



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA DOSIFICADORA Y EMPACADORA DE
YOGURT MARCA THIMONNIER EN LA INDUSTRIA LECHERA CARCHI S.A**

INFORME TÉCNICO

AUTOR:

Juan Carlos Nazate

DIRECTORA:

Ing. Diego Ortiz

Ibarra – Ecuador

2014

“AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA DOSIFICADORA Y EMPACADORA DE YOGURT MARCA THIMONNIER EN LA INDUSTRIA LECHERA CARCHI S.A”

Juan Carlos Nazate Rosero
Carrera de Ingeniería en Mecatrónica, Universidad Técnica del Norte
Ibarra, Ecuador

xx.juankxx@hotmail.com

Resumen. El presente trabajo es la descripción de la automatización de la máquina dosificadora y empacadora de yogurt marca Thimonnier, realizado con la finalidad de aumentar la eficiencia de la máquina, mejorar la producción y calidad del proceso, solucionando problemas existentes, el mayor de ellos un sistema de control obsoleto.

El objetivo de este trabajo es modernizar la máquina para incrementar la producción de fundas de yogurt en la empresa.

El trabajo principal fue el diseño e implementación del nuevo sistema de control, utilizando el PLC de gama baja marca Siemens que controla todas las salidas utilizadas para el funcionamiento de la dosificadora, como son los pistones, válvulas, sensores, fechadora. La capacidad de producción es 23 fundas de 100ml de yogurt por minuto.

1. INTRODUCCIÓN

La Industria Lechera Carchi S.A. se dedica a la elaboración de productos lácteos como leche, crema de leche, yogurt, quesos, manjares, etc. Por ende utiliza máquinas para los diferentes procesos partiendo en la pasteurización de la leche y finalizando en el empaquetado y conservación del producto. La máquina dosificadora de marca Thimonnier de tipo 04-0 USR de fabricación francesa, se encarga de dosificar el yogurt y empaquetarlo en fundas de 100ml, en un inicio la

máquina utilizaba un sistema mecánico el cual comprendía con un árbol de levas las cuales accionaban a los diferentes microswitch y así obtener la secuencia del proceso de la máquina. Debido al deterioro de las diferentes piezas mecánicas la máquina fue perdiendo eficiencia obteniendo los siguientes problemas:

- Desbalanceo del eje de levas
- Desincronización del dosificado, sellado, y empaquetado por desgaste de las levas
- Inexistencia de controles para la manipulación de ciertos parámetros, como el control de la corriente en las niquelinas, modificación del tiempo de dosificado, control de activación de mordazas.
- Velocidad lenta, cuya producción es de 10 fundas por minuto
- Falta de una codificadora en la máquina para la impresión de la fecha en la funda.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La máquina está compuesta por varias partes las que se encargan de realizar correctamente el proceso de dosificado y empaquetado, estas son: un árbol de levas, microswitch, cilindros neumáticos, motor eléctrico, caja reductora y mordazas.

2.1 DOSIFICACIÓN

Para el llenado de yogurt en las fundas se dispone de un dosificador por gravedad, una tolva que se

encuentra en la parte superior de la máquina envía el yogurt hacia abajo para su respectivo empaclado; un mecanismo cierra el paso del yogurt dependiendo de la posición de la leva en que se encuentra. En la Figura 1 se puede apreciar dicha tolva y el mecanismo de leva.

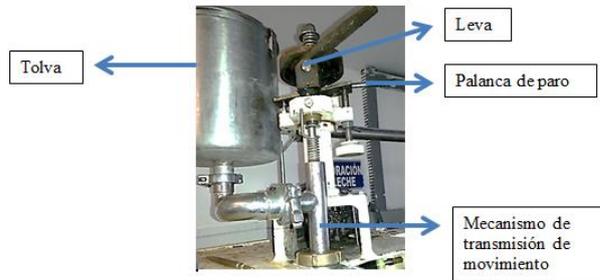


Figura 1. Dosificador
Fuente: Autor

Cuando el operario necesita detener el dosificado levanta la palanca de paro haciendo levantar la leva del eje giratorio, así el yogurt deja de descender. Para la colocación del yogurt en la tolva el operario debe colocar el producto con la ayuda de una escalera.

2.2. SELLADO Y CORTE

El ingreso del plástico a la máquina empieza en el rodillo, donde ingresa por un cuello de acero inoxidable obteniendo una forma cilíndrica al plástico. La Figura 2 indica la forma que toma la funda al ingresar al cuello.

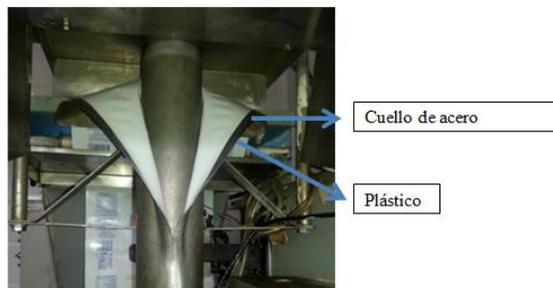


Figura 2. Cuello de acero inoxidable
Fuente: Autor

Una mordaza vertical se encuentra luego del cuello de acero inoxidable, que tiene como función

sellar los extremos del plástico, como se ve en la Figura 3. Posee una resistencia la cual permanece a temperatura constante (80°C aproximadamente), que al hacer contacto con la funda ésta se funde y se sella. Para disminuir la temperatura en las mordazas, existe un canal dentro de ellas por donde circula agua constantemente, ya que la máquina no posee ningún tipo de control electrónico de temperatura.

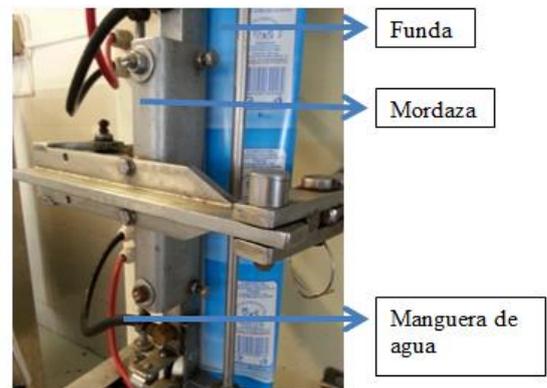


Figura 3. Mordaza vertical
Fuente: Autor

El arrastre vertical de la funda se lo realiza por medio de una mordaza horizontal que va unida a un cilindro neumático, donde el cilindro empuja la funda hasta la medida preestablecida mientras que la mordaza presiona la funda para ser arrastrada.

La mordaza horizontal tiene dos funciones, una de ellas es presionar la funda para el arrastre a través del cilindro; y la segunda función es sellar y cortar la funda mediante una niquelina a temperatura constante. Para que la mordaza disminuya la temperatura circula agua a través de un canal, ya que tampoco existe un controlador de temperatura.

Debido al funcionamiento periódico de la máquina, cada operación es realizada en un punto específico dentro del ciclo de la máquina. El elemento que realiza dicha operación es un conjunto de barra de levas e interruptores tipo fin

de carrera también llamados micro-switch, como se observa en la Figura 4. Un motor con caja de reducción acoplado al árbol de levas es el encargado de hacerlas girar para la respectiva activación de cada uno de los interruptores.

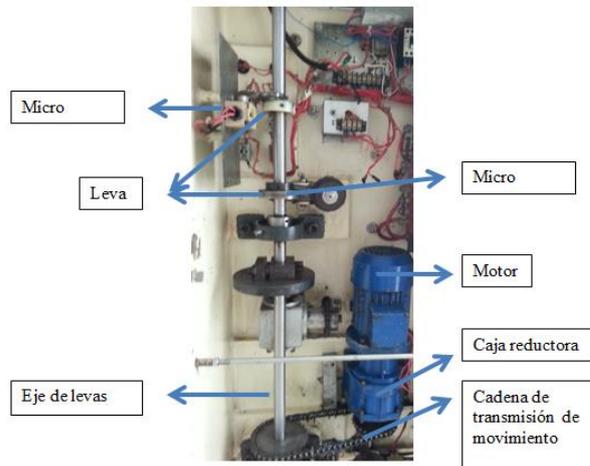


Figura 4. Árbol de levas
Fuente: Autor

2.3. AUTOMATIZACIÓN

El sistema automatizado consta de dos partes principales:

- Parte Operativa
- Parte de Mando

2.3.1. PARTE OPERATIVA

Esta parte actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los actuadores neumáticos, bomba eléctrica, fechadora, y el sensor de marca de registro.

Los actuadores neumáticos que poseía la máquina no se encontraban en buen estado, por ende se realizó el mantenimiento respectivo que consta del remplazo de los empaques o retenes que van en los extremos del vástago, sellos del émbolo, como también la lubricación de la camisa. Una vez realizado el mantenimiento de los cilindros, se

montaron los elementos respectivos para el sello vertical y horizontal como se indica en la Figura 5 y 6.



Figura 5. Elementos de sellado vertical
Fuente: Autor

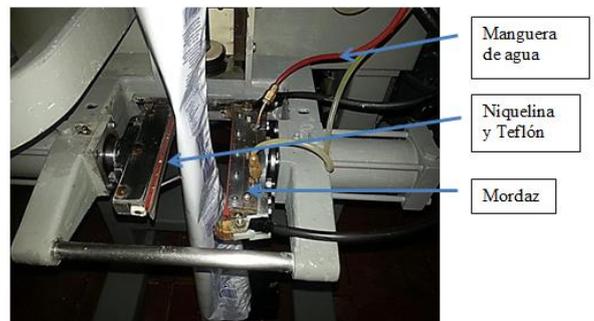


Figura 6. Elementos del Sellado Horizontal
Fuente: Autor

Las electroválvulas se colocaron en la parte interior trasera de la máquina como se muestra en la Figura 7, en esta ubicación se previene su deterioro al estar en contacto con el agua.

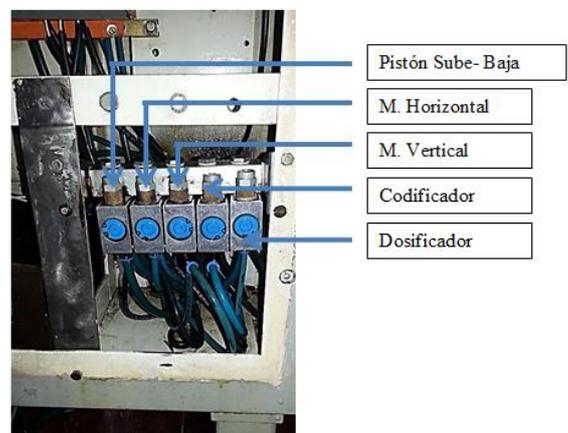


Figura 7. Electroválvulas
Fuente: Autor

El cilindro dosificador utilizado se muestra en la Figura 48. Se puede observar que va acoplado

mediante férulas de acero inoxidable a la tubería que proviene de la tolva. Su función es permitir el paso del yogurt mediante un tapón que va unido a una varilla y ésta al vástago del cilindro como se indica en la Figura 8.

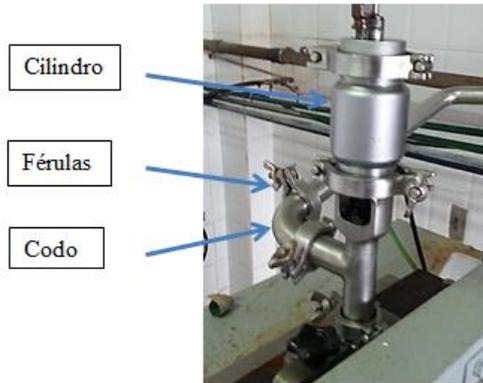


Figura 1. Cilindro Dosificador
Fuente: Autor

Debido a que en la parte trasera de la máquina se retiró los elementos mecánicos que poseía en un inicio se aprovechó el espacio para el montaje del tablero como se indica en la Figura 10.



Figura 2. Montaje Tablero de Control
Fuente: Autor

2.3.2. PARTE DE MANDO

De acuerdo al funcionamiento de la máquina y a los requerimientos de la empresa, el tipo de sistema de control del proceso es de lazo abierto, donde no existe una retroalimentación para ajustar las variables a controlar. En la Figura 9 se indica el diagrama de bloques del sistema en general. Este tipo de control es automático controlado mediante un PLC siendo el responsable de que toda las funciones de la máquina tengan secuencia para obtener el producto final.



Figura 9. Diagrama de bloques del sistema general
Fuente: Autor

2.3.3. TABLERO DE CONTROL

Contiene los dispositivos de conexión, maniobra, comando, medición, protección, y señalización, con sus cubiertas y soportes correspondientes, para cumplir una función específica dentro del sistema eléctrico.

El sellado y corte de la funda de yogurt necesita de un proceso térmico, en el que la funda debe ser totalmente sellada y cortada. Para lograr esto se utilizó un sistema de sellado por impulso eléctrico.

Este tipo de sellados utilizan una resistencia eléctrica en forma de lámina de pequeño espesor llamadas niquelinas, mismas que al estar en contacto y con cierta presión se calientan instantáneamente para realizar el sello. Para el sellado por impulso eléctrico tanto vertical como horizontal, se diseñó dos tarjetas electrónicas de potencia como se indican en las Figuras 11.

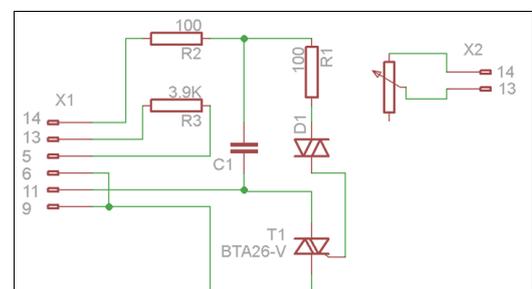


Figura 11. Tarjeta de potencia sellado horizontal
Fuente: Autor

La función que cumple la tarjeta es variar la corriente en las niquelinas por medio de pulsos,

donde el operador puede ajustar el valor de la corriente a través de un potenciómetro hasta obtener el corte y sello deseado de la funda.

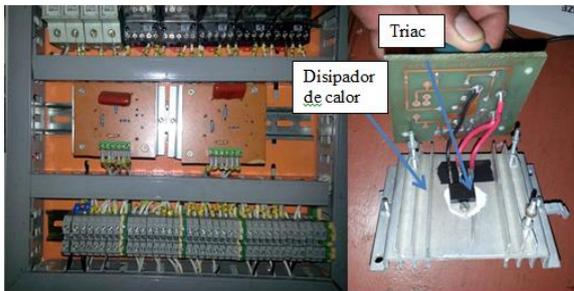


Figura 12. Tarjeta de potencia sellado horizontal
Fuente: Autor

La simulación del funcionamiento de la tarjeta se la realizo con la herramienta de Simulink del software Matlab. En la Figura 13 se puede observar los diferentes pulsos que genera la tarjeta cuya entrada son pulsos que simulan el funcionamiento de las resistencias con el capacitor.

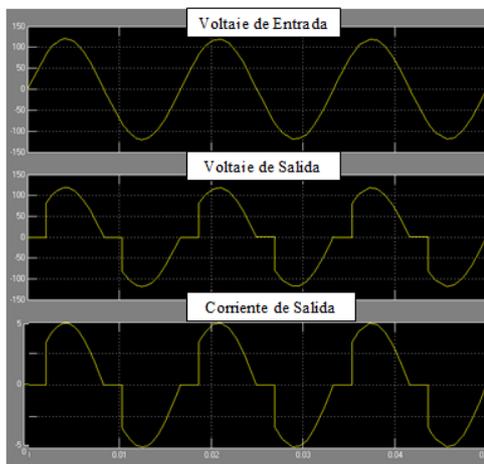


Figura 13. Respuesta de la Tarjeta de Potencia
Fuente: Autor

La forma de onda de la salida se debe a la carga y descarga del condensador de la tarjeta que varía dependiendo del valor del potenciómetro, pero en el software es un valor que depende del tiempo de respuesta del capacitor con la resistencia la cual se obtiene de la Ecuación 1.

Ecuación 1. Tiempo de Respuesta

$$\tau = RC$$

(Serway, 2005)

Dónde:

τ = Tiempo de respuesta

R= Valor de la resistencia variable

C= Capacitancia del condensador

Mientras mayor sea el valor del potenciómetro, menor será el valor de la corriente, por ende las niquelinas se calientan menos.

2.3.4. ELEMENTOS EXTERNOS DEL TABLERO DE CONTROL

Los selectores fueron ubicados en la parte lateral derecha, mientras que la Logo! TD en la parte frontal. El sensor de marca de registro fue colocado en la parte delantera de la máquina para poder sensar la funda. La Figura 14 muestra la posición de los elementos mencionados.

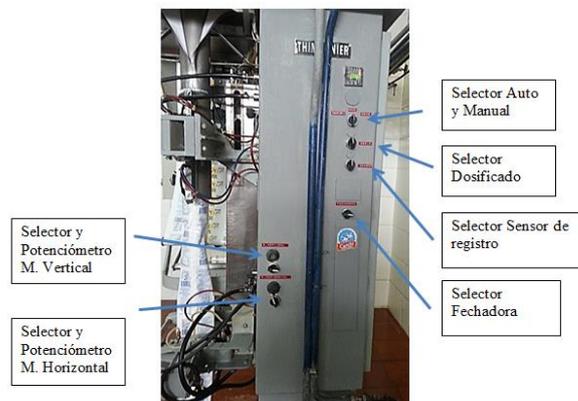
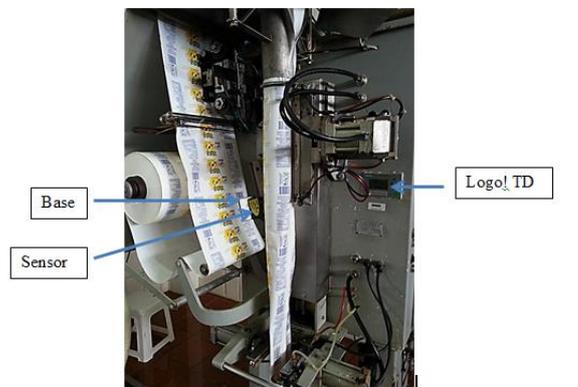


Figura 14. Elementos Externos
Fuente: Autor

2.4. PROCESO DE FUNCIONAMIENTO

2.4.1. SECUENCIA DE TIEMPOS

El elemento principal de la máquina era el conjunto de levas que de acuerdo a la geometría de las levas y de la velocidad angular del eje la máquina funcionaba con una secuencia establecida. Debido a que se reemplazó dicho sistema por un sistema electrónico, es necesario obtener los tiempos de cada leva a los que la máquina funcionaba con el antiguo sistema.

La trayectoria que describe el seguidor en el perfil de la leva se puede notar en el diagrama de desplazamiento de la leva de rotación y el seguidor de traslación $y = f(\theta)$ en la Figura 15.

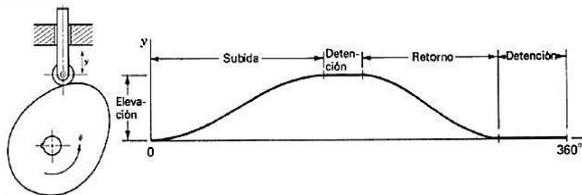


Figura 15. Diagrama de Desplazamiento de la Leva y el Seguidor

Fuente: (Northon, 2004)

Para dicha trayectoria se utiliza un movimiento cicloidal, puesto que tiene aceleraciones nulas al inicio y al final, correspondiendo las aceleraciones nulas de las detenciones.

Las ecuaciones 2 y 3 definen la curva del diagrama de desplazamiento con movimiento cicloidal de subida y de bajada respectivamente.

Ecuación 2. Desplazamiento de subida

$$s = S \left[\frac{t}{T} - \frac{1}{2\pi} \text{sen} \left(\frac{2\pi}{T} t \right) \right]$$

Ecuación 3. Desplazamiento de bajada

$$s = S \left[1 - \frac{t}{T} + \frac{1}{2\pi} \text{sen} \left(\frac{2\pi}{T} t \right) \right]$$

Fuente: (Northon, 2004)

Dónde:

s = Desplazamiento instantáneo del seguidor en cualquier momento dado [cm]

S = Desplazamiento máximo del seguidor [cm]

T = Periodo de tiempo para las secuencias de alejamiento y acercamiento del seguidor [seg]

t = Intervalos de tiempo en que se divide el tiempo de trabajo de la leva [seg]

Se utilizó el software de Matlab para poder ingresar las ecuaciones 2 y 3 y así analizar su comportamiento para obtener los tiempos. Un dato importante a considerar es la velocidad angular del eje que es de $\omega = 4.18$ rad/s aproximadamente, ya que esta velocidad se la obtuvo tomando el tiempo en que se demora una leva en girar una vuelta completa de 360° , la cual fue de 1.5 segundos, siendo en este caso el valor de T . La Figura 16 muestra la secuencia de las levas para cada uno de los elementos.

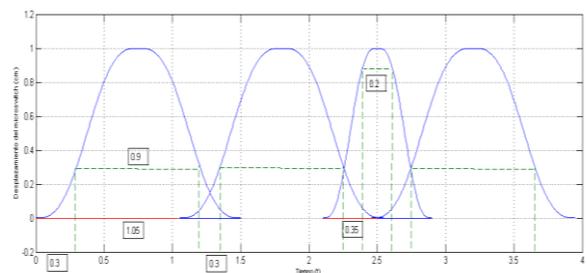


Figura 16. Secuencia de las levas

Fuente: Autor

La activación de la mordaza vertical, dosificado y mordaza horizontal, debe ser seguida una tras otra, sin existir tiempo de espera entre ella. Es por eso que se observa en las curvas de las levas los cortes de intersecciones justo en la activación del microswitch. Con todos estos criterios se obtuvo los tiempos de activación, desactivación, y desfase

entre las levas para su previa programación en el PLC. La Tabla 1 indica los resultados de los tiempos para cada una de las levas.

Tabla 1. Tiempos de Activación y Espera del Sistema de Levas

Precedencia	Leva para:	Tiempo de activación (s)	Tiempo de espera (s)	Desfase (s) con respecto a la leva 1
1	Arrastre	0.9	0.6	0
2	M. Horizontal	0.9	0.6	1.05
3	Dosificado	0.2	0.6	2.1
4	M. Vertical	0.9	0.6	2.45

Fuente: Autor

2.5. PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA

La programación del PLC Logo se la realizó en el software LOGO!Soft Confort de Siemens, Con el software de programación los programas se pueden crear, simular, modificar, guardar e imprimir directamente en el PC.

La secuencia de cada uno de los elementos que intervienen en proceso se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2. Secuencia de los Elementos que Intervienen en el Proceso de la Máquina

Precedencia	Elementos
1	Cilindro de arrastre
2	Niquelina Mordaza Horizontal
2	Cilindros Mordaza Horizontal
3	Cilindro para Dosificación
4	Niquelina Mordaza Vertical
4	Cilindro Mordaza Vertical
4	Cilindros del Codificador

Fuente: Autor

La manipulación de algunos parámetros en la máquina hace que ésta sea de mayor versatilidad para el operador. Unas de las ventajas de hacer esto es que al cambiar los valores de las variables se puede ajustar la máquina a los requerimientos deseados sin tener que modificar partes mecánicas, ya que todo depende de los tiempos programados en el PLC.

La pantalla Logo! TD permite visualizar y modificar las variables deseadas. Para ver las variables programadas en el bloque basta con presionar las

teclas de dirección para ubicarse en el parámetro deseado.

2.5.1. FLUJOGRAMA DEL SISTEMA

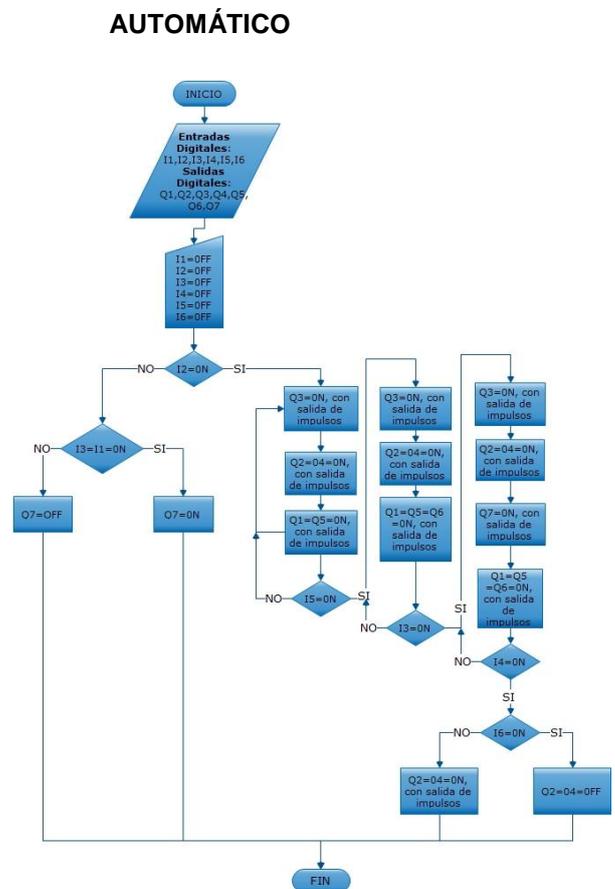


Figura 17. Flujograma del sistema automático de la máquina

Fuente: Autor

2.6. CONTROL DE NIVEL

Uno de los inconvenientes en el proceso de la máquina es la colocación del yogurt en la tolva que se la realizaba en forma manual mediante la ayuda de una escalera. Para la verificación del nivel del yogurt en la tolva se utilizaba una manguera transparente cuyo principio era la de un vaso comunicante, donde el operario observaba a través de éste cuándo había que colocar más yogurt.

Para solucionar este problema, se utilizó una bomba eléctrica (encargada de transportar el yogurt del recipiente hasta la tolva), y un control de

nivel para sensor el nivel máximo del yogurt en la tolva.

2.6.1. SELECCIÓN DE LA BOMBA

Los datos a considerar por diseño del sistema de bombeo son el diámetro de la tubería de $d=1\frac{1}{2}=0.0381\text{m}$ cuyo material es de acero inoxidable por ser una aplicación de tipo alimenticio, la tolva es de 0.45m de alto y 0.6 m de diámetro, el tiempo que se estima en subir el yogurt es de 5 min.

Las propiedades del yogurt ayudan a la selección de la bomba son la viscosidad y el peso específico cuyos valores son $\mu = 800\text{cp}$ y $\rho = 1.025 \text{ g/cm}^3$ respectivamente. Por lo tanto, el caudal del sistema se lo obtiene de la Ecuación 4.

Ecuación 4. Caudal del Sistema

$$Q = \frac{V}{t}$$

Dónde:

V: Volumen de la tolva a ser llenada [m³]
t: Tiempo en llenar la tolva [min]

Ecuación 5. Área de la base del recipiente

$$A = \pi * r^2$$

Dónde:

A: Área de la base del recipiente [m²]
r: Radio del recipiente [m]

Reemplazando los datos se tiene:

$$A = \pi * 0.3^2 = 0.282 \text{ [m}^2\text{]}$$

Ecuación 6. Volumen del recipiente

$$V = A * h$$

Dónde:

A: Área de la base del recipiente [m²]
h: Altura del recipiente [m]

Reemplazando los datos se tiene:

$$V = 0.282 * 0.45 = 0.127 \text{ [m}^3\text{]}$$

Al reemplazar los datos del sistema en la Ecuación 4 se obtiene que:

$$Q = \frac{0.127 \text{ [m}^3\text{]}}{5 \text{ [min]}}$$

$$Q = 1.524 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] = 1524 \left[\frac{\text{l}}{\text{h}} \right]$$

Tabla 3. Característica de Bomba Lobular

Parámetro	Valor
Tipo	Lobular 125NDAVG
Caudal m ³ /h	1.8
n min	200
Diámetro en pulgadas de succión y de impulsión	1 1/2
Potencia HP	0.75
Voltaje V	Δ220/Y380 trifásica
Material	Acero Inoxidable, a excepción de la base, motorizador y del motor
Frecuencia (Hz)	60

Fuente: Autor

El tipo de control para el nivel del yogurt en la tolva es ON-OFF, ya que no se necesita un control tan complejo para dicho sistema. La principal función del control es activar la bomba para transportar el yogurt del recipiente a la tolva hasta que se llene, una vez que pasa esto el control apaga la bomba.

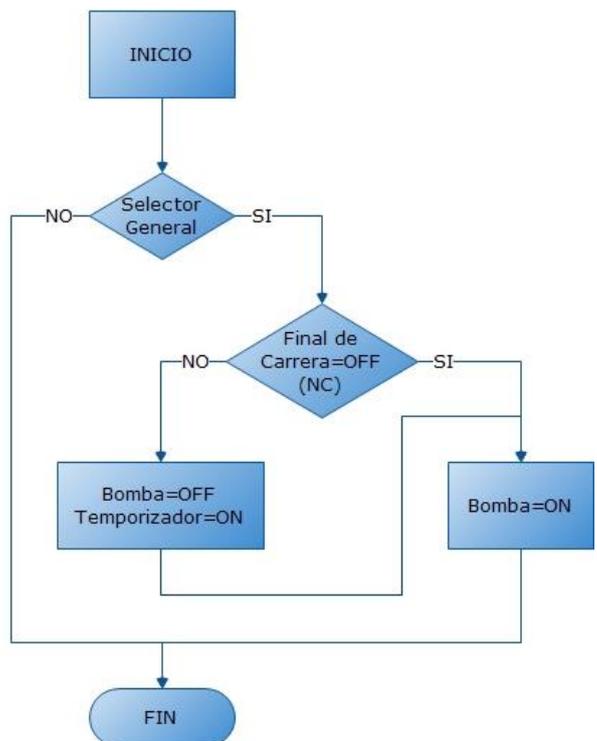


Figura 18. Flujograma del Control de Nivel

Fuente: Autor

El montaje de todos los elementos del sistema de control se observa en la Figura 19.

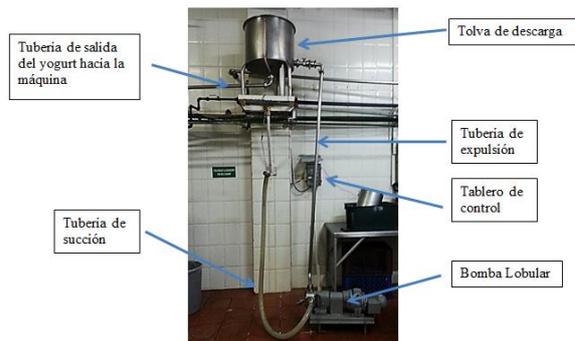


Figura 19. Montaje de los Elementos del Sistema de Control de Nivel

Fuente: Autor

El motor de la bomba no se encontraba en buenas condiciones por lo que se tuvo que rebobinar el estator. Se realizó el mantenimiento respectivo de las piezas para el correcto funcionamiento. La bomba fue ubicada en el piso como se observa en la Figura 20, ya que el yogurt a ser bombeado se encuentra en la parte baja de la máquina.



Figura 20. Implementación de la Bomba

Fuente: Autor



Figura 21. Montaje del Tablero de Control de Nivel

Fuente: Autor

3. CONCLUSIONES

- Con la automatización de la máquina dosificadora y empacadora de yogurt se

- aumentó la eficiencia de la máquina dosificando 27 fundas de 100ml por minuto, siendo aproximadamente tres veces más rápida, incrementando la producción de yogures en la empresa.
- Los parámetros que se lograron controlar en el proceso de la máquina fueron la cantidad de yogurt en cada funda, el corte y sellado de la funda.
- Se implementó un sistema de dosificación por gravedad, lo cual se pudo controlar el flujo del yogurt en las fundas mediante el control del cilindro que poseía un tapón en el vástago permitiendo el paso y cierre del flujo de yogurt.
- Se implementó un sistema electro neumático de acuerdo a las necesidades del proceso de la máquina, es decir para el accionamiento de los cilindros de las mordazas, del dosificador y del codificador.
- Se implementó un control de nivel para sensor el nivel alto del yogurt en la tolva, y una bomba para transportar el yogurt del recipiente hacia la tolva. Cabe mencionar que el sistema de control de nivel no posee ningún control en el funcionamiento de la máquina, es decir, si no existe yogurt en la tolva la máquina no se detendrá, esto se debe a que la empresa lo decidió que fuera así.
- Se reemplazó el mecanismo de levas por un PLC, cuya sincronización se basa en tiempos y ya no por la activación de los micro-switch a través de las levas, evitando la desincronización de la máquina por desgaste de piezas mecánicas.
- Las pruebas realizadas en la máquina fueron satisfactorias, ya que se logró

obtener el producto final con la cantidad deseada.

- Con el mantenimiento respectivo de ciertos elementos de la máquina y otros obtenidos de otras máquinas se logró reutilizarlos en la máquina, obteniendo una mejor eficiencia de la máquina y ahorro de inversión del proyecto.

4. RECOMENDACIONES

- Calibrar diariamente las diferentes variables a controlarse en el proceso de la máquina, como la cantidad de dosificado, sellado y corte de la funda.
- En caso de avería de cualquier elemento de la máquina ya sea del sistema de control, electro neumático, de nivel y de potencia, optar por utilizar los elementos recomendados, ya que de igual manera garantizan el correcto funcionamiento en el proceso.
- Colocar el rollo de empaque antes de encender la máquina, ya que podría existir quemaduras al tocar las niquelinas en las mordazas. En caso de que se requiera cambiar cuando la máquina ya se ha puesto en marcha y las niquelinas estén calientes, tomar las medidas de seguridad necesarias.
- En caso de querer repotenciar la máquina para una mayor producción, será necesario reemplazar el cilindro neumático del avance de la funda por un mecanismo de ruedas mediante un motor.
- Verificar frecuentemente la cantidad de yogurt en las fundas, ya que puede existir la posibilidad de que haya algún problema con los cilindros neumáticos.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Serway, R. (2005). Electricidad y Magnetismo. México: 6ta edición, International Thomson editores.

[2] Northon, R. L. (2004). Diseño de Maquinaria. Cuarta Edición, Mc Graw Hill.

[3] Siemens. (2013). Siemens. Recuperado el 21 de Marzo de 2014, de http://cache.automation.siemens.com/dnl/zQ/zQ1ODg5AAAA_16527461_HB/Logo_s.pdf.

[4] Mott, R. L. (2006). Mecánica de Fluidos. México: Sexta Edición.

[5] Inoxpa. (Septiembre de 2010). inoxpa S.A. Recuperado el 19 de Febrero de 2014, de http://www.inoxpa.com/uploads/document/Manuals%20de%20instruccions/Componentes/Bombes/TLS/01.520.30.00ES_RevC.pdf.

6. BIOGRAFÍA DEL AUTOR

Juan Carlos Nazate Rosero



Nace en la ciudad de Tulcán perteneciente a Ecuador, el 17 de Abril de 1991. Realizó sus estudios primarios en la escuela Cristóbal Colón. Sus estudios secundarios los curso en el Instituto Tecnológico Superior Simón Bolívar en la especialidad de Físico Matemático, el cual gano el porta estandarte del establecimiento y la medalla por ser el mejor egresado de la especialidad. Participó en el Concurso Nacional Interuniversitario LOGO!- SIEMENS. Fue ponente en el Congreso Internacional de Mecatrónica en la ciudad de Bogotá. Actualmente es egresado de la Universidad Técnica del Norte de Ibarra-Imbabura en la carrera de Ingeniería en Mecatrónica en el 2014. Área de interés: Diseño mecánico, automatización de procesos y electrónica