

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ENVASADO DE MIEL EN UNA MÁQUINA
DISEÑADA EN LA UPB.

ALVARO ENRIQUE NIÑO SUÁREZ
ID: 88951

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
FLORIDABLANCA
2012

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ENVASADO DE MIEL EN UNA MÁQUINA
DISEÑADA EN LA UPB.

PROYECTO APLICADO PARA LA OPTAR POR EL TITULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL

ALVARO ENRIQUE NIÑO SUÁREZ ID: 88951

ASESORES:

ING. ORLANDO FEDERICO GONZÁLEZ

ING. JUAN CARLOS VILLAMIZAR

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
FLORIDABLANCA

2012

Nota de Aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, Abril de 2012

DEDICATORIA

El principal motor de mi vida y a quienes les debo todo lo que soy son mis padres a ellos dedico este logro por ser siempre un apoyo incondicional, por formarme en valores, por enseñarme a trabajar y por brindarme la posibilidad de estudiar.

Mis hermanas Cristina y Nathalie quienes siempre han sido un modelo a seguir y que han contribuido en mi formación como persona.

También a Andrea Díaz por su apoyo incondicional y su compañía.

También comparto este logro con mis compañeros de clase en la universidad con quienes compartí gratos momentos en este proceso de aprendizaje.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales al Ingeniero Orlando Federico González, por guiarme durante la ejecución de este proyecto.

Al Ingeniero Juan Carlos Villamizar por brindarme su confianza y permitirme realizar este proyecto.

A la Universidad Pontificia Bolivariana, que me brindo una formación integral.

A toda mi familia en general quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
2.. ANTECEDENTES.....	17
3. JUSTIFICACIÓN.....	20
4. MARCO TEORICO	22
4.1 MARCO TEORICO	22
4.1.1 ¿Qué es un sistema automatizado?	22
4.1.1.1 Objetivos de la automatización	23
4.1.2 Controlador Lógico Programable (PLC).....	23
4.1.3 Cilindro neumático.	25
4.1.3.1 Funcionamiento	25
4.1.4 Electroválvula.....	26
4.1.5 Pistón.....	26
4.1.6 Materiales.	27
4.1.6.1 Aluminio	28
4.1.6.2 Acero inoxidable	28
4.2 ¿QUÉ ES LA PROGRAMACIÓN?	30
5. OBJETIVOS.....	32
5.1 OBJETIVO GENERAL	32
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	32
6. ACTIVIDADES DESARROLLADAS.....	33
6.1 VISITA INICIAL.....	34
6.2 RECOLECCIÓN DE DATOS	37
6.3 CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES.....	38
6.3.1 Clasificación de la información.....	38
6.3.2 Variables inmersas en el proceso.	43

6.4 DESARROLLO PROPUESTA DE MEJORA.....	45
6.5 APLICACIÓN DE AJUSTES	46
6.6 PRUEBAS EN LA MÁQUINA ENVASADORA CON LOS AJUSTES.....	47
6.7 NORMATIVIDAD ORIENTADA AL MANEJO DE MÁQUINAS.	48
6.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	51
6.9 RECOMENDACIONES PARA EL USO DE LA MÁQUINA.	57
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFIA.....	62
ANEXOS.....	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dibujo del proceso.	18
Figura 2. Controlador Lógico Programable (PLC).....	24
Figura 3. Cilindro neumático.	26
Figura 4. Partes del sistema de drenaje.	35
Figura 5. Caja de borneras de la máquina envasadora.	36
Figura 6. Observaciones de tiempo sin mejora.....	38
Figura 7. Resultados prueba T para medias relacionadas.....	40
Figura 8. Análisis de resultados prueba t-student.....	42
Figura 9. Diagrama causa efecto.	44
Figura 10. Ensamble pistón.	46
Figura 11. Montaje de anillos.....	47
Figura 12. Prueba t-student con de ajustes.	52
Figura 13. Análisis prueba t-student después de ajustes.....	54
Figura 14. Prueba t-student antes y después de los ajustes.....	56

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Variables inmersas en el proceso.	43
Tabla 2. Mejoras.	45
Tabla 3. Análisis de resultados.	54
Tabla 4. Condiciones iniciales.	58
Tabla 5. Presiones de entrada.	59

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. P_ID de la máquina envasadora.	65
Anexo B. Manual de operaciones de la máquina envasadora.	CD
Anexo C. Repertorio de recomendaciones prácticas sobre seguridad en la utilización de la maquinaria.....	CD
Anexo D. Factura de compra de pistón.....	CD

GLOSARIO

- **Abrazadera:** Pieza que se utiliza para sujetar alguna cosa.¹
- **Vástago:** Varilla, barra que transmite movimiento a algún mecanismo.²
- **ControlLogix:** El sistema ControlLogix ofrece unidades discretas, movimiento, de proceso y de control de seguridad junto con la comunicación y el estado de la técnica de E / S en un pequeño paquete de costo competitivo. El sistema es modular, por lo que puede diseñar, construir y modificar de manera eficiente - con un ahorro significativo en la formación y la ingeniería.³
- **Buje:** Pieza metálica cilíndrica que se coloca en ciertas piezas de maquinarias para cubrirlas del rose interior del eje.⁴
- **Guía:** Pieza o cuerda que en las máquinas y otros aparatos sirve para dirigir el movimiento.⁵
- **Fricción:** Roce de dos cuerpos en contacto.⁶
- **Servomotores:** Sistema electromecánico que amplifica la potencia reguladora.⁷
- **Electroválvula:** Válvula accionada por un electroimán, que regula un circuito hidráulico o neumático.⁸

1 Disponible en web: <http://www.wordreference.com/definicion/abrazadera> [Citado el 21 de febrero de 2012].

2 Disponible en web: <http://www.wordreference.com/definicion/v%C3%A1stago> [Citado el 21 de febrero de 2012].

3 Disponible en web: <http://www.ab.com/en/epub/catalogs/12762/2181376/2416247/360807/360809/> [Citado el 21 de febrero de 2012].

4 Disponible en web: <http://www.wordreference.com/definicion/buje> [Citado el 21 de febrero de 2012].

5 Disponible en web: <http://www.wordreference.com/definicion/gu%C3%ADa> [Citado el 21 de febrero de 2012].

6 Disponible en web: <http://www.wordreference.com/definicion/fricci%C3%B3n> [Citado el 21 de febrero de 2012].

7 Disponible en web: http://buscon.rae.es/drael/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=servomotor [Citado el 21 de febrero de 2012].

RESUMEN

TÍTULO: OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ENVASADO DE MIEL EN UNA MAQUINA DISEÑADA EN LA UPB.

AUTOR: ALVARO ENRIQUE NIÑO SUÁREZ

FACULTAD: INGENIERÍA INDUSTRIAL

DIRECTORES: ING. ORLANDO FEDERICO GONZÁLEZ

ING. JUAN CARLOS VILLAMIZAR

El proyecto de grado se desarrolló en el segundo semestre del año 2012, y se evaluó el comportamiento de una máquina envasadora, realizando pruebas que permitieron tener observaciones de tiempo de proceso para realizar el análisis estadístico que ayude a identificar las variables que presentan incidencia en el proceso de envasado.

El objetivo general de este proyecto es mejorar el funcionamiento de la máquina envasadora, esto se da de la corrección de los problemas encontrados luego del análisis de las observaciones obtenidas.

La aplicación de las mejoras propuestas a la máquina envasadora da una mejora importante en el proceso, ya que se logró reducir en más del 50% el tiempo de proceso.

⁸Disponible en web: http://buscon.rae.es/draef/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=electrov%E1lvula[Citado el 21 de febrero de 2012].

ABSTRACT

TITLE: PACKAGING PROCESS OPTIMIZATION OF HONEY IN A MACHINE DESIGNED AT THE UPB.

AUTHOR: ALVARO ENRIQUE SUAREZ CHILD

FACULTY: ENGINEERING INDUSTRIAL

DIRECTORS: ING. ORLANDO GONZALEZ FEDERICO

ING. JUAN CARLOS VILLAMIZAR

The graduation project was developed in the second half of 2012, and assessed the behavior of a packaging machine, performing tests that have allowed processing time observations for statistical analysis to help identify the variables that impact on the packaging process.

The overall objective of this project is to improve the functioning of the packaging machine, this gives the correction of problems found after the analysis of observations obtained.

The application of the proposed improvements to the packaging machine provides an important improvement in the process, since it was reduced by over 50% the process time.

INTRODUCCIÓN

La automatización logra la estandarización de los procesos de fabricación en las empresas, con respecto a los tiempos de operación y cumplimiento de los estándares de calidad del producto terminado, además, se mejora la calidad de vida de los seres humanos, dando la oportunidad de que trabajen en operaciones relacionadas con la supervisión y acompañamiento de los procesos.

La finalidad de este proyecto es lograr el mejoramiento del proceso de automatización en una máquina envasadora, esta mejora se realiza con base en el análisis estadístico de tiempos de operación de la máquina y en observaciones del diseño físico del proceso desde el punto de vista de la ingeniería industrial.

Para lograr el mejoramiento lo ideal es obtener una muestra de 39 botellas, la cual se calculó como muestra representativa, sin embargo, la máquina envasadora antes de los ajustes no podía realizar un proceso de más de 30 botellas llenadas, en estas condiciones se decidió trabajar con dos muestras llamadas premuestra y muestra, cada una de 24 observaciones de tiempo de proceso.

El análisis estadístico de la premuestra y la muestra se realizó una prueba hipótesis para la media, y se aplicó la prueba estadística t-student para muestras relacionadas en el software SPSS, en esta prueba se evidenció la alta correlación entre la premuestra y la muestra, debido a que las dos siguen una tendencia marcada por una variable crítica del proceso la fricción.

Durante la toma de las muestras se hicieron evidentes fallas en el proceso, por lo tanto se realizó un diagrama causa efecto con el fin de identificar las posibles causas de dichas fallas. En seguida, se propuso una acción de mejora para las causas encontradas, aplicadas las mejoras sobre la máquina envasadora, se

realizaron dos muestras, muestra 1 y muestra 2.

Se realizó el análisis estadístico de muestra 1 y muestra 2 de la misma manera que para las muestras iniciales premuestra y muestra, con el fin de evaluar la efectividad de las mejoras realizadas, se obtuvo una correlación más baja lo cual indica que se solucionó el problema de fricción, también se redujo la presión de entrada mínima a la mitad y el tiempo promedio de proceso se redujo en un 59.2%. Además, la máquina envasadora puede realizar el proceso para más de 40 botellas seguidas.

1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Esta es una investigación exploratoria, descriptiva y experimental, la cual se basa en el uso de herramientas estadísticas para determinar la efectividad de una máquina envasadora de miel ubicada en el laboratorio de automatización, en la Universidad Pontificia Bolivariana (Seccional Bucaramanga).

Esta máquina fue elaborada como proyecto de grado de los ingenieros electrónicos, Pedro Emmanuel Plata León y Liliana Margarita Rodríguez Torres, la finalidad del proyecto consiste en optimizar el uso a las electroválvulas y los cilindros, con el propósito de disminuir el margen de error en el llenado de las botellas y hacer una buena programación del Controlador Lógico Programable (PLC)⁹.

El problema encontrado en la máquina es que a pesar de las mejoras en el proceso de envasado, con respecto al mismo proceso realizado en forma manual, no se evidencia un funcionamiento óptimo en el proceso de envasado de miel razón por la cual sólo se tiene en cuenta la caída de la miel y el llenado de la botella.

Desde el punto de vista de la ingeniería industrial, se debe estudiar el proceso de llenado con el propósito de definir los factores críticos que afectan el proceso de envasado y proceder con la construcción de un diagnóstico para identificar las variables críticas que inciden en el desempeño óptimo del proceso.

Seguidamente, con base en los conceptos de la estadística y procesos de automatización, se diseñará una propuesta de solución para mejorar la eficiencia del sistema de envasado de miel.

⁹ Información basada en: PLATA LEÓN, Pedro. RODRÍGUES TORRES, Liliana. Envasadora de miel usando plc. Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías. Facultad de ingeniería electrónica, 2010.

2. ANTECEDENTES

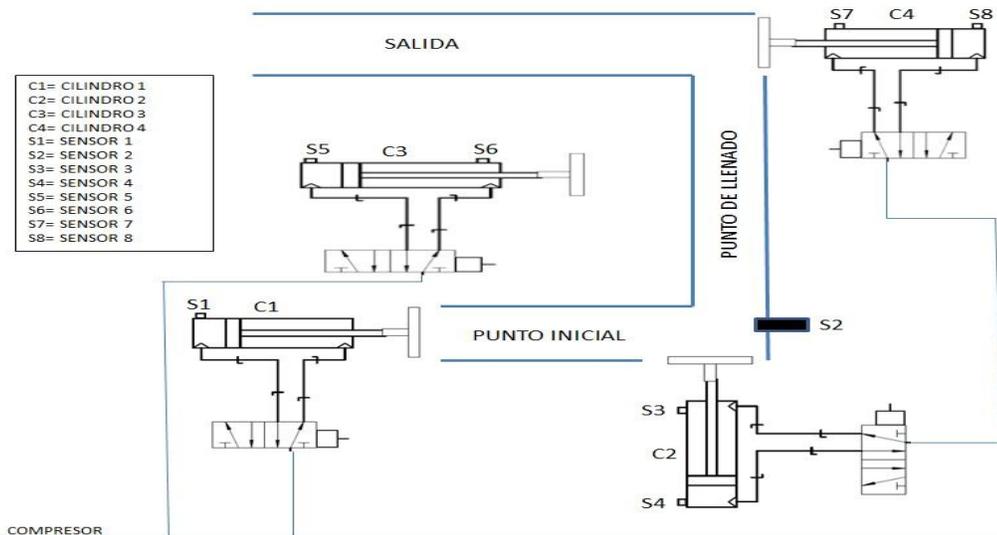
La máquina envasadora de miel es un prototipo creado en el 2010¹⁰, y en este tiempo no se han realizado estudios relacionados con el mejoramiento del proceso de operación en la máquina; por lo tanto, el mejor antecedente para este trabajo es el trabajo de grado presentado por los ingenieros Pedro Plata y Liliana Rodríguez creadores de esta máquina envasadora.

La ejecución de este proyecto generó como resultado una máquina envasadora manipulada por un Controlador Lógico Programable (PLC), el cual controla el sistema conformado por cuatro cilindros de doble efecto, cada uno con una electroválvula 4/2, 7 sensores magnéticos y 1 sensor capacitivo. El proceso consiste en el transporte de botellas PET de capacidad 375 cc desde la parte inicial donde las botellas son puestas de forma manual, por medio del cilindro 1 (C1), hasta que la botella sea percibida por el sensor capacitivo (S2), el cual activa el cilindro 2 (C2) quien trasporta la botella hasta el punto de llenado. El recorrido está delimitado por el sensor magnético 3 (S3), el cual detiene C2 en el punto de llenado y activa el cilindro 3 (C3) quien vacía la miel en la botella, el nivel de llenado está delimitado por el sensor magnético 6 (S6), quien detiene C3 y activa el cilindro 4 (C4) el cual trasporta la botella hasta la salida, lo que podría ser un proceso posterior como tapado o etiquetado. Ver Figura 1.

El diseño y construcción de la máquina fue de forma modular ya que el módulo de desplazamiento se diseñó conveniente a la forma de la botella, Además, la forma modular garantiza su fácil entendimiento y hace que se requiriera el mínimo esfuerzo al momento de realizar mantenimiento. Se utilizaron abrazaderas para asegurar los sensores magnéticos sobre los cilindros neumáticos.

¹⁰ PLATA LEÓN, Pedro. RODRÍGUES TORRES, Liliana. Envasadora de miel usando plc. Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías. Facultad de ingeniería electrónica, 2010.

Figura 1. Dibujo del proceso.



Fuente: Elaboración propia.

Estos sensores son los encargados de controlar la carrera de los vástagos y, en el caso específico del cilindro dosificador regulan el volumen del producto envasado en cada botella. Se utilizó un PLC (Controlador Lógico Programable) TWIDO cuyo software es de versión gratuita, y tiene 24 entradas y 16 salidas suficientes para abarcar las que necesita el sistema¹¹.

Luego de la creación de esta máquina, los estudiantes Jaime Alfonso Rodríguez Delgado y Viyils Sangregorio Soto, realizaron un proyecto llamado: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL TECNOLOGÍA *ROCKWELL AUTOMATION* EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA¹².

11 PLATA LEÓN, Pedro. RODRÍGUES TORRES, Liliana. Envasadora de miel usando plc. Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías. Facultad de ingeniería electrónica, 2010. 3 p.

12 RODRÍGUES DELGADO, Jaime. SANGREGORIO SOTO, Viyils. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL TECNOLOGÍA *ROCKWELL AUTOMATION* EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA. Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías. Facultad de ingeniería electrónica, 2010.

En este proyecto se implementó el sistema de control implementado *ControlLogix* de la arquitectura integrada de *Allen-Bradley* en el Laboratorio de Automatización de la Universidad Pontificia Bolivariana. *ControlLogix* es una nueva herramienta en infraestructura de laboratorios de ingeniería. Específicamente esta nueva herramienta le proporcionará al estudiante tener la experiencia directa de utilizar equipos que se encuentran originalmente en la industria. El sistema de control cuenta con dos gabinetes adicionales al principal, uno de entradas y salidas remotas y otro en donde está un módulo de control de movimiento para servomotores; la comunicación del gabinete principal a los auxiliares es con un Switch Ethernet¹³.

Con la implementación de este nuevo software, los ingenieros que realizaron el proyecto entregaron la nueva programación de las máquinas que trabajaban con el software anterior (*twido*)¹⁴. Entre esas máquinas está la envasadora de miel y para ésta entregaron un manual de operación para dicha máquina. En este manual también se encontró de forma muy explícita el paso a paso de la programación en el nuevo software del proceso de la máquina¹⁵.

13 Ibid., p20.

14 Basado en: RODRÍGUES DELGADO, Jaime. SANGREGORIO SOTO, Vijils. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL TECNOLOGÍA ROCKWELL AUTOMATION EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA. Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías. Facultad de ingeniería electrónica, 2010.

15 RODRÍGUES DELGADO, Jaime. SANGREGORIO SOTO, Vijils. Manual de operación. Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías. Facultad de ingeniería electrónica, 2010.

3. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, la manufactura se encuentra inmersa en tecnificación de los procesos, lo cual es un factor clave para el surgimiento de una empresa. En Colombia el proceso de envasado de miel se encuentra con poca tecnificación¹⁶.

En Colombia el trabajo de la apicultura es desarrollado por famiempresas, se estima que en el territorio nacional existen 3000 a 3200 apicultores que se encargan de la producción, procesamiento y distribución de la miel, presentando inconvenientes tales como la falta de homogeneidad en los productos y demora en los procesos¹⁷, lo cual genera una necesidad en le mercado.

La creación de la máquina envasadora de miel tiene como finalidad ofrecer una posible solución a esta necesidad presente en esta industria; al momento de poner en operación esta máquina, se encuentran fallas en el proceso con variables influyentes como tiempo y peso, teniendo en cuenta el costo de esta máquina y compararlo con su utilidad actual en la producción, se puede determinar que no sería una buena inversión ya que el proceso presenta errores. Los creadores de la máquina Pedro Plata y Liliana Rodríguez, al percibir las fallas en el proceso, justificaron en su proyecto el beneficio de la máquina limitándola solamente a ser una válvula automática que regula la salida de la miel por acción de un cilindro neumático, tomando solo los tiempos desde el inicio de la caída de miel hasta el llenado de la botella¹⁸.

16 Basado en: LAVERDE RODRÍGUEZ, Jairo. EGEA HERNÁNDEZ, Laura. RODRÍGUEZ ZÁRATE, David. PEÑA ZÁENZ, Jorge. Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de las abejas y la apicultura en Colombia con énfasis en miel de abejas. Universidad Nacional de Colombia. <http://www.minagricultura.gov.co/archivos/cadena_productiva_de_abejas_y_apicultura.pdf

17 Basado en: SALAMANCA GROSSO, Guillermo. Criterios generales asociados a la apicultura colombiana y su estado actual. *Facultad de Ciencias Universidad del Tolima*. <<http://www.noticiasapicolas.com/colombia-actual.htm>. (28 de Julio de 2009).

18 Basado en: PLATA LEÓN, Pedro. RODRÍGUES TORRES, Liliana. Envasadora de miel usando plc. Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías. Facultad de ingeniería electrónica, 2010. 69 p, 70 p, 73 p.

Este proyecto busca proponer acciones de mejora para la óptima operación de la máquina envasadora, desde el punto de vista de la automatización y análisis estadístico, con el propósito de proponer una adecuación del proceso de envasado que justifique la inversión en las empresas productoras de miel.

4. MARCO TEORICO

4.1 MARCO TEORICO

4.1.1 ¿Qué es un sistema automatizado? ¹⁹

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

Parte de Mando

Parte Operativa

La *Parte Operativa* es la parte que 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 accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos, finales de carrera etc.

La *Parte de Mando* suele ser un autómata programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). En un sistema de fabricación automatizado, el autómata programable está en el centro del sistema; éste debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado.

¹⁹ Disponible en [web:http://www.grupo-maser.com/PAG_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA%20PRINCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm](http://www.grupo-maser.com/PAG_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA%20PRINCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm). [Citado el 6 de marzo de 2011].

4.1.1.1 Objetivos de la automatización

Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costos de la producción y mejorando la calidad de la misma.

Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.

Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.

Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.

Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.

4.1.2 Controlador Lógico Programable (PLC).²⁰

El término PLC proviene de las siglas en inglés para Programmable Logic Controller, que traducido al español se entiende como “Controlador Lógico Programable”. Se trata de un equipo electrónico, que, tal como su mismo nombre lo indica, se ha diseñado para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real. Por lo general, es posible encontrar este tipo de equipos en ambientes industriales.

Para que un PLC logre cumplir con su función de controlar, es necesario programarlo con cierta información acerca de los procesos que se quiere secuenciar. Esta información es recibida por captadores, que gracias al programa lógico interno, logran implementarla a través de los accionadores de la instalación.

Un PLC es un equipo comúnmente utilizado en maquinarias industriales de fabricación de plástico, en máquinas de embalajes, entre otras; en fin, son posibles de encontrar en todas aquellas maquinarias que necesitan controlar procesos secuenciales, así como también, en aquellas que realizan maniobras de instalación, señalización y control.

²⁰Disponible en web:<http://www.misrespuestas.com/que-es-un-plc.html>. [Citado el 6 de marzo de 2011].

Dentro de las funciones que un PLC puede cumplir se encuentran operaciones como las de detección y de mando, en las que se elaboran y envían datos de acción a los preaccionadores y accionadores. Además cumplen la importante función de programación, pudiendo introducir, crear y modificar las aplicaciones del programa.

Dentro de las ventajas que estos equipos poseen se encuentra que, gracias a ellos, es posible ahorrar tiempo en la elaboración de proyectos, pudiendo realizar modificaciones sin costos adicionales. Por otra parte, son de tamaño reducido y mantenimiento de bajo costo, además permiten ahorrar dinero en mano de obra y la posibilidad de controlar más de una máquina con el mismo equipo. Sin embargo, y como sucede en todos los casos, los controladores lógicos programables, o PLCs, presentan ciertas desventajas como es la necesidad de contar con técnicos calificados y adiestrados específicamente para ocuparse de su buen funcionamiento.

Figura 2. Controlador Lógico Programable (PLC).



Fuente: http://maleonhe.blogspot.com/2010_05_01_archive.html

4.1.3 Cilindro neumático.²¹

Son dispositivos motrices en equipos neumáticos que transforman energía estática del aire a presión, haciendo avances o retrocesos en una dirección rectilínea. Se utilizan ampliamente en el campo de la automatización para el desplazamiento, alimentación o elevación de materiales o elementos de las mismas máquinas.

4.1.3.1 Funcionamiento

Son dispositivos motrices en equipos neumáticos que transforman energía estática del aire a presión, haciendo avances o retrocesos en una dirección rectilínea. Se utilizan ampliamente en el campo de la automatización para el desplazamiento, alimentación o elevación de materiales o elementos de las mismas máquinas.

Se tiene que tener algunas consideraciones al momento de elegir el cilindro adecuado para la aplicación a realizar. Algunas de ellas son:

- La fuerza necesaria a ser aplicada
- El principio de operación (simple /doble efecto)
- La longitud del desplazamiento
- El diámetro del émbolo
- La velocidad del movimiento
- Consumo de aire
- Tipo de vástago para acoplado mecánicamente
- Temperaturas de trabajo

La diferencia entre los cilindros de simple efecto y los de doble efecto, radica en que los primeros solamente pueden producir fuerza en una sola dirección mediante presión de aire en alguna de las cámaras internas, y su retorno es debido a un muelle o por aplicación de fuerza externa al liberar la presión de aire. Los de doble efecto realizan trabajo en los dos sentidos ya que cuentan con dos

²¹Disponible en web:<http://www.sergiosedas.com/imt/2008/10/03/cilindros-neumaticos/>. [Citado el 6 de marzo de 2011].

entradas de aire a presión y dos válvulas de escape posicionadas en los dos extremos del cilindro.

Figura 3. Cilindro neumático.



Fuente: <http://automatastr.galeon.com/a-actuador.htm>

4.1.4 Electroválvula.²²

Una electroválvula es la combinación de dos partes fundamentales, un solenoide (bobina) y un cuerpo de válvula con 2 o 3 vías que sirve para abrir o cerrar el paso de un fluido a través de una señal eléctrica.

4.1.5 Pistón.²³

El pistón es un cilindro abierto por su base inferior, cerrado en la superior y sujeto a la biela en su parte intermedia. El movimiento del pistón es hacia arriba y abajo en el interior del cilindro, comprime la mezcla, transmite la presión de combustión al cigüeñal a través de la biela, fuerza la salida de los gases resultantes de la combustión en la carrera de escape y produce un vacío en el cilindro que “aspira” la mezcla en la carrera de aspiración.

²²Disponible en web:http://www.sfcalegacion.com/pdfcatalogos/DIVISION_5%20electrovalvulas%20ceme.pdf. [Citado el 6 de marzo de 2011].

²³Disponible en web:<http://www.automotriz.net/tecnica/pistones.html> [Citado el 21 de febrero de 2012].

El pistón, que a primera vista puede parecer de las piezas más simples, ha sido y es una de las que ha obligado a un mayor estudio. Debe ser ligero, de forma que sean mínimas las cargas de inercia, pero a su vez debe ser lo suficientemente rígido y resistente para soportar el calor y la presión desarrollados en el interior de la cámara de combustión.

Los pistones de los motores actuales usan como elemento principal el aluminio, por ser un metal con amplias cualidades.

En la fabricación de los pistones, al aluminio se le agregan otros elementos para obtener formulas adecuadas que proporcionan las características particulares necesarias según el tipo y aplicación del motor.

4.1.6 Materiales.

Para la fabricación de maquinaria para la manipulación de alimentos se debe tener en cuenta el tipo de materiales a usar, ya que estos no deben alterar las condiciones del producto. En este proyecto se cambio el embolo de la válvula del sistema de drenaje, esta pieza esta en contacto constante con el producto, por lo cual el material ideal para el embolo es el acero inoxidable, pero por razones de costos y teniendo en cuenta que la máquina envasadora es un prototipo se adquirió un embolo de aluminio que se consiguió en el mercado y a bajo costo.

4.1.6.1 Aluminio. ²⁴

Elemento químico metálico, de símbolo Al, número atómico 13, peso atómico 26.9815, que pertenece al grupo IIIA del sistema periódico. El aluminio puro es blando y tiene poca resistencia mecánica, pero puede formar aleaciones con otros elementos para aumentar su resistencia y adquirir varias propiedades útiles.

²⁴Disponible en web:<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm>[Citado el 21 de febrero de 2012].

El Aluminio es uno de los metales más ampliamente usados y también uno de los más frecuentemente encontrados en los compuestos de la corteza terrestre. Debido a este hecho, el aluminio es comúnmente conocido como un compuesto inocente. Pero todavía, cuando uno es expuesto a altas concentraciones, este puede causar problemas de salud. La forma soluble en agua del Aluminio causa efectos perjudiciales, estas partículas son llamadas iones. Son usualmente encontradas en soluciones de Aluminio combinadas con otros iones, por ejemplo cloruro de Aluminio.

La toma de Aluminio puede tener lugar a través de la comida, respirarlo y por contacto en la piel. La toma de concentraciones significantes de Aluminio puede causar un efecto serio en la salud como:

- Daño al sistema nervioso central
- Demencia
- Pérdida de la memoria
- Apatía
- Temblores severos

El Aluminio es un riesgo para ciertos ambientes de trabajo, como son las minas, donde se puede encontrar en el agua. La gente que trabaja en fábricas donde el Aluminio es aplicado durante el proceso de producción puede aumentar los problemas de pulmón cuando ellos respiran el polvo de Aluminio. El Aluminio puede causar problemas en los riñones de los pacientes, cuando entra en el cuerpo durante el proceso de diálisis.

4.1.6.2 Acero inoxidable.²⁵

Los Aceros Inoxidables son una gama de aleaciones que contienen un mínimo de 11% de Cromo. El Cromo forma en la superficie del acero una película pasivante, extremadamente delgada, continua y estable.

²⁵Disponible en web:http://www.utp.edu.co/~publio17/ac_inox.htm[Citado el 21 de febrero de 2012].

Esta película deja la superficie inerte a las reacciones químicas. Esta es la característica principal de resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable.

El extenso rango de propiedades y características secundarias, presentes en los aceros inoxidable hacen de ellos un grupo de aceros muy versátiles.

La selección de los aceros inoxidable puede realizarse de acuerdo con sus características:

- Resistencia a la corrosión y a la oxidación a temperaturas elevadas.
- Propiedades mecánicas del acero
- Características de los procesos de transformación a que será sometido.
- Costo total (reposición y mantenimiento)
- Disponibilidad del acero.

Los aceros inoxidable tienen una resistencia a la corrosión natural que se forma automáticamente, es decir no se adiciona. Tienen una gran resistencia mecánica, de al menos dos veces la del acero al carbono, son resistentes a temperaturas elevadas y a temperaturas criogénicas. Son fáciles de transformar en gran variedad de productos y tiene una apariencia estética, que puede variarse sometiendo el acero a diferentes tratamientos superficiales para obtener acabado a espejo, satinado, coloreado, texturizado, etc. Volver

Los aceros inoxidable ofrecen resistencia a la corrosión, una adecuada relación resistencia mecánica - peso, propiedades higiénicas, resistencia a temperaturas elevadas y criogénicas y valor a largo plazo. Son totalmente reciclables y amigables con el medio ambiente.

Los aceros inoxidable son ampliamente utilizados en varios sectores, desde la más sofisticada aplicación industrial hasta los utensilios domésticos. Contribuyen,

de manera indirecta, a satisfacer las necesidades humanas básicas tales como alimentación, salud, construcción, medio ambiente, transporte y energía.

4.2 ¿QUÉ ES LA PROGRAMACIÓN?²⁶

La programación ha pasado a tener un papel importantísimo en la vida diaria, gracias a ella podemos programar los ordenadores, electrodomésticos, robots y otras maquinas. La programación intenta resolver ciertos problemas que nos surgen todos los días basándose en una metodología.

Un programa de computador es un conjunto de instrucciones ordenes dadas a la maquina que producirán la ejecución de una determinada tarea. A la persona que escribe programas se le denomina Programador, al proceso de escribir programas se denomina Programación.

En informática, la programación es un proceso por el cual se escribe (en un lenguaje de programación), se prueba, se depura y se mantiene el código fuente de un programa informático.

Un programador no solo debe aprender la tarea que realiza cada instrucción sino que además debe saber combinar estas instrucciones para realizar una tarea en particular. Al considerar este problema desde un punto de vista diferente, un programador primero debe resolver el problema paso a paso y luego tratar de encontrar las instrucciones (o series de instrucciones) apropiada que resuelva el problema. La solución paso a paso se conoce como algoritmo. Los algoritmos juegan un papel muy importante en la ciencia de la computación.

²⁶Rodolfo Quispe-Otazu. ¿Que es la Programación?. Blog de Rodolfo Quispe-Otazu [Internet]. Abril 2007. Disponible en: <http://www.rodolfoquispe.org/blog/que-es-la-programacion.php>

En la actualidad no es aceptable escribir un programa que realiza una tarea sin seguir principios y métodos de ingeniería de software para obtener programas confiables.

La programación es una actividad en la que la creatividad juega un papel crucial, por ello un buen programador además de tener una buena formación académica es una persona muy creativa y con una gran capacidad de abstracción, esencial para la resolución de problemas. Los programadores siempre deben tener presente que se enfrentan a una actividad muy compleja y deben desconfiar de los lenguajes, métodos o herramientas que se ofrecen como soluciones mágicas para construir software de forma casi automática y sin apenas esfuerzo, sin dejar lugar a la creatividad. Ellos deben saber, de acuerdo a Brooks, que las tecnologías abordan problemas accidentales. Pero los problemas esenciales pueden ser abordados a través de sólidos principios software. El buen programador debe ser un persona que sabe trabajar en equipo, que conoce la importancia del trabajo metódico, y que no se comporta como un programador compulsivo que se plantea la programación como una batalla a muerte contra la maquina, sin tregua ni cuartel

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Mejorar el funcionamiento de la máquina de envasado de miel, localizada en el laboratorio de automatización de la Universidad Pontificia Bolivariana, a través del análisis estadístico y análisis de proceso de automatización.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el funcionamiento de la máquina antes de iniciar el proceso.
- Definir las variables críticas que inciden en el proceso de envasado.
- Establecer una nueva y óptima localización de los subprocesos inmersos en el proceso de envasado de miel.
- Elaborar una investigación sobre las normas y requerimientos internacionales que rigen la fabricación de maquinaria para manipulación de alimentos.
- Realizar la programación del Controlador Lógico Programable (PLC), de acuerdo con la nueva distribución.
- Desarrollar un análisis estadístico que permita comparar la eficiencia de la máquina encargada de proceso de envasado de miel, antes y después de los ajustes propuestos.

6. ACTIVIDADES DESARROLLADAS

- Actividad 1: Visita inicial donde se identifican posibles problemas sobre los cuales se actuara para evidenciar mejora en el proceso.
- Actividad 2: Proceso de recolección de los datos.
- Actividad 3: Clasificación de la información e identificación de las variables que presentan incidencia.
- Actividad 4: Desarrollo de propuesta de mejora en el proceso teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las pruebas.
- Actividad 5: Aplicación de los ajustes en la máquina.
- Actividad 6: Pruebas y toma de datos en la máquina con las mejoras aplicadas.
- Actividad 7: Investigación sobre las normas y requerimientos internacionales que rigen la fabricación de maquinaria para manipulación de alimentos.
- Actividad 8: Análisis de los resultados obtenidos en las pruebas iniciales realizadas en la maquina sin mejoras y las pruebas finales realizadas en la maquina con las mejoras, determinando si se evidencia la optimización en la máquina.
- Actividad 9: Cierre del proyecto entrega del proyecto, entrega de la máquina y recomendaciones para el uso de la misma.

6.1 VISITA INICIAL.

El objetivo de la visita inicial era evaluar el funcionamiento de la máquina envasadora, que siguiera el proceso de envasado descrito inicialmente en este trabajo y observar el estado físico de la máquina envasadora. Para este propósito se debía poner a funcionar la máquina y llenar algunas botellas, sólo con un fin exploratorio.

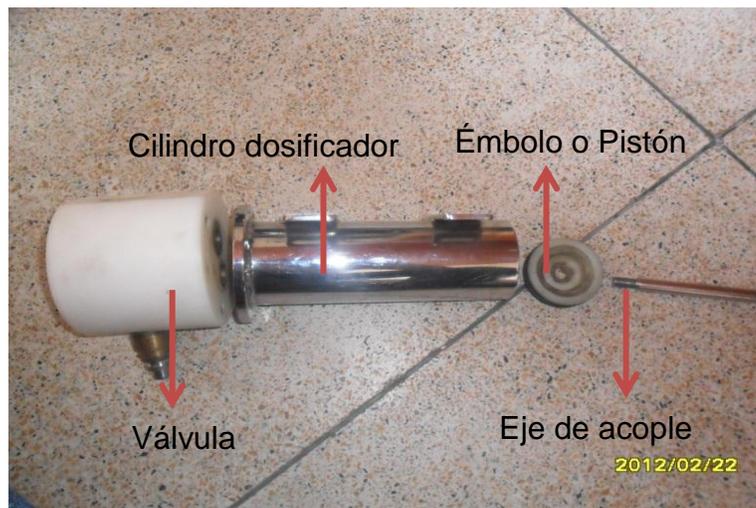
Para comenzar la evaluación se procedió a establecer la comunicación entre el PLC (controlador lógico programable) y la máquina envasadora, luego de establecer la comunicación se realizó la conexión del compresor el cual alimenta el sistema neumático de la envasadora (Ver Anexo 1), luego, sin introducir ningún líquido, se procedió a oprimir el botón de arranque, el proceso inició bien, sin embargo, cuando la botella llegó a sistema de drenaje el la válvula de éste no se movía.

Se aplicó fuerza para ayudarlo a mover pero seguía pegado, entonces se procedió a desarmar el montaje de la válvula, lo cual sirvió para obtener información sobre el sistema de drenaje utilizado en la máquina envasadora e identificar las partes que lo comprenden. (Ver Figura 4)

La razón por la cual el émbolo se pegaba al cilindro de la válvula era el fluido usado por Pedro Plata y Liliana Rodríguez creadores de la máquina, el cual consistía en una mezcla de agua y un espesante químico con lo que se lograba una mezcla de densidad similar a la miel²⁷. Se hacía necesario hacer esta mezcla, pues la máquina es un prototipo y no cuenta con las condiciones necesarias para manejar alimentos. Este fluido al secarse se pegaba.

²⁷ Información adquirida en entrevista telefónica con Pedro Plata creador de la maquina envasadora de miel el 20 de octubre de 2011.

Figura 4. Partes del sistema de drenaje.



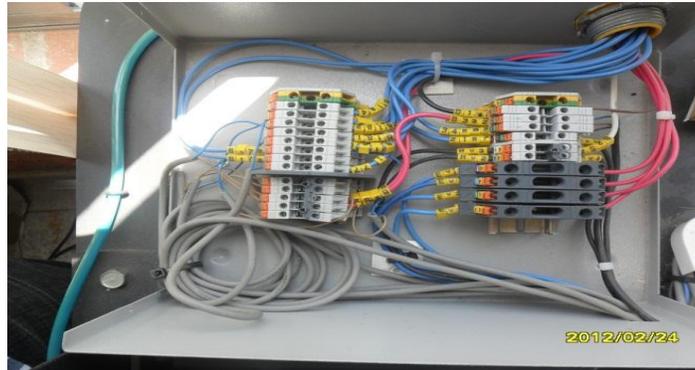
Fuente: Elaboración propia.

Superado este inconveniente y luego de realizar el montaje, se procedió a arrancar la máquina envasadora, esta arrancó pero no seguía el proceso descrito por los creadores de la máquina envasadora en su informe final²⁸, la falla se presentaba en el sensor 6 (S6), este no estaba funcionando y con esto impedía la continuación del proceso tal como se describe en los antecedentes de este documento. Se revisó la programación del PLC (Controlador Lógico Programable) y todo estaba en orden según la programación descrita en el manual de operaciones de la máquina (Ver Anexo 2).

Se continuó en la búsqueda del error ahora en el gabinete de las borneras, y se descubrió una conexión errónea, había unos cables cruzados y uno de esos alimentaba el sensor S6, se corrigió la conexión errónea.

²⁸ PLATA LEÓN, Pedro. RODRÍGUES TORRES, Liliana. Envasadora de miel usando plc. Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías. Facultad de ingeniería electrónica, 2010. 67 p.

Figura 5. Caja de borneras de la máquina envasadora.



Fuente: Elaboración propia.

Nuevamente se procedió a arrancar la máquina, se hizo una prueba sin ningún fluido para verificar el proceso de la máquina envasadora y se encontró un error en el sistema de transporte, las botellas se salían de su curso y para evitar esto se hacía necesario acompañar la botella durante el transporte hacia la boquilla de envasado, sin embargo, se logró realizar el proceso de envasado, lo que indica que se podía continuar con la evaluación de la máquina envasadora.

Al iniciar las pruebas con la mezcla indicada por los fabricantes de la máquina envasadora, se encontró que ésta no podía trabajar con un fluido tan denso, por esta razón, se decidió continuar la evaluación y todas las pruebas del proyecto con agua.

Seguidamente, se realizó la evaluación de la máquina envasadora con agua; para poder realizar el proceso de envasado fue necesaria una presión de entrada de 80 psi, se reguló la presión en los cilindros 1, 2, y 4, pero en el cilindro 3 se dejó abierto el paso de la electroválvula - el cilindro 3 es el que acciona la válvula del sistema de drenaje -, el manejo de la presión de 80 psi genera un problema en esta válvula ya que la alta presión genera movimientos bruscos a la salida del cilindro 3 los cuales se transfieren a la salida del fluido, generando desperdicios.

6.2 RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la recolección de datos se hizo primero una premuestra de 28 observaciones del tiempo que le toma a una botella realizar el proceso de envasado, para facilitar la toma de datos y de esta forma hacer más precisa se decidió tomar el tiempo desde el arranque del cilindro C1 de la máquina envasadora hasta la activación del sensor S5, el cual indica que el cilindro C3 esta contraído y da inicio nuevamente al proceso. (Ver Figura 1)

La máquina envasadora aún es un prototipo, por lo tanto, no tiene una producción establecida y como consecuencia, para calcular un número de observaciones de tiempo significativo se hace un muestreo simple, se realizan 28 observaciones de tiempo, de las cuales solo se trabajó con 27 ya que la última observación de 38,9 segundos se descartó por que estaba muy lejos de la media (15,2 segundos) y afectaba el análisis estadístico de la operación de la máquina envasadora. Se calcula la media, la desviación estándar, la varianza y con un nivel de confianza del 90% (teniendo en cuenta el error humano) para obtener un tamaño de muestra de 39 botellas.

Se realizó otro experimento con el propósito de obtener más información del tiempo de operación de la máquina envasadora. Al inicial operación, se debía despegar el émbolo que se encuentra en la válvula de drenado porque el diseño del émbolo no es el apropiado; cuando se repite continuamente la operación este tiende a torcerse y frenar la máquina.

No obstante, al generar la observación número 25, se presenta una falla en el proceso de envasado a raíz de la dilatación térmica, fricción y mal diseño del émbolo. Cuando se presenta esta falla, se requiere un tiempo de espera aproximado de una hora para reiniciar el proceso de envasado. Por lo tanto, para

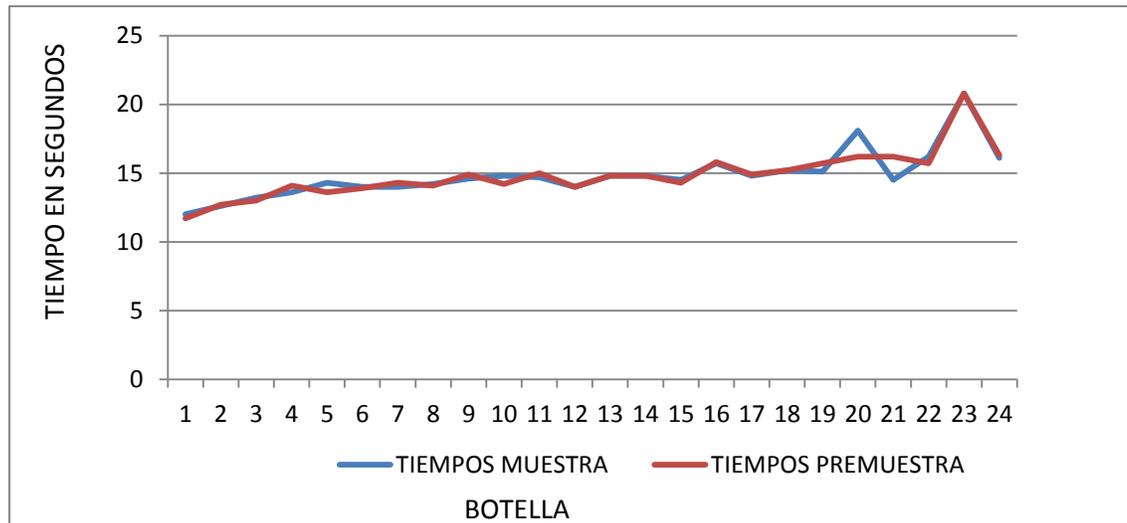
un buen análisis estadístico, se desarrollaron dos experimentos con un tamaño muestral de 24 observaciones cada uno.

6.3 CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES

6.3.1 Clasificación de la información.

A continuación se presentan los datos obtenidos en la muestra y la premuestra.

Figura 6. Observaciones de tiempo sin mejora.



Fuente: Elaboración propia.

Las observaciones de la premuestra y muestra, son datos tomados en la misma máquina y en igualdad de condiciones. No obstante, como es un proceso automatizado se asume la hipótesis de que los tiempos de operación deben ser iguales. (Ver Figura 6)

Los datos obtenidos en las dos muestras presentan un comportamiento similar,

pero se generan altas variaciones del tiempo de operación desde la observación número 20, donde se evidencia un crecimiento lineal del tiempo. Por lo tanto, se establece el siguiente diseño experimental para verificar la igualdad de los tiempos de operación entre la premuestra y muestra:

Se realiza una prueba de hipótesis para la media, ya que se va a trabajar con datos cuantitativos. Esta prueba se realiza de la siguiente manera:

1. Se expresa la hipótesis nula y la hipótesis alterna.

- Hipótesis nula (H_0): Es un planteamiento que se pretende rechazar, contrario a la hipótesis de la investigación; en este caso la hipótesis nula se define como la no existencia de diferencia significativa entre las medias de la premuestra y la muestra.
- Hipótesis alterna (H_1): Es un planteamiento contrario a la hipótesis nula, H_1 es la hipótesis de la investigación, para este caso la hipótesis alterna se define como la existencia de diferencia significativa entre las medias de la premuestra y la muestra.

$$H_0: \mu_p - \mu_m = 0$$

$$H_1: \mu_p - \mu_m \neq 0$$

Donde:

→ μ_p : Media de la premuestra.

→ μ_m : Media de la muestra.

2. Selección del nivel de significancia.

El nivel de significancia es la probabilidad de rechazar la H_0 cuando es verdadera, se denota α .

Para esta prueba se tiene un nivel de significancia de $\alpha=5\%$, por lo tanto se cuenta con un nivel de confianza $(1 - \alpha)$ del 95%

3. Se determina la prueba estadística.

Para este caso se trabajó las observaciones mediante una prueba t-student para muestras relacionadas, esta prueba estadística se exige dependencia entre ambas, en las que hay dos momentos uno antes y otro después. Con ello se da a entender que en el primer período, las observaciones servirán de control o testigo, para conocer los cambios que se susciten después de alterar una variable experimental, la fricción.

La prueba t-student para muestras relacionadas se realizó en el software SPSS y se obtuvieron los siguientes resultados. (Ver Figura 7)

Figura 7. Resultados prueba T para medias relacionadas.

➔ **Prueba T**

[Conjunto_de_datos0]

Estadísticos de muestras relacionadas

		Media	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1	PREMUESTRA	14,8417	24	1,70623	,34828
	MUESTRA	14,8583	24	1,75646	,35854

Correlaciones de muestras relacionadas

		N	Correlación	Sig.
Par 1	PREMUESTRA y MUESTRA	24	,937	,000

Prueba de muestras relacionadas

		Diferencias relacionadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior				Superior
Par 1	PREMUESTRA - MUESTRA	-,01667	,61621	,12578	-,27687	,24353	-,133	23	,896

Fuente: Elaboración propia.

En la primera tabla, Estadísticos de muestras relacionadas, se encuentran datos de cada muestra como la media, el número de observaciones (N), la desviación típica y el error típico de la media.

La segunda tabla, Correlación de muestras relacionadas contiene el número de

observaciones (N), la correlación entre las dos muestras analizadas y la probabilidad condicional que exista una relación tan fuerte como la observada en los datos (Sig.).

La tercera tabla, Pruebas de muestras relacionadas contiene los resultados para las diferencias emparejadas tales como la diferencia entre las medias, la desviación típica, el error típico de la media, los límites del intervalo de confianza, t que es el límite inferior de la región de rechazo, el superior es el mismo número pero con signo contrario, los grados de libertad y la probabilidad de tener un resultado tan extremo como el observado.

4. Determinar si la prueba estadística está en la zona de rechazo o no rechazo.

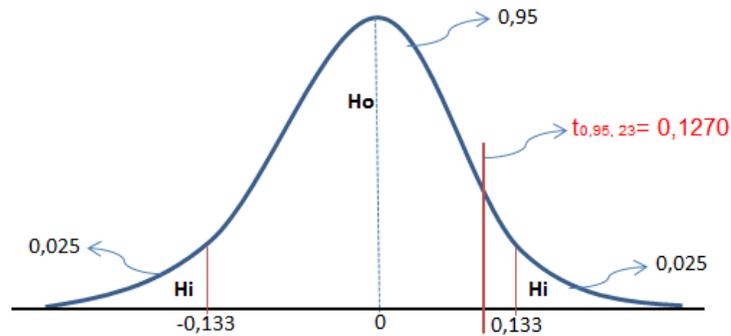
Se obtienen los límites de la prueba, en la Figura 7 encontramos el límite inferior $t = -0.133$, entonces el límite superior es el mismo número pero con signo contrario, debido a la simetría de la distribución t-student. Para calcular el valor de la t-student considerando la hipótesis nula, se aplica la siguiente expresión:

$$t = \frac{\bar{x} - m}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

Se halla $t_0 = \frac{d\mu}{\theta}$ entonces $t_{0,95, 23} = 0,1270$

Se hace la Figura 8 para el desarrollo de la contrastación de las hipótesis estadísticas.

Figura 8. Análisis de resultados prueba t-student.



Fuente: Elaboración propia.

Se ubica el valor de la t-student con una significancia del 5% y con 23 grados de libertad en el diagrama de la distribución, con el propósito de representar la región de rechazo (Ver Figura 8), encontramos que el valor de la t-student se encuentra en la zona de aceptación de la H_0 , por lo tanto no se encontraron diferencias significativas entre las medias del tiempo de proceso obtenidas de las observaciones.

Mediante el análisis de la prueba T para muestras relacionadas se determinó que no hay diferencias significativas entre medias, sin embargo y como ya había sido mencionado esta máquina envasadora por ser un sistema automatizado no debería presentar dispersión significativa entre las observaciones de una o más muestras sin importar su tamaño, si se observa la desviación típica es de 0.6162, lo que indica un gran número de observaciones alejadas de la media, aun con esta dispersión de las observaciones se encuentra una correlación entre las dos muestras de 93,7%, la cual es muy alta pues las observaciones de tiempo están siguiendo una tendencia marcada por una variable incidente, la presión. Además

en el proceso de recolección de datos se determinaron otras fallas que fueron evidentes a simple vista:

- La boquilla usada para el vaciado del fluido no es adecuada y genera desperdicio.
- El sistema de transporte no es eficiente, para cumplir el proceso se debe sujetar constantemente la botella.

6.3.2 Variables inmersas en el proceso.

Se encontró la presión, el tiempo y la velocidad como variables que afectan el proceso.

Tabla 1. Variables inmersas en el proceso.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	INCIDENCIA	CONSECUENCIAS
Presión	Fuerza dada por el aire que ingresa al sistema. Se puede controlar el nivel de presión a través de electroválvulas.	Las variaciones en la presión de entrada al sistema afectan el desempeño de la máquina. En esta máquina se debe trabajar con 80 psi de entrada ya que en el sistema de drenaje el cilindro dosificador presenta mucha fricción debido a que el émbolo es de acrílico material inadecuado para este tipo de elemento.	La excesiva presión hace que las mangueras conductoras se revienten, también hace que los cilindros tengan movimientos iniciales bruscos lo cual genera errores en la máquina; en el sistema de transporte hace que las botellas se caigan y en el sistema de drenaje hace que el fluido salga con mucha fuerza y se genere desperdicio.
Tiempo	Magnitud física con la que se mide la duración de un acontecimiento.	El tiempo sirve para determinar lo que demora una botella en el proceso de envasado.	Cuanto menos tiempo demore una botella en el proceso de envasado, más capacidad de producción tiene la máquina.
Velocidad	Rapidez con la que se realice el movimiento de los cilindros.	La velocidad que lleve una botella puede generar consecuencias en el proceso.	Si la velocidad de la botella es excesiva se puede hacer caer una botella y por ende desperdiciar el fluido.

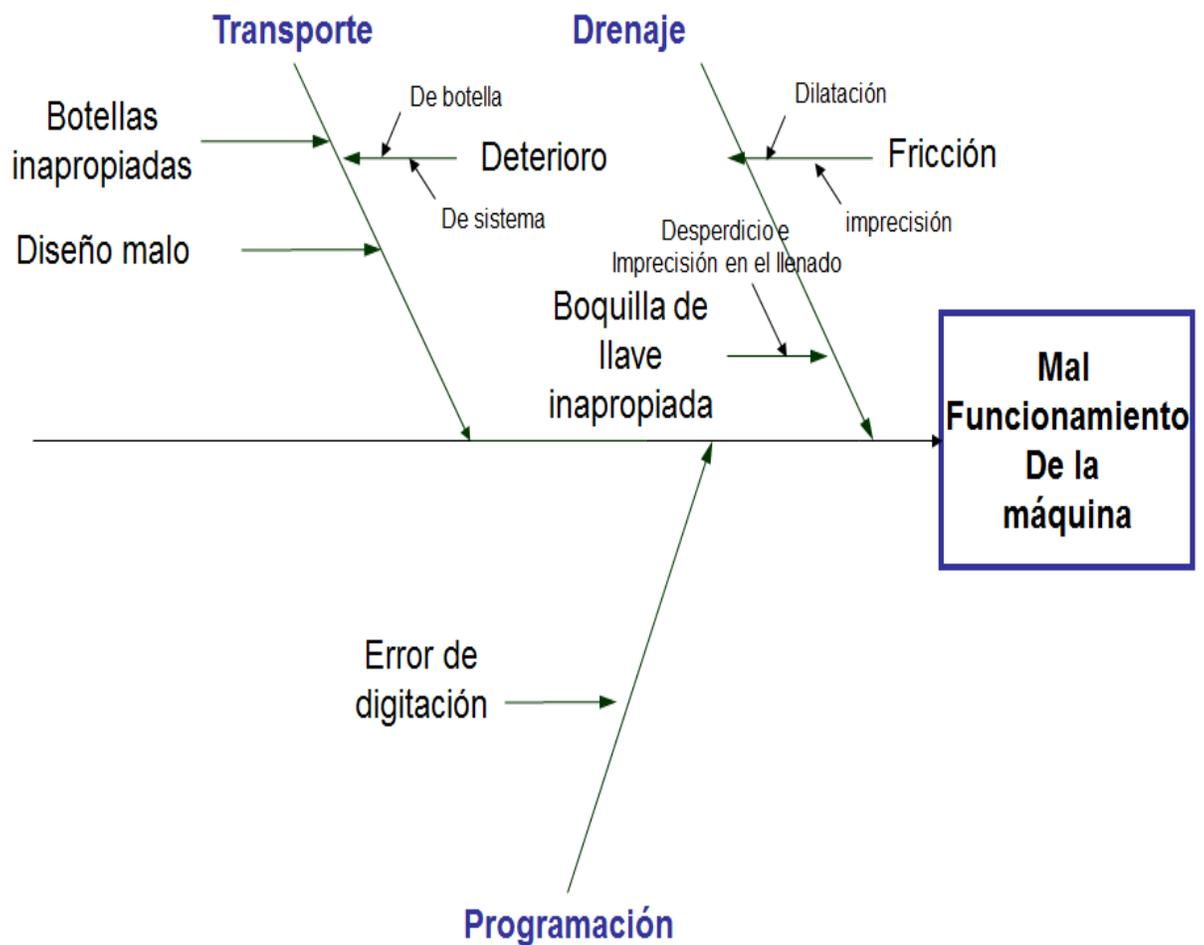
Fuente: Elaboración propia.

Para facilitar el estudio del problema se realizó un diagrama causa efecto, con el fin de facilitar la relación de lo problemas encontrados con sus posibles causas.

(Ver Figura 9)

Figura 9. Diagrama causa efecto.

Causas del mal funcionamiento de la máquina



Fuente: Elaboración propia.

6.4 DESARROLLO PROPUESTA DE MEJORA.

Tabla 2. Mejoras.

PROBLEMA	DESCRIPCIÓN	CAUSA	SOLUCIÓN
Exceso de presión de entrada.	En la válvula del sistema de drenaje se presenta mucha fricción, entonces se necesita una presión excesiva de entrada (80psi) para superar esta fricción.	La fricción se genera por una fuerza de rozamiento que hay entre el cilindro y el émbolo o pistón de la válvula, esta fuerza de rozamiento es alta debido al material usado para esta pieza el cual no cuenta con las propiedades físicas para que la fricción sea mínima.	El material ideal para la fabricación de pistones es el acero inoxidable, por que es el metal ideal para la manipulación de alimentos, entonces se debe cambiar el pistón actual por uno de acero inoxidable, pero por razones de costos se debe adquirir uno en aluminio de un motor de combustión que se consiga en el mercado y cuyo diámetro no supere el diámetro del cilindro, luego rectificar el cilindro con un torno. Además el pistón de un motor de combustión tiene otra característica y son los anillos, que impiden la salida del fluido y el paso del lubricante.
Transporte	Hay tres cilindros en el sistema de transporte los cuales empujan las botellas durante todo el proceso, pero cuando se encaminan hacia el llenado las botellas se salen de su curso y para poder realizar el proceso se hace necesario sujetar la botella constantemente.	Un diseño inapropiado o incompleto del sistema de transporte.	Realizar una guía que acompañe la botella en todo el trayecto del cilindro, esta guía debe impedir que la botella se salga de su curso.

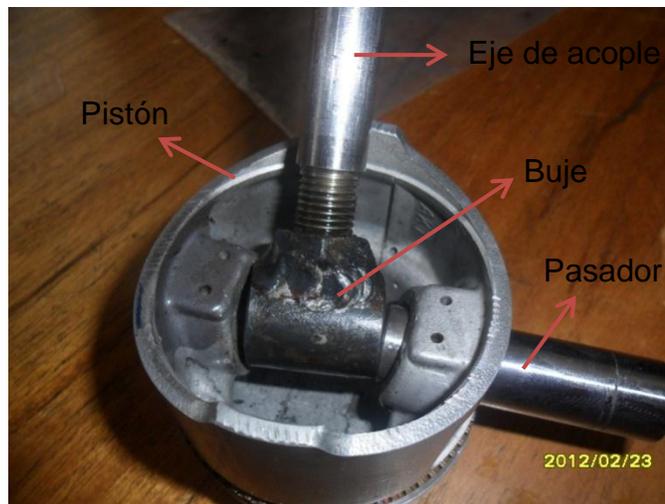
Fuente: Elaboración propia.

6.5 APLICACIÓN DE AJUSTES

Para la aplicación de ajustes fue necesario desmontar todo el sistema de drenado y llevar el cilindro dosificador (ver Figura 4), para hacer la respectiva compra del pistón de aluminio, se logró conseguir un pistón de una moto de cilindrada 200cc y referencia AKT 200 sm (Ver Anexo 4).

Para el montaje del pistón fue necesario realizar una adaptación que permitiera unir el pistón con el eje de acople entre el cilindro dosificador y el cilindro neumático C3, se creó dicha pieza soldando una tuerca a un buje que se colocaría dentro del pistón y con un diámetro superior al del pasador del pistón, así al introducir el pasador dentro del pistón el buje quedará unido a este. (Ver Figura 10)

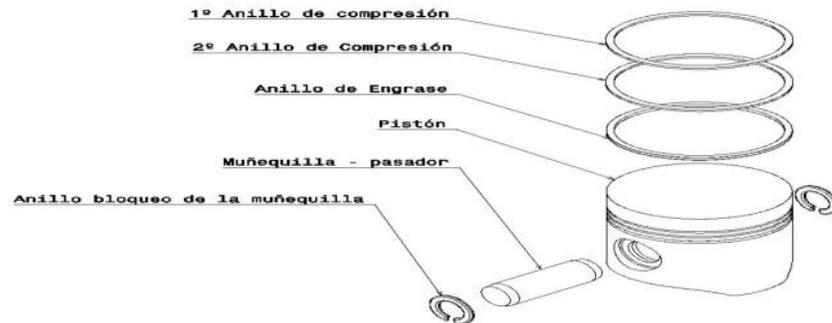
Figura 10. Ensamble pistón.



Fuente: Elaboración propia.

Ya con el buje montado en el pistón se continuó con el montaje del pistón en el cilindro, para esto primero se colocaron los anillos del pistón, tal como se observa en la Figura 11.

Figura 11. Montaje de anillos.



Fuente: <http://delineacionindustrial.wordpress.com/2011/11/23/disenio-de-un-motor-de-4-tiempos-y-2-700-c-c-parte-ii-componentes-del-bloque-del-motor/>

Luego de montar los anillos en el pistón se introdujo el pistón en el cilindro, después se montó todo el sistema de drenaje en la máquina envasadora, para el problema de transporte se instaló una guía hecha de madera en la parte lateral de la base de desplazamiento donde el segundo cilindro transporta la botella. Las mejoras realizadas en la máquina envasadora estuvieron restringidas por razones de presupuesto, por esta razón no se modificó la estructura de la máquina ni los subprocesos, como se había indicado en los objetivos del proyecto, de igual forma al no haber cambios en el proceso no se hizo necesario realizar programación del Controlador Lógico Programable (PLC).

6.6 PRUEBAS EN LA MÁQUINA ENVASADORA CON LOS AJUSTES.

Las pruebas en la máquina envasadora, después de los ajustes, se iniciaron sin ningún fluido y se observó la efectividad de la guía que se instaló, y lo más interesante es que la máquina envasadora trabajaba a una presión de entrada de 40 psi, después se hizo otra prueba de funcionamiento con agua y la máquina trabajó a 40 psi de presión de entrada y se lograron llenar en esta prueba 50 botellas, todas con un nivel de llenado homogéneo entre ellas.

Luego de las pruebas iniciales se procedió a tomar muestras de tiempo en la máquina envasadora de la misma forma que se hicieron en la máquina antes de los ajustes, con los que se obtuvo 2 muestras cada una de 24 observaciones. Las pruebas transcurrieron con normalidad, donde el valor de la media del tiempo de proceso para las dos muestras fue 6,2 segundos.

6.7 NORMATIVIDAD ORIENTADA AL MANEJO DE MÁQUINAS.

Como resultado de la investigación sobre normas internacionales que rigen la fabricación de maquinaria para manipulación de alimentos, se encontró un compendio de recomendaciones que proporciona orientación acerca de la seguridad en la utilización de la maquinaria en el lugar de trabajo, dicho repertorio fue realizado en Ginebra en el año 2011 por una reunión de expertos de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) Ver anexo 3, el documento esta dividido en dos partes como se presenta a continuación:

Parte 1. Requisitos generales.

1. Disposiciones generales: Encontramos los objetivos del documento, a quienes va dirigido y un glosario de términos necesarios para la correcta interpretación del mismo.

2. Obligaciones, responsabilidades y deberes generales: Encontramos información acerca de los derechos y deberes de proveedores, clientes y de la autoridad:

Funciones y obligaciones de la autoridad competente en la cual debe formular, aplicar y revisar periódicamente una política nacional coherente en materia de seguridad de l uso de la maquinaria.

Responsabilidades generales de los diseñadores y los fabricantes la maquinaria debe estar diseñada para ser inherentemente segura de manera que su utilización no entrañe ningún peligro.

Responsabilidades generales de los proveedores de maquinaria deben asegurarse que la maquinaria suministran cumpla con los requisitos de seguridad del país o del mercado y lleve instrucciones en el idioma o idiomas del país.

Responsabilidades generales de los empleadores deben consignar por escrito sus acuerdos en materia de seguridad en el uso de la maquinaria, como parte general de la política de seguridad y salud en el trabajo.

Derechos y obligaciones de los trabajadores:

Derechos de los trabajadores:

- Tienen derecho a participar en el establecimiento.
- Tienen derecho a obtener información adecuada de los peligros y riesgos asociados a la maquinaria sobre las medidas de control permitente.
- Los trabajadores y sus representantes tienen derecho de solicitar que los empleadores y la autoridad competente realice investigaciones de accidentes.
- Los trabajadores deben tener derecho a evitar sin sufrir por ello consecuencias injustificadas.

Obligaciones de los trabajadores:

- Deben aplicar métodos de trabajos seguros.
- Cooperar con los empleadores para garantizar la seguridad en el uso de la maquinaria.
- Usar y cuidar el EPP, la ropa y protección y las instalaciones que se pongan a su Disposición.

- Participar activamente en la formación en materia de seguridad y salud.

Parte 2. Requisitos técnicos y medidas concretas

3. Declaración general: Tipo de materiales y productos que se puedan usar, iluminación, Diseño de la maquinaria para facilitar, Diseño de la maquina para facilitar su manejo, Ergonomía, puestos de manejo, Asiento.
4. Sistemas de control: Encontramos recomendaciones sobre seguridad y fiabilidad de los sistemas de control, dispositivos de control, arranque, parada, avería de la fuente de alimentación.
5. Protección de la maquina contra riesgos mecánicos: Se presentan recomendaciones para determinar posibles riesgos mecánicos tales como la pérdida de estabilidad, rotura caída de objetos entre otros.
6. Protección de la maquinaria contra otros peligros: Se presentan los posibles peligros a los que puede estar expuesta la maquinaria, tales como incendio, explosión, ruido, vibraciones entre otros.
7. Información: Se especifica la información que debe contener la maquinaria incluye el registro, documentación y declaración de conformidad. También debe contener advertencia sobre los riesgos residuales de la máquina.
8. Medidas complementarias en relación con otros tipos específicos de maquinaria: Encontramos otras medidas de seguridad para el uso de maquinaria portátil.

6.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Se realiza nuevamente una prueba de hipótesis para la media y proporciones, ya que se va a trabajar con datos cuantitativos. Esta prueba se realiza de la siguiente manera:

1. Se expresa la hipótesis nula y la hipótesis alterna.
 - Hipótesis nula (H_0): Es un planteamiento que se pretende rechazar, contrario a la hipótesis de la investigación; en este caso la hipótesis nula se define como la no existencia de diferencia significativa entre las medias de la premuestra y la muestra.
 - Hipótesis alterna (H_i): Es un planteamiento contrario a la hipótesis nula, H_i es la hipótesis de la investigación, para este caso la hipótesis alterna se define como la existencia de diferencia significativa entre las medias de la premuestra y la muestra. Es un planteamiento contrario a la hipótesis nula, H_i es la hipótesis de la investigación, para este caso se presenta como hipótesis alterna que la diferencia entre las medias de la premuestra y la muestra es diferente de cero, es decir, hay diferencia entre las medias.

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_i: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Donde:

➔ μ_1 : Media de la muestra 1.

➔ μ_2 : Media de la muestra 2.

2. Selección del nivel de significancia.

El nivel de significancia es la probabilidad de rechazar la H_0 cuando es verdadera, se denota α .

Para esta prueba se tiene un nivel de significancia de $\alpha=5\%$, por lo tanto se cuenta con un nivel de confianza $(1-\alpha)$ del 95%

3. Se determina la prueba estadística.

Para este caso se trabajaron las observaciones mediante una prueba t-student para muestras relacionadas, esta prueba estadística se exige dependencia entre ambas, en las que hay dos momentos uno antes y otro después. Con ello se da a entender que en el primer período, las observaciones servirán de control o testigo, para conocer los cambios que se susciten después de alterar una variable experimental.

La prueba t-student para muestras relacionadas se realizó en el software SPSS y se obtuvieron los siguientes resultados: (Ver Figura 12)

Figura 12. Prueba t-student con de ajustes.

➔ **Prueba T**

[Conjunto_de_datos0]

Estadísticos de muestras relacionadas

	Media	N	Desviación tip.	Error tip. de la media
Par 1 muestra1	6,2167	24	,19927	,04068
muestra2	6,2458	24	,23770	,04852

Correlaciones de muestras relacionadas

	N	Correlación	Sig.
Par 1 muestra1 y muestra2	24	-,072	,738

Prueba de muestras relacionadas

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación tip.	Error tip. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 muestra1 - muestra2	-,02917	,32098	,06552	-,16470	,10637	-,445	23	,660

Fuente: Elaboración propia.

En la primera tabla, Estadísticos de muestras relacionadas, se encuentran datos de cada muestra como la media, el número de observaciones (N), la desviación típica y el error típico de la media.

La segunda tabla, Correlación de muestras relacionadas contiene el número de observaciones (N), la correlación entre las dos muestras analizadas y la probabilidad condicional que exista una relación tan fuerte como la observada en los datos (Sig.).

La tercera tabla, Pruebas de muestras relacionadas contiene los resultados para las diferencias emparejadas tales como la diferencia entre las medias, la desviación típica, el error típico de la media, los límites del intervalo de confianza, t que es el límite inferior de la región de rechazo, el superior es el mismo número pero con signo contrario, los grados de libertad y la probabilidad de tener un resultado tan extremo como el observado.

4. Determinar si la prueba estadística esta en la zona de rechazo o no rechazo.

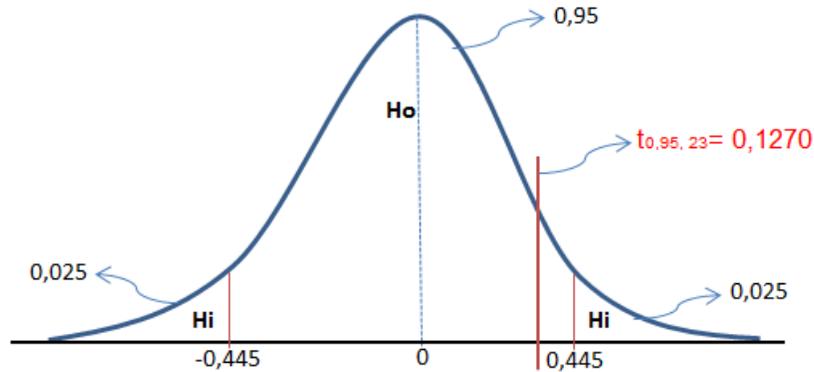
Se obtienen los límites de la prueba, en la Figura 12 encontramos el límite inferior $t = -0.133$, entonces el límite superior es el mismo número pero con signo contrario, debido a la simetría de la distribución t-student. Para calcular el valor de la t-student considerando la hipótesis nula, se aplica la siguiente expresión:

$$t = \frac{\bar{x} - m}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

Se halla $t_0 = \frac{d\mu}{\theta}$ entonces $t_{0,95, 23} = 0,1270$

Se hace el diagrama de la zona de rechazo en la Figura 13 para el desarrollo de la contrastación de las hipótesis estadísticas.

Figura 13. Análisis prueba t-student después de ajustes.



Fuente: Elaboración propia.

Se ubica el valor de la t-student con una significancia del 5% y con 23 grados de libertad en el diagrama de la distribución, con el propósito de representar la región de rechazo (Ver Figura 8), encontramos que el valor de la t-student se encuentra en la zona de aceptación de la H_0 , por lo tanto no se encontraron diferencias significativas entre las medias del tiempo de proceso obtenidas de las observaciones.

Tabla 3. Análisis de resultados.

	Antes de ajustes		Después de ajustes	
	Premuestra	Muestra	Muestra 1	Muestra 2
Media	14.84	14.85	6.21	6.24
Correlación	0.937		-0.072	
Desviación típica	0.6162		0.3209	

Fuente: Elaboración propia.

Se observa una diferencia significativa entre las medias que de las muestras después de los ajustes y las medias de las muestras antes de los ajustes, lo cual indica una disminución en el tiempo de proceso, también podemos observar en los resultados de la prueba t-student para muestras relacionadas que la correlación disminuyó, por lo tanto se puede inferir que se solucionó el problema de fricción ya que los datos no siguen ninguna tendencia. La desviación típica tuvo una reducción del 50.4%; esto indica que hay mayor concentración de observaciones cerca de la media y como consecuencia, se aumenta la capacidad de producción en la máquina envasadora. (Ver Tabla 3)

Se aplicó la prueba t-studen para muestras relacionadas se plantea de la misma forma que en los casos anteriores pero con una muestra antes de las mejoras en la máquina envasadora (muestra 1) y otra muestra después de los ajustes (muestra 2), los resultados se presentan en la Figura 14.

1. Se expresa la hipótesis nula y la hipótesis alterna.

- Hipótesis nula (H_0): Es un planteamiento que se pretende rechazar, contrario a la hipótesis de la investigación; en este caso la hipótesis nula se define como la no existencia de diferencia significativa entre las medias de la premuestra y la muestra.
- Hipótesis alterna (H_1): Es un planteamiento contrario a la hipótesis nula, H_1 es la hipótesis de la investigación, para este caso la hipótesis alterna se define como la existencia de diferencia significativa entre las medias de la premuestra y la muestra.

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Donde:

→ μ_1 : Media de la muestra 1.

→ μ_2 : Media de la muestra 2.

2. Selección del nivel de significancia.

El nivel de significancia es la probabilidad de rechazar la H_0 cuando es verdadera, se denota α .

Para esta prueba se tiene un nivel de significancia de $\alpha=5\%$, por lo tanto se cuenta con un nivel de confianza $(1 - \alpha)$ del 95%

3. Se determina la prueba estadística.

Para este caso se trabajó las observaciones mediante una prueba t-student para muestras relacionadas, esta prueba estadística se exige dependencia entre ambas, en las que hay dos momentos uno antes y otro después. Con ello se da a entender que en el primer período, las observaciones servirán de control o testigo, para conocer los cambios que se susciten después de alterar una variable experimental, la fricción.

La prueba t-student para muestras relacionadas se realizó en el software SPSS y se obtuvieron los siguientes resultados. (Ver Figura 14)

Figura 14. Prueba t-student antes y después de los ajustes.

➔ **Prueba T**

[Conjunto_de_datos0]

Estadísticos de muestras relacionadas

	Media	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1 muestra	14,8583	24	1,75646	,35854
muestra2	6,2458	24	,23770	,04852

Correlaciones de muestras relacionadas

	N	Correlación	Sig.
Par 1 muestra y muestra2	24	,239	,261

Prueba de muestras relacionadas

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 muestra - muestra2	8,61250	1,71523	,35012	7,88822	9,33678	24,599	23	,000

Fuente: Elaboración propia.

4. Análisis de los resultados.

En la primera de las tres tablas encontramos los estadísticos descriptivos más comunes.

En la segunda tabla encontramos la correlación que es diferente de cero lo cual nos indica que si están relacionadas las muestras.

En la tercera tabla encontramos la diferencia entre medias de las dos muestras la cual es 0.35012, también encontramos un intervalo que marca los límites aceptables para la diferencia de medias que esta entre 7.88 y 9.33, el valor de diferencia de medias esta por fuera de este intervalo, con lo cual podemos rechazar la hipótesis nula ya que no se encuentra igualdad entre las medias.

6.9 RECOMENDACIONES PARA EL USO DE LA MÁQUINA.

Un aspecto fundamental para la vida útil de una máquina está en su cuidado y buen manejo, además, el buen manejo evitando paros no deseados en la producción, tiempos muertos y reprocesos por operaciones incorrectas del equipo, para este fin se deben tener en cuenta los siguientes ítems para trabajar en la máquina envasadora.

- Realizar cada 7 días lubricación del cilindro dosificador, esta se debe hacer con un aceite lubricante para máquinas, y se aplican 3 cm con una jeringa por la parte posterior del cilindro.
- Antes de iniciar el proceso de envasado revisar que la máquina se encuentre en sus condiciones iniciales:

Tabla 4. Condiciones iniciales.

Sensor	Condición inicial	
	Activo	Inactivo
S1	X	
S2		X
S3		X
S4	X	
S5	X	
S6		X
S7		X
S8	X	

Fuente: Elaboración propia.

- Compruebe que la manguera que une el compresor con el sistema neumático este instalada.
- Disponga de una presión de entrada al sistema según la densidad del fluido con que se va a trabajar.
- Regule la presión de entrada a los cilindros dependiendo de la densidad de fluido que va a trabajar.

Tabla 5. Presiones de entrada.

Densidad	Presión de entrada al sistema.	Cilindro	Vueltas en el regulador de presión.	Regulación electroválvulas En Vueltas.	
				R	S
1 g/ml. (Agua potable)	40 psi	C1	0.5	1	0.5
		C2	0.5	1.5	0.5
		C3	8	11.5	9.5
		C4	0.25	0	0.5
1,424 g/ml.	50 psi	C1	0.5	1	0.5
		C2	0.5	1.5	0.5
		C3	9	12	10
		C4	0.25	0	0.5

Fuente: Elaboración propia.

- Cuando la máquina envasadora este en funcionamiento:
 - No toque partes energizadas eléctricamente.
 - No ponga las manos en la base de desplazamiento.
 - No use ropa húmeda.
 - Utilice zapatos con suela de goma.
 - En caso de atascamiento pulsar primero el botón de detenido antes de proceder a solucionar el inconveniente.

- Después de realizar trabajos en la máquina envasadora proceda a detenerla, y a hacer limpieza de la misma tanto en su estructura como al sistema de drenado, no se debe dejar residuos de ningún fluido dentro de este. Para realizar esta limpieza se debe desocupar todo el fluido accionando manualmente el cilindro C3 hasta que por la boquilla solo salga aire.

- Desconecte la máquina envasadora y apague el compresor para cualquier tipo de mantenimiento que se requiera.

CONCLUSIONES

- La implementación de las mejoras propuestas para máquina envasadora ha sido un éxito, además de lograr una reducción en el tiempo de proceso se logró también reducir en un 50% la presión mínima necesaria para trabajar con la máquina envasadora.
- Se evidenció una mejora en el proceso de transporte de las botellas de la máquina envasadora, las botellas cumplen con el recorrido sin necesidad de ayuda del operario.
- El tiempo promedio de proceso en la máquina envasadora se redujo de 15,2 segundos a 6,2 segundos, una reducción del 59,2%.
- Se superaron las 30 botellas producidas en serie, alcanzando una producción de 50 botellas sin inconvenientes y sin generar una tendencia creciente del tiempo de proceso.

RECOMENDACIONES

- Realizar el cambio de las piezas, usadas para controlar la entrada y de salida de fluido, ubicadas en la válvula de drenado de la máquina envasadora de miel por unas en acero inoxidable, ya que estas están fabricadas en hierro lo que las hacen altamente corrosivas y por razones de costos no se cambiaron en este proyecto.
- Realizar un mantenimiento preventivo a la máquina envasadora de miel, cada 7 días, el cual comprende la lubricación del cilindro dosificador, revisión de las mangueras del sistema neumático y la limpieza general de la estructura de la maquina, dicha limpieza se debe realizar únicamente con agua y un paño limpio.
- No exceder la presión de entrada máxima que es de 80 psi, ya que esto puede ocasionar daños en el sistema neumático de la máquina envasadora.
- Implementar el Repertorio de recomendaciones prácticas sobre seguridad en la utilización de la maquinaria, siempre que se realice un proyecto en la universidad que requiera la implementación de este tipo de dispositivos.

BIBLIOGRAFIA

- PLATA LEÓN, Pedro. RODRÍGUES TORRES, Liliana. Envasadora de miel usando plc. Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías. Facultad de ingeniería electrónica, 2010.
- RODRÍGUES DELGADO, Jaime. SANGREGORIO SOTO, Viyils. Manual de operación. Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías. Facultad de ingeniería electrónica, 2010.
- RODRÍGUES DELGADO, Jaime. SANGREGORIO SOTO, Viyils. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL TECNOLOGÍA ROCKWELL AUTOMATION EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA. Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingenierías. Facultad de ingeniería electrónica, 2010.

WEB GRAFÍA

- SALAMANCA GROSO, Guillermo. Criterios generales asociados a la apicultura colombiana y su estado actual. *Facultad de Ciencias Universidad del Tolima*. <http://www.noticiasapicolas.com/colombia-actual.htm>. (28 de Julio de 2009).
- GRAJALES, Tevni. Tipos de investigación. [en línea] Disponible en web: <http://tgrajales.net/investipos.pdf>. [Citado el 15 de Abril de 2011].
- CASAL, Jordi. MATEU, Enric. Tipos de muestreo. [en línea] Disponible en web: <http://minnie.uab.es/~veteri/21216/TiposMuestreo1.pdf>. [Citado el 20 de Abril de 2011].
- http://www.grupomaser.com/PAG_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA%20PRINCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm. [Citado el 25 de Abril de 2011]
- <http://www.automotriz.net/tecnica/pistones.htm>. [Citado el 2 de Febrero de 2012]

- <http://www.lennotech.es/periodica/elementos/al.htm> [Citado el 2 de Febrero de 2012]
- <http://www.misrespuestas.com/que-es-un-plc.html> [Citado el 2 de Febrero de 2012]
- http://maleonhe.blogspot.com/2010_05_01_archive.html [Citado el 10 de Febrero de 2012]
- <http://www.sergiosedas.com/imt/2008/10/03/cilindros-neumaticos/> [Citado el 10 de Febrero de 2012]
- <http://automatastr.galeon.com/a-actuador.htm> [Citado el 10 de Febrero de 2012]
- http://www.sfcalefaccion.com/pdfcatalogos/DIVISION_5%20electrovalvulas%20ce me.pdf [Citado el 11 de Febrero de 2012]
- <http://delineacionindustrial.wordpress.com/2011/11/23/disenio-de-un-motor-de-4-tiempos-y-2-700-c-c-parte-ii-componentes-del-bloque-del-motor/> [Citado el 12 de Febrero de 2012]
- http://www.utp.edu.co/~publio17/ac_inox.htm [Citado el 12 de febrero de 2012]
- <http://www.rodolfoquispe.org/blog/que-es-la-programacion.php> [Citado el 15 de Febrero de 2012]
- <http://www.wordreference.com/definicion/abrazadera> [Citado el 15 de Febrero de 2012]
- <http://www.wordreference.com/definicion/v%C3%A1stago> [Citado el 16 de Febrero de 2012]
- <http://www.ab.com/en/epub/catalogs/12762/2181376/2416247/360807/360809/> [Citado el 16 de Febrero de 2012]
- <http://www.wordreference.com/definicion/buje> [Citado el 25 de febrero de 2012]
- <http://www.wordreference.com/definicion/gu%C3%ADa> [Citado el 25 de Febrero de 2012]
- <http://www.wordreference.com/definicion/fricci%C3%B3n> [Citado el 25 de Febrero de 2012]

- http://buscon.rae.es/drael/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=servomotor [Citado el 25 de Febrero de 2012]
- http://buscon.rae.es/drael/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=electrov%E1lvula [Citado el 25 de Febrero de 2012]

ANEXOS

Anexo A. P_ID de la máquina envasadora.

Anexo B. Manual de operaciones de la máquina envasadora.

Anexo C. Repertorio de recomendaciones prácticas sobre seguridad en la utilización de la maquinaria.

Anexo D. Factura de compra de pistón.