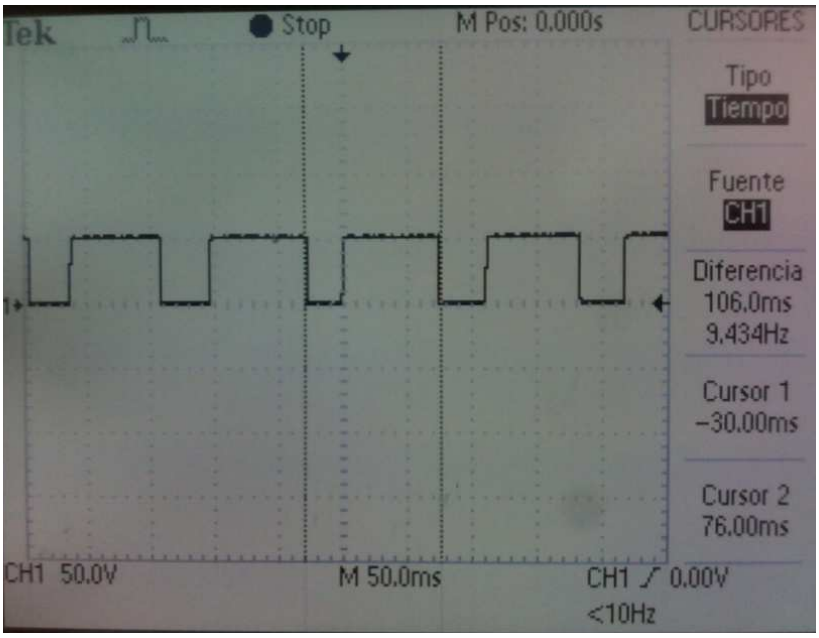


Figura 4.5 *Funcionamiento del motorreductor con el encoder.*

4.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL TABLERO DE CONTROL

4.3.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA PANTALLA TÁCTIL

Luego de la inicialización de la pantalla GLCD, se despliega una interfaz gráfica, que permite al operario interactuar con el proceso de empacado.

A continuación se muestran las diferentes opciones de menú, que el usuario debe seleccionar para darle funcionalidad al módulo de ajuste y corrección de peso.

Figura 4.6 *Menú principal y opciones a escoger en la pantalla táctil.*

Si el usuario ha seleccionado la opción manual como se indica en la figura 4.7, entonces por medio de la pantalla táctil debe ingresar valores en fracción de vuelta (1/4 de vuelta), para controlar el tornillo sinfín, en los dos sentidos de giro, para regular los vasos volumétricos. De esta manera el usuario ajusta el peso deseado de manera manual (sin el control automático).

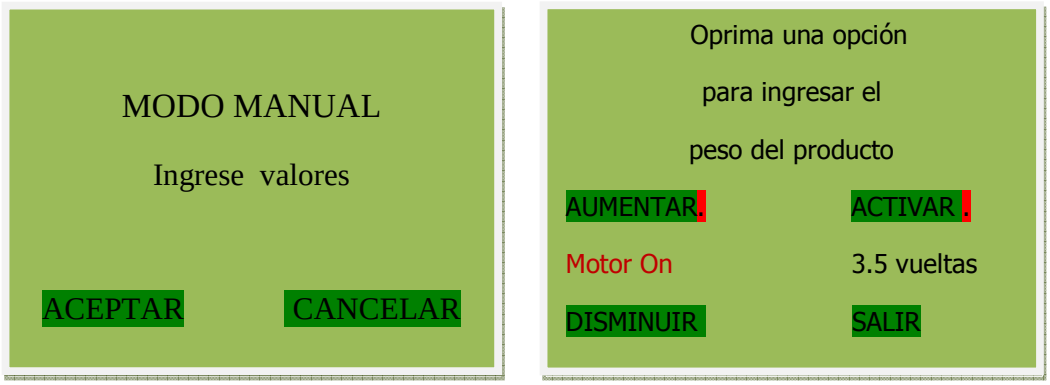


Figura 4.7 *Opción manual.*

Si el usuario ha seleccionado la opción automática (figura 4.8), entonces la pantalla táctil genera un submenú que permite seleccionar el tipo de producto a empacar.

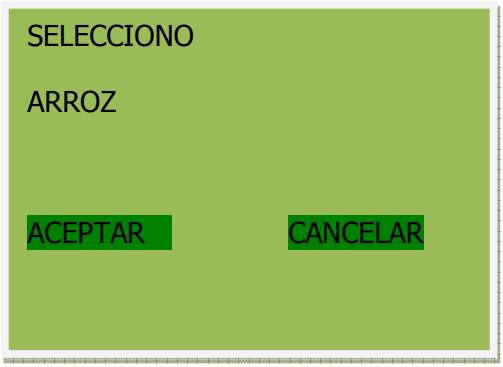


Figura 4.8 *Opción automático, selección tipo de grano a enfundar.*

Luego de seleccionar el tipo de grano, la pantalla táctil muestra un submenú para seleccionar el peso que se desea empacar, como se indica en la figura 4.9. Con los valores ingresados, el motorreductor gira el número de vueltas que corresponde al peso seleccionado.

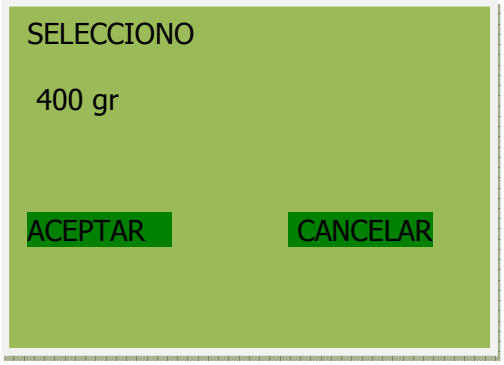


Figura 4.9 *Selección para el peso de la funda.*

4.4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL ALMACENAMIENTO DE DATOS

Si el usuario ha seleccionado la opción HISTÓRICO, entonces la pantalla táctil genera un submenú para el almacenamiento de datos. En el almacenamiento de los datos se toma muy en cuenta la inicialización de la comunicación entre la SD y el microcontrolador.

Figura 4.10 *Selección para el almacenamiento de datos.*

En las pruebas realizadas para el almacenamiento de datos, se utilizó una tarjeta de memoria externa SD, con un máximo de capacidad de 1 Gigabyte. Antes de proceder a guardar la información en la memoria, este elemento tiene que ser formateado en un computador con los parámetros que se indican en la figura 4.11.

El formateo se lo realiza, con el propósito de evitar que los datos guardados no contengan información que no correspondan al proceso (datos basura).

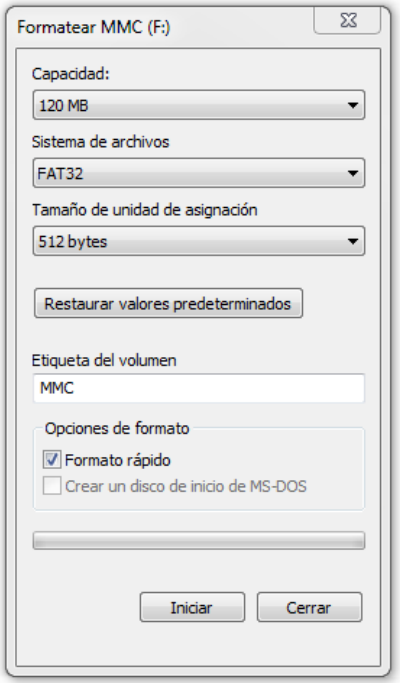


Figura 4.11 *Formatear en fat 16, 32.*

Al ingresar a la opción HISTORICO, seguidamente se muestra los datos de producción, donde se muestra la cantidad de fundas con el peso correcto, peso incorrecto y totales.

Figura 4.12 *Visualización de los datos almacenados.*

En el momento que accedemos a la opción (GUARDAR) se inicia la comunicación, y transferencia de datos a la tarjeta SD para su almacenamiento, estos datos podemos observarlos como un archivo .txt, que contiene la información del proceso finalizado.

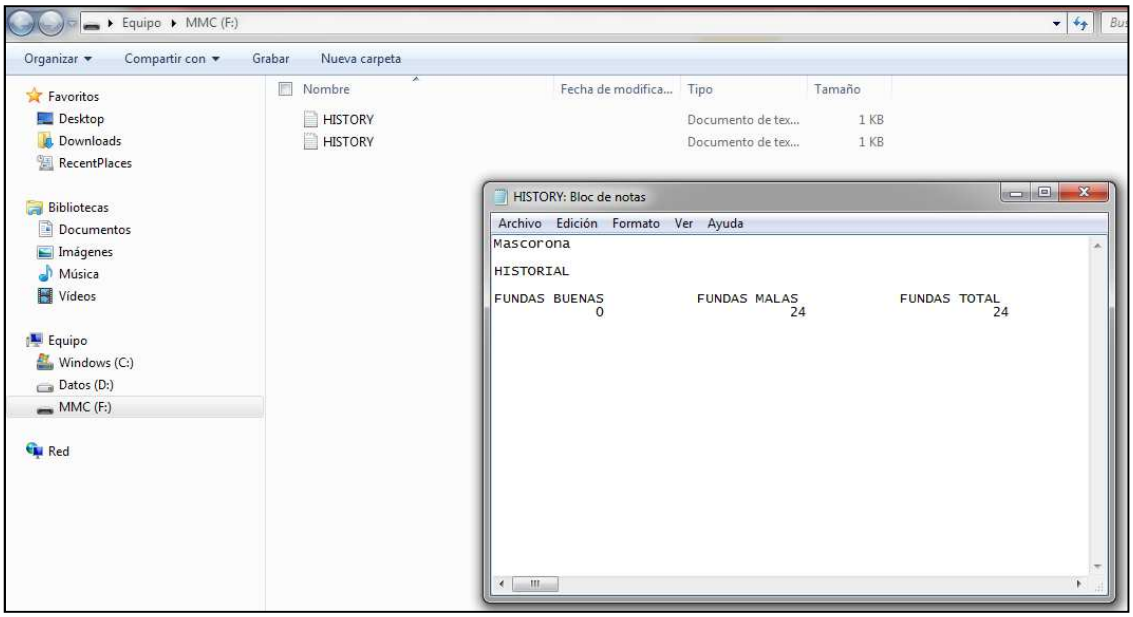


Figura 4.13 *Visualización del archivo txt.*

4.5 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS BARRAS DE POCENTAJE DE PRODUCCIÓN

Finalizado el proceso de empaquetado del producto, se realizaron pruebas sobre un lote de producción, a fin de determinar la eficiencia y desempeño del módulo de ajuste y corrección de peso.

Se empacaron 200 fundas de arveja, de las cuales se determinó que 192 fundas tenían el peso correcto, las 7 fundas restantes tenían el peso incorrecto, el número de fundas buenas y malas se expresaron en valores de porcentaje para la realizar los gráficos que se muestran a continuación.

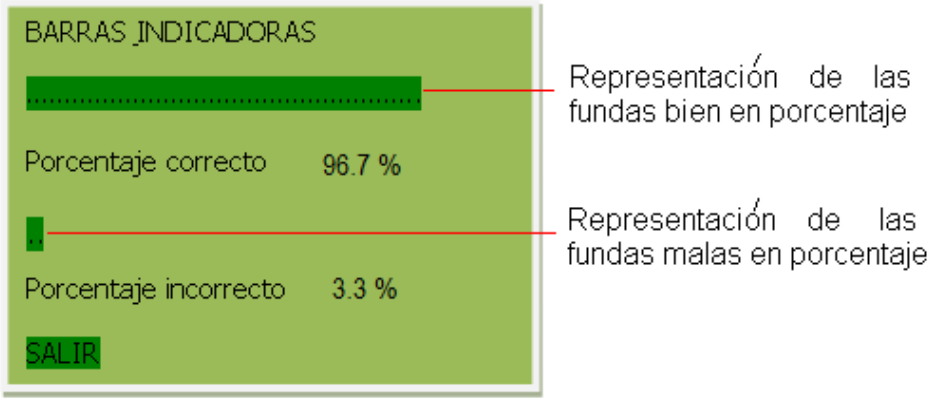


Figura 4.14 *Barras Indicadoras del Porcentaje de producción.*

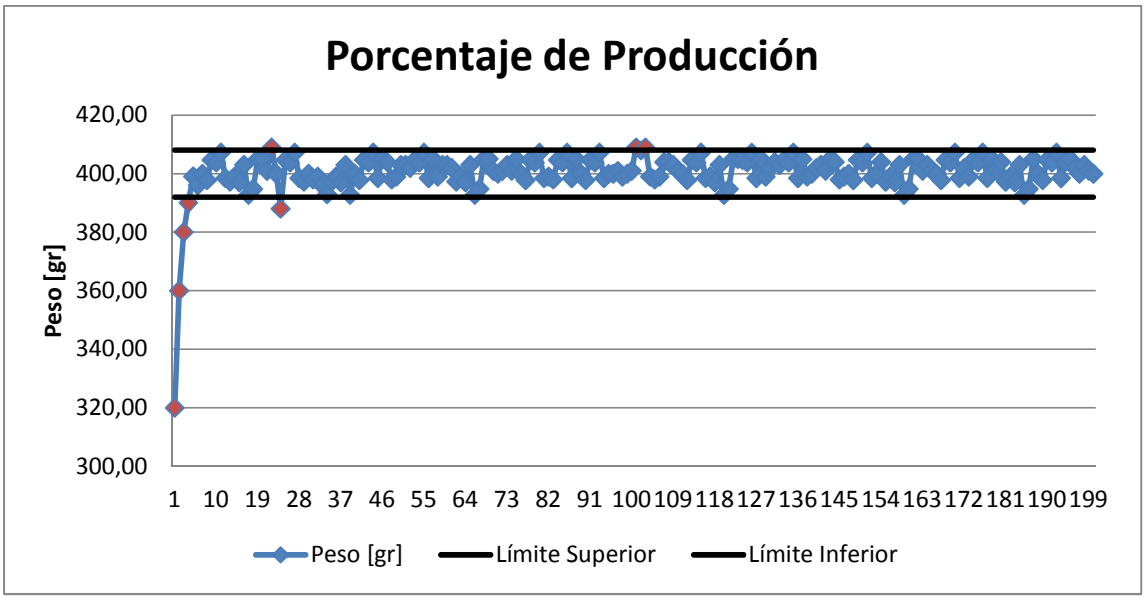


Figura 4.15 *Barras Indicadoras del Porcentaje de producción.*

Luego de realizado el proceso de empaquetado para un lote de 200 fundas, se observa que el porcentaje de fundas buenas es el 96.70 %, y el porcentaje de fundas malas es 3.30 %. Con estos datos comprobamos que el proceso de empacado trabaja en los rangos aceptables. Esto con el propósito de verificar el porcentaje de producción mostrado en barras en la pantalla touchscreen.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- En el diseño y construcción del módulo de ajuste y corrección de peso, objeto de este proyecto de tesis, nos permitió aplicar varios de los conocimientos adquiridos en la Carrera de Control, tal como electrónicos, mecánicos, neumáticos, control industrial y constituyen la base para su ejecución.

- El módulo realiza el control del volante para regular el peso del grano en las fundas, verifica el peso por medio de una balanza electrónica y clasifica fundas con el peso correcto e incorrecto, cumpliendo así a cabalidad los requerimientos que la empresa MASCORONA solicitó.

- El módulo puede extenderse a otra variedad de pesos como por ejemplo: 2, 4, 10 Kg, modificando los rangos de pesaje en la programación y físicamente extendiendo la estructura.

- Para la construcción del mecanismo de pesaje y clasificación de las fundas, se seleccionó el tipo de material tomando en consideración normas de manejo y manipulación de alimentos en la industria. Los materiales utilizados fueron bronce y aluminio debido al contacto de la estructura con el producto sellado.

- Se optó por los motores que tienen el reductor acoplado en una misma estructura, ya que estos permiten la variación de la velocidad de manera continua y producir un torque que ayuda a la movilidad.

- La interfaz del operador constituyó una buena ayuda para controlar el proceso de ajuste, corrección, clasificación y visualización del peso de las fundas que empaca la maquina INDUMAK.

- La pantalla táctil está diseñada para trabajar a nivel industrial por lo que tiene una vida amplia de trabajo, tomando en cuenta su mantenimiento.

- En el acondicionamiento de la señal de la celda de carga se utilizó un amplificador de instrumentación (AD620) para amplificar el voltaje de salida (mV) de la celda y un filtro, para minimizar las señales de ruido a la entrada del conversor del microcontrolador.

- Para el sistema de clasificación de las fundas, el dato de placa de la electroválvula, proporciona información de potencia y voltaje que ayudó con el diseño de la fuente para la excitación de dicho elemento.

- Para la clasificación de las fundas el sistema neumático del módulo, el aire comprimido proviene de la unidad de mantenimiento de la maquina empacadora INDUMAK, por lo que no se utilizó una alimentación externa.

- Fue necesario incluir las protecciones debidas para el accionamiento del motorreductor puesto que los armónicos generados pueden afectar el funcionamiento normal del microprocesador.

- En este proyecto se realiza el estudio de todas las partes que constituyen la maquina empaquetadora, donde se verifica que la dosificación del producto

a través de los vasos de volumetría fija, generan error, cuando la geometría (no uniforme) y volumen son mayores al del arroz, especificado por el fabricante de la máquina.

- El ajuste y corrección de peso no se logra para ciertos productos de granulometría no uniforme (maíz, mote), debido a que el producto en el contenedor no llega a completar los espacios vacíos entre ellos, dando como resultado una variación en el peso.

- Una vez descargado el producto hacia la funda, en los vasos volumétricos se mantiene un remanente del producto el que provoca que en la siguiente descarga varíe el volumen del grano, viéndose reflejado como error de peso en la funda.

- Otra causa de error es la forma de arrastre del producto para hacer el llenado de los vasos volumétricos, el cual no garantiza que la cantidad del producto sea aforado en el vaso correctamente.

- El error en el peso se debe, también, a las condiciones de almacenamiento o bodegaje del producto, refiriendo con esto a la humedad existente en el ambiente, que cambiarían las características del producto por ejemplo: el garbanzo que al humedecerse cambia su granulometría y densidad por la humedad absorbida por el producto, afectando la medida de peso.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para que el módulo de ajuste y corrección de peso se recomienda aislar la fuente que alimenta el circuito de control de la parte de potencia, con un transformador de aislamiento, ya que en el arranque e inversión de giro del motorreductor puede crear interferencias en el circuito de control.

- Se recomienda el uso de un lápiz óptico para el contacto con la superficie de la pantalla táctil, cuando el usuario escoja una opción en el menú, ya que dicho elemento ayudará a que la pantalla no sufra daños y tenga una larga vida útil.

- Es necesario lubricar periódicamente las partes móviles del sistema de clasificación de las fundas para evitar la fricción y degaste de las mismas.

- Se recomienda, revisar periódicamente la calibración de la celda de carga para mantener el error en los rangos aceptables, requeridos por la empresa

- De acuerdo al análisis obtenido en el proyecto de titulación, se recomienda: que la máquina empaquetadora trabaje con productos de granulometría regular y uniforme similares al del arroz, debido a que no hay muchos espacios vacíos entre ellos al caer en los contenedores.

- Se recomienda a futuro, realizar el estudio del método de dosificación de la máquina, para conseguir resultados óptimos en la dosificación de productos con granulometría irregular y volumen grande.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Manual del Operario, Esquemático, Neumático, Eléctrico Empacadora GR-1000, www.Indumak.com.br

[2] Catalogo Técnico, DMO co.Ltd, Interfaces con Touch. http://www.dmccoltd.com/english/tecnical/logs/tec20041126_b.asp

[3] Planet Analog, Powering resistive touch screens efficiently http://www.planetanalog.com/showArticle.jhtml;jsessionid=RFSB3IHNKMLT5QE1GHOSKH4ATMY32JVN?articleID=199702778

[4] Crystalfontz, America Inc, *CFAG12864B-WGH-V:128 x 64 Graphic LCD*, Valleyford, WA, 2004, www.displaytech-us.com

[5] Comunicación serial sincrónica, http://proyecto-test-hm1.googlecode.com/files/Cap_No_05.pdf

[6] Ing. Eric López Pérez, INGENIERÍA EN MICROCONTROLADORES Curso de Redes de Microcontroladores PIC, (Protocolo SPI). México Distrito federal, http://www.i-micro.com/pdf/articulos/spi.pdf

[7] Maquinas Eléctricas y Transformadores, Irving L. Kosow, PH. D.

[8] Maquinas Eléctricas (Segunda edición) Stephen J. Chapman

[9] Motores Eléctricos (2001) Motores eléctricos en baja tensión, Catalogo General Siemens.

[10] Reductores Y Motor reductores www.caja.reductora/MOTORES.REDUCTORES.Monografias_com.

[11] Wikipedia Engranaje, http//www.caja.reductora/teoria.la.caja.reductora.com

[12] Diseño e Implementación de un Encoder, http://www.forosdeelectronica.com/f16/encoders-informacion-tecnica-25/

[13] sensor Fin de Carrera, De Wikipedia, la enciclopedia libre, http://www.buenastareas.com/ensayos/Funcionamiento-Encoder/1320003.html

[14] FESTO, Fundamentos de Electroneumática, http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/095246_leseprobe_es.pdf

[15] Microchip Technology, Inc.
http://www.microchip.com/
Sitio del fabricante de los microcontroladores PIC. Aquí encontrará las hojas de datos y Application Notes.

[16] MikroElektronika, MikroBASIC User's Manual
http://www.mikroe.com/pdf/mikrobasic/mikrobasic_manual.pdf

[17] Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll.
Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales.
Prentice Hall, México, 1998.