



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: REPOTENCIACIÓN DE UNA MÁQUINA SOPLADORA DE
BOTELLAS PLÁSTICAS PARA INCREMENTAR SU PRODUCCIÓN, EN
LA EMPRESA INPLASTICO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA**

AUTORES:

CLAUDIA VERÓNICA ROMERO RODRÍGUEZ

PATRICIA ELIZABETH SÁNCHEZ TIPÁN

DIRECTOR: ING. WASHINGTON FREIRE

CODIRECTOR: ING. VICENTE HALLO

LATACUNGA

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA****CERTIFICACIÓN**

ING. WASHINGTON FREIRE (DIRECTOR)

ING. VICENTE HALLO (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado “**REPOTENCIACIÓN DE UNA MÁQUINA SOPLADORA DE BOTELLAS PLÁSTICAS PARA INCREMENTAR SU PRODUCCIÓN, EN LA EMPRESA INPLASTICO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA**” realizado por las señoritas: CLAUDIA VERÓNICA ROMERO RODRÍGUEZ Y PATRICIA ELIZABETH SÁNCHEZ TIPÁN; ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de estudiantes de la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE.

Latacunga, Abril 2015

Ing. Washington Freire

DIRECTOR

Ing. Vicente Hallo

CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA****DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Nosotras,

CLAUDIA VERÓNICA ROMERO RODRÍGUEZ,

PATRICIA ELIZABETH SÁNCHEZ TIPÁN

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado **“REPOTENCIACIÓN DE UNA MÁQUINA SOPLADORA DE BOTELLAS PLÁSTICAS PARA INCREMENTAR SU PRODUCCIÓN, EN LA EMPRESA INPLASTICO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA”** ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan manteniendo normas APA, y cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Abril 2015



Claudia Verónica Romero Rodríguez

C.C.: 1804332037



Patricia Elizabeth Sánchez Tipán

C.C.: 1805000021

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotras,

CLAUDIA VERÓNICA ROMERO RODRÍGUEZ,

PATRICIA ELIZABETH SÁNCHEZ TIPÁN

Autorizamos a LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo **“REPOTENCIACIÓN DE UNA MÁQUINA SOPLADORA DE BOTELLAS PLÁSTICAS PARA INCREMENTAR SU PRODUCCIÓN, EN LA EMPRESA INPLASTICO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad y autoría.

Latacunga, Abril 2015



Claudia Verónica Romero Rodríguez

C.C.: 1804332037



Patricia Elizabeth Sánchez Tipán

C.C.: 1805000021

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a Dios y a mis padres Oswaldo y María que han sido el eje fundamental de mi vida para superarme día a día, a mis hermanas Lucy y Gaby que con su apoyo no me han dejado desmayar en el trayecto de cada etapa de mi vida, a mis sobrinos Micaela, Elissa y Leito quienes son mi fuerza para seguir adelante, a todas las personas y familiares que de una u otra manera han aportado para la realización de mi proyecto de grado.

No temas, porque yo estoy contigo; No desmayes, porque yo soy tu Dios que te esfuerzo; Siempre te ayudaré, siempre te sustentaré con la diestra de mi justicia (Isaías 41:10)

Claudia Verónica

A mi madre por haber luchado junto a mí para poder alcanzar esta meta, demostrándome su amor incondicional y por estar a mi lado en los buenos y malos momentos, a mi querida hermana y mi cuñado por brindarme su apoyo y cariño, a mis sobrinas Emily y Belén por llenar de alegría mi vida.

Patricia Elizabeth

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primera instancia a Dios por tantas bendiciones, siendo este proyecto una de esas.

A mis padres, hermanas, sobrinos, y familiares más allegados por el apoyo incondicional brindado durante la duración de la tesis.

A Diego Bustillos, por ser mi apoyo y guía durante todos estos años y sin duda alguna en el cumplimiento de esta etapa de mi vida.

A mi amiga Paty por siempre estar conmigo en los momentos buenos y malos apoyándome, gracias por compartir experiencias y viajes inolvidables.

Claudia Verónica

Agradezco a Dios por regalarme la vida y por guiarme hacia esta meta, a mi madre Gloria quien ha sido el pilar fundamental en mi vida, que con sus consejos, su amor, su sacrificio y confianza ha hecho de mí una persona responsable, honesta y dedicada. Agradezco a mi familia y a todas las personas que de una u otra manera me han apoyado y me han impulsado a seguir adelante a pesar de las adversidades.

Patricia Elizabeth

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA	i
CERTIFICADO	ii
AUTORIA DE RESPONSABILIDAD	iii
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
CAPÍTULO I	
GENERALIDADES	20
1.1 Introducción	20
1.2 Justificación e importancia.....	20
1.3 Objetivos.....	21
1.3.1 Objetivo general.....	21
1.3.2 Objetivos específicos	21

1.4	Descripción general de la máquina.....	22
1.5	Descripción del proceso de inyección.....	29
1.6	Descripción del proceso de soplado	29
1.6.1	Extrusión-soplado (extrusion blow molding, ebm)	30
a.	Etapas.....	31
b.	Tipos de extrusion-soplado.....	33
1.7	Cortador lineal de rebabas plásticas.....	35
1.8	Contador automático de botellas	36
1.9	Empacado.....	36
1.9.1	Empacadora de botellas plásticas	37

CAPÍTULO II

REDISEÑO.....	38	
2.1	Diagnóstico del estado actual del sistema de fabricación de botellas plásticas	38
2.1.1	Sistema de extrusión-soplado.....	38
2.1.2	Sistema de desbarbado	40
2.1.3	Sistema de empacado de botellas plásticas	42
2.2	Diseño mecánico	43
2.2.1	Sistema de extrusión-soplado.....	43

a.	Extrusor	43
b.	Cabezal extrusor.....	46
c.	Sistema de soplado	48
d.	Cortador de rebabas de fondo	48
2.2.2	Sistema de conteo	49
2.2.3	Sistema de empaclado de botellas plásticas	50
a.	Análisis del cilindro de empuje.....	51
a.	Análisis del sistema de sujeción del mecanismo	62
2.3	Diseño eléctrico	71
2.3.1	Sistema de conteo automático.....	71
a.	Conteo	73
b.	Visualización.....	73
c.	Frenado	75
2.3.2	Sistema de empaclado de botellas plásticas	75
2.3.3	Circuito de control del proceso de conteo-empaclado	76

CAPÍTULO III

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS 77

3.1 Implementación y montaje del cabezal y extrusora

 77

3.1.1	Extrusor	77
3.1.2	Cabezal extrusor.....	79
3.2	Implementación de accesorios	82
3.3	Implementación del cortador lineal de rebabas	82
3.4	Implementación del contador automático	84
3.5	Implementación del sistema de empaçado.....	87
3.6	Pruebas y resultados del sistema	88
3.6.1	Sistema de extrusión-soplado.....	88
3.6.2	Sistema de corte lineal.....	90
3.6.3	Sistema de empaçado	90
3.6.4	Producción de máquina inicial	92
3.6.5	Producción de máquina repotenciada	92
3.6.6	Resultados.....	93
3.7	Validación de hipótesis	94
3.8	Análisis financiero	95

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
---	------------

4.1	Conclusiones	101
-----	--------------------	-----

4.2	Recomendaciones	102
	BIBLIOGRAFÍA	103
	NETGRAFÍA	104
	ANEXOS	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Extrusor.....	23
Figura 1. 2. Párison.....	24
Figura 1. 3. Dimensiones de husillo	25
Figura 1. 4. Cabezal extrusor	26
Figura 1. 5. Carro	28
Figura 1. 6. Primera etapa	31
Figura 1. 7. Segunda etapa.....	31
Figura 1. 8. Tercera etapa.....	32
Figura 1. 9. Cuarta etapa	32
Figura 1. 10. Quinta etapa	32
Figura 1. 11. Sexta etapa.....	33
Figura 1. 12. Extrusión-Soplado continua	34
Figura 1. 13. Mecanismo de transferencia	35
Figura 2. 1. Circuito neumático	39
Figura 2. 2. Cortador de rebabas y sujetadores	41
Figura 2. 3. Pistón de transporte de botellas.....	41
Figura 2. 4. Cortador circular de rebabas.....	42
Figura 2. 5. Empacado de botellas plásticas.....	42

Figura 2. 6. Cabezal extrusor	47
Figura 2. 7. Distancia entre manga del cabezal extrusor	48
Figura 2. 8. Distancia entre centros	49
Figura 2. 9. Circuito neumático	50
Figura 2. 10. Vástago del cilindro.....	51
Figura 2. 11. Eje redondo con filete de hombro en flexión.....	60
Figura 2. 12. Sensibilidad a la muesca	60
Figura 2. 13. Circuito neumático	62
Figura 2. 14. Tornillo de sujeción	63
Figura 2. 15. Proceso de conteo	72
Figura 2. 16. Pantalla TD 200	74
Figura 2. 17. Cable TD/CPU	74
Figura 3. 1. Motor propio de la máquina	77
Figura 3. 2. Extrusor retirado de la máquina	78
Figura 3. 3. Instalación de extrusor y colocación de resistencias.....	78
Figura 3. 4. Conexión de termocuplas y resistencias al tablero principal	78
Figura 3. 5. Tablero principal	79
Figura 3. 6. Colocación de la tolva almacenadora	79
Figura 3. 7. Cambio de cabezal extrusor	80

Figura 3. 8. Conexión de termocuplas	80
Figura 3. 9. Regulación de válvulas de cierre	81
Figura 3. 10. Implementación de accesorios.....	82
Figura 3. 11. Calibración de banda y ancho para el paso de botellas.....	83
Figura 3. 12. Comprobación de funcionamiento.....	83
Figura 3. 13. Adaptación del cortador lineal a la máquina extrusora.....	84
Figura 3. 14. Conexión y colocación de elementos eléctricos en el gabinete	84
Figura 3. 15. Instalación del gabinete en el soporte de la banda transportadora	85
Figura 3. 16. Conexión de electroválvulas al tablero principal	85
Figura 3. 17. Conexión de sensor fotoeléctrico al tablero principal	86
Figura 3. 18. Regulación de altura del sensor fotoeléctrico	86
Figura 3. 19. Instalación de pistón semáforo	87
Figura 3. 20. Instalación del mecanismo a la banda transportadora	87
Figura 3. 21. Conexión de tomas de aire	88
Figura 3. 22. Prueba de la salida del párison	88
Figura 3. 23. Prueba de carro, moldes y sistema de soplado	89
Figura 3. 24. Prueba de sistema de sujeción	89
Figura 3. 25. Calibración de temperatura de cuchilla	90

Figura 3. 26. Visualización de número de botellas.....	90
Figura 3. 27. Pistones	91
Figura 3. 28. Empacado de botellas.....	91
Figura 3. 29. Conexión de tomas de aire	94
Figura 3. 30. Conexión de tomas de aire	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Características del motor eléctrico actual.....	38
Tabla 2. 2. Características de la máquina de extrusión-soplado.....	40
Tabla 2. 3. Características del motor eléctrico seleccionado.....	46
Tabla 2. 4. Características del motor eléctrico seleccionado.....	47
Tabla 2. 5. Características del pistón.....	49
Tabla 2. 6. Características del cilindro de empuje.....	51
Tabla 2. 7. Parámetros de factor de acabado superficial.....	57
Tabla 2. 8. Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión del acero.....	58
Tabla 2. 9. Parámetros del factor de confiabilidad.....	59
Tabla 2. 10. Diámetros y áreas de roscas unificadas de tornillo UNC y UNF.....	68
Tabla 2. 11. Especificaciones SAE para pernos de acero.....	69
Tabla 2. 12. I/O Requeridas.....	71
Tabla 2. 13. Características del Sensor.....	73
Tabla 2. 14. Especificaciones técnicas.....	75
Tabla 2. 15. Especificaciones técnicas.....	76
Tabla 3. 1. Zonas de calentamiento del cabezal extrusor.....	81
Tabla 3. 2. Producción Inicial.....	92

Tabla 3. 3. Producción Actual.....	93
Tabla 3. 4. Comparación.....	93
Tabla 3. 5. Gastos del proyecto.....	95
Tabla 3. 6. Precios de producción.....	97
Tabla 3. 7. Análisis de ingresos y egresos sin el proyecto.....	98
Tabla 3. 8. Análisis de ingresos y egresos con el proyecto.....	98
Tabla 3. 9. Análisis de recuperación de inversión	98

RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad repotenciar una máquina sopladora de botellas plásticas, de esta manera se incrementará su producción, en la empresa INPLASTICO de la ciudad de Latacunga. La repotenciación a una máquina sopladora de botellas plásticas será aplicada al diseño original, en el proceso de extrusión y soplado con la construcción de un nuevo cabezal y la implementación de una nueva extrusora para de esta manera duplicar la producción de dos a cuatro botellas en una misma etapa; también mediante la implementación de un cortador de rebabas lineal reemplazando al ya existente, puesto que su diseño no es adaptable a las necesidades del proceso, para agilizar el corte y transporte hacia la etapa final del producto. Además se colocará un contador automático sustituyendo el proceso manual de conteo, facilitando de esta manera el empaçado a granel de botellas dependiendo de la producción requerida.

PALABRAS CLAVES:

- **EXTRUSIÓN, SOPLADO**
- **BOTELLAS PLÁSTICAS**
- **CORTE LINEAL**
- **CONTADOR AUTOMÁTICO**
- **EMPACADO A GRANEL**

ABSTRACT

This project aims to refurbish a blowing machine plastic bottles, so production will increase, INPLASTICO company in the Latacunga city. Repowering a blow molder of plastic bottles will be applied to the original design, in the process of extrusion blow with the construction of a new head and implementation of a new extruder to thereby doubling production from two to four bottles in a same stage; also through the implementation of a linear cutter burr replacing existing, since its design is not adaptable to the needs of the process, to expedite the cutting and transportation to the final stage of the product. Furthermore an automatic counter replacing manual counting process, thereby facilitating the bulk packaged bottles depending on the required production is placed.

KEYWORDS:

- **EXTRUSION, BLOWING**
- **PLASTIC BOTTLES**
- **LINEAR CUTTING**
- **AUTO COUNTER**
- **BULK PACKAGING**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad en el país la producción de botellas plásticas es un área que ha tenido un gran desarrollo debido a la demanda de varias empresas que utilizan este producto y además exigen una mejora en la calidad y producción de las mismas.

La baja producción de botellas plásticas en la empresa INPLASTICO sumado con el empaclado manual de las mismas, generan retrasos en la entrega, a lo que se añade la baja calidad del producto terminado, por tal motivo el presente proyecto planea incrementar su producción con la repotenciación del proceso de soplado y la implementación de un cortador lineal de rebabas y un contador automático en un sistema de soplado de polietileno que da como producto final una botella plástica destinada a la industria láctea.

El soplado está pensado para su uso en la fabricación de productos de plásticos huecos; una de sus ventajas principales es su capacidad de producir formas huecas sin la necesidad de tener que unir dos o más partes moldeadas separadamente por lo cual facilita la producción (Beltrán, 2009).

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Debido a la demanda de productos que ha tenido la empresa INPLASTICO de la ciudad de Latacunga en los últimos años, se ha visto en

la necesidad de aplicar una repotenciación en una máquina sopladora de botellas plásticas para incrementar su producción, por tal motivo la empresa necesita la implementación de nueva tecnología en su línea de producción, la cual requiere de un diseño basado en conocimientos técnicos y con criterio profesional para de esta manera lograr una producción con calidad y eficiencia en cada proceso.

Hoy en día es importante que las empresas cuenten con procesos automatizados ya que éstos facilitan e incrementan la producción, además de asegurar un mejoramiento en la calidad del producto en cada proceso. INPLASTICO ve la importancia de crecer en el ámbito tecnológico para seguir siendo competitivos en el mercado al cual pertenece.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Repotenciar una máquina sopladora de botellas plásticas para incrementar su producción, en la empresa INPLASTICO de la ciudad de Latacunga.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar el funcionamiento y operación de las máquinas sopladoras de polietileno.
- Repotenciar el proceso de soplado de botellas de plástico de una máquina extrusora de polietileno en la empresa INPLASTICO.
- implementar un cortador lineal de rebabas de botellas plásticas para agilizar su producción diaria.

- Realizar un contador automático de botellas plásticas con el fin de facilitar el proceso de empaclado.

1.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA MÁQUINA

La maquinaria de extrusión de plástico es usada para fabricar diferentes tipos de productos sólidos de plástico extruyendo el mismo y soplando para darle la forma deseada al producto. Este tipo de maquinaria usa el método de extrusión soplado de plástico, la cual es usada principalmente para fabricar envases del material antes mencionado.

La máquina utilizada para este tipo de trabajo consta de diferentes partes, las cuales se las detalla a continuación:

- Tolva.- es el depósito de materia prima (material plástico) para la alimentación continua del extrusor. Debe tener dimensiones adecuadas para ser completamente funcional, ya que diseños mal planeados, principalmente en los ángulos de bajada de material, pueden provocar estancamientos de material y paros en la producción.
- Motor.- es el componente responsable de suministrar la energía necesaria para producir: la alimentación de la resina, parte de su fusión (70 a 80%), su transporte y el bombeo a través del cabezal y la boquilla.
- Extrusor.- es el elemento más importante de una máquina de extrusión-soplado, como se muestra en la Figura 1.1. Éste es el que transporta y plastifica (funde) todos los granos o pellets de resina y los hace fluir, después forma un tubo hueco llamado parison. Está conformado básicamente por cuatro elementos principales: el impulsor, el cañón, el tornillo, el cabezal extrusor y la cuchilla.

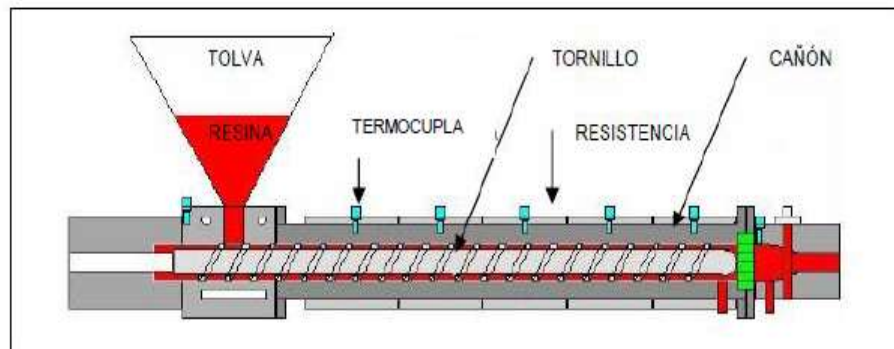


Figura 1. 1: Extrusor

Fuente:

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/232016/contLinea/leccin_34_extrusin_procesos_y_productos.html

- Boquilla.- es el componente del cabezal encargado de la conformación final del proceso de extrusión. Es importante tomar en cuenta que el polímero fluya, con volumen y velocidad de flujo uniforme, alrededor de toda la circunferencia de la boquilla, de manera de lograr espesores uniformes. (Flores, 2011)
- Párison.- es el objeto que se obtiene de la extrusión a temperaturas entre 150 °C y 250 °C. El plástico caliente se hace pasar por una serie de canales internos que forman una especie de tubo por medio de un tornillo sin fin que empuja al plástico fundido de un extremo a otro. Este tubo de plástico caliente es lo que se llama párison (ver figura 1.2), y es lo que formará el plástico de la botella que saldrá al final del proceso.

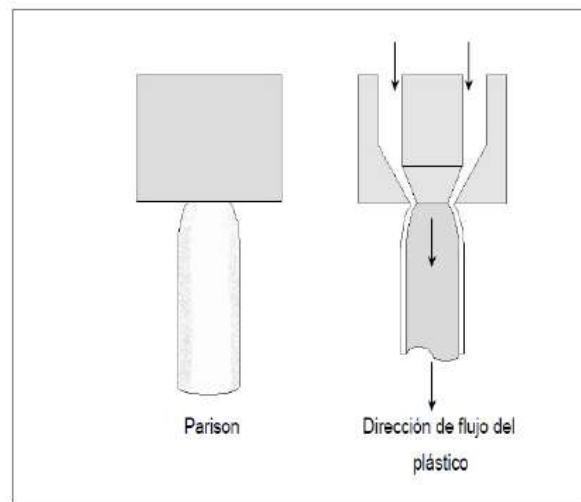


Figura 1. 2: Párison

Fuente: <http://hassanplas.com/blog/troubleshooting-poor-needle-penetration-smoking/>

- Barril.- es un cilindro metálico que aloja al husillo y constituye el cuerpo principal de una máquina de extrusión, conforma, junto con el tornillo de extrusión, la cámara de fusión y bombeo de la extrusora. El barril debe tener una compatibilidad y resistencia al material que esté procesando, es decir, ser de un metal con la dureza necesaria para reducir al mínimo cualquier desgaste.
- Husillo.- es la pieza que en el alto grado determina el éxito de una operación de extrusión, en la Figura 1.3., se muestra las dimensiones fundamentales para un husillo y que, en los diferentes diseños, varían en función de las propiedades de flujo de polímero fundido que se espera de la extrusora.

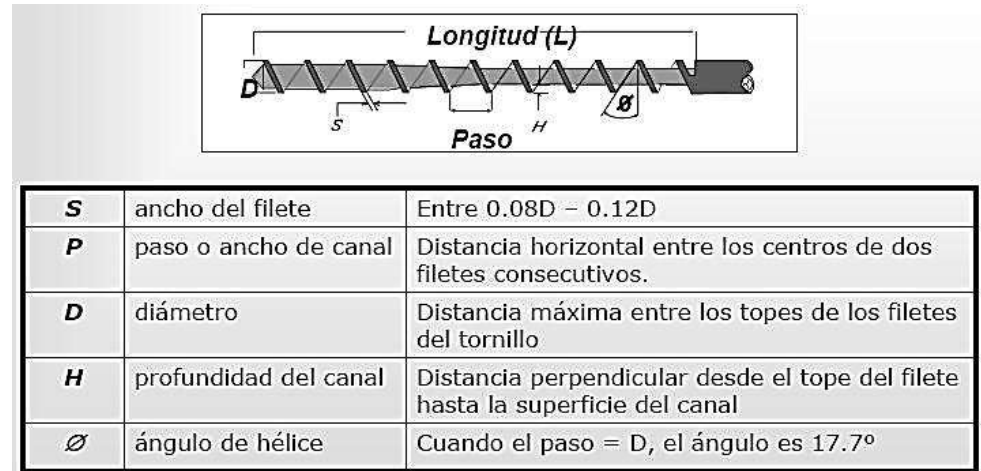


Figura 1. 3: Dimensiones de husillo

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>

- **Cabezal.-** es una herramienta importante la cual sirve para obtener un óptimo material extruido para el diseño del producto, como se muestra en la Figura 1.4. El tipo de material sale plastificado. Siendo el elemento que va unido a la salida del cañón y su función es dar la forma al (los) párison(s), así como controlar el grosor de la pared. Si se necesita tener más de un párison, el cabezal posee diversos conductos que se encargan de dividir el flujo de plástico fundido en el número de párisons que se van a necesitar.

Para que el cabezal extrusor pueda darle la forma de tubo al párison, existe un elemento interno llamado torpedo y éste a su vez está conectado al sistema que controla el grosor de pared del párison y al herramental por donde sale el plástico al ambiente.



Figura 1. 4: Cabezal extrusor

- Moldes.- es una herramienta desplazable, se utiliza para que el material obtenga la forma que se desea, en la máquina sopladora, un envase. El molde funciona por un sistema hidráulico.

Los materiales de construcción para moldes de soplado pueden ser diversos y por consiguiente cada uno con sus respectivas características:

Acero, utilizado para moldes de gran productividad y grandes esfuerzos mecánicos, como elementos de sujeción, guía, ajuste y corte.

Duraluminio, material de baja densidad, alta conductividad térmica, resistencia química y a la intemperie, pero de baja resistencia mecánica a severos esfuerzos de compresión. Se utiliza para hacer el cuerpo de cavidades del molde.

Aleaciones Berilio/Cobre/Cobalto, cuenta con una gran resistencia a la corrosión y pueden ser cromados o niquelados. Se utilizan para los insertos del cuello y base de los contenedores

Bronce, tiene buena conductividad térmica. Es utilizado para hacer el cuerpo del molde, sin embargo su uso se restringe por tener valores muy pequeños de esfuerzo a la compresión.

Latón, moldes utilizados para carreras cortas, es un material con buena conductividad térmica y resistencia, se puede soldar y maquinar.

Aleaciones con alto grado de zinc, recomendado para moldes de partes muy grandes por su buena conductividad térmica. Tienen la desventaja de ser susceptibles a la corrosión, pese a que el zinc forma una fuerte capa protectora que la evita.

- El carro.- es el elemento de la máquina cuya función es transportar al plástico en sus diferentes etapas para conformar las botellas, en él va montado el molde y los sujetadores de botellas. La importancia del carro radica en que debido a que en él se encuentra montado el molde, debe realizar movimientos de vaivén a distancias relativamente grandes y con precisión milimétrica.

Existen tres tipos básicos de carro que se instalan a las máquinas de extrusión soplado: de movimiento en vaivén inclinado u horizontal y completamente cargado. El tipo de carro utilizado en nuestro proceso es el de movimiento en vaivén horizontal. Estos carros toman el parison que sale del extrusor y lo transportan hacia la estación de soplado, luego mediante sujetadores instalados a un

costado del molde, las botellas son transportadas hacia la estación de desbarbado y/o la estación de prueba de fuga, donde finalmente es transportado al área de empaque.



Figura 1. 5: Carro

- Cilindros neumáticos.- son unidades que transforman la energía potencial del aire comprimido en energía cinética o en fuerzas prensoras. Básicamente consisten en un recipiente cilíndrico provisto de un émbolo o pistón.
- Sujetadores.- son los elementos cuya función es sostener a la botella cuando el molde la suelta y luego transportarla a la siguiente estación, que puede ser de desbarbado, la prueba de fugas o el transportador de salida de envases. Regularmente son brazos adjuntos al extremo derecho del molde, de forma que cuando el molde se abra, los sujetadores también.
- Cortadoras.- la función de esta herramienta es cortar el material que sujeta el molde para que de esta manera el pin pueda entrar al molde y cumplir con su objetivo. (Correa, 2007)

1.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE INYECCIÓN

El proceso de inyección de termoplásticos se basa en fundir un material plástico y hacerlo fluir hacia un molde, a través de una boquilla en la máquina de inyección, en donde llena una cavidad que le da una forma determinada permitiendo obtener una amplia variedad de productos.

Es necesario tomar en cuenta las siguientes condiciones para la inyección de plásticos, las que se detallan a continuación:

- Dimensiones de la pieza. La pieza debe tener formas fáciles de producir de acuerdo a unos valores determinados, lo que implicará minimizar las contracciones de la misma.
- Propiedades mecánicas. La pieza elaborada debe resistir las condiciones de uso a las que esté destinada durante su tiempo de vida establecido.
- Peso de la pieza. Debe poseer un peso ligero, fácil de llevarla.
- Tiempo de ciclo. Es necesario minimizar el tiempo de ciclo por pieza para incrementar la producción.
- Consumo energético. Una disminución del consumo energético implicará un menor coste de producción. (UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA)

1.6 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE SOPLADO

Consiste en obtener una preforma, ya sea un elemento tubular o en forma de tubo de ensayo, fijarla dentro de un molde de soplado y, a una temperatura específica de cada material para que tenga consistencia suficiente, inyectar aire en su interior para que se adapte a las paredes del

molde, permitir su enfriamiento bajo presión y abrir el molde para extraerla cuando ha alcanzado suficiente consistencia.

Este tipo de proceso tiene inmensas ventajas importantes las cuales son:

- Gran libertad de diseño geométrico.
- Resistencia a la corrosión.
- Aumento de la capacidad del carburante mediante la utilización de cavidades.
- Mejora en la seguridad contra explosiones.
- Aislamiento acústico excelente.
- Baja conductividad de calor. (Kandt, 2009)

1.6.1 EXTRUSIÓN-SOPLADO (EXTRUSION BLOW MOLDING, EBM)

La percepción común del proceso de extrusión-soplado es su utilidad para fabricar botellas o capacidades huecas de una amplia variedad de tamaños a partir de la extrusión de una preforma que penetra en un molde en dos mitades donde se expande por aplicación interior de aire a presión (0,5 a 1 MPa).

Se debe tener en cuenta el grado de viscosidad adecuado del material y el rango de temperatura de transformación de los materiales para poder fabricar los artículos y optimizar sus propiedades.

Básicamente el soplado está pensado para su uso en la fabricación de productos de plástico huecos; una de sus ventajas principales es su capacidad para producir formas huecas sin la necesidad de tener que unir dos o más partes moldeadas separadamente. Aunque hay diferencias considerables en los diferentes procesos de soplado, como se verá a

continuación, todos tienen en común la producción de un precursor o preforma, su colocación en un molde hembra cerrado, y la acción de soplarlo con aire para expandir el plástico fundido contra la superficie del molde, creando así el producto final.

a. ETAPAS

- Se parte de un tubo o línea de forma continua.

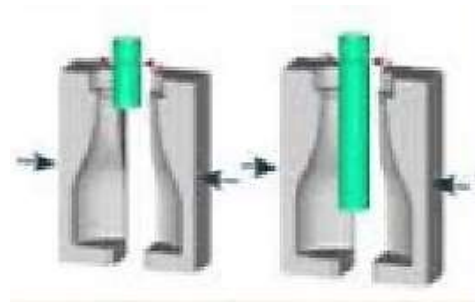


Figura 1. 6: Primera etapa

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/7742321/Extrusion-soplo>

- Se corta y aprisiona por un molde refrigerado.

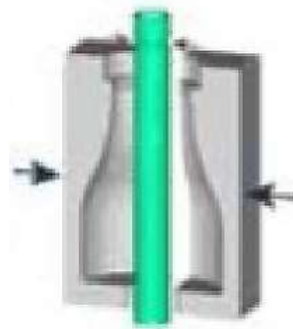


Figura 1. 7: Segunda etapa

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/7742321/Extrusion-soplo>

- Se introduce aire a presión en su interior.

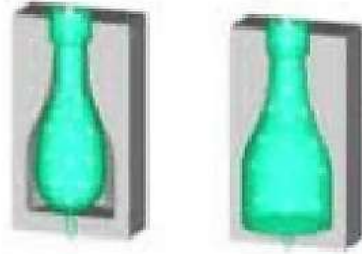


Figura 1. 8: Tercera etapa

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/7742321/Extrusion-soplo>

- Adquirir la forma del molde que lo contiene de forma obligatoria.

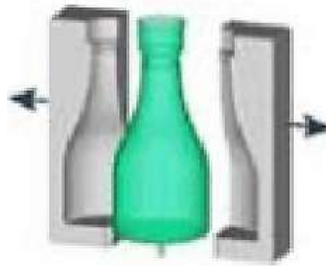


Figura 1. 9: Cuarta etapa

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/7742321/Extrusion-soplo>

- Se expulsa el envase.



Figura 1. 10: Quinta etapa

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/7742321/Extrusion-soplo>

- Terminado este ciclo, pasa a la estación de "desbarbado" dónde se le desprende de los sobrantes (rebabas), automática o manualmente. (Avila, 2008)



Figura 1. 11: Sexta etapa

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/7742321/Extrusion-soplo>

b. TIPOS DE EXTRUSION-SOPLADO

Extrusión-soplado continua

En las máquinas de extrusión continua para soplado el precursor tubular fundido se produce sin interrupción. La secuencia de operaciones más habitual es: extrusión del párison, introducción del párison en el molde, soplado, enfriamiento y desmoldeo.

Una vez que el precursor ha alcanzado la longitud necesaria, el molde de soplado se sitúa alrededor del precursor, cerrándose en torno a él. Cuando esto ocurre el precursor se corta con una cuchilla o un alambre caliente. A continuación el molde portando el precursor se desplaza hacia la siguiente estación, dejando paso al siguiente precursor. El siguiente paso es la entrada del perno de soplado en el molde, la introducción del aire, generalmente frío en el interior de la pieza y el enfriamiento de la misma dentro del molde.

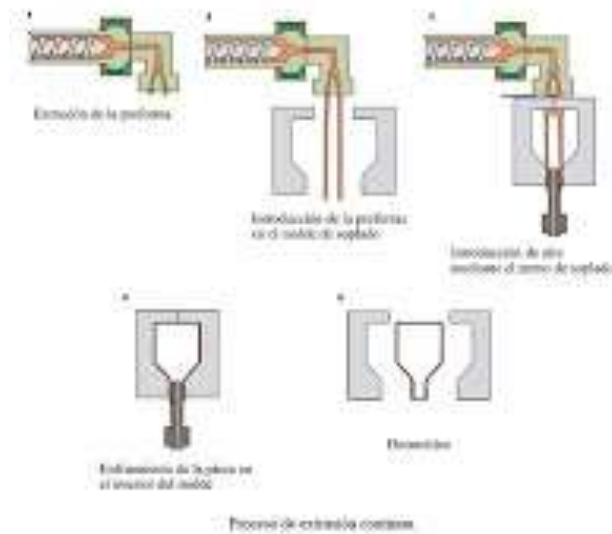


Figura 1. 12: Extrusión-Soplado continua

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/03/extrusion-soplado.html>

Las diferencias entre los varios tipos de máquinas se basan en la forma como los moldes de soplado o los precursores son transportados a las diferentes zonas del proceso. Otra diferencia es la forma como se insufla el aire dentro del molde. En las máquinas de tipo de lanzadera, hay dos moldes que se desplazan alternativamente a derecha y a izquierda, de modo que mientras que en uno se introduce la preforma, el otro se encuentra en la etapa de soplado y enfriamiento.

Otro método de extrusión continua, es el que emplea un mecanismo de transferencia para separar el precursor de la boquilla y colocarlo entre las mitades del molde de soplado. De esta forma los moldes no se desplazan, sino que es el precursor el que lo hace. En muchas máquinas de esta clase, el precursor se sitúa sobre el perno de soplado y los moldes se soplan desde abajo. (Tecnología de los Plásticos, 2012)

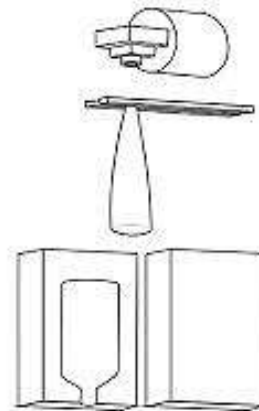


Figura 1. 13: Mecanismo de transferencia

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/03/extrusion-soplado.html>

1.7 CORTADOR LINEAL DE REBABAS PLÁSTICAS

Un cortador de rebabas plásticas es un pequeño mecanismo que consta de cilindros neumáticos, válvulas electro neumáticas y guías para la sujeción de los envases plásticos. La estructura suele ser de hierro o aluminio la cual va acoplado a las máquinas sopladoras de envases plásticos. Su trabajo es eliminar las rebabas las cuales se quedan presentes en la parte superior e inferior de los envases plásticos dándonos como resultado el producto terminado. Las rebabas que son cortadas de los envases plásticos son reciclados en un recipiente para ser nuevamente triturados y reutilizados para la fabricación de los envases (Mayorga & Padilla, 2011).

Existen cortadores de rebabas de botellas plásticas con distintas configuraciones, como los cortadores lineales que permiten según la forma de salida de las botellas de la máquina sopladora de envases plásticos una mejor manera de montaje en bandas transportadoras, facilitando así el

proceso de empaçado, mejorando el proceso y disminuyendo el tiempo de producción y de fallas en los envases.

1.8 CONTADOR AUTOMÁTICO DE BOTELLAS

En la actualidad los procesos industriales se realizan de manera más rápida gracias a la intervención de dispositivos tecnológicos que ayudan a minimizar tiempo, costos y mano de obra; procesos fáciles pero que requieren un mayor empleo de tiempo para el ser humano como conteo, empaque de producto entre muchos, hoy en día en la mayor parte de industrias se realizan de forma automática.

Para el conteo de botellas plásticas existe una diversidad de dispositivos cada uno con distintas características como los PLC, PC, microcontroladores, etc. Los más utilizados son los PLC (Controlador Lógico Programable) que nació como posible solución al control de circuitos complejos de automatización. Por lo tanto se puede decir que un PLC no es más que un aparato electrónico que sustituye los circuitos auxiliares o de mando de los sistemas automáticos. A él se conectan los captadores (finales de carrera, pulsadores, etc.) por una parte, y los actuadores (bobinas de contactores, lámparas, pequeños receptores, etc.) por otra (Salvador, 2009).

1.9 EMPACADO

En la fabricación de diversos productos el empaçado es uno de los procesos que mayor tiempo requiere al realizarse de forma manual, es por eso que la necesidad de agilizar la producción ha llevado a buscar maneras óptimas de empaçado automático y semiautomático según el producto, y otros factores que inciden en la calidad del mismo.

1.9.1 EMPACADORA DE BOTELLAS PLÁSTICAS

De acuerdo a las exigencias de las empresas a las cuales es distribuido el producto para su utilización, el empaque de botellas plásticas se puede realizar a granel el cual es más común cuando el tamaño de los envases es pequeño y en muchas ocasiones hasta mediano ya que la facilidad del empaquete es evidente, pues no deben tener ningún orden específico, en botellas de un tamaño superior se utilizan otros métodos con el fin de obtener un mejor orden y un mayor número de botellas por empaque.

Para el proceso de empaque de botellas con un orden que forme filas y columnas con las mismas, el principal y el más utilizado en el mercado y en la mayoría de procesos es el de flujo continuo horizontal, en que el producto a ser empaquetado se transfiere a través de una cadena transportadora hasta un cilindro neumático empujador. Este cilindro empuja el arreglo de botellas contra las láminas de polímero que son alimentadas por dos rodillos que se ubican en la parte superior e inferior de la máquina (Gonzalez, 2008).

CAPÍTULO II

REDISEÑO

2.1 DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE FABRICACIÓN DE BOTELLAS PLÁSTICAS

El proceso de fabricación de botellas plásticas empieza por la colocación de materia prima y termina con el empaclado para su distribución al cliente, a continuación se detalla el estado actual de todo el proceso y se muestra el diagrama de flujo del mismo en el ANEXO A.

2.1.1 SISTEMA DE EXTRUSIÓN-SOPLADO

El proceso de elaboración de botellas plásticas empieza con la entrada de polietileno a la tolva almacenadora de materia prima, seguidamente el material ingresa al extrusor dentro del cual el husillo lo transporta hacia el cabezal extrusor impulsado por un motor eléctrico, cuyas características se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 2. 1.

Características del motor eléctrico actual

Voltaje	330 VAC
Frecuencia	60 Hz
Potencia	10 Hp

CONTINÚA



Amperaje	28 A
Rpm	1170
Factor de servicio	1.0
Peso	113 Kg
IP	54

El extrusor tiene un largo de 1080 mm y un diámetro de 65 mm como se muestra en la Figura 2.1.

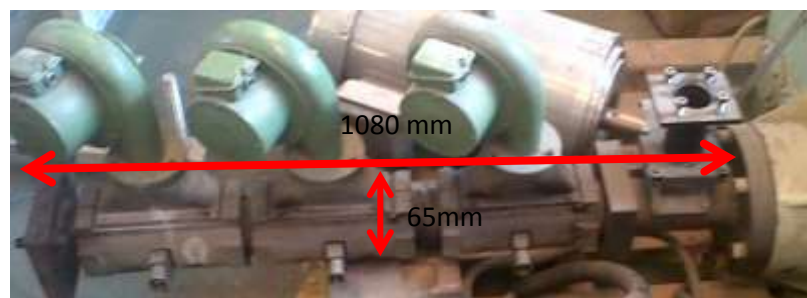


Figura 2. 1. Circuito neumático

El extrusor cuenta con tres estaciones de control de temperatura al igual que el cabezal extrusor. Cada estación posee sus respectivas resistencias (50Ω) encargadas de calentar el material. La temperatura de las resistencias es controlada mediante pirómetros y varía de 150°C a 250°C de acuerdo al tipo de botella a producir.

El material fundido llega hasta el cabezal extrusor en forma de flujo en donde es distribuido por conductos para la salida de los dos párisons.

Otra de las partes importantes del proceso son los moldes elaborados de acuerdo al tipo de botella requerida, los cuales están colocados en un mecanismo llamado carro que se mueve para tomar los párisons, que son cortados por una cuchilla que proporciona el largo correcto de los mismos, luego son llevarlos a una estación de soplado de aire comprimido donde se le da la forma final a la botella plástica, finalmente las botellas son liberadas del molde y transportadas por unos sujetadores a la siguiente estación, que es el desbarbado de fondo.

La máquina de extrusión-soplado de botellas plásticas que se va a repotenciar utiliza el principio de extrusión continua y de doble párison y sus características técnicas se describen en la Tabla 2.2.

Tabla 2. 2.

Características de la máquina de extrusión-soplado

Marca	WANGBRAND
Modelo	TPH 410C
Voltaje	330 V
Frecuencia	50 Hz

2.1.2 SISTEMA DE DESBARBADO

El desbarbado o corte de rebabas de las botellas es automático y se realiza después del proceso de soplado y está dividido en dos secciones, primero se efectúa el desbarbado del fondo y después el del cuello.

El corte de rebabas del fondo se realiza mediante un mecanismo el cual sujeta a las botellas y a la vez una cuchilla corta todo el exceso de plástico en esta parte como se indica en la Figura 2.2.

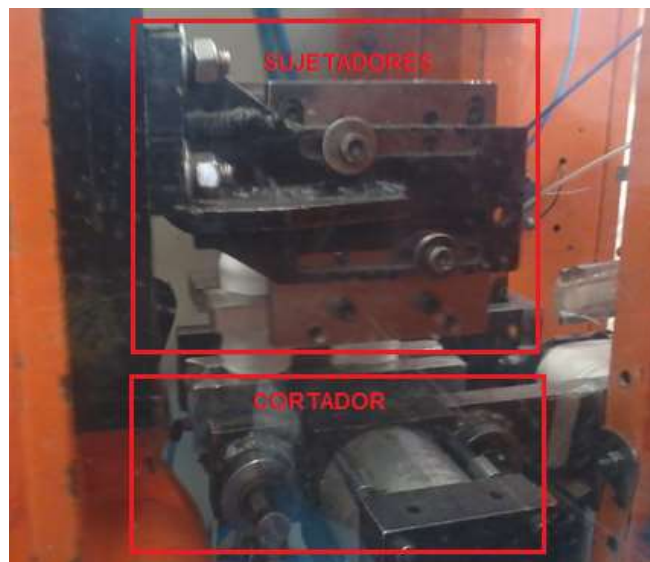


Figura 2. 2. Cortador de rebabas y sujetadores

Luego la botella es colocada en una banda transportadora mediante un mecanismo acoplado a un pistón neumático como se ve en la Figura 2.3., el cual tiene un recorrido de 120 mm, para ser llevada hasta un disco de corte donde se va retirar el material sobrante del cuello como se indica en la Figura 2.4.



Figura 2. 3. Pistón de transporte de botellas



Figura 2. 4. Cortador circular de rebabas

2.1.3 SISTEMA DE EMPACADO DE BOTELLAS PLÁSTICAS

El empacado de botellas plásticas actual en la empresa INPLASTICO se realiza de manera manual, el proceso inicia desde la colocación de las botellas en la banda transportadora por un operario, en la cual se coloca la fajilla a éstas, seguidamente pasan por un horno para adherir la fajilla a los envases, las botellas se almacenan en canastas, otro operario cuenta el número requerido de botellas y las coloca en cestos, que luego son vaciados en las fundas, terminando así el proceso, como se muestra en la Figura 2.5.



Figura 2. 5. Empacado de botellas plásticas

2.2 DISEÑO MECÁNICO

El diseño mecánico del sistema se realiza mediante el análisis de cada una de las partes, buscando garantizar que tanto los materiales, dispositivos, etc., sean aptos para ser utilizados.

2.2.1 SISTEMA DE EXTRUSIÓN-SOPLADO

Para la repotenciación del sistema de extrusión soplado para cuatro botellas es necesaria la selección de un nuevo extrusor y motor, el diseño de un nuevo cabezal de cuatro párison, de un sistema de soplado y cortador de rababas que se analizan a continuación.

a. EXTRUSOR

La máquina debe estar en la capacidad de abastecerse de una mayor cantidad de material ya que va a producir el doble de lo que produce actualmente, es por ello que el extrusor propio de la máquina no es apropiado para este fin y se ve la necesidad de cambiar el extrusor y el motor.

Como se menciona anteriormente y se puede apreciar en la Figura 2.1 el extrusor actual de la máquina tiene una camisa de largo de 1080 mm y un diámetro de 65 mm, el largo del tornillo es de 1050 mm y su diámetro es de 48 mm.

El caudal (másico) de material que proporciona el extrusor es proporcional al cuadrado del diámetro del tornillo.

$$C \propto D_t^2 \quad (2.1)$$

Dónde:

C = Caudal másico que proporciona la extrusora

D_t = Diámetro del tornillo

$$C \propto 4,8^2$$

$$C \propto 23,04$$

$$C = 23,04 \text{ Kg/h}$$

Por lo tanto el caudal (másico) que proporciona el extrusor iniciales de 23,04 Kg/h.

Hay que tomar en cuenta también el largo de tornillo cuya relación con el diámetro para la extrusión de polímeros termoplásticos varía regularmente entre 20:1 y 30:1.

$$\frac{L_t}{D_t} = \frac{105}{4,8} = 21,88$$

La relación en este caso es de aproximadamente 21:1.

Para la elección del nuevo extrusor se debe tomar en cuenta que se necesita el doble de caudal es decir uno que proporcione una cantidad de 40 Kg/h aproximadamente, a partir de este valor se calcula el diámetro del tornillo requerido con la ecuación 2.1.

$$C \propto D_t^2$$

$$D \propto \sqrt{C}$$

$$D \propto \sqrt{40}$$

$$D \propto 6,3$$

$$D = 6,3 \text{ cm}$$

Con una relación de 21:1 el largo necesario para un diámetro de 6,3 cm será de 132 cm aproximadamente.

Debido a que el caudal másico se incrementó al doble y tomando en cuenta las características técnicas del motor del extrusor que se va a reemplazar se concluye que su potencia no abastece a la cantidad de caudal que se requiere es por eso que se procede a escoger un motor duplicando la potencia del anterior es decir de 20 Hp.

Con una potencia de 20 Hp y un voltaje de 330 V se procede a calcular el amperaje.

$$P = 20 \text{ Hp} = 14920 \text{ W}$$

$$V = 330 \text{ V}$$

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos}\phi$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \text{Cos}\phi}$$

$$I = \frac{14920 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 330 \text{ V} \times 0,58}$$

$$I = 45 \text{ A}$$

Una vez obtenidos los valores necesarios se procede a buscar en el mercado un motor que cumpla con los mismos como se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2. 3.***Características del motor eléctrico seleccionado***

Voltaje	330 VAC
Frecuencia	60 Hz
Potencia	20 Hp
Amperaje	49,5 A
Rpm	1755
Factor de servicio	1.15
Peso	137 Kg
IP	55

b. CABEZAL EXTRUSOR

El diseño del cabezal extrusor se realiza de acuerdo a las necesidades de la empresa, en este caso será de cuatro mangas debido a la repotenciación de la máquina ya que inicialmente solo contaba con dos y se duplicará para una mayor producción.

Los tipos de botella que se va a producir es un punto importante en el diseño del cabezal extrusor puesto que si los envases son muy grandes existen pérdidas debido a los tiempos de soplado y el espacio con el cual la máquina cuenta en relación al cabezal y moldes, en la Tabla 2.4 se muestra las botellas para las cuales fue diseñado el mismo.

Tabla 2. 4.

Características del motor eléctrico seleccionado

TIPO DE BOTELLA	DESCRIPCIÓN
Pequeña	120g
Mediana	200g

Otro aspecto que se debe considerar es el caudal másico de entrada ya que de este depende el caudal de salida por cada una de las cuatro mangas. El caudal másico de salida del extrusor es de 40 Kg/h que es el de entrada para el cabezal por lo cual la salida de cada manga es de 10 Kg/h suficientes para abastecer una producción de 486 botellas mínimas por hora requeridas por el departamento de producción de la empresa.

Para el diseño y modelamiento del cabezal extrusor se utiliza el software SolidWorks, el cual se muestra en la Figura 2.6, con la unión de todas sus partes:

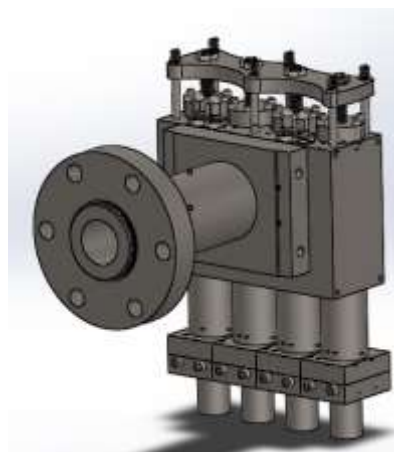


Figura 2. 6. Cabezal extrusor

Los planos mecánicos del extrusor se indican en el Anexo B.

c. SISTEMA DE SOPLADO

El sistema de soplado está diseñado para soplar dos botellas a la vez, esto implica la realización de un nuevo diseño para poder soplar las cuatro botellas que va a producir el nuevo cabezal.

Para el diseño se debe tener en cuenta la distancia que existe entre cada botella, este se obtiene a partir del cabezal, ya que debe coincidir con la distancia entre centros a la que fue diseñada la manga que va a producir el cabezal extrusor, que es igual a 70 mm como se muestra en la Figura 2.7.

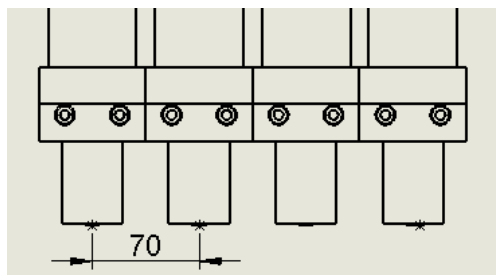


Figura 2. 7. Distancia entre manga del cabezal extrusor

A partir de este aspecto se procede a realizar el diseño del sistema de soplado que se indica en el Anexo B.

d. CORTADOR DE REBABAS DE FONDO

El cortador de rebabas de fondo consta de un sujetador y una cuchilla que cortan dos botellas al mismo tiempo, es así que se debe adaptarlo para que se corten cuatro botellas a la vez.

Tras un análisis de la configuración del cortador se llega a la conclusión de cambiar la placa de sujeción o abrazadera de cuerpo y de campana

considerando la distancia que existe de centro a centro de cada botella como se muestra en la Figura 2.8 y que es 70 mm.

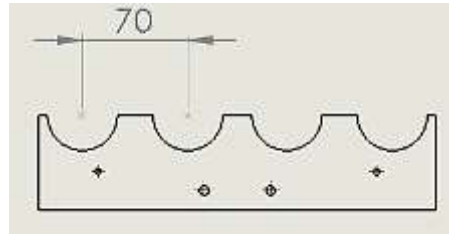


Figura 2. 8. Distancia entre centros

El diseño realizado de la abrazadera de cuerpo y de campana se indica en el Anexo B.

2.2.2 SISTEMA DE CONTEO

Para el sistema de conteo es necesaria la utilización de un pistón el cual cumpla la función de un semáforo de acuerdo al proceso.

Las características del pistón a utilizar se muestran en la Tabla 2.5.

Tabla 2. 5.

Características del pistón

Diámetro	12,7 mm (0,5 in)
Recorrido	50,8 mm (2 in)
Presión máxima	999,7 KPa (145 psi)

Para el diseño del circuito neumático del pistón de frenado se utilizó el software FluidSim, el cual se muestra en la Figura 2.9.

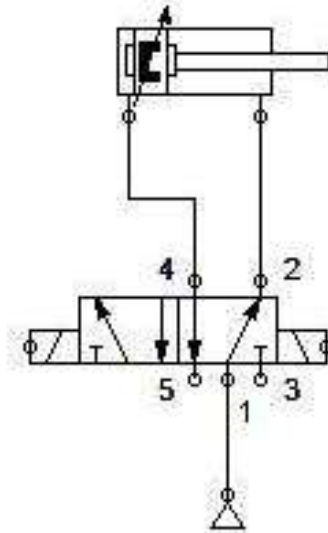


Figura 2. 9. Circuito neumático

2.2.3 SISTEMA DE EMPACADO DE BOTELLAS PLÁSTICAS

El sistema de empacado de botellas plásticas es muy necesario para agilizar y mejorar la producción de las mismas ya que de esta manera se evitan errores de empacado y se diversifica el mismo puesto que se lo realizará a granel en dos estaciones.

Se comienza con el diseño del mecanismo de empuje de las botellas hacia las estaciones de empaquetado, este mecanismo se compone de un cilindro cuyo vástago debe ser analizado debido al trabajo que va a realizar.

Las características del cilindro se indican en la Tabla 2.6.

Tabla 2. 6.

Características del cilindro de empuje

Diámetro	20,3 mm (0,8 in)
Recorrido	154 mm (6,1 in)
Presión máxima	999,7 KPa (145 psi)

a. ANÁLISIS DEL CILINDRO DE EMPUJE

A continuación se realiza un análisis del vástago del cilindro de empuje y posteriormente se efectúa el diseño neumático para el funcionamiento del cilindro.

Los cálculos a realizarse en el presente capítulo son tomados de la siguiente referencia bibliográfica (Shigley, 2006).

Para realizar el análisis del vástago del cilindro neumático (Figura 2.10.) con el cual se dispone se desarrolla tomando en cuenta la teoría de columnas ya que éste va a estar sujeto a pandeo y fatiga, siendo necesario verificar que soporte las cargas a las cuales va a estar sometido.



Figura 2. 10. Vástago del cilindro

Datos:

Material: Acero cromado

$$E = 29000 \text{ Kpsi}$$

$$S_y = 100 \text{ Kpsi}$$

$$S_{ut} = 217,5 \text{ Kpsi}$$

$$D = 0,8 \text{ in}$$

$$d = 0,39 \text{ in}$$

$$L = 6,1 \text{ in}$$

$$p = 10 \text{ bar} = 145 \text{ psi}$$

Para comenzar con el análisis del vástago por pandeo se procede a calcular las fuerzas tanto de avance utilizando la ecuación (2.1) como de retroceso usando la ecuación (2.2) que son necesarias para cálculos próximos.

Cálculo de fuerza de avance:

$$p = \frac{P_{av}}{A_e} \quad (2.1)$$

Dónde:

p: presión

P_{av}: fuerza de avance

A_e: área del émbolo del cilindro

$$e = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A_e = \frac{\pi(0,8in)^2}{4}$$

$$A_e = 0,63 in^2$$

$$P_{av} = p \times A_e$$

$$P_{av} = (145 psi) \times (0,63 in^2)$$

$$P_{av} = 91,35 lbf$$

$$P_{av} = 406.32 N$$

Cálculo de fuerza de retroceso:

$$p = \frac{P_{ret}}{A_t'} \quad (2.2)$$

Dónde:

p : presión

P_{ret} : fuerza de retroceso

A_t' : área total

$$A_t' = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$$

$$A_t' = \frac{\pi((0,8in)^2 - (0,39in)^2)}{4}$$

$$A_t' = 0,38 in^2$$

$$P_{ret} = p \times A_t'$$

$$P_{ret} = (145 \text{ psi}) \times (0,38 \text{ in}^2)$$

$$P_{ret} = 55,1 \text{ lbf}$$

$$P_{ret} = 245,08 \text{ N}$$

A continuación se procede a estudiar el pandeo en el vástago para conocer si corresponde a una columna de Johnson o Euler, se calcula la relación de esbeltez que se detalla a continuación aplicando la ecuación (2.3).

Relación de esbeltez:

$$RE = \frac{KL}{r_{\min}} \quad (2.3)$$

$K = 0.5$ Ambos extremos fijos

$L = 6,1 \text{ m}$

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Dónde:

r_{\min} : radio mínimo de giro

I : Inercia del vástago

A : área del vástago del cilindro

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

$$A = \pi \times (0,195 \text{ in})^2$$

$$A = 0,12 \text{ in}^2$$

$$I = \frac{\pi D^4}{64}$$

$$I = \frac{\pi(0,39 \text{ in})^4}{64}$$

$$I = 1,13 \times 10^{-3} \text{ in}^4$$

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{1,13 \times 10^{-3} \text{ in}^4}{0,12 \text{ in}^2}}$$

$$r_{\min} = 0,1 \text{ in}$$

$$RE = \frac{0,5 \times 6,1 \text{ in}}{0,1 \text{ in}}$$

$$RE = 30,5$$

Se procede a calcular la Constante de columna usando la ecuación (2.4)

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} \quad (2.4)$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2(29000 \text{ Kpsi})}{(100 \text{ Kpsi})}}$$

$$C_c = 75,66$$

$$RE < C_c$$

30,5 < 75,66 *Columna corta (Beer Johnson)*

Como se observa el tipo de columna con la cual se va a realizar el análisis es la de Beer Johnson, se calcula la fuerza crítica con la ecuación (2.5), que se muestra a continuación.

$$P_{cr} = AS_y \left[1 - \frac{S_y(KL/r)^2}{4\pi^2 E} \right] \quad (2.5)$$

$$P_{cr} = (0,12 \text{ in}^2)(100 \text{ Kpsi}) \left[1 - \frac{(100 \text{ Kpsi})(30,5)^2}{4\pi^2(29000 \text{ Kpsi})} \right]$$

$$P_{cr} = 11025 \text{ lbf}$$

$$P_{cr} = 49,04 \text{ KN}$$

Para un factor de seguridad $n=3$ se procede a calcular la fuerza aplicada en el mismo.

$$n = 3$$

$$P_a = \frac{P_{cr}}{n} \quad (2.6)$$

$$P_a = \frac{11025 \text{ lbf}}{3}$$

$$P_a = 3675 \text{ lbf}$$

Se procede a comparar la fuerza de avance con la fuerza aplicada que fue hallada con la ecuación (2.6), es decir la fuerza aplicada debe ser mayor considerablemente que la fuerza de avance, por lo que se concluye que el vástago resiste el pandeo notablemente.

$$P_{av} < P_a$$

$$91,35 \text{ lbf} < 3675 \text{ lbf}$$

$$406,32 \text{ N} < 16,35 \text{ KN}$$

Seguidamente se analiza el vástago a fatiga ya que este tiene un trabajo repetitivo, el cual es necesario analizar.

Para encontrar el esfuerzo límite de fatiga en flexión reversible se utiliza la ecuación (2.7), como se muestra a continuación.

$$S_{e'} = 0,6 S_{ut} \quad (2.7)$$

$$S_{e'} = 0,6 (217,5 \text{ Kpsi})$$

$$S_{e'} = 130,5 \text{ Kpsi}$$

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S_{e'} \quad (2.8)$$

Para calcular el factor de acabado superficial se aplica la fórmula (2.9), y los parámetros del mismo se los muestra en la Tabla 2.7.

$$K_a = a S_{ut}^b \quad (2.9)$$

Tabla 2. 7.

Parámetros de factor de acabado superficial

Surface Finish	Factor a		Exponent b
	S_{ut} kpsi	S_{ut} MPa	
Ground	1.34	1.58	-0.085
Machined or cold-drawn	2.70	4.51	-0.265
Hot-rolled	14.4	57.7	-0.718
As-forged	39.9	272.	-0.995

Fuente: (Shigley, 2006)

$$a = 1,34 \quad b = -0,085$$

$$K_a = 1,34(217,5)^{-0,085}$$

$$a = 0,848$$

Para calcular el factor de tamaño se aplica la fórmula (2.10), debido a que el rango del diámetro del vástago esta entre $0,11'' \leq d \leq 2''$.

$$K_b = 0,897 d^{-0,107} \quad (2.10)$$

$$K_b = 0,897 (0,39)^{-0,107}$$

$$K_b = 0,992$$

Para el factor de carga se toma en cuenta que esta es axial y el valor es:

$$K_c = 0,85$$

Para conocer el valor del factor de temperatura, con el uso de la ecuación (2.11), se toma de la Tabla 2.8, que se muestra a continuación.

$$K_d = \frac{S_T}{S_{RT}} \quad (2.11)$$

Tabla 2. 8.

Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión del acero

Temperature, °C	S_T/S_{RT}	Temperature, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1000	0.698
550	0.672	1100	0.567
600	0.549		

Fuente: (Shigley, 2006)

$$Temperatura = 100^\circ$$

$$K_d = 1,02$$

Para conocer el valor del factor de confiabilidad, con el uso de la ecuación (2.12), se toma de la Tabla 2.9, que se muestra a continuación.

$$K_e = 1 - 0,08Z_\alpha \quad (2.12)$$

Tabla 2. 9.

Parámetros del factor de confiabilidad

Reliability, %	Transformation Variate z_α	Reliability Factor k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Fuente: (Shigley, 2006)

$$Confiabilidad = 90\%$$

$$K_e = 1 - 0,08(1,288)$$

$$K_e = 0,897 \quad \text{Factor de confiabilidad}$$

Para analizar el factor de efectos varios se utiliza la ecuación (2.13), dónde para encontrar K_t se toma de la Figura 2.11.

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (2.13)$$

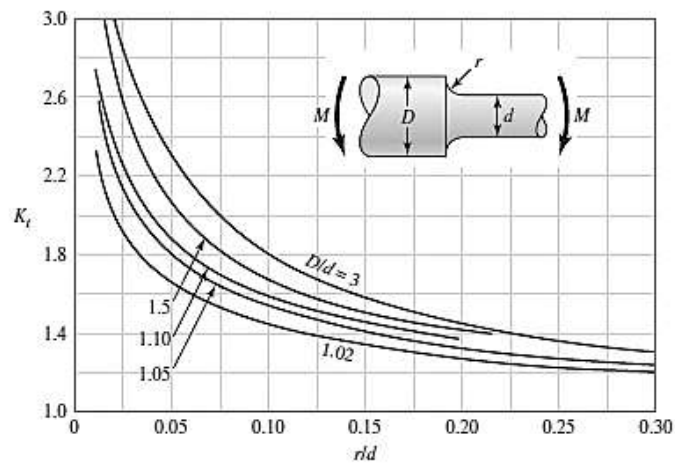


Figura 2. 11. Eje redondo con filete de hombro en flexión.

Fuente: (Shigley, 2006)

$$\frac{D}{d} = \frac{0,39 \text{ in}}{0,31 \text{ in}} = 1,25$$

$$\frac{r}{d} = \frac{3,93 \times 10^{-3} \text{ in}}{0,31 \text{ in}} = 0,012$$

Para hallar q (sensibilidad a la muesca), se toma de la Figura 2.12.

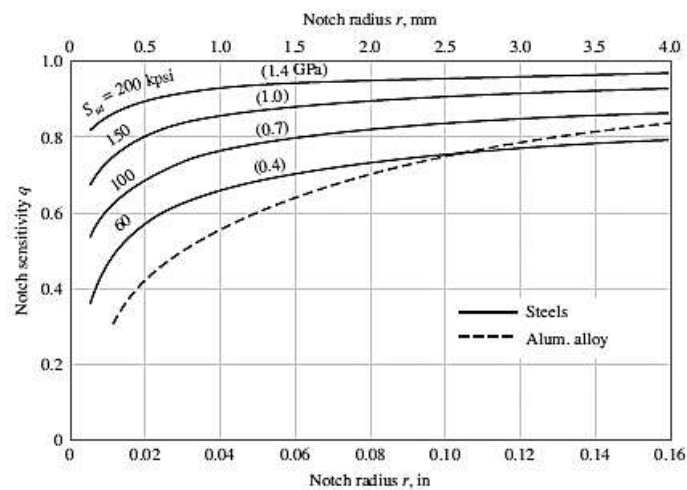


Figura 2. 12. Sensibilidad a la muesca

Fuente: (Shigley, 2006)

$$q = 0,85$$

$$K_t = 2,3$$

$$K_f = 1 + 0,85(2,3 - 1)$$

$$K_f = 2,105$$

Para calcular el esfuerzo normal del vástago con la fuerza de avance que ejerce el mismo se realiza con la fórmula (2.14).

$$S_e = 1212,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{P_{av}}{A} \quad (2.14)$$

$$\sigma = \frac{330 \text{ N}}{78,54 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$\sigma = 4,2 \text{ MPa}$$

$$S_e > \sigma$$

$$1212,1 \text{ MPa} > 4,2 \text{ MPa}$$

Como se puede observar el esfuerzo límite de fatiga, calculado con la ecuación (2.6), es mayor que el esfuerzo normal que se ejerce en el vástago por lo que es resistente a la fatiga.

Una vez realizado el análisis de cilindro de empuje se procede al diseño del sistema neumático para el funcionamiento óptimo del mismo.

Para el diseño del circuito neumático del pistón de empaçado se utilizó el software FluidSim, el cual se muestra en la Figura 2.13.

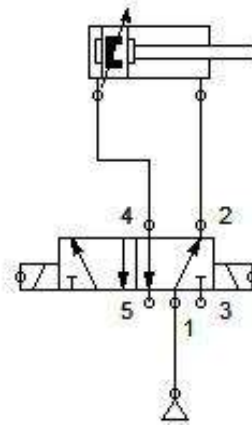


Figura 2. 13. Circuito neumático

a. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE SUJECCIÓN DEL MECANISMO

Es importante realizar el análisis de la sujeción del mecanismo de empaclado debido a ser la parte que va a soportar el mismo y necesita contar con un factor de seguridad adecuado para cerciorarse que el diseño está correctamente elaborado.

Datos:

Peso total del mecanismo:

$$W_T = 6,07 \text{ lbf}$$

Fuerza de avance del cilindro:

$$P_{av} = 74,19 \text{ lbf}$$

Cálculo de la fuerza total:

$$P_T = W_T + P_{av}$$

$$P_T = 6,07 \text{ lbf} + 74,19 \text{ lbf}$$

$$\tau = 80,26 \text{ lbf} = 0,080 \text{ Kip}$$

Fuerza por tornillo:

$$P = \frac{P_T}{5}$$

$$P = \frac{80,26 \text{ lbf}}{5}$$

$$P = 16,052 \text{ lbf} = 0,016 \text{ Kip}$$

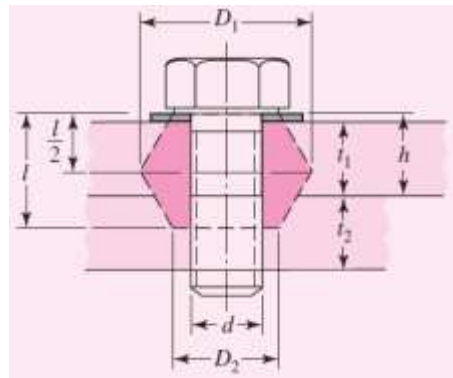


Figura 2. 14. Tornillo de sujeción

Fuente: (Shigley, 2006)

Espesor de la arandela:

$$t_w = 0,063 \text{ in}$$

Espesor de la placa:

$$t_1 = 0,157 \text{ in}$$

Espesor de la banda transportadora:

$$t_2 = 0,118 \text{ in}$$

Diámetro del tornillo:

$$d = 0,25 \text{ in}$$

$$h = t_w + t_1$$

$$h = 0,063 \text{ in} + 0,157 \text{ in}$$

$$h = 0,22 \text{ in}$$

$$l = h + \frac{t_2}{2}$$

$$l = 0,22 \text{ in} + \frac{0,118 \text{ in}}{2}$$

$$l = 0,279 \text{ in}$$

$$D_1 = 1,5 \times d + 0,577 \times l$$

$$D_1 = 1,5 \times 0,25 \text{ in} + 0,577 \times 0,279 \text{ in}$$

$$D_1 = 0,536 \text{ in}$$

$$D_2 = 1,5 \times d$$

$$D_2 = 1,5 \times 0,25 \text{ in}$$

$$D_2 = 0,375 \text{ in}$$

La unión está compuesta por tres troncos como son superior, medio e inferior.

Primero se calcula la rigidez del tronco superior como se indica en la ecuación (2.15).

$$t = \frac{l}{2}$$

$$t = \frac{0,279 \text{ in}}{2}$$

$$t = 0,14 \text{ in}$$

$$D = 0,375 \text{ in}$$

$$d = 0,25 \text{ in}$$

$$E = 30 \text{ Mpsi}$$

$$k = \frac{0,5774 \times \pi \times E \times d}{\ln \frac{(1,155 \times t + D - d)(D + d)}{(1,155 \times t + D + d)(D - d)}} \quad (2.15)$$

$$k_1 = \frac{0,5774 \times \pi \times 30 \text{ Mpsi} \times 0,25 \text{ in}}{\ln \frac{(1,155 \times 0,14 \text{ in} + 0,375 \text{ in} - 0,25 \text{ in})(0,375 \text{ in} + 0,25 \text{ in})}{(1,155 \times 0,14 \text{ in} + 0,375 \text{ in} + 0,25 \text{ in})(0,375 \text{ in} - 0,25 \text{ in})}}$$

$$k_1 = 22,67 \frac{\text{Mlbf}}{\text{in}}$$

$$k_1 = 3,96 \frac{\text{MN}}{\text{mm}}$$

Para el cálculo de la rigidez del tronco medio de igual manera se utiliza la ecuación (2.15).

$$t = h - \frac{l}{2}$$

$$t = 0,22 \text{ in} \times \frac{0,279 \text{ in}}{2}$$

$$t = 0,081 \text{ in}$$

$$D = 0,9375 + 2 \times (l - h) \times \tan 30^\circ$$

$$D = 0,9375 + 2 \times (0,279 \text{ in} - 0,22 \text{ in}) \times \tan 30^\circ$$

$$D = 1,006 \text{ in}$$

$$d = 0,25 \text{ in}$$

$$E = 30 \text{ Mpsi}$$

$$k_2 = \frac{0,5774 \times \pi \times 30 \text{ Mpsi} \times 0,25 \text{ in}}{\ln \frac{(1,155 \times 0,081 \text{ in} + 1,006 \text{ in} - 0,25 \text{ in})(1,006 \text{ in} + 0,25 \text{ in})}{(1,155 \times 0,081 \text{ in} + 1,006 \text{ in} + 0,25 \text{ in})(1,006 \text{ in} - 0,25 \text{ in})}}$$

$$k_2 = 303,48 \frac{\text{Mlbf}}{\text{in}}$$

$$k_2 = 53,14 \frac{\text{MN}}{\text{mm}}$$

Finalmente se realiza el cálculo de la rigidez del tronco inferior igualmente con la ecuación (2.15).

$$t = l - h$$

$$t = 0,279 \text{ in} - 0,22 \text{ in}$$

$$t = 0,059 \text{ in}$$

$$D = D_2 = 0,375 \text{ in}$$

$$d = 0,25 \text{ in}$$

$$E = 30 \text{ Mpsi}$$

$$k_3 = \frac{0,5774 \times \pi \times 30 \text{ Mpsi} \times 0,25 \text{ in}}{\ln \frac{(1,155 \times 0,059 \text{ in} + 0,375 \text{ in} - 0,25 \text{ in})(0,375 \text{ in} + 0,25 \text{ in})}{(1,155 \times 0,059 \text{ in} + 0,375 \text{ in} + 0,25 \text{ in})(0,375 \text{ in} - 0,25 \text{ in})}}$$

$$k_3 = 41,02 \frac{Mlbf}{in}$$

$$k_3 = 7,18 \frac{MN}{mm}$$

A partir del cálculo de la rigidez individual de cada tronco se calcula la rigidez total con la ecuación (2.16).

$$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} \quad (2.16)$$

$$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{22,67 \text{ in}} + \frac{1}{303,48 \text{ in}} + \frac{1}{41,02 \text{ in}}$$

$$k_m = 0,072 \frac{Mlbf}{in}$$

$$k_m = 12,6 \frac{KN}{mm}$$

El tornillo de cabeza es corto y totalmente roscado, donde $l = 1$ para el agarre. Y una área de esfuerzo de tensión $A_t = 0,0318 \text{ in}^2$ de la Tabla 2.10 para un tornillo de $\frac{1}{4}$ de pulgada, para el cálculo de k_b con la ecuación (2.17).

Tabla 2. 10

Diámetros y áreas de roscas unificadas de tornillo UNC y UNF.

Size Designation	Nominal Major Diameter In	Coarse Series—UNC			Fine Series—UNF		
		Threads per Inch N	Tensile-Stress Area A_t , in ²	Minor-Diameter Area A_r , in ²	Threads per Inch N	Tensile-Stress Area A_t , in ²	Minor-Diameter Area A_r , in ²
0	0.0600				80	0.001 80	0.001 51
1	0.0730	64	0.002 63	0.002 18	72	0.002 78	0.002 37
2	0.0860	56	0.003 70	0.003 10	64	0.003 94	0.003 39
3	0.0990	48	0.004 87	0.004 06	56	0.005 23	0.004 51
4	0.1120	40	0.006 04	0.004 96	48	0.006 61	0.005 66
5	0.1250	40	0.007 96	0.006 72	44	0.008 80	0.007 16
6	0.1380	32	0.009 09	0.007 45	40	0.010 15	0.008 74
8	0.1640	32	0.014 0	0.011 96	36	0.014 74	0.012 85
10	0.1900	24	0.017 5	0.014 50	32	0.020 0	0.017 5
12	0.2160	24	0.024 2	0.020 6	28	0.025 8	0.022 6
$\frac{1}{4}$	0.2500	20	0.031 8	0.026 9	28	0.036 4	0.032 6
$\frac{3}{16}$	0.3125	18	0.052 4	0.045 4	24	0.058 0	0.052 4
$\frac{1}{2}$	0.3750	16	0.077 5	0.067 8	24	0.087 8	0.080 9
$\frac{7}{16}$	0.4375	14	0.106 3	0.093 3	20	0.118 7	0.109 0
$\frac{1}{2}$	0.5000	13	0.141 9	0.125 7	20	0.159 9	0.148 6
$\frac{3}{4}$	0.5625	12	0.182	0.162	18	0.203	0.189

Fuente: (Shigley, 2006)

$$A_t = 0,0318 \text{ in}^2$$

$$l = 1$$

$$k_b = A_t \times \frac{E}{l} \quad (2.17)$$

$$k_b = 0,954 \frac{Mlbf}{in}$$

$$k_b = 167,06 \frac{KN}{mm}$$

Una vez calculadas las rigideces se obtiene la constante de unión del tornillo a partir de la ecuación (2.18).

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m}$$

$$C = 0,93$$

Tabla 2. 11.

Especificaciones SAE para pernos de acero

SAE Grade No.	Size Range Inclusive, in	Minimum Proof Strength,* kpsi	Minimum Tensile Strength,* kpsi	Minimum Yield Strength,* kpsi	Material	Head Marking
1	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Low or medium carbon	
2	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$	55	74	57	Low or medium carbon	
	$\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36		
4	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Medium carbon, cold-drawn	
5	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Medium carbon, Q&T	
	$1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	74	105	81		
5.2	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Low-carbon martensite, Q&T	
7	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Medium-carbon alloy, Q&T	
8	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Medium-carbon alloy, Q&T	
8.2	$\frac{1}{4}$ -1	120	150	130	Low-carbon martensite, Q&T	

Fuente: (Shigley, 2006)

Con la ecuación (2.18) se procede al cálculo de la precarga.

$$F_i = 0,75 \times F_p$$

$$F_i = 0,75 \times A_t \times S_p$$

De la Tabla 2.11 se obtiene un $S_p = 85 \text{ Kpsi}$ para un tornillo de cabeza de grado 5 SAE.

$$F_i = 0,75 \times 0,0318 \text{ in}^2 \times 85 \text{ Kpsi}$$

$$F_i = 2,03 \text{ Kip}$$

A partir de la ecuación (2.18) se obtiene el factor de carga.

$$n = \frac{S_p \times A_t - F_i}{C \times P_T} \quad (2.18)$$

$$n = \frac{85 \text{ Kpsi} \times 0,0318 \text{ in}^2 - 2,03 \text{ Kip}}{0,93 \times 0,016 \text{ Kip}}$$

$$n = 45,23$$

A continuación se obtiene el factor de seguridad contra la separación de la unión (n_0) con la ecuación (2.19), este factor protege al perno cuando la fuerza P es muy grande, la unión se separa y el perno recibirá toda la carga.

$$n_0 = \frac{F_i}{P \times (1 - C)} \quad (2.19)$$

$$n_0 = \frac{2,03 \text{ Kip}}{0,016 \text{ Kip} \times (1 - 0,93)}$$

$$n_0 = 1812,5$$

Como se puede observar los factores de seguridad para el diseño del sistema de sujeción son altos, y se concluye que el diseño es aceptable, puesto que el valor mínimo admisible es de 5 y el valor presente es mayor al establecido.

2.3 DISEÑO ELÉCTRICO

De acuerdo al tamaño de la producción y precisión con la que deben ser contadas y empaçadas las botellas plásticas, se requiere un controlador con un número de entradas y salidas digitales que se muestran en la Tabla 2.12.

Tabla 2. 12.

I/O Requeridas

ENTRADAS	SALIDAS
1	3

La entrada que se necesita es para el sensor, el cual va a cumplir la función de contar los envases.

Las tres salidas que se requieren, son las siguientes:

- Activación o desactivación del pistón semáforo.
- Activación o desactivación del pistón para el empaçado.
- Alarma.

2.3.1 SISTEMA DE CONTEO AUTOMÁTICO

El sistema de conteo debe poseer las siguientes características:

- Precisión
- Exactitud
- Rapidez de respuesta

Por lo que es necesario seleccionar el correcto controlador que cumpla con estos requisitos.

El proceso que debe cumplir el contador automático se detalla en la Figura 2.15.

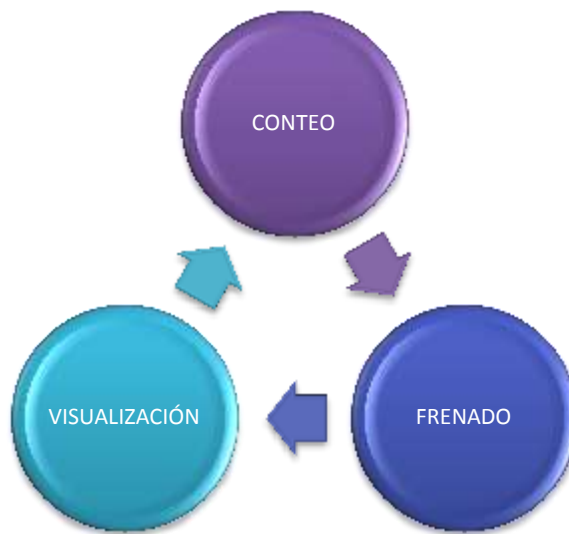


Figura 2. 15. Proceso de conteo

De acuerdo al proceso mostrado se requiere seleccionar un controlador que sea capaz de satisfacer estas necesidades, por lo cual se optó por utilizar un controlador lógico programable (PLC) de marca SIEMENS, por su fácil manejo y programación, además de ser un dispositivo versátil e idóneo para la automatización de procesos.

En vista de los parámetros citados se escoge el PLC Siemens CPU 221, el cual satisface las exigencias. Las características técnicas del PLC se muestran en el ANEXO C.

a. CONTEO

Un elemento importante para el conteo de envases plásticos es el sensor, el cual debe tener la capacidad de detectar envases plásticos, por lo que se debe seleccionar un sensor, cuyas características se muestran en la Tabla 2.13.

Tabla 2. 13.

Características del Sensor

Salidas	Digitales
Velocidad de respuesta	Alta
Voltaje	12-24 VDC
Distancia	Regulable

De acuerdo a las características necesarias se seleccionó un sensor fotoeléctrico cuyas características técnicas y conexiones se muestran en el ANEXO C.

b. VISUALIZACIÓN

Para la visualización del conteo de las botellas es necesario implementar una pantalla que sea compatible con el PLC seleccionado, la cual se muestra en la Figura 2.16.



Figura 2. 16. Pantalla TD 200

Fuente:

https://cache.automation.siemens.com/dnl/zlxODM3AAAA_14946222_HB/TD200_s.pdf

Esta pantalla no requiere de una fuente externa ya que se alimenta de

la fuente del PLC a través del cable serial, debido a que no existe una distancia mayor a los 2500 mm.

Las conexiones del cable de alimentación para la pantalla TD se muestran en la Figura 2.17.

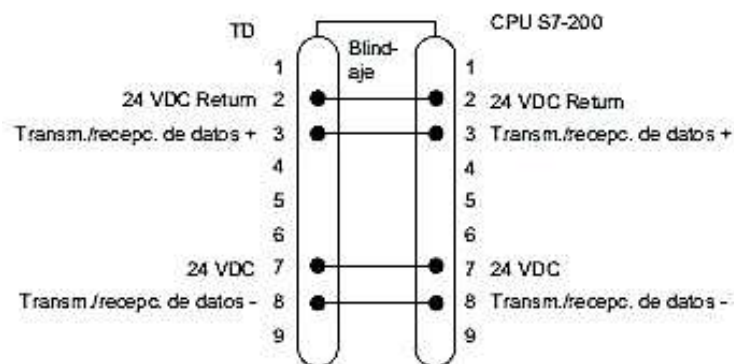


Figura 2. 17. Cable TD/CPU

Fuente:

https://cache.automation.siemens.com/dnl/zlxODM3AAAA_14946222_HB/TD200_s.pdf

c. FRENADO

El frenado de las botellas plásticas se realiza mediante un pistón que sirve de semáforo para el cual se seleccionó una electroválvula de 5 vías y 2 posiciones, que posee las características que se muestran en la Tabla 2.14.

Tabla 2. 14.

Especificaciones técnicas

Modelo	CHELIC
Voltaje	24 VDC
Presión Máx.	135 PSI
Potencia	3W

2.3.2 SISTEMA DE EMPACADO DE BOTELLAS PLÁSTICAS

Debido a la necesidad de controlar el pistón neumático de doble efecto seleccionado, se utilizará una electroválvula de 5 vías 2 posiciones, cuyas características se muestran en la Tabla 2.15.

Tabla 2. 15.***Especificaciones técnicas***

Modelo	AMISCO
Voltaje	110 VAC
Bobina	22 mm
Potencia Aparente	5 VA

La programación realizada para el sistema de conteo y empaçado se indica en el Anexo E.

2.3.3 CIRCUITO DE CONTROL DEL PROCESO DE CONTEO-EMPACADO

Mediante el PLC seleccionado se va a realizar el control de los procesos de Conteo y Empacado de botellas plásticas.

En el Anexo D se muestra el circuito de control del proceso de conteo-empacado, para lo cual se utilizó el software SolidWorks Eléctrical.

CAPÍTULO III

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

3.1 IMPLEMENTACIÓN Y MONTAJE DEL CABEZAL Y EXTRUSORA

3.1.1 EXTRUSOR

Una vez seleccionado el motor se procede a cambiarlo con el que posee la máquina, como se muestra en la Figura 3.1.



(a)

(b)

Figura 3. 1. (a) Motor propio de la máquina

(b) Motor después del cambio

Debido al cambio en la cantidad de la producción se procede a cambiar el extrusor.

Primero retiramos el extrusor propio de máquina como se muestra en la Figura 3.2.



Figura 3. 2. Extrusor retirado de la máquina

Luego se instala el nuevo extrusor y se colocan las resistencias a lo largo del mismo como se muestra en la Figura 3.3.



Figura 3. 3. Instalación de extrusor y colocación de resistencias

Seguidamente se realizan las conexiones del motor con el extrusor.

En la Figura 3.4 y 3.5 se muestra la conexión de las resistencias y las termocuplas a los pirómetros en el tablero principal.



Figura 3. 4. Conexión de termocuplas y resistencias al tablero principal



Figura 3. 5. Tablero principal

Una vez finalizado este proceso se coloca la tolva almacenadora sobre el cabezal, como se muestra en la Figura 3.6.



Figura 3. 6. Colocación de la tolva almacenadora

3.1.2 CABEZAL EXTRUSOR

Se coloca el cabezal extrusor de cuatro párisons sobre el extrusor, como se muestra en la Figura 3.7.



(a)



(b)



(b)



(c)

Figura 3. 7. Cambio de cabezal extrusor

Una vez colocado el cabezal extrusor se procede a poner las resistencias en las cuatro boquillas y la conexión de termocuplas como lo muestra la Figura 3.8.

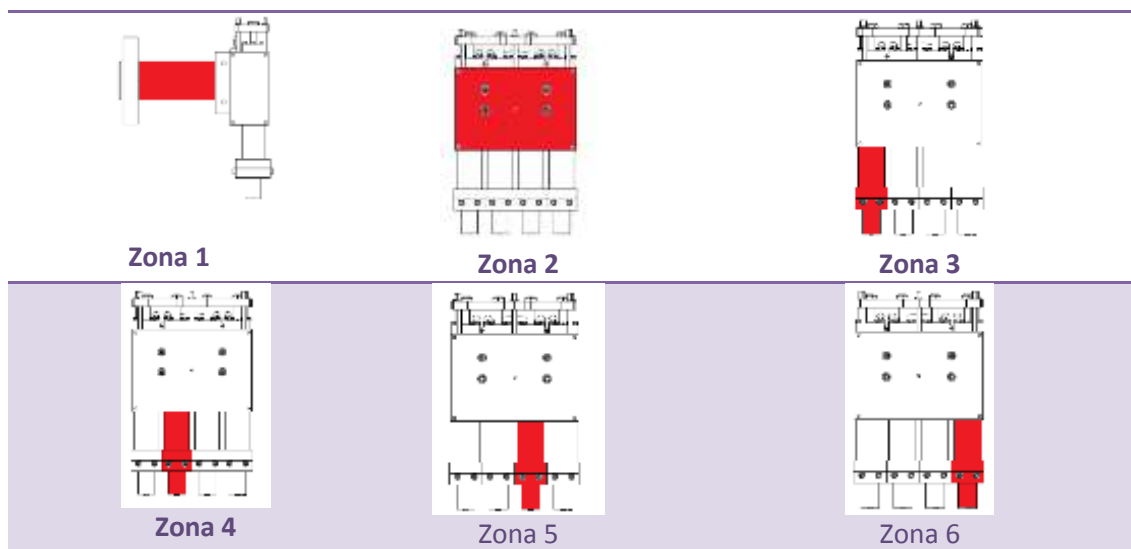


Figura 3. 8. Conexión de termocuplas

Esta conexión se realiza de acuerdo a las zonas de calentamiento correspondientes como se indica en la Tabla 3.1.

Tabla 3. 1.

Zonas de calentamiento del cabezal extrusor



Se regula las válvulas de cierre del cabezal extrusor para obtener el espesor correcto de la manga, como lo indica la Figura 3.9.



Figura 3. 9. Regulación de válvulas de cierre

3.2 IMPLEMENTACIÓN DE ACCESORIOS

Una vez realizada la implementación del extrusor y del cabezal se procede a realizar el cambio de accesorios como son la abrazadera de campana, abrazadera de cuerpo, rebabeador de fondo, base y pines de soplado, sujetadores los cuales estaban adaptados para dos botellas y se adaptaron para cuatro, como se indica en la Figura 3.10.



(a)



(b)



(c)

Figura 3. 10. Implementación de accesorios

3.3 IMPLEMENTACIÓN DEL CORTADOR LINEAL DE REBABAS

Una vez adquirido el cortador lineal de rebabas se procede a adaptar la banda inmersa en el mismo, puesto que debe ser adecuada para la

campana de la botella, posteriormente se calibra el templado para un corte exacto en el cuello de las botellas plásticas, como se puede mostrar en la Figura 3.11.



Figura 3. 11. Calibración de banda y ancho para el paso de botellas

Luego se realizaron las pruebas necesarias para comprobar que no existan fallas antes de colocarlo en la máquina comprobando su correcto funcionamiento (Figura 3.12).



Figura 3. 12. Comprobación de funcionamiento

Una vez realizadas estas pruebas el cortador lineal, se lo coloca entre la salida de la máquina extrusora y la banda de colocación de fajillas mostrado en la Figura 3.13.



Figura 3. 13. Adaptación del cortador lineal a la máquina extrusora

3.4 IMPLEMENTACIÓN DEL CONTADOR AUTOMÁTICO

Una vez adquirido el gabinete de control y realizados los agujeros necesarios para los elementos eléctricos, se procede a colocar los mismos.

Armado el tablero de control se procede a instalarlo en el gabinete. Luego se realizan las conexiones entre los elementos eléctricos y el tablero, mostrado en la Figura 3.14.



Figura 3. 14. Conexión y colocación de elementos eléctricos en el gabinete

Una vez listo el tablero de control se lo coloca sobre el soporte de la banda transportadora como lo indica la Figura 3.15.



Figura 3. 15. Instalación del gabinete en el soporte de la banda transportadora

Ya montado el tablero se realizan las conexiones con las electroválvulas y el sensor fotoeléctrico, como se indica en la Figura 3.16 y Figura 3.17 respectivamente.



Figura 3. 16. Conexión de electroválvulas al tablero principal



Figura 3. 17. Conexión de sensor fotoeléctrico al tablero principal

De acuerdo a los distintos tamaños de botellas que se producen en la máquina se regula la altura de colocación del sensor fotoeléctrico (Figura 3.18) para asegurar el conteo preciso de las botellas.



Figura 3. 18. Regulación de altura del sensor fotoeléctrico

Finalmente se coloca el pistón semáforo mediante una la placa de sujeción en la banda, como se muestra en la Figura 3.19.



Figura 3. 19. Instalación de pistón semáforo

3.5 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE EMPACADO

Una vez construidas las piezas de acuerdo al diseño realizado se procede a armar la placa soporte con las guías y bocines de los ejes, se coloca el cilindro de empacado, seguidamente se colocan las placas de empuje, sujeción y tope.

Una vez armado el mecanismo completo se procede a instalarlo en la banda transportadora como se indica en la Figura 3.20.



Figura 3. 20. Instalación del mecanismo a la banda transportadora

Ya montado el mecanismo se colocan la toma de aire para los pistones, se muestra en la Figura 3.21.



Figura 3. 21. Conexión de tomas de aire

3.6 PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA

Una vez implementadas todas las partes al sistema se procede a la realización de pruebas para comprobar el funcionamiento adecuado y evaluar los resultados obtenidos a partir de estas pruebas.

3.6.1 SISTEMA DE EXTRUSIÓN-SOPLADO

Se inicia con las pruebas de la salida del párison de las cuatro boquillas del cabezal extrusor, calibrando sus espesores, como se muestra en la Figura 3.22.



Figura 3. 22. Prueba de la salida del párison

Seguidamente se procede a iniciar el proceso con el carro que lleva los moldes y el proceso de soplado, como se indica en la Figura 3.23.



Figura 3. 23. Prueba de carro, moldes y sistema de soplado

Una vez listas las botellas se prueban el sistema de sujeción y la colocación de las mismas en las bandas transportadoras, como se muestra en la Figura 3.24.



Figura 3. 24. Prueba de sistema de sujeción

3.6.2 SISTEMA DE CORTE LINEAL

Una vez implementado el sistema de corte lineal a la máquina extrusora se procedió a la realización de pruebas para asegurar su correcto funcionamiento, evitando la existencia de fallas en el corte de las botellas.

Se calibró la temperatura de la cuchilla para que no existan fallas en el corte, como puede ver en la Figura 3.25.



Figura 3. 25. Calibración de temperatura de cuchilla

3.6.3 SISTEMA DE EMPACADO

Para probar el sistema de empacado se inicia ingresando el número de botellas a empacar mediante la Pantalla TD 200, seguidamente se puede ver en la misma el estado actual del conteo como lo muestra la Figura 3.26.



Figura 3. 26. Visualización de número de botellas

De acuerdo al conteo del número de botellas ingresado se observa que el pistón semáforo y de empaque funcionan sincronizados de acuerdo a la programación realizada, como se indica en la Figura 3.27.



Figura 3. 27. Pistones

De esta manera las botellas son empacadas en las dos estaciones, agilitando el proceso e incrementando su producción, se muestra en la Figura 3.28.



(a)



(b)

Figura 3. 28. Empacado de botellas

3.6.4 PRODUCCIÓN DE MÁQUINA INICIAL

La producción inicial que se encontró en la máquina se la muestra en la Tabla 3.2, donde se muestran los tiempos y en número de botellas producidas en el tiempo estimado.

- Para la botella de 120 g, cada manga produce 15 bultos.
- Para la botella de 200 g, cada manga produce 26 bultos.

La máquina inicialmente contaba con dos mangas.

Tabla 3. 2.

Producción Inicial

Tipo de botella	Ciclo	Producción/hora	Bultos diarios
120 g	7,10 s	507	30
200 g	7,40 s	486	52

3.6.5 PRODUCCIÓN DE MÁQUINA REPOTENCIADA

La producción con la máquina ya repotenciada se la muestra en la Tabla 3.3, donde se indican los tiempos y en número de botellas producidas en el tiempo estimado.

- Para la botella de 120 g, cada manga produce 15 bultos.
- Para la botella de 200 g, cada manga produce 26 bultos.

La máquina actualmente cuenta con cuatro mangas.

Tabla 3. 3.***Producción Actual***

Tipo de botella	Ciclo	Producción/Hora	Bultos diarios
120 g	7,10 s	1014	60
200 g	7,40 s	972	104

3.6.6 RESULTADOS

La Tabla 3.4 muestra la comparación entre la producción inicial y la actual de dos tipos de botellas producidas, lo que demuestra que la misma ha sido incrementada en un 100% (Figura 3.29 y 3.30) gracias a la implementación de moldes cuádruples el cambio del extrusor y cabezal extrusor.

Tabla 3. 4.***Comparación***

Tipo de Botella	Ciclo	Bultos iniciales diarios	Bultos actuales diarios
120 g	7,10 s	30	60
200 g	7,40 s	52	104

A continuación se muestra la comparación entre los dos tipos de botellas producidas inicialmente y actualmente, y su incremento debido a la repotenciación de la máquina.

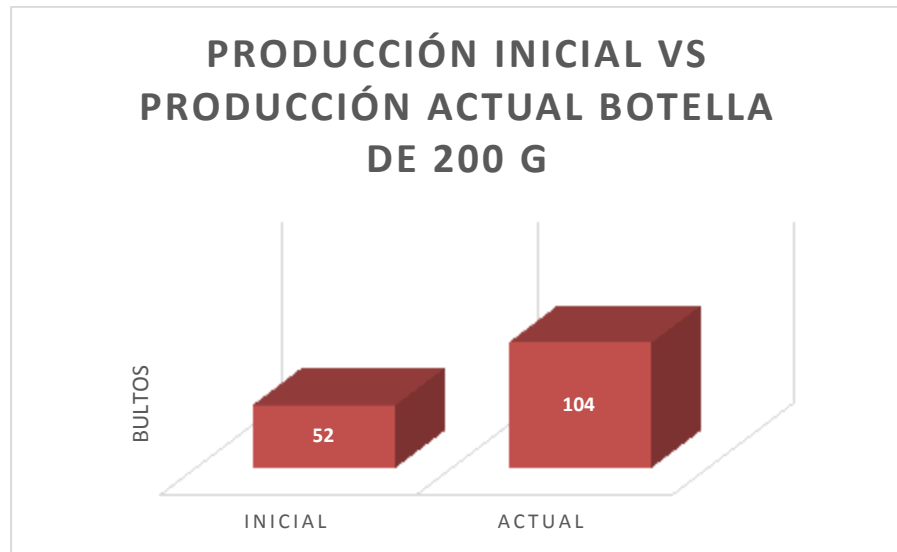


Figura 3. 29. Conexión de tomas de aire

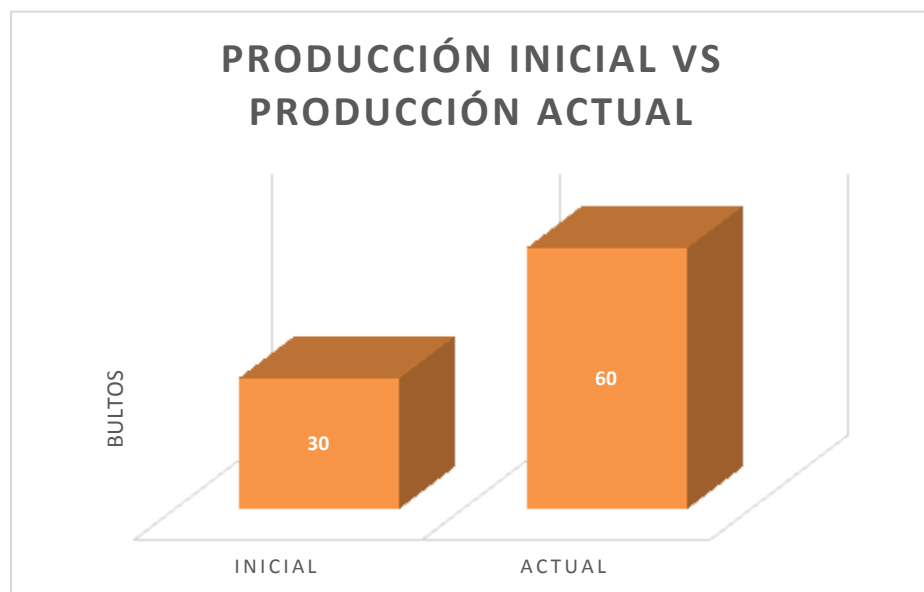


Figura 3. 30. Conexión de tomas de aire

3.7 VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

La hipótesis propuesta en el presente proyecto es satisfactoria puesto que la repotenciación de una máquina sopladora de botellas plásticas aumentó su producción.

La producción de las botellas plásticas se incrementó en un 100%, mejorando el proceso y disminuyendo tiempos de elaboración de los envases.

3.8 ANÁLISIS FINANCIERO

A continuación se realiza un análisis detallado de los gastos en la ejecución del proyecto tanto con los componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos y neumáticos.

Algunos de los componentes mecánicos fueron utilizados de la materia prima que posee la bodega de la empresa auspiciante, por lo que no existieron gastos adicionales en la construcción de la máquina.

Tabla 3. 5.

Gastos del proyecto

CANTIDAD	DETALLE	V. UNITARIO	V. TOTAL
COMPONENTES ELÉCTRICOS/ELECTRÓNICOS			
1	PLC SIEMENS S7-200 CPU 221	200	200
1	Pantalla TD 200	175	175
1	Selector 2 posiciones CAMSCO	2,05	2,05
1	Paro de emergencia	1,5	1,5
2	Luz piloto 16mm 110VDC	1,53	3,06
1	Zumbador	2,2	2,2
1	Sensor Capacitivo	70	70

CONTINÚA 

3	Borneras 2.5 mm	1,14	3,42
3	Relés 24VDC	5,1	15,3
5	Cable flexible 16	0,32	1,6
5	Cable flexible 12	0,74	3,7
1	Gabinete Eléctrico 20x30	25	25
1	Riel DIN	12	12
1	Canaleta DEXON	6,6	6,6
1	Variado 20 HP	1600	1600
1	Motor 20 HP	1200	1200
1	Extrusor de 42,5 x 3,3 in	5000	5000
1	Cortador Lineal	2500	2500
COMPONENTES NEUMÁTICOS			
1	Pistón CHELIC Φ 50.63mm	100	100
1	Pistón CHELIC Φ 15 mm	30	30
1	Electroválvula 1/4 5-2 NC 24VDC	53,1	53,1
1	Electroválvula 1/4 5-2 NC 100VDC	21,57	21,57
2	Pines de soplado	150	300
1	Sujetadores	350	350
COMPONENTES MECÁNICOS			
4	Moldes	875	3500
1	Cabecal Extrusor	5000	5000
5	Placa ASTM A-36 1'x1/8'	1,2	6

CONTINÚA 

1	Placa ASTM A-36 3'x1/4'	5	5
1	Eje de bronce de 1/2 '	6,6	6,6
1	Rebabeador	350	350
VALOR TOTAL		20543,7	

La Tabla 3.5 muestra el presupuesto gastado en la construcción e implementación del sistema de corte lineal, empacado a granel y conteo automático, estos costos fueron financiados por la empresa auspiciante INPLASTICO de ciudad de Latacunga.

Los precios de las botellas producidas en la máquina se muestran a continuación en la Tabla 3.6.

- El bulto de la botella de 120 g contiene 800 botellas y al día se obtienen 30 bultos.
- El bulto de la botella de 200g contiene 450 envases, y al día se obtienen 52 bultos.

Tabla 3. 6.

Precios de producción

Botella	Precio por Bulto	Bultos diarios	Ingreso diario
120 g	43	30	1290
200 g	34,78	52	1808

En las Tablas 3.7 y 3.8 se muestra un análisis de ingresos y egresos antes y después del proyecto.

Tabla 3. 7.

Análisis de ingresos y egresos sin el proyecto

Producción de botellas por día		
	Envase de 120g	Envase de 200g
Materia Prima	100	167
Mano de Obra	68	68
Energía Eléctrica	4	4
Administración	160	160
Costo total	332	399
Ingreso diario	1290	1808
UAI	958	1409
UDI ₁	574,8	845,4

Tabla 3. 8.

Análisis de ingresos y egresos con el proyecto

Producción de botellas por día		
	Envase de 120g	Envase de 200g
Materia Prima	100	167
Mano de Obra	17	17

CONTINÚA →

Energía Eléctrica	5	5
Administración	160	160
Costo total	282	349
Precio de venta	1290	1808
UAI	1008	1459
UDI ₂	604,8	875,4

Dónde:

UAI = Utilidad antes de impuestos = Precio de venta – Costo

UDI = Utilidad después de impuesto = 60% UAI

- Análisis de flujo de fondo

Envase de 120 g:

$$UDI = FF$$

$$\Delta FF = FF_2 - FF_1$$

$$\Delta FF = 604,8 - 574,8$$

$$\Delta FF = 30$$

Envase de 200 g:

$$\Delta FF = FF_2 - FF_1$$

$$\Delta FF = 875,4 - 845,4$$

$$\Delta FF = 30$$

El flujo de fondo diario es de 30 dólares para los dos envases, en un mes con 20 días laborables da un total de 600 dólares.

El interés utilizado para el análisis de recuperación de inversión es del 12% anual.

Tabla 3. 9.

Análisis de recuperación de inversión

ΔFF	600 USD
VPN	6365,67 USD
Plazo	60 meses

$$VPN = \text{Valor presente neto} = -I_o + \Delta FF * \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n} \right]$$

En un tiempo de vida de la máquina considerado en un aproximado de 60 meses se recupera la inversión realizada y la empresa tiene a favor 6365,67 USD.

La TIR en 60 meses es del 2% por lo que la empresa gana un 24% de interés anual.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se repotenció el proceso de soplado de botellas de plástico de una máquina extrusora de dos a cuatro envases, en la empresa INPLASTICO.
- Se implementó un cortador lineal de rebabas de botellas plásticas para agilizar su producción diaria, reduciendo mano de obra en el proceso de fajillado.
- Se unió el proceso de extrusión soplado con el de fajillado y empaçado, poniéndolo en línea y disminuyendo en un 50% los tiempos de puesta manual de los envases a la entrada de la fajilladora.
- Se realizó un contador automático de botellas plásticas con el fin de facilitar el proceso de empaçado, disminuyendo en un 80% el tiempo del mismo.
- La pantalla de visualización fue muy útil puesto que se puede observar el estado actual del proceso e ingresar el número requerido de envases.
- En un tiempo de vida de la máquina considerado de 60 meses se recupera la inversión y se tiene un total de 6365,67 USD a favor por lo que el proyecto se considera aceptable.
- La tasa interna de retorno es aproximadamente el 2% anual y es favorable para la empresa.

4.2 RECOMENDACIONES

- Es importante realizar los diseños con criterios apropiados, para asegurar así la vida útil de los componentes.
- Es necesario capacitar a los operarios para el manejo y monitoreo del sistema de empacado.
- Se recomienda tener un buen control de calidad con la salida del producto final debido a posibles fallos en el proceso de fajillado.
- Calibrar el sensor de acuerdo a la distancia a la cual va a estar colocado para evitar errores de señal.
- Es importante alinear el sistema de fajillado con el de empacado mediante la sujeción fija de las bandas transportadoras en sus bases.
- Revisar los elementos neumáticos al igual que las tomas de aire, verificando que no existan fugas en las mangueras.
- Sujetar correctamente el mecanismo de empacado a la pared de la banda transportadora para evitar que este se mueva y pueda existir colisiones en el empacado.

BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, J. (2008). Actuadores eléctricos y mecánicos. Actuadores eléctricos y mecánicos. Instituto Universitario Politécnico "Santiago Mariño", Jalisco, Puerto Vallarta, Venezuela.

ArthurGill, K. a. (2007). Computer Numerical Control Simplified. Illustrated.

Flores, H. &. (2011). Tecnología de los materiales en la construcción. El Acero. Universidad Católica "Santo Toribio de Mogrovejo", Chiclayo.

Mott, R. L. (2006). Diseño de elementos de máquinas. México, D.F.: PEARSON Educación.

Rocha, J. &. (2011). Ingeniería de Control. Introducción a los Sistemas de Control. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey.

Shigley. (2006). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. México, D.F.: Mc Graw Hill.

NETGRAFÍA

- Avila, M. (5 de Noviembre de 2008). *Proceso de Extrusión-Soplado*. Recuperado el 23 de Agosto de 2014, de <http://es.scribd.com/doc/7742321/Extrusion-soplo>
- Correa, E. (12 de Diciembre de 2007). *PROCESO DE MOLDEO POR SOPLADO*. Recuperado el 23 de Agosto de 2014, de <http://procdesoplado.blogspot.com/>
- Flores, M. (15 de Marzo de 2011). *Tecnología de los Plásticos*. Recuperado el 24 de Agosto de 2014, de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>
- Gonzalez, E. (2008). *DISEÑO DE UNA MÁQUINA FORMADORA DE FARDOS DE FLUJO CONTÍNUO PARA BOTELLAS*. Obtenido de *DISEÑO DE UNA MÁQUINA FORMADORA DE FARDOS DE FLUJO CONTÍNUO PARA BOTELLAS*: http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-39663.pdf
- Kandt, A. (2009). *HISTORIA DEL SOPLADO*. Recuperado el 23 de Agosto de 2014, de http://biblioteca.sena.edu.co/exlibris/aleph/u21_1/alephe/www_f_spa/i-con/45896/Informador62/8/historia.html
- Mayorga, E., & Padilla, F. (Febrero de 2011). *AUTOMATIZACIÓN PARA EL PROCESO DE LA MÁQUINA SOPLADORA DE ENVASES PLÁSTICOS DE LA EMPRESA N.S. INDUSTRIAS*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2014, de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1090/3/T-UTC-0752.pdf>

Salvador, A. (Agosto de 2009). *Elementos y equipos eléctricos*. Obtenido de Elementos y equipos eléctricos: http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/CAP%209%20Pco.pdf

Tecnología de los Plásticos. (22 de Marzo de 2012). *Extrusión - soplado*. Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/03/extrusion-soplado.html>

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. (s.f.). *El Proceso de Inyección*. Recuperado el 23 de Agosto de 2014, de http://docencia.udea.edu.co/ingenieria/moldes_inyeccion/unidad_2/proceso_inyeccion.html

ANEXOS

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por las señoritas Romero Rodríguez Claudia Verónica y Sánchez Tipán Patricia Elizabeth por mi supervisión.



ING. WASHINGTON FREIRE
DIRECTOR DEL PROYECTO



ING. VICENTE HALLO
CODIRECTOR DEL PROYECTO



ING. VICENTE HALLO
DIRECTOR DE LA CARRERA



DR. FREDDY JARAMILLO
SECRETARIO ACADÉMICO