

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL PARA PESAJE Y ENFUNDADO DE PAPA PICADA

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

WILLIAM ALEXANDER ARMIJOS BARONA
williamarmijos@gmail.com

MAYRA ALEJANDRA SARZOSA VILLARROEL
sarzosa_ale@hotmail.com

DIRECTOR: ING. GERMÁN ENRIQUE CASTRO MACANCELA MSc.
gcastro@gammaservicios.com.ec

CODIRECTOR: ING. CARLOS IGNACIO PAVÓN VARGAS
carlos.pavon.vargas@gmail.com

Quito, Marzo 2014

DECLARACIÓN

Nosotros, William Alexander Armijos Barona y Mayra Alejandra Sarzosa Villarroel, 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.

William Armijos Barona

Mayra Sarzosa Villarroel

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por William Alexander Armijos Barona y Mayra Alejandra Sarzosa Villarroel, bajo nuestra supervisión.

Ing. Germán Castro M. MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Carlos Pavón V.
CO-DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Gracias al Todopoderoso, mi Señor y salvador Jesucristo, porque suya es la inteligencia y de él proviene la sabiduría, porque me ha sostenido y ha abierto caminos donde no ha habido, he visto correr ríos en el desierto y su compañía en la soledad.

Gracias a mi familia por sus constantes oraciones al Señor en favor mío, en especial a mis Padres, Angel Alejandro y Fanny Rosario, por su ayuda abnegada y apoyo incondicional, Padres no os he defraudado.

Gracias a la Escuela Politécnica Nacional y a todos mis maestros por sus sabias enseñanzas, al Msc. Germán Castro y al Ing. Carlos Pavón, por su dirección en este proyecto y acertados consejos.

Gracias a mi compañera Alejandra Sarzosa, por el esfuerzo y dedicación, por las horas de desvelo, lágrimas y sufrimiento, pero con la tenacidad que toda mujer valerosa posee, Alejandra todo esfuerzo tiene su recompensa y esta es la tuya.

Además, quiero extender mis agradecimientos al Ing. Christian Aguirre por haber sido el auspiciante de este proyecto, y haber depositado su confianza en nosotros, muchas gracias Chris.

William Alexander

AGRADECIMIENTOS

Son varias las personas, cuyo apoyo ha sido indispensable para la realización del presente proyecto, y es justo que reciban mis sinceros agradecimientos y estima por ello.

A mis padres, Rosa y José, por su apoyo constante y confianza incondicional.

A mis hermanos, Thalía y Jeanpierre, por su cariño y paciencia.

A Nelson por ser mi soporte y guía a lo largo de esta importante etapa.

A William por su tenacidad y entrega a nuestro proyecto.

A los Ingenieros Germán Castro y Carlos Pavón, por sus enriquecedoras enseñanzas y experiencias.

Finalmente, al Ingeniero Christian Aguirre por la invaluable oportunidad de trabajar en este proyecto.

Mayra Alejandra

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres, Angel y Fanny, y a todas aquellas personas, que creen en el talento humano de nuestro país.

William Alexander

DEDICATORIA

A mi familia, mi más preciado tesoro e inspiración, como ofrenda recordatoria de que todo esfuerzo cuenta y ninguna cima es inalcanzable.

Mayra Alejandra

CONTENIDO

| | |
|--|-------------|
| DECLARACIÓN | II |
| CERTIFICACIÓN | III |
| AGRADECIMIENTOS | IV |
| DEDICATORIA | VI |
| CONTENIDO | VIII |
| RESUMEN | XI |
| PRESENTACIÓN | XII |
| 1.1 EMPACADO DE PAPAS PICADAS | 13 |
| 1.1.1 SELECCIÓN DEL PLÁSTICO PARA ENFUNDADO | 13 |
| 1.1.1.1 Tipos de Plástico | 13 |
| 1.1.1.2 Presentaciones del plástico | 15 |
| 1.1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO A EMPACAR | 17 |
| 1.2 MÉTODOS DE DOSIFICACIÓN | 18 |
| 1.2.1 DOSIFICACIÓN POR RELACIONES | 19 |
| 1.2.1.1 Dosificación por gravedad [9] | 19 |
| 1.2.1.2 Dosificación por tornillo sin fin [10] | 20 |
| 1.2.1.3 Dosificación por banda transportadora [11] | 20 |
| 1.2.1.4 Dosificación por canal vibrante [9] | 21 |
| 1.2.2 DOSIFICACIÓN VOLUMÉTRICA O POR COPAS [12], [13] | 22 |
| 1.2.3 DOSIFICACIÓN POR PESO | 23 |
| 1.2.3.1 Dosificación por relaciones con etapa adicional de pesado [9], [10] y [11] | 23 |
| 1.2.3.2 Dosificación por multicabezal [10], [14] | 24 |
| 1.3 DESCRIPCIÓN MECÁNICA DE LA EMPACADORA MULTICABEZAL DEL PROYECTO DE POWER TECHNOLOGIES | 27 |
| 1.3.1 ETAPA DE DOSIFICACIÓN | 28 |
| 1.3.1.1 Entrada del producto | 29 |
| 1.3.1.2 Diseminado del producto | 32 |
| 1.3.1.3 Pesaje del producto | 35 |
| 1.3.2 ETAPA DE ENFUNDADO | 36 |
| 1.3.2.1 Recolección del Producto | 37 |
| 1.3.2.2 Guiado, Freno y Arrastre del Plástico | 38 |
| 1.3.2.3 Formación, Sellado y Corte de la Funda | 43 |
| 2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL | 48 |
| 2.1.1 ENTRADA DE PRODUCTO | 49 |
| 2.1.1.1 Electroválvula 5/2 | 50 |
| 2.1.1.2 Cilindro Neumático DNC | 51 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 2.1.1.3 | Controlador Lógico Programable (PLC) | 52 |
| 2.1.1.4 | Touch Panel HMI | 53 |
| 2.1.2 | PESAJE DEL PRODUCTO..... | 54 |
| 2.1.2.1 | Transductor de Peso..... | 56 |
| 2.1.2.2 | Convertidor de Señal..... | 57 |
| 2.1.2.3 | Servomotor..... | 58 |
| 2.1.2.4 | Tarjeta para Acondicionar señal de servo motores..... | 59 |
| 2.1.3 | FORMACIÓN DE LA FUNDA | 66 |
| 2.1.3.1 | Sensor De Contraste..... | 67 |
| 2.1.3.2 | Motor de Inducción..... | 69 |
| 2.1.3.3 | Variador de Velocidad | 71 |
| 2.1.3.4 | Pistones DSNU | 73 |
| 2.1.4 | TEMPERATURA..... | 75 |
| 2.1.4.1 | Transductor de Temperatura..... | 76 |
| 2.1.4.2 | Controlador de Temperatura..... | 77 |
| 2.1.4.3 | Relé de Estado Sólido (SSR) | 78 |
| 2.1.4.4 | Resistencias Térmicas..... | 79 |
| 2.2 | TABLEROS DE CONTROL..... | 80 |
| 2.2.1 | TABLERO PRINCIPAL DE CONTROL..... | 81 |
| 2.2.2 | TABLERO AUXILIAR #1..... | 84 |
| 2.2.3 | TABLERO AUXILIAR #2..... | 84 |
| 3.1 | ESQUEMA SIMPLIFICADO DE CONTROL DE LA MÁQUINA DOSIFICADORA Y EMPACADORA DE LA EMPRESA POWER TECHNOLOGIES..... | 87 |
| 3.1.1 | DOSIFICADO | 88 |
| 3.1.1.1 | Diseminación | 89 |
| 3.1.1.2 | Pesaje y Descarga..... | 89 |
| 3.1.2 | EMPACADO | 89 |
| 3.1.2.1 | Formación..... | 89 |
| 3.1.2.2 | Sellado Vertical | 90 |
| 3.1.2.3 | Arrastre de la Funda..... | 90 |
| 3.1.2.4 | Corte y Sellado Horizontal | 90 |
| 3.2 | AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA DOSIFICADORA Y EMPACADORA MULTICABEZAL | 91 |
| 3.2.1 | CONDICIONES INICIALES | 91 |
| 3.2.2 | ARRANQUE DEL SISTEMA..... | 92 |
| 3.2.2.1 | Secuencia de Verificación..... | 92 |
| 3.2.2.2 | Preparación Manual de la Funda | 94 |
| 3.2.2.3 | Auto Enceramiento | 94 |
| 3.2.2.4 | Escalamiento..... | 94 |
| 3.2.2.5 | Enceramiento..... | 98 |
| 3.2.2.6 | Zona Muerta | 100 |
| 3.2.2.7 | Ajuste del Factor K | 100 |
| 3.2.2.8 | Selección del Peso..... | 103 |
| 3.2.3 | PESAJE..... | 103 |
| 3.2.3.1 | Filtro Digital | 105 |
| 3.2.3.2 | Lógica de Combinaciones | 106 |
| 3.2.4 | EMPACADO | 110 |
| 3.3 | HMI, PANEL TOUCH DE VISUALIZACIÓN..... | 111 |
| 3.3.1 | PANTALLA DE CONTROL DE INGRESO | 111 |
| 3.3.2 | PANTALLA HOME..... | 112 |
| 3.3.3 | PANTALLA PROCESO | 113 |
| 3.3.4 | PANTALLA DE CONFIGURACIÓN | 113 |
| 3.3.5 | PANTALLA DE VISTA GENERAL DE LA MÁQUINA | 114 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 3.2.6 | PANTALLA DE ESTADOS | 116 |
| 3.2.7 | PANTALLA DE ALARMAS | 117 |
| 3.2.8 | PANTALLA DE CALIBRACIÓN..... | 118 |
| 3.2.9 | PANTALLA DE RESETEO DE FÁBRICA..... | 121 |
| 3.2.10 | PANTALLA DE CURVA DEL PROCESO..... | 123 |
| 3.2.11 | PANTALLA DE TEST DE SERVOS | 123 |
| 3.4 | CONFIGURACIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD | 125 |
| 3.4.1 | PARÁMETROS IMPORTANTES EN LA CONFIGURACIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD | 128 |
| 3.4.1.1 | Configuración de entradas digitales..... | 128 |
| 3.4.1.2 | Configuración de salidas digitales..... | 128 |
| 3.4.1.3 | Configuración de frecuencias fijas | 129 |
| 3.4.1.4 | Configuración del frenado dinámico, factor de sobrecarga y modo de control | 129 |
| 4.1 | PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE CONTROL ASOCIADO AL COMPORTAMIENTO MECÁNICO..... | 130 |
| 4.1.1 | ALIMENTACIÓN DE PRODUCTO..... | 130 |
| 4.1.2 | PESAJE DE PRODUCTO | 131 |
| 4.1.3 | CONSTRUCCIÓN DE LA FUNDA FINAL | 136 |
| 4.2 | PRUEBAS DE CALIBRACIÓN Y AJUSTE..... | 138 |
| 4.2.1 | PRUEBA N° 1..... | 138 |
| 4.2.2 | PRUEBA N° 2..... | 139 |
| 4.2.3 | PRUEBA N°3 | 140 |
| 4.2.4 | PRUEBA N°4 | 141 |
| 4.2.5 | PRUEBA N°5 | 144 |
| 4.3 | PRUEBAS DE OPERACIÓN..... | 147 |
| 4.3.1 | PRUEBA DE REPETIBILIDAD | 147 |
| 5.1 | CONCLUSIONES..... | 151 |
| 5.2 | RECOMENDACIONES..... | 154 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 156 |
| | ANEXOS | 160 |

RESUMEN

En el medio industrial, la dosificación automática de un producto toma trascendental importancia, pues son muchos los alimentos que requieren de un proceso de empaclado para conservar sus características y propiedades hasta el momento de ser consumidos; el objeto es entregar una cantidad de producto, dentro de un rango de tolerancia establecido, que satisfaga al cliente y no perjudique a la empresa productora; dentro de los plazos de tiempo deseados y con mínimo desperdicio.

En este proyecto se diseña e implementa un sistema de control para el pesaje de papa picada en una máquina pesadora y enfundadora compuesta de 12 cabezales, en la cual se ha incluido un algoritmo de dosificación que provee una sumatoria parcial de pesos, proporcionando la porción de peso de consigna; además realiza la formación de la funda y empaquetado final de producto.

El control integral de la máquina se lo realizó con un PLC, adicionalmente se colocó un panel de control y señalización local para los principales parámetros del sistema, así como todos los elementos de accionamiento y maniobra.

PRESENTACIÓN

El presente trabajo involucra el conocimiento tanto mecánico como eléctrico para la operación eficiente de la máquina pesadora y enfundadora de papas picadas, abordando 5 capítulos para su completo desarrollo.

El CAPÍTULO 1 proporciona las generalidades inherentes al proceso de empaquetado de productos junto a los diversos métodos existentes en la industria para alcanzar este fin y presenta una descripción completa de las partes y sistemas mecánicos que constituyen la máquina a automatizar.

En el CAPÍTULO 2 se encuentra la descripción y criterios de selección de todos los elementos electrónicos implementados en el proyecto, agrupados en lazos de control representados por diagramas P&ID y que permiten la adquisición, procesamiento, control y visualización de las variables del proceso, señalando su modo de operación y características principales.

En el CAPÍTULO 3 se esquematiza el desarrollo y criterios de diseño del algoritmo de control implementado, en relación a cada etapa de acción desempeñada por un actuador en la máquina.

En el CAPÍTULO 4 constan las pruebas realizadas primero a los sistemas independientes y posteriormente a la máquina completa ensamblada hasta llegar a su calibración óptima de operación.

Finalmente, en el CAPÍTULO 5 se describen las conclusiones obtenidas de la ejecución del proyecto y las recomendaciones de operación correcta y mejoramiento posterior de la máquina.

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PESAJE Y ENFUNDADO DE PAPAS

1.1 EMPACADO DE PAPAS PICADAS

El empaquetado o enfundado de papas en fábrica, incluye la dosificación de una cantidad concreta de producto en cada funda, cuidando en extremo su integridad, antes, durante y después del proceso, para llegar al consumidor final con una presentación atractiva e higiénica. Para este tipo de empaquetado se deben considerar dos aspectos importantes:

- Selección del plástico para enfundado
- Identificación del producto a empaquetar

1.1.1 SELECCIÓN DEL PLÁSTICO PARA ENFUNDADO

En términos generales, se puede distinguir al plástico, como una amplia variedad de derivados de polipropileno y polietileno; debido a sus propiedades físicas y químicas, apenas algunos de ellos pueden ser utilizados para el enfundado de alimentos; también se debe considerar la presentación en rollo ideal, según sea la operación de la empaquetadora en modo manual, semiautomático o automático. [1], [2] y [3]

1.1.1.1 Tipos de Plástico

El polipropileno (PP) se encuentra comercialmente en diferentes pesos moleculares, a los que se les conoce como tipos o grados; destinados cada uno, a

una aplicación particular. La mayoría de estos grados son aptos para el contacto con alimentos. [4]

El polietileno (PE) es el plástico más común, comercialmente se encuentran varias categorías, como se muestra en la Figura 1.1; sin embargo, de esta clasificación, para el enfundado, se utilizan únicamente el MDPE, LLDPE, LDPE y VLDPE, siendo este último el ideal para trabajar con productos alimenticios. [5]

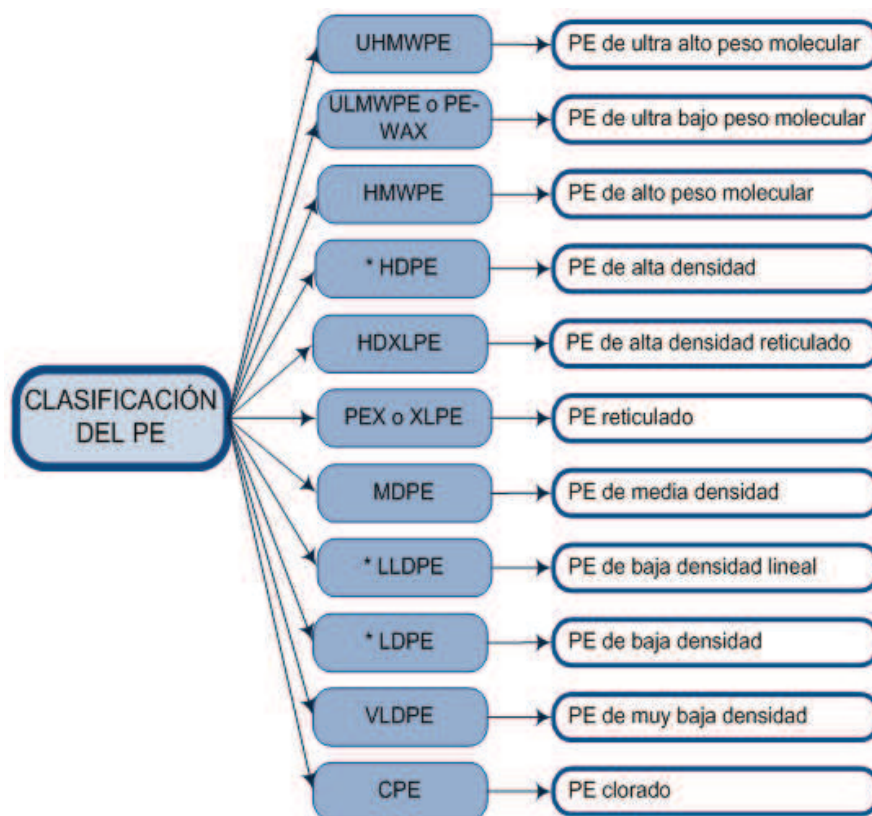


Figura 1.1 Categorías del polietileno, [5]

* Grados más importantes

Una variación especial de PE, es el Vacuflex70, su estructura consiste en una película multicapa de Poliamida modificada y Polietileno, como se identifica en la Figura 1.2. Está diseñado para contener principalmente alimentos con alto nivel de grasa y/o alta actividad de agua y es aplicable para productos congelados y sensibles a procesos de oxidación. [6]

En la Tabla 1.1 se encuentran dispuestos los valores de trabajo típico de este material.



1. Poliamida modificada
2. Adhesivo + Tintas
3. Polietileno de baja densidad

Figura 1.2 Estructura interna de Vacuflex70, tomado de [6]

| Parámetro | Valores | Tolerancias | Unidades |
|--|---------|-------------|------------------------|
| Espesor | 70 | ± 6% | micras |
| Gramaje | 68,3 | ± 6% | g/m ² |
| Dimensión selles de seguridad | 7 | ± 2 | mm |
| Tasa de Transmisión Vapor de Agua (WVTR 38°C; 100% HR) | < 12 | NA | g/m ² /día |
| Tasa de Transmisión de Oxígeno (OTR 23°C; 0% HR) | 40 - 50 | NA | cc/m ² /día |
| Fuerza de sello T = 110°C | 43 | ± 4 | N/mm ² |
| Temperatura de sellado | 110 | ± 5 | °C |
| Tiempo de Sellado | 2 | ± 1 | Segundos |
| Presión de sellado | 20 | NA | PSI |
| Laminación | 9,1 | ± 7 | N/15mm |
| Punción Interna | 12,2 | ± 0,5 | N |
| Punción Externa | 9,1 | ± 0,5 | N |

* Los valores mencionados deben ser usados como valores guía y no como especificaciones límite.

Tabla 1.1 Valores típicos de trabajo de Vacuflex70, tomado de [6]

1.1.1.2 Presentaciones del plástico

Existen tres presentaciones de plástico para enfundar y cada una de ellas está directamente relacionada al modo de producción empleado, como se muestra en la Tabla 1.2.

| PRESENTACIÓN DE PLÁSTICO EN ROLLO | FUNDAS | MANGA | LÁMINA |
|-----------------------------------|--|---|---|
| DESCRIPCIÓN | La funda tiene sellados 3 de sus 4 lados, por el extremo abierto se ingresa el producto. (Figura 1.3) | La manga se encuentra sellada longitudinalmente formando una especie de tubo. (Figura 1.4) | El plástico está dispuesto laminarmente, y la formación de la funda debe ser realizada por la máquina dosificadora. (Figura 1.5) |
| TIPO DE PRODUCCIÓN | Manual Semiautomática | Manual Semiautomática | Semiautomática Automática |

Tabla 1.2 Presentaciones del plástico según el tipo de producción



Figura 1.3 Rollo de fundas, [3] y [7]



Figura 1.4 Rollo de manga, [1]



Figura 1.5 Rollos de lámina, tomado de [8]

1.1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO A EMPACAR

Esta máquina está diseñada para empacar cierto tipo de producto que reúne a sólidos pequeños que en conjunto y al completar el peso o cantidad deseada son depositados en una funda. Algunos de ellos son los granos, fideos, snacks, caramelos, vegetales pequeños o picados, condimentos, especias, frutos secos, frutas frescas pequeñas, entre otros, que requieren de un trato cuidadoso, pues no deben romperse o aplastarse durante el proceso de dosificación y enfundado, como los indicados en la Figura 1.6.



Figura 1.6 Productos sólidos alimenticios enfundados

En el caso puntual de este proyecto, el producto llega a la máquina empacadora cuando a concluido su etapa de tratamiento y está listo para ser utilizado por el consumidor, para ello, la papa picada ha seguido el procesamiento previo indicado en la Figura 1.7.

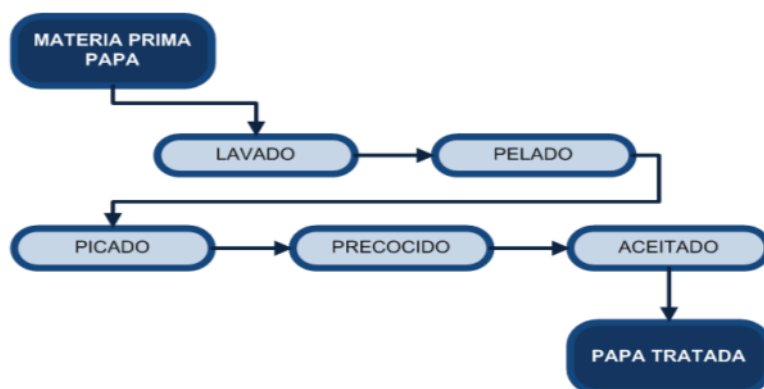


Figura 1.7 Procesamiento previo del producto

Atravesar por esta cadena, le permite al producto elevar su tiempo útil de consumo, al limitar su oxidación; sin embargo, también eleva su fragilidad, por lo que requiere en extremo de una cuidadosa manipulación durante el proceso de empacado final.

El empaque debe utilizar el plástico apropiado, este, debe poseer características específicas que le permiten detener la oxidación de su contenido, disminuyendo los niveles de oxígeno al mínimo en su interior, de modo que el producto pueda conservar sus características originales; y también, debe ser apto para sellado al vacío y congelación como requerimiento del producto para alargar su vida útil.

1.2 MÉTODOS DE DOSIFICACIÓN

Existen varios métodos desarrollados para dosificar la cantidad justa de producto que se desea empacar. Para facilitar su descripción se los distribuye en tres grupos: la dosificación por relaciones, volumétrica y por peso. Cada método de dosificación está recomendado para un tipo de producto específico y son usualmente utilizadas cuando el empacado es vertical.

1.2.1 DOSIFICACIÓN POR RELACIONES

Representa el estilo más sencillo de dosificación, consiste en establecer vínculos entre cantidad de producto, velocidad de flujo, número de vueltas, tiempo, etc., para obtener la porción de producto deseada en el respectivo empaque, sin involucrar etapas de pesado de ningún tipo.

1.2.1.1 Dosificación por gravedad [9]

El dispensador de producto se encuentra en la parte superior y el flujo de producto está guiado hacia su empaque en la parte inferior por acción de la fuerza de gravedad. Este tipo de dosificación es ideal para productos que fluyen bien, como los líquidos y granos pequeños, y tiene la forma indicada en la Figura 1.8.

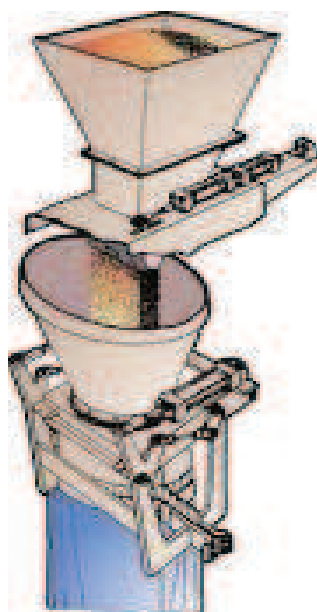


Figura 1.8 Dosificador por gravedad, tomado de [9]

Es usual establecer una relación de flujo - tiempo; es decir, se permite el paso del flujo máximo, con la apertura y cierre de una compuerta o válvula, durante un tiempo establecido previamente, con el que se alcanza la cantidad deseada de producto.

1.2.1.2 Dosificación por tornillo sin fin [10]

En el dispensador, el producto se encuentra homogeneizado por la acción un motor de agitación para romper las aglomeraciones que se pueden formar, obligándolo a llegar al cilindro del tornillo sin fin para ser dosificado; como se presenta en la Figura 1.9.

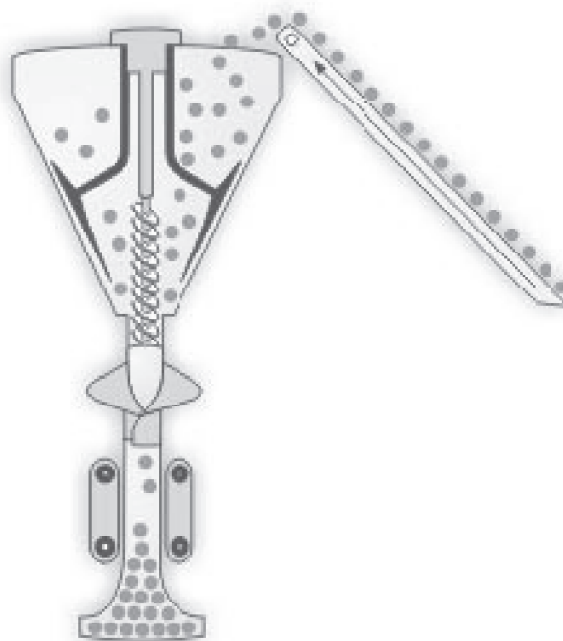


Figura 1.9 Dosificador por tornillo sin fin, tomado de [10]

Este tipo de dosificación es ideal para productos micro pulverizados o sólidos no destructibles como: harinas, condimentos, café, agroquímicos, azúcar, arroz, etc.

Para la alcanzar precisión con esta dosificación se debe ajustar electrónicamente el número de vueltas y/o el tiempo de giro del tornillo sin fin.

1.2.1.3 Dosificación por banda transportadora [11]

La dosificación depende del avance y paro de la banda que transporta el producto, accionada por un motor de velocidad variable; sin embargo, para que el sistema funcione en forma correcta, se debe garantizar que el producto viaje uniformemente distribuido tanto a lo largo como a lo ancho de la banda. En

algunos casos se suele complementar este tipo de dosificación con compuertas reguladoras de flujo. En la Figura 1.10 se puede apreciar un dosificador de este tipo.



Figura 1.10 Dosificador por banda transportadora, tomado de [11]

Este sistema es ideal para dosificar productos que no fluyen con facilidad; pues, el movimiento de transporte para el producto que a va a ser empacado, es generado por el propio método.

1.2.1.4 Dosificación por canal vibrante [9]

Este tipo de dosificación al igual que el de banda transportadora, genera y controla el movimiento del producto, en este caso a lo largo del canal; dicho movimiento es causado por vibración a alta frecuencia, producida por diversos tipos de actuadores, según criterio de los fabricantes, como: motores con excéntrica al eje, cilindros neumáticos o electroimanes.

La descarga de producto se detiene completamente al cesar la vibración del canal, el modo de operación de este sistema lo hace ideal para productos que fluyen irregularmente o que no poseen una geometría homogénea, en la Figura 1.11 se indica un dosificador de este tipo.

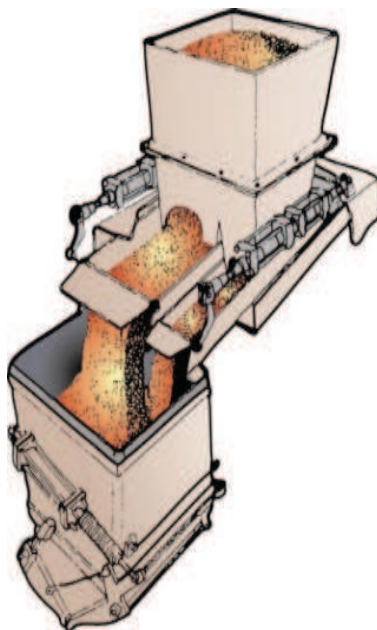


Figura 1.11 Dosificador por canal vibrante, tomado de [9]

1.2.2 DOSIFICACIÓN VOLUMÉTRICA O POR COPAS [12], [13]

En este caso, la máquina dispone de una o varias copas con un volumen preestablecido; el producto, llega a ellas para llenarlas al ras y ser evacuado posteriormente. En la Figura 1.12 se puede distinguir la forma de un dosificador de este tipo con sus respectivas compuertas de descarga; mientras que en la Figura 1.13 se observa un mecanismo alterno con desfogue único, sin compuertas.



Figura 1.12 Dosificador volumétrico con descarga independiente, tomado de [12]



Figura 1.13 Dosificador por copas con desfogue único, tomado de [13]

Lo usual es que cada copa contenga la cantidad deseada para un empaque; de modo que el tiempo entre descarga y descarga dependa de la etapa de sellado.

Este tipo de dosificación es ideal para productos pequeños de geometría regular, que no son frágiles, tales como: granos, fideos, caramelos, etc. y algunos snacks como los chitos.

1.2.3 DOSIFICACIÓN POR PESO

La dosificación por peso, a diferencia de los métodos anteriores, implementa una etapa especial para el pesado del producto, elevando la complejidad de su algoritmo de control, limitando el rango del error.

1.2.3.1 Dosificación por relaciones con etapa adicional de pesado [9], [10] y [11]

Todos los tipos de dosificación revisados en el apartado de dosificación por relaciones, contenidos en el numeral 1.2.1, pueden incluir una etapa de pesado adicional. La dosificación se produce del modo normal, pero el producto no llega directamente a su empaque; antes, se deposita en una cabezal de pesaje, o balanza.

La información obtenida es utilizada para recalibrar los parámetros de dosificación inicial del producto y proporcionar fidelidad en la medida del empaque definitivo; es decir aplicar una retroalimentación al proceso de medida.

En la Figura 1.14 se cuenta con el diagrama de bloques del proceso de dosificación volumétrica con etapa adicional de pesado para realimentación.



Figura 1.14 Dosificación por relaciones, con realimentación de peso

Estos métodos no son muy utilizados, debido a que al aumentar una etapa adicional en el proceso, se incrementa el tiempo de dosificación y con ello disminuye la producción, en comparación con los métodos de dosificación por relaciones sencillas, antes mencionados; además de que el costo de la máquina se eleva. Sin embargo, esta implementación da la pauta para generar sistemas más eficientes de dosificación, como la pesadora multicabezal.

1.2.3.2 Dosificación por multicabezal [10], [14]

Existen en el mercado pesadoras o dosificadoras lineales, que son antecesoras del multicabezal, su operación es similar, con la diferencia mecánica dada por la ubicación de los cabezales de pesaje, que se disponen uno junto al otro longitudinalmente. Los modelos comerciales manejan desde 1 hasta 10 cabezales de pesaje, pues al incrementar esta cantidad se aumenta la longitud de la máquina, desperdiciando espacio, en la Figura 1.15 se puede observar una dosificadora de este tipo con 4 cabezales de pesaje.

En cambio, una pesadora con dosificación por multicabezal tiene dispuestos varios cabezales de pesaje alrededor de un dispensador radial de producto, como se puede observar en la Figura 1.16; lo cual permite reducir el espacio necesario para la operación de la máquina.



Figura 1.15 Dosificadora lineal, tomado de [14]

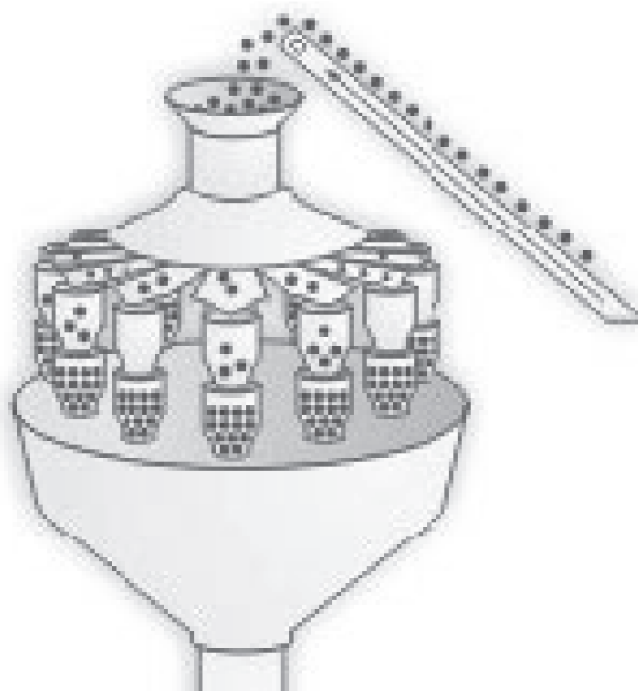


Figura 1.16 Dosificación por multicabezal, tomado de [10]

El empaclado se produce en forma vertical, pues la disposición mecánica de la máquina y la lógica de eficiencia del proceso, así lo exigen; lo que quiere decir que el producto con flujo irregular llega a la parte superior del multicabezal y las

porciones dosificadas se las obtiene bajo este. En la Figura 1.17 se puede observar un esquema del trayecto del producto en el multicabezal.



Figura 1.17 Trayecto del producto, tomado de [15]

Este tipo de empacadoras producen fundas de tres costuras en diversos modelos, en la Figura 1.18 y en la Figura 1.19, se pueden apreciar un par de ejemplos; éstas cuentan con un sellado inferior, uno longitudinal y uno superior.



Figura 1.18 Funda tipo almohada, tomado de [2]

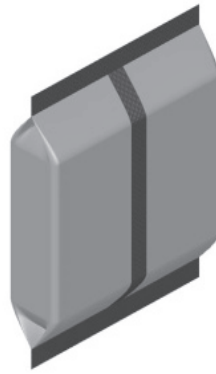


Figura 1.19 Funda tipo fuelle, tomado de [2]

Si bien, una empacadora funciona perfectamente con una o dos balanzas, al incrementar el número de estas en forma radial, se obtienen múltiples beneficios que justifican el costo comercial de la misma; entre ellos se tiene que:

- Eleva las posibilidades de combinaciones de peso.
- Disminuye el tiempo de dosificación del producto.
- Incrementa la producción.
- Reduce el espacio de operación.

1.3 DESCRIPCIÓN MECÁNICA DE LA EMPACADORA MULTICABEZAL DEL PROYECTO DE POWER TECHNOLOGIES

Para un mejor entendimiento sobre el ciclo de operación de la empacadora multicabezal, se divide al proceso en dos etapas generales, como se indica en la Figura 1.20, siendo estas:

- Dosificación
- Enfundado



Figura 1.20 Etapas del proceso

1.3.1 ETAPA DE DOSIFICACIÓN

La etapa de dosificación tiene por objetivo recibir, distribuir y pesar las papas picadas según sea el peso seleccionado por el usuario, para luego ser descargado al siguiente etapa de empaquetado. Está constituido como indica la Figura 1.21, por las siguientes sub etapas:

- Entrada de producto
- Diseminado de producto
- Pesaje

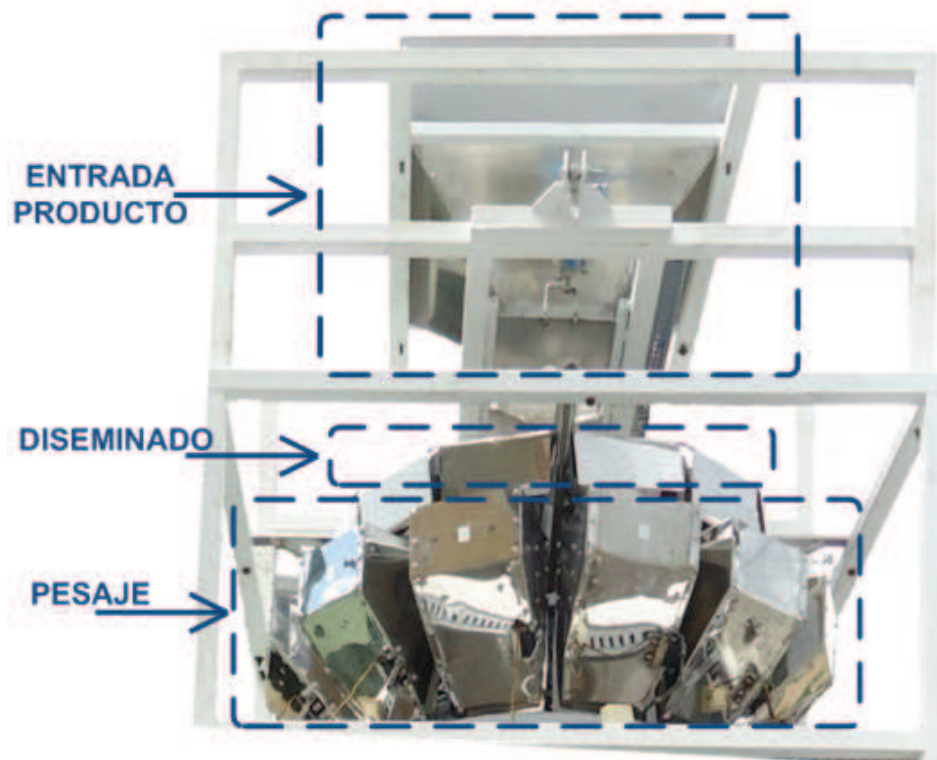


Figura 1.21 Sub etapas del proceso de dosificación

1.3.1.1 Entrada del producto

Constituye el inicio del proceso que desarrolla la máquina, esta etapa está conformada por la Tolva de Alimentación que recepta las papas picadas y las Compuertas de Descarga que abren y cierran para permitir la caída suave y por tandas del producto hacia la sub etapa de distribución.

- TOLVA DE ALIMENTACIÓN

Es un contenedor de gran tamaño, que permite el almacenamiento o reserva de un producto por un período de tiempo, para posteriormente ser canalizado hacia un proceso posterior. Tiene la forma de una pirámide truncada invertida de bases cuadradas como se indica en la Figura 1.22, está fabricada en acero inoxidable y sus medidas se encuentran en la Tabla 1.3.

| MEDIDAS DE LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN | | | | |
|-------------------------------------|--------------------|-------------|----|----|
| Lado Superior (cm) | Lado Inferior (cm) | Altura (cm) | | |
| | | h1 | h2 | h3 |
| 60 | 20 | 15 | 60 | 5 |

Tabla 1.3 Medidas de la tolva de alimentación

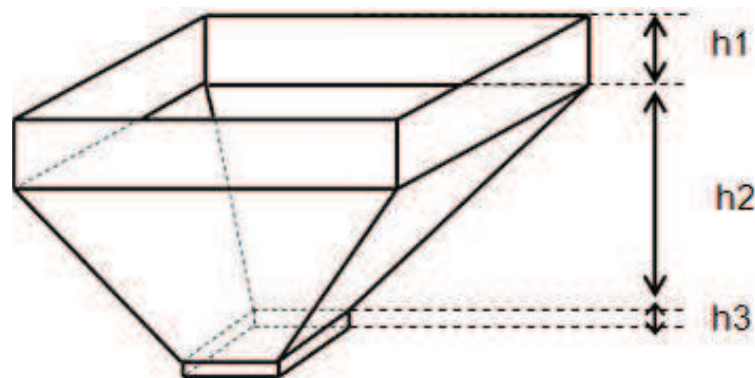


Figura 1.22 Esquema de la tolva de alimentación

La tolva fabricada posee un volumen de aproximadamente 48000cm^3 , para almacenar hasta 50 Kg del producto como se indica en la Figura 1.23.



Figura 1.23 Tolva de alimentación (vista lateral inferior)

- COMPUERTAS DOSIFICADORAS

Son las encargadas de permitir el paso o descarga del producto contenido en la Tolva de Alimentación para que caiga sobre la Sombrilla de Distribución Radial. Están ubicadas en la base más estrecha de la tolva de alimentación, su abertura o cierre se realiza en dirección horizontal, y tienen la forma de una estrella de 4 puntas con lados curvos; logrando así una abertura proporcional a su desplazamiento como se puede observar en la Figura 1.24.

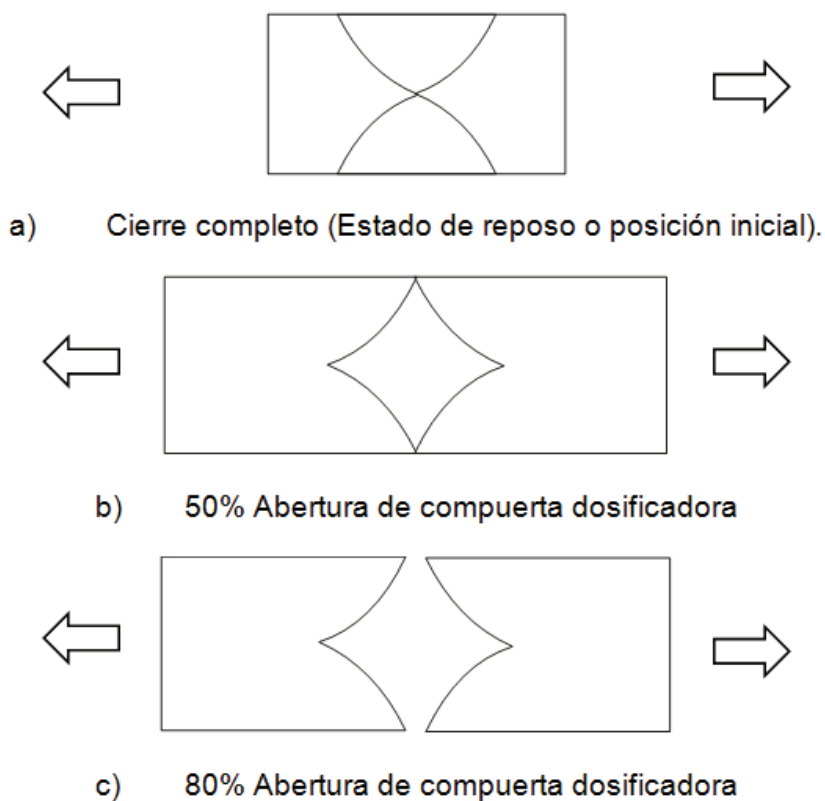


Figura 1.24 Aberturas de la compuerta dosificadora

Mientras estas se abren, las paredes de la Tolva de Alimentación ayudan a empujar el producto para que caiga con facilidad. Las Compuertas Dosificadoras son fabricadas en acero inoxidable y se deslizan sobre unos rieles del mismo material, como se observa en la Figura 1.25 y la Figura 1.26, respectivamente.

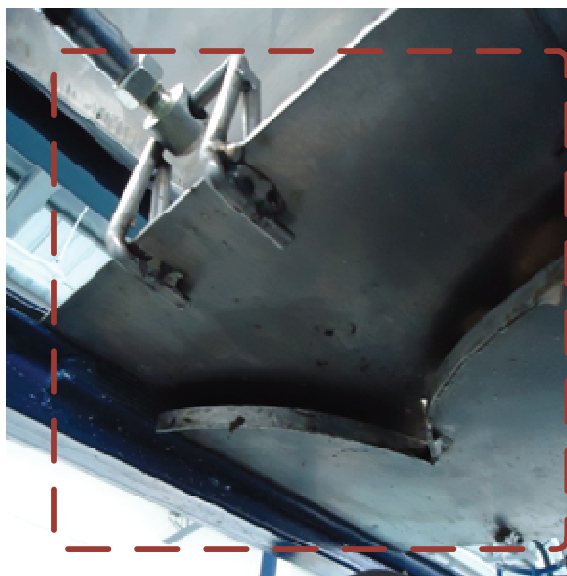


Figura 1.25 Compuertas dosificadoras



Figura 1.26 Rieles para las compuertas dosificadoras




































1.3.1.2 Diseminado del producto

En esta etapa, el producto que cae por la compuerta de dosificación desde la Tolva de Alimentación es diseminado por la Sombrilla de Distribución Radial, para que el producto caiga abierto uniformemente hacia todos los Cabezales de Pesaje.

- SOMBRILLA DE DISTRIBUCIÓN RADIAL

Es la encargada de dispersar y direccionar el producto que cae desde la Tolva de Alimentación hacia los Cabezales de Pesaje. Está constituida por una serie de canales llamados Alimentadores, cuya forma individual es la de un sector circular, que al disponerse uno a continuación del otro, dan el aspecto de una gran sombrilla metálica.

La tasa aproximada de producción requerida es de 20 fundas por minuto, comparando este valor con la Tabla 1.4 de configuración de dosificadores radiales de la compañía Cabinplant, para esta velocidad se necesitan 10 Alimentadores; se selecciona un total de 12 por facilidad de construcción como se muestra en la Figura 1.27, con los que se tienen también 12 Cabezales de Pesaje favoreciendo al proceso de producción.

| Configuration | | | | | | | |
|------------------------|---|---|---|---|--|---|---|
| 10 heads 20-100 ppm |  | | | |  | | |
| 14 heads 25-125 ppm |  |  | | |  |  | |
| 18 heads 30-150 ppm |  |  |  | |  |  |  |
| 20 heads 35-175 ppm | |  |  | |  |  |  |
| 24 heads 40-200 ppm | |  |  |  |  |  |  |
| 28 heads 45-225 ppm | |  |  |  |  |  |  |
| 32 heads 50-250 ppm | |  |  |  |  |  |  |




 Product inlet
  Product outlet
  Weight heads
 MHW size 1.61-51
 The capacity depends on several parameters – please contact Cabinplant to discuss your application requirements.

Tabla 1.4 Configuración de dosificadores radiales según ppm, tomado de [7]

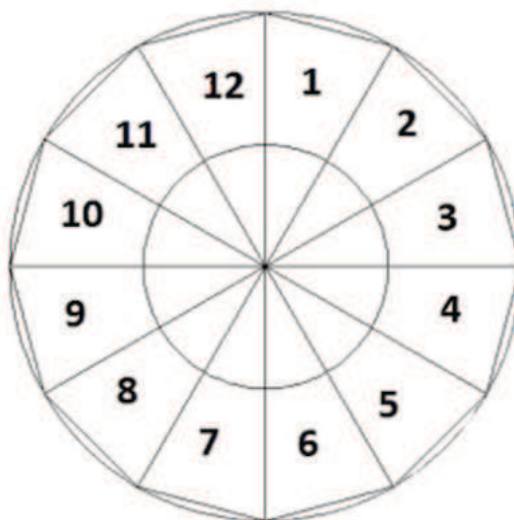


Figura 1.27 Esquema de la sombrilla de distribución radial

La sombrilla tiene 800 mm de diámetro y 320 mm de altura con un ángulo de inclinación de 40° , para que el producto que cae tenga cierto amortiguamiento y de esta forma reduzca su velocidad de caída.

Cada segmento del Alimentador radial mide 180 mm con paredes que los separan entre sí de una altura máxima de 120 mm que se reduce gradualmente hasta llegar a la cúspide, como se observa en la Figura 1.28. Cada Alimentador cuenta con una aleta que impide que las papas picadas salgan disparadas fuera de la zona permitida.

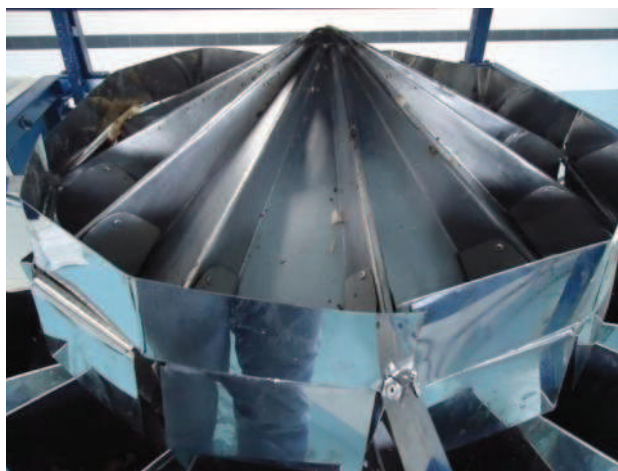


Figura 1.28 Sombrilla de distribución radial

1.3.1.3 Pesaje del producto

En esta sub etapa, la tanda del producto diseminado que cae proveniente de la Sombrilla de Distribución Radial es recogido por cada una de las Cabezales de Pesaje, que acopladas a su respectivo sensor de peso, producen la señal eléctrica para su procesamiento proporcionando el peso del producto contenido en cada tolva.

- CABEZALES DE PESAJE

Las cabezales de pesaje, canastas de pesaje o cabezales de pesaje, son recipientes que recogen el producto proveniente de cada canal de alimentación de la Sombrilla de Distribución Radial, para pesarlo y posteriormente descargarlo en la Tolva de Recolección.

Las medidas de cada Cabecal de Pesaje se muestran en la Figura 1.29, las cotas están en centímetros:

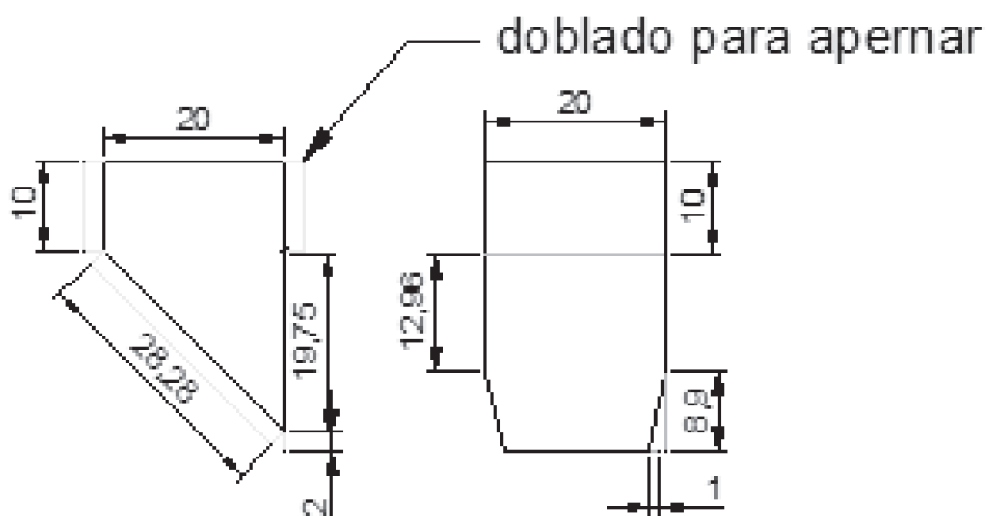


Figura 1.29 Esquema de medidas del cabezal de pesaje

Cada Cabecal de Pesaje puede contener hasta 1.5 kg de papa en su interior y además poseen una Compuerta de Descarga manejada por el controlador del proceso, a través de un actuador local; es construida en acero inoxidable como se observa en la Figura 1.30.

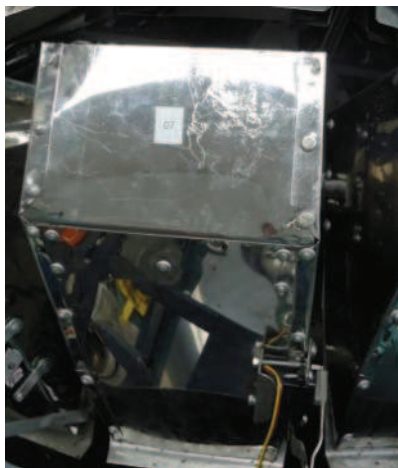


Figura 1.30 Cabezal de pesaje

1.3.2 ETAPA DE ENFUNDADO

Esta etapa tiene por objetivo recolectar el producto descargado por los Cabezales de Pesaje, realizar el guiado de la funda plástica, dar forma, sellar y cortar el empaque final para su posterior almacenamiento o distribución. Se conforma de las sub etapas indicadas en la Figura 1.31.

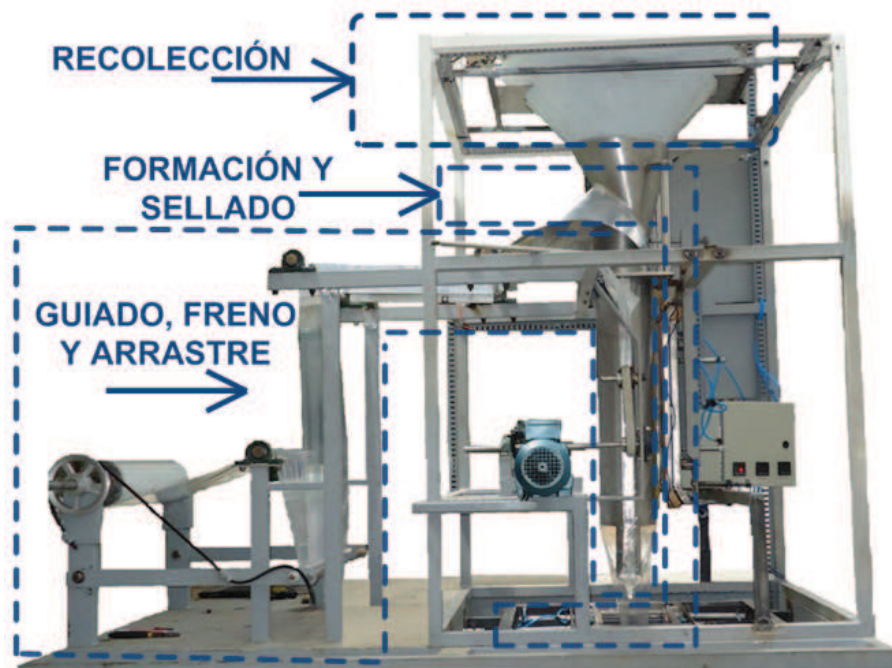


Figura 1.31 Sub etapas del proceso de empaque

1.3.2.1 Recolección del Producto

El producto descargado por uno o varios Cabezales de Pesaje que han cumplido con el peso seleccionado, es recopilado por la Tolva de Recolección que guía el producto a su empaque final.

- TOLVA DE RECOLECCIÓN

Tiene la forma de una gran pirámide cónica truncada invertida como se indica en la Figura 1.32; el diámetro mayor debe ser tan grande como para abarcar las descargas de todos y cada uno de los Cabezales de Pesaje y su diámetro menor tan pequeño para ajustarse al Cuello Formador de la funda. Sus medidas se muestran en la Tabla 1.5.

| MEDIDAS DE LA TOLVA DE RECOLECCIÓN | | |
|------------------------------------|---------------------|-------------|
| Diámetro Mayor (cm) | Diámetro Menor (cm) | Altura (cm) |
| 120 | 40 | 60 |

Tabla 1.5 Medidas de la tolva de recolección



Figura 1.32 Tolva de recolección

1.3.2.2 Guiado, Freno y Arrastre del Plástico

La lámina de plástico debe ser encaminada adecuadamente por el Sistema de Guiado desde la Bobina hasta la formación del empaque, de modo que no se generen pliegues que puedan dañar la presentación final de la funda; la circulación del plástico es producida por una pareja de Bandas de Arrastre; así mismo, se requiere de un Sistema de Frenado para detener la inercia de la Bobina inmediatamente después de generada una porción de material. En la Figura 1.33 se distinguen las partes involucradas en esta parte del proceso.

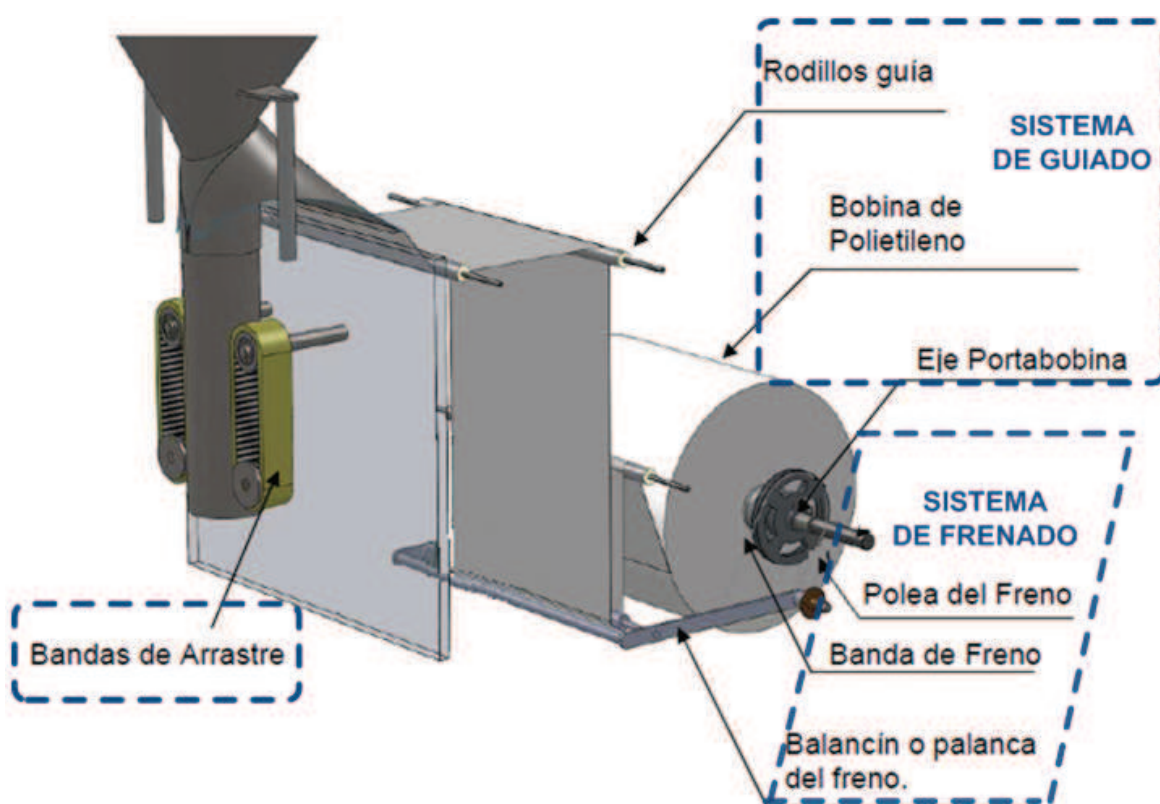


Figura 1.33 Sistemas para el guiado, freno y arrastre del plástico, [16]

- SISTEMA DE GUIADO

En esta parte del proceso, el Rollo de Polietileno es colocado en el Eje Portabobina ubicado en la parte posterior de la máquina, y la lámina de plástico es conducida a través de una serie de Rodillos Guía.

Rollo de Polietileno:

Tiene una longitud de 63 cm, un diámetro interno de 762mm (3in) y un espesor de 70 micras y puede pesar hasta 80 Kg, como se observa en la Figura 1.34.



Figura 1.34 Rollo de polietileno

Rodillos Guía:

Miden 80cm de largo, están acoplados a chumaceras que les permiten girar al paso de la lámina de plástico, como se indica en la Figura 1.35; su propósito es guiar y facilitar el desplazamiento del material de empacado evitando la formación de pliegues y desviaciones.



Figura 1.35 Rodillo guía

Eje Portabobina:

Tiene una longitud de 120cm y está construido en varilla de acero inoxidable de 254mm (1in). El eje atraviesa y sobrepasa los extremos del Rollo de Polietileno, se encuentra acoplado y gira con él, proporcionándole un soporte fijo para mantener su posición a lo largo de todo el proceso, sirve además, como apoyo al

Sistema de Frenado; en la Figura 1.36 y Figura 1.37 se pueden apreciar la forma de cada uno de sus extremos.

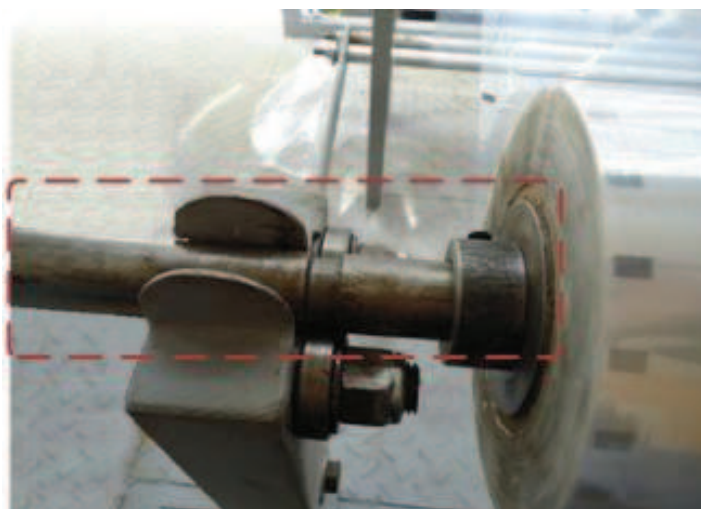


Figura 1.36 Eje portabobina (lado izquierdo)



Figura 1.37 Eje portabobina (lado derecho)

- SISTEMA DE FRENADO

Sirve para detener la inercia de la bobina inmediatamente después de generada una porción de material, este sistema es completamente mecánico y está conformado por una Polea de Freno, una Banda de Freno y un Balancín o Palanca de Freno, como se indica en la Figura 1.38.

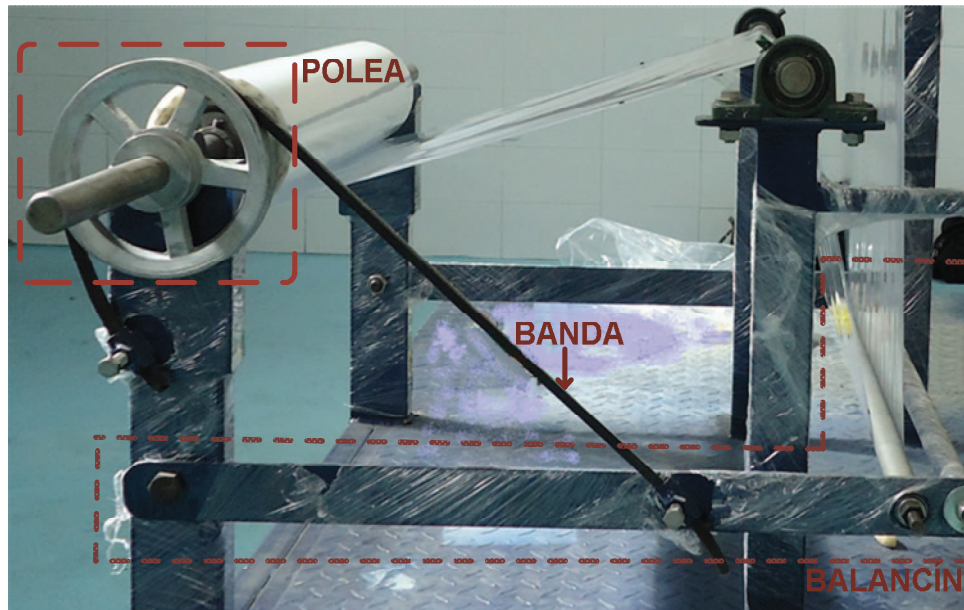


Figura 1.38 Sistema de frenado

Polea de Freno:

Está acoplada al Eje Portabobina y gira junto a él, ofrece el espacio guía necesario para la acción de la Banda de Freno, como se indica en la Figura 1.38.

Banda de freno:

Es una cuerda de caucho, que rodea a la Polea de Freno con sus extremos sujetos fijos, uno en la estructura de soporte del Eje Portabobina y el otro en el balancín, su acoplamiento es observado en la Figura 1.38.

Balancín o palanca de freno:

Esta pieza es móvil, tiene su punto de giro en la estructura de soporte del Eje Portabobina y descansa normalmente en posición horizontal, como indica la Figura 1.38, lo cual implica que el freno está aplicado. Cuando las Bandas de Arrastre generan el deslizamiento del material, el Balancín de Freno es obligado a elevarse, este movimiento puede observarse en la Figura 1.39, con ello, el freno se quita y el plástico circula libremente. Si el plástico ya no es requerido, cesa su circulación y el Balancín de Freno retorna a su posición de reposo.

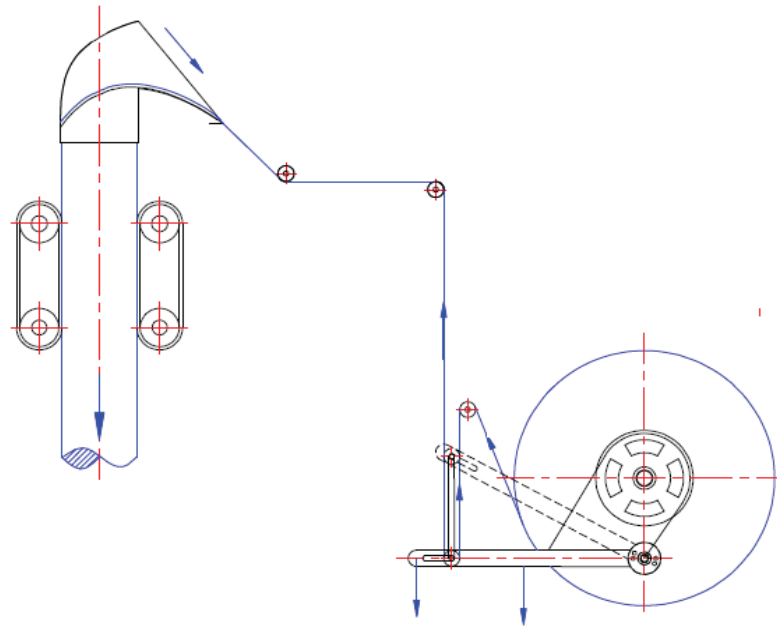


Figura 1.39 Movimiento del balancín de freno, tomado de [16]

- BANDAS DE ARRASTRE

Estas bandas son de caucho y están vulcanizadas exteriormente, se colocan una a cada lado del Cilindro Formador, y son las encargadas de dar la tracción para el deslizamiento intermitente del material de empaque desde su bobina, a través del Cuello Formador.

Su lado externo (vulcanizado) permite una fuerte adherencia al plástico, mientras que en el interno (caucho), se encuentran los dientes para el contacto con los piñones que le proveen de movimiento, según se indica en la Figura 1.40.

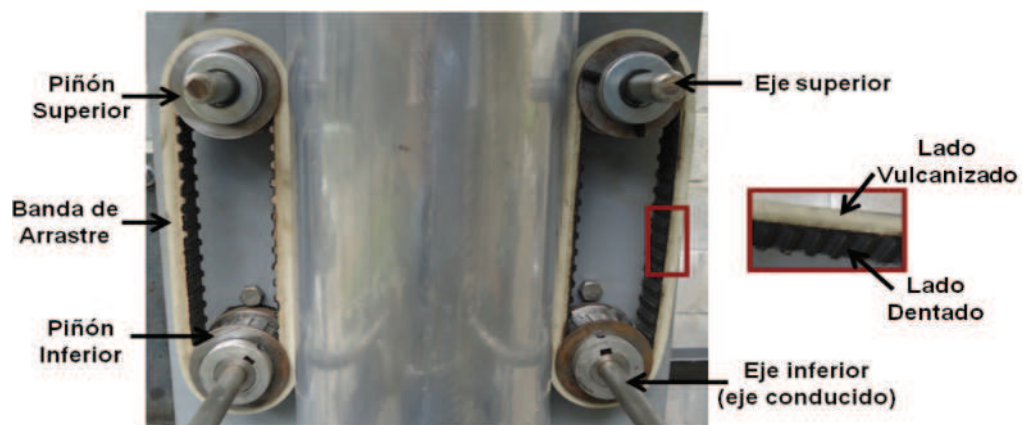


Figura 1.40 Bandas de arrastre

Para transmitir el movimiento desde el motor a las bandas de arrastre se utiliza el sistema de engranajes mediante un par tornillo sin fin - corona envolvente simple, como se indica en la Figura 1.41. Esta forma de engranaje tiene la característica de transmitir el movimiento entre dos ejes que están cruzados entre sí formando un ángulo recto. Cada vez que el eje del tornillo sin fin da una vuelta completa, el engranaje de la corona avanza un diente. El eje conductor usa un acople directo con el eje del motor.

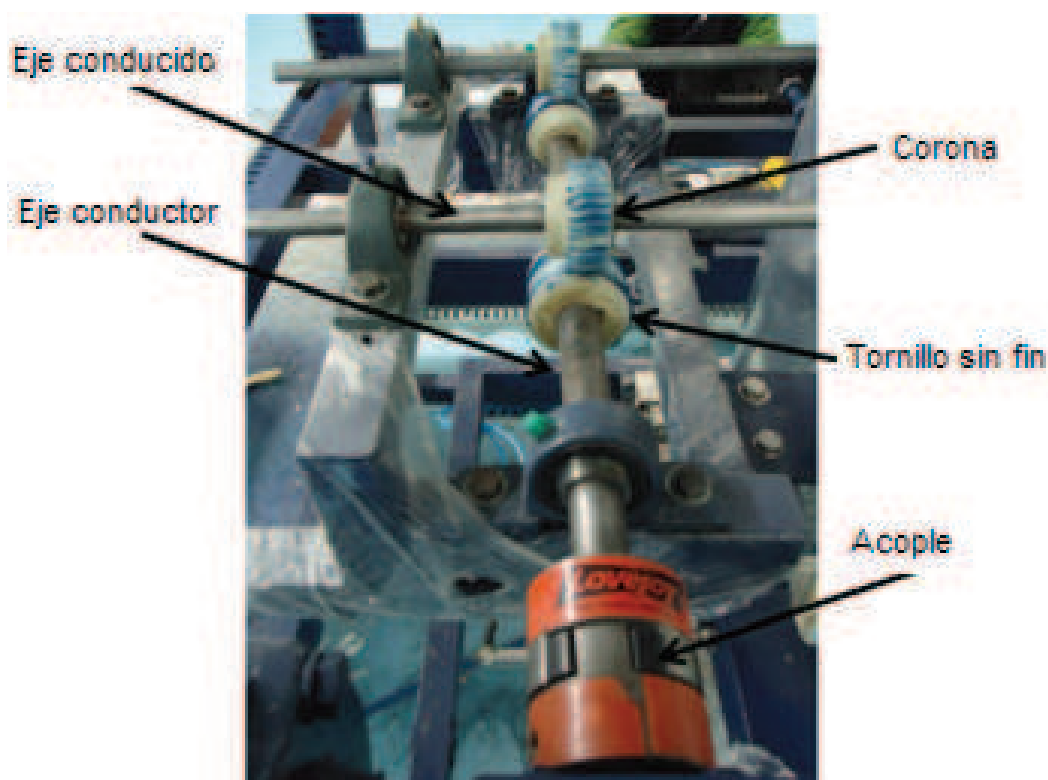


Figura 1.41 Sistema de engranajes - Accionamiento de bandas de arrastre

1.3.2.3 Formación, Sellado y Corte de la Funda

En esta parte del proceso, la máquina da forma a la funda para que reciba el producto y realiza el sellado y corte del empaque final de las papas; las piezas involucradas para conseguir este resultado, se pueden apreciar en la Figura 1.42.



Figura 1.42 Piezas involucradas en la formación, sellado y corte de la funda.

- **FORMACIÓN DE LA FUNDA**

El plástico, como se ha mencionado, está dispuesto laminarmente; y, para construir la funda, se le debe dar forma tubular y adecuar el dobléz para el sellado vertical posterior; esto se consigue con el Cuello Formador que rodea a un Cilindro Formador.

Cuello Formador:

Es una pieza metálica fabricada de acero inoxidable en forma de cuello de camisa como se indica en la Figura 1.43, permite formar el dobléz adecuado de la lámina de plástico que ingresa por la parte posterior de la capa, y que enrollándose alrededor del Cilindro Formador, permite moldear el traslape para realizar el sellado vertical. Su construcción se realiza con técnicas especiales y su acabado

debe ser finamente pulido para impedir el desgarre de la funda, cuando tenga contacto con su superficie. Sus medidas se encuentran en la Tabla 1.6.



Figura 1.43 Cuello formador

| MEDIDAS DEL CUELLO FORMADOR | | |
|-----------------------------|-----------------|-------------|
| Diámetro (cm) | Ancho capa (cm) | Altura (cm) |
| 20 | 64 | 40 |

Tabla 1.6 Medidas del cuello formador

Cilindro Formador:

El Cilindro Formador o Conducto de Alimentación cumple tres funciones importantes: da la forma tubular al material de empaque para construir la manga; proporciona una superficie de soporte para que las bandas de arrastre tengan firme contacto con el plástico, favoreciendo su correcto desplazamiento, como se indica en la Figura 1.44; y facilita el acceso del producto pesado dentro de su funda.

Este cilindro tiene una circunferencia base de longitud menor al ancho de la lámina de plástico y corresponde a la medida final de la funda, el sobrante de la lámina, forma el pliegue para el sellado vertical.



Figura 1.44 Cilindro formador

- SELLADO Y CORTE

El sellado y corte permiten la construcción permanente de la funda, que deberá mantener el producto aislado del ambiente; para ello requiere la acción de una Mordaza Vertical y una pareja de Mordazas Horizontales.

Mordaza Vertical:

Es una pieza de acero inoxidable con la forma indicada en la Figura 1.45, que proporciona la superficie donde se asienta la resistencia térmica plana, su función es producir el sellado vertical que da origen a la manga plástica alrededor del Cilindro Formador.

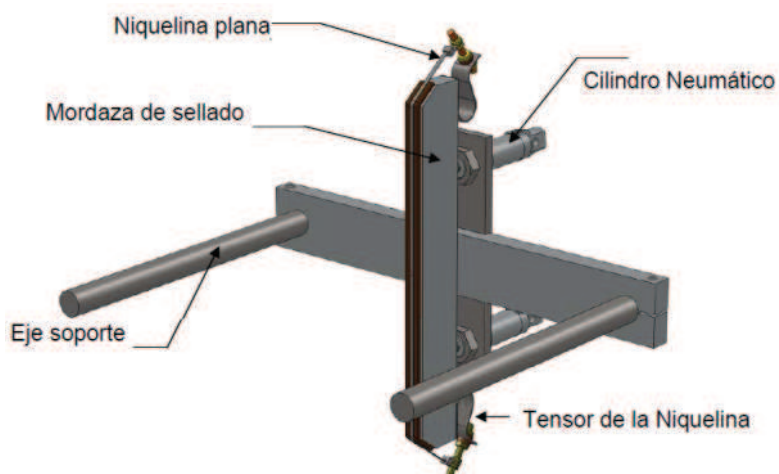


Figura 1.45 Mordaza vertical, tomado de [16]

La mordaza vertical se encuentra en su posición de reposo a unos 25mm de distancia del Cilindro Formador y, en el momento del cierre, se desplaza hasta hacer contacto con él, prensando el pliegue plástico generado por el Cuello Formador. Su longitud está en función del largo de la funda más grande, que para el caso es de 55cm; por lo tanto, en las fundas más pequeñas se realiza un sobresellado que en definitiva es beneficioso para el proceso.

Mordazas Horizontales:

Esta pareja de mordazas actúan una frente a la otra para proveer la presión necesaria en esta parte del proceso, pero cada una tiene un propósito independiente. La primera, considerada Mordaza Horizontal de Sellado sirve de soporte para las resistencias térmicas planas para producir el sellado superior de la funda llena y el inferior de la funda siguiente; mientras que la segunda, llamada Mordaza Horizontal de Corte contiene la resistencia térmica redonda que hará el corte para separar a los empaques finales.

Se ubican bajo y a poca distancia del final del Cilindro Formador, en la Figura 1.46 se puede apreciar su estructura.

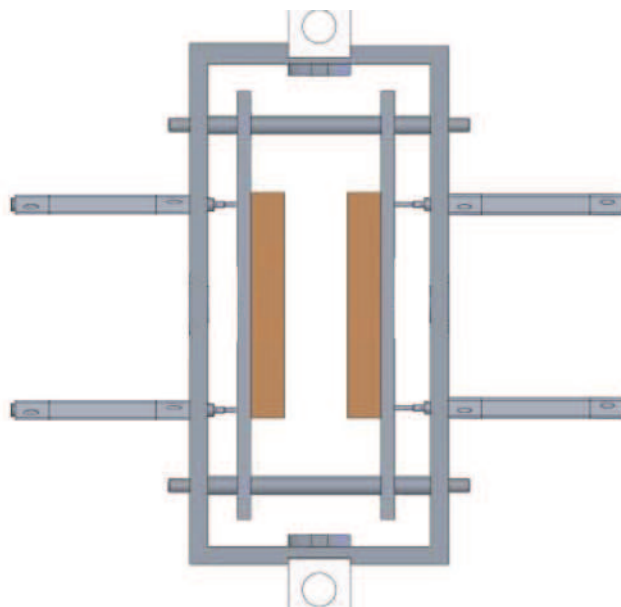


Figura 1.46 Mordazas horizontales

CAPÍTULO 2

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL

2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL

Para el diseño e implementación del circuito de control se considera que la planta dispone de una toma de alimentación eléctrica trifásica con tensión entre líneas de 220V y entrega a la máquina un total de 6 conductores, cuya descripción se muestra en la Tabla 2.1.

| N° CONDUCTOR | NOMENCLATURA | DESCRIPCIÓN |
|--------------|--------------|-------------|
| 1 | L1 | Fase 1 |
| 2 | L2 | Fase 2 |
| 3 | L3 | Fase 3 |
| 4 | N | Neutro |
| 5 | G | Tierra |
| 6 | L1 | Fase 1 |

Tabla 2.1 Conductores generales de alimentación eléctrica

Donde, el sexto conductor repite la primera fase y es utilizado para la alimentación de las resistencias térmicas, tanto para sellado como para corte y se toma directamente desde el tablero de fuerza por los altos picos de corriente que se deben soportar.

Además, se cuenta con una toma neumática con presión normal de 6 bares.

Todos los elementos a implementarse son aptos para este tipo de alimentación, partiendo de esta condición, como se muestra en la Tabla 2.2, la operación de la máquina se puede resumir en cuatro lazos de control, que son:

- Entrada de producto
- Pesaje de producto
- Formado de la funda
- Temperatura

| N° LAZO | NOMBRE | CONTROL / INDICADOR | ELEMENTOS DE CONTROL |
|---------|---------------------|---------------------|---|
| 1 | Entrada de producto | PLC | Electroválvula neumática, Cilindros DNC |
| 2 | Pesaje de producto | | Sensores de peso, Convertidores a 4-20mA, Tarjeta, Servomotores |
| 3 | Formado de la funda | Touch panel | Sensor de contraste, Motor AC, Electroválvulas neumáticas, Cilindros DSNU, Variador de velocidad. |
| 4 | Temperatura | PID de temp | Sensores de temperatura, Relé de Estado Sólido, Resistencias térmicas. |

Tabla 2.2 Lazos de control

2.1.1 ENTRADA DE PRODUCTO

En este lazo se requiere accionar las Compuertas Dosificadoras en forma intermitente, para ello se requiere una pareja de cilindros neumáticos DNC de doble efecto, y una electroválvula neumática 5/2 con retorno por muelle. La acción de control, tanto en este lazo como en los tres siguientes, es ejercida por el PLC Siemens S7 1200. En la Figura 2.1 se puede observar la combinación de estos elementos.

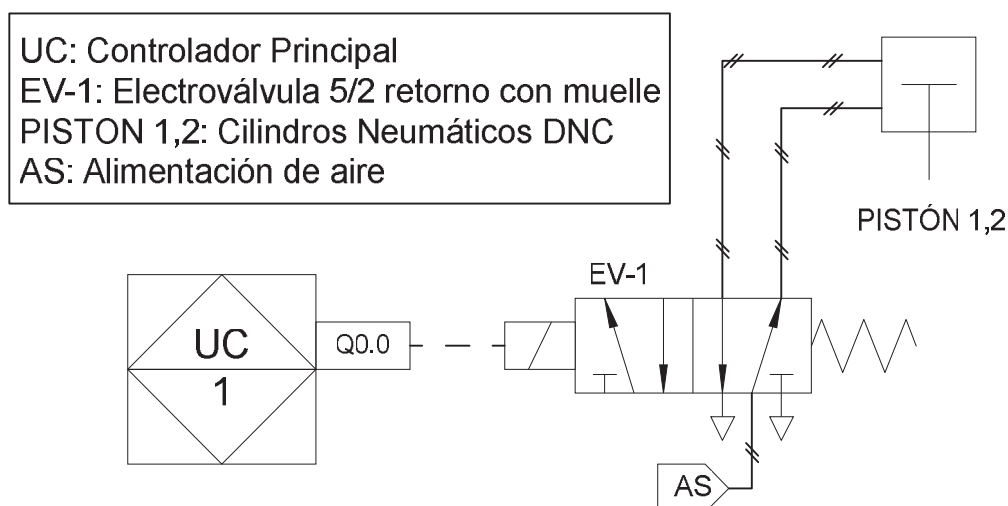


Figura 2.1 P&ID Entrada de producto

2.1.1.1 Electroválvula 5/2

Es una válvula de múltiples vías que permite o impide el paso de aire, como entrada desde la fuente neumática hasta el pistón, y como salida desde el pistón al desfogue, estas dos posiciones son comandadas por un actuador eléctrico y un retorno mecánico.

La electroválvula empleada dispone de dos entradas y cinco salidas, tiene la forma indicada en la Figura 2.2 y sus características principales se muestran en la Tabla 2.3.

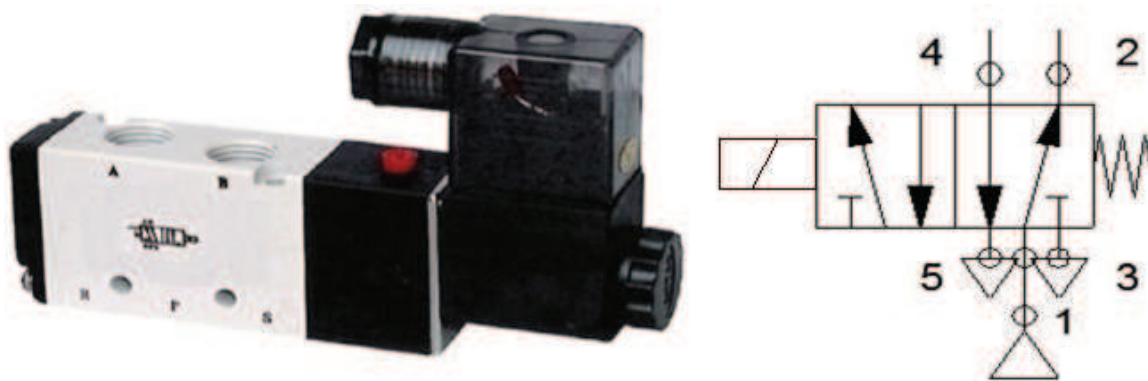


Figura 2.2 Electroválvula 5/2

| ELEMENTO | Válvula | |
|-----------------|------------------|----------------|
| CARACTERÍSTICAS | TIPO | Electroválvula |
| | MARCA | Airmatic |
| | SALIDAS/ENTRADAS | 5/2 |
| | RETORNO | Muelle |
| | ACCIONAMIENTO | 24 V DC |

Tabla 2.3 Características electroválvula neumática

2.1.1.2 Cilindro Neumático DNC

Los vástagos de los cilindros empleados, están acoplados uno en cada compuerta para halarlas o empujarlas según corresponda, el mencionado acoplamiento puede ser observado en la Figura 2.3. El elemento utilizado tiene las características mostradas en la Tabla 2.4.



Figura 2.3 Acoplamiento del vástago a la compuerta dosificadora

| ELEMENTO | Actuador Neumático | |
|-----------------|--------------------|--------------|
| CARACTERÍSTICAS | TIPO | Cilindro DNC |
| | MARCA | Fundimat |
| | FUNCIONAMIENTO | Doble Efecto |
| | AMORTIGUAMIENTO | No |
| | CARRERA | 200mm |
| | ÉMBOLO ϕ | 45mm |

Tabla 2.4 Características Pistón Neumático Compuertas Dosificadoras

2.1.1.3 Controlador Lógico Programable (PLC)

El Controlador Lógico Programable (PLC, Programmable Logic Controller), implementado en el proyecto es el modelo S7-1200 de Siemens que dispone de una gran flexibilidad y tiene la capacidad para controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización, memorizando instrucciones lógicas, procesando información en tiempo real, y manejando numerosas entradas y salidas tanto de tipo digital como análogo.

El CPU utilizado es el 1214C en su versión AC/DC/RELÉ, considerando que la planta dispone de alimentación tipo AC, la adquisición de entradas para el control proporciona señales DC, y las salidas del PLC tipo RELÉ actúan eficientemente dentro del proceso.

Además, dada la cantidad de señales manejadas, es requerimiento del sistema que el CPU tenga capacidad de expansión, el CPU 1214C permite añadir hasta 8 módulos de señal adicionales, solventado dicha necesidad.

Son insuficientes las entradas y salidas digitales disponibles que acompañan por default al CPU y no se cuenta con entradas analógicas de corriente, por ello, se

requieren 4 módulos adicionales, el detalle de manejo y reserva de las entradas y salidas disponibles en el PLC completo está mostrado en la Tabla 2.5.

| MÓDULO | TIPO DE SEÑAL | DISPONIBLES | EMPLEADAS |
|--------------|-------------------------------|-------------|-----------|
| CPU 1214C | entradas digitales a 24V DC | 14 | 6 |
| | salidas digitales tipo Relé | 10 | 9 |
| | entradas análogas 0-10V | 2 | 0 |
| 16DI/O | entradas digitales a 24V DC | 16 | 14 |
| | salidas digitales a 24V DC | 16 | 16 |
| 8 DO | salidas digitales a 24V DC | 8 | 5 |
| 8 AI | entradas analógicas de 4-20mA | 8 | 8 |
| 4 AI | entradas analógicas de 4-20mA | 4 | 4 |

Tabla 2.5 Disponibilidad y uso de entradas y salidas PLC

2.1.1.4 Touch Panel HMI

La máquina normalmente opera en forma automática, pero en ocasiones puntuales se requiere interacción manual para calibración, además, se generan datos que son almacenados y visualizados en una pantalla local. Estas tareas son desarrolladas por un Touch Panel HMI, indicado en la Figura 2.4.



Figura 2.4 Touch panel

El modelo dispone visualización a color, software propio y cuenta con 6 botones físicos adicionales, sus características principales se muestran en la Tabla 2.6.

| ELEMENTO | Touch Panel | |
|------------------------|---------------------|---|
| CARACTERÍSTICAS | TIPO | HMI |
| | MARCA | Siemens |
| | MODELO | KTP600 Basic Color PN |
| | DISPLAY | TFT 6" |
| | COLORES | 256 |
| | OPERACIÓN | Touch |
| | COMUNICACIÓN | Interface Profinet |
| | SOFTWARE | WINCC flexible 2008 SP2 compact/ WINCC BASIC V10.5/ STEP7 BASIC V10.5 |

Tabla 2.6 Características del touch panel, tomado de [17]

2.1.2 PESAJE DEL PRODUCTO

Este lazo está constituido por 12 Cabezales de Pesaje, cada cabezal tiene su respectivo transductor de peso y convertidor de señal. El transductor, toma la información de la variable peso, correspondiente a su tolva y entrega una señal de voltaje al convertidor, que se encarga de acondicionarla para que pueda ser posteriormente procesada, como se indica en el diagrama P&ID de la Figura 2.5. Además, la descarga del producto contenido en ellas, depende de la apertura y cierre de sus compuertas, acción efectuada por un servomotor acoplado a cada cabezal, como muestra la Figura 2.6

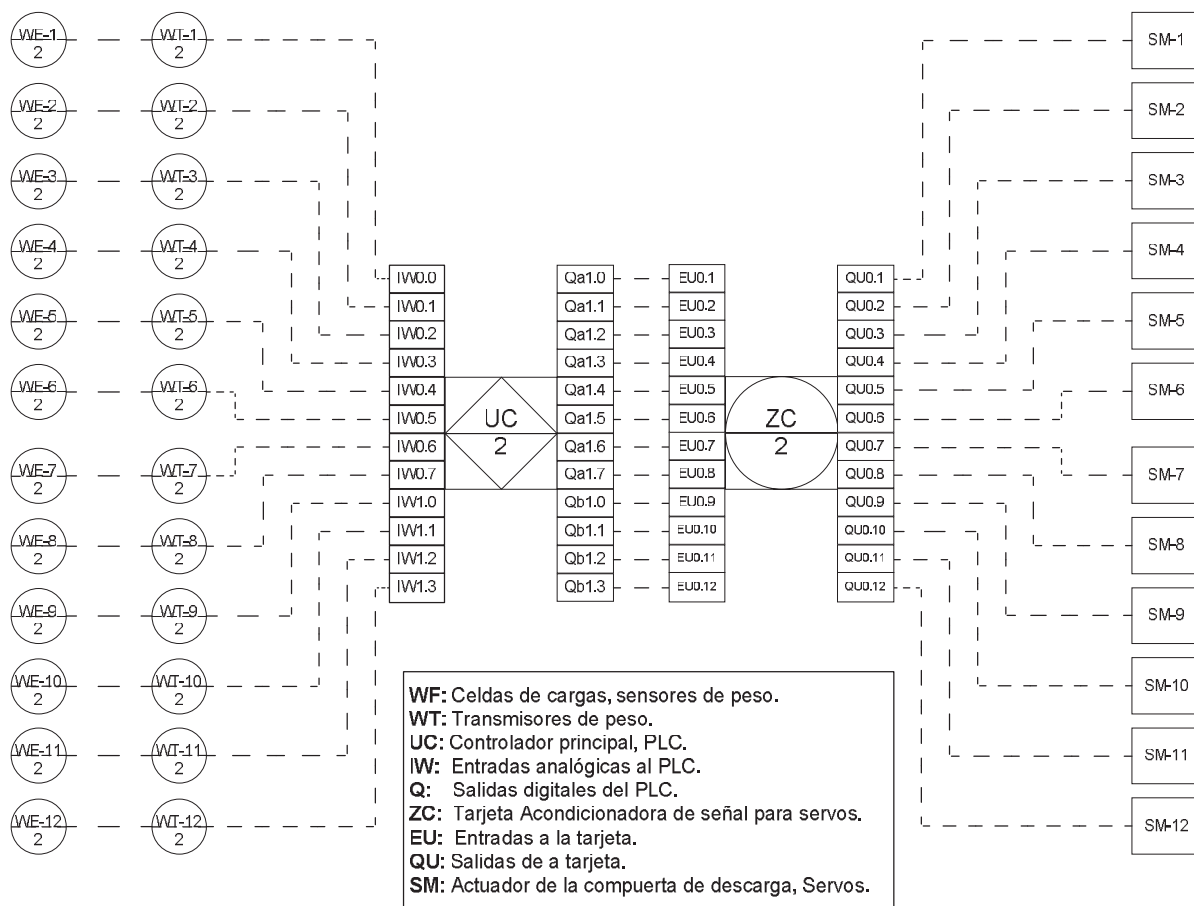


Figura 2.5 P&ID Pesaje de producto

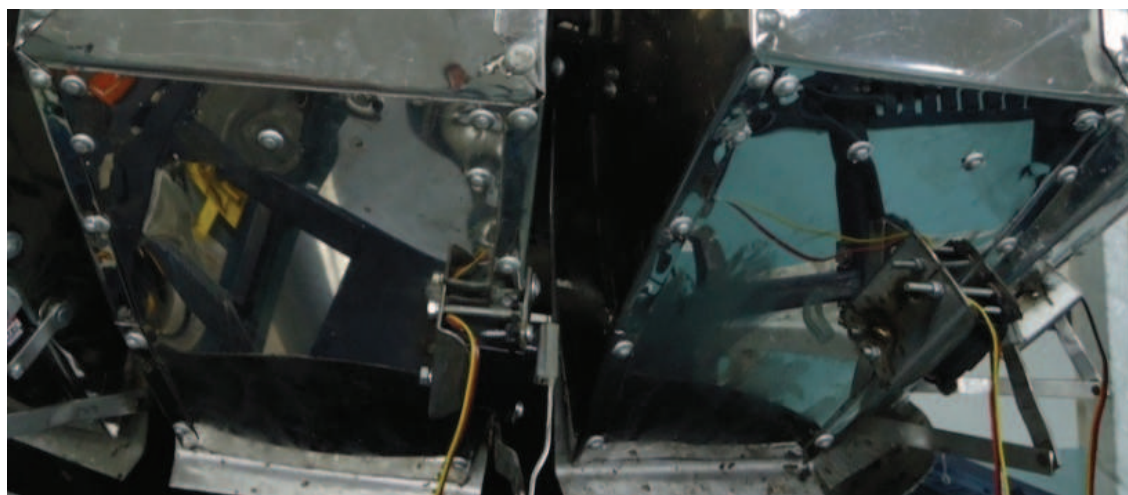


Figura 2.6 Ubicación del servomotor en la empacadora

2.1.2.1 Transductor de Peso

Las mediciones de peso son realizadas utilizando celdas de carga, que son dispositivos transductores electrónicos que transforman el esfuerzo, tensión y presión aplicados a ellas, en cambios de voltaje del orden de los milivoltios; basan su funcionamiento en filamentos, como medidores de deformación internos llamados “strain-gauges” conectados a un puente de Wheatstone, los cuales se deforman al aplicar una fuerza sobre ellos, produciendo un cambio en la resistencia interna y por lo tanto un desequilibrio en el circuito puente, como estas celdas son alimentadas con un voltaje continuo, se tiene a la salida un voltaje DC proporcional al esfuerzo aplicado a ellas. [18]

En la Figura 2.7 se puede observar el esquema interno del puente de Wheatstone y los cables disponibles para la conexión externa.

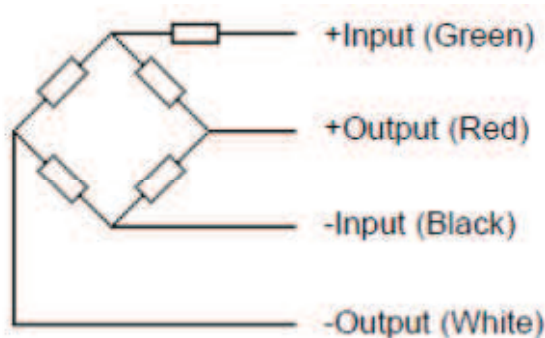


Figura 2.7 Esquema de conexiones de la celda de carga, tomada de [19]

La celda de carga utilizada en el proyecto, se puede apreciar en la Figura 2.8, y en la Tabla 2.7 se hallan sus características principales.



Figura 2.8 Celda de carga, tomada de [19]

| ELEMENTO | Transductor de Peso | |
|-----------------|-----------------------|----------------|
| CARACTERÍSTICAS | TIPO | Celda de Carga |
| | MARCA | Tedeo |
| | MODELO | 1022 |
| | CAPACIDAD NOMINAL | 10Kg |
| | SALIDA | 2.0±10% mV/V |
| | EXITACION DE ENTRADA | 10 V – 15 V |
| | IMPEDANCIA DE ENTRADA | 415±15 Ohms |
| | IMPEDANCIA DE SALIDA | 350±3 Ohms |
| | CONSTRUCCIÓN | Aluminio |
| | PROTECCIÓN | IP66 |

Tabla 2.7 Características de la celda de carga, tomado de [19]

2.1.2.2 Convertidor de Señal

Es un elemento que permite acondicionar una señal de entrada dentro de valores estándar de trabajo, la celda de carga emite una señal en mV que requiere ser convertida en una señal de 4 a 20mA para que el PLC las reciba, procese y ejecute su respectivo control. El elemento utilizado se indica en la Figura 2.9 y responde a las características mostradas en la Tabla 2.8.



Figura 2.9 Transmisor de corriente

| ELEMENTO | Convertidor de Señal | |
|-----------------|----------------------|---------------|
| CARACTERÍSTICAS | TIPO | Transmisor |
| | MARCA | Genérica |
| | MODELO | EXB-E13021108 |
| | ALIMENTACIÓN | 24V |
| | AJUSTE | Amplificación |
| Cero | | |

Tabla 2.8 Características del transmisor

2.1.2.3 Servomotor

Un servomotor o servo simplemente, es un pequeño actuador conformado por cuatro partes indispensables: un motor DC, un dispositivo para la detección de posición, una caja reductora y un circuito de control. Dispone de una conexión con tres hilos para la alimentación, el control y la tierra, donde la magnitud de polarización depende del fabricante y la señal de control es un PWM con período de 20 milisegundos aproximadamente. [20]

El servo motor utilizado, es el modelo HS-485HB de Hitec, cuya imagen se indica en la Figura 2.10 y posee las especificaciones mostradas en la Tabla 2.9.



Figura 2.10 Servomotor, tomado de [21]

| ELEMENTO | Actuador Compuerta de Descarga | |
|-----------------|--------------------------------|--------------------|
| CARACTERÍSTICAS | TIPO | Servo motor |
| | MARCA | Hitec |
| | MODELO | HS-485HB |
| | PESO | 45g |
| | TAMAÑO | 39.8 x 19.8 x 38mm |
| | ALIMENTACIÓN | 4.8 - 6 V |
| | VELOCIDAD OPERACIÓN 60° | 0.22 - 0.18 Seg. |
| | TORQUE DE SALIDA | 4.8 - 6 kg.cm |

Tabla 2.9 Características del servomotor, tomado de [21]

2.1.2.4 Tarjeta para Acondicionar señal de servo motores.

Debido a que el PLC S7-1200 no puede generar por cuenta propia las 12 señales PWM independientes requeridas para el control de cada servo motor, es indispensable la implementación de una tarjeta capaz de convertir los dos estados, alto y bajo del PLC, en dos señales tipo PWM que ubiquen las compuertas de descarga en posición abierta o cerrada, como se muestra en la Tabla 2.10.

| SEÑAL LÓGICA PLC (ENTRADA A LA TARJETA) | | SEÑAL PWM (SALIDA DE LA TARJETA) | |
|--|------------------|-------------------------------------|-------------|
| L / V DC | Acción | Período | Ancho Pulso |
| 1 / 24 | Abrir compuerta | 20ms | 1ms |
| 0 / 0 | Cerrar compuerta | 20ms | 2.5ms |

Tabla 2.10 Comportamiento de la tarjeta

- **DISEÑO DE LA TARJETA**

En la Figura 2.11 se puede apreciar el esquema de la tarjeta de conversión de señal implementada, señalando los módulos de operación con que cuenta.

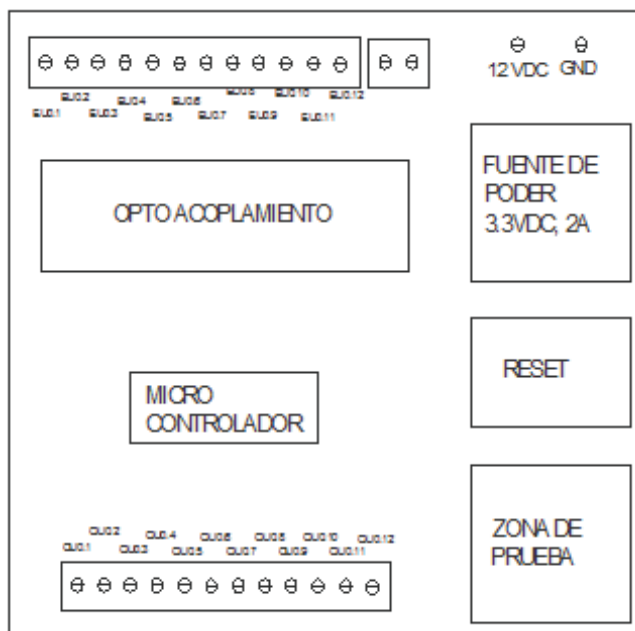


Figura 2.11 Esquema de la tarjeta

Microcontrolador (ATXMEGA32A4AU):

Los microcontroladores de la familia XMEGA A son elementos de bajo consumo y alto rendimiento. Además, mediante la ejecución de instrucciones poderosas en un solo ciclo de reloj, estos dispositivos alcanzan producciones que se acercan a un millón de instrucciones por segundo (MIPS), que permite al diseñador del sistema, optimizar el consumo de energía en comparación con la velocidad de procesamiento. [22]

Su cuerpo es compacto, como lo indica la Figura 2.12, y apto para operaciones industriales, por su buena tolerancia al ruido. Dispone de una vasta capacidad, que le permite satisfacer ampliamente los requerimientos de control de las 12 entradas digitales a 24V DC y 12 salidas tipo PWM, en él generadas.

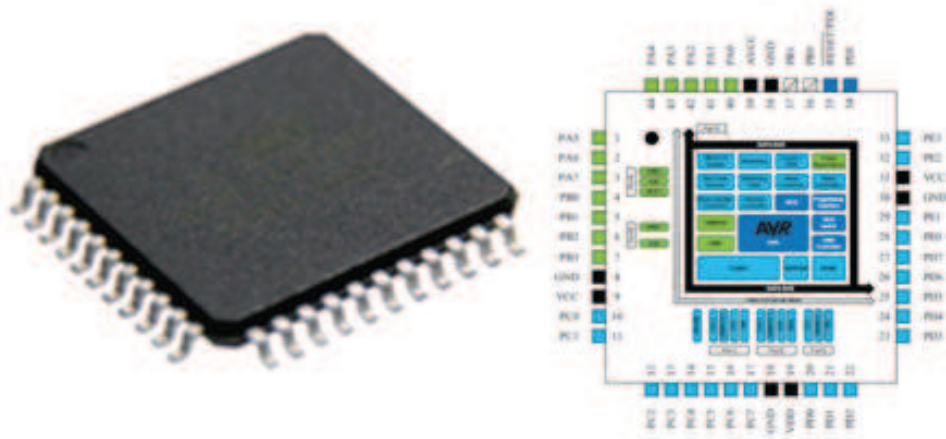


Figura 2.12 Estructura del ATXMEGA32A4AU

Optoacoplamiento (4N35):

Cada acoplador óptico se compone de un LED infrarrojo de arseniuro de galio y un fototransistor NPN de silicio, como se indica en la Figura 2.13.

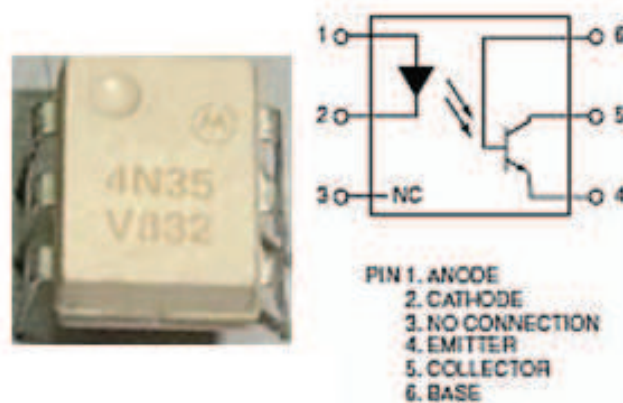


Figura 2.13 Estructura del 4N35

Su aplicación permite separar los altos niveles de voltaje en la entrada a la placa (24V), de los valores bajos manejados por el microcontrolador (3.3V), evitando posibles daños en sus pines de entrada.

El circuito de la Figura 2.14 se repite para cada una de las doce señales de entrada a la tarjeta.

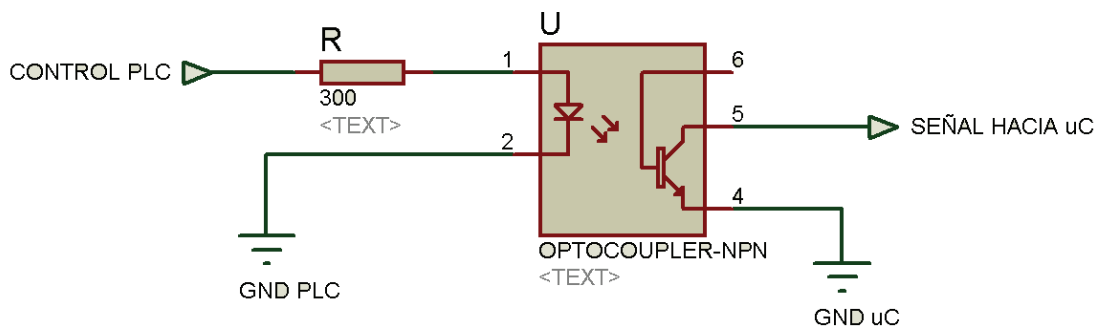


Figura 2.14 Circuito para acoplamiento de entradas

La resistencia de 300Ω , corresponde a los cálculos indicados en la Figura 2.15, considerando la señal alta del PLC de 24V DC como entrada y una corriente permitida de 60mA para el diodo del optoacoplador, cuyo voltaje de operación es de 6V.

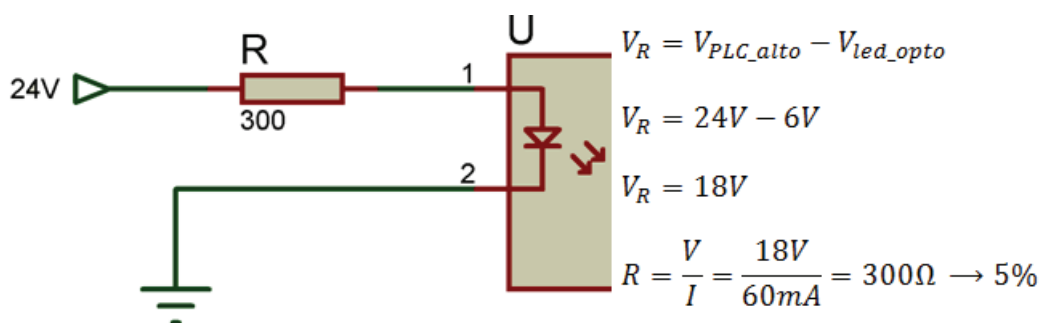


Figura 2.15 Cálculos, resistencia de entrada a la tarjeta

Fuente de poder:

Se requiere proveer al microcontrolador de una alimentación de 3.3V, para lo cual se ha implementado la respectiva fuente de poder en la placa de trabajo.

Asumiendo como condición crítica el trabajo continuo de la carga, y los 12 pines de salida entregando su capacidad máxima de 150mA cada uno, la fuente debe entregar 3.3V a 2A.

Para alcanzar este fin, partiendo de una fuente de 12V DC disponible, se emplea el circuito indicado en la Figura 2.16, que emplea dos etapas de atenuación de voltaje, la primera con la acción respectiva del regulador TL7805, para obtener un voltaje de 5V DC y posteriormente, con el regulador LM1117T, se obtienen los 3.3V DC requeridos.

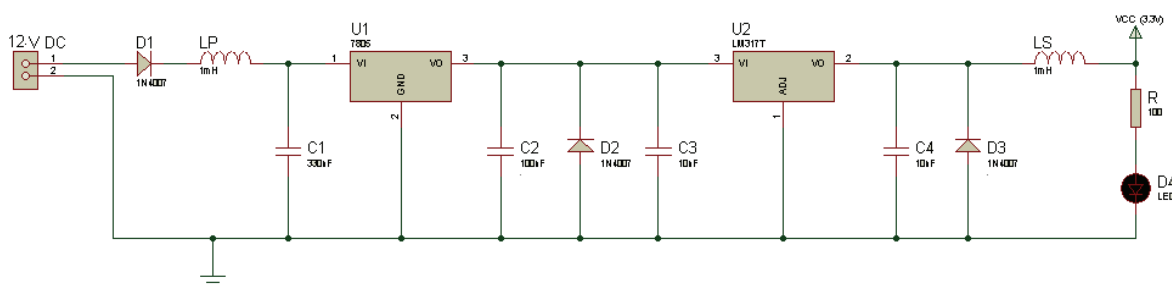


Figura 2.16 Circuito para la fuente de la tarjeta

Donde:

D1: Diodo 1N4007, protege a la fuente de 12V DC de retornos indeseados de corriente.

LP y LS: Bobinas pequeñas, absorben las variaciones de corriente que pueden surgir.

C1 y C2: Capacitores cerámicos de 0.33uF y 0.1uF respectivamente, son filtros recomendados por el fabricante del regulador de 5V, para atenuar posibles variaciones de voltaje.

D2 y D3: Diodos 1N4007, protegen la salida de sus respectivos reguladores, de posibles inversiones de polaridad durante el arranque y la operación de corto circuito.

C3 y C4: Capacitores de tantalum de 10uF, son filtros recomendados por el fabricante del regulador de 5V, para atenuar posibles variaciones de voltaje.

D4: Diodo emisor de luz (led) rojo, indicador de disponibilidad del voltaje Vcc.

R1: Resistencia limitadora de corriente a 16mA para proteger la integridad del led, cuyo valor está determinado por los cálculos referidos en la Figura 2.17:

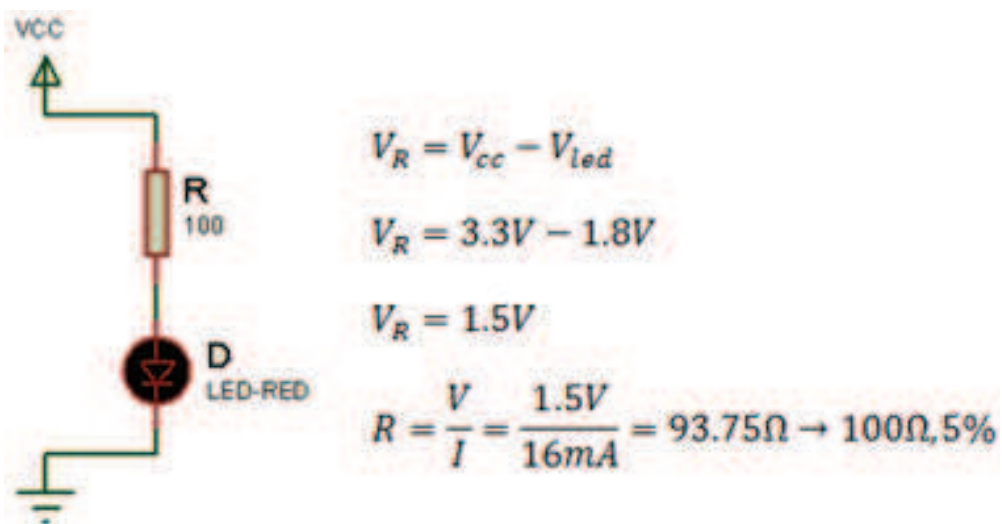


Figura 2.17 Cálculos, resistencia LED indicador

Reset:

Es importante incluir en la tarjeta este módulo, para solventar posibles problemas de software que requieran de un reinicio del programa, para ello, se emplea el pin 35 del microcontrolador, que se halla predeterminado para ejecutar dicha acción como una interrupción externa especial. En la Figura 2.18 se encuentra el circuito implementado para activar la interrupción de reset.

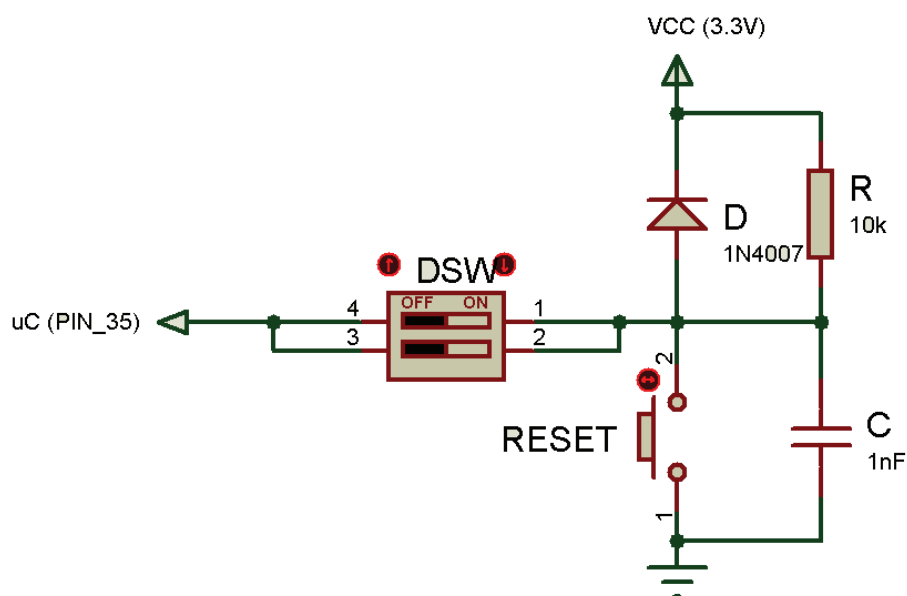


Figura 2.18 Circuito para el RESET de la tarjeta

Donde:

DSW: Dip-Switch que permite bloquear la acción del circuito de reset, para programar el microcontrolador, evitando las posibles interferencias que causan error de compilación.

R: Resistencia de seguridad que limita la corriente para evitar daños en el pin de RESET del microcontrolador.

D: Diodo 1N4007 de protección, según recomendación del fabricante, tomado de [23].

C: Capacitor electrolítico cuya voltaje de carga proporciona el estado inicial del reset inactivo.

RESET: Pulsante para el accionamiento externo del reinicio de programa.

Zona de prueba:

Este módulo consta de un LED RGB, cuyo funcionamiento muestra la normal operación de la lógica del programa del microcontrolador; y un par de puntos entre los cuales se debe medir el valor de voltaje con el que está trabajando la tarjeta. Para dicha tarea se utilizan los cuatro pines del pórtico E del microcontrolador, con el circuito implementado en la Figura 2.19.

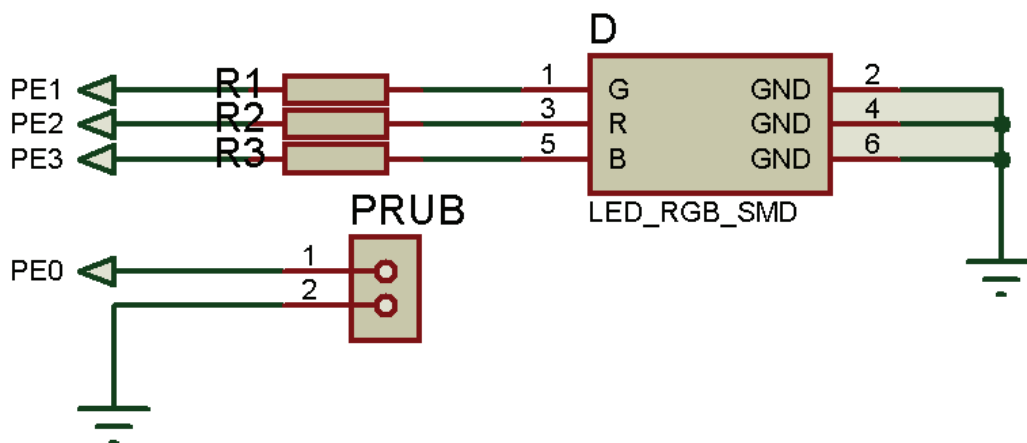


Figura 2.19 Circuito para comprobación de la tarjeta

Con los datos de operación normal del LED RGB mostrados en la Tabla 2.11, se determinan los valores para R1, R2 y R3 según los cálculos de la Figura 2.20.

| PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL LED RGB | LED RED | LED GREEN | LED BLUE |
|-------------------------------------|---------|-----------|----------|
| VOLTAJE TÍPICO (V) | 2.1 | 3.1 | 3.1 |
| CORRIENTE RECOMENDADA (mA) | 20 | 20 | 20 |

Tabla 2.11 Características del LED RGB

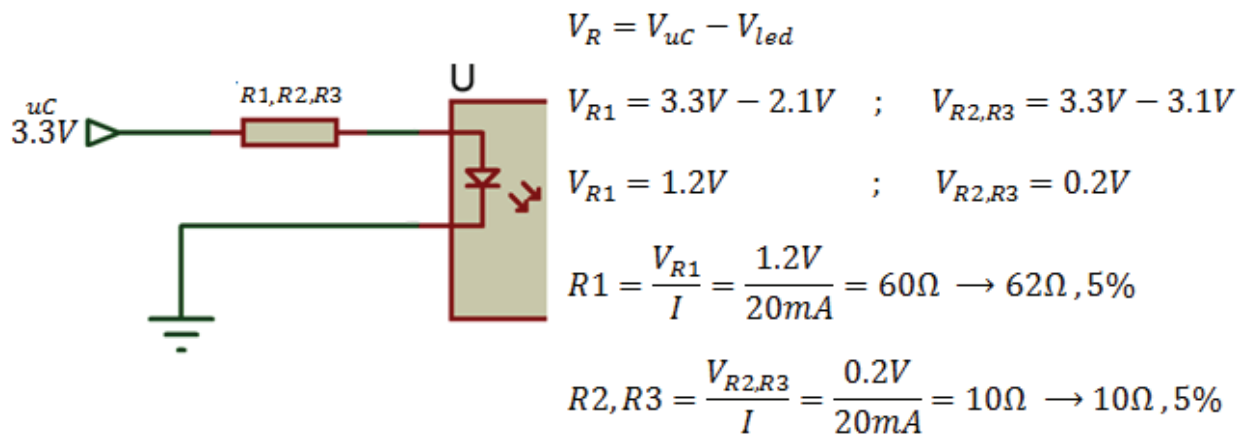


Figura 2.20 Cálculos, resistencias para LED RGB

2.1.3 FORMACIÓN DE LA FUNDA

En este lazo de control se ejecutan cuatro acciones, una de ellas es el arrastre de la lámina de plástico desde su bobina original hasta la formación del empaque final mediante la ayuda de dos Bandas de Arrastre acopladas a engranes que son manejados por el eje de un motor; también se produce el sellado longitudinal que forma la manga plástica, y que requiere el desplazamiento horizontal de la Mordaza Vertical con la acción de dos pistones neumáticos; el sellado horizontal tanto inferior como superior de la funda con el movimiento de la Mordaza Horizontal de Sellado, ayudado por dos pistones neumáticos; y, finalmente se produce el corte para la separación definitiva de los empaques individuales del

producto, con el deslizamiento de la Mordaza Horizontal de Corte ejecutado por dos pistones neumáticos.

Las acciones mencionadas se encuentran vinculadas por el sensor de contraste que lee la taca y da la señal al PLC para que este, ejecute el control respectivo sobre cada actuador, como se puede apreciar en la Figura 2.21.

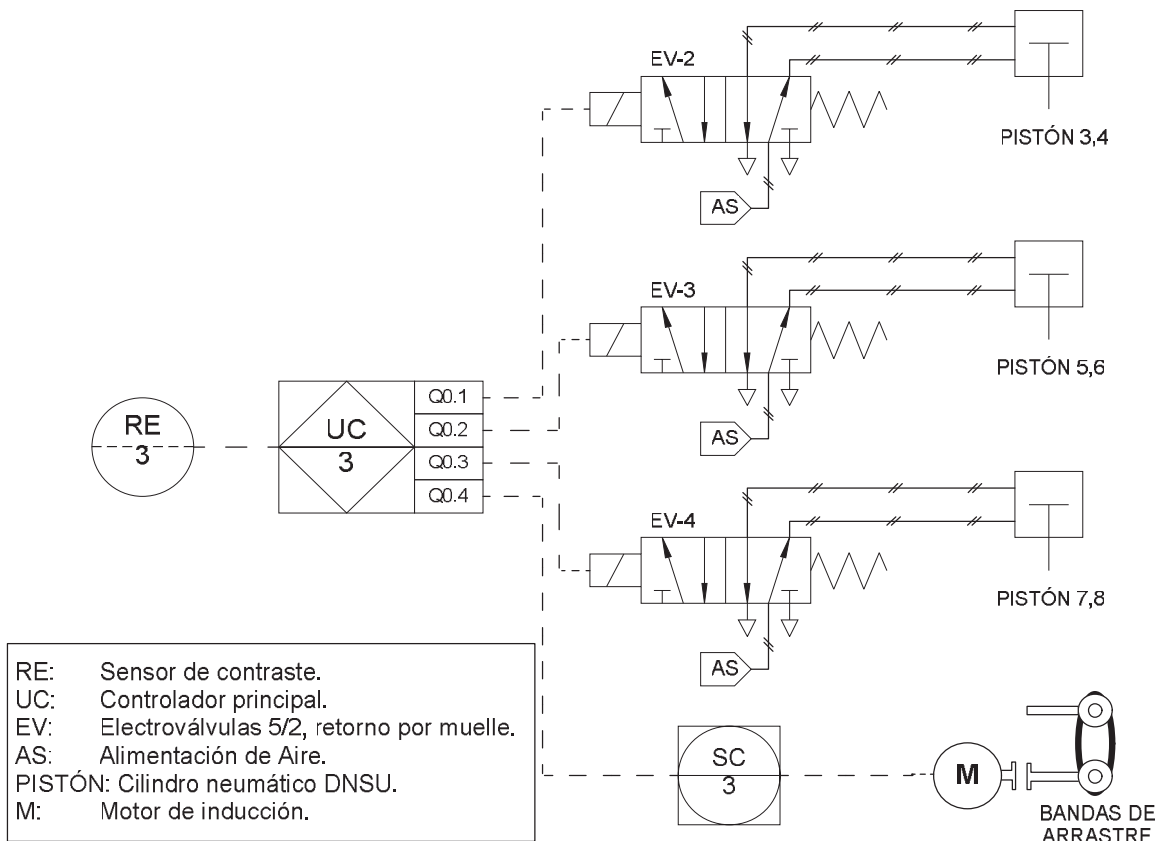


Figura 2.21 P&ID Formación de la funda

2.1.3.1 Sensor de contraste

Es un dispositivo electrónico que detecta cambios de colores en una superficie, generando una señal eléctrica analógica cuando se sobrepasa el nivel de conmutación. Estos dispositivos, están dentro del grupo de sensores fotoeléctricos difusos reflectivos y su principio de funcionamiento se basa en la dispersión y absorción de luz en los colores. Este sensor emite un haz de luz para

monitorear el contraste entre el fondo y el objetivo, parte de esa luz es devuelta al elemento receptor generando una señal eléctrica al cambio de color. [24]

El sensor de contraste utilizado se encuentra en la Figura 2.22, y sus principales características se pueden ver en la Tabla 2.12. El microcontrolador sensa el color de la taca o marquilla y determina automáticamente cual de entre los 3 colores del LED láser RGB, debe usarse para asegurar la detección, esta función es llamada Teach-in.



Figura 2.22 Sensor de contraste, tomado de [25]

| ELEMENTO | Sensor de Fotoeléctrico | |
|-----------------|-------------------------|---------------------|
| CARACTERÍSTICAS | TIPO | Sensor de Contraste |
| | MARCA | Sick |
| | MODELO | KT3W-P1116 |
| | MICROCONTROLADOR | Si |
| | FUNCIÓN | Teach-in |
| | LÁSER | Led RGB |
| | CONECTOR | M12 a 4 Hilos |

Tabla 2.12 Características del sensor de contraste, tomado de [25]

El sensor de contraste está ubicado en la parte posterior de la máquina como se indica en la Figura 2.23. La posición para su ajuste depende de la taca impresa en la lámina de plástico, cuando esta se encuentre 5mm después del haz de luz del sensor.



Figura 2.23 Ubicación del sensor de contraste

2.1.3.2 Motor de inducción

Un motor de inducción basa su funcionamiento en la interacción de los campos giratorios coaxiales correspondientes a sus respectivos devanados: el estator y el rotor. El estator es excitado directamente con corriente alterna y por efecto de inducción se produce circulación de la misma en el rotor, de modo que, el flujo del devanado del estator guía al rotor y produce el par electromecánico. [26]

En la Figura 2.24 se distinguen las partes fundamentales de un motor de inducción.

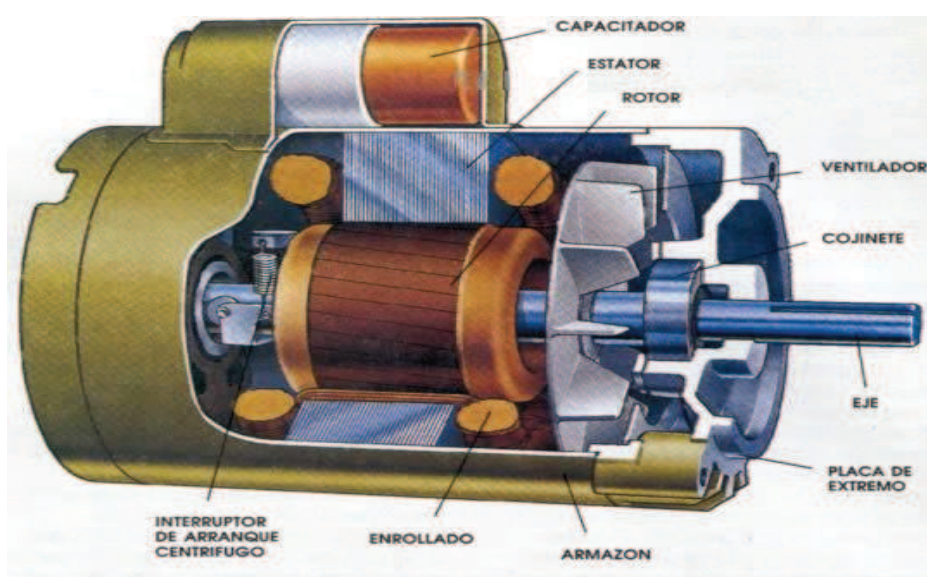


Figura 2.24 Estructura del motor de inducción, tomado de [27]

Una bobina de polietileno estándar tiene un peso aproximado de 50Kg, al arrastrar la lámina de plástico, el motor utilizado es capaz de vencer la inercia existente. El motor cumple con las características mostradas por la Tabla 2.13, y satisface los requerimientos mencionados.

| ELEMENTO | Actuador de Arrastre | |
|-----------------|----------------------|-----------------------------|
| CARACTERÍSTICAS | TIPO | Motor de Inducción 3 ϕ |
| | MARCA | Reliance |
| | MODELO | P56H1 343U-QU |
| | POTENCIA | 1/2 HP |
| | VELOCIDAD NOMINAL | 1140 RPM |
| | ALIMENTACIÓN | 208V - 230V |
| | CORRIENTE NOMINAL | 2.4 A |
| | FRECUENCIA | 60 Hz |

Tabla 2.13 Características del motor de inducción, tomado de [28]

Se encuentra ubicado como indica la Figura 2.25 y su eje maneja los engranes de tornillo sin fin y corona envolvente simple [29], que proporcionan el giro de las bandas de arrastre para hacer circular el plástico alrededor del cilindro formador como se ve en la Figura 2.26.

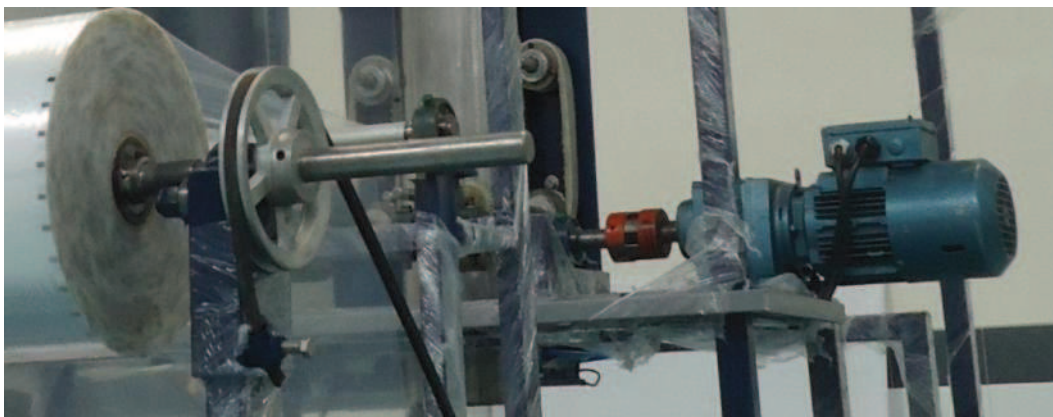


Figura 2.25 Ubicación del motor de inducción en la empacadora



Figura 2.26 Engranajes manejados por el motor de inducción

2.1.3.3 Variador de Velocidad

También conocido como Convertidor de Frecuencia, permite controlar la velocidad de giro del motor de inducción, para establecer el valor óptimo de circulación de la lámina plástica en la empacadora; con rampas de aceleración y de frenado dinámico mínimas, optimizando el tiempo de cada ciclo.

El variador implementado pertenece a la serie MICROMASTER440 de Siemens, para modificar la velocidad de motores trifásicos. Los convertidores están controlados por un microprocesador y utilizan tecnología IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) de última generación, haciéndolos fiables y versátiles. Extensas funciones de protección ofrecen una protección excelente tanto del convertidor como del motor. [17]

Este elemento se encuentra indicado en la Figura 2.27, su programación se desarrolla por medio del panel SDP; y consta de las características mostradas por la Tabla 2.14.



Figura 2.27 Variador de velocidad, tomado de [17]

| ELEMENTO | Acondicionamiento para el Arrastre | |
|---|------------------------------------|--------------------------------------|
| CARACTERÍSTICAS | TIPO | Variador de Velocidad 3 ϕ |
| | MARCA | Siemens |
| | MODELO | Micromaster 440 |
| | ALIMENTACIÓN | 230 V |
| | ALTERNABILIDAD | Hasta 3 procesos |
| | PROTECCIONES | Sobretensión/mínima tensión |
| | | Sobretemperatura para el convertidor |
| Defecto a tierra | | |
| Cortocircuito | | |
| Térmica del motor por i^2t Del motor mediante sondas PTC/KTY | | |

Tabla 2.14 Características del variador de velocidad, tomado de [17]

Para disipar el retorno de energía durante la operación de freno del motor, se requiere de una resistencia de frenado dinámico externa, como la indicada en la Figura 2.28. Tanto dicha resistencia como el variador de velocidad, se encuentran ubicados en el interior del panel de control principal de la empacadora.



Figura 2.28 Resistencia de frenado

2.1.3.4 Pistones DSNU

Se emplean 4 pistones neumáticos DSNU para ejecutar la abertura y cierre de la pareja de Mordazas Horizontales, ubicados dos en cada una de ellas como se indica en Figura 2.29. Los cilindros empleados en el proyecto, cumplen con las características mostradas en la Tabla 2.15.

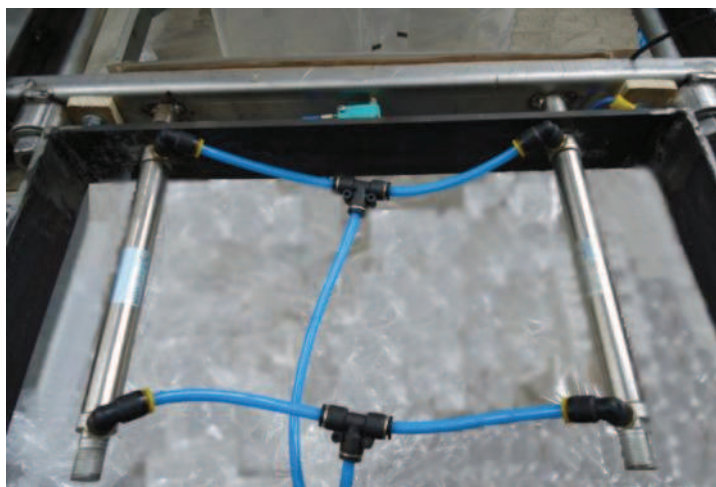


Figura 2.29 Ubicación de los pistones DSNU 16x125 en una mordaza

| ELEMENTO | Actuador Neumático | |
|-----------------|--------------------|----------------------|
| CARACTERÍSTICAS | TIPO | Cilindro DSNU |
| | MARCA | Chanto |
| | FUNCIONAMIENTO | Doble Efecto |
| | AMORTIGUAMIENTO | No |
| | CARRERA | 125 mm |
| | ÉMBOLO ϕ | 16mm |
| | PRESIÓN | 10Kgf/m ² |

Tabla 2.15 Características del actuador para mordazas de sellado y corte.

En el caso del sellado vertical se emplean 2 cilindros neumáticos DSNU más pequeños, ubicados como indica la Figura 2.30 y que corresponden a las características de la Tabla 2.16.



Figura 2.30 Ubicación de los pistones DSNU 20x25 en la mordaza

| ELEMENTO | Actuador Neumático | |
|-----------------|--------------------|------------------------|
| CARACTERÍSTICAS | TIPO | Cilindro DSNU |
| | MARCA | Chanto |
| | FUNCIONAMIENTO | Doble Efecto |
| | AMORTIGUAMIENTO | No |
| | CARRERA | 25mm |
| | ÉMBOLO ϕ | 20mm |
| | PRESIÓN | 1.12Kgf/m ² |

Tabla 2.16 Características del actuador neumático para mordaza vertical

2.1.4 TEMPERATURA

Este lazo permite el control de temperatura en las mordazas de sellado y corte, para que estas, ejecuten la soldadura y con ello la formación definitiva de las fundas plásticas como empaque final del producto. Para llegar a este cometido se implementa el circuito indicado en la Figura 2.31, donde se disponen de 3 sub circuitos similares que difieren en el valor de temperatura del Set Point, según la tarea a realizar.

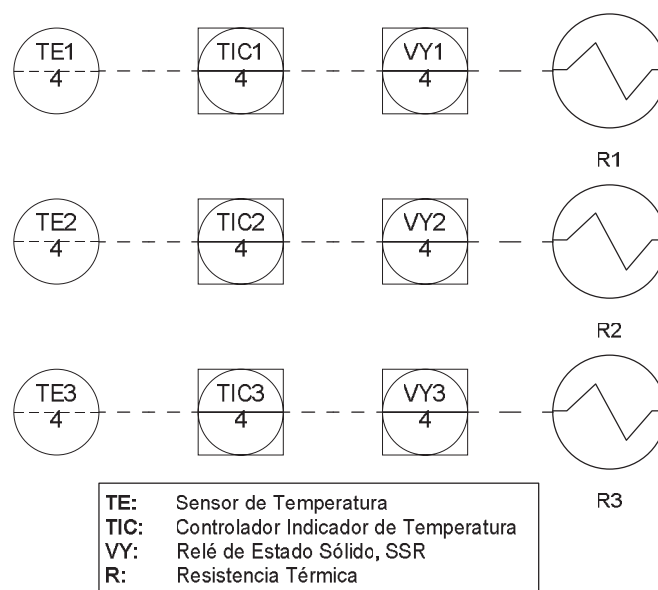


Figura 2.31 P&ID Temperatura

2.1.4.1 Transductor de temperatura

El transductor de temperatura implementado es una termocupla tipo K, elemento formado por la unión de dos conductores de diferentes aleaciones, con un extremo soldado, denominado junta de medición, que con la diferencia de temperatura entre las dos juntas, produce una fuerza electromotriz, en el orden de los milivoltios. Proporciona la medida de temperatura emitida por cada una de las resistencia térmicas para realimentar a su respectivo controlador. Tiene la forma indicada en la Figura 2.32, con los parámetros mostrados en la Tabla 2.17.



Figura 2.32 Transductor de temperatura

| ELEMENTO | Sensor de Temperatura | |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| CARACTERÍSTICAS | TIPO | Termocupla Tipo K |
| | MARCA | Genérica |
| | CONDUCTORES | Níquel Cromo - Níquel |
| | TEMPERATURA | 0°C a 1000°C |
| | CONDUCTOR (+) | Azul |
| | CONDUCTOR (-) | Rojo |

Tabla 2.17 Características, termocupla tipo K

2.1.4.2 Controlador de temperatura

El controlador PID de temperatura utilizado, permite mantener valores constantes de temperatura en las resistencias térmicas o calentadores, partiendo de la calibración de los parámetros que dan forma al tipo de proceso actual.

En la Figura 2.33, se indica la presentación del controlador y en la Tabla 2.18 se muestran sus características.



Figura 2.33 Controlador PID de temperatura

| ELEMENTO | Controlador de Temperatura | |
|-----------------|----------------------------|--------------|
| CARACTERÍSTICAS | TIPO | PID |
| | MARCA | NEW2006POWER |
| | MODELO | N2006P |
| | INDICADOR MEDICIÓN | Si |
| | INDICADOR SETPOINT | Si |
| | ALARMAS | 2 |
| | ALIMENTACIÓN | 36V - 260V |
| | FRECUENCIA | 60 Hz |

Tabla 2.18 Características, controlador PID de temperatura, tomado de [30]

2.1.4.3 Relé de estado sólido (SSR)

Es un elemento que permite aislar eléctricamente el circuito de entrada o control emitido por el Controlador de Temperatura y el circuito de salida, referente a las resistencias térmicas. Dispone de las siguientes etapas: Circuito de entrada, aislamiento, detector de cruce por cero, circuito de salida y protección frente a transitorios [31], el diagrama de su circuito interno está indicado en la Figura 2.34, y su estructura externa consta en la Figura 2.35.

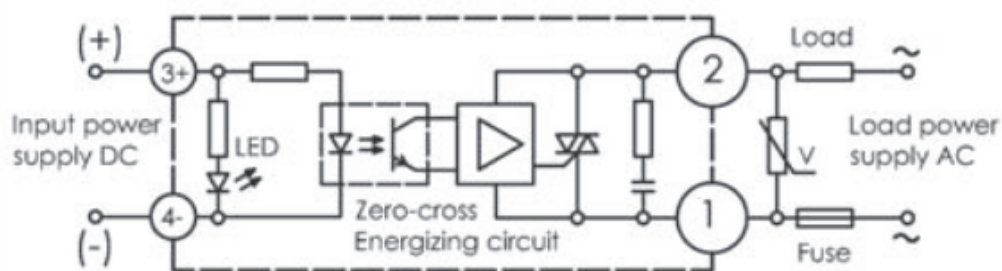


Figura 2.34 Circuito interno del SSR, tomado de [32]

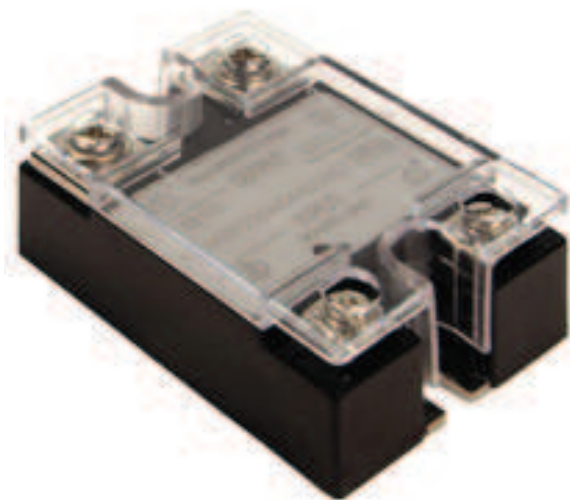


Figura 2.35 Relé de estado sólido, tomado de [32]

Las corrientes que circulan a través de las resistencias térmicas están en un rango de 25A (sellado) y 30A (corte), por lo que los SSR utilizados soportan una carga máxima de 60A y cumplen con las características mostradas en la Tabla 2.19.

| ELEMENTO | Relé de Estado Sólido | |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------------|
| CARACTERÍSTICAS | TIPO | AC, Conmutación en cruce por cero |
| | MARCA | RELEQUICK |
| | MODELO | RS1A0P032DC440060Z |
| | TENSIÓN ENTRADA | 3 - 32 (Vdc) |
| | CORRIENTE MÁX CARGA | 60A |
| | TENSIÓN CARGA | 40 - 480 (Vac) |
| | FRECUENCIA | 47 - 63 (Hz) |

Tabla 2.19 Características SSR, tomado de [32]

2.1.4.4 Resistencias térmicas

El control implementado sirve para trabajar tanto con resistencias térmicas como con calefactores tipo cartucho, en el proyecto se han implementado las primeras, en el caso del sellado vertical y horizontal se utilizan niquelinas planas de 12mm de ancho indicadas en la Figura 2.36, mientras que para el corte se utiliza niquelina redonda de calibre 18AWG indicada en Figura 2.37.



Figura 2.36 Niquelinas planas para sellado, tomado de [33]



Figura 2.37 Niquelina redonda para corte, tomado de [33]

2.2 TABLEROS DE CONTROL

Los elementos de control deben ser resguardados de agentes externos y manipulación indebida, para ello, se emplean tableros o gabinetes metálicos, dentro de los cuales son almacenados en ubicaciones fijas, que facilitan su operación y el reconocimiento de las conexiones del cableado eléctrico, en caso de ser necesario. Además de proveer el espacio para la señalización de operación y fallo, y demás accionamientos y pulsantes indispensables para el correcto funcionamiento de la máquina. La disposición de dichos tableros en la máquina se indica en la Figura 2.38.

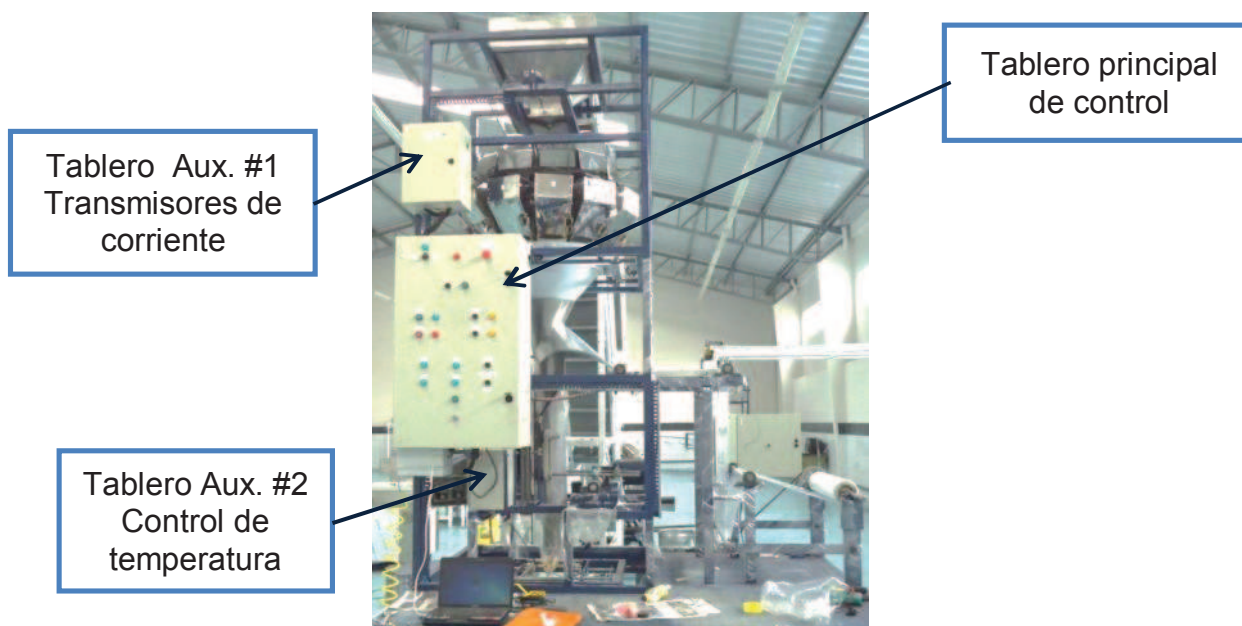


Figura 2.38 Disposición de tableros de control en la máquina

2.2.1 TABLERO PRINCIPAL DE CONTROL

El gabinete tiene 800mm de ancho, 1000mm de largo y 300mm de profundidad, de doble llave para cierre. En él se ejecutan la mayoría de las acciones que dan funcionamiento a la máquina.

La compuerta frontal se indica en la Figura 2.39, y en ella se encuentran los elementos mostrados en la Tabla 2.20.



Figura 2.39 Distribución externa del tablero principal de control

| N° | TIPO | PLANO | NOMBRE | COLOR |
|----|--------------------------|-------|-----------------|----------|
| 1 | Selector de 2 posiciones | S1 | ON /OFF | Negro |
| 2 | Indicador luminoso | H1 | | Verde |
| 3 | Indicador luminoso | H2 | FALLO | Rojo |
| 4 | Pulsante cabeza hongo | S2 | PARO EMERGENCIA | Rojo |
| 5 | Llave pulso | S12 | FACTOR K | Plateado |
| 6 | Pulsante | S5 | INICIO | Verde |
| 7 | Indicador luminoso | H3 | | Verde |
| 8 | Pulsante | S7 | PARO | Rojo |
| 9 | Indicador luminoso | H5 | | Rojo |
| 10 | Pulsante | S3 | SELLADO | Negro |
| 11 | Pulsante | S4 | ARRASTRE | Verde |
| 12 | Pulsante | S6 | AUTO-0 | Negro |
| 13 | Indicador luminoso | H4 | | Amarillo |
| 14 | Pulsante | S8 | RESET | Negro |
| 15 | Indicador luminoso | H6 | | Amarillo |
| 16 | Pulsante | S9 | SELECCIONAR ↑↑↑ | Negro |
| 17 | Pulsante | S10 | SELECCIONAR ↓↓↓ | Negro |
| 18 | Indicador luminoso | H7 | 500g | Verde |
| 19 | Indicador luminoso | H8 | 1000g | Verde |
| 20 | Indicador luminoso | H9 | 2000g | Verde |
| 21 | Indicador luminoso | H10 | 3000g | Verde |
| 22 | Pulsante | S11 | TEST COMPUERTAS | Verde |

Tabla 2.20 Elementos externos del tablero principal de control

Interiormente el tablero se encuentra distribuido como indica la Figura 2.40; el fondo del gabinete se halla dividido en seis secciones, más las paredes laterales derecha e izquierda, la Tabla 2.21 muestra los elementos contenidos en cada una de ellas. Las conexiones correspondientes a todos los circuitos de control se pueden apreciar en correspondientes planos eléctricos en el Anexo A.

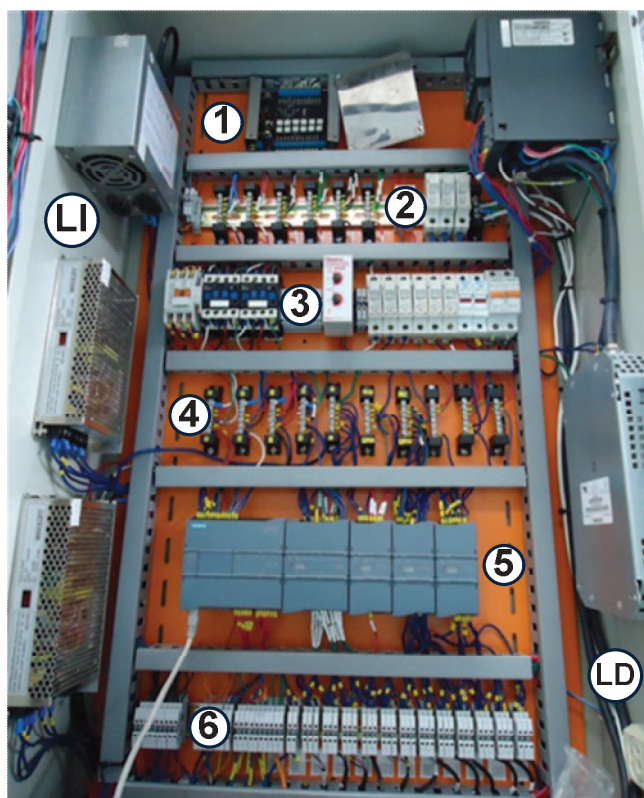


Figura 2.40 Distribución interna del tablero principal de control

| SEC | ELEMENTOS |
|-------------------|--|
| 1 | Tarjeta acondicionadora de señal para servos. |
| 2 | Alimentación a la tarjeta con 12V y a cada unos de los servos con 5V. Alimentación del Tablero principal de control con 3 fase, neutro y tierra. Fusibles de protección. |
| 3 | Contactores principales. Relé de protección de fase y voltaje. Fusibles de protección para fuentes y demás elementos. Breakers de entrada. |
| 4 | Distribución de alimentaciones en borneras de punto común. |
| 5 | PLC y sus cuatro módulos adicionales. |
| 6 | Bornes de alimentación y entrada de señal para cada transmisor. |
| Lateral Izquierdo | Fuente DC switching Fuentes DC 12V x2 |
| Lateral Derecho | Variador de Velocidad Resistencia de frenado Tomacorriente de 110V |

Tabla 2.21 Elementos internos del tablero principal de control

2.2.2 TABLERO AUXILIAR #1

Este gabinete tiene 400mm de ancho, 300mm de largo y 200mm de profundidad, dispone de una llave para cierre. En él se encuentran ubicados los 12 transmisores de corriente, siendo está la estación media entre los sensores de peso y el tablero principal de control. Externamente no presenta elementos adicionales, internamente los mencionados transmisores se distribuyen en tres grupos de cuatro, ubicados uno delante de otro, tiene la forma indicada en la Figura 2.41.

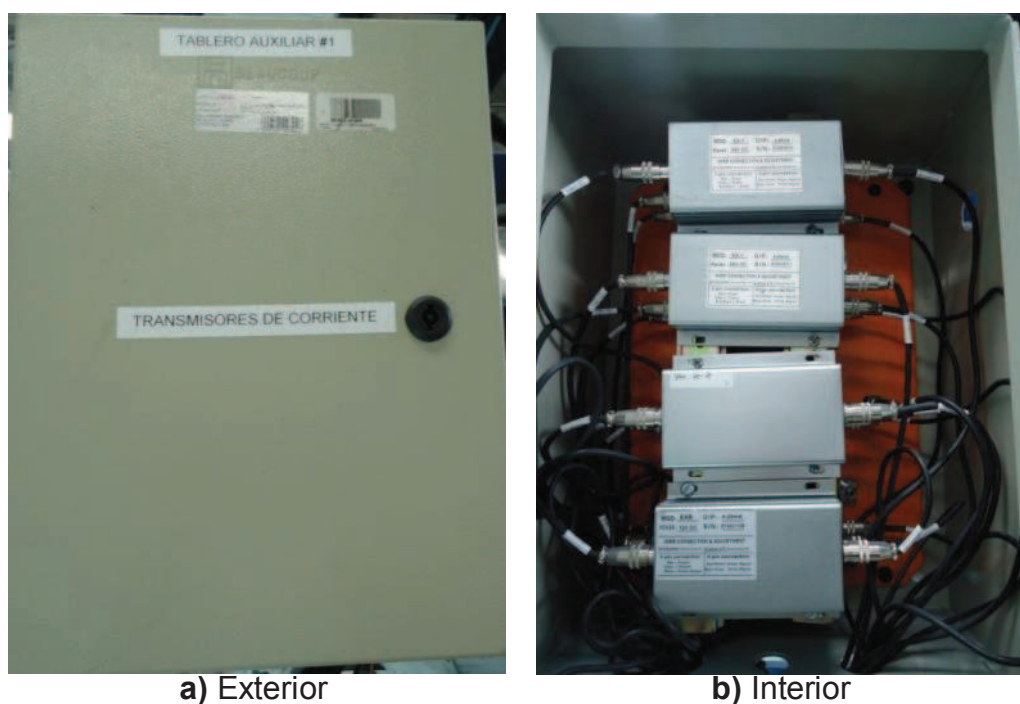


Figura 2.41 Tablero auxiliar #1

2.2.3 TABLERO AUXILIAR #2

Este gabinete tiene 300mm de ancho, 300mm de largo y 150mm de profundidad, dispone de llave única para cierre. En él se ejecuta el control de las resistencias térmicas empleadas en el proyecto. En la Figura 2.42 a) se distingue su presentación exterior, dónde se encuentran empotrados los controladores / indicadores de temperatura, dejando visibles las pantallas de cada uno de ellos.

Internamente, los elementos han sido distribuidos con indica la Figura 2.42 b), en la Tabla 2.22 se describen cada uno de ellos.

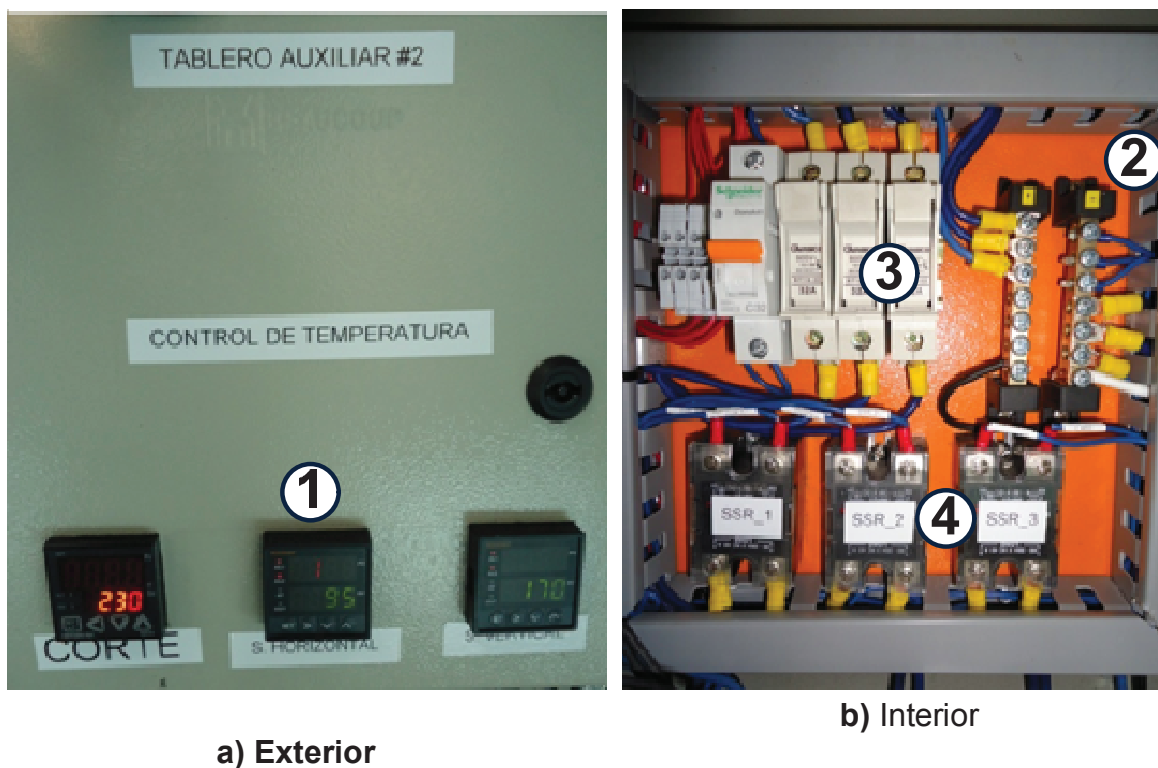


Figura 2.42 Tablero auxiliar #2

| SEC | ELEMENTOS |
|-----|---|
| 1 | Controladores / Indicadores de Temperatura. |
| 2 | Borneras equipotenciales con L1 directa desde el tablero de potencia de la planta. |
| 3 | Fusibles de protección para la carga (resistencias térmicas) Breaker de protección a la alimentación de los controladores. |
| 4 | Relés de Estado Sólido, SSR. |

Tabla 2.22 Elementos internos del tablero auxiliar #2

Las conexiones de este tablero corresponden al circuito indicado en la Figura 2.43, repitiéndose para cada uno de los tres controladores, este diagrama es proporcionado por el fabricante.

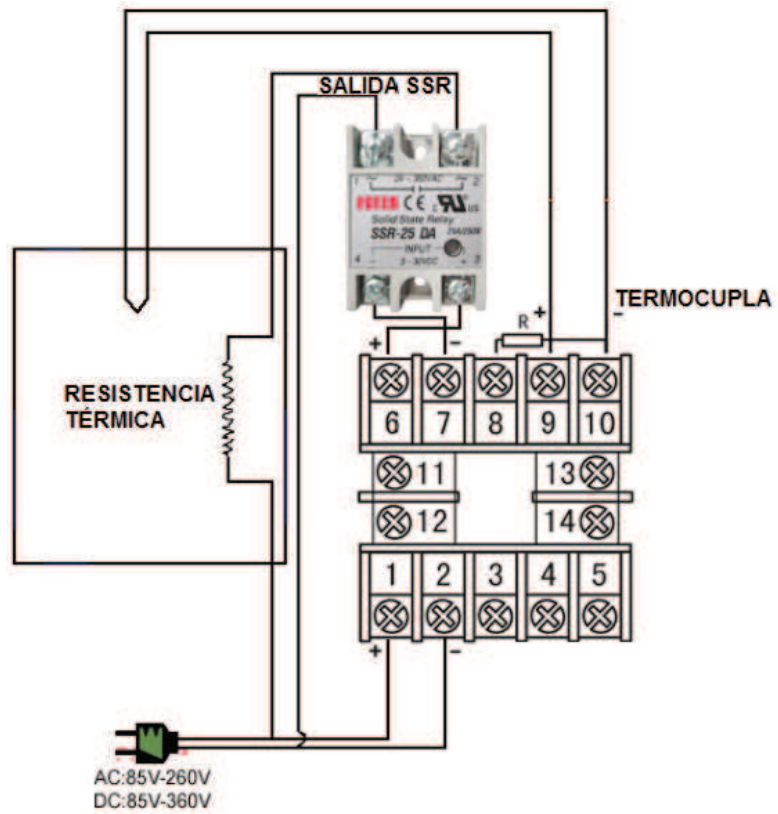


Figura 2.43 Circuito para resistencias térmicas, tomado de [30]

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL

3.1 ESQUEMA SIMPLIFICADO DE CONTROL DE LA MÁQUINA DOSIFICADORA Y EMPACADORA DE LA EMPRESA POWER TECHNOLOGIES.

El siguiente esquema de la Figura 3.1, proporciona una idea general del proceso que realiza la máquina dosificadora y empacadora, el cual consta de dos entradas que son: la lámina de plástico y papa picada; y una salida que es el empaque final que contiene el producto según el peso seleccionado.

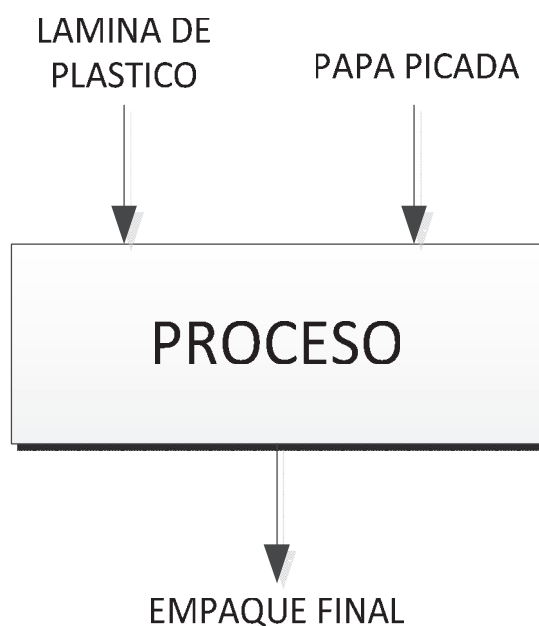


Figura 3.1 Proceso general

Este bloque general llamado proceso, puede ser separado en varias etapas que corresponden a dos subprocesos como se indica en la Figura 3.2.

Cada subproceso le corresponde tratar por separado una y solo una entrada, combinándose luego para dar como resultado el producto final.

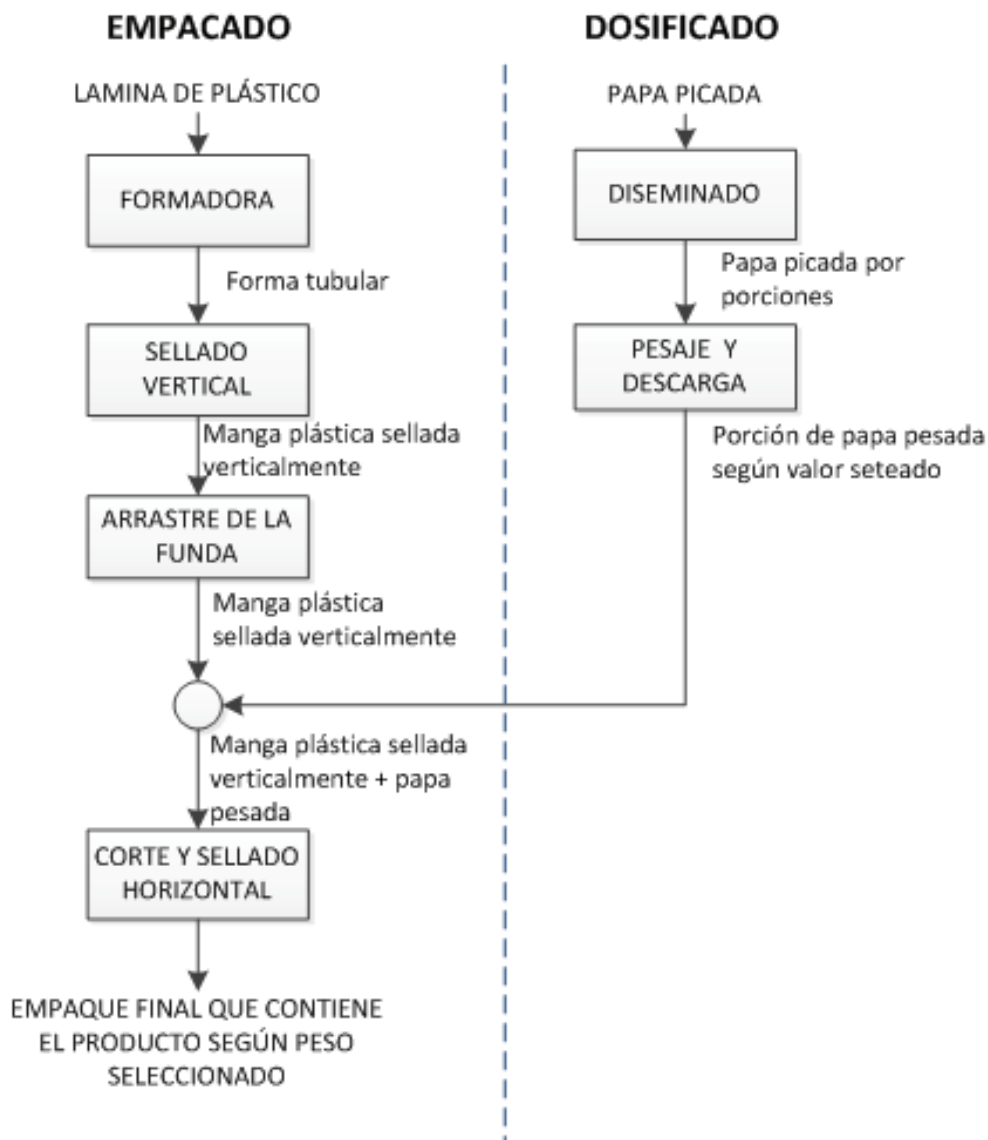


Figura 3.2 Subprocesos y etapas de la máquina

3.1.1 DOSIFICADO

En este subproceso se tiene como entrada la papa picada, y como salida el producto pesado según la cantidad seleccionada por el usuario, para ser empacada. A continuación se describe individualmente cada una de las etapas implicadas en el subproceso en mención:

- Diseminación
- Pesaje y Descarga

3.1.1.1 Diseminación

El producto contenido en la Tolva de Alimentación es descargado por porciones cuando se abren las compuertas por efecto de activar o desactivar los dos pistones neumáticos DNC, mediante una sola electroválvula 5/2.

3.1.1.2 Pesaje y descarga

La porción de papas picadas que cae desde la Tolva de Alimentación hacia los Cabezales de Pesaje, es continuamente pesada gracias a las celdas de carga acopladas a estos. Las celdas son acondicionadas mediante transmisores de corriente conectados al módulo analógico del PLC, y mediante el algoritmo de combinaciones se determina cuáles son los cabezales que individualmente o sumados entre sí completan el peso seleccionado por el usuario, y lo descargan hacia el otro subproceso para iniciar la etapa de arrastre de la funda.

3.1.2 EMPACADO

En este subproceso la entrada es la lámina de plástico, la cual es guiada para adquirir una forma tubular, ser sellada verticalmente, y arrastrada para recibir la descarga del producto, finalmente el sellado y corte horizontal da el acabado al empaque. A continuación se describe individualmente cada una de estas etapas:

- Formación
- Sellado vertical
- Arrastre de la funda
- Corte y sellado horizontal

3.1.2.1 Formación

En esta etapa la lámina de plástico es conducida a través de una serie de rodillos guías, hasta llegar al cuello formador, donde adquiere la forma tubular y el pliegue o traslape, preparándola para la siguiente etapa.

3.1.2.2 Sellado Vertical

La lámina de plástico con forma tubular ingresa a esta etapa con el traslape ubicado en el centro del cilindro frente a toda la longitud de la mordaza vertical, en ese momento se activa la electroválvula que acciona los pistones neumáticos DSNU asociados al sellado vertical, el control de temperatura mantiene a la resistencia térmica a una temperatura de $190 \pm 10^{\circ}\text{C}$ por medio de pulsos eléctricos, donde una corriente de 25A recorre el alambre por unas milésimas de segundos, permitiendo un sellado de la funda justo en el traslape antes mencionado, con lo cual se tiene ya la manga de plástico para ingresar a la siguiente etapa.

3.1.2.3 Arrastre de la funda

Luego del sellado vertical, los pistones neumáticos de la mordaza retornan a su posición de inicio. En este momento las papas picadas que vienen del otro subproceso caen en el empaque y subsiguientemente se pone en funcionamiento el variador de velocidad que comanda a motor a 100 Hz para efectuar el arrastre de la manga plástica.

3.1.2.4 Corte y sellado horizontal

Una vez que se ha efectuado el arrastre de la funda, este es detenido cuando el sensor de contraste detecta la marca impresa en la lámina de plástico; en ese momento se activan los pistones neumáticos, que desplazan las mordazas horizontales y que contienen a las resistencias térmicas de corte y sellado horizontal, las cuales son continuamente calentadas por impulsos eléctricos, permitiendo que corrientes de 30A y 25A atraviesen el alambre por unas milésimas de segundos, calentándolas a 230°C (corte) y 190°C (sellado horizontal superior e inferior), con lo cual la funda queda cortada y sellada, logrando así el empaque que contiene el producto final y dejándola lista para la próxima descarga del producto. Es conveniente mencionar que el sellado horizontal y vertical se efectúan de forma simultánea, pero por razones explicativas se ha separado por etapas.

3.2 AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA DOSIFICADORA Y EMPACADORA MULTICABEZAL

La automatización de esta máquina requiere un entendimiento de la secuencia de operación, sus funciones y objetivos, además del conocimiento pleno de las limitaciones mecánicas que serán también las limitaciones en el control. En la Figura 3.3 se puede apreciar la secuencia de operación de la máquina pesadora y empacadora multicabezal.

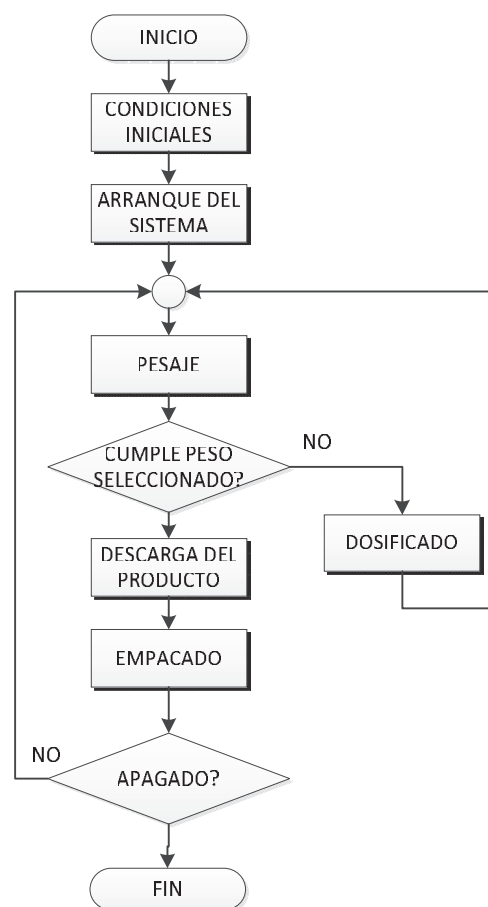


Figura 3.3 Secuencia de operación de la máquina

3.2.1 CONDICIONES INICIALES

Son los primeros procedimientos que se debe realizar antes de arrancar la máquina. La elaboración del empaque se efectúa colocando la bobina de plástico en el Eje Portabobina ubicado en la parte posterior.

La lámina de plástico luego de ser conducida por los Ejes Guías, tiene que ser cuidadosamente atravesada por la abertura entre el Cuello Formador y el Cilindro Formador, de tal manera que se forme el traslape y se obtenga la apariencia tubular de la funda. Toda esta operación se realiza de forma manual y se debe asegurar que los bordes laterales de la manga plástica tengan contacto con las bandas de arrastre para su posterior desplazamiento.

3.2.2 ARRANQUE DEL SISTEMA

Para empezar el funcionamiento automático de la máquina se tiene el siguiente esquema mostrado en la Figura 3.4. Se energiza de manera correcta la máquina, lo cual significa que tengan las condiciones definidas en el numeral 2.1, con la secuencia de fases correcta.

Una vez que se ha conectado correctamente la alimentación trifásica, se procede a girar el selector S1 de dos posiciones (ON-OFF) en la posición de encendido, permitiendo que el PLC y la bobina del contactor principal KM1 sean energizados, abasteciendo al tablero de control. En este momento, las niquelinas empiezan a calentarse hasta alcanzar el valor de setpoint de temperatura, por lo cual es necesario esperar al menos 5 min antes de proceder a iniciar la operación para garantizar un sellado adecuado.

3.2.2.1 Secuencia de verificación

El detector de falla de fases verifica si la secuencia de fases es la correcta y si los niveles de voltaje de cada fase están dentro del umbral permitido, por arriba o por abajo del voltaje nominal de 220VAC, y envía una señal al PLC. Además de esto, se verifica que los contactores estén energizados y que no exista falla por desbordamiento o desconexión de las celdas de carga. Todas estas condiciones son llamadas secuencia de verificación, en el caso de que todo esté bien, se enciende la luz verde H1 ubicada encima del selector S1 como indicación de que la máquina esta lista, caso contrario se enciende la luz de falla H2 como un indicador en el panel de control como señal de que esta condición no ha sido

cumplida. Adicional a esto, se enciende la luz de paro H5, y la selección del peso se ubica en 500g por defecto.

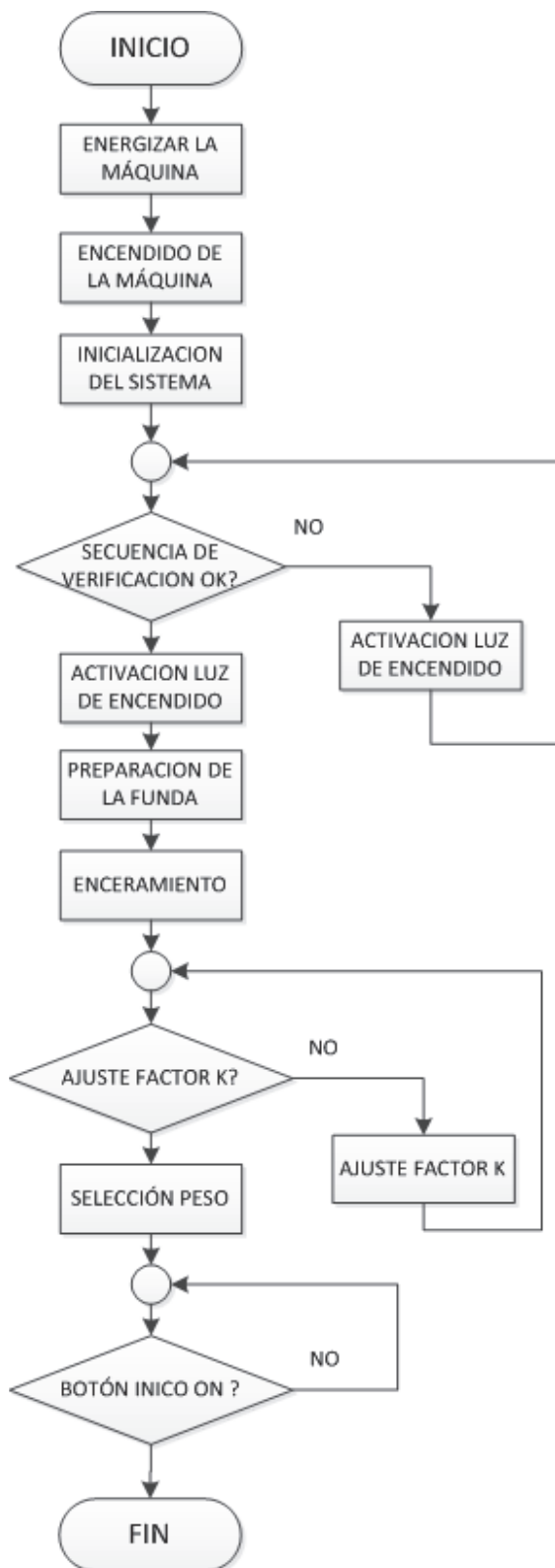


Figura 3.4 Secuencia de arranque de la máquina

3.2.2.2 Preparación manual de la funda

Para cumplir con las condiciones iniciales es necesario preparar la funda para recibir el producto, por lo tanto se utilizan los pulsadores de sellado y arrastre manual S3 y S4 respectivamente, ubicados en la parte frontal del panel de control principal para dejar listo el empaque que ha de recibir el producto, es decir debe estar sellado vertical y horizontalmente.

Es importante recalcar que los pulsadores en mención funcionan únicamente cuando la máquina se encuentra en paro; es decir que la primera acción que se requiere es presionar el pulsador de paro S6.

Se debe verificar adicional a ello, que la taca de la funda este ubicada unos 5mm después del haz de luz de detección emitido por el sensor de contraste.

3.2.2.3 Auto enceramiento

Una vez listo el empaque en las condiciones iniciales para el funcionamiento automático, se procede a pulsar el botón de auto-0 S6 para ejecutar el procedimiento del auto enceramiento para la medición del peso, este procedimiento consiste en calcular los valores de la ecuación de la recta dentro del escalamiento para calibrar la referencia de la medición a cero, dejando por entendido que la celda de carga arroja valores lineales. Para comprender esta bondad del sistema, es necesario explicar el proceso de escalamiento de los valores de entrada analógica.

3.2.2.4 Escalamiento

El escalado es una técnica muy utilizada en ingeniería para hacer corresponder valores enteros proporcionados por conversores analógicos-digitales (ADC) en valores de ingeniería como puede ser temperaturas, presión, peso, etc. Esta técnica requiere como condición que los valores de entrada proporcionados sean

lineales, ya que utiliza la ecuación de una recta para corresponder a los valores de salida según la Figura 3.5.

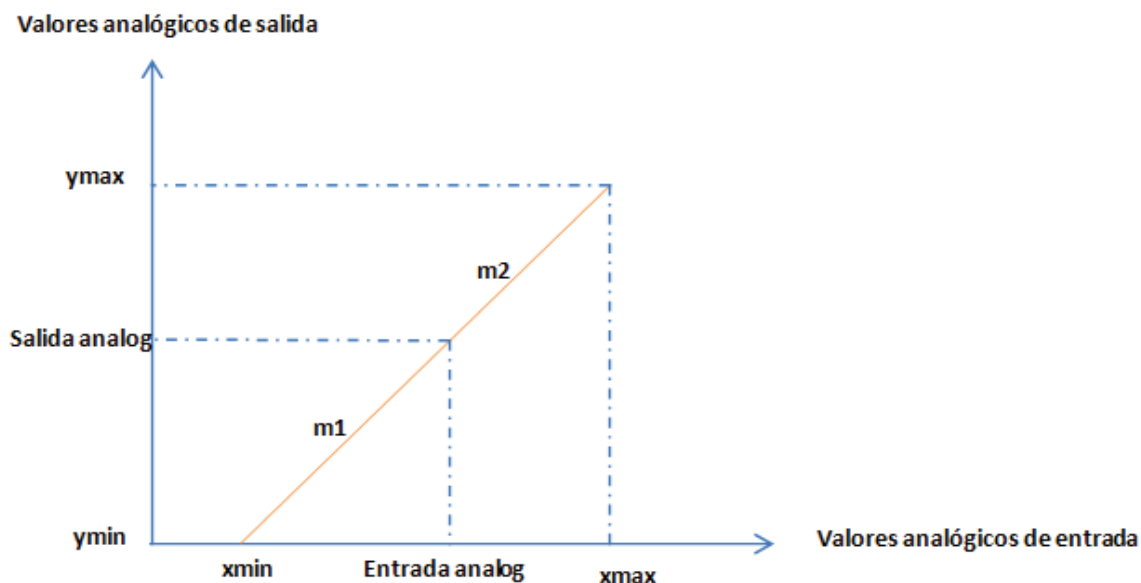


Figura 3.5 Escalamiento de una señal de entrada analógica

En el eje X: valores del conversor A/D del módulo.

En el eje Y: valores de salida a escalar (deseados) que pueden ser: %, distancia, volumen, temperatura, pesos,....

Entrada análoga: entrada analógica estándar 4-20mA, 0-20mA, 0-10Vdc, 1-5Vdc que corresponden a un valor entero del conversor que puede ser 8192 a 32000. Donde $x_{min}=8192$, $x_{max}=32000$.

Salida análoga: valor escalado que se desea obtener. Y_{max} =máxima salida a escalar (100%). Y_{min} =mínima salida a escalar (0%).

Como las pendientes son iguales, se tiene:

$$m2 = m1$$

$$\frac{y_{max} - y_{min}}{x_{max} - x_{min}} = \frac{\text{Salida analog} - y_{min}}{\text{Entrada analog} - x_{min}}$$

Despejando salida análoga:

$$Salida\ analog = \frac{y_{max} - y_{min}}{x_{max} - x_{min}} * (Entrada\ analog - x_{min}) + y_{min}$$

Esta es la ecuación utilizada para realizar cualquier escalamiento de señales a valores de ingeniería.

Para los distintos conversores A/D existen diferentes valores mínimos y máximos dado por la resolución del conversor.

- **Diseño del conversor analógico-digital (ADC)**

Un conversor A/D es un dispositivo que captura una pequeña muestra de una señal de voltaje o corriente de entrada y la representa en una palabra digital. Para realizar este proceso es necesario cumplir ciertas etapas como se muestra en la siguiente Figura 3.6.



Figura 3.6 Subprocesos conversor A/D

Al ingresar la señal analógica se realiza un muestreo para seleccionar un tramo de señal de entrada, luego se retiene dicha señal, se le asigna un valor en la etapa de cuantificación según sea el nivel de voltaje del pequeño tramo y por último se pasa el dato cuantificado a sistema binario. La mínima cantidad que un conversor puede representar es conocida como resolución.

El módulo de entradas analógicas de corriente utilizado en el proyecto tiene una resolución de 12 bits +1 bit de signo. Esto quiere decir que puede representar $2^{12} = 4096$ posibles estados.

$$20mA - 4mA = \frac{16mA}{4096} = 0.004\ mA/cuenta$$

Se tiene una resolución de 0.004 mA por cada cambio en la cuenta.

Los módulos de señales analógicas de Siemens proporcionan señales de entrada o esperan valores de salida que representen un rango de tensión o de corriente. Estos rangos son $\pm 10V$, $\pm 5V$, $\pm 2,5V$, o $0 - 20mA$. Los valores devueltos por los módulos son enteros y se ubican dentro de un rango nominal de corriente de 0 a 27648 y de tensión entre -27648 a 27648. Por lo tanto, para el escalamiento se toma como referencia un rango de valores enteros de control internos que va de 0 a 27648 valores, realizando el siguiente análisis sobre la Figura 3.7.

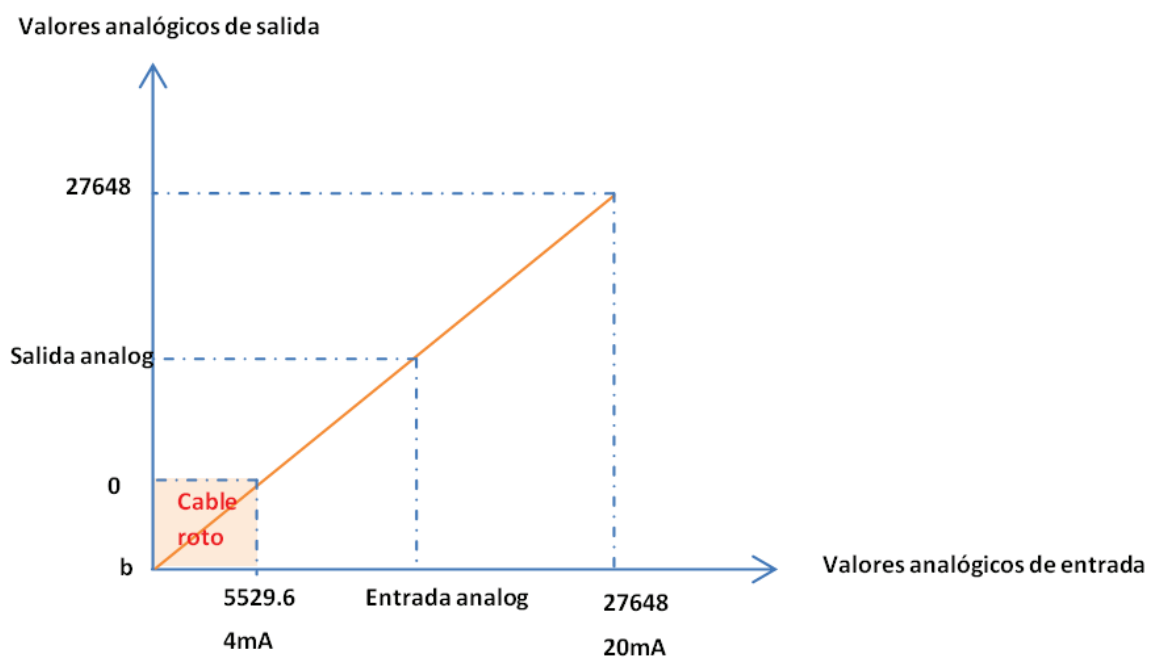


Figura 3.7 Recta escalamiento

Si 27648 representa 20 mA y como la entrada es lineal, entonces se tiene por proporcionalidad que 5529.6 representa 4 mA.

Ahora se puede hallar el valor de la incógnita b en la ecuación de la recta conocido un punto:

$$y = mx + b$$

$$m = \frac{27648}{27648 - 5529.6}$$

$$y = \frac{27648}{27648 - 5529.6} * x + b$$

$$\text{punto: } (x, y) = (5529.6, 0)$$

$$0 = \frac{27648}{27648 - 5529.6} * 5529.6 + b$$

$$b = -6912$$

Por lo tanto,

$$y = \frac{27648}{27648 - 5529.6} * x + b$$

Esta ecuación adecúa la señal de entrada de 4 - 20mA al rango interno del módulo del PLC de 0 - 27648, empezando en "0" para un valor de 4mA y terminando en "27648" para un valor de 20mA. Al utilizar estos valores, se puede asociar el valor límite inferior como una alarma de hilo roto. Entonces cualquier valor inferior al valor límite de 4mA se considera como falla por desconexión, mal contacto o hilo roto y así tener una supervisión sobre las señales que envían los transmisores de corriente y las celdas de carga.

Esta ecuación es un ejemplo de cómo proceder con el escalamiento de las señales analógicas usando los módulos de entradas analógicas de siemens. Se asume que el valor de peso "0" es con la canasta colocada sobre la celda de carga, lo que quiere decir que se debe adaptar (escalar) este valor de corriente y por lo tanto valor digital a los requerimientos del algoritmo de cálculo. Por lo tanto, para considerar al valor límite mínimo como un punto de referencia "0" en la medición del peso, se realiza el procedimiento llamado auto enceramiento, cuando la canasta de pesaje está colocada sobre la celda de carga.

3.2.2.5 Autoenceramiento

En la Figura 3.8 se muestra las diferentes rectas para distintos valores Xmin que se lee en la entrada analógica. Se considera el valor Xmin como punto de partida o de referencia "0" para la medición del peso, por lo tanto este procedimiento matemático calcula los valores de la recta, y captura el valor analógico del conversor A/D para asignarlo a la variable Xn según el gráfico, como valor mínimo (Xmin) en el escalamiento de entrada, donde n es el número de la canasta correspondiente, n=1,2,...11,12.

Como el valor máximo es 27648, tanto en la entrada como en el escalamiento de salida, la ecuación generalizada es la siguiente:

$$Y_o = \frac{27648}{\Delta X_n} * X_i - b_n$$

.Donde,

X_i =valor de entrada analógica variable

$$\Delta X_n = 27648 - X_i$$

$$b_n = \frac{27648}{\Delta X_n} * X_n$$

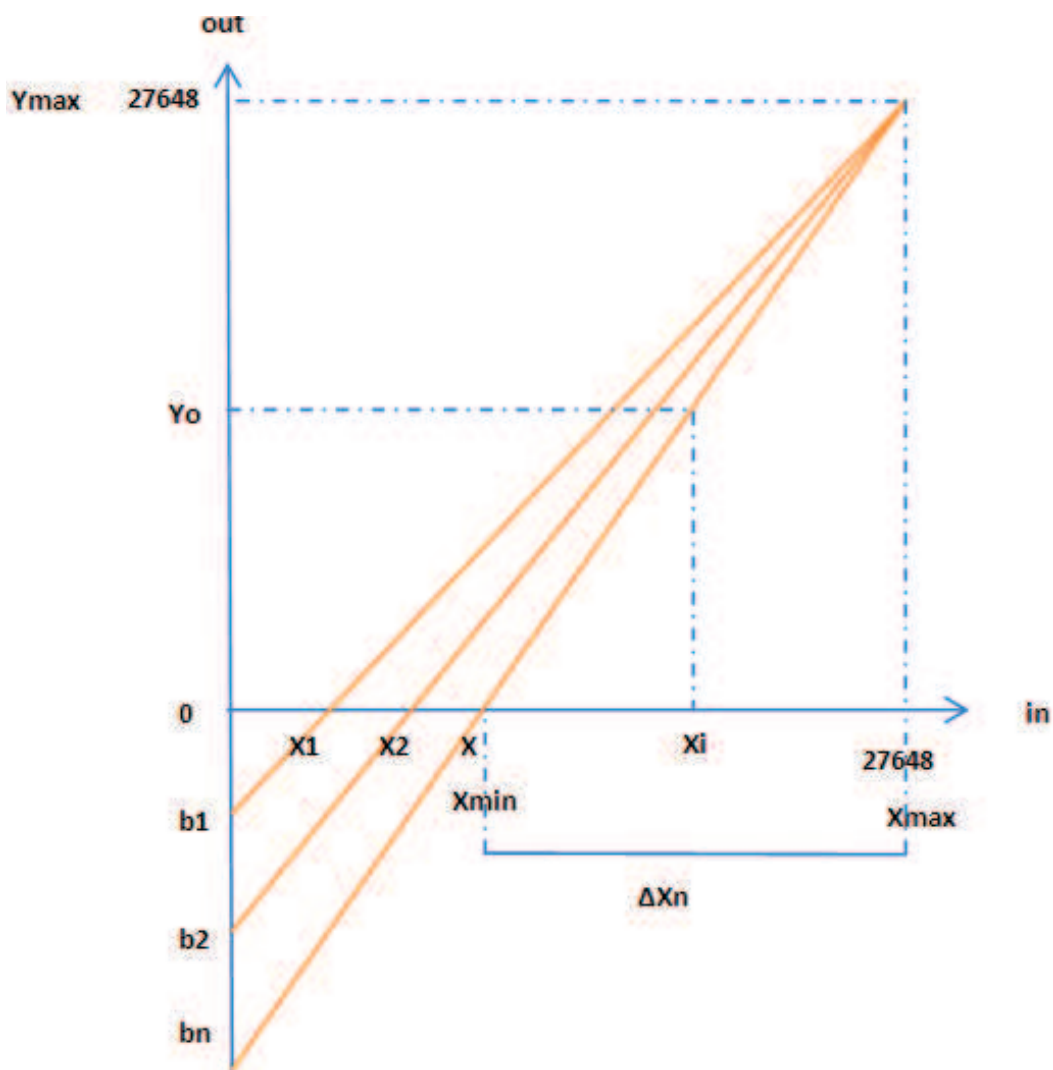


Figura 3.8 Rectas ajuste a cero

3.2.2.6 Zona muerta

Una zona muerta es un conjunto de valores de la variable medida que no hacen cambiar la lectura del instrumento, es decir, son valores pequeños que el instrumento no es capaz de detectar, en el proyecto se considera una zona muerta a valores por debajo de los 20 g en la medición de la variable peso como se indica en la Figura 3.9. Por lo tanto, se considera como peso cero, a todos los valores situados por debajo de los 20 g, lo que permite eliminar las oscilaciones que podrían detectarse como peso verdadero al momento de realizar las combinaciones y proceder a abrir compuertas de canastas de pesaje donde no hay producto.

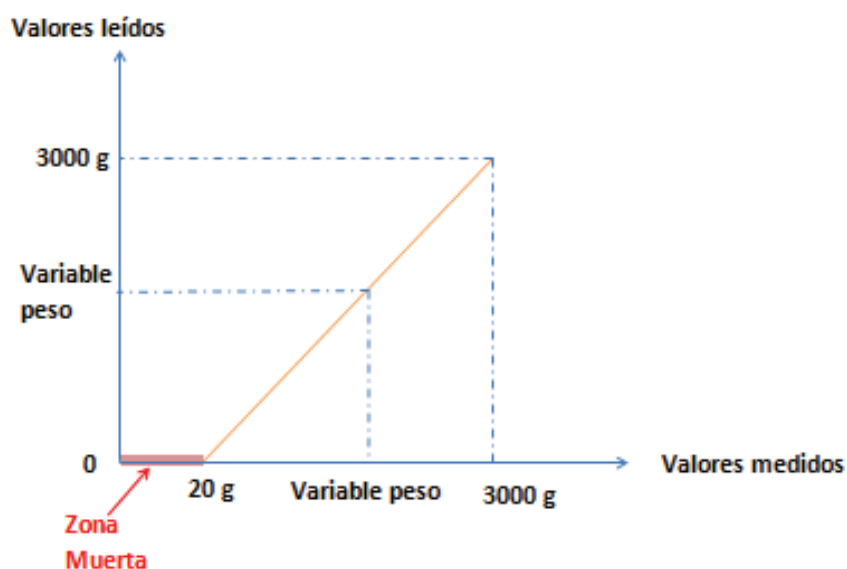


Figura 3.9 Zona muerta en el proceso de pesaje

3.2.2.7 Ajuste del factor K

El factor k es un factor de compensación o de corrección del peso final y es utilizado para el cálculo de los parámetros de la recta en el procedimiento de calibración de cada celda de carga. Este algoritmo matemático calcula un factor K , comparando el valor medido con un valor de peso conocido o de referencia (Peso patrón normado según Inen, Instituto Ecuatoriano de Normalización).

La Figura 3.10 muestra dos rectas, la recta de color rojo es la curva calculada a partir del procedimiento de enceramiento, luego del cual se ejecuta el proceso de cálculo del factor k , el cual consiste en hallar un factor que multiplique a la salida de la recta de tal forma que se tenga el valor esperado, con lo cual la recta es desplazada como se observa la recta de color verde, manteniendo la pendiente intacta. El factor es calculado de la siguiente forma:

$$Y_k = Y_o * k$$

$$k = \frac{Y_k}{Y_o}$$

$$Y_k = \left(\frac{27648}{\Delta X_n} * X_i - b_n \right) * k$$

Donde k es el factor de compensación.

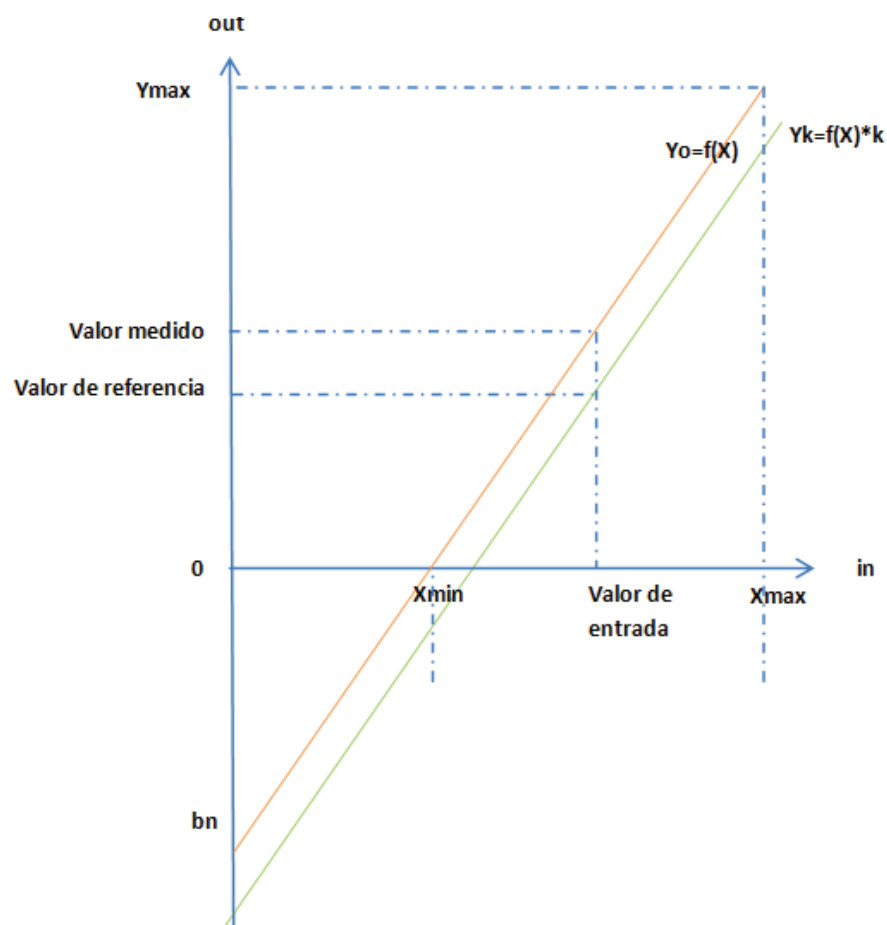


Figura 3.10 Rectas factor de compensación k

El peso de referencia utilizado en esta máquina es de 300g, que es el 10% del set point mayor. Este valor es considerado el peso patrón para la calibración de las celdas de carga, por lo tanto existen 12 pesas de referencia (patrones) para las 12 canastas de pesaje.

Para que el procedimiento sea completo y confiable, es decir, que los parámetros hallados sean los adecuados, además de saber a ciencia cierta que la celda de carga esta en óptimas condiciones, es decir que no se haya deflexionado y perdido linealidad, ya que lo que se realiza en el enceramamiento y posterior cálculo del factor k , es calcular los parámetros de la recta para que a una cierta entrada analógica corresponda el peso patrón de 300 g, por lo tanto se utiliza otro peso patrón de medida superior al de 300 g, un peso patrón de 3000 g, que es la máxima medida a la cual fue diseñada la máquina. Al realizar esto se comprueba que en otro punto, la recta hallada pase por allí también, de lo contrario se calcula el error y se verifica la linealidad de la celda de carga o si necesita ser reemplazada por pérdida de linealidad y repetibilidad.

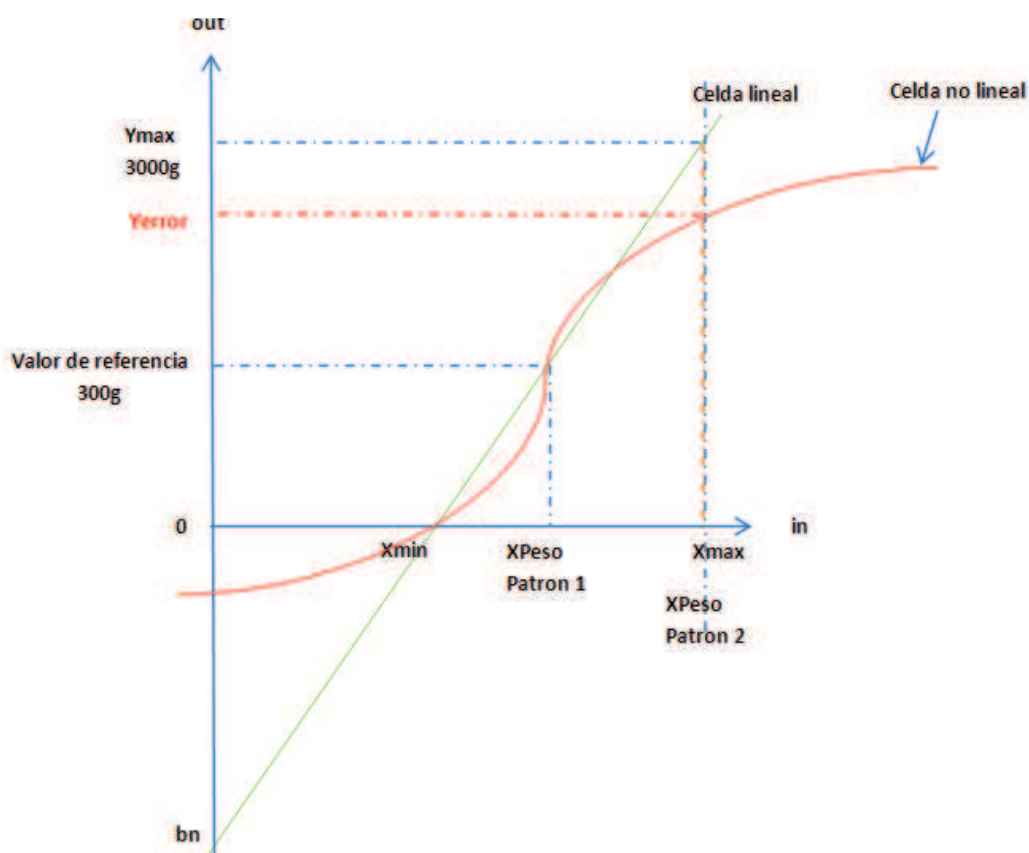


Figura 3.11 Verificación linealidad de la celda de carga

Como se puede observar en la Figura 3.11, la curva verde y roja representan la curva de una celda que es lineal y no lineal respectivamente. Esto sirve para ilustrar lo que podría suceder cuando una celda de carga pierde su linealidad, no solo basta con referenciar a un solo peso patrón, cuando se trabaja en sistemas de control en lazo abierto como lo es el presente proyecto, se necesita de al menos dos puntos para saber que exista linealidad. Una mejora para el actual proyecto sería, realizar un control en lazo cerrado colocando balanzas bajo cada uno de los cabezales como un método de corrección del error en el proceso de pesaje, lo cual obviamente generará costos económicos adicionales pero se compensará por dar pesos más exactos.

3.2.2.8 Selección del peso

Una vez listo el empaque y encerado el sistema de medición, se procede a seleccionar el set point del peso entre las 4 opciones que se dispone, ya sea esta de 500g, 1000g, 2000g ó 3000g, utilizando los pulsadores de selección S9 y S10.

Seleccionado el peso para la dosificación del producto, la máquina entra en un proceso de espera hasta que el operador presione el botón de inicio S5, para que la máquina proceda a funcionar automáticamente.

3.2.3 PESAJE

El procedimiento de pesaje se efectúa luego que la compuerta de la tolva es abierta y así permita la caída por gravedad del producto contenido en ella hacia los cabezales de pesaje. La Figura 3.12 muestra el diagrama de flujo del procedimiento de pesaje, como la caída del producto genera cierta vibración en las celdas de carga, el algoritmo de pesaje no captura los pesos en el mismo instante en que el producto cae, sino que espera un cierto tiempo “t” necesario para que la celda deje de vibrar y se estabilice. El tiempo “t” es un tiempo que fue calculado mediante prueba y error, donde la señal proveniente de la celda de

carga es estable, es decir, el tiempo necesario para que la vibración sea casi nula. Mayor información sobre las pruebas realizadas se encuentran en el capítulo 4.

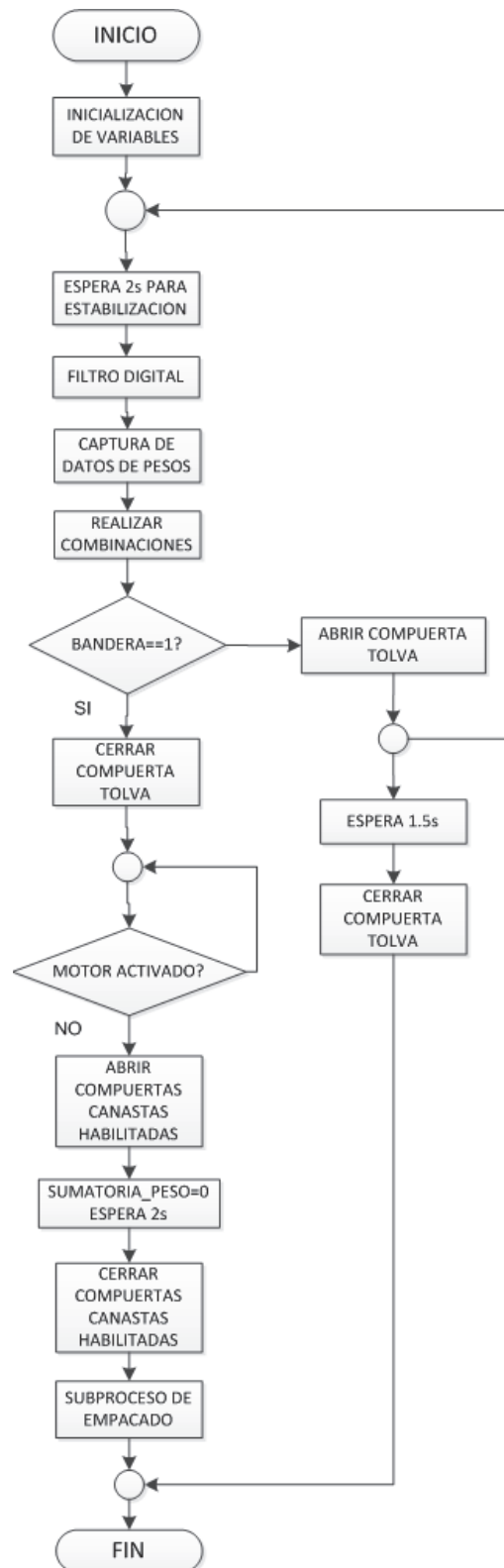


Figura 3.12 Diagrama de flujo del procedimiento de pesaje

Una vez que se haya alcanzado estabilidad, el algoritmo realiza el escalamiento respectivo de los valores adquiridos por el conversor analógico, y captura este valor y lo almacena en una memoria temporal del PLC para luego proceder a realizar la lógica de combinaciones y hallar el peso próximo que más se acerque al peso de consigna señalado por el usuario. Cuando lo encuentra, el algoritmo de control descarga el producto, siempre y cuando no se encuentre en el subproceso de empaclado determinado por la activación del motor de arrastre. La abertura de las compuertas de los cabezales dura 2 segundos para permitir la evacuación total del producto contenido en ellas. Si no hay una combinación de peso adecuada, se realiza la apertura de las compuertas de la tolva de alimentación para permitir la caída de más producto dentro de los cabezales.

3.2.3.1 Filtro digital

Como una técnica para disminuir el ruido en la señal de la celda de carga producidas por vibraciones, que podrían afectar la lectura de datos, ya que se producen picos de lecturas erróneas en la medición del peso; se implementa un filtro digital. Este filtro proporciona el valor medio de la señal digital cada segundo, con un tiempo de muestreo $t_s=100$ ms, eliminando de esta forma aquellos picos de valores erróneos, para tener al final una curva de valores más limpios sin variaciones bruscas. En la Figura 3.13 se indica el resultado del filtro en color azul, la señal proveniente de la conversión analógica - digital se muestra en color rojo.

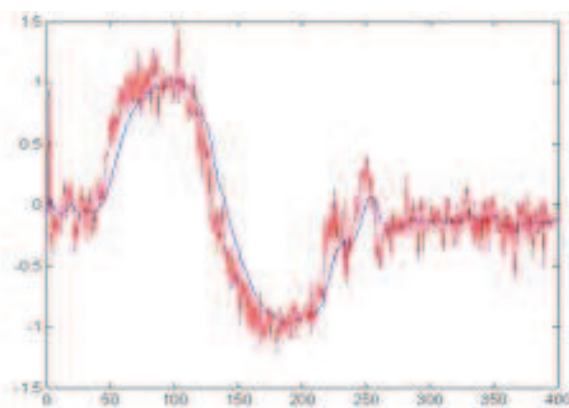


Figura 3.13 Resultado del filtro digital

El diagrama de flujo del filtro por programación implementado se muestra a continuación en la Figura 3.14.

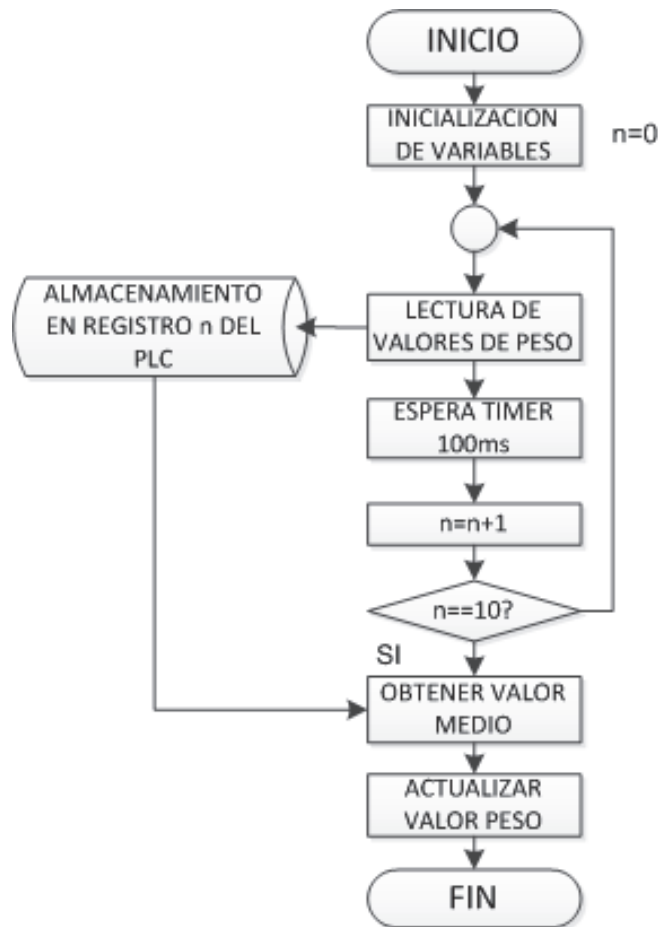


Figura 3.14 Diagrama de flujo del filtro por programación

3.2.3.2 Lógica de combinaciones

Una combinación es un agrupamiento o unión de varios elementos para formar un conjunto en el que el orden en que estén dispuestos dichos elementos no importa, a diferencia de las permutaciones en donde el orden si es de vital importancia. En la teoría de combinaciones puede existir combinaciones con o sin repeticiones.

Para el desarrollo del algoritmo combinatorio del presente proyecto las combinaciones realizadas son sin repeticiones, y para saber cuántas posibles combinaciones pueden haber se debe aplicar la fórmula respectiva, que permite conocer el número de combinaciones que se pueden realizar con n elementos

eligiendo r de ellas, de tal forma que no existan elementos repetidos [34] y corresponde a:

$$\frac{n!}{r!(n-r)!} = \binom{n}{r}$$

Es conocida también como coeficiente binomial y tiene otras notaciones como:

$$C(n, r) = {}^nC_r = {}_nC_r = \binom{n}{r} = \frac{n!}{r!(n-r)!}$$

La Tabla 3.1 indica cuantas combinaciones es posible realizar con “ r ” número de cabezales seleccionados de $n=12$ totales.

| Número cabezales tomados en combinaciones | Número de Combinaciones con un total de 12 cabezales |
|---|--|
| 1 | 12 |
| 2 | 66 |
| 3 | 220 |
| 4 | 495 |
| 5 | 792 |
| 6 | 924 |
| 7 | 792 |
| 8 | 495 |
| 9 | 220 |
| 10 | 66 |
| 11 | 12 |
| 12 | 1 |
| Total de combinaciones | 4095 |

Tabla 3.1 Número de combinaciones posibles con 12 canastas

Para una mejor comprensión se denomina peso próximo al peso que sumado (combinaciones) o leído individualmente sea el que se acerque más al peso de consigna o peso meta.

El peso próximo tiene los siguientes límites:

$$(SPP + SPP * T) \geq PP \geq (SPP - SPP * T)$$

Donde:

SPP: set point peso

PP: peso próximo

T: tolerancia del 0-5%

La tolerancia define la zona en la cual el peso próximo puede estar, son los valores permitidos o establecidos por el INEN para pesaje de alimentos. En este aspecto, no hay un valor específico para la tolerancia en el pesaje para este tipo de productos, por lo que la empresa auspiciante define una tolerancia de un 10% la cual puede ser configurable como un parámetro ingresado para el algoritmo de combinaciones.

La Figura 3.15 muestra el diagrama de flujo del algoritmo de combinaciones, el cual halla el o los cabezales que individualmente o sumados entre sí cumplan con la inecuación antes mostrada, es decir, el peso próximo debe estar en la zona limitada tanto por el set point como de la tolerancia.

Para acelerar el proceso el algoritmo detiene la búsqueda de la combinación ideal cuando haya un peso próximo que cumpla con dicha inecuación. Cuando es hallado, el algoritmo de control efectúa la apertura de las compuertas de los Cabezales de Pesaje que fueron los de la combinación encontrada que cumplen con el peso próximo, para que el producto contenido caiga sobre el empaque final, dando paso al siguiente subproceso que es el de empackado.

Es importante recalcar que si un cabezal contiene tanto producto en su interior que su valor en peso sobrepasa al valor del set point más la tolerancia, el sistema lo descarga como un empaque con sobrepeso y será empackado de todas formas para su expendio, es decir no entra a reproceso ya que los costos del reproceso son mayores que el producto regalado, esto por requerimiento de la misma empresa.

COMBINACIONES

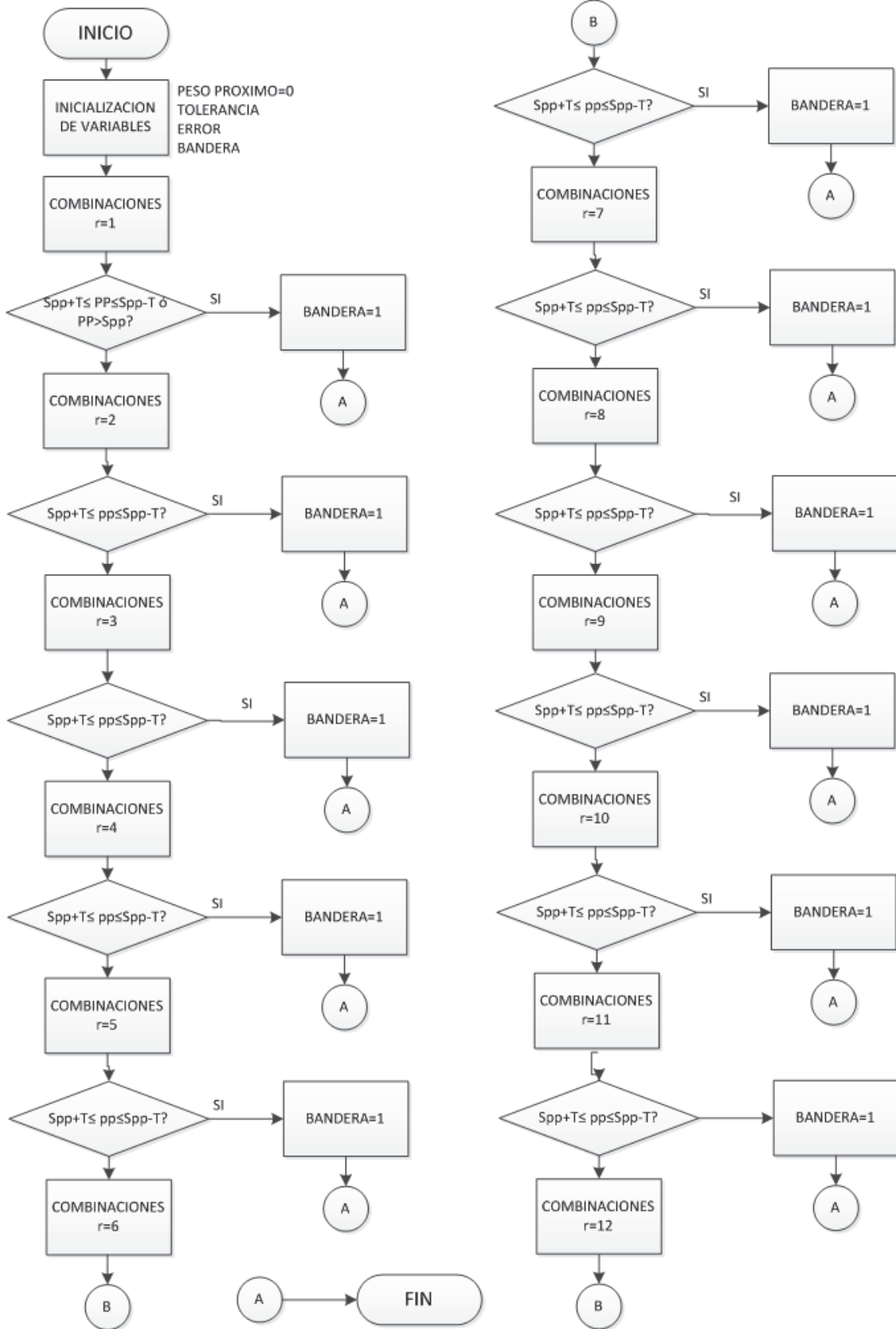


Figura 3.15 Diagrama de flujo del algoritmo de combinaciones

3.2.4 EMPACADO

El algoritmo del empacado empieza accionando en motor de arrastre hasta que se detecte la maquilla o taca de la funda por medio del sensor de contraste. Se configura un timer tipo TON para cuando el motor se activa, de modo que funcione como seguridad en caso de que el sensor no detecte la taca, ya sea porque este se encuentre sucio o desenergizado y además genera una condición de falla deteniendo el proceso. Como una forma de saber cuál es el origen de la falla, se ha desarrollado la programación de un panel Touch como HMI en el que se puede encontrar una pantalla de alarmas y eventos de falla de la máquina multicabezal.

Una vez que el sistema haya detectado la taca en la funda, el algoritmo de control manda a detener al motor y procede a accionar las electroválvulas que comandan a las mordazas verticales y horizontales, realizando el sellado vertical, sellado horizontal y corte del empaque plástico.

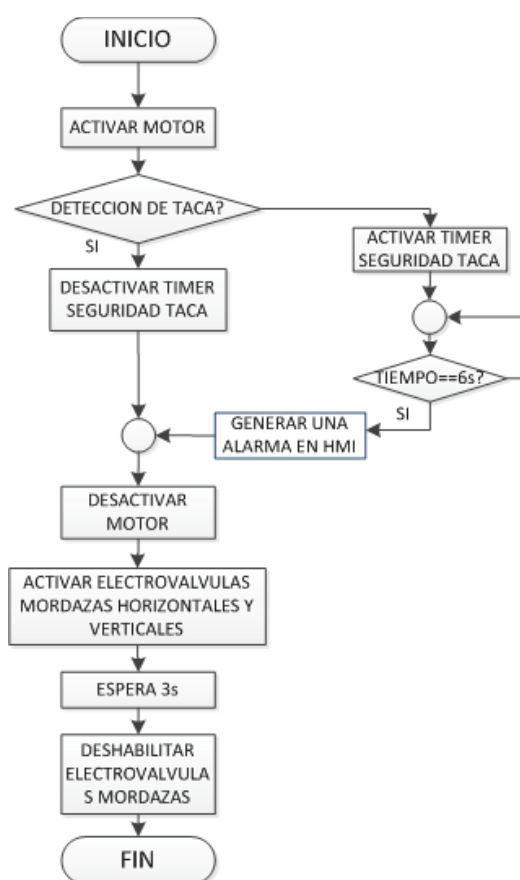


Figura 3.16 Diagrama de flujo del algoritmo de empacado de la funda plástica

La Figura 3.16 muestra el diagrama de flujo del algoritmo de empaqueo de la funda plástica, adicionalmente se puede visualizar los tiempos de sellado y seguridad de detección de taca, los cuales pueden ser ingresados como parámetros de configuración en panel del HMI ubicado en la parte frontal del tablero de control de la máquina multicabezal.

3.3 HMI, TOUCH PANEL DE VISUALIZACIÓN

La interfaz hombre-máquina o HMI, es el medio en que el operador puede comunicarse con la lógica de control interno del PLC, ya sea para visualización del funcionamiento de la máquina o para ingresar parámetros de configuración.

El HMI para visualización del funcionamiento de la máquina multicabezal se ha desarrollado con el software propio del touch panel KTP600PN, el cual es el SIMATIC STEP7 TIA PORTAL versión 11.0 de Siemens.

Para una mejor visualización de la máquina, sus procesos y datos más relevantes, se la ha organizado en varias ventanas o pantallas, donde el operador puede desplazarse mediante los botones que incluye el touch panel, adicionalmente se configura otros botones de navegación para direccionamiento respectivo a las pantallas referentes a ese proceso en particular.

3.3.1 PANTALLA DE CONTROL DE INGRESO

La pantalla de control de ingreso es esencial en este sistema donde existen parámetros de configuración y calibración que son críticos para su buen funcionamiento, los cuales están establecidos por defecto, pero pueden ser modificados según los requerimientos, en cualquier instante. Por esta razón, se necesita proteger los datos por medio del acceso restringido a usuarios, con contraseñas. Para el efecto se configura dos usuarios para la supervisión y control del proceso los cuales son: Administrador, el cual tiene acceso a todas las ventanas del HMI y Operador, el cual tiene acceso restringido a ciertas ventanas, solo de visualización.

Cuando la máquina se enciende aparece entonces la pantalla que se muestra en la Figura 3.17 para el control de acceso al sistema.



Figura 3.17 Pantalla de control de acceso

3.3.2 PANTALLA HOME

Una vez que el usuario haya sido autenticado por el sistema, se habilitan los botones de navegación propios del equipo, denominados F1,F2,F3,F4,F5 y F6, los cuales permiten direccionar al usuario autorizado para ello, a una pantalla específica cómo se indica en la Tabla 3.2.

| BOTON KTP600 | ACCESO A PANTALLA | USUARIO |
|--------------|-------------------|---------------|
| F1 | PROCESO | Admin/operad |
| F2 | CONFIGURACION | Administrador |
| F3 | VISTA GENERAL | Admin/operad |
| F4 | ESTADOS | Admin/operad |
| F5 | ALARMAS | Admin/operad |
| F6 | CALIBRACIÓN | Administrador |

Tabla 3.2 Asignación de pantallas a botones de KTP600

3.2.3 PANTALLA DE PROCESO

La pantalla de proceso muestra al usuario toda la información referente a producción, es decir, el peso seleccionado, la tolerancia, peso próximo, error, número de paquetes producidos, cantidad de kilos producidos, cantidad de veces que ha parado la máquina, operador, nivel de acceso, fecha y hora. Además se muestra una visión sobre la dosificación y que canastas descargan según la combinación realizada como se indica en la Figura 3.18.

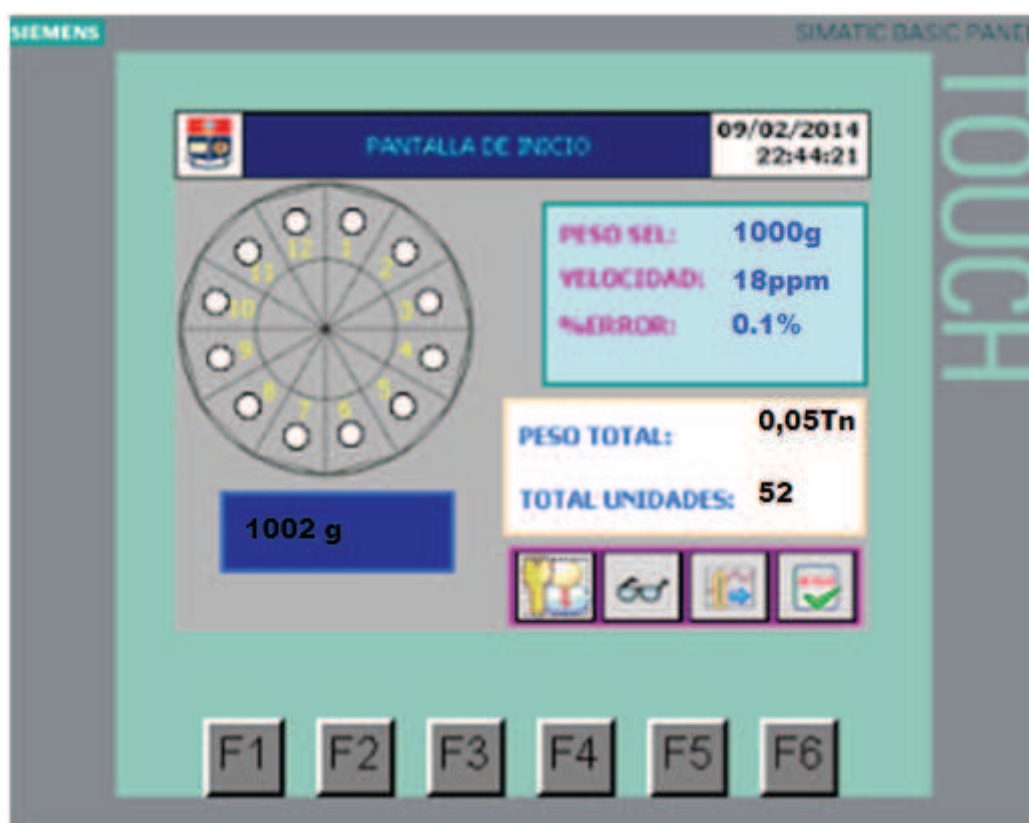


Figura 3.18 Pantalla de proceso

3.2.4 PANTALLA DE CONFIGURACIÓN

En la pantalla de configuración, el usuario puede ingresar valores para el ajuste de los parámetros críticos del sistema, los cuales son: Selección del peso, set point, valor de tolerancia, peso de calibración o de referencia, tiempo de abertura de la compuerta de la tolva y tiempo de sellado. Estos parámetros tienen valores por defecto los cuales son listados en la Tabla 3.3.

| PARÁMETRO | VALOR POR DEFECTO |
|-----------------------|-------------------|
| Selección peso | 500 g |
| Valor tolerancia | 10% |
| Peso de calibración | 300 g |
| Tiempo abertura tolva | 1.3 s |
| Tiempo sellado | 3 s |

Tabla 3.3 Valores por defecto parámetros del sistema

La Figura 3.19 muestra la pantalla de configuración para el ingreso de los parámetros necesarios para el correcto funcionamiento de la máquina multicabezal.



Figura 3.19 Pantalla de configuraciones

3.2.5 PANTALLA DE VISTA GENERAL DE LA MÁQUINA

En esta pantalla el usuario puede supervisar todo el funcionamiento de la máquina, es decir, apertura de compuertas, motor, mordazas, combinaciones,

detección taca, además se puede en caso de falla, ver el estado ya sea de funcionamiento correcto o de falla de alguna parte del sistema de forma localizada, de manera que se pueda identificar que parte de la máquina está dando problema o error. Para ese efecto se muestra la Tabla 3.4 de colores con el respectivo significado, que está relacionada a cada elemento de la máquina en caso de mostrarse.

| COLOR | | REPRESENTACIÓN |
|----------|---|--------------------------------|
| VERDE |  | funcionamiento normal-operando |
| AMARILLO |  | desactivado-maquina en paro |
| ROJO |  | estado de falla |

Tabla 3.4 Tabla de significado de visualización de colores

La Figura 3.20 muestra la pantalla de vista general de la máquina dosificadora y empacadora multicabezal.



Figura 3.20 Pantalla de visión general dosificado

Pulsar el botón de la flecha, direcciona al usuario a la visualización del siguiente subproceso de empaçado como se indica en la Figura 3.21.



Figura 3.21 Pantalla de visión general empaçado

3.2.6 PANTALLA DE ESTADOS

En esta pantalla se puede visualizar el peso del producto contenido en cada uno de los 12 cabezales, además un indicador de abertura de las compuertas, el error calculado, el valor próximo, la tolerancia, según se indica en la Figura 3.22.

Esto sirve para visualizar los valores de peso que está midiendo cada canasta y si hay algún error de medición poder corregirlo, ya que en cada descarga el valor de peso medido debe ser cero, de lo contrario se tiene que verificar que no haya quedado producto residual después de terminado el turno, para limpieza de la máquina.



Figura 3.22 Pantalla de estados

3.2.7 PANTALLA DE ALARMAS

Para complementar a los estados de: una condición de falla, un paro inesperado de la máquina, un paro lógico, condiciones de calibración se ha desarrollado una pantalla de avisos y alarmas según la Figura 3.23, donde aparece la fecha, hora, detalle del problema acusado para saber que ha ocasionado este estado.



Figura 3.23 Pantalla de alarmas

3.2.8 PANTALLA DE CALIBRACIÓN

Solo los usuarios administradores tienen acceso a esta pantalla, y es todo un procedimiento para efectuar de una manera acertada la calibración de las celdas de carga. Cuando se pulsa el botón F6 aparece la siguiente ventana, Figura 3.24.

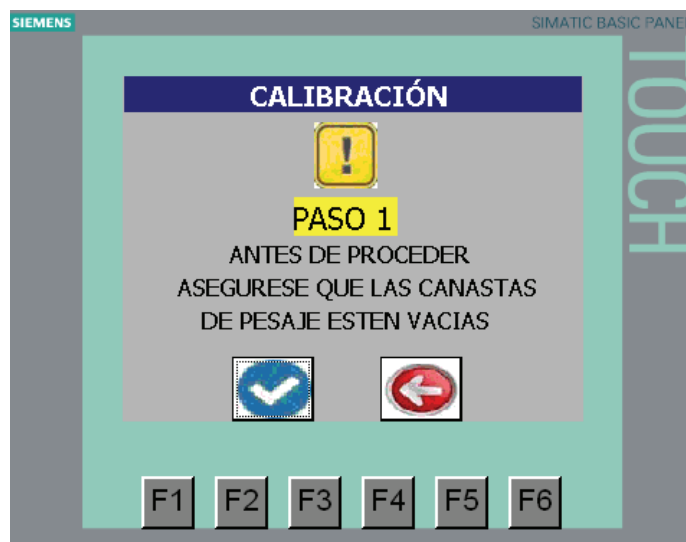


Figura 3.24 Ventana de calibración






Para proceder con el siguiente paso 2, es necesario pulsar el  botón de visto, o si se quiere volver se debería pulsar el siguiente botón , el cual dirige al usuario a la pantalla anterior y se muestra la siguiente ventana indicada en la Figura 3.25.



Figura 3.25 Ventana de calibración, paso 2

Esta pantalla muestra la opción de enceramiento, antes de realizar la correspondiente calibración se debe encerar los valores de peso de las celdas de carga, para lo cual se debe presionar el botón  el cual direcciona a la siguiente pantalla, indicada en la Figura 3.26, o pantalla anterior presionando el botón , presionando el botón  dirige al usuario a pantalla de configuraciones. Antes de realizar el enceramiento hay que cerciorarse de que no exista producto residual en los cabezales de pesaje, es decir que estén vacíos.

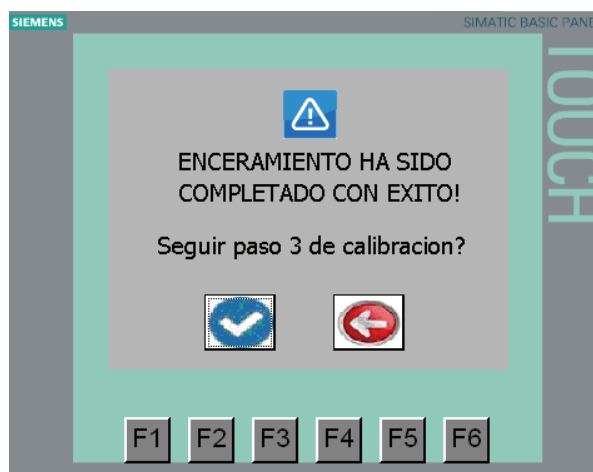




Figura 3.26 Ventana de calibración, enceramiento exitoso

Una vez efectuado el enceramiento se puede dejarlo ahí o proseguir con el ajuste del factor de compensación o factor K (constante). Para proseguir se debe pulsar el botón  el cual muestra la siguiente pantalla visualizada en la Figura 3.27, o para regresar el botón .

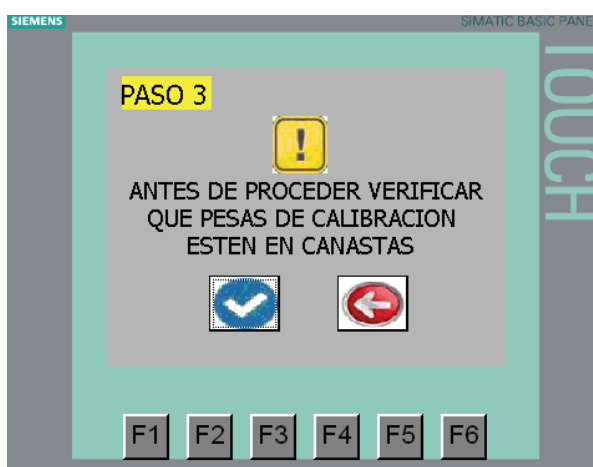


Figura 3.27 Ventana de calibración, paso 3



Antes de seguir con el siguiente paso, se debe verificar que las pesas de calibración hayan sido colocadas en cada una de los cabezales de pesaje. Una vez realizado, pulsar el botón  el cual muestra la pantalla visualizada en la Figura 3.28, o si se quiere volver a la pantalla anterior el botón .



Figura 3.28 Ventana de calibración, paso 4



Para realizar el ajuste del factor K presionar el botón  para lo cual se efectúa el ajuste y una vez realizado muestra la siguiente pantalla que se indica en la Figura 3.29, para regresar el botón , o para ir a la pantalla de configuraciones el botón



Figura 3.29 Ventana de calibración, ajuste de factor K exitoso

Presionar el botón **K**, dirige al usuario a la siguiente pantalla mostrada en la Figura 3.30, la cual muestra los valores de factor K calculados para cada uno de los cabezales de pesaje.

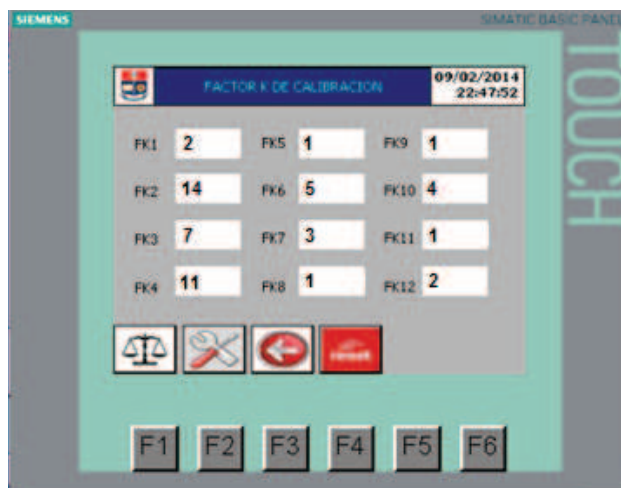


Figura 3.30 Pantalla factor K para cada cabezal de pesaje

De modo explicativo, la Tabla 3.5 indica los direccionamientos de los botones contenidos en la pantalla de factor K de calibración.




| BOTÓN | DIRECCIONAMIENTO A PANTALLA |
|---|-----------------------------|
|  | Calibración |
|  | Configuración |
|  | Anterior |
|  | Reset de Fábrica |

Tabla 3.5 Tabla de direccionamiento a pantallas

3.2.9 PANTALLA DE RESETEO DE FÁBRICA

Para garantizar la integridad del funcionamiento de la máquina en caso de que alguna configuración provoque una mala operación del sistema, se ha desarrollado una opción de reset de fábrica, donde el algoritmo del programa ajusta los valores de la recta para el escalamiento, a las condiciones iniciales en

un modo ideal. La pantalla de reset de fábrica puede ser mostrada al pulsar el botón , ubicado en la pantalla de Factor K de calibración, la cual se indica en la Figura 3.31.

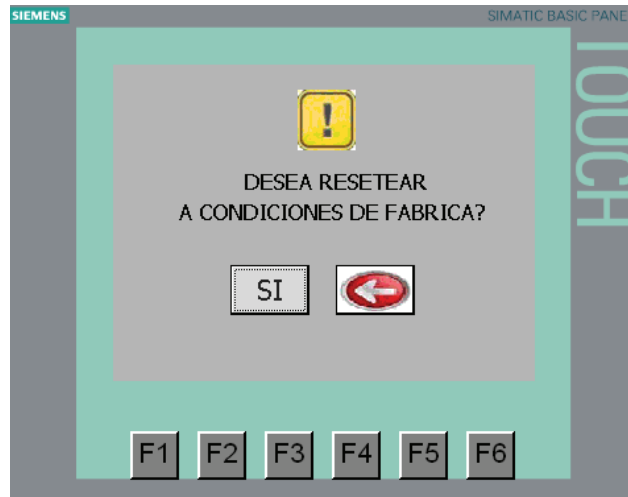


Figura 3.31 Pantalla reset de fábrica


Como todas las pantallas anteriores, donde la filosofía es preguntar siempre antes de efectuar alguna configuración crítica, aquí también el sistema pregunta para asegurarse de que no es un error sino un requerimiento del usuario, está de más detallar que este acceso lo tiene solo los usuarios administradores. Al pulsar el botón  de confirmación, se direcciona a la siguiente pantalla como se indica en la Figura 3.32 con un mensaje de que el ajuste de fábrica fue exitoso.



Figura 3.32 Pantalla ajustes de fábrica exitosa

3.2.10 PANTALLA DE CURVA DEL PROCESO

La pantalla de gráfica del proceso permite al usuario observar la curva del proceso, en este caso, la cantidad de fundas realizadas por la máquina en función del tiempo, el peso medido por las celdas de carga en cada cabezal. Esta gráfica no es un histórico, es una gráfica de forma online que se actualiza segundo a segundo y no se puede desplazar en el tiempo, como se indica en la Figura 3.33.

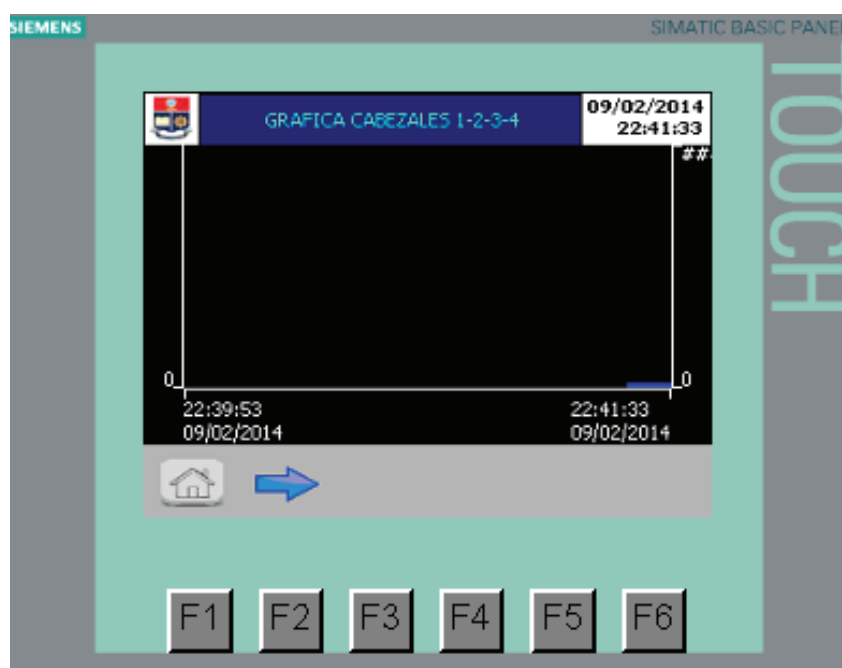


Figura 3.33 Pantalla de gráfica del proceso

3.2.11 PANTALLA DE TEST DE SERVOS

El test de servomotores permite realizar una prueba de apertura y cierre de las compuertas de descarga de cada cabezal, ya sea esta en forma secuencial o individual según la opción que el usuario haya seleccionado al pulsar uno de los dos botones como se indica en la Figura 3.34. El acceso a esta ventana se lo hace únicamente desde la pantalla de configuraciones.

El botón test secuencia abre todas las compuertas una detrás de la otra y luego en parejas para estimular la evacuación de producto residual en las canastas, el

botón test individual direcciona a la siguiente pantalla indica en la Figura 3.35 para que se seleccione la compuerta específica que se desea abrir.



Figura 3.34 Pantalla de selección test compuertas



Figura 3.35 Pantalla de selección test individual

3.4 CONFIGURACIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

Para la configuración del variador se hace referencia a los parámetros del motor mostrados en la Tabla 2.13 de este proyecto. Por consideraciones de la ubicación del motor, puesto que la máquina está instalada en la ciudad de San Gabriel, cantón Montúfar, provincia del Carchi, la cual está localizada a 2800 msnm (metros sobre el nivel del mar) [35], se tiene que efectuar la reducción de la potencia desarrollada por el motor en base a un porcentaje de su voltaje y corriente nominal ingresados en el variador e impedir que este sufra averías por el recalentamiento de sus bobinados por la baja densidad del aire a estos niveles de altura. Para lo cual, se halla la ecuación de la recta tomando como referencia la curva provista por el fabricante del variador para el voltaje y corriente de entrada según Figura 3.36 y además sabiendo que el frame (estructura) del convertidor es de tipo A.

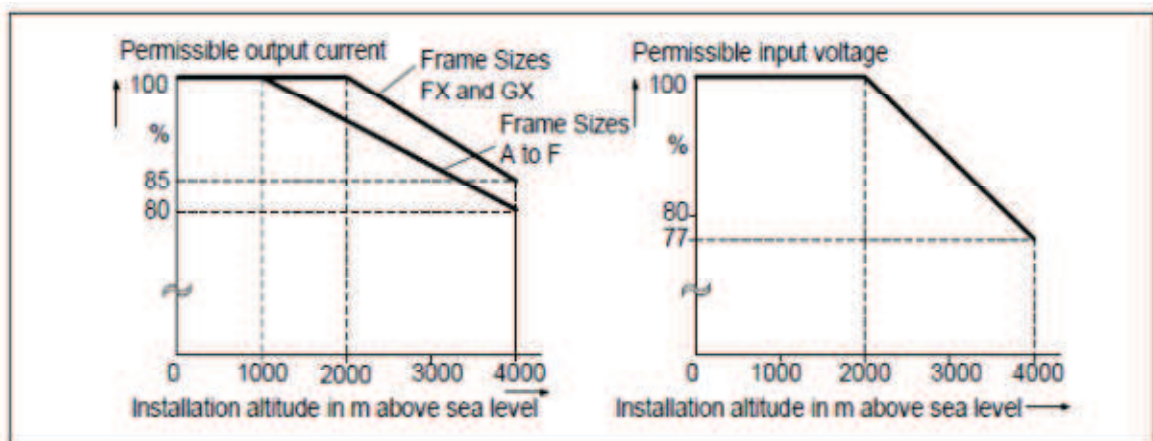


Figura 3.36 Rectas para reducción P del motor por factor altura, tomado de [17]

Para el porcentaje de la corriente nominal la ecuación es la siguiente:

$$(\%I_N - 100) = \frac{100 - 80}{1000 - 4000} * (MSNM - 1000)$$

$$\%I_N = -0.0067 * MSNM + 106.67$$

Donde,

$\%I_N$: Porcentaje de la corriente nominal del motor a ser ingresado.

MSNM: Metros sobre nivel del mar.

Por lo tanto, reemplazando el valor de altura se tiene:

$$\%I_N = -0.0067 * 2800 + 106.67$$

$$\%I_N = 87.91$$

Para el hallar el porcentaje del voltaje nominal, la ecuación es la siguiente:

$$(\%V_N - 100) = \frac{100 - 77}{2000 - 4000} * (MSNM - 2000)$$

$$\%V_N = -0.0115 * MSNM + 123$$

Donde,

$\%V_N$: Porcentaje del voltaje nominal del motor a ser ingresado.

Por lo tanto, reemplazando el valor de altura se tiene:

$$\%V_N = 90.8$$

En vista de esto, se tiene que el ajuste de corriente y voltaje del motor para la reducción de la potencia son los siguientes:

Corriente del motor: $87.91\% * 2.4 A = 2.11 A$

Voltaje del motor: $90.8\% * 230 A = 208.84 A$

Estos parámetros son ingresados en el variador siguiendo el diagrama de flujo para la puesta en marcha del motor indicado en la Figura 3.37.

GUIA RÁPIDA PARA UNA PUESTA EN MARCHA DEL MOTOR

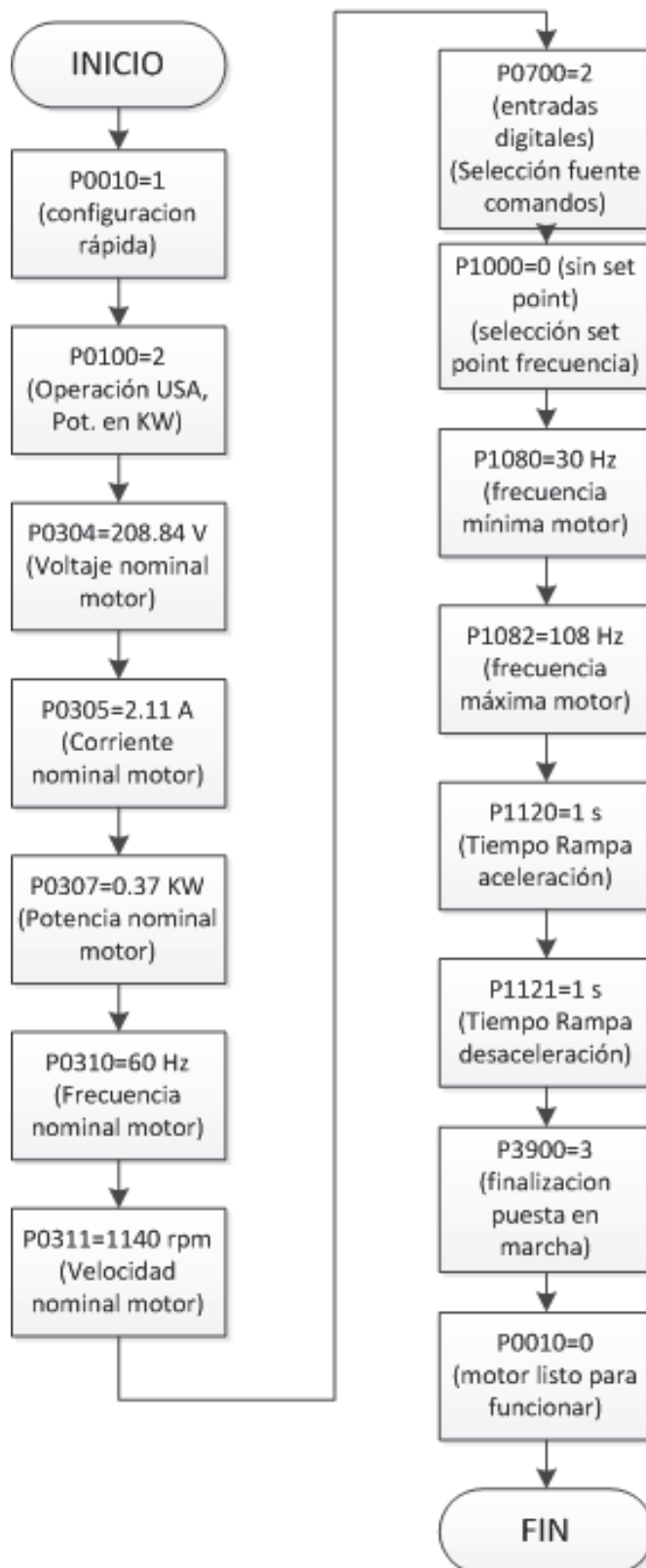


Figura 3.37 Ingreso de parámetros variador

3.4.1 PARÁMETROS IMPORTANTES EN LA CONFIGURACIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

A continuación se muestran unas tablas con los parámetros más sobresalientes en la puesta en marcha y configuración del variador de velocidad, configuración de las entradas digitales Tabla 3.6, configuración de las salidas digitales en la Tabla 3.7, configuración de las frecuencias fijas en la Tabla 3.8 y la configuración del frenado dinámico, factor sobre carga y modo de control se muestra en la Tabla 3.9.

3.4.1.1 Configuración de entradas digitales

| DESCRIPCIÓN | PARÁMETRO | VALOR | FUNCIONAMIENTO |
|-------------------|-----------|-------|-------------------|
| Entrada digital 1 | P0701 | 1 | ON/OFF1 |
| Entrada digital 2 | P0702 | 4 | OFF3 |
| Entrada digital 3 | P0703 | 9 | ACUSE DE FALLOS |
| Entrada digital 4 | P0704 | 15 | FRECUENCIA FIJA 1 |
| Entrada digital 5 | P0705 | 15 | FRECUENCIA FIJA 2 |

Tabla 3.6 Parámetros variador para configuración de entradas digitales

3.4.1.2 Configuración de salidas digitales

| DESCRIPCIÓN | PARÁMETRO | VALOR | FUNCIONAMIENTO |
|------------------|-----------|-------|-------------------------------------|
| Salida digital 1 | P0731 | 52.2 | CONVERTIDOR FUNCIONANDO |
| Salida digital 2 | P0732 | 52.D | SOBRECARGA MOTOR |
| Salida digital 2 | P0703 | 52.3 | ACTIVACION DE FALLO DEL CONVERTIDOR |

Tabla 3.7 Parámetros variador para configuración de salidas digitales

3.4.1.3 Configuración de frecuencias fijas

| DESCRIPCIÓN | PARÁMETRO | VALOR | FUNCIONAMIENTO |
|------------------------|-----------|--------|------------------------------|
| Consigna de frecuencia | P1000 | 3 | FRECUENCIA FIJA |
| Frecuencias fija 4 | P1004 | 108 Hz | FRECUENCIA FIJA EN ENTRADA 4 |
| Frecuencia fija 5 | P1005 | 60 Hz | FRECUENCIA FIJA EN ENTRADA 5 |

Tabla 3.8 Parámetros variador para configuración de frecuencias fijas

3.4.1.4 Configuración del frenado dinámico, factor de sobrecarga y modo de control

| DESCRIPCIÓN | PARÁMETRO | VALOR | FUNCIONAMIENTO |
|-----------------|-----------|-------|------------------------|
| Freno dinámico | P1237 | 4 | CICLO DE CARGA A 50% |
| Factor | P0640 | 1.5 | 50% DE SOBRECARGA |
| Modo de control | P1300 | 0 | relación V/f constante |

Tabla 3.9 Parámetros variador para configuraciones varias

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE CONTROL ASOCIADO AL COMPORTAMIENTO MECÁNICO

Antes de proceder con las pruebas de operación por etapa, se debe comprobar y asegurar la correcta operación de todos los elementos que intervienen en el proceso, en forma individual, las etapas a verificar son:

- Alimentación de producto.
- Pesaje de producto.
- Construcción de la funda final.

4.1.1 ALIMENTACIÓN DE PRODUCTO

Se busca una distribución homogénea y discreta de porciones del producto hacia las 12 cabezales de pesaje, partiendo del almacenamiento disponible en la tolva de alimentación. Para ello se manejan las opciones mostradas en la Tabla 4.1.

| N° | PRUEBAS | RESULTADOS |
|----|--|---|
| 1 | Dosificación continua de producto por gravedad, con apertura fija de la Tolva de Alimentación. | <ul style="list-style-type: none"> • Los Cabezales de Pesaje se llenan en forma excesiva sobrepasando su límite de tolerancia, en un corto tiempo. • El producto cae en porciones compactas, pegadas y no se divide en varias tolvas sino en una sola. |
| 2 | Se implementa la "compuerta de dosificación". Distribución discreta de producto accionada por el PLC. Apertura variable de la Tolva de Alimentación. | <ul style="list-style-type: none"> • Todos las Cabezales de Pesaje reciben porciones pausadas de producto, proporcionando variaciones finas de medida, en cada una de ellas, que favorecen el pesaje. • Se impide el paso de porciones compactas de producto, la papa es adecuadamente diseminada, hacia varias tolvas. |

Tabla 4.1 Pruebas de entrada del producto.

4.1.2 PESAJE DE PRODUCTO

Para un pesaje ideal, se requiere una medida confiable del sensor respectivo; es decir, la eficacia del control de peso está limitada a la fidelidad de los parámetros de entrada. Con la finalidad de obtener este propósito se han ejecutado las pruebas mostradas en Tabla 4.2.

| N° | PRUEBAS | RESULTADOS |
|----|--|--|
| 1 | Verificación de respuesta en las celdas de carga. Tomando la salida para 6 pesos referenciales diferentes desde 0g hasta 3000g. | <ul style="list-style-type: none"> • Se comprueba la linealidad de la respuesta en cada sensor. <p style="text-align: center;">Los resultados se encuentran indicados desde</p> <ul style="list-style-type: none"> • Figura 4.1 hasta la Figura 4.12. |
| 2 | Calibración de los transmisores de corriente. Verificación de la linealidad de salida. | <ul style="list-style-type: none"> • Se obtienen datos que mantienen la linealidad antes mostrada. |
| 3 | Canastas vacías montadas en su ubicación definitiva. | <ul style="list-style-type: none"> • Las Compuertas de Descarga no están abriendo su longitud máxima. Para corregir la situación, se requiere recalibración de la tarjeta de acondicionamiento para servos. |
| 4 | Canastas montadas en sus respectivas celdas de carga, con producto en ellas. Algoritmo de sumatoria de pesos, con tolerancia del 10%. | <ul style="list-style-type: none"> • Entrega rápida de la porción pesada de producto. • Porciones finales de producto con error del 26%. • Existen bruscas variaciones de entrada. La vibración generada por la caída del producto en la canasta está causando el problema. |
| 5 | Implementación de un filtro por software, como indica el apartado 3.2.3.1 y una espera de tiempo previa a la adquisición de señal. | <ul style="list-style-type: none"> • Entrega rápida de la porción pesada de producto. • Porciones finales de producto con error del 10%. |

Tabla 4.2 Pruebas individuales de pesaje

| PESO (g) | CELDA (mV) |
|----------|------------|
| 0 | 4,1 |
| 600 | 5,3 |
| 1200 | 6,4 |
| 1800 | 7,7 |
| 2400 | 8,8 |
| 3000 | 10 |

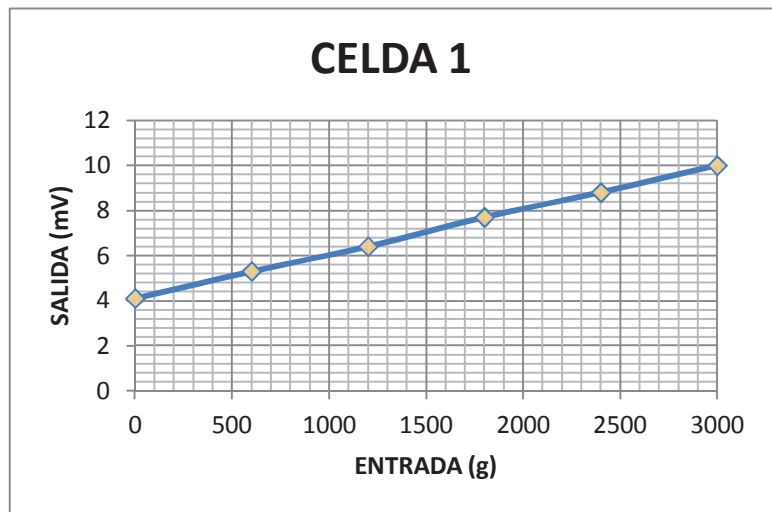


Figura 4.1 Comportamiento celda #1

| PESO (g) | CELDA (mV) |
|----------|------------|
| 0 | 3,7 |
| 600 | 4,9 |
| 1200 | 6,1 |
| 1800 | 7,3 |
| 2400 | 8,5 |
| 3000 | 9,7 |

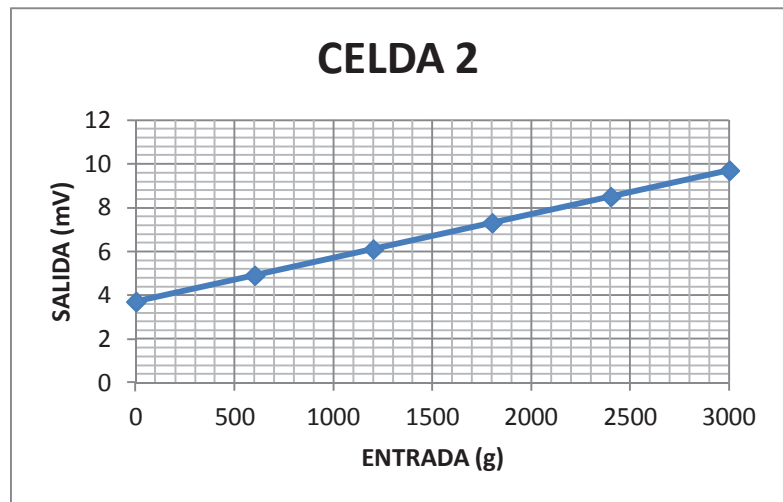


Figura 4.2 Comportamiento celda #2

| PESO (g) | CELDA (mV) |
|----------|------------|
| 0 | 3 |
| 604 | 4,5 |
| 1214 | 6,1 |
| 1816 | 7,5 |
| 2418 | 8,9 |
| 3022 | 10,3 |

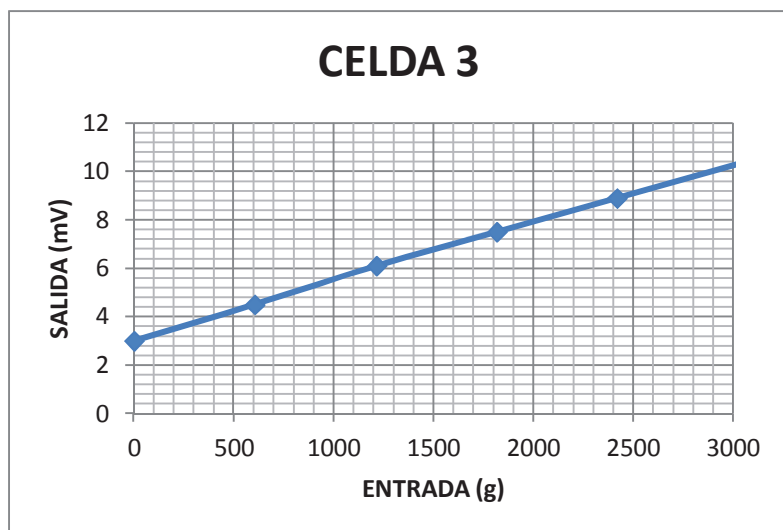


Figura 4.3 Comportamiento celda #3

| PESO (g) | CELDA (mV) |
|----------|------------|
| 0 | 4 |
| 602 | 5,2 |
| 1204 | 6,4 |
| 1804 | 7,6 |
| 2412 | 8,8 |
| 3018 | 10 |

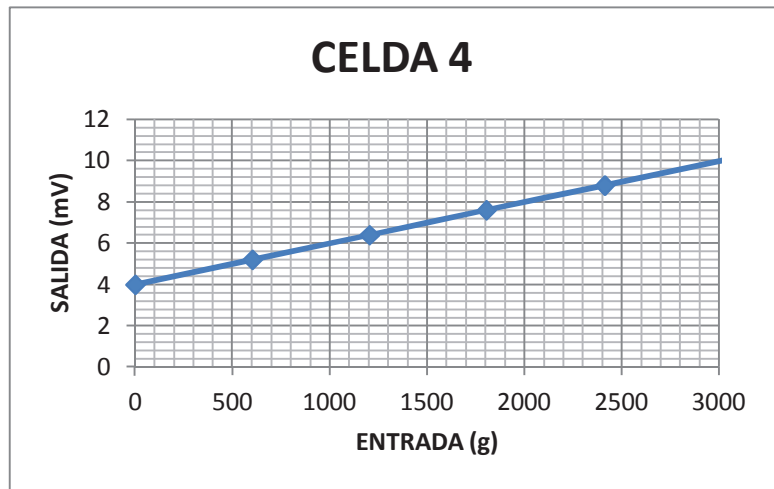


Figura 4.4 Comportamiento celda #4

| PESO (g) | CELDA (mV) |
|----------|------------|
| 0 | 3,4 |
| 600 | 4,6 |
| 1200 | 5,8 |
| 1800 | 7 |
| 2400 | 8,3 |
| 3000 | 9,5 |

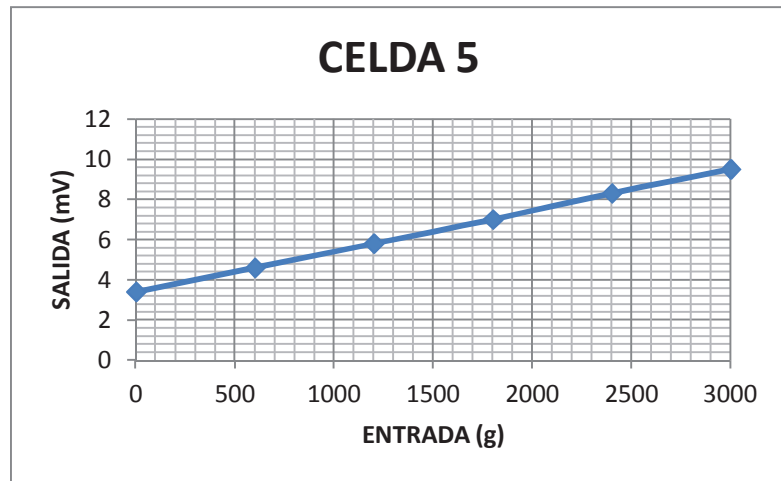


Figura 4.5 Comportamiento celda #5

| PESO (g) | CELDA (mV) |
|----------|------------|
| 0 | 4,1 |
| 600 | 5,3 |
| 1200 | 6,4 |
| 1800 | 7,7 |
| 2400 | 8,8 |
| 3000 | 10 |

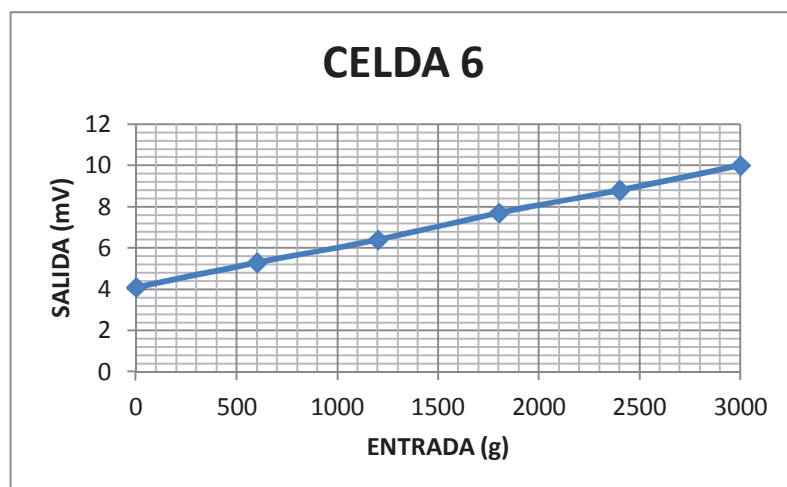


Figura 4.6 Comportamiento celda #6

| PESO (g) | CELDA (mV) |
|----------|------------|
| 0 | 3,5 |
| 600 | 4,6 |
| 1200 | 5,9 |
| 1800 | 7,1 |
| 2400 | 8,3 |
| 3000 | 9,5 |

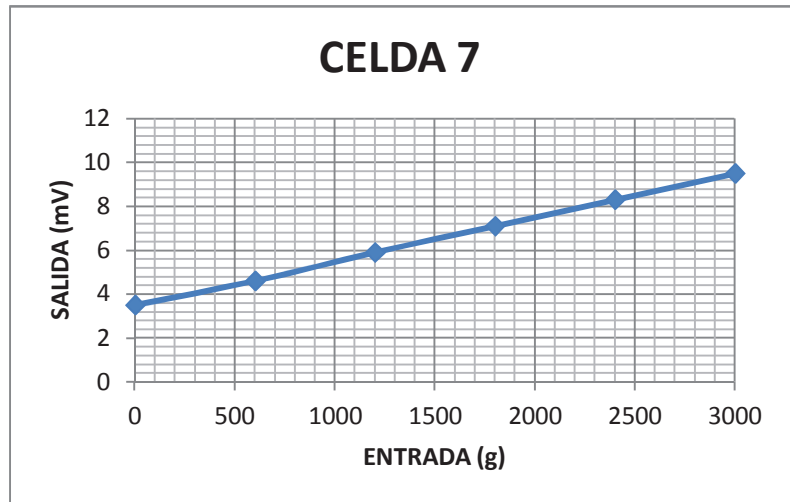


Figura 4.7 Comportamiento celda #7

| PESO (g) | CELDA (mV) |
|----------|------------|
| 0 | 3,7 |
| 600 | 4,9 |
| 1200 | 6,1 |
| 1800 | 7,3 |
| 2400 | 8,5 |
| 3000 | 9,7 |

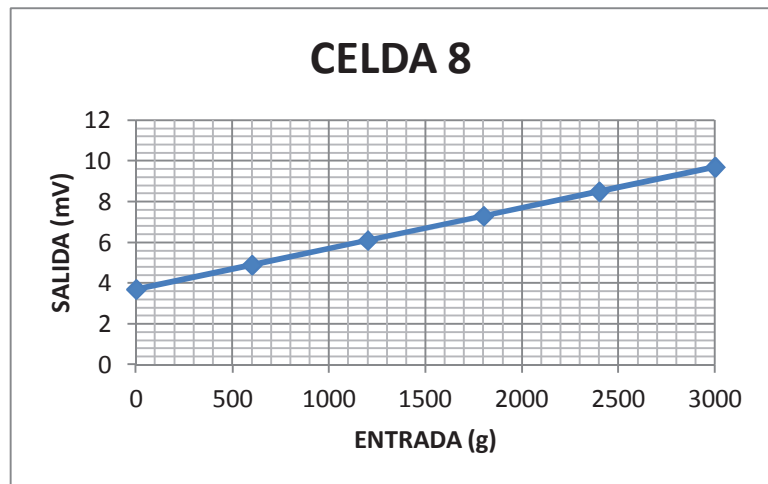


Figura 4.8 Comportamiento celda #8

| PESO (g) | CELDA (mV) |
|----------|------------|
| 0 | 4,5 |
| 600 | 5,6 |
| 1200 | 6,8 |
| 1800 | 8 |
| 2400 | 9,2 |
| 3000 | 10,9 |

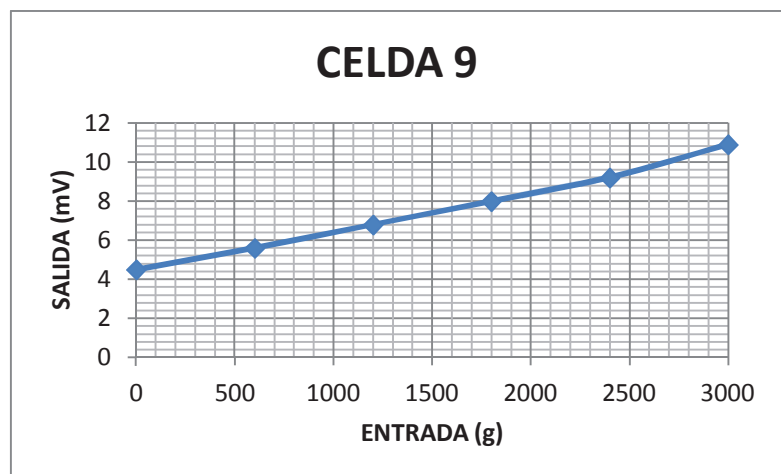


Figura 4.9 Comportamiento celda #9

| PESO (g) | CELDA (mV) |
|----------|------------|
| 0 | 4 |
| 600 | 5,3 |
| 1200 | 6,5 |
| 1800 | 7,7 |
| 2400 | 8,9 |
| 3000 | 10,1 |

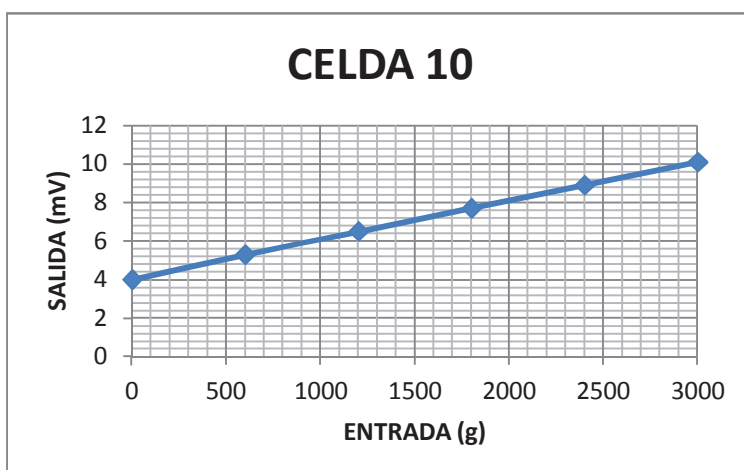


Figura 4.10 Comportamiento celda #10

| PESO (g) | CELDA (mV) |
|----------|------------|
| 0 | 3,7 |
| 600 | 4,9 |
| 1200 | 6,1 |
| 1800 | 7,3 |
| 2400 | 8,5 |
| 3000 | 9,7 |

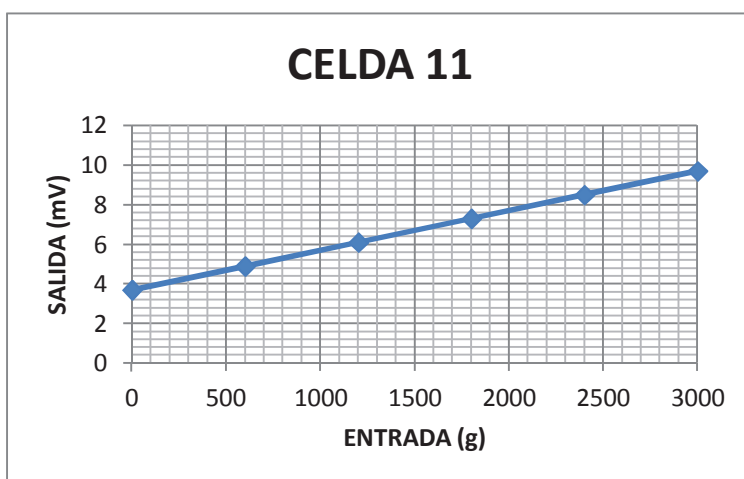


Figura 4.11 Comportamiento celda #11

| PESO (g) | CELDA (mV) |
|----------|------------|
| 0 | 3,8 |
| 600 | 5 |
| 1200 | 6,2 |
| 1800 | 7,3 |
| 2400 | 8,5 |
| 3000 | 9,6 |

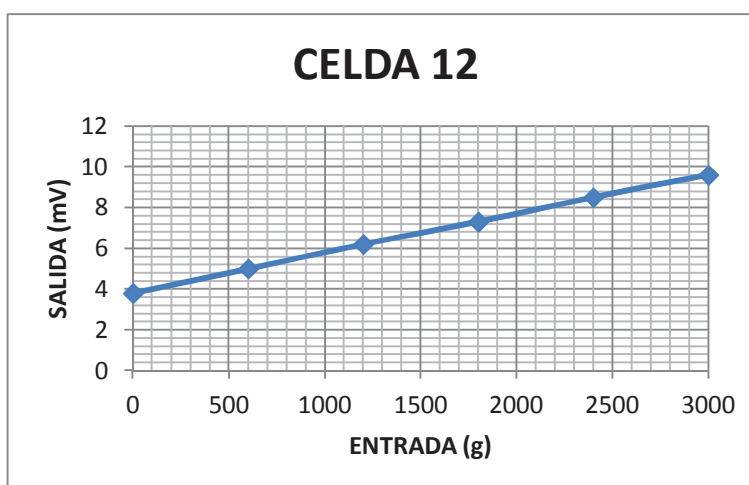


Figura 4.12 Comportamiento celda #12

4.1.3 CONSTRUCCIÓN DE LA FUNDA FINAL

El requerimiento de la etapa es dar forma a la funda como empaque final del producto asegurando que la soldadura del plástico sea firme e impida la filtración de aire, y que tanto el sellado como el corte presenten una desviación de su eje de acción (vertical u horizontal) inferior a 1°.

Las pruebas correspondientes a esta etapa se las realiza manualmente, debido a que el sellado y arrastre son acciones que se pueden realizar de forma manual utilizando los 2 botones respectivos ubicados en el tablero principal de control y mostrados en la Figura 4.13.

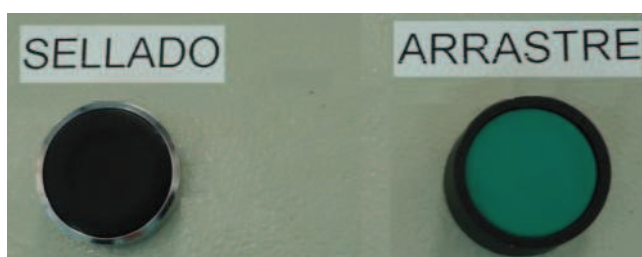


Figura 4.13 Botones de sellado y arrastre manual

A continuación, en la Tabla 4.3, se encuentran descritas las pruebas realizadas, los resultados obtenidos y las respectivas correcciones implementadas para mejorarlos.

| N° | PRUEBAS | RESULTADOS |
|----|--|---|
| 1 | Calibración de los controladores PID de temperatura, adaptándolos a las resistencias térmicas empleadas. | <ul style="list-style-type: none"> • La autocalibración de parámetros del controlador, no funciona para las resistencias bajas implementadas. Se requiere calibración manual, como se explica en el apartado.... • Inicialmente las resistencias térmicas se rompen, se necesitan pulsos más cortos. • Finalmente se determinan los parámetros de calibración apropiados y se obtienen las temperaturas de set point con una variación máxima de +/- 5°. |

| | | |
|---|--|--|
| 2 | Comprobación del arrastre y circulación del plástico con las Bandas de Arrastre activadas. | <ul style="list-style-type: none"> • Las bandas tienen una ligera desviación de su eje acción vertical, por lo que la lámina plástica no rodea uniformemente al Cilindro Formador, sino que termina deformando el solapado. El problema se soluciona con calibración mecánica. • Cualquier desajuste en la operación normal de los engranes que transfieren el giro de motor a las bandas de arrastre hace que éstas pierdan sincronía, lo cual altera el solapado, creando pliegues indeseados. El problema se soluciona verificando la correcta alineación y ajuste de dichos engranes. • La lámina plástica debe circular con la tensión necesaria que impida la formación de cualquier tipo de arrugas, por mínimas que sean, debido a que este error se amplifica con el tiempo generando pliegues mayores que terminan impidiendo el formado. |
| 3 | Verificación del funcionamiento correcto de las mordazas de sellado y corte. | <ul style="list-style-type: none"> • El sistema requiere una presión de aire constante para la correcta operación de los pistones neumáticos que generan el movimiento de las mordazas. Se encuentran y corrigen fugas de aire. • La mordaza vertical debe ubicarse paralela al Cilindro Formador para asegurar la correcta formación de la manga plástica. El problema requiere ajustes mecánicos. • Las mordazas horizontales deben estar alineadas. La corrección mecánica soluciona el problema. |
| 4 | Montaje de las resistencias térmicas en las mordazas y verificación de los sellados y corte de la funda. | <ul style="list-style-type: none"> • Los niveles de temperatura requeridos deben ser reajustados, hasta conseguir la fundición y soldadura del plástico. • El sellado vertical se encuentra desviado de su eje de operación correcta. Se requiere calibración mecánica para solventar el problema. • El sellado horizontal se encuentra alineado con el eje de operación, mas no el corte que presenta una desviación de 2°, provocando un corte visiblemente chueco. Se ajusta la ubicación de la resistencia térmica de corte para mejorar el resultado. |
| 5 | Chequeo de lectura de la taca. | <ul style="list-style-type: none"> • En ocasiones la taca es leída y en otras no, debido a la variación de distancia entre la lámina plástica, donde descansa la taca, y ubicación fija del sensor. Para solucionar esta situación se instala un descanso metálico a cierta distancia del sensor, sobre el cual circulará el plástico, eliminando el |

| | | |
|---|---------------------------------|---|
| | | problema. |
| 6 | Verificación del empaque final. | <ul style="list-style-type: none"> • La funda final presenta pliegues en los sellados horizontales tanto superior como inferior. Se modifica mecánicamente la salida final del Cilindro Formador y se mejora el resultado. • El empaque tipo almohada se somete a presión y se constata que las soldaduras no son robustas y el sellado se abre. Se reajusta la temperatura hasta conseguir la fundición adecuada del plástico. • El sobresellado vertical en los tres tamaños de fundas (30x30, 30x40 y 30x50) se halla alineado. |

Tabla 4.3 Pruebas individuales de construcción de la funda.

4.2 PRUEBAS DE CALIBRACIÓN Y AJUSTE

Luego de las pruebas por etapa, se procede con la prueba general de funcionamiento de la máquina para verificar su comportamiento al trabajar con carga procurando la integridad del producto y calibrar la sincronía y velocidad de las etapas que integran su operación. Para esta prueba se requiere la disponibilidad del producto final a enfundar.

Las pruebas están separadas en función de los problemas que han surgido durante el funcionamiento de la máquina y han sido repetidas, aplicando los respectivos correctivos, hasta solucionar cada uno de ellos.

4.2.1 PRUEBA N° 1

Se inicializa la máquina acorde al manual de usuario, estableciendo un peso de producto de 1000g por funda y se procede con su operación, obteniendo únicamente las 2 primeras fundas con un sellado aparentemente bueno y el resto no han sido soldadas en forma adecuada causando derramamiento de producto.

Es evidente que las características de humedad, temperatura y lubricación del producto han afectado la superficie interna del plástico y cambiado sus requerimientos de temperatura para el sellado y corte. Además, la porción de producto pesada desciende de una altura aproximada de 2m, lo cual genera una fuerza extra que debe ser soportada por la soldadura inferior de la funda formada. El desfonde por la caída de producto en una de las fundas se indica en la Figura 4.14.

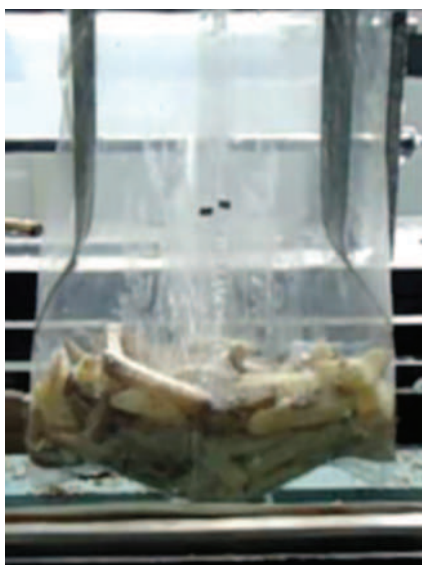


Figura 4.14 Desfonde de la funda con producto

El problema se soluciona con la elevación del set point de temperatura en los respectivos controladores de sellado y corte, habiendo también comprobado que la presión existente entre las mordazas horizontales y en la mordaza vertical, garantizan el sellado continuo en toda la extensión de su longitud de trabajo.

4.2.2 PRUEBA N° 2

Nuevamente se pone en marcha a la máquina, con la misma inicialización de la Prueba N°1, en este caso se obtienen fundas bien definidas y se procede a verificar la cantidad de producto empacado.

Se obtienen 15 fundas continuas de producto y se detiene el proceso, con la ayuda de una balanza externa se toman los valores mostrados en la Tabla 4.4, en los cuales consta que la calibración inicial de tolerancia al 10% para el pesaje funciona como se espera.

| FUNDA | PESO (g) | ERROR % |
|-------|----------|---------|
| 1 | 997 | -0,3 |
| 2 | 1016 | 1,6 |
| 3 | 1093 | 9,3 |
| 4 | 1055 | 5,5 |
| 5 | 905 | -9,5 |
| 6 | 978 | -2,2 |
| 7 | 1004 | 0,4 |
| 8 | 974 | -2,6 |
| 9 | 1098 | 9,8 |
| 10 | 1030 | 3,0 |
| 11 | 997 | -0,3 |
| 12 | 1053 | 5,3 |
| 13 | 1050 | 5,0 |
| 14 | 950 | -5,0 |
| 15 | 978 | -2,2 |

Tabla 4.4 Resultados de peso - Fundas de 1000g con 10% de tolerancia

4.2.3 PRUEBA N°3

No existe una norma que rija la tolerancia para este tipo específico de producto, sin embargo tomando como referencia la norma general "NTE INEN 0483 (1980): Productos empaquetados o envasados. Error máximo permisible" se estima aceptable la disminución de la tolerancia del error de peso al 5%. Posteriormente, se inicializa la máquina en forma normal, y se obtienen 15 fundas continuas de 1000g que arrojan los resultados mostrados en la Tabla 4.5, que permanecen dentro de los límites esperados; con lo que se evidencia el adecuado

funcionamiento del algoritmo de control de peso y la operación normal de los elementos que adquieren dicha señal.

| FUNDA | PESO (g) | ERROR % |
|-------|----------|---------|
| 1 | 995 | -3,5 |
| 2 | 1031 | 3,1 |
| 3 | 1028 | 2,8 |
| 4 | 1044 | 4,4 |
| 5 | 1009 | 0,9 |
| 6 | 1012 | 1,2 |
| 7 | 960 | -4,0 |
| 8 | 966 | -3,4 |
| 9 | 1033 | 3,3 |
| 10 | 960 | -4,0 |
| 11 | 973 | -2,7 |
| 12 | 1034 | 3,4 |
| 13 | 965 | -3,5 |
| 14 | 1013 | 1,3 |
| 15 | 1021 | 2,1 |

Tabla 4.5 Resultados de peso - Fundas de 1000g con 5% de tolerancia

4.2.4 PRUEBA N°4

La cadena de producción pretende manejar entre 80000Kg y 10000Kg de producto al día, lo que implican unos 1250Kg por hora en una jornada normal de trabajo de 8 horas diarias, siendo necesaria una velocidad máxima de empacado de 20 fundas de 1Kg por minuto.

Ajustando la máquina a este requerimiento, se identifican las esperas innecesarias dentro del proceso para eliminarlas y con ello se presentan varias limitaciones que deben ser contrarrestadas, pues, las pruebas de calibración anteriores se ejecutaron a una velocidad de 4 fundas por minuto.

El primer tiempo muerto identificado para reducir es el tiempo de arrastre de la funda el cual está limitado por la velocidad de operación del motor de inducción con su respectiva caja reductora, para mejorar el proceso este actuador fue reemplazado.

El segundo tiempo muerto a disminuir es la espera necesaria para que la celda de carga estabilice su señal antes de adquirirla, debido a la vibración generada en la Cabezal de Pesaje con la caída de producto en ella, este punto resulta crítico pues cuando el tiempo es muy reducido, el producto empacado incrementa considerablemente el error entregando valores inaceptables como se muestra en la Tabla 4.6.

| FUNDA | PESO (g) | ERROR % |
|-------|----------|---------|
| 1 | 1147 | 14,7 |
| 2 | 1177 | 17,7 |
| 3 | 771 | -22,9 |
| 4 | 723 | -27,7 |
| 5 | 1415 | 41,5 |
| 6 | 1031 | 3,1 |
| 7 | 770 | -23,0 |
| 8 | 697 | -30,3 |
| 9 | 821 | -17,9 |
| 10 | 930 | -7,0 |
| 11 | 845 | -15,5 |
| 12 | 697 | -30,3 |
| 13 | 1124 | 12,4 |
| 14 | 887 | -11,3 |
| 15 | 727 | -27,3 |
| 16 | 669 | -33,1 |
| 17 | 858 | -14,2 |
| 18 | 776 | -22,4 |
| 19 | 1075 | 7,5 |
| 20 | 697 | -30,3 |

Tabla 4.6 Resultados de peso - Tiempo estabilización celda de carga bajo el mínimo

Luego de varias repeticiones de la prueba se consigue establecer el valor mínimo de tiempo de espera que no perjudique a las mediciones de peso y permita cumplir con el exigencia de producción de 20 fundas por minuto, esto, considerando llena la Tolva de Alimentación de la máquina. En la Tabla 4.7 se muestran los resultados finalmente obtenidos, y su dispersión del set point original se indica en la Figura 4.15, evidenciando que la tolerancia en la medida de peso ha sido respetada.

| FUNDA | PESO (g) | ERROR % |
|-------|----------|---------|
| 1 | 1002 | 0,2 |
| 2 | 1050 | 5,0 |
| 3 | 987 | -1,3 |
| 4 | 1047 | 4,7 |
| 5 | 976 | -2,4 |
| 6 | 986 | -1,4 |
| 7 | 975 | -2,5 |
| 8 | 1037 | 3,7 |
| 9 | 966 | -3,4 |
| 10 | 1021 | 2,1 |
| 11 | 1029 | 2,9 |
| 12 | 971 | -2,9 |
| 13 | 978 | -2,2 |
| 14 | 1035 | 3,5 |
| 15 | 984 | -1,6 |
| 16 | 1034 | 3,4 |
| 17 | 1011 | 1,1 |
| 18 | 983 | -1,7 |
| 19 | 1002 | 0,2 |
| 20 | 979 | -2,1 |

Tabla 4.7 Resultados de peso - Tiempo de estabilización de la celda de carga mínimo

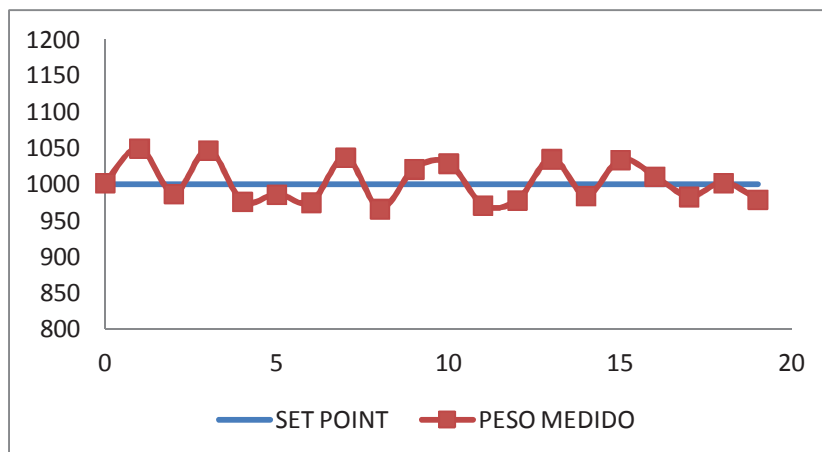


Figura 4.15 Dispersión de peso - Funda de 1000g

4.2.5 PRUEBA N°5

La máquina trabaja según disposición del operador con 3 valores adicionales de peso posibles, estos son: 500g, 2000g y 3000g. En esta prueba se verifican los pesos obtenidos en los empaques para estos nuevos parámetros de seteo, considerando que los errores surgidos al operar con 1000g han sido solventados, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.8, Tabla 4.9 y Tabla 4.10 y permiten comprobar que la tolerancia establecida del 5% no ha sido respetada, para una mejor identificación, la dispersión de los datos alrededor de su set point se encuentra indicada en la Figura 4.16.

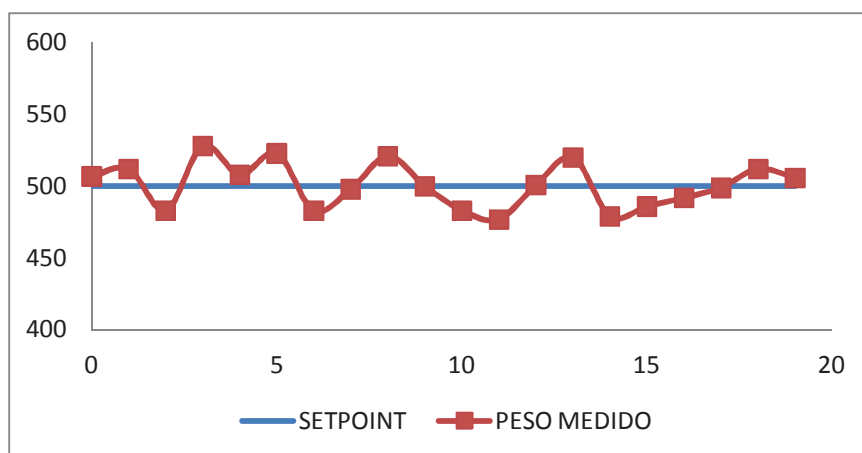


Figura 4.16 Dispersión de peso - Funda de 500g

| FUNDA | PESO (g) | ERROR % |
|-------|----------|---------|
| 1 | 507 | 1,4 |
| 2 | 512 | 2,4 |
| 3 | 483 | -3,4 |
| 4 | 528 | 5,6 |
| 5 | 508 | 1,6 |
| 6 | 523 | 4,6 |
| 7 | 483 | -3,4 |
| 8 | 498 | -0,4 |
| 9 | 521 | 4,2 |
| 10 | 500 | 0.0 |
| 11 | 483 | -3,4 |
| 12 | 477 | -4,6 |
| 13 | 501 | 0,2 |
| 14 | 520 | 4,0 |
| 15 | 479 | -4,2 |
| 16 | 486 | -2,8 |
| 17 | 492 | -1,6 |
| 18 | 499 | -0,2 |
| 19 | 512 | 2,4 |
| 20 | 506 | 1,2 |

Tabla 4.8 Resultados de peso - Funda de 500g con el 5% de tolerancia

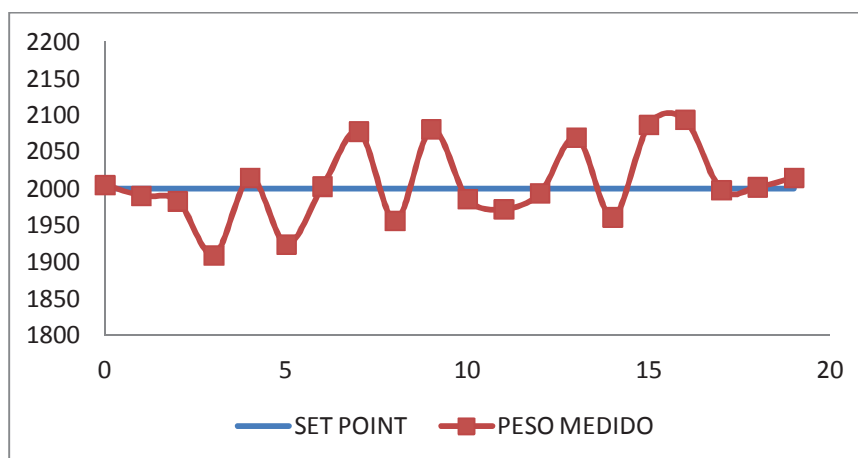


Figura 4.17 Dispersión de peso - Funda de 2000g

| FUNDA | PESO (g) | ERROR % |
|-------|----------|---------|
| 1 | 2005 | 0,25 |
| 2 | 1990 | -0,50 |
| 3 | 1983 | -0,85 |
| 4 | 1909 | -4,55 |
| 5 | 2015 | 0,75 |
| 6 | 1924 | -3,80 |
| 7 | 2003 | 0,15 |
| 8 | 2078 | 3,90 |
| 9 | 1956 | -2,20 |
| 10 | 2081 | 4,05 |
| 11 | 1986 | -0,70 |
| 12 | 1972 | -1,40 |
| 13 | 1994 | -0,30 |
| 14 | 2070 | 3,50 |
| 15 | 1961 | -1,95 |
| 16 | 2087 | 4,35 |
| 17 | 2094 | 4,70 |
| 18 | 1998 | -0,10 |
| 19 | 2002 | 0,10 |
| 20 | 2015 | 0,75 |

Tabla 4.9 Resultados de peso - Funda de 2000g con el 5% de tolerancia

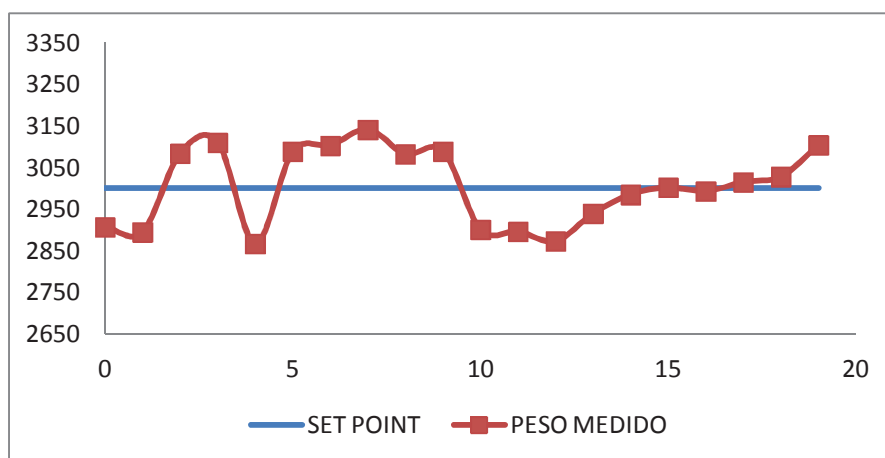


Figura 4.18 Dispersión de peso - Funda de 3000g

| FUNDA | PESO (g) | ERROR % |
|-------|----------|---------|
| 1 | 2907 | -3,10 |
| 2 | 2895 | -3,50 |
| 3 | 3084 | 2,80 |
| 4 | 3110 | 3,67 |
| 5 | 2867 | -4,43 |
| 6 | 3089 | 2,97 |
| 7 | 3103 | 3,43 |
| 8 | 3141 | 4,70 |
| 9 | 3082 | 2,73 |
| 10 | 3089 | 2,97 |
| 11 | 2901 | -3,30 |
| 12 | 2896 | -3,47 |
| 13 | 2873 | -4,23 |
| 14 | 2940 | -2,00 |
| 15 | 2985 | -0,50 |
| 16 | 3002 | 0,07 |
| 17 | 2993 | -0,23 |
| 18 | 3015 | 0,50 |
| 19 | 3028 | 0,93 |
| 20 | 3104 | 3,47 |

Tabla 4.10 Resultados de peso - Funda de 3000g con el 5% de tolerancia

4.3 PRUEBAS DE OPERACIÓN

Es necesario testear el estado general de la máquina para calificar si su operación está dentro de los rangos de tolerancia deseados. Para ello, la máquina se somete a una prueba de Repetibilidad, cuyo resultado positivo garantiza su funcionamiento o, en caso contrario, permite la identificación de falencias.

4.3.1 PRUEBA DE REPETIBILIDAD

La calibración de equipos de medida según ISO9000 considera que la repetibilidad tiene similitud de significado con el término fidelidad, lo que implica que las mediciones se realizan en cortos períodos de tiempo procurando condiciones ambientales idénticas. [36]

Esta prueba constituye un índice de rendimiento de las balanzas y consiste en aplicar cargas similares, a cada una de las 12 Cabezales de Pesaje, por al menos 5 veces, procurando mantener las mismas condiciones de manejo [37], tanto en las cargas de prueba como en los cabezales; en este caso se aplican cargas de 1Kg que corresponde a la capacidad máxima de un solo cabezal. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.11.

| CABEZAL DE PESAJE | CON PESO (1000g) | | | | | SIN PESO (0g) | | | | |
|-------------------|------------------|--------|--------|--------|--------|---------------|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 1001 | 1000 | 1000 | 1001 | 1000 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 999 | 1000 | 998 | 1000 | 999 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 4 | 1000 | 1001 | 1001 | 1002 | 1001 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 5 | 1000 | 1002 | 1000 | 1000 | 1000 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 1000 | 1002 | 1002 | 1000 | 1000 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7 | 1001 | 1001 | 1002 | 1001 | 1001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 1002 | 1001 | 1001 | 1001 | 1000 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 9 | 1000 | 1000 | 1001 | 1001 | 1000 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 10 | 1001 | 1001 | 1000 | 1000 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 1000 | 1000 | 1000 | 1001 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 12 | 1002 | 1000 | 1001 | 1000 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| PROMEDIO | 1000,5 | 1000,7 | 1000,5 | 1000,7 | 1000,1 | 0 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,7 |

Tabla 4.11 Resultados de la prueba de repetibilidad

Con estos datos y siguiendo el ejemplo de cálculo para el primer cabezal indicado en la Figura 4.19 se procede a completar los valores respectivos en la Tabla 4.12.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{1001 + 1000 + 1000 + 1001 + 1000}{5} = 1000,4$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} = \frac{0,36 + 0,16 + 0,16 + 0,36 + 0,16}{4} = 0,3$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{0,3} = 0,55$$

Figura 4.19 Ejemplo de cálculo - Desviación estándar celdas de carga

| #PRUEBA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | \bar{x} | σ^2 | σ |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|------------|-------------|
| TOLVA | | | | | | | | |
| 1 | 1001 | 1000 | 1000 | 1001 | 1000 | 1000,4 | 0,30 | 0,55 |
| 2 | 999 | 1000 | 998 | 1000 | 999 | 999,2 | 0,70 | 0,84 |
| 3 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000,0 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | 1000 | 1001 | 1001 | 1002 | 1001 | 1001,0 | 0,50 | 0,71 |
| 5 | 1000 | 1002 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000,4 | 0,80 | 0,89 |
| 6 | 1000 | 1002 | 1002 | 1000 | 1000 | 1000,8 | 1,20 | 1,10 |
| 7 | 1001 | 1001 | 1002 | 1001 | 1001 | 1001,2 | 0,20 | 0,45 |
| 8 | 1002 | 1001 | 1001 | 1001 | 1000 | 1001,0 | 0,50 | 0,71 |
| 9 | 1000 | 1000 | 1001 | 1001 | 1000 | 1000,4 | 0,30 | 0,55 |
| 10 | 1001 | 1001 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000,4 | 0,30 | 0,55 |
| 11 | 1000 | 1000 | 1000 | 1001 | 1000 | 1000,2 | 0,20 | 0,45 |
| 12 | 1002 | 1000 | 1001 | 1000 | 1000 | 1000,6 | 0,80 | 0,89 |
| PROMEDIO | 1000,50 | 1000,67 | 1000,50 | 1000,58 | 1000,08 | 1000,47 | 0,05 | 0,23 |

Tabla 4.12 Resultados de la desviación estándar (12 celdas de carga)

Con los resultados hallados que corresponden a la media aritmética (\bar{x}) y la desviación estándar (σ), en Excel de Office se dibuja la Curva Normal Estándar o

Campana de Gauss obteniendo la Figura 4.20, donde se puede apreciar que la dispersión de errores con respecto a la media es baja y la repetibilidad aceptable.

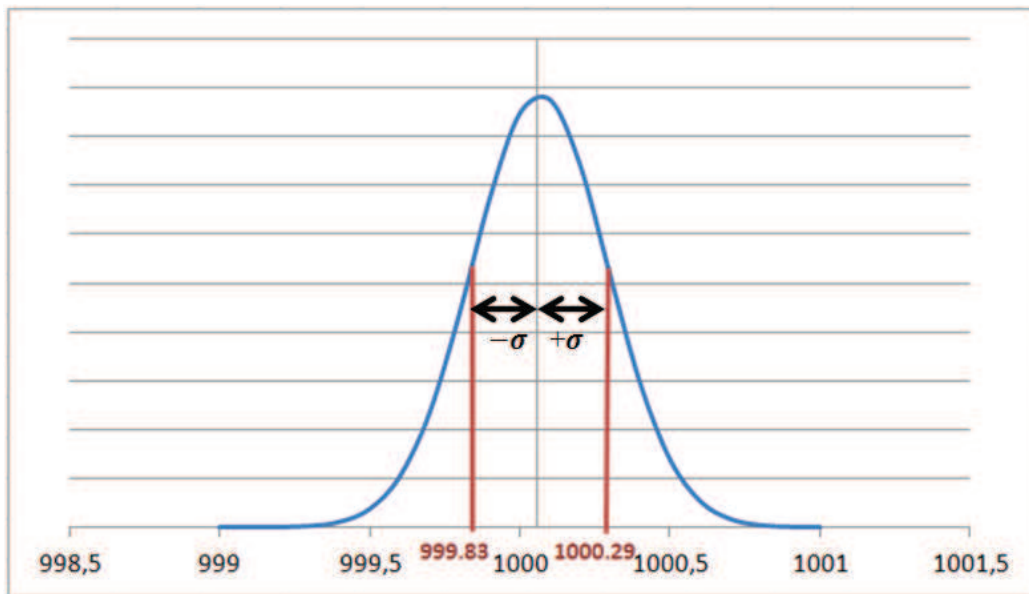


Figura 4.20 Curva normal - Prueba de repetibilidad

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Con la automatización de la máquina multicabezal y la implementación del algoritmo de combinación de pesos se han logrado cumplir los objetivos y alcances planteados al inicio de este proyecto, lo cual se respalda con las pruebas respectivas que demuestran la correcta operación del sistema de control para pesaje y enfundado de papa picada.
- Los parámetros de calibración de la máquina dependen de ciertas condiciones ambientales tales como la temperatura y humedad, y geográficas como la altitud, por lo cual, la calibración definitiva de la máquina debe realizarse exclusivamente en el lugar final de montaje, donde la máquina va a funcionar.
- Los Cabezales de Pesaje son considerados en el algoritmo de combinaciones mientras el peso leído de ellos sea menor al peso de set point, si el producto contenido en ellas es mayor a la sumatoria de peso de consigna más la tolerancia, el algoritmo de control envía la orden de descarga de dicha canasta como un peso con error.
- Al incrementar la velocidad de producción se genera más vibración en la máquina, lo cual perjudica la exactitud de peso, por ello, es prioritario establecer un equilibrio entre velocidad y calidad de medida, que satisfaga a la empresa y no perjudique al cliente final.
- El algoritmo de pesaje está teóricamente diseñado para realizar las combinaciones necesarias para encontrar cualquier peso de consigna, sin embargo, se encuentra limitado por el volumen de cada Cabezal de Pesaje

y por el peso de la porción en él contenida, que no debe exceder la capacidad máxima de la celda de carga.

- Para mejorar la eficiencia de operación de la máquina conviene identificar y reducir al mínimo los tiempos muertos o esperas innecesarias, sin embargo, hay variables como la temperatura que por su naturaleza lenta, requiere de un tiempo de estabilización, por lo que la máquina necesita de cierto intervalo de espera para calentar las niquelinas que ha sido reducido a un mínimo de 10 min en el arranque del sistema.
- Los errores están inmersos en todo proceso industrial, el objetivo es minimizarlos, para ello, la calibración debe ser correcta recurriendo a pesos patrones los cuales deben ser certificados por la entidad competente, en este caso el INEN.
- El sistema de control de la máquina multicabezal es en lazo abierto, pues no existe una retroalimentación de la variable peso, para corregir errores se aplican mejoras y ajustes de peso posteriores a la verificación de la cantidad de producto contenido en el empaque terminado. Para realizar un sistema de control en lazo cerrado se deberían implementar balanzas individuales por cada Cabezal de Pesaje, que permitan la auto-regulación del peso medido por cada uno de dichos cabezales.
- Cuando se trabaja con máquinas rotativas sobre los 1000 m de altura es necesario realizar la reducción de la potencia desarrollada por el motor como forma de evitar que los devanados de éstos se cortocircuiten debido al recalentamiento por la poca capacidad del aire para disipar el calor, ya que su densidad disminuye a mayor altura.
- Debido a que el producto terminado tiene un peso considerable, igual o superior a los 500 g, la estabilización de las celdas de carga antes de adquirir los valores de la variable no fueron extremadamente prolongados, lo que hace que el peso medido no sobrepase los límites de tolerancia del error en el empaque final, de modo que no fue necesario incluir un sistema de amortiguamiento para reducir la vibración en cada Cabezal de Pesaje.

- Los valores de set point configurados en los controladores de temperatura para el corte y sellado, son exclusivos para la lámina de plástico especificada en este proyecto, en el caso de que el reemplazo no tenga las mismas características, se deben reajustar dichos valores para impedir que las mordazas quemen y perforen el material o por el contrario que no suelden firmemente las láminas ocasionando derramamientos.
- En el entorno industrial se debe tener extremo cuidado con la utilización de microcontroladores, seleccionando aquel que posea una alto rechazo al ruido e interferencias, adicionalmente requiere de una fuente de alimentación filtrada, protegida y especializada para la estabilización del voltaje de salida en medio de una variación de voltaje en la entrada; y debe ser aislado de la radiación electromagnética del variador e interferencias por radiofrecuencia viajeras en el ambiente, para lo cual, debe ser encerrado en una caja metálica.
- La interfaz hombre-máquina (touch panel del operador) es utilizada sólo como un visualizador del proceso y no como un medio de control, permite la calibración de algunos parámetros importantes que inciden en la ejecución del programa escrito en el PLC con la respectiva clave de administrador.
- Si falla una celda de carga por algún motivo, el sistema es capaz de identificar que número de celda es la que tiene el problema y visualizarlo en el HMI, pero por ningún motivo el proceso se detiene, el algoritmo de control excluye a dicha celda y trabaja con las celdas restantes.

5.2 RECOMENDACIONES

- Las celdas de carga como transductores de peso son muy sensibles a las vibraciones, por lo tanto, se recomienda eliminar toda vibración externa a la propia máquina, ya que esta hace que las lecturas de los pesos tengan picos muy altos de hasta 120g y por lo tanto se generen errores en el pesaje.
- Para una calibración más exhaustiva, se recomienda definir más puntos en la lectura del peso, pues así se alcanza una mayor certeza sobre la linealidad de la celda de carga evaluándola dentro de un rango de valores cuyos límites están determinados por valor máximo de peso y el mínimo correspondiente al 10% del valor anterior.
- Para dar mantenimiento y/o trasladar la máquina a otro lugar, es necesario bloquear las celdas de carga con la ayuda de esponjas que suavicen cualquier movimiento indeseado, evitando que se deformen, pierdan linealidad y operen incrementando el error tolerado de la máquina.
- Para mejorar el proceso se recomienda reemplazar las celdas de carga convencionales de unipunto implementadas por galgas extensiométricas con amortiguamiento que no se ven afectadas por la vibración mecánica externa y disponen de tiempos de estabilización mínimos, con lo cual se disminuyen algunos tiempos muertos sin perjudicar la exactitud en la medida.
- Es necesario tener un control más fino y controlado de la entrada de producto desde la Tolva de Alimentación implementando bandejas individuales de vibración a alta frecuencia que guíen y detengan el producto según el requerimiento de cada uno de los Cabezales de Pesaje.
- El manejo y buen uso de la máquina debe ser frecuentemente supervisado por el técnico responsable, se recomienda que exista una capacitación permanente sobre el empleo adecuado del manual de usuario.

- Es indispensable que todos los responsables de la máquina sigan el procedimiento de limpieza establecido en el manual de usuario, pues, el producto residual que suele depositarse en los Cabezales de Pesaje tiende a descalibrarlas.
- Se recomienda establecer un calendario de mantenimiento, limpieza profunda y calibración que debe ser revisado antes de proceder con la puesta en marcha de la máquina, y ejecutar la acción determinada siguiendo las instrucciones dadas por el manual de usuario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ECUAPLAST, «Rollo de plástico biodegradable,» OLX, 5 Junio 2012. [En línea]. Available: <http://quito.olx.com.ec/fabricams-todo-tipo-de-fundas-plasticas-biodegradables-rollos-y-plastico-stretch-iid-294734611>. [Último acceso: 29 Agosto 2013].
- [2] MEXIMAQ MAQUINARIA DE EMPAQUE, «TIPOS DE BOLSA,» Pro WEB Consultoría, 2012. [En línea]. Available: <http://meximaq.com/soluciones-de-empaque/por-tipo-de-empaque/tipos-de-bolsa/#1>. [Último acceso: 19 Septiembre 2013].
- [3] RAJAPACK, «Bolsas y empaques,» Rajapack, 2013. [En línea]. Available: http://www.rajapack.es/bolsas-envases/fundas-proteccion/bolsa-plastico-muebles-rollo-precortado-30-micras_PDT01599.html. [Último acceso: 2 Octubre 2013].
- [4] PETROQUIM S.A., «Grados de polipropileno petroquim,» GOOSE, 2012. [En línea]. Available: <http://www.petroquim.cl/grados-de-polipropileno-petroquim/>. [Último acceso: 14 Marzo 2013].
- [5] TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS, «Polietileno,» Awesome Inc., 16 Julio 2012. [En línea]. Available: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/07/polietileno-pe.html>. [Último acceso: 14 Marzo 2013].
- [6] TINFLEX; Investigación y Desarrollo; Departamento Calidad, «Ficha técnica de producto,» 26 Enero 2011. [En línea]. Available: <http://www.tinflex.com/images/upload/Vacuflex%2070.pdf>. [Último acceso: 19 03 2013].
- [7] BERNER GROUP, «Productos,» Berner Group, 2012. [En línea]. Available: <https://shop.berner.eu/berner/es/productgroup/990067/Todos+los+productos+Accesorios+del+vehiculo/Varios/Expositor+de+proteccion+de+automovil&>. [Último acceso: 2 Octubre 2013].
- [8] MADEPLAST, «Clasificados, ventas,» Mercado Libre, 1 Agosto 2013. [En línea]. Available: http://servicio.mercadolibre.com.ve/MLV-407685398-manga-plastica-rollo-plasticos-grueso-desde-38-a-160cm-_JM. [Último acceso: 29 Agosto 2013].
- [9] PAPER BAGGINIG TECHNOLOGY, «Sistemas de dosificación y pesaje,» PAPER S.A., 2010. [En línea]. Available: <http://payper.com/dosificaciones-pesaje-ensado>. [Último acceso: 29 Agosto 2013].
- [10] VESCOVO SISTEMAS DE ENVASADO, «Dosificadores permisibles,» VESCOVO, 2009. [En línea]. Available: <http://www.vescovoweb.com/tresCosturas.html>. [Último acceso: 29 Agosto 2013].
- [11] ITEPACP INGENIERÍA DE PROCESO Y ENVASADO, «Envasadoras Dosificadoras,» ITEPACP, 2010. [En línea]. Available: <http://www.itepacp.com/es/maquinaria-de-ensado/ensadoras->

- dosificadoras/. [Último acceso: 30 Agosto 2013].
- [12] LITOPLAST, «Teoría de Máquinas Empacadoras,» de *Máquinas Empacadoras*, Colombia, 2010.
- [13] TARNOS SA, «Grupos de Dosificación Volumétrica,» [En línea]. Available: http://www.tarnos.com/espanol/catalogos/grupos_dosificacion.pdf. [Último acceso: 22 Octubre 2013].
- [14] ITEPACP INGENIERÍA DE PROCESO Y ENVASADO, «Pesadora Siryus4100-4hl-grupo,» ITEPACP, 2010. [En línea]. Available: <http://www.itepacp.com/es/maquinaria-de-ensado/pesadoras-automaticas/pesadora-siryus4100-4hl-grupo/>. [Último acceso: 01 Septiembre 2013].
- [15] ICA Packaging Machines, «Sistemas de llenado,» ICA SpA, 2006. [En línea]. Available: <http://www.icaspa.it/spagnolo/more007.htm>. [Último acceso: 7 Septiembre 2013].
- [16] E. MORENO Z., Diseño de una máquina empacadora, dosificadora y selladora de fundas para arroz, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2012.
- [17] SIEMENS AG, «Micromaster 440 Instrucciones de uso,» Siemens Aktiengesellschaft, Alemania, 2001.
- [18] M. ESPINOZA E., «Diseño y construcción de una celda de carga,» Marzo 1995. [En línea]. Available: <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020074697.pdf>. [Último acceso: 04 Noviembre 2013].
- [19] VISHAY INTERTECHNOLOGY, Inc., «Single Point Aluminum Load Cell,» 16 Febrero 2009. [En línea]. Available: <http://www.farnell.com/datasheets/513807.pdf>. [Último acceso: 04 Noviembre 2013].
- [20] UNIVERSIDAD DE ALICANTE Publicación Interna, «Servomotores,» 20 Septiembre 2007. [En línea]. Available: <http://www.aurova.ua.es:8080/proyectos/dpi2005/docs/publicaciones/pub09-ServoMotores/servos.pdf>. [Último acceso: 07 Noviembre 2013].
- [21] HITEC RCD USA Inc., «HS-485HB Deluxe HD Ball Bearing Servo,» 2013. [En línea]. Available: <http://hitecrcd.com/products/servos/sport-servos/analog-sport-servos/hs-485hb-deluxe-hd-ball-bearing-servo/product>. [Último acceso: 07 Noviembre 2013].
- [22] ATMEL, «XMEGA A Manual,» ATMEL Corporation, California, 2012.
- [23] ATMEL Corporation, «Atmel AVR042: AVR Hardware Design,» Atmel Corporation, California, 2011.
- [24] J. A. P. CASTILLO, «Sensores ópticos para aplicaciones industriales. Parte III,» *Industria al día*, vol. I, nº 60, p. 54, 2012.
- [25] SICK, Inc., «KT 3: On your mark,» 03 Marzo 2011. [En línea]. Available: http://www.tme.eu/es/Document/0670377f5b6ee4cea3837bee428be388/kt_3_scanners.pdf. [Último acceso: 04 Noviembre 2013].
- [26] A. Fitzgerald, C. Kingsley y S. Umans, Máquinas Eléctricas, México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V., 2003.
- [27] H. HENKENIUS y E. THOMPSON, «Cómo trabaja un motor eléctrico,» *Mecánica Popular*, vol. 45, nº 3, p. 32, 1992.

- [28] RELIANCE ELECTRIC, «Small & Medium AC Standard Motors,» ptplace, Estados Unidos, 2013.
- [29] R. MOTT, Diseño de elementos de máquinas, México: Person Educación, 2006.
- [30] NEW2006POWER, «N2006P PID TEMPERATURE CONTROLLER,» Publicaciones New2006Power, China, 2006.
- [31] OMRON ELECTRONICS, S.A., «Guía rápida, Relés de Estado Sólido,» Publicaciones Omron, Kyoto, 2013.
- [32] RELEQUICK S.A., «Relés de Estado Sólido,» Publicaciones Relequick, Toledo, 2011.
- [33] WALDO PACKAGING MACHINERY, «Componente de mordaza,» Makko Solutions, 2011. [En línea]. Available: <http://www.waldo.com.mx/control.php?cat=12>. [Último acceso: 22 Septiembre 2013].
- [34] DISFRUTA LAS MATEMÁTICAS, «Combinaciones y permutaciones,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.disfrutalasmaticas.com/combinatoria/combinaciones-permutaciones.html>. [Último acceso: 02 Enero 2014].
- [35] VISITA ECUADOR, «Carchi,» Club Visita Ecuador, 2013. [En línea]. Available: <http://www.visitaecuador.com/ve/mostrarRegistro.php?idRegistro=494&informacion=3>. [Último acceso: 12 02 2013].
- [36] A. HILARIO y P. CARBONELLE, «Calibración de equipos de medida según ISO 9000,» Lluís de la Rosa, Madrid, 1998.
- [37] J. HOPPÉ, "Repeatability and reproducibility," The Royal Society Chemistry, Kent, 2002.
- [38] PAPER BAGGING TECHNOLOGY, «Pesadoras y sistemas de dosificación,» PAPER S.A., 2010. [En línea]. Available: <http://payper.com/dosificador-cinta-transportadora-po#ticker>. [Último acceso: 31 Agosto 2013].
- [39] AUTOMATIC TEST & CONTROL LIMITED, "Packaging Machinery," 1&1, 2013. [Online]. Available: <http://www.atc-ltd.co.uk/industrial.html>. [Accessed 3 Septiembre 2013].
- [40] TIANDING, JUGANG Machine, «Máquina empacadora automática de bolsa stand-up,» TIANDING, 2008. [En línea]. Available: <http://foodpackmachines.es/4-1-pouch-packing-machine.html>. [Último acceso: 4 Septiembre 2013].
- [41] HERRMANN GROUP, «Fundamentos de Ultrasonido Herrmann Group,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.unoconvenciones.com/descargas/fuh.pdf>. [Último acceso: 21 Septiembre 2013].
- [42] BAK THERMOPLASTIC WELDING TECHNOLOGY LTD, «Máquina de soldadura de plástico con aire caliente,» Direct Industry, 2013. [En línea]. Available: <http://www.directindustry.es/prod/bak-thermoplastic-welding-technology-ltd/maquinas-soldadura-plastico-aire-caliente-73654-865183.html>. [Último acceso: 22 Septiembre 2013].

- [43] M. A. IZA M., «Repositorio ESPE,» 2012. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6534/1/AC-MEC-ESPE-047102.pdf>. [Último acceso: 22 Septiembre 2013].
- [44] SIEMENS , «6AV6647-0AD11-3AX0SIMATIC HMI KTP600 BASIC COLOR PN,» SIEMENS AG, 2014. [En línea]. Available: <http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&objid=28426427&nodeid0=28426379&load=content&lang=en&siteid=cseus&aktprim=0&objaction=csview&extranet=standard&viewreg=WW>. [Último acceso: 28 Enero 2014].

ANEXOS