



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**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: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
PÁRISON PARA REGULAR EL ESPESOR DE ENVASES
PLÁSTICOS EN UN PROCESO DE EXTRUSIÓN CONTINUA
EN LA EMPRESA INPLÁSTICO**

**AUTORES: LUIS EDUARDO GAVILANEZ ACOSTA
ALEX FERNANDO LLERENA MENA**

**DIRECTOR: ING. HÉCTOR COCHISE TERÁN
CODIRECTOR: ING. WILSON SÁNCHEZ**

LATACUNGA

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICADO

ING. HECTOR TERAN (DIRECTOR)
ING. WILSON SÁNCHEZ (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PÁRISON PARA REGULAR EL ESPESOR DE ENVASES PLÁSTICOS EN UN PROCESO DE EXTRUSIÓN CONTINUA EN LA EMPRESA INPLÁSTICO**” realizado por los señores: LUIS EDUARDO GAVILANEZ ACOSTA y ALEX FERNANDO LLERENA MENA, 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, Octubre del 2015.

Ing. Héctor Terán
C.C.: 0502680465
DIRECTOR

Ing. Wilson Sánchez
C.C.: 0501529937
CODIRECTOR

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

LUIS EDUARDO GAVILANEZ ACOSTA y
ALEX FERNANDO LLERENA MENA

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PÁRISON PARA REGULAR EL ESPESOR DE ENVASES PLÁSTICOS EN UN PROCESO DE EXTRUSIÓN CONTINUA EN LA EMPRESA INPLÁSTICO**”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan manteniendo normas APA, 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, Octubre del 2015.

Luis Eduardo Gavilanez Acosta
C.C.: 050378344-1

Alex Fernando Llerena Mena
C.C.: 180497327-7

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

AUTORIZACIÓN

Nosotros: LUIS EDUARDO GAVILANEZ ACOSTA
ALEX FERNANDO LLERENA MENA

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo denominado **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PÁRISON PARA REGULAR EL ESPESOR DE ENVASES PLÁSTICOS EN UN PROCESO DE EXTRUSIÓN CONTINUA EN LA EMPRESA INPLÁSTICO”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Octubre del 2015.

Luis Eduardo Gavilanez Acosta
C.C.: 050378344-1

Alex Fernando Llerena Mena
C.C.: 180497327-7

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado con mucho cariño a mis padres Marco y Miriam, que siempre me dieron su apoyo incondicional, sus consejos, su ayuda en momentos difíciles; me inculcaron valores y principios que junto a su ejemplo de esfuerzo me ayudaron para ser una persona de bien.

A mis hermanos Erika y Alejandro, abuelos, primos y tíos que siempre han estado a mi lado, sus palabras de aliento siempre me impulsaron. Fruto de mucho esfuerzo y dedicación este trabajo es para ustedes.

Luis Eduardo Gavilanez Acosta

A mis Hermanas Erika y Sandra que siempre me han acompañado en mi vida; que siempre me han querido tal como soy y sin esperar nada a cambio solo por la satisfacción de verme feliz; que han sido las personas que saben envolverme con cariño y alegría cada vez que lo necesito.

A mis Abuelos Elvia y Menthor por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Alex Fernando Llerena Mena

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios quien nos dio la vida y la ha llenado de bendiciones y sabiduría para culminar nuestra carrera universitaria.

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento, reconocimiento y cariño a nuestros padres y abuelos por todo el esfuerzo que hicieron para darnos una profesión y guiarnos para hacer de nosotros personas de bien, gracias por los sacrificios y por su ayuda todos estos años; gracias a ustedes hemos llegado a donde estamos.

A nuestros hermanos quienes han sido un pilar fundamental a lo largo de toda nuestra formación profesional y personal, brindándonos su cariño, apoyo, confianza y amistad para seguir adelante en nuestro camino.

A nuestros amigos y amigas, con quienes hemos compartido tantas experiencias buenas y malas, gracias por ese inmenso cariño que nos han brindado.

A los docentes de la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE Extensión Latacunga, quienes nos impartieron sus conocimientos de la mejor forma posible. A todas aquellas personas que de una u otra forma nos ayudaron a crecer como personas y como profesionales.

Agradecemos también de manera especial a los Ingenieros Héctor Terán y Wilson Sánchez, quienes con su apoyo supieron guiar el desarrollo del presente proyecto.

GRACIAS

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT	xix
CAPÍTULO I	1
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.3 Justificación e importancia	2
1.4 Objetivos	3
1.4.1 Objetivos Generales.....	3
1.4.2 Objetivos Específicos	3
1.5 Plásticos.....	3
1.5.1 Definición	3
1.5.2 Clasificación de polímeros según estructura química.....	4
1.6 Moldeo por Extrusión-Soplado	4
1.6.1 Tipos de maquinaria para moldeo por Extrusión-Soplado	5
1.6.2 Partes de maquinaria para moldeo por Extrusión-Soplado.....	6
1.6.3 El carro	8
1.6.4 Soplado.....	9
1.6.5 Desbarbado	9
1.7 Controlador de Párison	10
1.7.1 El principio del controlador de párison.....	11

1.7.2	Diagrama de función de sistema	12
1.8	Controladores Lógicos Programables	13
1.8.1	Estructura del autómata programable	14
1.8.2	Clasificación de los autómatas programables	15
1.8.3	Tipos de Señales	15
1.9	Paneles de Visualización	16
1.9.1	Gráficos.....	16
1.10	Sistemas neumáticos	17
1.10.1	Actuadores neumáticos.....	17
1.10.2	Cilindros	18
1.10.3	Actuador Piñón – Cremallera	18
1.10.4	Electroválvulas.....	19
1.10.5	Ventajas del sistema neumático.....	19
1.10.6	Desventajas del sistema neumático	20
1.11	Sistema hidráulico.....	20
1.11.1	Bomba hidráulica	21
1.11.2	Fluido hidráulico.....	22
1.11.3	Acoples Rápidos	22
1.12	Servo Válvulas	22
1.12.1	Ventajas.....	23
1.12.2	Desventajas	23
CAPÍTULO II		24
2.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.....	24
2.1	La casa de la calidad	24
2.1.1	Requerimientos del cliente.....	24
2.1.2	Criterio del Ingeniero.....	25
2.1.3	Resultados	26
2.2	Análisis funcional	26
2.2.1	Controlador párison.....	26
2.2.2	Cortador automático de rebabas.....	30
2.3	Matriz morfológica.....	31

2.3.1	Controlador de párison.....	31
2.3.2	Cortador automático de rebabas	32
2.4	Selección de elementos para el controlador de párison	34
2.4.1	Touch Panel.....	34
2.4.2	Controlador	34
2.4.3	Selección del cilindro hidráulico	35
2.4.4	Selección de la servo válvula	36
2.4.5	Selección de elementos para el circuito hidráulico	37
2.5	Selección de elementos para el cortador automático	39
2.5.1	Selección de actuadores neumáticos	39
2.5.2	Selección de electroválvulas	40
2.5.3	Selección sensores	40
2.5.4	Selección de eje roscado	41
2.6	Diseño del controlador de párison	41
2.6.1	Diseño del servoamplificador	41
2.6.2	Acondicionamiento de la salida del PLC	41
2.6.3	Offset	43
2.6.4	Dither	43
2.6.5	Etapas de potencia	45
2.6.6	Acondicionamiento de la señal de la LVDT	47
2.6.7	Diseño del HMI.....	49
2.7	Diseño del circuito hidráulico.....	52
2.8	Diseño del lazo de control PID	59
2.9	Diseño del control en el PLC.....	63
2.10	Diseño del cortador automático de rebabas	66
2.10.1	Parámetros de diseño	66
2.10.2	Diseño Mecánico.....	68
2.10.3	Diseño del circuito neumático.....	94
2.10.4	Diseño de control del cortador automático	96
2.11	Implementación del sistema párison	97
2.11.1	Implementación del sistema de control	97
2.11.2	Servoamplificador	98

2.11.3	Tablero de control	99
2.11.4	Implementación del circuito hidráulico.....	99
2.12	Implementación del cortador automático de rebabas	100
CAPÍTULO III		103
3.	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	103
3.1	Pruebas y análisis de resultados del sistema de párison.....	103
3.1.1	Operacionalización de la variable independiente	103
3.1.2	Operacionalización de la variable dependiente	108
3.2	Pruebas y análisis de resultados cortador automático de rebabas	113
3.2.1	Operacionalización de las variables independientes	113
3.2.2	Operacionalización de la variable dependiente	115
3.3	Validación de la hipótesis.....	116
3.4	Análisis técnico económico	117
3.4.1	Tasa Mínima Aceptable De Rendimiento (TMAR).....	117
3.4.2	Determinación de la tasa de descuento del inversionista	118
3.4.3	Tasa Interna de Retorno	119
3.4.4	Valor Presente Neto.....	119
CAPÍTULO IV.....		121
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	121
4.1	Conclusiones	121
4.2	Recomendaciones	123
BIBLIOGRAFÍA.....		124
LINKOGRAFÍA.....		125
ANEXOS		127

- ANEXO A:** CASA DE LA CALIDAD.
- ANEXO B:** CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE TOUCH PANEL TP177A.
- ANEXO C:** CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PLC S7-200 CPU 224.
- ANEXO D:** CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE MÓDULO DE EXPANSIÓN ANALÓGICA SIEMENS.
- ANEXO E:** CARACTERÍSTICAS DEL SERVO CILINDRO HIDRÁULICO.
- ANEXO F:** CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS SERVO VÁLVULA D 631.
- ANEXO G:** PANTALLAS DEL HMI.
- ANEXO H:** ACTUADOR ROTO-LINEAL NEUMÁTICO.
- ANEXO I:** CILINDRO NEUMÁTICO DOBLE EFECTO SMC.
- ANEXO J:** CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS UNIDAD HIDRÁULICA.
- ANEXO K:** PROGRAMACIÓN PLC.
- ANEXO L:** PROPIEDADES DEL HDPE.
- ANEXO M:** PROPIEDADES MECÁNICAS DE PERNOS SAE.
- ANEXO N:** ANÁLISIS ECONÓMICO
 - ANEXO N-1 FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO
 - ANEXO N-2 VAN Y TIR
 - ANEXO N-3 FLUJO DE FONDOS
- ANEXO O:** PLANOS ELÉCTRICOS.
- ANEXO P:** PLANOS MECÁNICOS.
- ANEXO Q:** MANUALES.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Representación del párison.	5
Figura 1.2.	Proceso de moldeo por Extrusión-Soplado.	5
Figura 1.3.	Máquina de extrusión-soplado.	6
Figura 1.4.	Cabezal extrusor.	7
Figura 1.5.	Tipos de matriz.	7
Figura 1.6.	Carro de máquina para moldeo por extrusión-soplado.	8
Figura 1.7.	(a) Soplado en extrusora Magic M.P.; (b) Esquema de soplado.	9
Figura 1.8.	(a) Desbarbado del cuello; (b) Desbarbado de fondo.	10
Figura 1.9.	Sistema para la regulación de espesor de párison.	11
Figura 1.10.	Perfil de envase con Manga: a) Constante; b) Variable.	11
Figura 1.11.	Diagrama de función de sistema de Párison.	12
Figura 1.12.	Control de Parison variando el tiempo.	13
Figura 1.13.	Control de Parison variando la longitud de salida de la matriz.	13
Figura 1.14.	Diagrama estructural de un PLC.	14
Figura 1.15.	PLC Compacto.	15
Figura 1.16.	Panel de visualización gráfico.	17
Figura 1.17.	Cilindro neumático a) vástago simple; b) vástago doble.	18
Figura 1.18.	Actuador neumático piñón-cremallera.	19
Figura 1.19.	Electroválvula.	19
Figura 1.20.	Circuito hidráulico.	21
Figura 1.21.	Acoples rápidos.	22
Figura 1.22.	Servo válvula.	23
Figura 2.1.	Sistema de párison con matriz a) convergente y b) divergente.	27
Figura 2.2.	Diagrama de flujo del sistema de párison.	29
Figura 2.3.	Diagrama de flujo del proceso de corte automático.	30
Figura 2.4.	Touch Panel Tp177A.	34
Figura 2.5.	Módulo de expansión analógica.	35

Figura 2.6.	Servo cilindro hidráulico MOOG.....	36
Figura 2.7.	LVDT en el servo cilindro hidráulico.....	36
Figura 2.8.	Servo válvula MOOG D631.	37
Figura 2.9.	Racores de acople rápido.....	38
Figura 2.10.	Racor Recto.....	38
Figura 2.11.	Manguera hidráulica.	38
Figura 2.12.	Conjunto cilindro de movimiento lineal y rotatorio neumático.....	39
Figura 2.13.	Cilindro neumático para cortador.	39
Figura 2.14.	Electroválvula neumática de retorno por muelle.	40
Figura 2.15.	Sensor de posición de cilindro neumático.....	40
Figura 2.16.	Principio de funcionamiento del servoamplificador.....	41
Figura 2.17.	Acondicionamiento de señal de control.....	42
Figura 2.18.	Circuito Dither.....	45
Figura 2.19.	Acondicionamiento de señales de control.....	46
Figura 2.20.	Etapas de amplificación de corriente-voltaje.....	47
Figura 2.21.	Descripción de LVDT.....	47
Figura 2.22.	Acondicionamiento de la señal de la LVDT.....	48
Figura 2.23.	Creación de variables de la Touch Panel.....	49
Figura 2.24.	Creación de las imágenes del HMI.	50
Figura 2.25.	Creación de recetas.....	51
Figura 2.26.	Creación de recetas vista general.....	51
Figura 2.27.	Circuito hidráulico.	52
Figura 2.28.	Unidad Hidráulica MAGIC M.P.....	53
Figura 2.29.	Recorrido del circuito hidráulico.....	54
Figura 2.30.	Diagrama del sistema.	60
Figura 2.31.	Sintonizador PID de MICROWIN de SIEMENS.	61
Figura 2.32.	Respuesta del proceso con la sintonización manual.....	62
Figura 2.33.	Respuesta del proceso con el reajuste de constantes.	62
Figura 2.34.	Programación para matriz: a) Divergente; b) Convergente.....	64

Figura 2.35.	Programación para el control de cambio de consigna del PID.....	64
Figura 2.36.	Programación: a) Escalar señales analógicas; b) Lazo PID.	65
Figura 2.37.	Vista exterior de tablero de control.	65
Figura 2.38.	Ubicación del Cortador: a) En la extrusora; b) En la base de soplado.	66
Figura 2.39.	Coordenadas desde la base.	67
Figura 2.40.	Dimensiones Galón Lechero.....	67
Figura 2.41.	Cortador de rebabas.	68
Figura 2.42.	Cortador Automático de Rebabas.....	68
Figura 2.43.	Análisis base cortador.	69
Figura 2.44.	Diagramas de fuerza cortante y momento flector de base cortador.....	70
Figura 2.45.	Sección transversal de la base cortador.	71
Figura 2.46.	Sujeción base cilindro: a) Geometría; b) Mallado.....	73
Figura 2.47.	Sujeción base cilindro: a) Análisis de esfuerzos; b) Deformación; c) Factor de seguridad.	74
Figura 2.48.	Columna sujeción cilindro altura.	75
Figura 2.49.	Sujeción del cilindro altura: a) Geometría; b) Mallado.....	78
Figura 2.50.	Sujeción del cilindro altura: a) Esfuerzos máximos; b) Deformación; c) Factor de seguridad.	79
Figura 2.51.	Sección circular de acople cilindro vástago.....	80
Figura 2.52.	Sujeción del cilindro altura: a) Geometría; b) Mallado.....	81
Figura 2.53.	Acople eje del cilindro vástago: a) Análisis esfuerzos; b) Deformación; c) Factor de seguridad.	82
Figura 2.54.	Sujeción del cilindro altura: a) Geometría; b) Mallado.....	83
Figura 2.55.	Acople eje cilindro: a) Análisis esfuerzos; b) Deformación; c) Factor de seguridad.	84
Figura 2.56.	Sujeción del cilindro altura: a) Geometría; b) Mallado.....	85
Figura 2.57.	Sujetador del cilindro: a) Análisis esfuerzos; b) Deformación; c) Factor de seguridad.	86

Figura 2.58.	Curva de esfuerzo vs deformación del HDPE.....	87
Figura 2.59.	Inserción de cuchilla en la campana del envase.	87
Figura 2.60.	Secciones de avance y retroceso de un cilindro.	88
Figura 2.61.	Cuchilla y campana de envase plástico.	90
Figura 2.62.	Radio de giro del cortador.....	92
Figura 2.63.	Cálculo de pernos.....	93
Figura 2.64.	Circuito neumático del cortador automático de rebabas.	95
Figura 2.65.	Diagrama de secuencia A+ B- C+ C- B+ A-.....	96
Figura 2.66.	Diagrama de control.	96
Figura 2.67.	Conexión a solenoides.	97
Figura 2.68.	Servo amplificador vista frontal.....	98
Figura 2.69.	Servoamplificador: a) Sin dither, b) y c) Con dither variando amplitud y frecuencia.	98
Figura 2.70.	Tablero de control.....	99
Figura 2.71.	Descripción del lugar a colocar el servo cilindro.	99
Figura 2.72.	Descripción del servo cilindro y los componentes del cabezal.....	100
Figura 2.73.	Implementación; a) Pin de centrado y b) Cortador.....	101
Figura 2.74.	Ensamble cortador.....	101
Figura 2.75.	Cortador automático de rebabas en la máquina Magic simple.....	101
Figura 2.76:	a) Cuerpo de electroválvulas; b) Tablero de control.....	102
Figura 2.77.	Cortador automático de rebabas.....	102
Figura 3.1.	Grafica Variación de peso HMI vs Variación de peso envase.....	105
Figura 3.2.	Sintonizador PID con matriz Divergente.	105
Figura 3.3.	Variación de puntos en valores bajos.	107
Figura 3.4.	Variación de puntos en valores altos.	107
Figura 3.5.	Medición de peso de envase 500 Ranchito.....	110
Figura 3.6.	Variación de peso con y sin párison.	110
Figura 3.7.	Mediciones de 18 puntos; a) envase cerrado, b) envase abierto.	111

Figura 3.8.	Envase sin regular vs Envase con regulación.....	111
Figura 3.9.	Configuración de puntos vs Espesor de pared de envase.....	112
Figura 3.10.	Ubicación de cortador automático de rebabas.....	114
Figura 3.11.	Calibraciones mecánicas.....	114
Figura 3.12.	Galón Lechero rebabeado.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.	Tipos de termoplásticos.....	4
Tabla 2.1.	Matriz Morfológica para el sistema párison.....	31
Tabla 2.2.	Matriz de análisis para el sistema de párison.....	32
Tabla 2.3.	Matriz Morfológica para el cortador automático	33
Tabla 2.4.	Matriz de análisis para el sistema párison	33
Tabla 2.5.	Constantes y resultados de las ecuaciones 2.1, 2.2 y 2.3	58
Tabla 2.6.	Constantes de sintonización del controlador PID	61
Tabla 3.1.	Operacionalización de la variable independiente Sistema párison.....	103
Tabla 3.2.	Operacionalización de la variable dependiente Regulación de espesor de envases plásticos	109
Tabla 3.3.	Operacionalización de la variable independiente Cortador automático de rebabas.....	113
Tabla 3.4.	Operacionalización de la variable dependiente Cortador automático de rebabas	115
Tabla 3.5.	Análisis de costos	118

RESUMEN

En el presente documento se detalla el proceso de diseño e implementación de un sistema de párison para regular el espesor de envases plásticos en un proceso de extrusión continua. La finalidad de este proyecto es lograr la optimización de envases plásticos dando como resultado un menor consumo de materia prima necesaria para elaborar dicho producto y mejorar la calidad del mismo; de esta manera se incrementa la utilidad de la empresa al brindar un producto de mejores prestaciones. Para el sistema de control se usa un controlador lógico programable con su respectivo módulo de entradas y salidas analógicas. Adicionalmente se realiza el diseño e implementación de una tarjeta servoamplificadora para acoplar las señales de control hacia la servo válvula. El actuador encargado de la regulación del espesor de la manga plástica es un servo cilindro hidráulico, la posición del vástago se obtiene mediante un transductor de posición. Además se realiza la implementación de un cortador automático de rebabas para el envase denominado Galón Lechero, en el diseño mecánico se usa el software ANSYS para el análisis estático y de pandeo de la estructura.

PALABRAS CLAVES

- **PLÁSTICAS-INDUSTRIA Y COMERCIO**
- **CONTROLADOR DE PÁRISON**
- **CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE**
- **SERVOAMPLIFICADOR**

ABSTRACT

In this paper the process of designing and implementing a system to regulate the thickness parison plastic containers in a continuous extrusion process is detailed. The purpose of this project is to optimize plastic containers resulting in a lower consumption of raw materials needed to produce the product and improve its quality; thus the value of the company is increased by providing a product of better performance. Control system for a programmable logic controller module with its respective analog inputs and outputs used. Additionally, the design and implementation of a servoamplifier card is made to engage the control signals to the servo valve. The actuator responsible for regulating the thickness of the plastic sleeve is a servo hydraulic cylinder, the piston position is obtained by a position transducer. Also the implementation of an automatic cutter for the packaging called Galón Lechero, in the mechanical design ANSYS software for static analysis and buckling of the structure is used.

KEYWORDS

- **PLASTIC –INDUSTRY AND TRADE**
- **PARISON CONTROLLER**
- **PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER**
- **SERVO AMPLIFIER.**

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 Antecedentes

En el mercado mundial la industria del plástico cubre una gran variedad de necesidades del consumidor, como la construcción de envases, empaques, accesorios de distintos tipos; siendo la fabricación de botellas plásticas la de interés de estudio para el presente proyecto.

La industria plástica nacional busca el aprovechamiento de las nuevas tecnologías con distintas alternativas de solución para cubrir las necesidades que se presentan al momento de la fabricación del producto para así poder mantener una producción segura, confiable y de alta calidad, la cual se satisface la demanda del mercado nacional.

Inplástico es una empresa privada que se dedica a la fabricación de todo tipo de envases de plástico para la industria alimenticia, cumpliendo con estándares, normas de calidad y en busca de una mejora continua en sus procesos con responsabilidad medioambiental, de tal manera que es necesario un mayor uso de nuevas herramientas tecnológicas para mejorar los procesos de producción.

1.2 Planteamiento del problema

Inplástico es una empresa dedicada a la fabricación de envases de plástico para diversos refrescos, lácteos, etc., mediante máquinas sopladoras; el principio de funcionamiento de estas máquinas es mediante un sistema de inyección de plástico, se obtiene una manga la cual es llevada hacia un molde con la forma del envase deseado en donde se le aplica aire a presión, este aire expande la manga de plástico dándole la forma del

molde. En el sistema de inyección al disponer una manga de espesor constante, el envase obtenido tiene poca resistencia en ciertos lugares como en la base del envase al igual que en el contorno de la tapa.

Es posible regular el espesor de manga de la sopladora mediante la utilización de un Parison el cual para su funcionamiento requiere de una unidad hidráulica y un programador. Inplastico dispone en su inventario un Parison el cual no posee su respectiva unidad hidráulica y programador. Debido al elevado costo del programador no es posible su adquisición además la incompatibilidad de marcas existentes imposibilita acoplar otro programador de ahí la necesidad de diseñar e implementar un programador.

1.3 Justificación e importancia

Inplastico cuenta con máquinas de soplado, las cuales no poseen un controlador de Parison, por lo que los envases resultantes de estas máquinas son débiles en ciertos sectores, y al tratar de aumentar su espesor se aumenta a toda la manga quedando con exceso de material el resto del envase.

Uno de los postulados de la misión de la empresa es “Elaborar y proporcionar a nuestros clientes productos de la más alta calidad a precios competitivos”; y al brindar envases con sectores débiles los clientes no recibirían un producto de calidad, o a su vez el exceso de material no permitiría tener un precio competitivo en el mercado. Para poder cumplir con este enunciado de la Misión, es necesario regular el espesor de la manga, adicionalmente este equipo se encuentra en la bodega de la empresa sin ninguna utilidad por lo que es de mucha importancia para Inplástico poner en funcionamiento el Parison diseñando e implementando la unidad hidráulica y el programador.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivos Generales

Diseñar e implementar un Sistema de Párison para regular el espesor de envases plástico en un proceso de extrusión continua en la empresa Inplástico.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar el funcionamiento de un sistema de Párison comercial analógico existente en bodega de la empresa Inplástico.
- Diseñar un sistema de Párison digital que permita manipular el espesor de varios puntos del envase plástico.
- Dimensionar la unidad hidráulica del Párison para su correcto funcionamiento.
- Implementar el sistema de Párison en una máquina de soplado.
- Realizar pruebas de funcionamiento del Párison diseñado y la unidad hidráulica dimensionada.
- Diseñar un sistema para el corte automático de rebabas.
- Implementar un sistema para el corte automático de rebaba.

1.5 Plásticos

1.5.1 Definición

Los plásticos o polímeros, son materiales orgánicos obtenidos del procesamiento de sustancias naturales o de productos extraídos del petróleo, gas natural, carbón o de otras materias minerales. Son formados por un proceso químico llamado polimerización, usando procesos de polimerización distintos se obtienen diferentes tipos de polímeros o a su vez se le añaden aditivos para mejorar sus propiedades (Daé Aguilar , 2006).

1.5.2 Clasificación de polímeros según estructura química

Según su estructura química los plásticos se pueden clasificar en tres grupos como son los termoplásticos, termoestables y elastómeros.

Termoplásticos: Este grupo de plásticos permiten calentar, moldear y enfriar en un número de veces indefinidas, los utilizados en la industria de envases plásticos se detallan en la tabla 1.1 (López, 2007).

Tabla 1.1.

Tipos de termoplásticos.

Nombre	Propiedades	Aplicaciones
Polietileno (PE) Baja y Alta densidad	Blando y ligero, transparente.	Envases alimenticios.
Celofán	Transparente, flexible, resistente, adherente.	Embalaje, envasado.
Poliéster (PET)	Alta resistencia al desgaste, transparencia, buenas propiedades térmicas y resistencia química.	Botellas de agua, envases shampoo, limpieza

Fuente: (Albuérne, 2008).

1.6 Moldeo por Extrusión-Soplado

El moldeo de los plásticos consiste en dar las formas y medidas deseadas a un plástico por medio de un molde. El moldeo por extrusión-soplado permite obtener una pieza tubular de plástico que se produce en la extrusora. La pieza tubular recibe el nombre de párison como se observa en figura 1.1, este es atrapado en un molde y al inyectarle aire a presión, el material plastificado toma la forma del molde. Este proceso se muestra en la figura 1.2. (Salazar Monroy & Silva San Vicente, 2010)

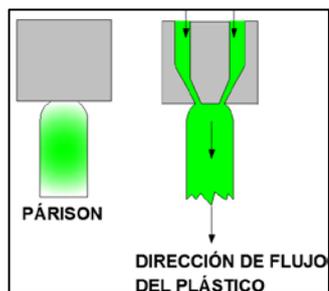


Figura 1.1. Representación del párison.

Fuente: (Rosales Terraza, 2003)

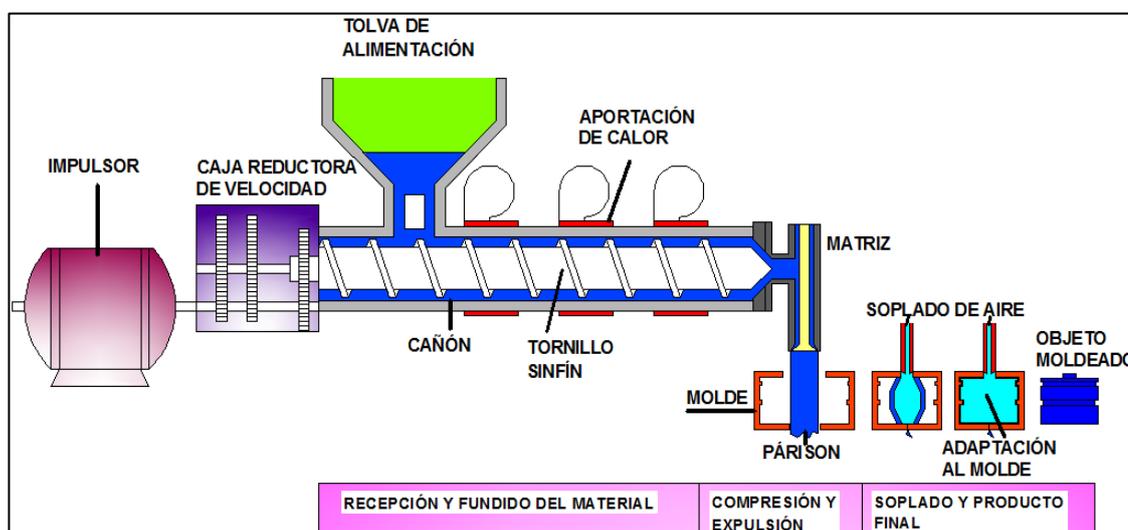


Figura 1.2. Proceso de moldeo por Extrusión-Soplado.

Es más utilizado para fabricar envases con distintas formas y grosores de pared, con posibilidad de hacer envases con agarrador. En el diseño de botellas y recipientes, se recomienda evitar los ángulos agudos y las esquinas en los moldes, para proporcionar mayor resistencia en las áreas críticas. Hay que prevenir que los sistemas de manejo o llenado de botellas, sometan al cuello a cargas o esfuerzos.

1.6.1 Tipos de maquinaria para moldeo por Extrusión-Soplado

Existen básicamente cuatro formas diferentes de proceso de fabricación de botellas, como son la extrusión continua, extrusión intermitente,

inyección-soplado e inyección-estirado-soplado. El proceso más utilizado es el de extrusión continua, que se puede dividir en tipo shuttle y tipo rueda. En este caso se va a trabajar con la máquina que utiliza el principio de extrusión continua de tipo Shuttle y de simple párison (Ver figura 1.3).

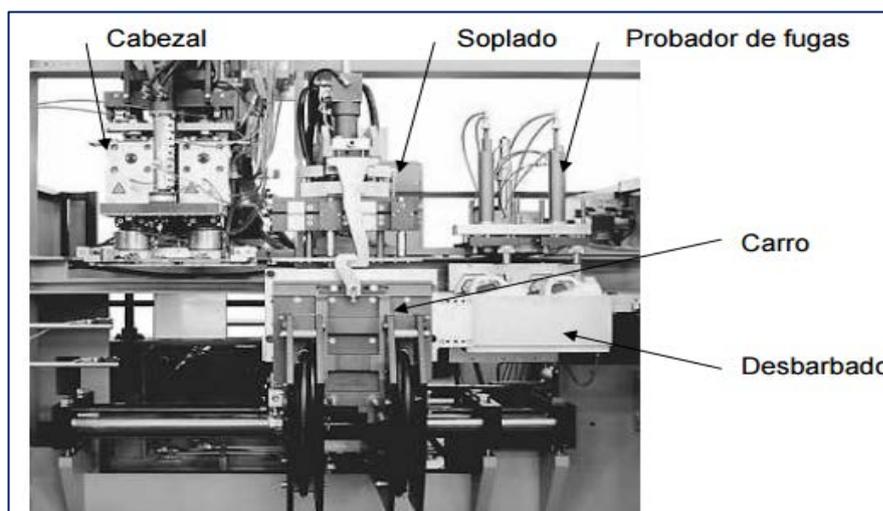


Figura 1.3. Máquina de extrusión-soplado.

Fuente: (Rosales Terraza, 2003).

Esta máquina se trata de un extrusor que forma uno o varios párison y un molde que se mueve para tomar el párison y llevarlo a una estación de soplado. Adicionalmente en estas máquinas suelen tener un sistema de corte de rebabas.

1.6.2 Partes de maquinaria para moldeo por Extrusión-Soplado

La maquinaria de extrusión-soplado está básicamente constituida por el extrusor, carro, soplado, sujetadores, molde, desbarbado.

El extrusor: Es el elemento que plastifica el material y lo hace fluir, después forma el párison. Está constituido por cuatro elementos principales: el impulsor, el cañón, el tornillo sinfín o husillo, el cabezal extrusor y la cuchilla como se muestra en la figura 1.2.

El impulsor está conformado por un motor eléctrico y una caja reductora de velocidad, junto con un tornillo sinfín, tienen la función de hacer fluir el material plastificado a través de un cilindro o cañón hasta el cabezal extrusor. La cuchilla es el elemento que proporciona al párison el largo correcto para dar el tamaño de la botella a fabricar.

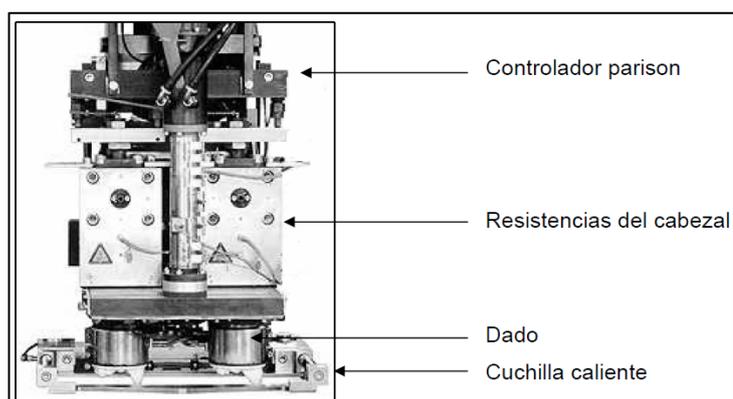


Figura 1.4. Cabezal extrusor.

Fuente: (Rosales Terraza, 2003)

El cabezal extrusor mostrado en la Figura 1.4 comprime y transporta el material plastificado garantizando un flujo eficiente y constante. Es donde se le da forma al párison, influyendo en sus propiedades, dimensiones, durante el pasaje a través del canal de flujo (Canosa Diaz, 2012).

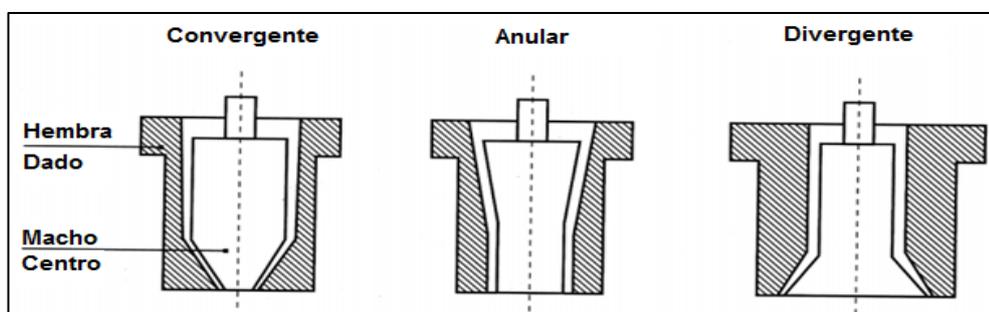


Figura 1.5. Tipos de matriz.

Fuente: (Canosa Diaz, 2012)

Como parte del cabezal extrusor se tiene la matriz que puede presentarse de tres maneras; convergente, divergente o anular, cada una estará directamente asociada a la forma del artículo. Las matrices pueden ser geométricamente alteradas sacándolas de su forma cilíndrica, generalmente se las mecaniza en forma oval, para obtener un párison con espesores diferenciales variándose el espesor de la pared, de tal manera de favorecer zonas donde se necesita mayor material (Rosales Terraza, 2003). Los tipos de matrices se observan en la figura 1.5.

1.6.3 El carro

En él va montado el molde que le dará la forma de la botella al párison, y a su costado derecho tiene instalado los sujetadores por lo que debe realizar movimientos de vaivén a distancias relativamente grandes y con precisión milimétrica. Este carro toma el párison con el molde y lo transporta hacia la estación de soplado, luego mediante sujetadores los cuales toman las botellas una vez se abre el molde, son transportadas hacia la estación de desbarbado, donde finalmente es transportado al área de empaque; el molde y los sujetadores se mueven conjuntamente con el carro al igual se abren y cierran con este, como se observa en la figura 1.6. (Rosales Terraza, 2003)

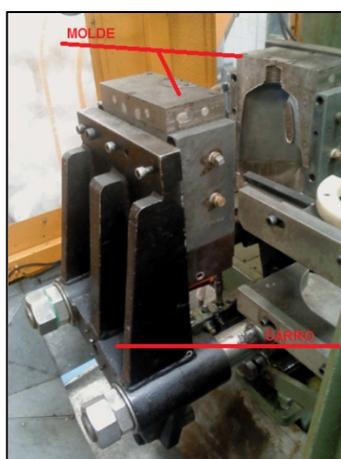


Figura 1.6. Carro de máquina para moldeo por extrusión-soplado.

1.6.4 Soplado

Es el sistema que inyecta aire comprimido al párison que está metido dentro de las paredes del molde. El sistema de soplado se compone básicamente de un pin de soplado y punta de soplado (Ver figura 1.7).

Es importante remarcar que el pin de soplado debe tener también un circuito de enfriamiento, pues el estar constantemente en contacto con el material caliente, puede provocar que se pegue o rasgue el párison. De la presión de soplado depende el llenado correcto de las cavidades del molde; se ajusta según el tamaño de la pieza y el diseño del molde.

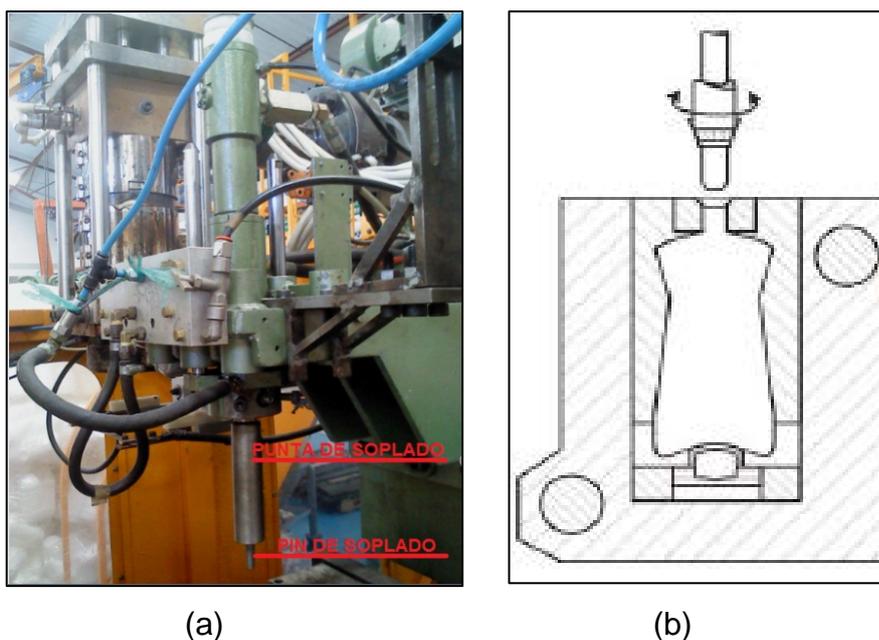


Figura 1.7. (a) Soplado en extrusora Magic M.P.; (b) Esquema de soplado.

Fuente: (Termoplásticos, 1998).

1.6.5 Desbarbado

El desbarbado consiste en retirar el plástico sobrante (rebabas) de las orillas de las botellas recién sopladas, esta función puede realizarse de

forma manual o automática. El mismo se divide en dos secciones principales: el cuello y el fondo. El desbarbado del fondo es realizado en la parte más baja de la botella y se utiliza para retirar el exceso de plástico en esa parte.

El desbarbado de cuello se realiza mediante un disco de corte y su función es la de retirar el material sobrante del cuello. Es importante verificar su posición y calibración correcta para evitar deformaciones en el cuello por aplastamiento. La figura 1.8 muestra la maquinaria para el desbarbado (Rosales Terraza, 2003).



(a)

(b)

Figura 1.8. (a) Desbarbado del cuello; (b) Desbarbado de fondo.

1.7 Controlador de Párison

El controlador de párison que se observa en la figura 1.9, es un sistema que se encarga de variar el grosor de la pared del párison para poder disponer de más o menos cantidad de material a lo largo del tramo que comprenderá el tamaño de la botella. Esto a fin de que cuando el párison tome la forma de la botella, las paredes de la misma sean aproximadamente del mismo grosor tanto en las partes angostas, como en las partes anchas.

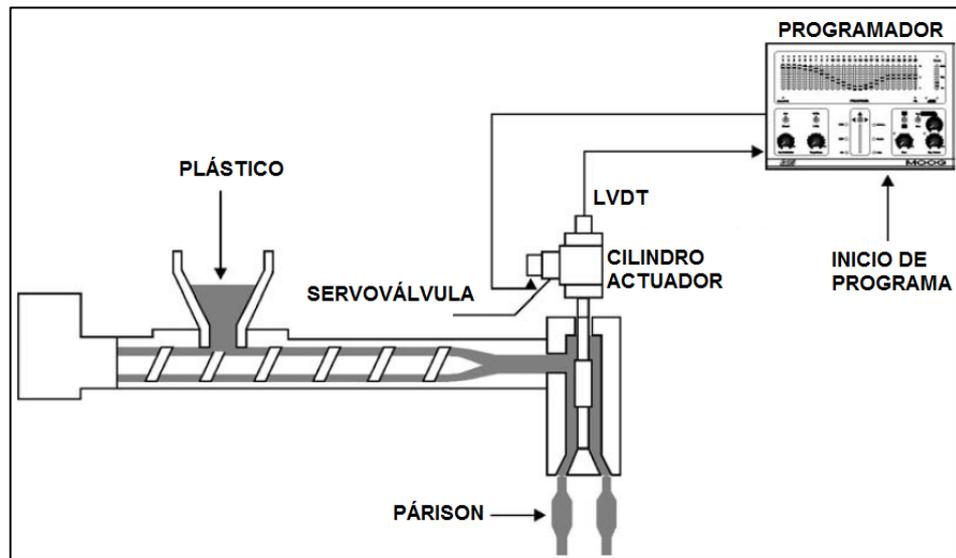


Figura 1.9. Sistema para la regulación de espesor de párison.
Fuente: (MOOG, 2000, pág. 7).

1.7.1 El principio del controlador de párison

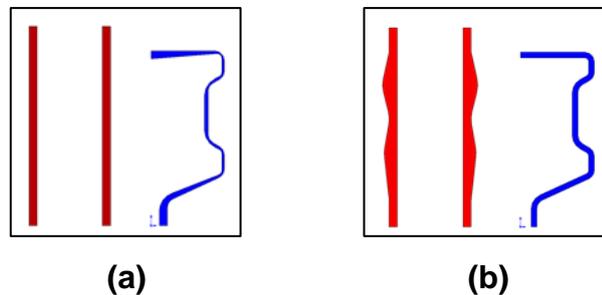


Figura 1.10. Perfil de envase con Manga: a) Constante; b) Variable.
Fuente: (Profiter, 2007).

El sistema programador funciona variando la abertura de la matriz, alterando así el espesor del párison mientras este es extrusado, esta variación es evidente en la figura 1.10. La abertura de la matriz varía accionada por el movimiento del macho hacia arriba y abajo, mientras que la hembra permanece fija. El movimiento lo imprime un pistón solidario al macho y accionado por la bomba del sistema programador (Rosales Terraza, 2003).

1.7.2 Diagrama de función de sistema

En la figura 1.11 se observa el diagrama de funcionamiento de un sistema para regular espesor de párison. El controlador de párison puede estar regido por el tiempo de extrusión o a su vez basada en el peso de extrusión.

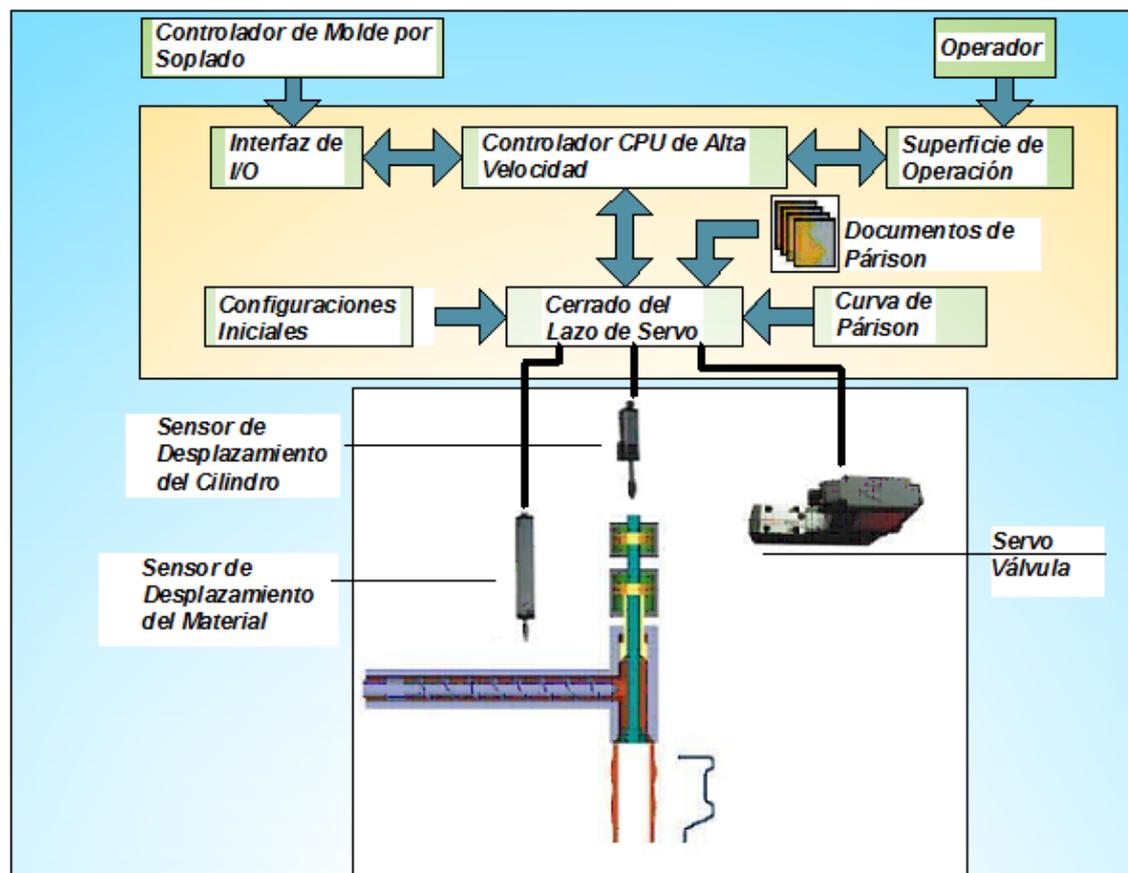


Figura 1.11. Diagrama de función de sistema de Párison.

Fuente: (Profiter, 2007).

En función del tiempo: Es para controlar el tiempo para el hacer cambio de espesor comparando con el tiempo de extrusión.

Basada peso-extrusión: Permite controlar el espesor de la pared mediante el control de la apertura de la matriz de extrusión, esto se logra controlando la longitud que ingresa o sale de dicha matriz (Profiter, 2007).

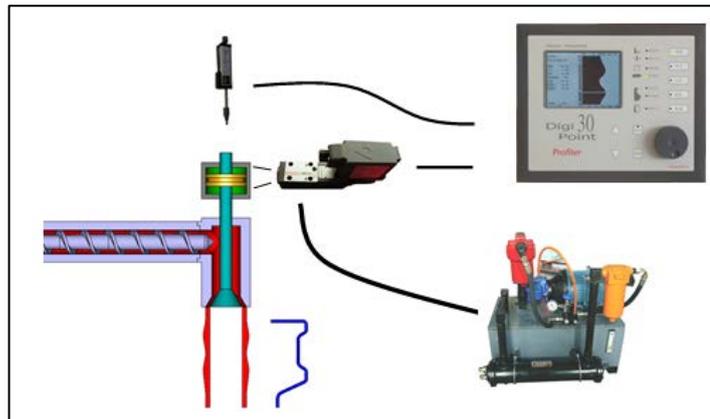


Figura 1.12. Control de Parison variando el tiempo.

Fuente: (Profiter, 2007).

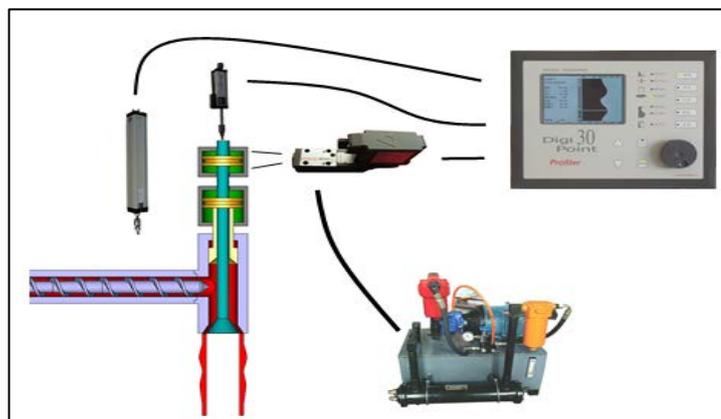


Figura 1.13. Control de Parison variando la longitud de salida de la matriz.

Fuente: (Profiter, 2007).

1.8 Controladores Lógicos Programables

La utilización de este tipo de equipo se ha vuelto esencial en los sistemas de automatización, los cuales abarcan un gran espectro de aplicaciones, las que van desde las más elementales a las más complejas.

Las primeras las podremos encontrar en máquinas herramientas, sistemas de alarmas, etc., las segundas no tienen límites ya que su aplicación está dada fundamentalmente en las aplicaciones que se hacen en los complejos sistemas productivos (cadena de montaje, sistemas de embotellados, etc.), como en robot industriales, etc.

El desarrollo de las aplicaciones está basado en la necesidad de lograr una elevada productividad con inmejorable calidad del producto y seguridad en las operaciones de los distintos equipos integrantes de los sistemas productivos (Farina, 2014). Los PLC permiten procesar de forma inteligente las señales precedentes de multitud de variables físicas que existen en los procesos industriales y actuar en consecuencia.

1.8.1 Estructura del autómatas programable

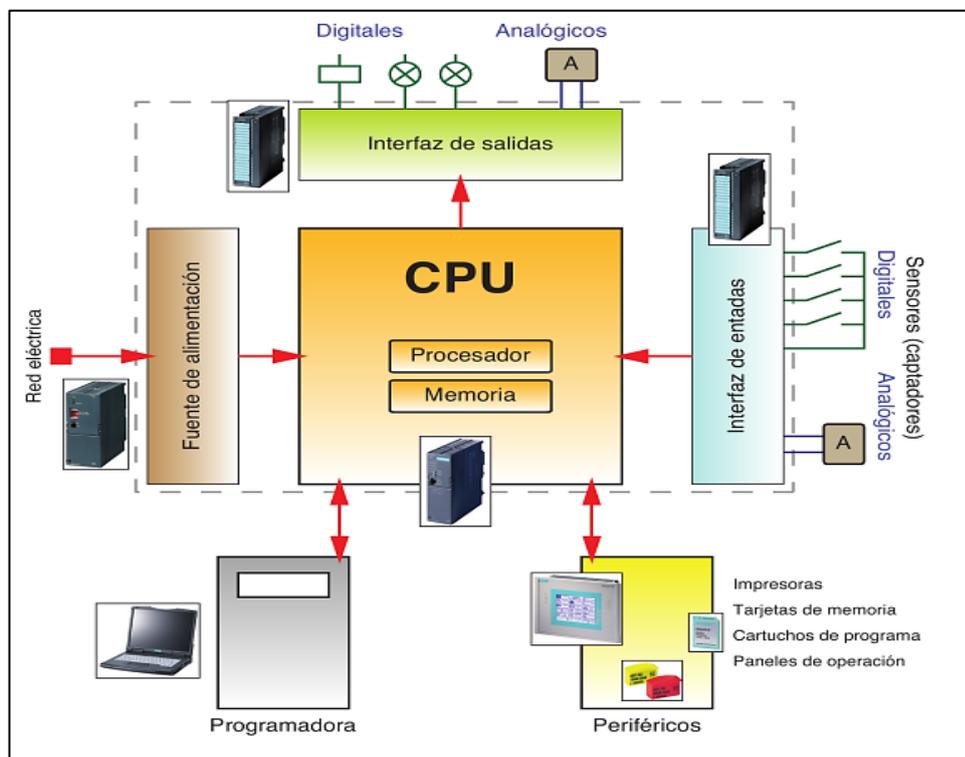


Figura 1.14. Diagrama estructural de un PLC.

Fuente: (Martín, Castillo, & García, 2009)

El autómata programable está gestionado por un sistema electrónico basado en un microprocesador, encargado de procesar las señales del exterior, tanto de lectura como de escritura, a través de los interfaces de entradas y salidas. Para el funcionamiento óptimo y continuado del sistema electrónico, es necesaria una fuente de tensión. Como se muestra en la figura 1.14. Los programas se almacenan en los diferentes tipos de memoria que el PLC dispone y gestiona desde un elemento de programación externo.

1.8.2 Clasificación de los autómatas programables

Los autómatas pueden ser clasificados en tres tipos: compactos, semicompactos y modulares.

Compactos: Son aquellos que contienen todos sus elementos, E/S, CPU, fuente de alimentación, etc., en una misma envolvente como los mostrados en la figura 1.15. La mayoría de estos modelos son ampliables con diferentes tipos de módulos entradas, salidas, de comunicación, especiales.



Figura 1.15. PLC Compacto.

Fuente: (Juan Carlos Martín et al., 2009)

1.8.3 Tipos de Señales

Señales de entrada: Las señales con las cuales pueden operar son de dos tipos: digital (discreta) y analógica (continua). Las primeras pueden

tomar valores como "0" o "1", en cambio las segundas provienen de dispositivos que pueden entregar señales, están en el rango de 0 a 20 mA o de 0 a 10 Vdc.

Cada tipo de señal debe ingresar a un módulo compatible con la misma. Entre las señales digitales se pueden encontrar las de contactos normalmente abierto o cerrado de dispositivos como un controlador de nivel por ejemplo o de un interruptor, etc. Entre las señales analógicas podemos encontrar las provenientes de instrumentos tales como: termómetro, manómetro, etc.

Señales de salida: Proviene de los módulos de salidas, y están destinadas a operar a los actuadores y de forma parecida a las entradas, las hay de los tipos digitales y analógicos. Las primeras tienen solo dos estados: si-no (on-off), por ejemplo: comando para accionar una luz de señalización. En cambio, las analógicas dan una señal de salida de tensión o corriente que varía en el tiempo. Por ejemplo: para variar la velocidad de un ventilador o electro-bomba.

1.9 Paneles de Visualización

Generalmente se utilizan en instalaciones que requieren cambios continuos de estado de las variables y un seguimiento constante del proceso mediante mensajes de texto o elementos gráficos. Estos dispositivos se utilizan para la comunicación hombre-máquina y tienen como funciones modificar parámetros del sistema, obtener mensajes de alarmas, visualización del estado del proceso, forzar entradas/salidas.

1.9.1 Gráficos

Representan el proceso a controlar en una pantalla de forma gráfica. En algunos casos este tipo de pantalla es de tipo táctil, pudiéndose actuar

directamente sobre los elementos que aparecen en ella como la pantalla observada en la figura 1.16. Este tipo de periférico recibe el nombre de Panel de Operación (OP). Se utilizan como puestos de supervisión de procesos industriales.

El control de menús, mensajes y entrada de parámetros se realiza por un teclado tipo membrana, adaptado a todo tipo de ambientes industriales o a mediante un ordenador personal, a través de un cable adaptador.



Figura 1.16. Panel de visualización gráfico.

Fuente: (Martín, Castillo, & García, 2009)

1.10 Sistemas neumáticos

Los sistemas de aire comprimido proporcionan un movimiento controlado con el empleo de cilindros y motores neumáticos; se aplican en herramientas, válvulas de control, posicionadores, martillos neumáticos, pistolas para pintar, sistemas de empaquetado, elevadores, herramientas de impacto, prensas neumáticas, robots industriales, vibradores, frenos neumáticos, entre otras aplicaciones.

1.10.1 Actuadores neumáticos

Los actuadores neumáticos convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico generando un movimiento lineal mediante servomotores de

diafragma, pistones o cilindros o bien un movimiento giratorio con motores neumáticos.

1.10.2 Cilindros

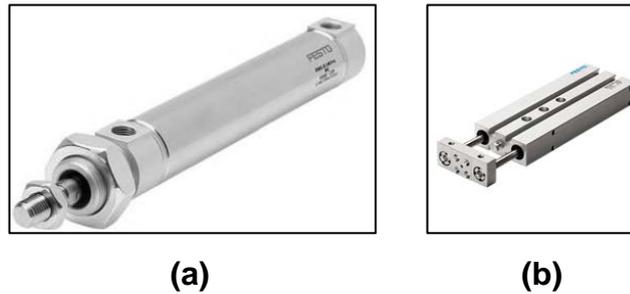


Figura 1.17. Cilindro neumático a) vástago simple; b) vástago doble.

Fuente: (Nicolás, 2009)

Los cilindros neumáticos de movimiento lineal son utilizados comúnmente en aplicaciones donde la fuerza de empuje del pistón y su desplazamiento son elevados. Entre éstos se encuentran los cilindros de simple y doble efecto, el cilindro tándem (dos cilindros de doble efecto que forman una unidad), el de multiposición, el cilindro neumático guiado, el cilindro sin vástago, cilindro de doble vástago, cilindro neumático de impacto. En la figura 1.17 se muestra cilindro de simple y doble vástago.

1.10.3 Actuador Piñón – Cremallera

En esta ejecución de cilindro de doble efecto, el vástago es una cremallera que acciona un piñón y transforma el movimiento lineal en un movimiento giratorio, hacia la izquierda o derecha, según el sentido del émbolo, como se muestra en la figura 1.18. Los ángulos de giro corrientes pueden ser de 45° hasta 720° . Es posible determinar el margen de giro dentro del margen total por medio de un tornillo que ajusta la carrera del vástago. (SEAS, 2006)

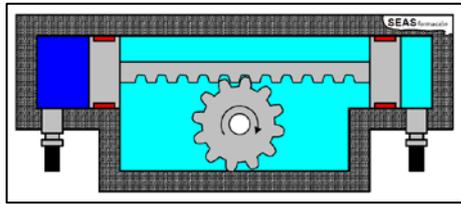


Figura 1.18. Actuador neumático piñón-cremallera.

Fuente: (SEAS, 2006)

1.10.4 Electroválvulas

Los sistemas electro neumáticos permiten un alto grado de sofisticación y de flexibilidad. Controlan los cilindros mediante válvulas de solenoide y obtienen las señales de realimentación a través de interruptores magnéticos, sensores e interruptores eléctricos de final de carrera. Las funciones lógicas se obtienen por hardware o bien se programan en un PLC, un ejemplo de estos sistemas se observa en la figura 1.19. (Solé & Antonio, 2012)

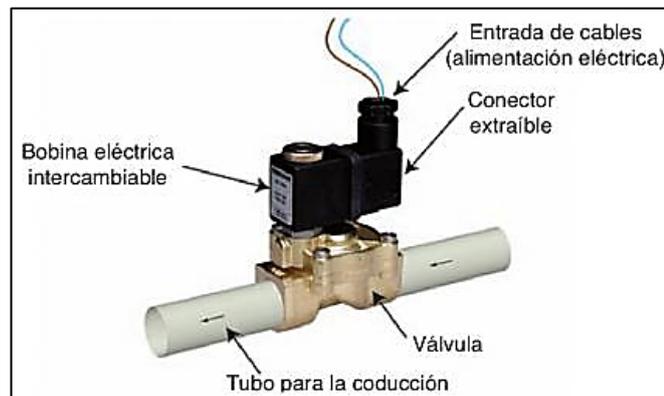


Figura 1.19. Electroválvula.

Fuente: (Martín J. C., 2010)

1.10.5 Ventajas del sistema neumático

Las principales ventajas de la neumática atacan aspectos económicos y de seguridad, debido a que la neumática utiliza aire como fluido para su

sistema y este se encuentra en todo el ambiente no implica costo ni límite alguno en el suministro del mismo. En términos de riesgo de accidentes los sistemas neumáticos brindan una buena seguridad debido a que el aire no posee propiedades explosivas. Adicionalmente cabe recalcar que este tipo de sistemas no representan contaminación alguna al ambiente, su instalación es sencilla debido a que se omiten algunos componentes requeridos en la hidráulica.

1.10.6 Desventajas del sistema neumático

La humedad se traduce en presencia de agua en las tuberías lo que puede ocasionar corrosión y daño en estas. El aire comprimido no logra generar fuerzas muy grandes, el ruido ocasionado por el compresor es una desventaja muy clara. Las fugas en este tipo de sistemas son de difícil detección, normalmente se las identifica por el sonido que producen. (Gómez & Berrío, 2007)

1.11 Sistema hidráulico

La hidráulica emplea fluidos hidráulicos como medios de presión para mover actuadores como cilindros y motores. En la figura 1.20 se representa el movimiento típico de un pistón dentro del cilindro gracias a la energía proporcionada por un sistema hidráulico formado por una bomba, un depósito y un conjunto de tuberías que llevan el fluido a presión hasta los puntos de trabajo.

Sus aplicaciones en dispositivos fijos abarcan la fabricación y montaje de máquinas de todo tipo, líneas transfer, aparatos de elevación y transporte, prensas, máquinas de inyección y moldeo, máquinas de laminación y ascensores y montacargas.

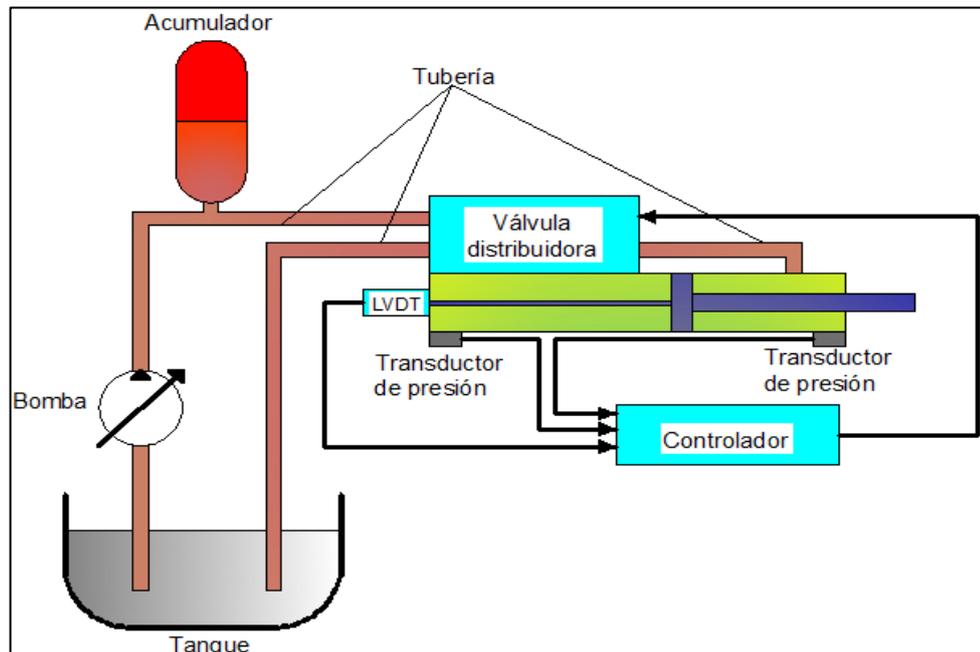


Figura 1.20. Circuito hidráulico.

Fuente: (Solé & Antonio, 2012)

1.11.1 Bomba hidráulica

La bomba hidráulica es la encargada de convertir la energía mecánica desarrollada por el motor eléctrico en energía de presión hidráulica.

Las bombas hidráulicas:

- Bomba de desplazamiento positivo que entrega un volumen de líquido en cada ciclo. Si la impulsión se cierra, la presión aumenta mucho, por lo que precisa de un regulador de presión o de una válvula de seguridad. Es capaz de dar una presión que alcanza los 800 bar.
- Bomba de desplazamiento volumétrico, entre las que se encuentran engranajes, lóbulos, tornillos, paletas, pistón axial y pistón radial.

1.11.2 Fluido hidráulico

El fluido hidráulico posee una serie de propiedades de transferencia térmica, lubricación y en algunas ocasiones ofrece características anticorrosivas, el desprendimiento de gases y el desvío de impurezas. Su papel es muy importante, pudiendo afirmarse que gran parte de los problemas que los circuitos hidráulicos presentan, proceden del uso indebido del fluido hidráulico o del empleo de fluidos que contienen contaminantes. (Solé & Antonio, 2012)

1.11.3 Acoples Rápidos

Los denominados racores instantáneos mostrados en la figura 1.21, permiten un número limitado de conexiones-desconexiones, puesto que la superficie exterior del extremo del tubo queda marcada por las pequeñas huellas que deja la pinza de retención. (Millán Teja, 1995)

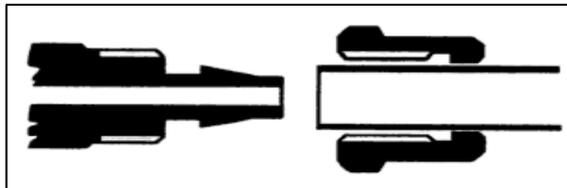


Figura 1.21. Acoples rápidos.

Fuente: (Millán Teja, 1995)

1.12 Servo Válvulas

Una válvula servo es una válvula direccional, la cual tiene infinidad de posiciones para dar el ajuste adicional de control de cantidad de fluido, así como de la dirección del flujo como se muestra en la figura 1.22. Cuando se acopla con un aparato sensible apropiado de realimentación se puede obtener un control muy preciso de la posición así como de la velocidad o aceleración del actuador. (Vycmex, 2004)

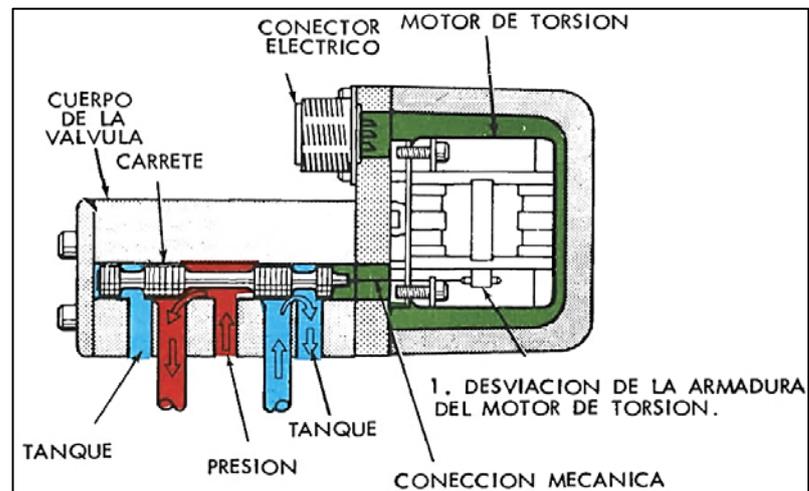


Figura 1.22. Servo válvula.

Fuente: (Vycmex, 2004)

1.12.1 Ventajas

Los sistemas hidráulicos poseen grandes ventajas con respecto a otros elementos de control de flujo, como es una gran potencia transmitida con pequeños componentes; permite un posicionamiento muy preciso en comparación a válvulas proporcionales y electroválvulas; arranque con cargas pesadas; movimientos lineales independientes de la carga, ya que los líquidos son casi incompresibles y pueden emplearse válvulas de control; operación suave e inversa; buen control, regulación y disipación favorable de calor.

1.12.2 Desventajas

Los sistemas hidráulicos tienen el riesgo latente de incendios por la polución del ambiente y accidentes en el caso de existir fugas; estos sistemas son sensibles a la suciedad; la hidráulica debido a las presiones excesivas y cambios de viscosidad por altas temperaturas es peligro presente. (Solé & Antonio, 2012)

CAPÍTULO II

2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

En el presente capítulo se describe el diseño y la implementación del sistema de párison el cual va a regular el espesor de la manga plástica, también se detalla los mismos aspectos del cortador de rebabas automático.

2.1 La casa de la calidad

Las especificaciones técnicas para el sistema de párison y el sistema de corte automático se determinan mediante la casa de la calidad, que es una herramienta que se utiliza para el análisis del QFD (Quality Function Deployment), en la cual se transforman las demandas del usuario en calidad de diseño.

Para construir la casa de la calidad se necesita de tres entes: 1) El cliente quien proporciona los requerimientos de funcionamiento. 2) El ingeniero quien recolecta toda la información que el cliente pueda proporcionar y la transforma a requerimientos técnicos. 3) Los resultados que son valoraciones jerárquicas de la importancia de cada requerimiento.

2.1.1 Requerimientos del cliente.

De acuerdo con el gerente de Inplástico los sistemas deben cubrir las siguientes necesidades.

Sistema de Párison:

- Poseer 25 puntos de regulación.
- Control de respuesta rápida y precisa.

- La configuración del sistema debe ser de fácil entendimiento para el operador.
- Regulación de tiempos de trabajo.
- Regulación para ajustar el espesor mínimo de la manga plástica.
- Configuración para boquillas o matrices convergente o divergente.
- Debe tener un paro de emergencia.
- Sistema de seguridad que permita su completa detención ante algún inconveniente de la extrusora o del sistema párison.

Cortador automático de rebabas:

- Regulación de los tiempos de corte.
- Sincronización con la máquina extrusora.
- Adaptación a cualquier tipo de cuchilla.
- El pin de soplado debe tener las dimensiones apropiadas para poder ingresar en la campana de la botella.
- Torque necesario para el desbarbado de cabeza.
- Buena sujeción de los elementos mecánicos para evitar vibraciones.
- El sistema deben ser de fácil calibración y ajuste.
- Bajo costo de implementación.
- Un sistema de seguridad que permita su completa detención ante algún inconveniente de la extrusora o del cortador automático de rebabas.

2.1.2 Criterio del Ingeniero

Una vez que se conocen los requerimientos de funcionamiento de los sistemas para cubrir las necesidades de la empresa Inplástico (cliente) se procede a traducirlos a especificaciones técnicas.

- Precisión.
- Rapidez.

- Flexible.
- Fácil mantenimiento.
- Fácil operación.
- Calibración y ajuste sencillo.
- Seguridad.
- Bajo costo.

2.1.3 Resultados

El análisis de la casa de la calidad mostrada en el Anexo A da como resultado el siguiente orden jerárquico de funciones a implementar para lograr satisfacer las demandas del cliente.

1. Espesor mínimo.
2. Rango de operación.
3. Resolución.

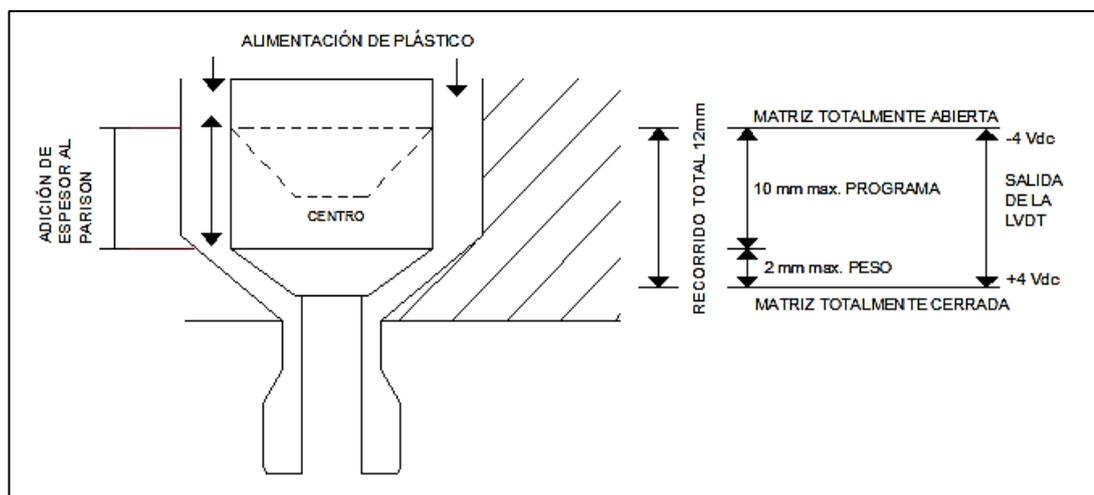
Con este análisis se asegura la calidad del diseño y se cubre las necesidades prioritarias que son la precisión y operación del sistema.

2.2 Análisis funcional

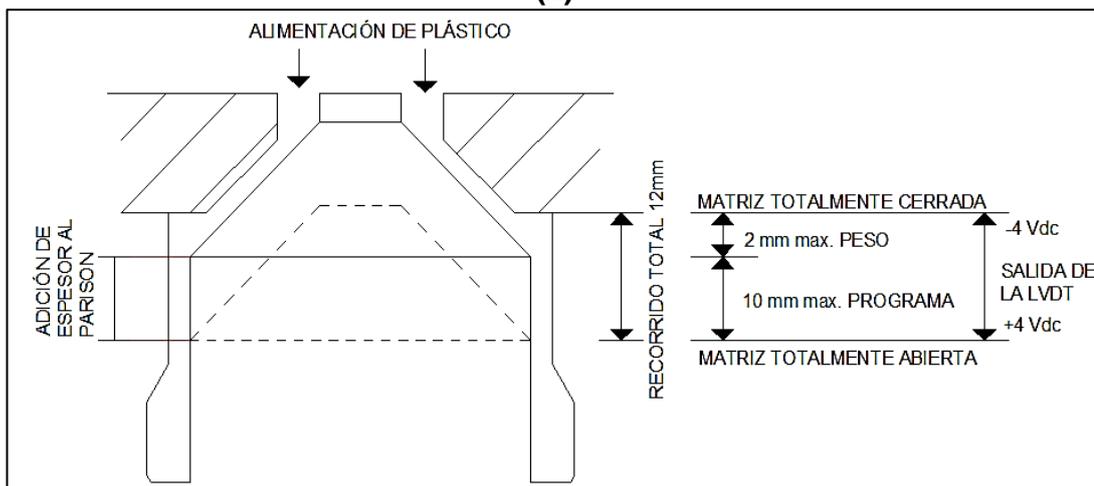
2.2.1 Controlador párison

El controlador de párison consiste en variar el espesor de la manga de extrusión mediante el movimiento del dado en la matriz para lo cual se emplea un servo cilindro hidráulico de doble efecto comandado por una servo válvula y una unidad hidráulica; todo esto es realizado por el controlador teniendo como realimentación la señal de un sensor de desplazamiento lineal (LVDT) que proporciona la posición exacta del vástago del servo cilindro.

El principio de funcionamiento del sistema divide el párison en 25 puntos según la longitud requerida (Acorde a requerimientos del envase), cada punto puede ser configurado con un espesor igual o diferente, este espesor tiene un valor mínimo que corresponde por el peso del envase (Configuración que el usuario realiza), puede variar entre 0 y 1/3 del recorrido total del servo cilindro, o entre 0 y 2 mm para el servo cilindro utilizado.



(a)



(b)

Figura 2.1. Sistema de párison con matriz a) convergente y b) divergente.

El peso representa la posición inicial del vástago y al encontrarse este en una posición que permite la fluidez del plástico por la matriz, se convierte en el espesor inicial del párison, el resto del recorrido es la adición de espesor. Otro parámetro a considerar es el tiempo de extrusión del párison, debido a que la permanencia máxima que el dado va tener en cada punto programado depende de este tiempo, las figuras 2.1a y 2.1b muestran lo descrito.

En la figura 2.2 se puede observar el diagrama de funcionamiento del sistema de párison. Lo primero es configurar cada uno de los puntos y el tiempo de extrusión. Una vez ingresados estos datos, son cargados en el controlador; mediante un pulso de inicio el controlador comienza ubicando el vástago del servo cilindro en el primer punto, transcurrido un tiempo debe ubicarse en el segundo; el controlador realizará esta secuencia hasta completar los 25 puntos. Terminados los 25 puntos del párison dará inicio el nuevamente la secuencia al recibir el pulso de inicio.

La seguridad del sistema propuesto consta de 3 etapas para evitar cualquier riesgo de accidente relacionado con su accionar o funcionamiento.

- 1. Paro de emergencia:** El controlador de párison debe cesar sus funciones en caso de existir algún accidente al igual que la extrusora donde va a funcionar sin importar la fuente del inconveniente. El paro de emergencia va a ser tomado de la extrusora garantizando así su detención sincronizada.
- 2. Bloqueo de inicio:** Para iniciar su funcionamiento la extrusora primero se debe alcanzar la temperatura adecuada para plastificar el polímero y hacerlo fluir, caso contrario el impulsor se remordería con el plástico completamente solidificado, lo mismo ocurriría con el controlador de párison de iniciar su operación en estas condiciones, siendo necesario un bloqueo del sistema hasta que se alcance dicha temperatura.

- 3. Inicio de funcionamiento:** Habilita el controlador para comenzar a trabajar, iniciando su funcionamiento con las respectivas señales de sincronización de la extrusora.

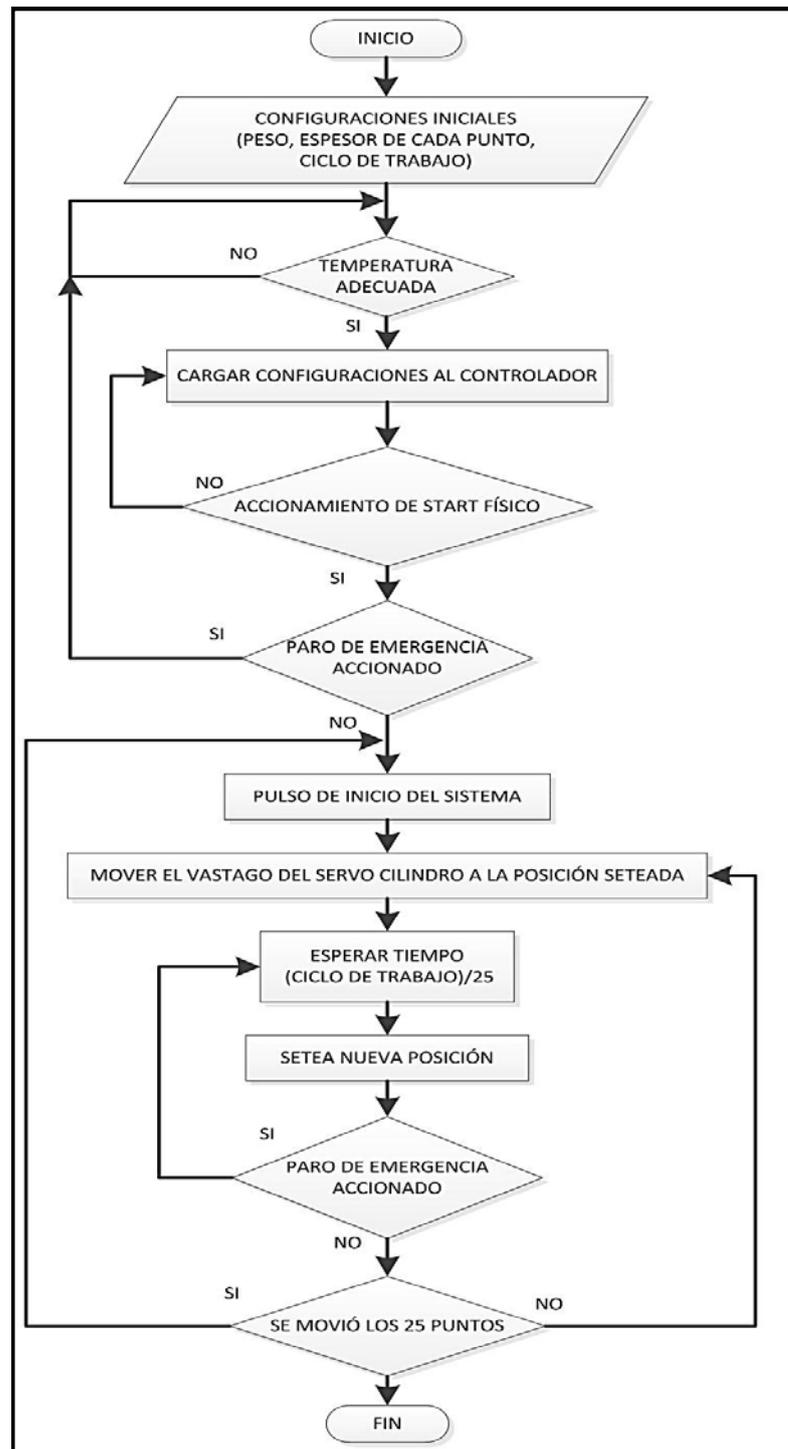


Figura 2.2. Diagrama de flujo del sistema de párison.

2.2.2 Cortador automático de rebabas

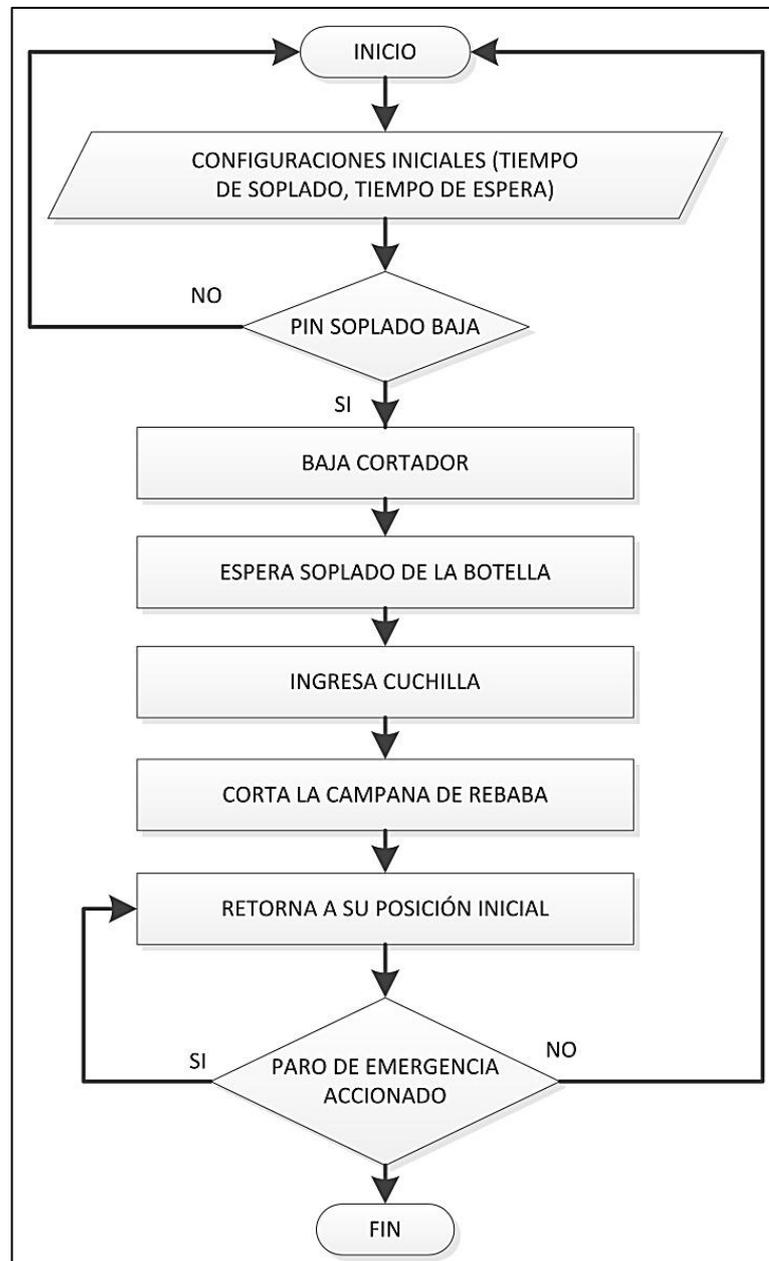


Figura 2.3. Diagrama de flujo del proceso de corte automático.

El cortador automático de rebabas inicia su proceso sujetando el envase que sido moldeado, para transportarlo debajo del sistema de corte. El cortador baja para introducir el pin de centrado por la parte superior de la campana. La cuchilla se inserta para posteriormente realizar el corte de la

rebaba del envase. El cortador sube regresando a su posición inicial y el envase es transportado a la siguiente etapa. En la figura 2.3 se muestra la secuencia de funcionamiento.

La seguridad consiste en un paro de emergencia de la propia máquina, debido al que accionarse este paro se debe detener toda la máquina, incluido el cortador. Por la naturaleza de los elementos de control de este sistema no puede quedarse en la posición en la cual fue presionado el paro de emergencia por lo que retorna a su posición inicial.

2.3 Matriz morfológica

2.3.1 Controlador de párison

En la tabla 2.1 se muestra la matriz morfológica que compara opciones de diseño para cada una de las partes constitutivas del sistema de párison. En la tabla 2.2 se analizan cada una de las opciones para de esta forma realizar una correcta selección que ayude a cumplir con los requerimientos del cliente que fueron analizadas mediante la casa de la calidad.

Tabla 2.1.

Matriz Morfológica para el sistema párison.

Atributo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Configuración inicial - HMI	PC portátil / escritorio	Pantalla LCD	Touch Panel
Controlador	Arduino	PLC	AVR
Tipo de control	PID	Fuzzy	ON-OFF con Histéresis
Servoamplificador	Transistores	Amplificadores operacionales	Transistores de potencia
Actuador	Servo cilindro Hidráulico	Cilindro neumático	Servomotor
Elemento de control	Válvula proporcional	Servo válvula	Servo drive
Sensor de posición	LVDT	Resistencia variable de variación lineal	Encoder

Tabla 2.2.

Matriz de análisis para el sistema de párison.

Combinación de alternativas	Análisis
1.- PC portátil/escritorio – AVR – ON-OFF Histéresis – Transistores – Servomotor - Servo drive - Encoder	Esta opción presenta la utilización de una computadora sería un inconveniente en cuestión de mantenimiento y manejo por lo operarios.
2.- Pantalla LCD – Arduino – Fuzzy – Transistores de potencia – Cilindro neumático – válvula proporcional – Resistencia variable de variación lineal	Esta opción presenta un bajo costo, pero no asegura el movimiento del cilindro neumático por la gran carga que se requiere mover, además el aire es compresible por lo que el cilindro podría ceder ante la carga. La pantalla LCD sería de fácil manejo con Arduino pero se dificulta la calibración del lazo de control PID reduciendo sus prestaciones. La resistencia variable de variación lineal permitiría conocer exactamente la posición del vástago del cilindro neumático.
3.- Touch panel – PLC – PID – Amplificadores operacionales – Servo cilindro hidráulico – Servo válvula - LVDT	Esta opción presenta un control confiable y de respuesta rápida, los amplificadores operacionales presentan respuesta en tiempo real, fácil operación mediante touch panel y se asegura la precisión del sistema mediante el servo cilindro hidráulico y la LVDT, este diseño presenta flexibilidad. Adicionalmente todos estos componentes tienen la característica que son fabricados para ambientes exclusivamente industriales.

Con la matriz de análisis de la tabla 2.2 se elige la tercera combinación de alternativas debido a que presenta las características idóneas para un diseño de calidad.

2.3.2 Cortador automático de rebabas

Para el diseño del cortador automático de rebabas se presenta un análisis similar al del sistema de párison, teniendo por alternativas diseño las mostradas en la tabla 2.3.

Tabla 2.3.

Matriz Morfológica para el cortador automático.

Atributo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Control Automático	Contactores	PLC	Microcontrolador
Sujetadores superiores	Nilón	Pastelón	Aluminio
Sujetadores inferiores.	Nilón	Acero	Aluminio
Base del cortador	Aluminio	Acero	Acero Inoxidable
Calibración de posición	Por eje con roscado helicoidal	Por eje con rosca Cuadrada	Por husillo de bolas
Actuadores	Neumático	Hidráulico	Eléctrico
Elementos de control	Válvulas proporcionales	Electroválvulas	Driver
Sensor de posición	Encoder	Capacitivo	Inductivo

Tabla 2.4.

Matriz de análisis para el sistema párison.

Combinación de alternativas	Análisis
1.- Contactores – Nilón – Acero – Acero – Eje de rosca cuadrada – Neumático – Electroválvulas - Inductivo.	Esta opción de diseño presenta un control sencillo, de fácil implementación y sobre todo de bajo costo. Además existe disponibilidad de todos los elementos.
2.- PLC – Aluminio – Nilón – Acero inoxidable – Por rosca helicoidal – Eléctrico – Driver – Encoder.	Esta opción de diseño presenta actuadores y elementos de alto costo, también la rosca helicoidal dificulta la calibración del cortador.
3.- Microcontrolador – Pastelón - Aluminio – Aluminio – Por husillo de bolas – Hidráulico – Válvulas proporcionales – Capacitivo.	Esta opción de diseño presenta actuadores que proporcionan gran fuerza, no existe disponibilidad en el mercado nacional para el husillo de bolas lo cual implica la importación de este y como resultado la inversión económica sube.

Con la matriz de análisis de la Tabla 2.4 se escoge la primera combinación de alternativas debido a que presenta las características necesarias para un diseño de calidad.

2.4 Selección de elementos para el controlador de párison

2.4.1 Touch Panel

Los diversos parámetros del controlador de párison van a ser configurados mediante una interfaz gráfica por lo que debe permitir el ingreso y visualización de dichos parámetros y la creación de gráficos. Se elige la touch panel S7-TP177A SIEMENS por sus características de versatilidad, diseño, apta para entornos industriales y por costo. Las características de la Touch Panel elegida se encuentran en el Anexo B. Adicionalmente esta Touch Panel permite la crear, eliminar y modificar recetas. La TP elegida se observa en la figura 2.4.

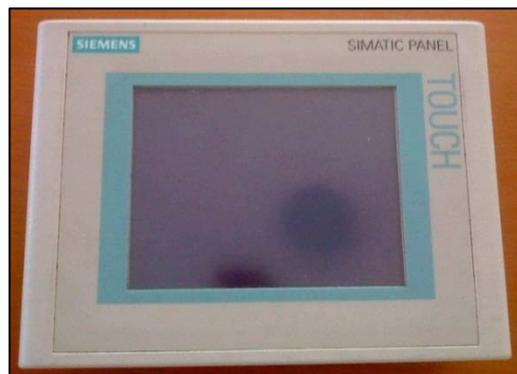


Figura 2.4. Touch Panel Tp177A.

2.4.2 Controlador

El control de posición del vástago del servo cilindro se debe realizar de forma precisa y rápida; debido a que la respuesta de la servo válvula es de 13ms se necesita que posea un tiempo de respuesta similar o superior. Adicionalmente el controlador debe manejar señales analógicas así como lazos de control PID. En la Anexo C se presenta las características técnicas del PLC Siemens S7-200 CPU224 el cual es seleccionado por su robustez y

flexibilidad. Es necesario seleccionar un módulo de expansión analógico para este PLC.

Módulo de expansión análogo: El módulo analógico debe poseer entradas y salidas análogas que permitan enviar las señales de control hacia el servoamplificador y la lectura del sensor de retroalimentación del sistema.

El módulo de expansión de entradas y salidas analógicas 6ES7 235-0KD21-0XA0 es seleccionado principalmente por el bus de comunicación que posee ya que es compatible con el PLC S7-200 CPU 224 y presenta las características necesarias para cumplir los objetivos propuestos. La figura 2.5 muestra el módulo analógico elegido. Se toma en consideración las características del Anexo D.



Figura 2.5. Módulo de expansión analógica.

2.4.3 Selección del cilindro hidráulico

El servo cilindro hidráulico es de la marca Moog Modelo B35870 S/N L-217. Se ha elegido este servo cilindro hidráulico por sus prestaciones como son un recorrido total de 12 mm siendo de carrera corta. Una presión de operación máxima de 160 bar o 2320 psi y una velocidad máxima de 3 m/seg. En la figura 2.6 se observa el servo cilindro seleccionado.



Figura 2.6. Servo cilindro hidráulico MOOG.

Este servo cilindro tiene incorporado el sensor de desplazamiento lineal (LVDT), que está dimensionado de acuerdo a las características de desplazamiento del vástago. La figura 2.7 muestra la LVDT montada y el cilindro y con el respectivo acople al servo cilindro. Las características del servo cilindro hidráulico se encuentran en el Anexo E.



Figura 2.7. LVDT en el servo cilindro hidráulico.

2.4.4 Selección de la servo válvula

La servo válvula es de la marca Moog modelo D631-343C tipo H020F0150NI la cual se muestra en la figura 2.8. Esta válvula de control de flujo proporcional de la serie D631 es una válvula de mariposa de 4 vías, de alta respuesta, la cual es empleada para cilindros de carrera corta. Tiene una presión de funcionamiento máxima de 315 bar o 4568 psi pudiendo controlar la presión requerida máxima del servo cilindro de 2320 psi garantizando así su correcto funcionamiento.



Figura 2.8. Servo válvula MOOG D631.

La servo válvula se encarga de convertir una señal de control eléctrica en movimiento mecánico el cual es realizado por el servo cilindro, para lo que necesita un amplificador que acondicione las señales de voltaje y corriente a los requeridos por la servo válvula. A diferencia de otras servo válvulas comerciales, esta no posee electrónica integrada. Ver características en el Anexo F

2.4.5 Selección de elementos para el circuito hidráulico

El circuito hidráulico requiere de elementos para poder conectar y transportar el fluido de la unidad hidráulica al cilindro hidráulico, estos elementos son racores y mangueras.

Racores: Los racores elegidos son de acople rápido tipo aguja para mayor facilidad a la conexión y desconexión, su medida es de 3/4 de pulgada como se muestra en la figura 2.9. Son fabricadas en acero o en acero inoxidable; teniendo una presión de operación de 2850 psi, por lo que soportan la presión a la que va a trabajar el sistema de párison.



Figura 2.9. Racores de acople rápido.

También es necesario el uso de racores rectos como los mostrados en la figura 2.10; para unir las mangueras y cubrir la distancia requerida.



Figura 2.10. Racor Recto.

Mangueras: Las mangueras hidráulicas elegidas son las SAE-100 R2AT de 3/4 de pulgada, estas soportan una presión 3120 psi. Esta manguera está fabricada de goma sintética con 2 mallas de alambre de acero, permite trabajar entre las temperaturas de -40°C a $+100^{\circ}\text{C}$. La figura 2.11 muestra la manguera hidráulica y sus recubrimientos.



Figura 2.11. Manguera hidráulica.

2.5 Selección de elementos para el cortador automático

2.5.1 Selección de actuadores neumáticos

Un actuador roto-lineal de doble efecto de la figura 2.12 posee dos tipos de movimientos independientes, el lineal se utilizara para aproximar el cortador al envase plástico y el rotativo hará girar el cortador proporcionando el torque necesario para realizar el corte. Las características técnicas y dimensiones de este actuador se muestran en el Anexo H.

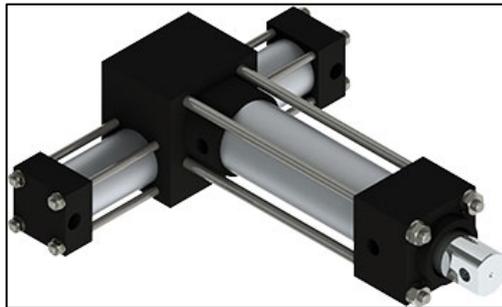


Figura 2.12. Conjunto cilindro de movimiento lineal y rotatorio neumático.

Un cilindro de doble vástago y doble efecto mostrado en la figura 2.13 es el encargado de sujetar e insertar la cuchilla en el envase plástico, las características técnicas y dimensiones de este actuador se encuentra en la hoja de datos adjunta en el Anexo I.



Figura 2.13. Cilindro neumático para cortador.

2.5.2 Selección de electroválvulas

Las electroválvulas de accionamiento por solenoide y retorno por muelle, son seleccionadas debido a su costo y disponibilidad inmediata en el mercado local, éste elemento está encargado de controlar el paso del fluido neumático hacia el cilindro. La electroválvula neumática SMC VZ2150-5LZ, es una válvula de distribución 5/2, permite manejar una presión de aire de 142 psi. La solenoide puede ser accionada con 24 Vdc teniendo un consumo de 1.8 W. Esta electroválvula opera en un rango de temperatura -10°C a $+50^{\circ}\text{C}$. La figura 2.14 muestra la electroválvula seleccionada.



Figura 2.14. Electroválvula neumática de retorno por muelle.

2.5.3 Selección sensores

Para asegurar un correcto funcionamiento del sistema un sensor magnético ilustrado en la figura 2.15 será el encargado de detectar en qué posición se encuentra el vástago del cilindro, ayudando al control para resetear todo el circuito.



Figura 2.15. Sensor de posición de cilindro neumático.

2.5.4 Selección de eje roscado

El eje de rosca cuadrada presenta características como precisión para movimientos lineales lo cual es apto para la calibración del cortador. El eje seleccionado tiene un diámetro de 12 mm y paso 1.5.

2.6 Diseño del controlador de párison

2.6.1 Diseño del servoamplificador

La conexión de las bobinas de la servo válvula se realiza en serie debido a que esta conexión reduce la corriente de las bobinas; estas requieren una señal de voltaje de $\pm 12\text{VDC}$ dando como resultado una corriente de 15mA. En la figura 2.16 se puede observar en principio de funcionamiento de un servoamplificador.

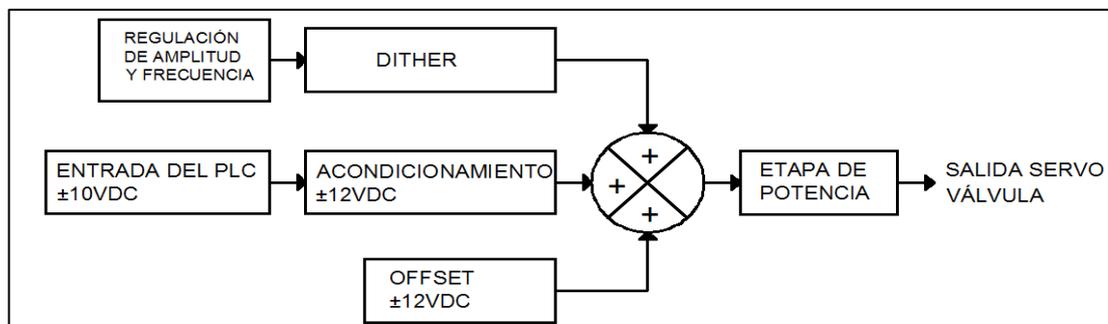


Figura 2.16. Principio de funcionamiento del servoamplificador.

2.6.2 Acondicionamiento de la salida del PLC

La señal eléctrica de mando controla una potencia hidráulica alta y se obtiene de la salida analógica del PLC la cual tiene un rango de $\pm 10\text{VDC}$, para acondicionar esta señal se realiza un amplificador inversor con una ganancia de uno y posteriormente otro amplificador inversor para obtener la

señal requerida por la servo válvula de $\pm 12\text{VDC}$. La figura 2.17 muestra el correspondiente acondicionamiento.

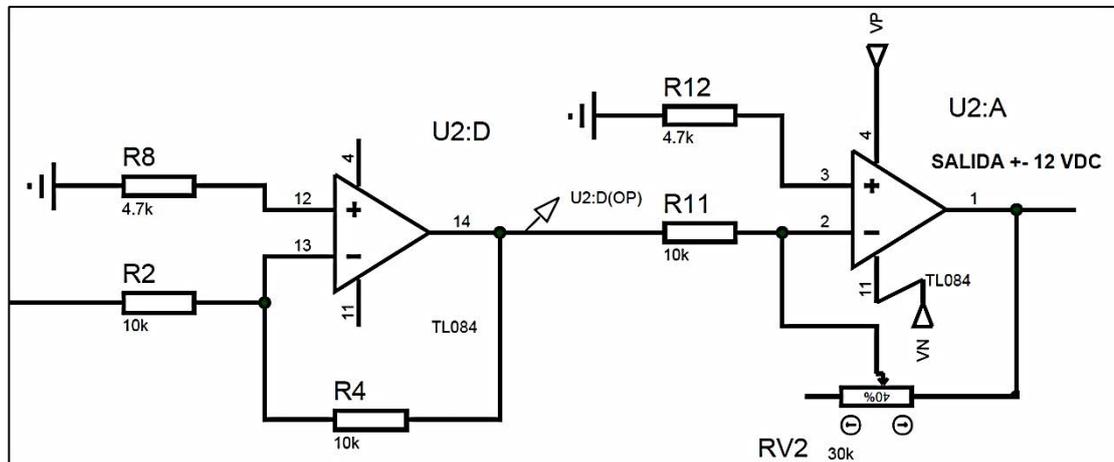


Figura 2.17. Acondicionamiento de señal de control.

El voltaje de salida de un amplificador inversor está dado por la Ecuación 2.1.

$$V_{out} = -V_{in} * \frac{R_4}{R_2} \quad \text{Ec. (2.1)}$$

$$V_{out} = -V_{in}$$

$$\frac{R_4}{R_2} = 1 \rightarrow R_4 = R_2 = 10K$$

Para obtener una salida de $\pm 12\text{VDC}$ se aplica la Ecuación 2.1 donde se tiene:

$$V_{out} = -V_{in} * \frac{RV2}{R_{11}}$$

$$V_{out} = 12\text{V} ; \quad V_{in} = 10\text{V} ; \quad R_{11} = 10\text{K}\Omega$$

$$RV2 = \frac{V_{out} * R11}{V_{in}} \rightarrow RV2 = \frac{(12V) * (10K)}{10V} \rightarrow RV2 = 12 K\Omega$$

2.6.3 Offset

Por el principio de funcionamiento de la servo válvula, esta posee un solo motor de servo control el cual realiza la apertura de la válvula en un sentido o en el otro. Este funcionamiento provoca que la servo válvula no bloquee (Ubicar en el cuerpo central) el paso de fluido al estar con una señal de control de cero, para que esto ocurra se debe energizar la misma con un voltaje positivo de 2.3 Vdc; realizando esta acción cuando el controlador envíe 0Vdc el servo cilindro hidráulico permanecerá en reposo en vez de retroceder. El offset es el encargado de suministrar el voltaje de bloqueo cuando la acción de control es cero.

2.6.4 Dither

El dither se lo utiliza para reducir la histéresis de la válvula, dicha histéresis es producto del electromagnetismo y de la fricción estática entre el émbolo y la camisa del cilindro hidráulico. La fricción estática puede evitar que la válvula se mueva con pequeños voltajes de control lo que hace el control impreciso. La histéresis consiste en la desviación de la salida respecto a una señal de entrada y está dado en porcentaje de la señal máxima de control permitida.

El dither es una pequeña señal de alta frecuencia que se suma a la señal de control con el fin de contrarrestar los efectos de la histéresis y la fricción estática mejorando así la linealidad de la servo válvula y por consiguiente el control del sistema. El diseño del dither consiste en un oscilador de relajación astable debido a que la señal debe poseer componente positiva y negativa. La frecuencia de funcionamiento va a depender del tipo de servo válvula pudiendo estar en un rango de 85 a 1KHz, pudiendo anularse el

efecto del mismo al enviar la señal a tierra con un puente, con una amplitud de 0 a 100 % (0 a 1.3 Vdc). Con los datos de operación establecidos se dimensiona las resistencias y el condensador para el circuito requerido con la Ecuación 2.2.

La frecuencia de operación viene dado por:

$$F = \frac{1}{2 * R * C_6 * \ln\left(\frac{2 * R_{21} + R_{22}}{R_{22}}\right)} \quad \text{Ec. (2.2)}$$

Dónde:

$$R = R_{23} + RV1; C_6 = 100 \text{ nf}; R_{21} = 22 \text{ K}\Omega$$

$$R_{22} = 51 \text{ K}\Omega; F_{min} = 85 \text{ Hz}; F_{max} = 1 \text{ KHz}$$

$$R = \frac{1}{2 * F * C_6 * \ln\left(\frac{2 * R_{21} + R_{22}}{R_{22}}\right)}$$

R para la frecuencia mínima de 85 Hz:

$$R = \frac{1}{2 * (85) * (100n) * \ln\left(\frac{2 * (22K) + (51K)}{51K}\right)}$$

$$R = 94563.7977 \Omega = 94.56 \text{ K}\Omega$$

R para la frecuencia máxima de 1 KHz:

$$R = \frac{1}{2 * (1K) * (100n) * \ln\left(\frac{2 * (22K) + (51K)}{51K}\right)}$$

$$R = 8037.9228 \Omega = 8.037 K\Omega$$

En la figura 2.18 se observa el circuito a ser implementado. Los componentes utilizados tienen la característica de ser de respuesta rápida por los requerimientos del sistema.

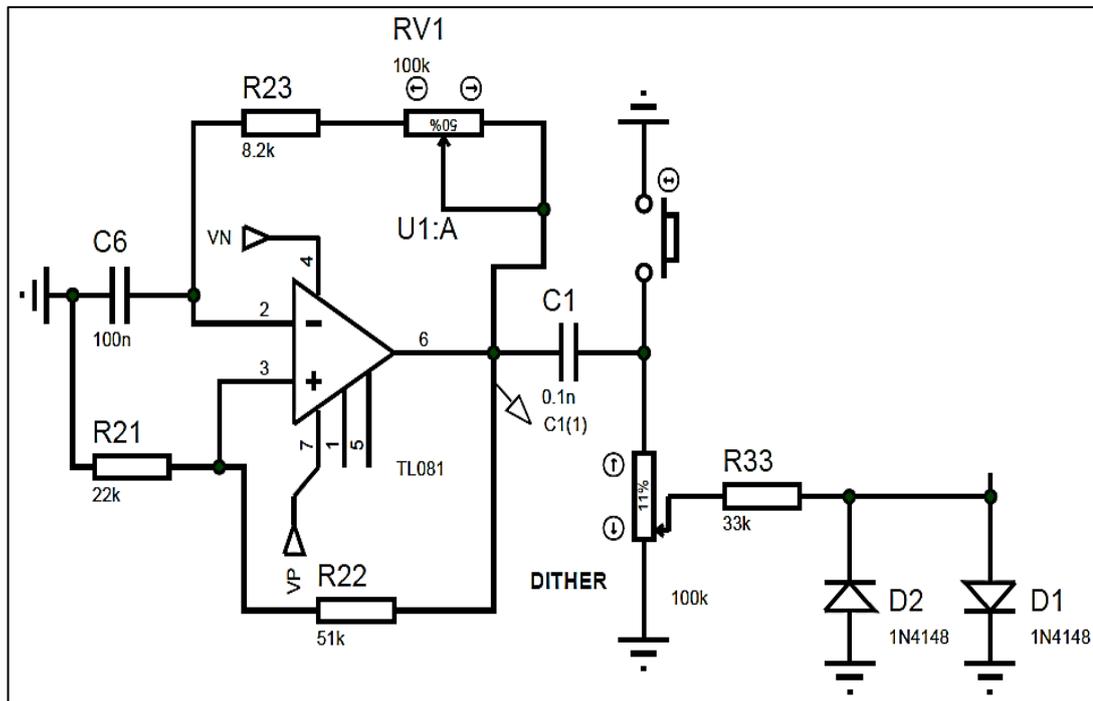


Figura 2.18. Circuito Dither.

2.6.5 Etapa de potencia

La etapa de potencia es la encargada de suministrar la corriente y el voltaje necesario para el funcionamiento de la servo válvula, al igual que el dither y el acondicionamiento de la señal de salida del PLC, el circuito está diseñado con componentes de respuesta rápida lo que permite llegar a los puntos de consigna con mayor rapidez que con componentes estándar.

Este circuito está conformado por dos partes, la una se encarga de unir todas las señales de control como son el Offset, Dither y la salida del lazo

PID como se puede ver en la figura 2.19; mientras que la segunda etapa permite ya la obtención del voltaje y corriente de control.

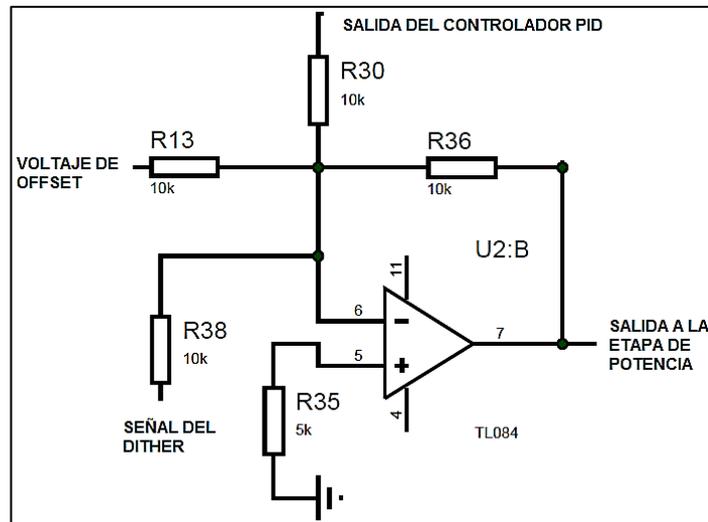


Figura 2.19. Acondicionamiento de señales de control.

La configuración de los transistores es PUSH-PULL para garantizar en la señal del dither el ciclo positivo y negativo. Las resistencias R6 y R18 al igual que la configuración de transistores están dentro del lazo de realimentación del amplificador operacional debido a que de esta manera se reduce la distorsión que se tiene a la salida del circuito. R6 y R18 garantizan que la corriente de salida no sobrepase los 15mA. La figura 2.20 muestra la etapa de potencia.

La tarjeta de servo amplificación es la interfaz que permite la comunicación entre el controlador desarrollado en el PLC y la servo válvula.

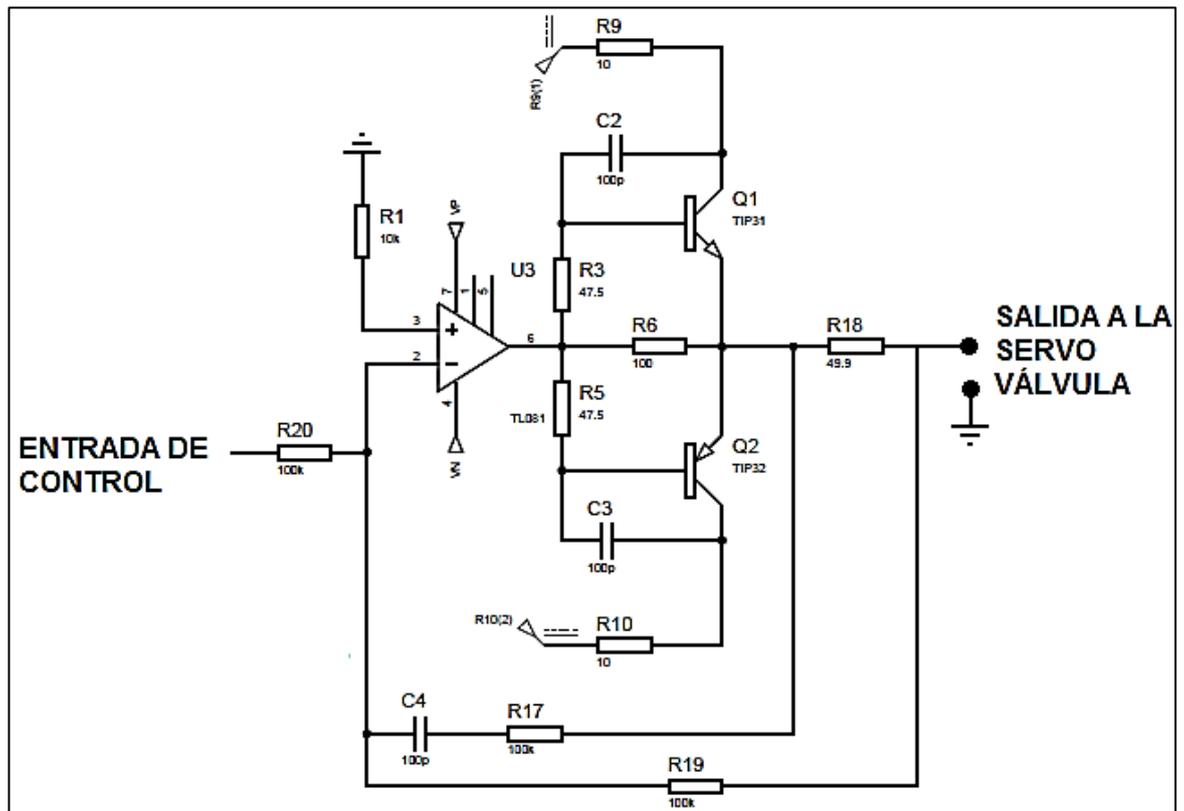


Figura 2.20. Etapa de amplificación de corriente-voltaje.

2.6.6 Acondicionamiento de la señal de la LVDT

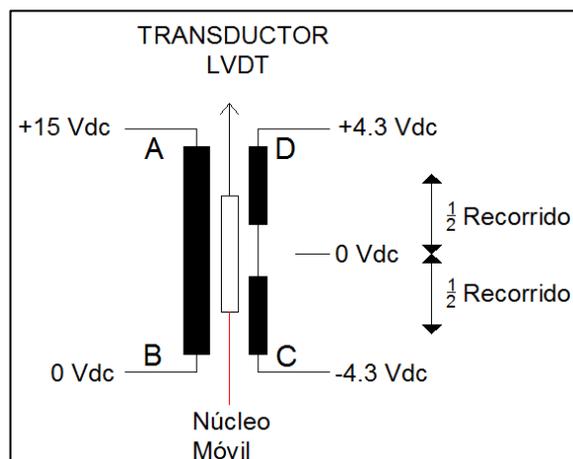


Figura 2.21. Descripción de LVDT.

El módulo de entradas analógicas EM325 del PLC Siemens S7-200 CPU 224 permite tener una entrada de 0 a 10 Vdc por lo que es necesario

acondicionar la LVDT a dicho voltaje. La LVDT tiene una operación en un rango de ± 4.3 Vdc como se observa en la figura 2.21, por lo que es necesario acondicionar esta señal.

La figura 2.22 muestra el acondicionamiento de la LVDT con lo cual se obtiene una salida de 0 a 10 Vdc.

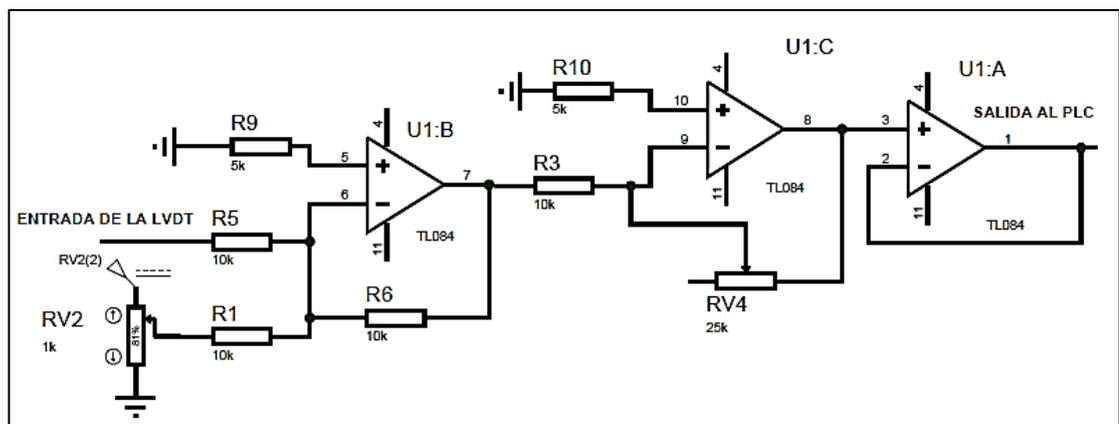


Figura 2.22. Acondicionamiento de la señal de la LVDT.

Cuando el cilindro se encuentre retraído la LVDT va a tener un valor de -4.3 Vdc lo que se debería reflejar en el PLC como 0 Vdc por lo que el voltaje de referencia debe ser de +4.3 Vdc. Al salir el cilindro la salida de la LVDT va a ser de +4.3 Vdc por lo que se tendrá un voltaje de +8.6 Vdc el mismo que debe ser amplificado hasta los +10 Vdc. Para obtener salida de +10 Vdc se aplica la Ecuación 2.1:

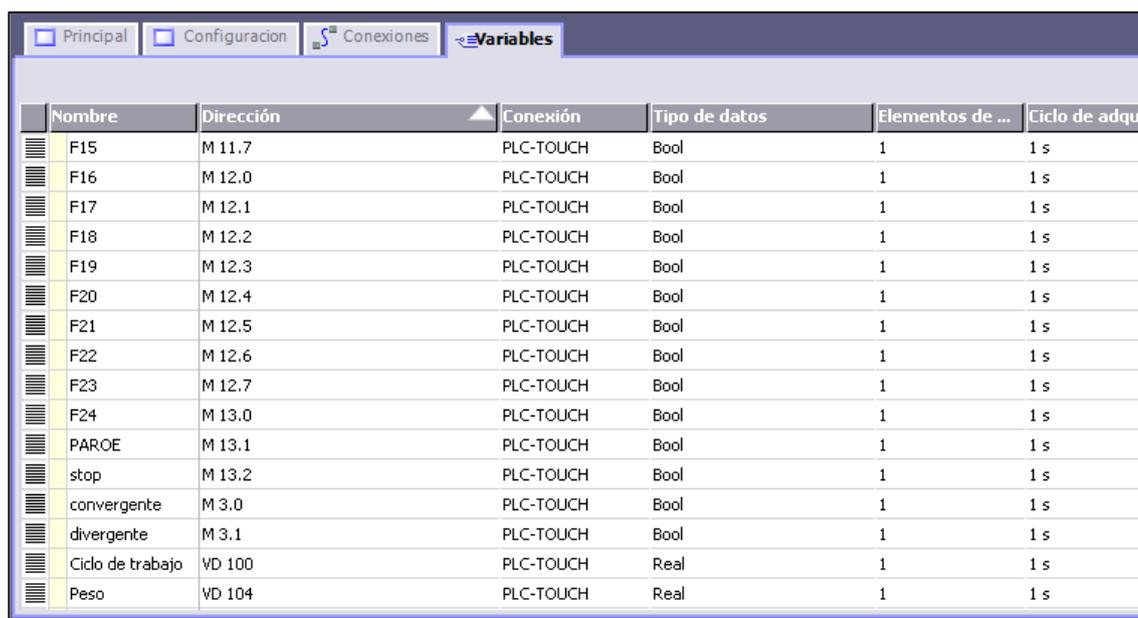
$$V_{in} = +8.3 \text{ Vdc} ; V_{out} = +10 \text{ Vdc} ; R_3 = 10 \text{ K } \Omega$$

$$RV4 = \frac{V_{out} * R_3}{V_{in}} = 12.048 \text{ K } \Omega$$

2.6.7 Diseño del HMI

Para el diseño del HMI se utiliza el software WinCC Flexible 2008 de Siemens, el cual facilita la creación de ventanas y objetos para realizar una interfaz gráfica de fácil entendimiento para el operador.

Configuración de comunicación: La velocidad de comunicación debe ser la misma para que no exista ningún inconveniente; para que la actualización de la Touch Panel se realice de la forma rápida se toma la velocidad más alta de 187,5 Kbits.



Nombre	Dirección	Conexión	Tipo de datos	Elementos de ...	Ciclo de adqu
F15	M 11.7	PLC-TOUCH	Bool	1	1 s
F16	M 12.0	PLC-TOUCH	Bool	1	1 s
F17	M 12.1	PLC-TOUCH	Bool	1	1 s
F18	M 12.2	PLC-TOUCH	Bool	1	1 s
F19	M 12.3	PLC-TOUCH	Bool	1	1 s
F20	M 12.4	PLC-TOUCH	Bool	1	1 s
F21	M 12.5	PLC-TOUCH	Bool	1	1 s
F22	M 12.6	PLC-TOUCH	Bool	1	1 s
F23	M 12.7	PLC-TOUCH	Bool	1	1 s
F24	M 13.0	PLC-TOUCH	Bool	1	1 s
PAROE	M 13.1	PLC-TOUCH	Bool	1	1 s
stop	M 13.2	PLC-TOUCH	Bool	1	1 s
convergente	M 3.0	PLC-TOUCH	Bool	1	1 s
divergente	M 3.1	PLC-TOUCH	Bool	1	1 s
Ciclo de trabajo	VD 100	PLC-TOUCH	Real	1	1 s
Peso	VD 104	PLC-TOUCH	Real	1	1 s

Figura 2.23. Creación de variables de la Touch Panel.

Creación de variables: En la figura 2.23 se muestra las variables creadas, en estas se encuentra una para cada punto de espesor, también existen variables para la configuración de parámetros tales como peso, ciclo de trabajo, tipo de matriz. Además se crean variables auxiliares para la facilitar la programación dentro del PLC. El tipo de variables creadas corresponde a enteras, booleanas, byte y reales.

Creación de pantallas: Se crea un determinado número de pantallas para ingresar los datos de configuración del sistema como se muestra en la figura 2.24. En el Anexo G se muestra todas las pantallas del HMI creadas.

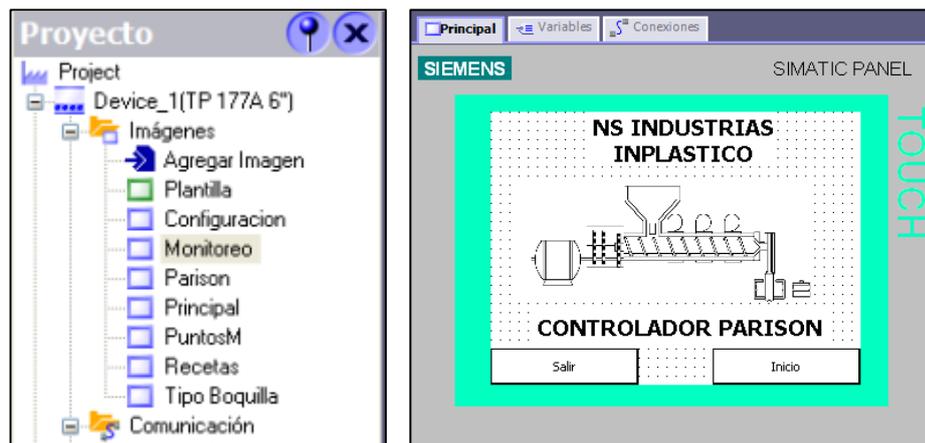


Figura 2.24. Creación de las imágenes del HMI.

Se crea las siguientes pantallas:

- **Configuración:** En esta pantalla se despliegan los parámetros para configurar el sistema de parison.
- **Monitoreo:** En esta pantalla se puede observar la posición actual del cilindro, setpoint y un resumen de configuración del sistema.
- **Parison:** Esta pantalla ofrece una gráfica para observar los puntos ingresados.
- **Principal:** Esta es la pantalla inicial.
- **Puntos M:** En esta pantalla puede observar los puntos de regulación cargados en el sistema.
- **Recetas:** En esta pantalla se elige el tipo de envase, donde en una base de datos se tiene precargados los puntos para la regulación.
- **Tipo de boquilla:** Esta pantalla permite seleccionar el tipo de boquilla que se encuentra montada en la máquina.

Creación de recetas: Las recetas son bases de datos que se pueden crear dentro de la memoria de la Touch Panel, las cuales contendrán precargados los datos de regulación de espesor.

La receta se agrega desde el menú del proyecto. Se ingresan el número de puntos y los valores de regulación de cada punto. En la figura 2.25 se puede observar un resumen de las recetas creadas. Además si el usuario desea crear una nueva, este tendrá acceso a crear el número de recetas de acuerdo a la necesidad.

Nombre	Nombre a visualizar	Número	P1	P2	P3
BOTELLA	BOTELLA	3	60	60	90
GALON	GALON	1	50	20	50
VASO	VASO	2	100	90	80

Figura 2.25. Creación de recetas.

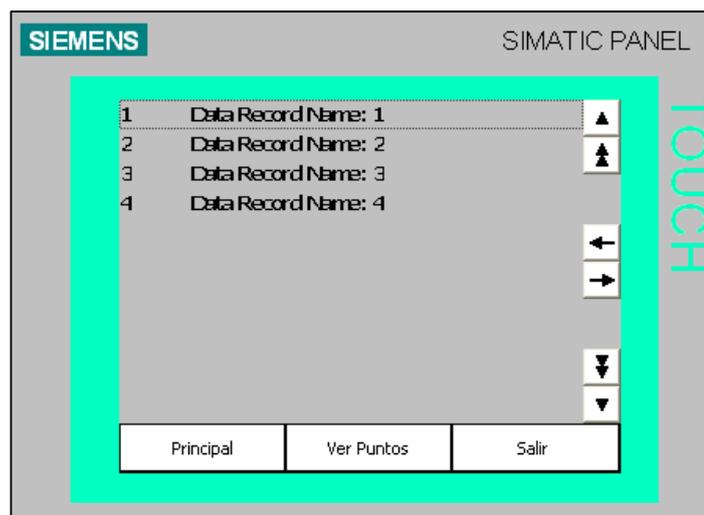


Figura 2.26. Creación de recetas vista general.

Mediante un visualizador de recetas mostrado en la figura 2.26, en el HMI el usuario podrá hacer uso de estas y editar cada una de ellas según

sea necesario, este visualizador se encuentra en el menú de objetos ampliados.

2.7 Diseño del circuito hidráulico

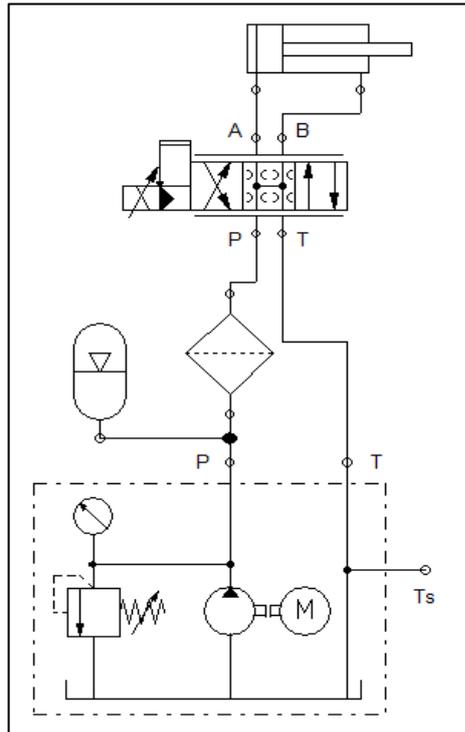


Figura 2.27. Circuito hidráulico.

En esta etapa se va a identificar y seleccionar cada uno de los componentes del circuito hidráulico. El servo cilindro hidráulico a utilizar es de doble efecto, esta aplicación es necesaria por la fuerza que se requiere mantener en la salida y entrada del vástago. Este servo cilindro requiere de una presión máxima de 2320 psi para su normal operación por lo que es necesario dicho suministro.

El circuito hidráulico tiene por componentes una bomba hidráulica, filtro, cilindro de doble efecto, servo válvula, mangueras, acoples, racores, acumulador de nitrógeno y depósito como se ilustra en la figura 2.27.



Figura 2.28. Unidad Hidráulica MAGIC M.P.

La bomba hidráulica, el filtro, acumulador de nitrógeno y el depósito corresponden a la unidad hidráulica. La figura 2.28 muestra la unidad hidráulica a emplear como alimentación del sistema.

Con los componentes hidráulicos elegidos, es necesario calcular las pérdidas de presión para garantizar la presión requerida en el servo cilindro. La unidad hidráulica con la que se cuenta es propia de una extrusora de la marca Magic M.P. En el Anexo J se pueden apreciar sus características técnicas. El caudal que suministra la bomba hidráulica está dado por la Ecuación 2.3.

$$Q = V * n * n_{vol} * 10^{-3} [\text{litros}/\text{min}] \quad \text{Ec. (2.3)}$$

Donde V [cm^3/rev] es la cilindrada de la bomba, n es la velocidad de rotación [RPM] y n_{vol} es el rendimiento volumétrico (tomar 0,95 para velocidades entre los 1000 y 2000 RPM).

$$Q = (13.8 \text{ litros/rev}) * (1750 \text{ RPM}) * (0.95) * 10^{-3} [\text{litros/min}]$$

Con los datos obtenidos del motor eléctrico y de la bomba, se establece que la bomba es capaz de suministrar 22.94 *litros/min* a una presión máxima de 180 bar, el suministro de presión que se va proporcionar la unidad hidráulica es de 100 bar, 10 MPa o 1450 psi.

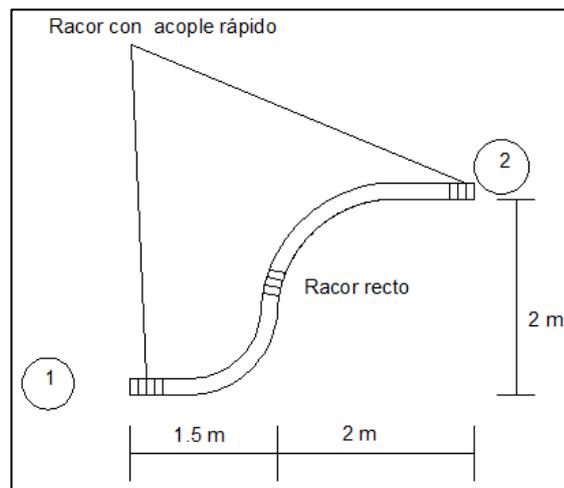


Figura 2.29. Recorrido del circuito hidráulico.

El fluido hidráulico tiene que recorrer 3.5 metros desde la unidad hidráulica hasta el servo cilindro. Teniendo a 1.5 metros de la unidad hidráulica la unión de las mangueras mediante acoples; adicionalmente en los extremos de las mangueras van colocados racores de acople rápido; todos estos accesorios producen una serie de pérdidas teniendo en el servo cilindro una presión menor a la suministrada. Como se muestra en la figura 2.29.

Para determinar las pérdidas de carga se debe conocer el tipo de fluido que circula por este circuito, es decir si es turbulento o laminar, la Ecuación 2.4 ayuda a determinar estas condiciones.

$$Re = \frac{VL_C}{\nu} \quad \text{Ec. (2.4)}$$

Donde Re es el número de Reynolds, V es la velocidad del fluido, ν es la viscosidad cinemática característica del fluido y L_C depende de la tubería (La Ecuación 2.6 muestra esta dependencia donde re es el diámetro exterior de la tubería cuyo valor es de 29.3 mm y ri es el diámetro interno de 19 mm acorde a las características de la manguera).

$$V = \frac{Q}{S} \text{ [cm/min]} \quad \text{Ec. (2.5)}$$

$$L_C = \frac{2 * (re^2 - ri^2)}{re + ri} \text{ [cm]} \quad \text{Ec. (2.6)}$$

Sabiendo que S es la superficie de la tubería y Q es el caudal. Con la aplicación de la Ecuación 2.5 se tiene una velocidad de 1.35 m/seg. La variable ν se obtiene del aceite hidráulico ISO AW 68, el cual se está empleando, siendo igual a 64.6 mm³/seg y L_C es igual a 16 mm.

Aplicando la Ecuación 2.4 se tiene que el número de Reynolds es igual a 334.36. En el libro (Mott, 2006) se establece que el número de Reynolds al ser menor a 2000 se considera el flujo laminar, por lo que es necesario analizar el circuito hidráulico con esa consideración. Las pérdidas de carga por fricción en un circuito están dadas por la suma de las pérdidas en la tubería y en los accesorios, en este caso los accesorios constan de acoples rectos y acoples rápidos de 3/4 de pulgada por lo que los cambios de sección son despreciables.

Las pérdidas de carga primarias o de superficie, se dan en las tuberías, son regidas por la Ecuación 2.7 que es la ecuación de Darcy Weisbach.

$$H_r = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g} \quad \text{Ec. (2.7)}$$

Donde

H_r : Pérdida de carga por fricción primaria (m).

L : Longitud de la tubería (m).

D : Diámetro del conducto (m).

V : Velocidad promedio del fluido (m/seg).

f : Factor de fricción (adimensional).

g : Gravedad (m/seg²).

La Ecuación 2.8, representa la ecuación de Hagen Poiseuille, la cual establece que en régimen laminar el factor de fricción depende exclusivamente del número de Reynolds.

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{Ec. (2.8)}$$

En las pérdidas primarias hay que considerar que se tienen dos tramos de mangueras con las mismas características pero de diferente longitud, debido a que las pérdidas en los acoples rectos son despreciables se va a considerar a la manguera como una sola con la totalidad de la longitud. Se tiene; $f = 0.191$, $V = 1.35$ m/seg, $D=1.9$ cm, $g = 9.8$ m/seg²

Para la manguera de 3.5 m con la aplicación de la Ecuación 2.7 las pérdidas serían:

$$H_r = (0.191) * \frac{(3.5m)}{(0.019m)} * \frac{(1.35 \text{ m/seg})^2}{2 * (9.8 \text{ m/seg}^2)}$$

$$H_r = 2.42 \text{ m}$$

Para encontrar las pérdidas de presión se emplea la Ecuación 2.9 que corresponde a la ecuación de continuidad de Bernoulli, que dice que la suma de la energía cinética, potencia y la energía de presión debe ser contante.

$$\frac{V^2 * \rho}{2} + P + \rho * g * z = Constante \quad \text{Ec. (2.9)}$$

Dónde:

V : Velocidad del fluido.

ρ : Densidad del fluido.

P : Presión del fluido.

g : Gravedad.

z : Altura en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia.

Aplicando la Ecuación 2.9 al circuito propuesto se tiene la Ecuación 2.10, la cual representa las condiciones de presión y velocidad en los extremos de la manguera.

$$\frac{V1^2}{2 * g} + \frac{P1}{\rho * g} + z1 - H_r = \frac{V2^2}{2 * g} + \frac{P2}{\rho * g} + z2 \quad \text{Ec. (2.10)}$$

Al tomar como referencia para las alturas la salida de la bomba, adicionalmente al ser la tubería de sección constante se tiene que $V2 = V1$, resultando las ecuaciones 2.11 y 2.12:

$$\frac{P1}{\rho * g} - H_r = \frac{P2}{\rho * g} + z2 \quad \text{Ec. (2.11)}$$

$$P2 = P1 - (H_r + z2) * \rho * g \quad \text{Ec. (2.12)}$$

De la Ecuación 2.12 se obtiene la presión en el punto 2. La presión en este punto ya consideradas las pérdidas en la tubería es de 9949.32 KPa por lo que se tiene una pérdida de presión de 50.68 KPa o 7.35 psi.

Cálculo de fuerza del cilindro hidráulico: El cilindro hidráulico debe permitir una aplicación de fuerza lo suficientemente grande como para mantener estable el sistema de páison, es decir no debe ceder ante la aplicación de carga. La carga del cilindro es la que genera el plástico al pasar por la matriz impulsada por la extrusora.

Dicha fuerza se obtiene considerando las características de la extrusora y la matriz, las mismas son relacionadas con las ecuaciones 2.13, 2.14 y 2.15.

$$P = \frac{6 * \pi * D * N * L * n * \cot \phi}{dc^2} \quad \text{Ec. (2.13)}$$

$$Q = \frac{1}{2} * \pi^2 * D^2 * N * H * \sin \phi * \cos \phi - \frac{\pi * D * H^3 * (\sin \phi)^2 * P}{12 * N * L} \quad \text{Ec. (2.14)}$$

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. (2.15)}$$

Tabla 2.5.

Constantes y resultados de las ecuaciones 2.1, 2.2 y 2.3.

Variable [Unidades]	Descripción	Valor
P [MPa]	Presión generada por la extrusora.	109.95
D [cm]	Diámetro del cañón.	9
N [RPM]	Revoluciones a las que gira el tornillo sinfín.	80
L [m]	Longitud del tornillo sinfín.	2.6
n [Pa. Seg]	Viscosidad del plástico fundido.	4825
Φ [rad]	Ángulo de la hélice del tornillo sinfín.	16
dc [cm]	Profundidad del hilo del tornillo sinfín.	0.3
Q [cm^3 /seg]	Caudal de salida de la extrusora.	15.69
H [cm]	Espacio entre el cañón y el tornillo sinfín.	0.2
A [cm^2]	Área de salida del plástico por la matriz.	2.36
F [kN]	Fuerza generada por la extrusora	25.9

En la tabla 2.5 se detalla la descripción de cada una de las variables y constantes de las ecuaciones 2.13, 2.14 y 2.15 así como sus respectivos valores. Estos valores fueron obtenidos de mediciones realizadas en la máquina. El área de salida del plástico por la matriz puede variar según se va moviendo el vástago del servo cilindro para la regulación de espesor del envase, pudiendo ir esta variación en un rango de 0.6 a 2.36 cm^2 , siendo la más crítica 2.36 debido a que en esta área se presenta una mayor fuerza.

Una vez obtenida la fuerza que genera la extrusora, la siguiente tarea es calcular la fuerza del cilindro hidráulico que está dada por la Ecuación 2.15.

$$F_C = P_C * A_P \quad \text{Ec. (2.16)}$$

Donde P_C es la presión de suministro al cilindro, F_C es la fuerza del cilindro y A_P es el área útil del pistón del cilindro. Por lo que la fuerza sería de 106.36 KN. Con los resultados obtenidos se puede decir que la fuerza del cilindro supera en 4.1 veces la fuerza generada por la extrusora, garantizando el movimiento del vástago del cilindro y que al encontrarse estático no pierda su posición a causa del flujo de plástico que circula.

2.8 Diseño del lazo de control PID

Para el control de posición del vástago del servo cilindro es necesario la implementación de un lazo proporcional-integral-derivativo (PID), la figura 2.30 muestra el sistema que se desea controlar. Este lazo de control tiene como realimentación un Transformador Diferencial De Variación Lineal (LVDT). La respuesta del lazo PID va a ser acondicionada acorde a lo requerido por la servo válvula mediante el servo amplificador.

El sistema a controlar es un sistema dinámico de cambios rápidos, debido a que la consigna varía continuamente, por lo que el mejor lazo de control es el proporcional-integral (PI) que permite el manejo de este tipo de

sistemas. La sintonización de un lazo de control se puede realizar con el modelamiento matemático del sistema o mediante un método manual. Por la naturaleza del sistema y por la dificultad de obtener las constantes necesarias para el modelamiento matemático se optó por la sintonización manual.

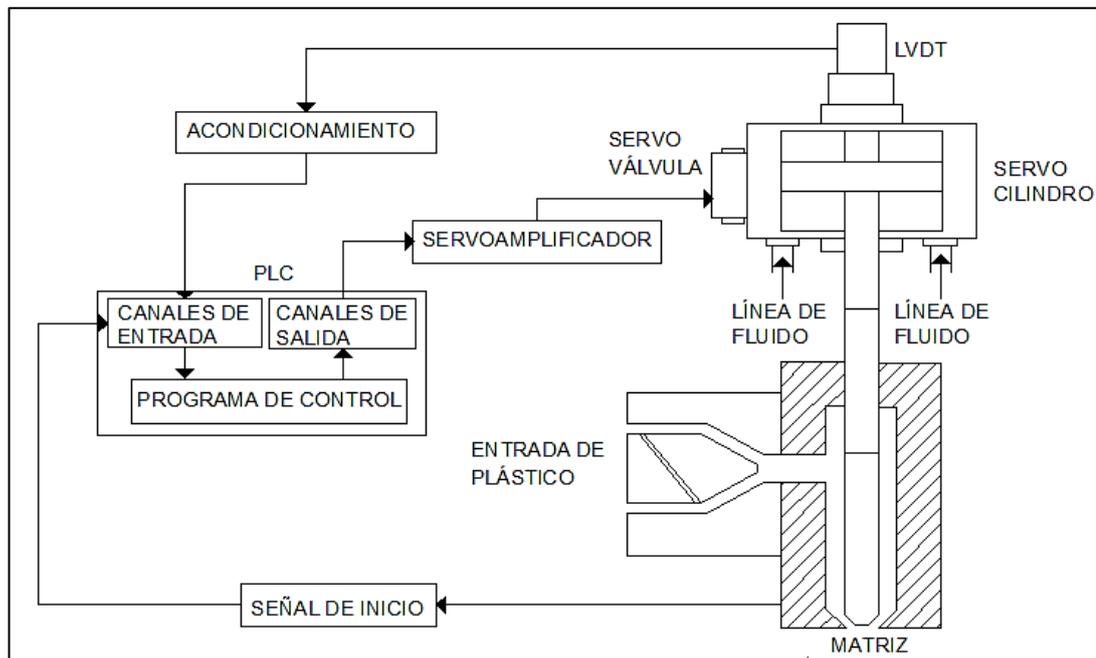


Figura 2.30. Diagrama del sistema.

Para encontrar las constantes del lazo de control es necesario mantener online el proceso con el sintonizador del controlador, como el controlador es un PLC, entonces se cuenta con la herramienta del sintonizador que posee el programa del PLC ilustrado en la figura 2.31.

El objetivo perseguido es el de conseguir ubicar el vástago del servo cilindro de manera exacta en cierta posición con la mayor rapidez posible. Para sintonizar el controlador se emplea el método empírico de Ziegler y Nichols en lazo cerrado o de las oscilaciones sostenidas. Si las constantes del controlador PI son incorrectas el sistema o proceso a controlar será inestable.

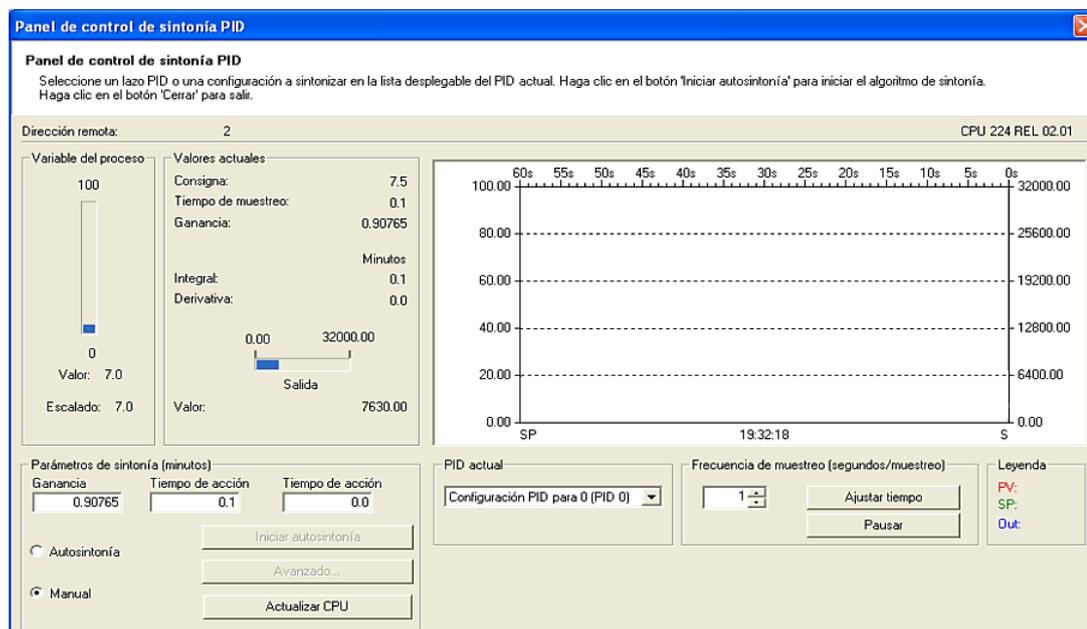


Figura 2.31. Sintonizador PID de MICROWIN de SIEMENS.

El método de Ziegler y Nichols consiste en asignar un valor de cero a la constante derivativa (D) y la integral (I) e incrementar la constante proporcional (P) hasta que la salida del lazo oscile. Los valores recomendados de sintonización se muestran en la tabla 2.6.

Tabla 2.6.

Constantes de sintonización del controlador PID.

Controlador	Kc	Ti	Td
P	$K_u/2$	infinito	0
PI	$K_u/2.2$	$T_u/1.2$	0
PID	$K_u/1.7$	$T_u/2$	$T_u/8$

Siendo K_u la ganancia del controlador proporcional con el cual se logran las oscilaciones sostenidas y T_u el período de estas oscilaciones. Con el ajuste manual se obtiene la respuesta de la figura 2.32 donde se puede observar que la variable del proceso no alcanza la consigna, pero el lazo de control reacciona con rapidez. La salida del controlador PI tiene un rango de ± 32000 , lo que a la salida del módulo análogo representa ± 10 Vdc. El

módulo analógico permite el ingreso de 0 a 10 Vdc, esta entrada al ser acondicionada en el controlador toma valores de 0 a 100, este rango representa el movimiento del vástago del servo cilindro pudiendo ser de 0 a 12 mm.

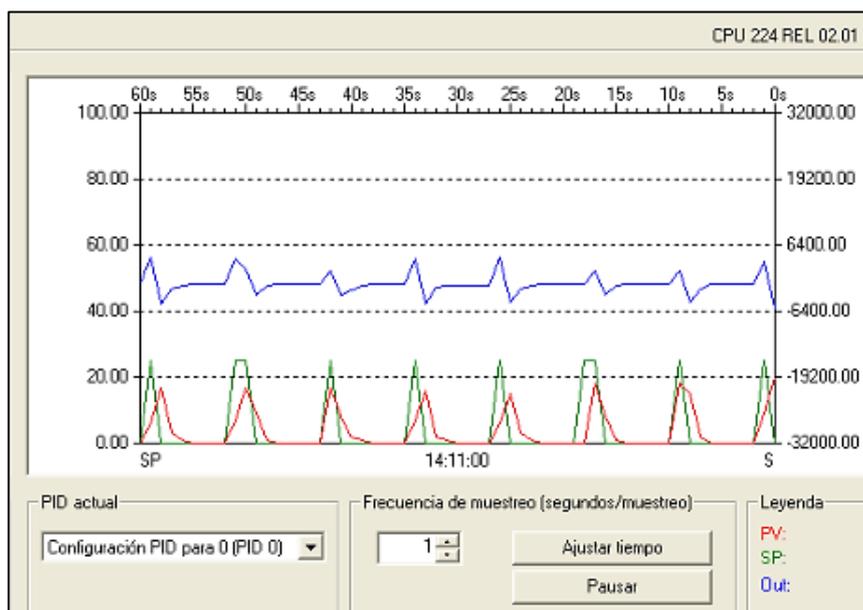


Figura 2.32. Respuesta del proceso con la sintonización manual.

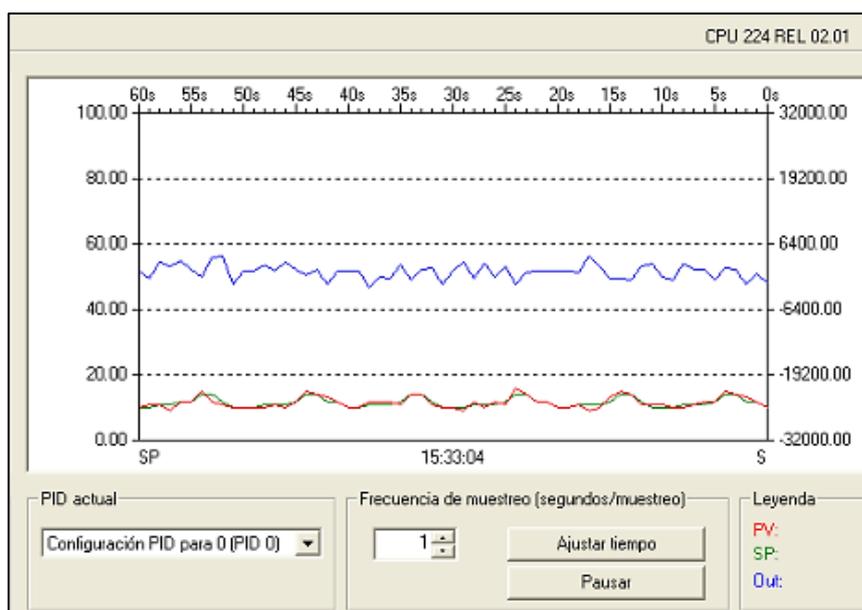


Figura 2.33. Respuesta del proceso con el reajuste de constantes.

Por la respuesta obtenida en la figura 2.32 es necesario un nuevo reajuste de las constantes por lo que esta vez se obtiene la respuesta mostrada en la figura 2.33, donde se observa que se reduce el error y se conserva la rapidez de respuesta del sistema. Esta respuesta se obtiene con una constante proporcional de 0.3851651 y una constante integral de 0 0.08.

2.9 Diseño del control en el PLC

Una vez definido los actuadores y mecanismos de control, así como el principio de funcionamiento del sistema de párison es necesario realizar el algoritmo del control del PLC.

Para que el sistema de párison comience su funcionamiento es necesario que reciba un pulso de START, si de lo contrario se desea terminar su funcionamiento se necesita una señal de STOP, otra señal por la que el sistema se detendrá es la pulsación del paro de emergencia. Debido a la cantidad de variables que se requieren para el control, la comunicación entre el PLC y la Touch Panel es necesaria la creación de subrutinas facilitando la comprensión y funcionamiento del control.

Al encenderse el PLC lo primero que se realiza es el intercambio de variables entre el PLC y la Touch Panel, y la respectiva conversión de tipos de variables para que el PLC pueda trabajar con estos valores.

Cundo se elige el tipo de matriz (Convergente o Divergente), el control para cada caso cambia. Con la matriz convergente el vástago del cilindro va a estar completamente afuera, teniendo que ingresar al cilindro para realizar el cambio de espesor. Mientras que en el caso de ser la matriz divergente el vástago va a estar completamente adentro y la regulación se va a dar con la salida del vástago. El peso va a ser añadido según el tipo de matriz limitando la salida o la entrada del vástago. Las figuras 2.34a y 2.34b muestran la forma como se realiza en control según el tipo de matriz, donde se tiene que

VD504 es el valor de espesor ingresado en el HMI, se realiza la operación de dividir para 2 debido a que la matriz divergente maneja la posición del vástago del cilindro hidráulico de 0 a 50 (0 a 6 mm).

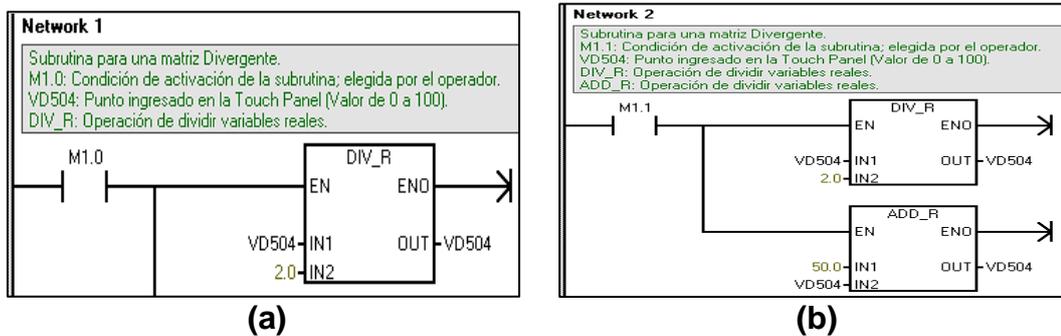


Figura 2.34. Programación para matriz: a) Divergente; b) Convergente.

La ubicación del vástago en la posición deseada se realiza con la utilización del controlador PID del PLC. El control se basa en cambiar el punto de consigna o setpoint después de un tiempo dado, este tiempo va a ser el ciclo de trabajo dividido para 25 como se realiza en la figura 2.35. T32 es un temporizador seteado con el ciclo de trabajo que se ingresa acorde al envase que se encuentre trabajando; M7.1 es la señal que permite el cambio de consigna al haber accionado el botón de Start. También se tienen las señales de molde arriba y molde cerrado (I0.2 e I0.4) que permiten sincronizar el sistema de páison con el funcionamiento de la extrusora. C1 es un contador encargado de variar el setpoint.

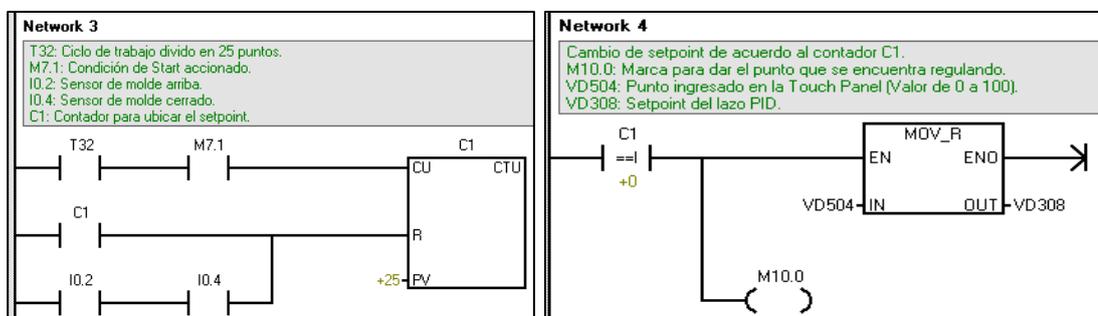


Figura 2.35. Programación para el control de cambio de consigna del PID.

Todas las subrutinas van a estar en el programa principal con las respectivas condiciones de activación o desactivación, dentro del programa principal también se encuentra el PID y los respectivos escalamientos de las señales de entrada de la LVDT; en las figuras 2.36a y 2.36b se muestra lo descrito. El código completo se puede observar en el Anexo K.

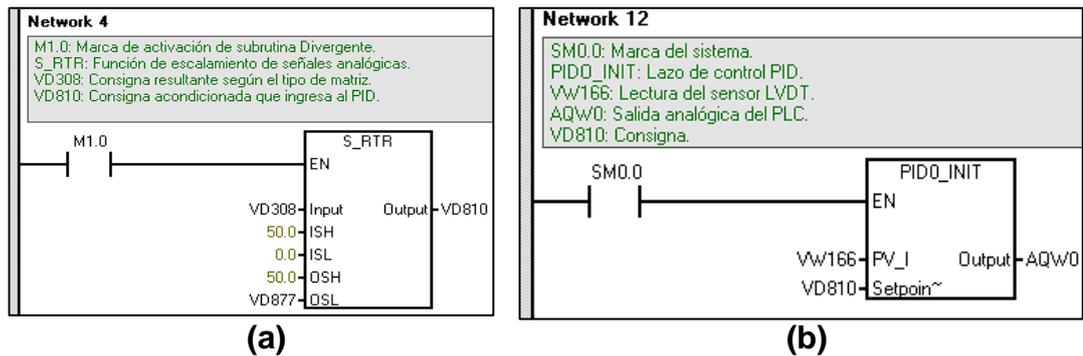


Figura 2.36. Programación: a) Escalar señales analógicas; b) Lazo PID.

El sistema de control propuesto consta de sensores, servo amplificador, PLC, pulsadores y luces piloto. Todos estos elementos van colocados en el tablero de control con lo que es necesario ubicarlos de forma que permita una fácil conexión entre cada uno ellos. La figura 2.37 muestra la vista exterior del tablero de control. Las conexiones y ubicación de los elementos se pueden observar en el Anexo O.

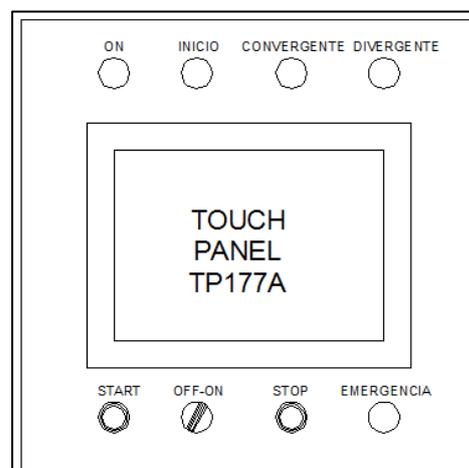


Figura 2.37. Vista exterior de tablero de control.

2.10 Diseño del cortador automático de rebabas

El diseño del cortador es para uso exclusivo del envase conocido como Galón Lechero que se produce en la empresa Inplástico. Se consideran las características que se obtuvo previamente en la casa de la calidad y la matriz morfológica para asegurar un diseño óptimo y de calidad.

2.10.1 Parámetros de diseño

Ubicación del cortador: Se toman en cuenta los siguientes lugares; sobre el cuerpo de la máquina como se muestra en la figura 2.38a y sobre la base del cilindro del pin de soplado como se muestra en la figura 2.38b. Esta última se encuentra cerca al envase plástico a cortar, además la base cuenta con perforaciones que se encuentran alineadas con el eje del cilindro en las cuales el cortador puede ser sujetado y de esta manera facilitar la calibración del sistema de corte.



Figura 2.38. Ubicación del Cortador: a) En la extrusora; b) En la base de soplado.

Tomando como punto de referencia la base del pin de soplado y ubicando un eje de coordenadas como se muestra en la figura 2.39 se

toman las medidas desde el cuerpo de la máquina hasta la campana del envase, siendo la distancia $y=427\text{mm}$, $z=500\text{mm}$ y la distancia $x=320\text{mm}$.

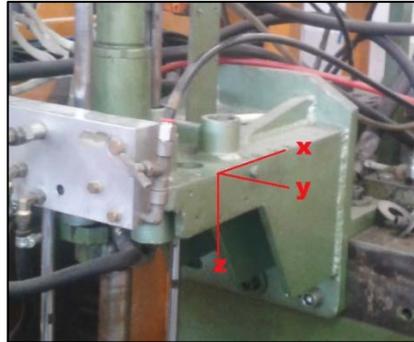


Figura 2.39. Coordenadas desde la base.

Materia Prima: El material usado para la elaboración del galón lechero es el polietileno de alta densidad (PEAD o HDPE), en el Anexo L se presenta las propiedades físicas y mecánicas.

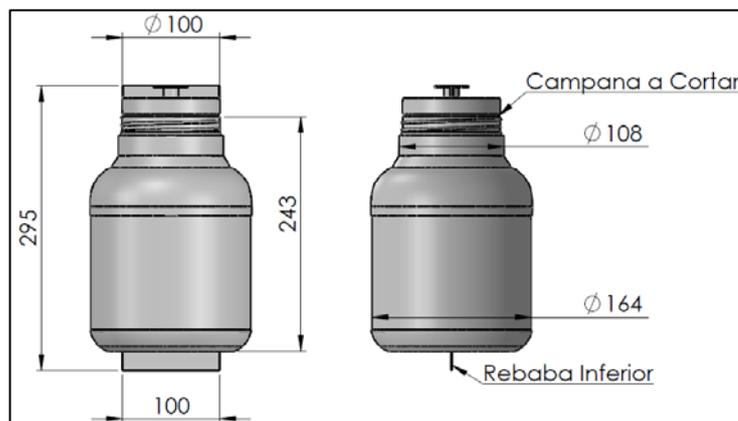


Figura 2.40. Dimensiones Galón Lechero.

Dimensiones del envase: Se presentan las siguientes dimensiones principales del galón lechero con la rebaba inferior y la campana a cortar en la figura 2.40:

2.10.2 Diseño Mecánico

El modelamiento es realizado mediante el software Ansys 16.0. En la figura 2.42 se muestra la estructura completa del cortador la cual está sujeta a la base del pin de soplado, también posee una sujeción en el cuerpo de la máquina para evitar vibraciones y facilitar la calibración del sistema.

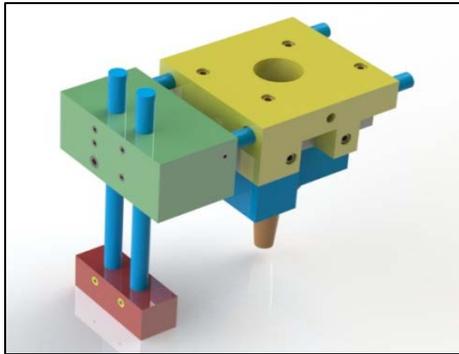


Figura 2.41. Cortador de rebabas.

La figura 2.41 muestra con más detalle el diseño del cortador el cual es encargado de introducir la cuchilla en el envase y producir el corte.

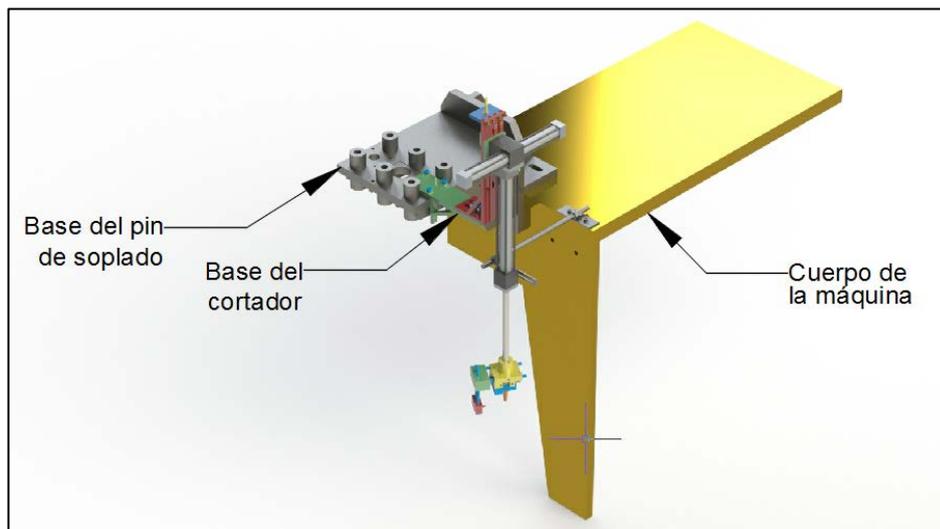


Figura 2.42. Cortador Automático de Rebabas.

La base del cortador soportará todo el peso del sistema siendo necesario un estudio detallado de este elemento. El material que se usa es el acero ASTM A36.

Análisis en la base del cortador: Para calcular los esfuerzos se considera la base como una viga empotrada como muestra la figura 2.43, como datos conocidos se tiene la masa del cortador (m_c) y la gravedad (g), adicionalmente se conoce el esfuerzo de fluencia del acero ASTM A36 ($\sigma_y = 250 \text{ MPa}$).

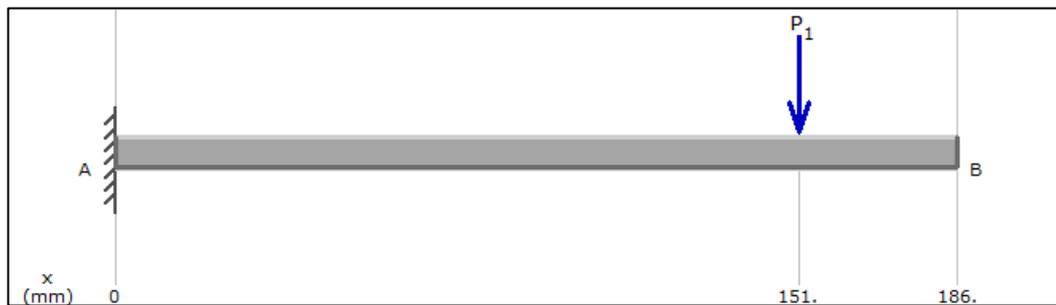


Figura 2.43. Análisis base cortador.

Datos:

$$m_c = 11.22 \text{ Kg}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\sigma_y = 250 \text{ MPa}$$

$$P_1 = m_c * g \quad \text{Ec. (2.17)}$$

$$P_1 = (11.22 \text{ Kg}) * (9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$P_1 = 110 \text{ N}$$

Una vez conocida la carga que debe soportar se realiza la sumatoria de fuerzas y de momentos para encontrar la reacción A_x , A_y y el momento M_A .

Así también se encuentran los diagramas de fuerza cortante y momento flector. En la figura 2.44 se muestran los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector. La Ecuación 2.18 muestra la sumatoria de momentos.

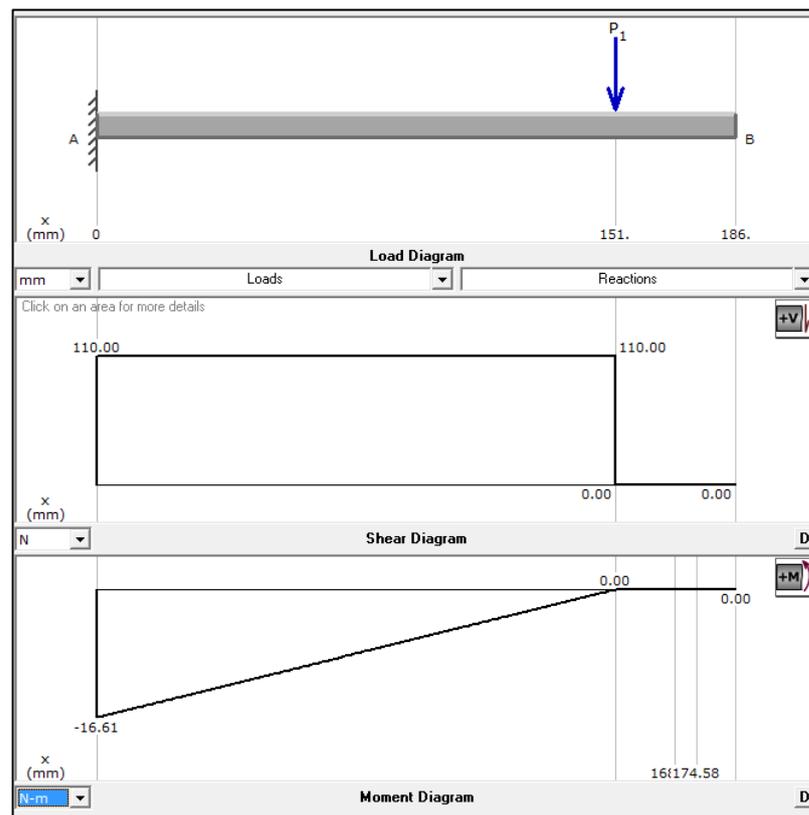


Figura 2.44. Diagramas de fuerza cortante y momento flector de base cortador.

$$\uparrow \sum Fy = 0$$

$$P_1 - A_y = 0$$

$$A_y = 110 \text{ N}$$

$$\uparrow \sum Fx = 0$$

$$A_x = 0$$

$$\circlearrowleft \sum M_{P1} = 0$$

Ec. (2.18)

$$-110 \text{ N} * 0.151 \text{ m} - M_A = 0$$

$$M_A = -16.61 \text{ Nm}$$

Se considera la sección transversal de la base del cortador que tiene los agujeros por donde pasaran los pernos de sujeción ilustrado en la figura 2.45, porque ésta es la parte donde concentra mayor cantidad de esfuerzos debido a que posee menor área.

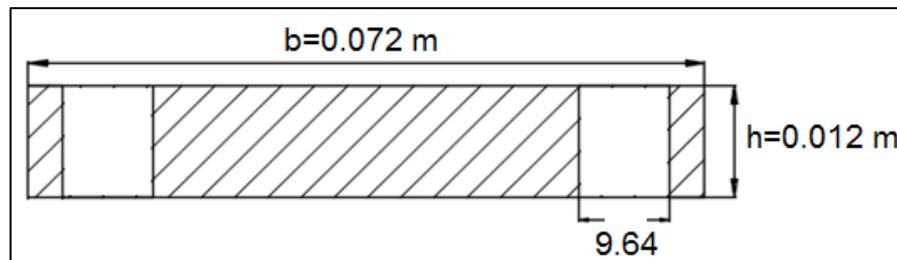


Figura 2.45. Sección transversal de la base cortador.

Según (Mott, 2006) las Ecuación 2.19 permite conocer el esfuerzo que realiza el material; la ecuación 2.20 permite encontrar el momento de inercia.

$$\sigma = \frac{M_A * c}{I} \quad \text{Ec. (2.19)}$$

$$I = \frac{1}{12}bh^3 - 2\frac{1}{12}\phi h^3 \quad \text{Ec. (2.20)}$$

Dónde:

I : Momento de inercia.

b : Base.

ϕ : Diámetro del taladro.

h : Altura.

c : Centroide.

M_A : Momento en el apoyo.

σ : Esfuerzo.

$$I = \frac{1}{12} 0.072m(0.012m)^3 - \frac{1}{6} 0.00964m(0.012m)^3$$

$$I = 7.591 \times 10^{-9} m^4$$

$$\sigma = \frac{16.1Nm * 0.09m}{7.591 \times 10^{-9} m^4}$$

$$\sigma = 19.69 \frac{N}{m^2} \times 10^6 \approx 19.69 MPa$$

La Ecuación 2.21 muestra el cálculo del factor de seguridad (fs).

$$fs = \frac{\sigma_y}{\sigma} \quad \text{Ec. (2.21)}$$

$$fs = \frac{250MPa}{19.69MPa}$$

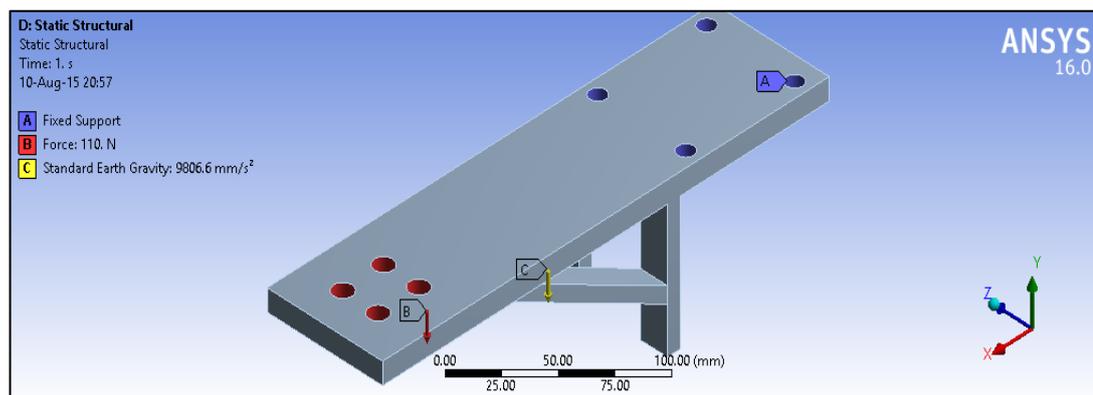
$$fs = 12.69$$

Como el esfuerzo de fluencia del material es $250 MPa$ y el esfuerzo que realiza es de $19.69 MPa$ siendo este menor ($19.69 MPa < 250 MPa$). Teniendo un factor de seguridad de 12.69.

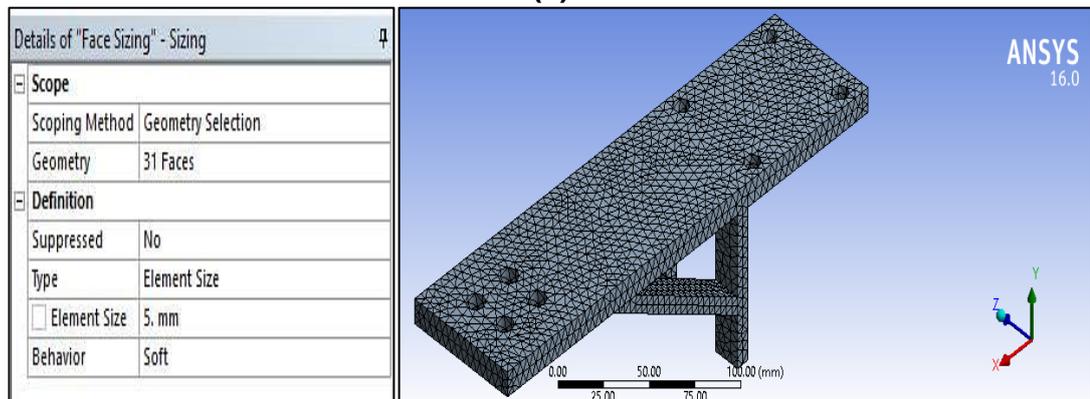
Estos resultados se verifican con la utilización del programa Ansys 16.0, en este programa se realiza el análisis de elementos finitos, para las consideraciones de diseño se toma la teoría de diseño de Von Misses.

La figura 2.46a muestra la geometría del elemento, donde se especifica las cargas a las que se le somete y el modo de sujeción. En la figura 2.46b se observa el mallado que se le realiza al elemento, el cual debe tener un valor de refinamiento entre 0.02 y 0.06 m para su correcto análisis. Para el

caso del elemento presentado se considera que el mallado tamaño de malla de 0.05 m es suficiente para que el análisis de elementos finitos arroje resultados satisfactorios. Esto debido a que el mallado no presenta convergencias hacia ciertos puntos, adicionalmente el tamaño de la malla es uniforme en todo el elemento.



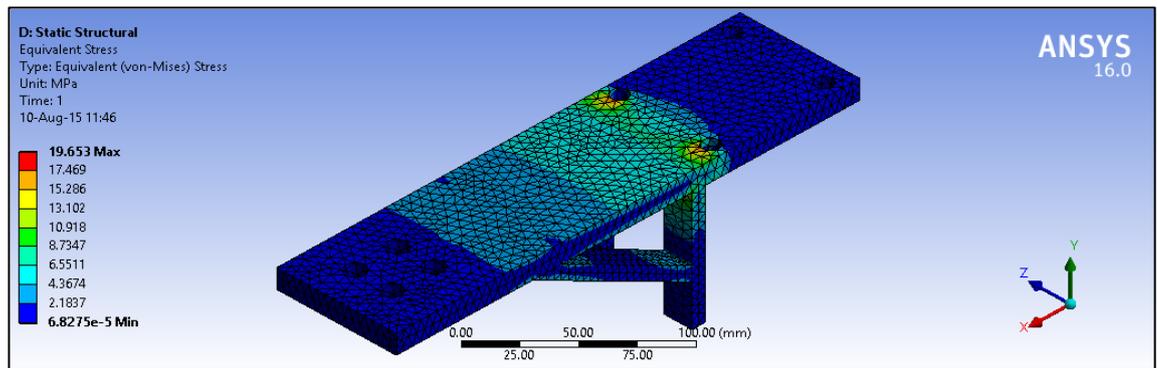
(a)



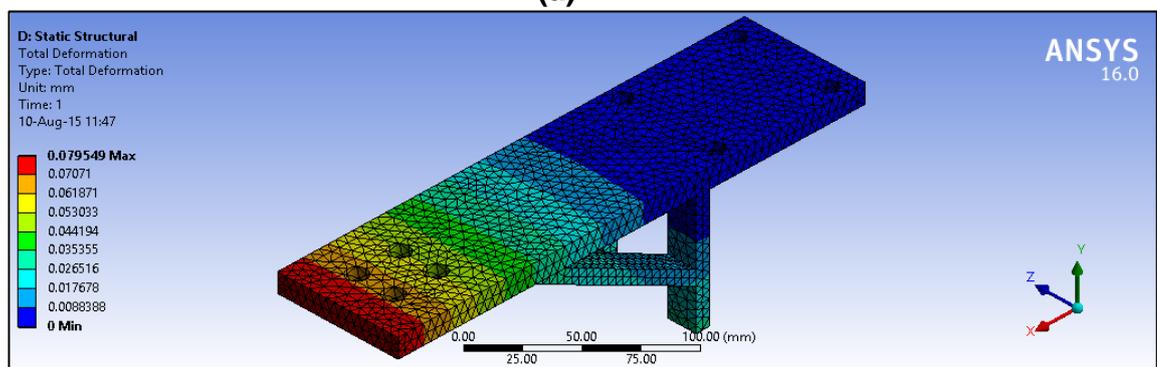
(b)

Figura 2.46. Sujeción base cilindro: a) Geometría; b) Mallado.

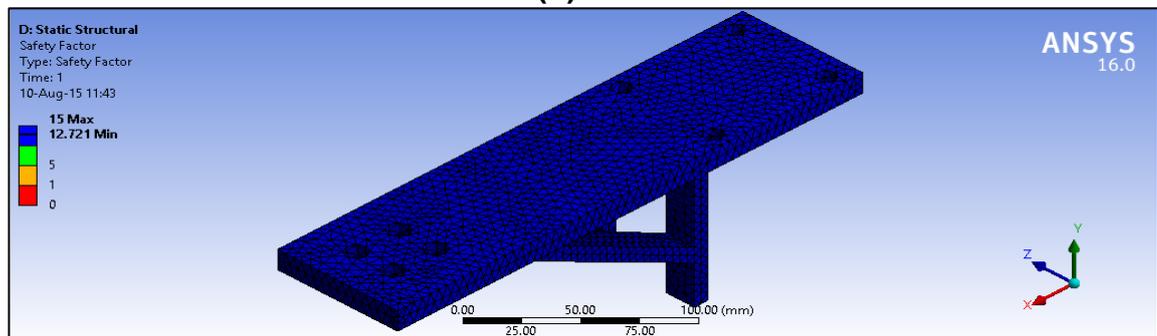
La figura 2.47a muestra el esfuerzo máximo que se realiza es el elemento teniendo un valor de 19.653 MPa , el cual tiene aproximación con el esfuerzo calculado. En la figura 2.47b se observa que la deformación presentada por el elemento es de 0.07 mm. El factor de seguridad que se muestra en la figura 2.47c tiene un mínimo de 12.72; con todos los resultados obtenidos se garantiza que el elemento no se va a fracturar. Este factor de seguridad tiene un error de 0.03 con el calculado.



(a)



(b)



(c)

Figura 2.47. Sujeción base cilindro: a) Análisis de esfuerzos; b) Deformación; c) Factor de seguridad.

Análisis en la sujeción del cilindro altura: El análisis para este elemento se hace considerándolo como una columna como se observa en la figura 2.48, que debe soportar una carga (P) de 79.65 N.

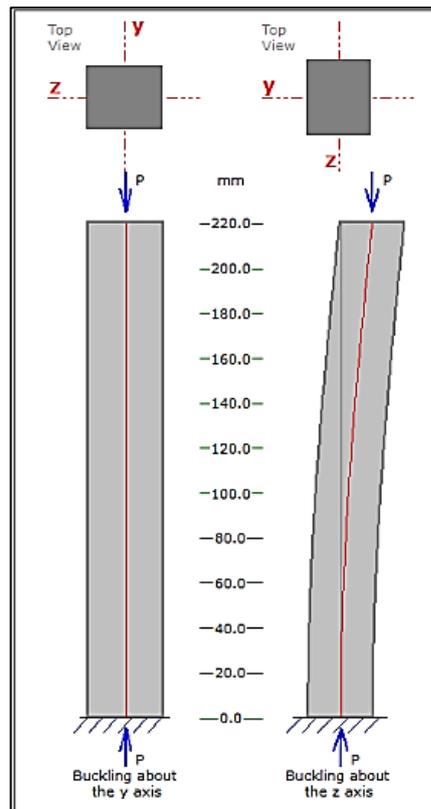


Figura 2.48. Columna sujeción cilindro altura.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2} \quad \text{Ec. (2.22)}$$

Dónde:

E : Módulo de elasticidad.

I : Momento de Inercia.

L_e : Longitud Efectiva.

P_{cr} : Carga Crítica.

Debido a que la columna tiene un extremo fijo y uno libre, su longitud efectiva viene dada por la Ecuación 2.23.

$$L_e = 2L \quad \text{Ec. (2.23)}$$

$$L_e = 2(0.22m) = 0.44m$$

Para calcular el momento de inercia es necesario la Ecuación 2.24 donde se considera la sección transversal de la columna donde $b=10.9$ mm y $h=9$ mm.

$$I = \frac{1}{12}bh^3 \quad \text{Ec. (2.24)}$$

$$I = \frac{1}{12}0.0109m * (0.009m)^3 = 0.6621 \times 10^{-9} m^4$$

Remplazando los datos calculados en la Ecuación 2.22 se obtiene:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2(200GPa)(0.6621 \times 10^{-9} m^4)}{(0.44m)^2}$$

$$P_{cr} = 6.75 \text{ KN}$$

Como se tiene que $P = 69.65 \text{ N}$ y $P_{cr} = 6.75 \text{ KN}$; entonces $P < P_{cr}$ ($69.65 \text{ N} < 6.75 \text{ KN}$) asegurándose la resistencia de la columna. Con la Ecuación 2.25 se calcula el esfuerzo crítico y el esfuerzo producido por la carga.

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} \quad \text{Ec. (2.25)}$$

$$\sigma_{cr} = \frac{6.75 \times 10^3 \text{ N}}{0.0109m * 0.009m} = 68.8 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \approx 68.8 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Ec. (2.26)}$$

$$\sigma = \frac{79.65 \text{ N}}{16.59 \times 10^{-6} m^2} = 4.8 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \approx 4.8 \text{ MPa}$$

$$f_s = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma} = \frac{68.82 \text{ MPa}}{4.8 \text{ MPa}} = 14.33$$

Para calcular el pandeo de la vida se dispone de la Ecuación 2.27.

$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad \text{Ec. (2.27)}$$

δ : Deformación total

P : Carga

L : Longitud

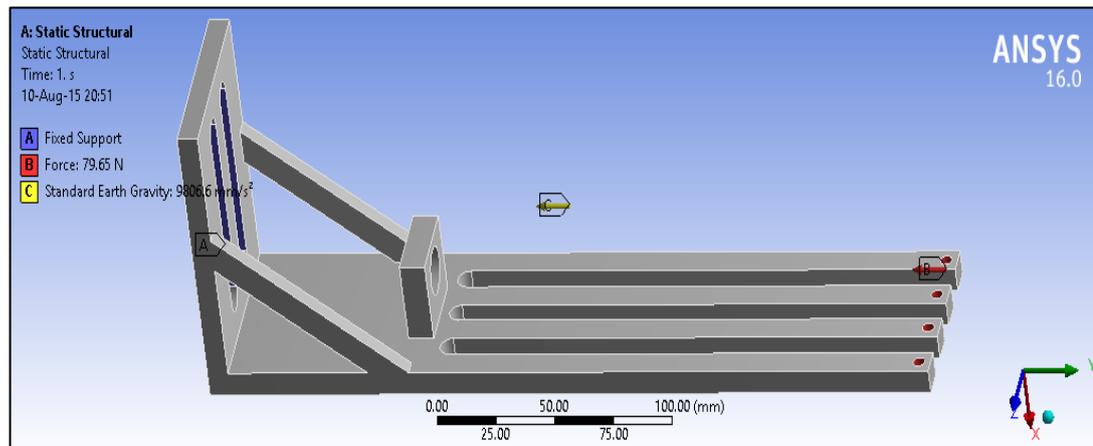
A : Área

E : Módulo de elasticidad

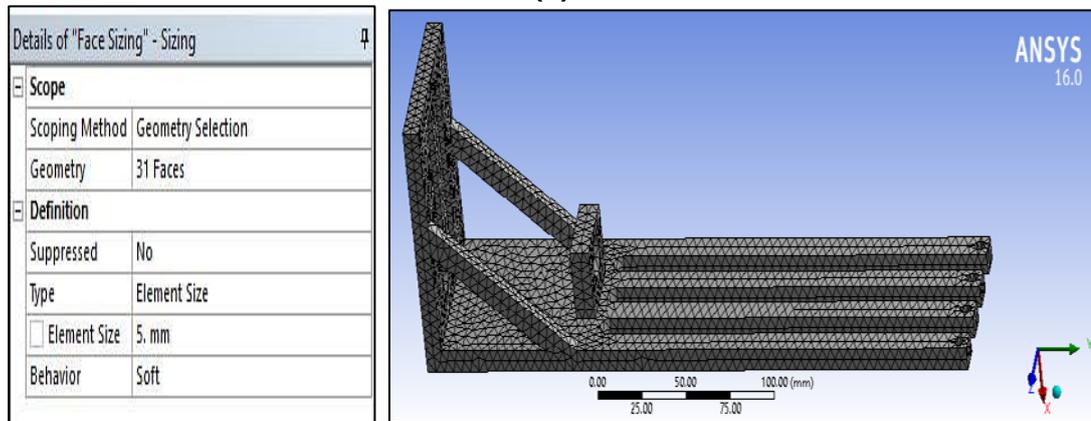
$$\delta = \frac{79.65N * 0.22m}{200GPa * 394.12 \times 10^{-6} m^2} = 0.22 \times 10^{-6} m \approx 0.22 \times 10^{-3} mm$$

El esfuerzo producido por la carga crítica (σ_{cr}) es 68.8 MPa ; mientras que el producido por la carga de la columna es de 4.8 MPa siendo $\sigma < \sigma_{cr}$ ($4.8 \text{ MPa} < 68.8 \text{ MPa}$).

La figura 2.49a muestra la geometría del elemento, donde se especifica las cargas a las que se le somete y el modo de sujeción. En la figura 2.49b se observa el mallado que se le realiza al elemento. Para el caso este elemento se considera correcto un mallado de tamaño 0.05 m , que es suficiente para que el análisis de elementos finitos arroje resultados satisfactorios.



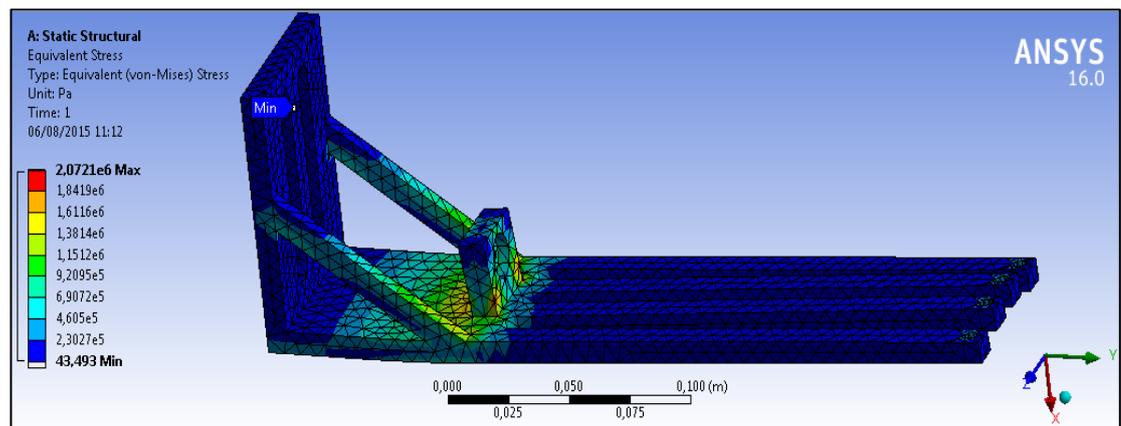
(a)



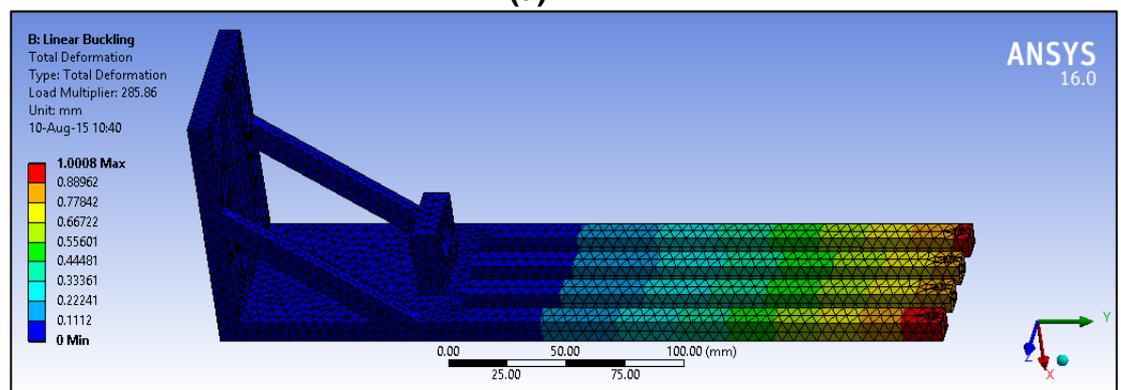
(b)

Figura 2.49. Sujeción del cilindro altura: a) Geometría; b) Mallado.

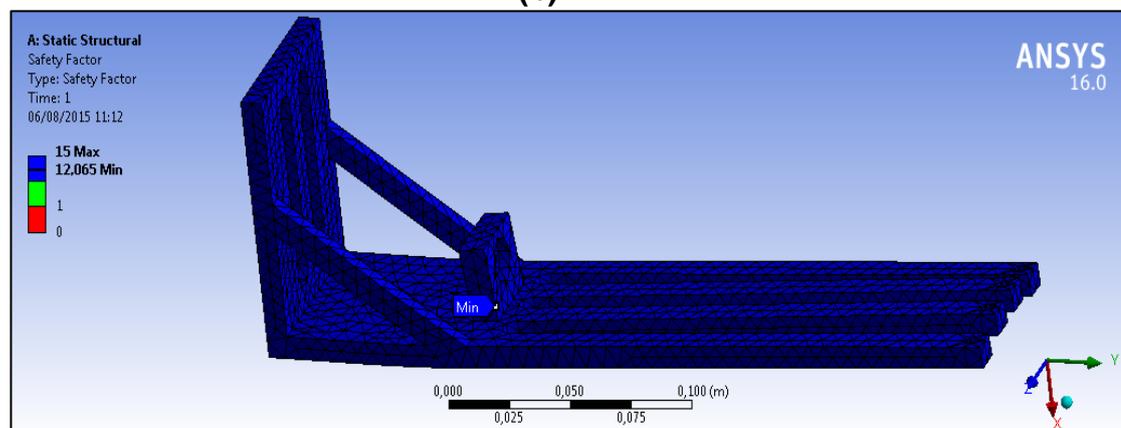
Los esfuerzos se concentran a la mitad de la estructura vertical, el resultado es positivo ya que los esfuerzos están por debajo del esfuerzo de fluencia como se ilustra en la figura 2.50a. El análisis de pandeo que se muestra en la figura 2.50b es de 1 mm. El factor de seguridad mostrado en la figura 2.50c de este elemento es de 12.06 asegurando por completo la estabilidad de la estructura, asegurándose de esta manera que la columna no sufrirá pandeo y soportara sin ningún inconveniente el peso del actuador roto lineal y el cortador. El error del factor de seguridad es de 2,27, esto debido a las condiciones de los cálculos.



(a)



(b)



(c)

Figura 2.50. Sujeción del cilindro altura: a) Esfuerzos máximos; b) Deformación; c) Factor de seguridad.

Acople eje cilindro vástago: El acople está sometido a torsión, se realiza el análisis para asegurar la estabilidad del corte. El torque ejercido sobre el elemento es el que el actuador roto lineal genera, este se toma de la hoja de datos que se encuentra en el Anexo H. El material del que está

hecho es aluminio 6061-O. Teniendo un esfuerzo de corte (S_{ys}) de 83 MPa. La figura 2.51 muestra la distribución de los esfuerzos.

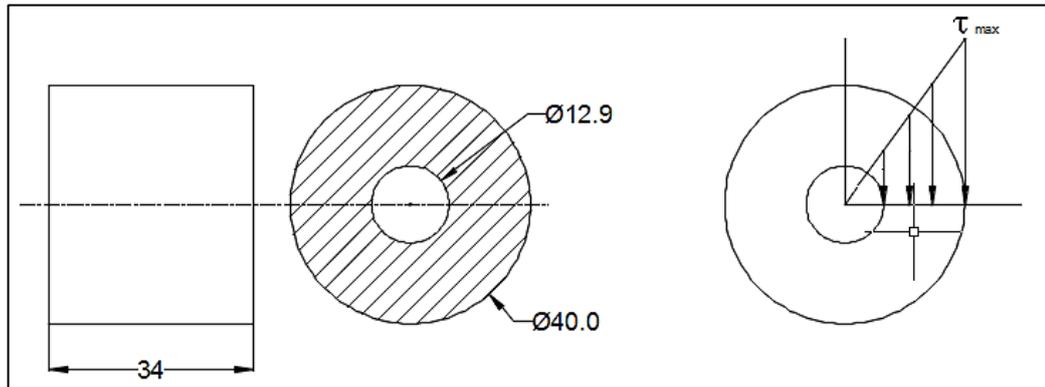


Figura 2.51. Sección circular de acople cilindro vástago.

$$\tau_{max} = \frac{Tc}{J} \quad \text{Ec. (2.28)}$$

Dónde:

T : Par aplicado, se obtiene del actuador roto-lineal.

c : Radio de la sección transversal.

J : Momento polar de Inercia.

τ_{max} : Esfuerzo de torsión.

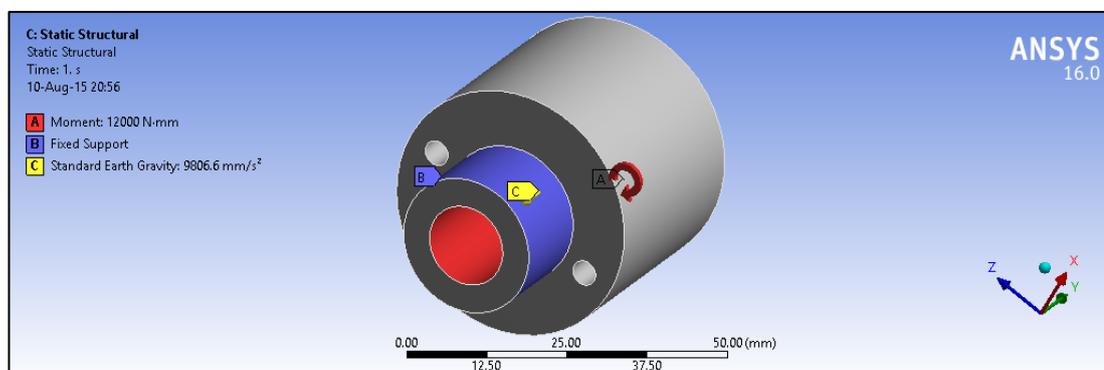
$$J = \frac{\pi}{32} (D_2^4 - D_1^4) \quad \text{Ec. (2.29)}$$

$$J = \frac{\pi}{32} [(0.04m)^4 - (0.0129m)^4] = 248.6 \times 10^{-9} m^4$$

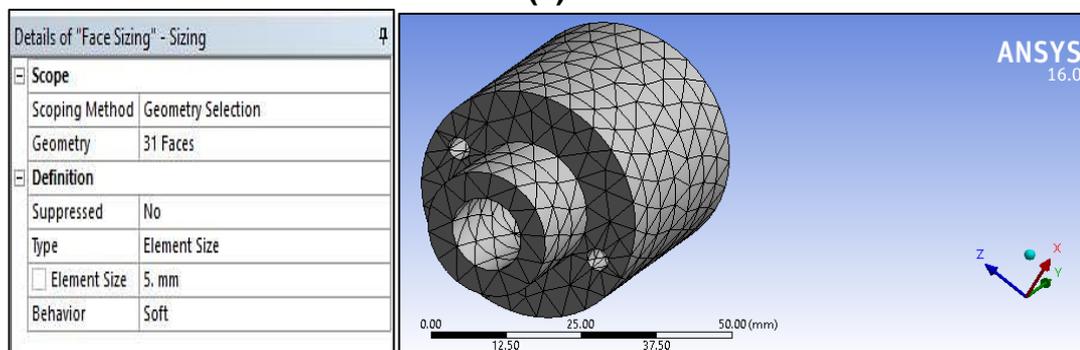
Remplazando en la Ecuación 2.28 con $c = 0.020m$ se obtiene el esfuerzo de torsión máximo.

$$\tau_{max} = \frac{12Nm * 0.040m}{248.6 \times 10^{-9} m^4} = 1.93 \times 10^6 N/m^2$$

Se tiene como resultados que $\tau_{\max} = 1.93 \text{ MPa}$ y $S_{ys} = 83 \text{ MPa}$, siendo $\tau_{\max} < S_{ys}$ ($1.93 \text{ MPa} < 83 \text{ MPa}$), con esto se asegura que el eje de acople al cortador no sufrirá daño alguno por torsión y cumplirá con sus funciones mecánicas. El factor de seguridad que se obtiene es de 18. La figura 2.52a muestra la geometría del elemento analizado, en el cual se especifica las cargas a las que se le somete y la forma de sujeción. En la figura 2.52b se observa el mallado que se le realiza al elemento. Para el caso este elemento se considera correcto un mallado de tamaño 0.05 m.



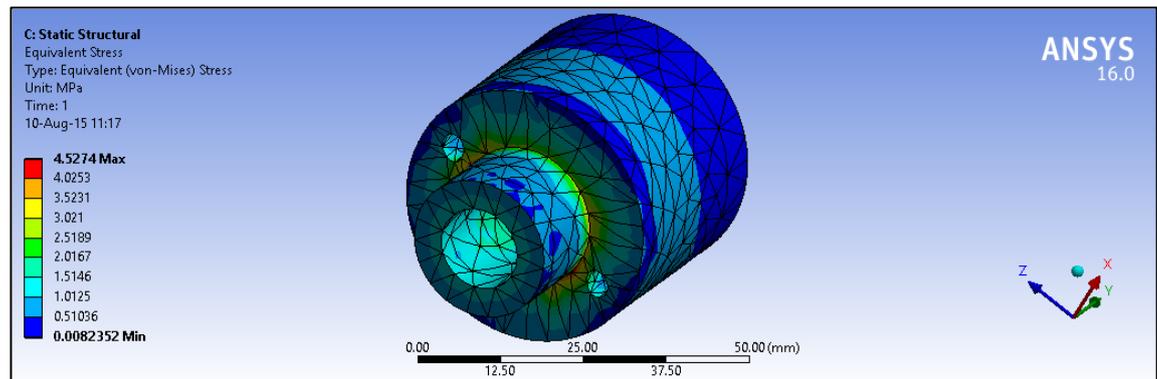
(a)



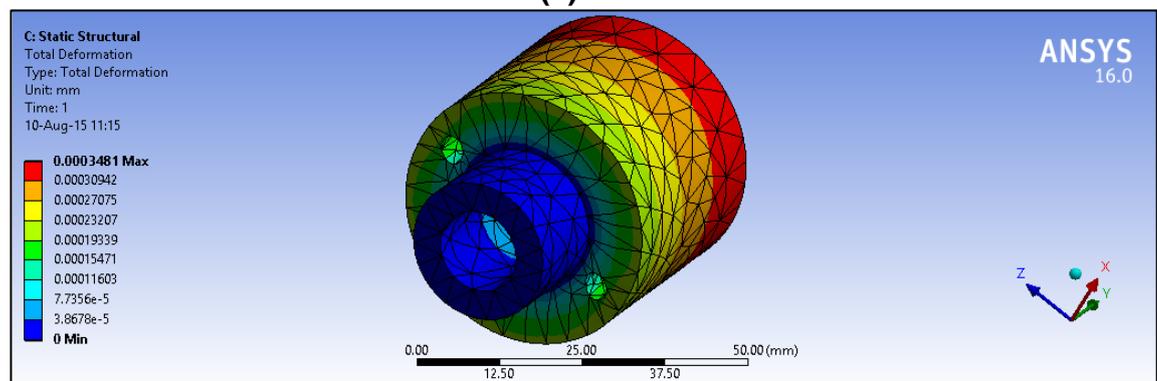
(b)

Figura 2.52. Sujeción del cilindro altura: a) Geometría; b) Mallado.

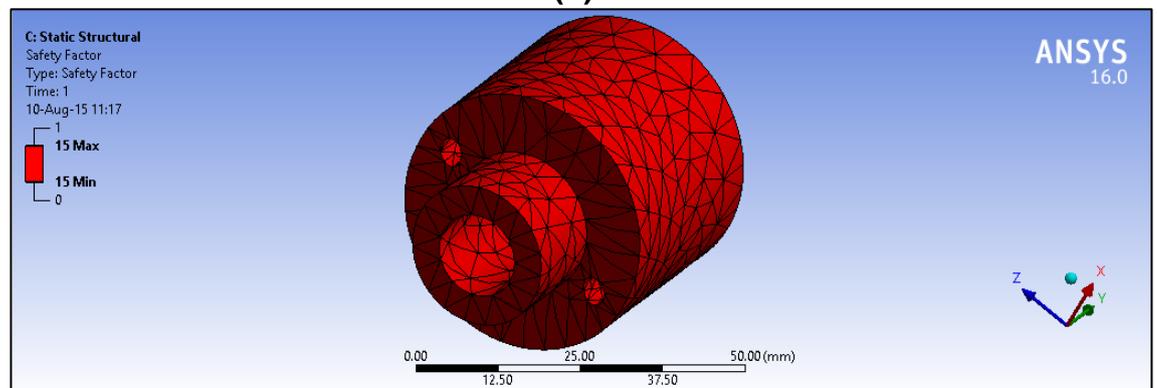
En la figura 2.53a se observa los esfuerzos producidos por las cargas. La figura 2.53b muestra que la deformación producida es de $990 \mu\text{m}$. finalmente la figura 2.53c muestra el factor de seguridad el cual al ser alto se muestra en rojo. Este elemento no sufrirá deformación y fractura alguna.



(a)



(b)



(c)

Figura 2.53. Acople eje del cilindro vástago: a) Análisis esfuerzos; b) Deformación; c) Factor de seguridad.

Acople eje cilindro: La figura 2.54a muestra la geometría del elemento analizado, donde se especifican las cargas a las que se le somete y la forma de sujeción. En la figura 2.54b se observa el mallado que se le realiza al elemento. Para el caso este elemento se considera correcto un mallado de tamaño 0.05 m.

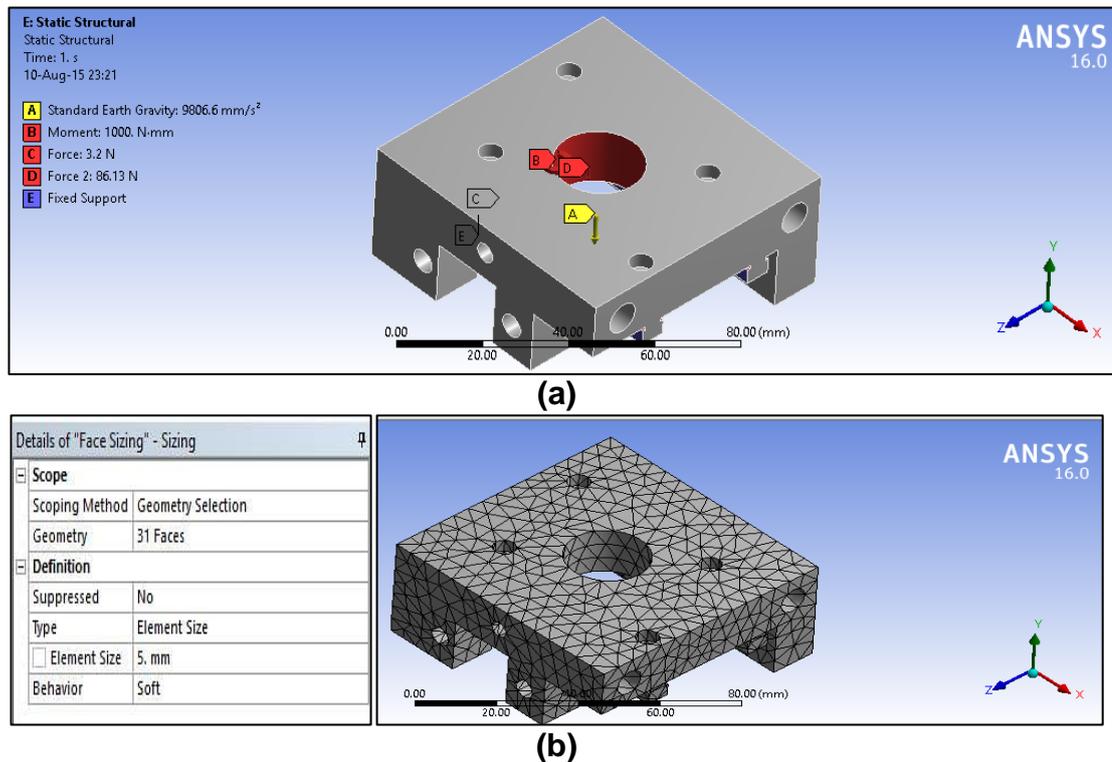
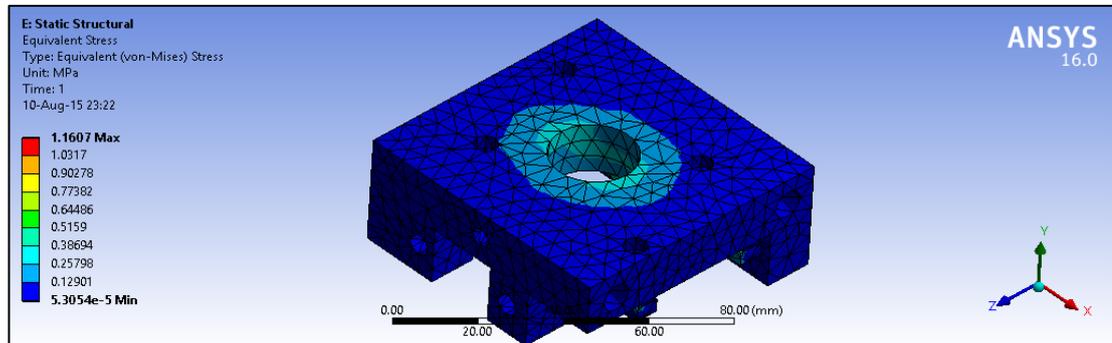


Figura 2.54. Sujeción del cilindro altura: a) Geometría; b) Mallado.

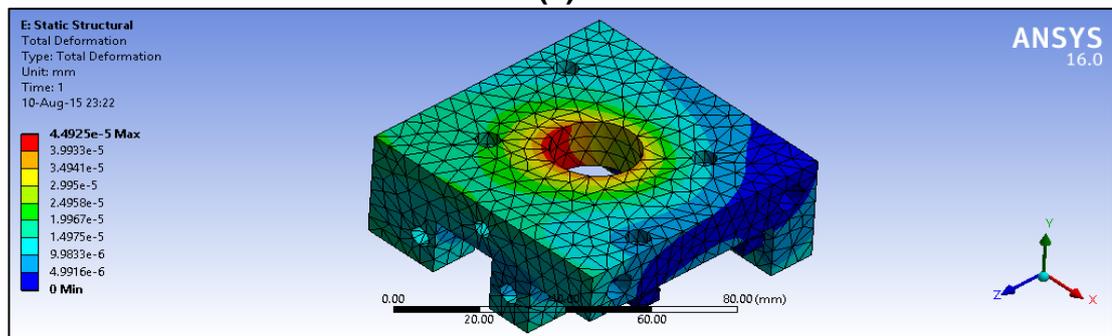
Este elemento sufrirá una deformación máxima de $0.44 \mu\text{m}$ debido a las cargas aplicadas, como se muestra en la figura 2.55b. Al analizar el esfuerzo que realiza el elemento se tiene que no sobrepasa el 1.16 MPa como se ilustra en la figura 2.55a, lo que da como resultado que el factor de seguridad exceda los 15. La figura 2.55c muestra el factor de seguridad descrito.

Sujetador del cilindro: La figura 2.56a muestra la geometría del elemento analizado especificándose las cargas y la forma de sujeción. En la figura 2.56b se observa el mallado, para el caso este elemento se considera correcto un mallado de tamaño 0.05 m . Este elemento sufrirá una deformación máxima de 0.0038 mm , como se muestra en la figura 2.57b. Al analizar el esfuerzo que realiza el elemento se tiene que no sobrepasa los 3.79 MPa como se ilustra en la figura 2.57a, teniendo un factor de seguridad que excede de 15.

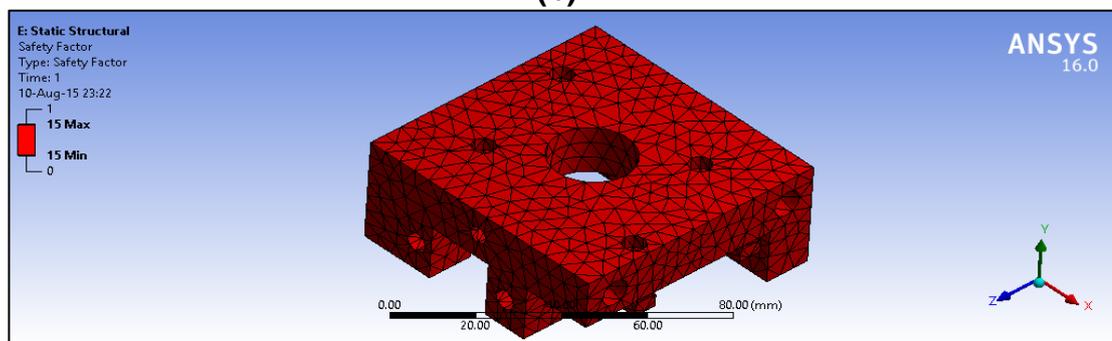
La figura 2.57c muestra el factor de seguridad descrito.



(a)



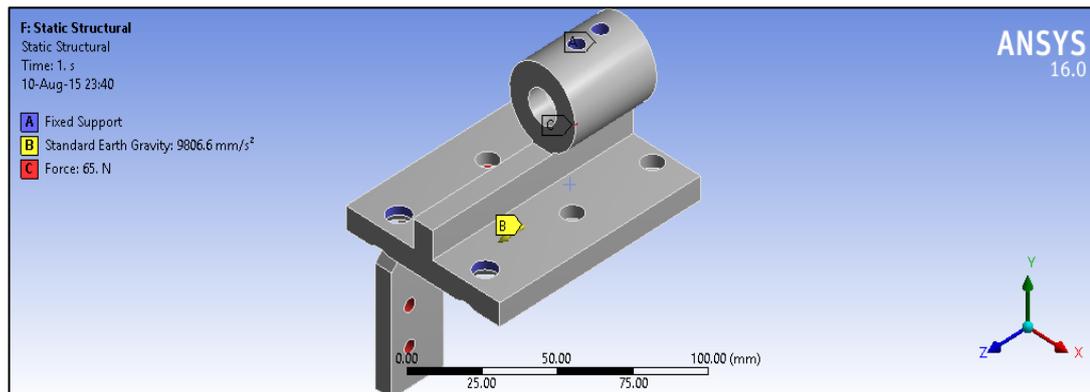
(b)



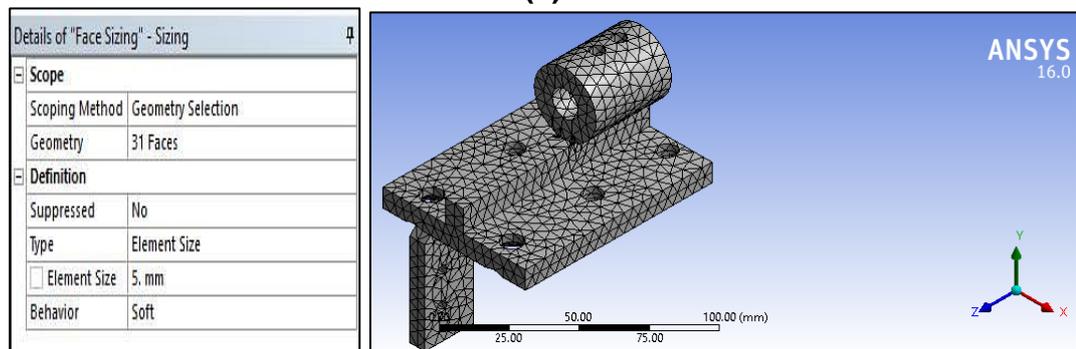
(c)

Figura 2.55. Acople eje cilindro: a) Análisis esfuerzos; b) Deformación; c) Factor de seguridad.

Se acepta estos factores de seguridad por requerimientos de la empresa, adicionalmente en el caso de los elementos de aluminio no se cuenta con otro material con el cual sustituirlo para reducir su factor de seguridad.



(a)

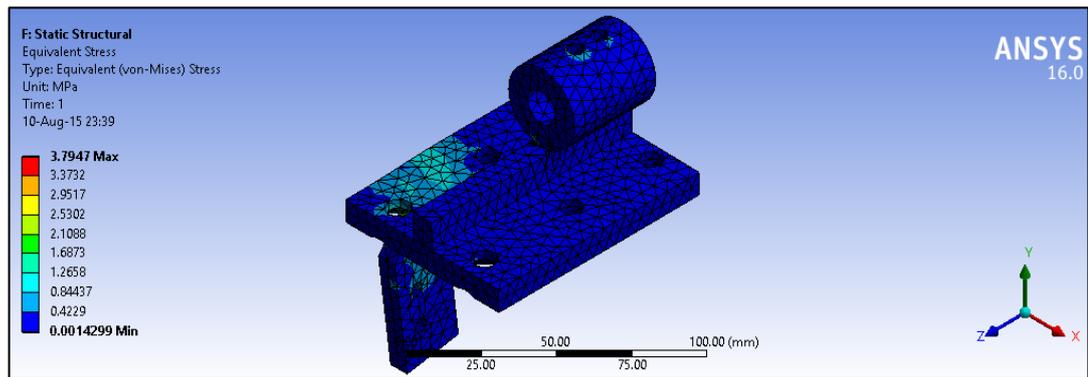


(b)

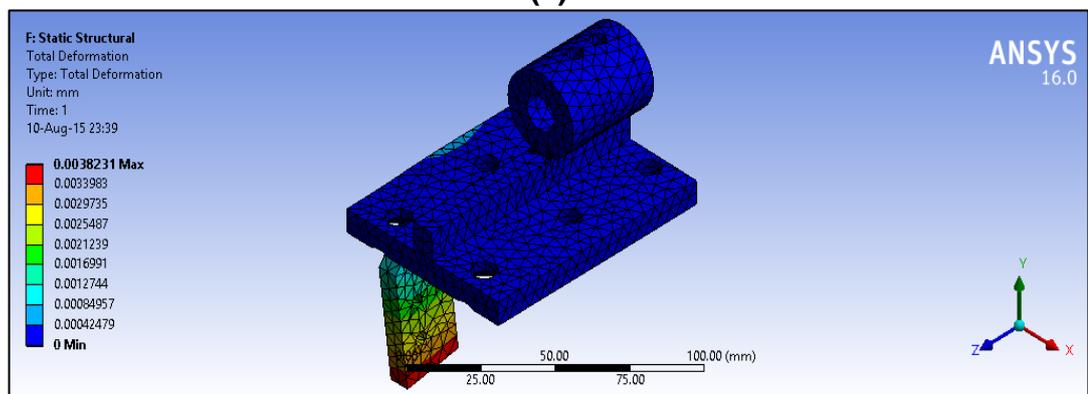
Figura 2.56. Sujeción del cilindro altura: a) Geometría; b) Mallado.

Análisis de fuerzas en la cuchilla: La cuchilla usada para realizar el corte es de acero inoxidable ya que el envase plástico está diseñado para contener productos alimenticios de consumo humano como el yogurt. Se realiza el análisis de la fuerza requerida para insertar la cuchilla en el envase.

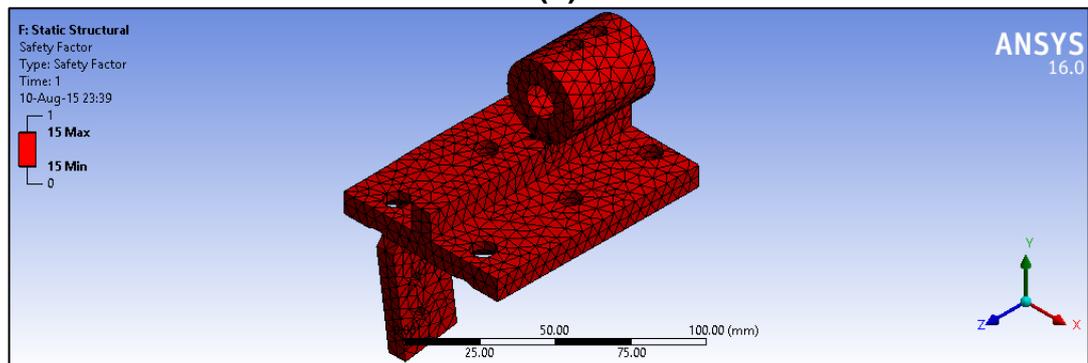
En la figura 2.58 se presenta la curva de esfuerzo vs deformación del HDPE, en la cual se observa el comportamiento de este material.



(a)



(b)



(c)

Figura 2.57. Sujetador del cilindro: a) Análisis esfuerzos; b) Deformación; c) Factor de seguridad.

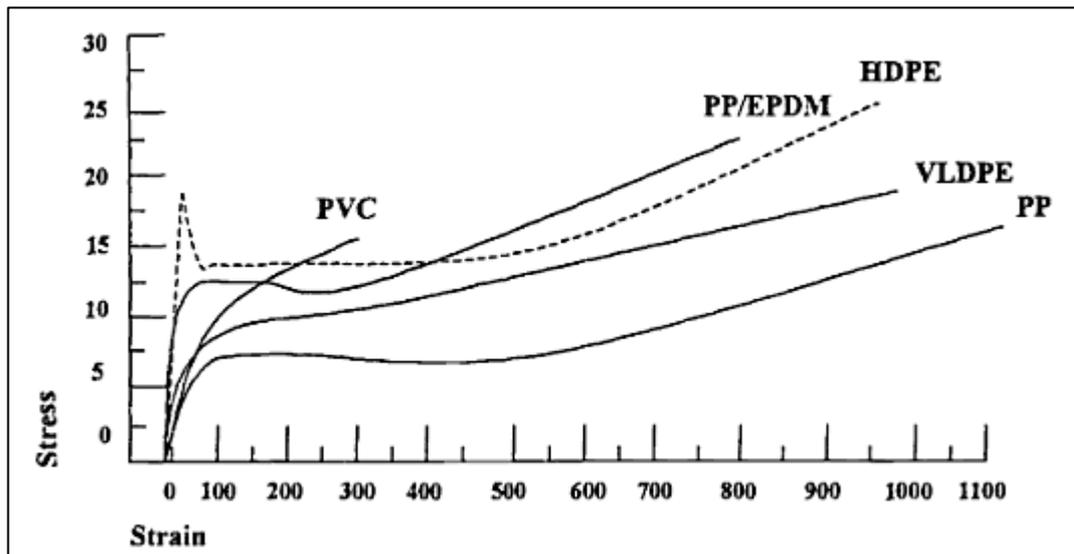


Figura 2.58. Curva de esfuerzo vs deformación del HDPE.

Fuente: (Stevenson, 2000)

La tensión de rotura es la que se debe generar para introducir la cuchilla fácilmente en el envase, la figura 2.59 muestra esta condición. Para realizar los cálculos se toma el área de la cuchilla que permanecerá en contacto con la campana del envase.

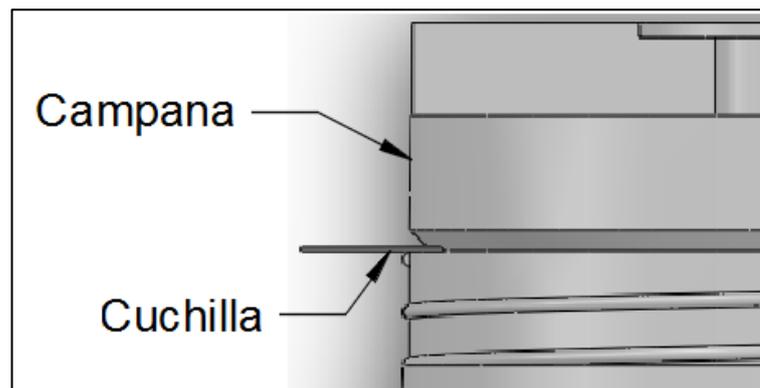


Figura 2.59. Inserción de cuchilla en la campana del envase.

Datos:

Tensión de rotura del material plástico (Ver Anexo L): $T_{rotura} = 30\text{MPa}$

Área transversal de la cuchilla: $A_{cuchilla} = 1.6 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

Fuerza necesaria para introducir la cuchilla: F_p

$$F_p = T_{rotura} * A_{cuchilla} \quad \text{Ec. (2.30)}$$

$$F_p = 30 \times 10^6 \frac{N}{m^2} * 1.6 \times 10^{-6} m^2$$

$$F_p = 48N$$

Se calcula la fuerza generada por el cilindro de doble vástago ya que este es encargado de insertar la cuchilla en el envase. En la figura 2.60 se muestra como se determina la sección del cilindro.

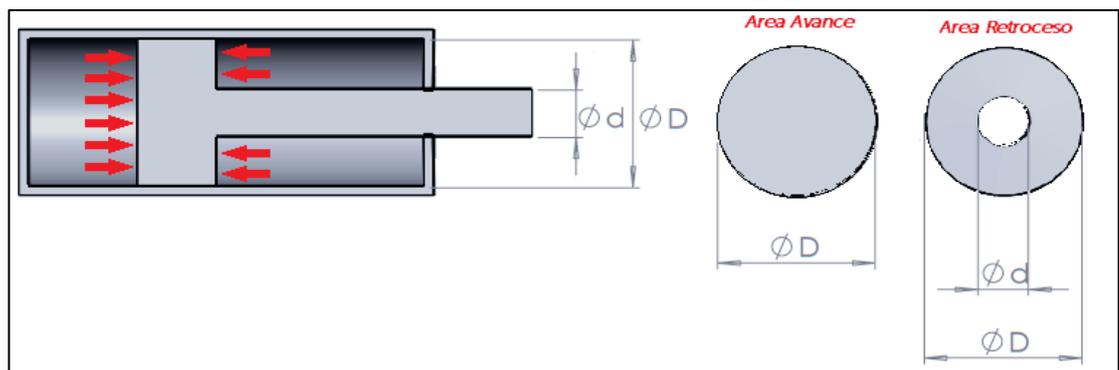


Figura 2.60. Secciones de avance y retroceso de un cilindro.

$$A_{avance} = \pi \frac{D^2}{4} \quad \text{Ec. (2.31)}$$

$$A_{retroceso} = \pi \frac{D^2 - d^2}{4} \quad \text{Ec. (2.32)}$$

Datos:

$$D = 12mm$$

$$d = 6mm$$

$$P = 0.689 MPa$$

$$A_{avance} = \pi \frac{(0.012m)^2}{4}$$

$$A_{retroceso} = \pi \frac{(0.012m)^2 - (0.006m)^2}{4}$$

$$A_{avance} = 113.09 \times 10^{-6} m^2$$

$$A_{retroceso} = 84.82 \times 10^{-6} m^2$$

Una vez calculadas las áreas de retroceso y avance, se calcula la fuerza de avance y retroceso.

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. (2.33)}$$

$$F_{avance} = P * A_{avance}$$

$$F_{retroceso} = P * A_{retroceso}$$

$$F_{avance} = 0.689 \frac{N}{m^2} \times 10^6 * 113.09 \times 10^{-6} m^2$$

$$F_{avance} = 77.91 N$$

$$F_{retroceso} = 0.689 \frac{N}{m^2} \times 10^6 * 84.82 \times 10^{-6} m^2$$

$$F_{retroceso} = 58.44 N$$

La fuerza de retroceso es la menor en magnitud, hay que tomar en cuenta que el cilindro es de doble vástago por lo cual se multiplica la fuerza de retroceso por dos, debido a que la fuerza calculada es solo de un vástago. Entonces se deduce que $2F_{retroceso} > F_p$ ($116.88 N > 48N$) por lo tanto no existe ningún inconveniente al momento de la inserción de la cuchilla en el envase.

Una vez conocido el valor de F_p ahora se hace necesario realizar el cálculo del torque necesario para producir el corte. Los esfuerzos cortantes en polietileno de alta densidad se determinaran por la ecuación elástica 2.34.

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad \text{Ec. (2.34)}$$

Dónde:

G : Esfuerzo cortante en plásticos.

E : Módulo de elasticidad.

ν : Coeficiente de Poisson.

$$G = \frac{1000 \text{ MPa}}{2(1 + 0.46)}$$

$$G = 342.46 \text{ MPa}$$

La sección transversal de corte mostrada en la figura 2.61 se calcula con los valores $b=0.7\text{mm}$, $h=0.3\text{mm}$ correspondientes a la campana del galón lechero. El esfuerzo de corte viene dado por la Ecuación 2.35.

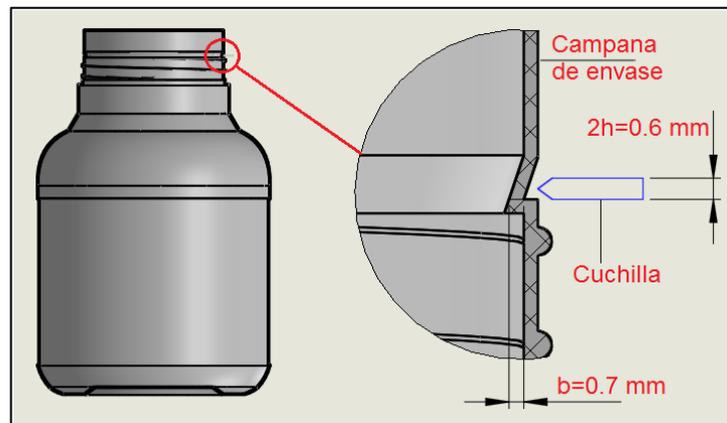


Figura 2.61. Cuchilla y campana de envase plástico.

$$G = \frac{F_{corte}}{A} \quad \text{Ec. (2.35)}$$

$$F_{corte} = GA \quad \text{Ec. (2.36)}$$

$$F_{corte} = G \left(b \frac{h}{2} \right) \quad \text{Ec. (2.37)}$$

$$F_{corte} = 342.46 \frac{N}{m^2} \times 10^6 \left(\frac{0.0007m * 0.0003m}{2} \right)$$

$$F_{corte} = 35.95N$$

El torque necesario para realizar el corte mediante la Ecuación 2.38.

$$\tau = r * F_c \quad \text{Ec. (2.38)}$$

Dónde:

τ : Torque.

r : Radio.

F_c : Fuerza de corte.

El radio se considera desde el centro de rotación hasta el borde externo de la campana, siendo este valor igual a $r=65\text{mm}$ como se aprecia en la figura 2.62.

$$\tau_c = 0.065m * 35.95N = 2.33Nm$$

El par que genera el actuador mostrado en el Anexo H es $\tau_a = 4.74 \text{ Nm}$, entonces $\tau_c < \tau_a$ ($2.33Nm < 4.74 \text{ Nm}$). Por lo tanto la rotación circular de la cuchilla se dará sin problema.

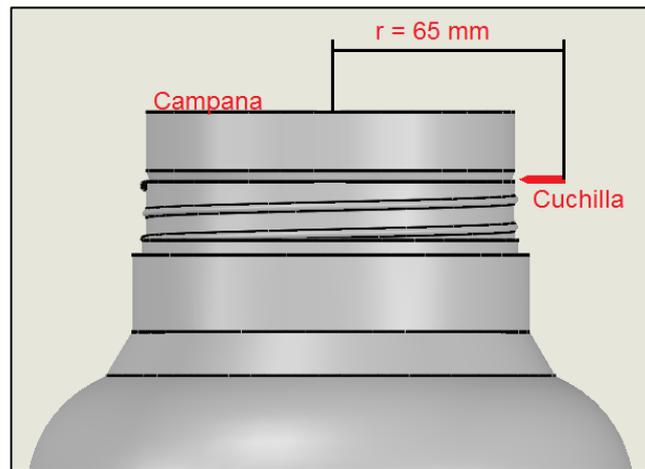


Figura 2.62. Radio de giro del cortador.

Para asegurar que el actuador roto lineal pueda levantar el cortador se usa la Ecuación 2.30 para obtener la fuerza de retorno. El cilindro neumático roto lineal tiene un pistón con un diámetro (D) de 32mm y un vástago de diámetro (d) de 12.7 mm.

$$A_{\text{retroceso}} = \pi \frac{(0.032\text{m})^2 - (0.0127\text{m})^2}{4}$$

$$A_{\text{retroceso}} = 677.57 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$F_{\text{retroceso}} = 0.689 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 10^6 * 677.57 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$F_{\text{retroceso}} = 466.84\text{N}$$

El cortador está compuesto por elementos mecánicos y un cilindro de doble vástago teniendo un peso (W_c) de 23.54N. Por lo tanto $W_c < F_{\text{retroceso}}$ ($23.54\text{N} < 466.84\text{N}$), entonces se tiene que el cilindro roto lineal está en la capacidad de levantar 19 veces el peso del cortador asegurándose que el actuador levantará el cortador con facilidad.

Análisis de los pernos: Los pernos a analizar son los que se encuentran en la base de 7/16" y el de la sujeción del cilindro de 3/8" sometidos a 69 N y 54 N respectivamente, estas cargas son la suma de los pesos de los elementos del sistema de corte (actuadores, sujeciones y elementos mecánicos). En la figura 2.63 se muestran las fuerzas ejercidas sobre estas conexiones.

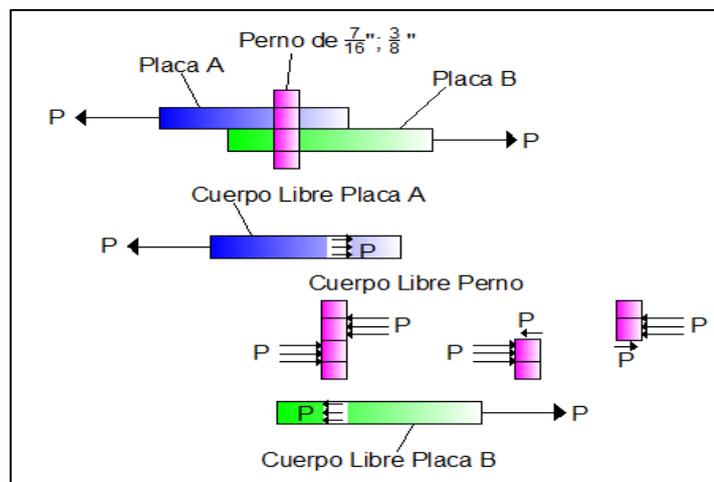


Figura 2.63. Cálculo de pernos.

Primero se determinan las secciones transversales de los pernos.

$$A = \pi * r^2 \quad \text{Ec. (2.39)}$$

Perno 7/16": Diámetro 11.11 mm

$$A_1 = 387.07 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Perno 3/8": Diámetro 9.52 mm

$$A_2 = 284.72 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

El valor promedio del esfuerzo cortante en los pernos está dado por la Ecuación 2.40.

$$\sigma_{prom} = \frac{P}{A} \quad \text{Ec. (2.40)}$$

Dónde:

P : Carga.

A : Sección transversal.

Perno 7/16":

$$\sigma_{prom1} = \frac{69N}{387.07 \times 10^{-6} \text{ m}^2} = 178.26 \text{ KPa}$$

Perno 3/8":

$$\sigma_{prom2} = \frac{54N}{284.72 \times 10^{-6} \text{ m}^2} = 189.66 \text{ KPa}$$

Considerando que en ambos casos los pernos son grado SAE 12.9 cuyo $S_u = 1220 \text{ MPa}$ según el catálogo de pernos en el Anexo M. La resistencia máxima al esfuerzo cortante viene dada por $S_{ys} = 0.8S_u$ según (Mott, 2006), entonces $S_{ys} = 976 \text{ MPa}$, dando como resultado $\sigma_{prom1} < S_{ys}$ ($178.26 \text{ KPa} < 976 \text{ MPa}$) y $\sigma_{prom2} < S_{ys}$ ($189.66 \text{ KPa} < 976 \text{ MPa}$) asegurando que los pernos resistirán sin problema a estos esfuerzos con factores de seguridad de 5.47 y 5.14 respectivamente.

2.10.3 Diseño del circuito neumático

Para el diseño y simulación del circuito neumático se utiliza el software FluidSim Pneumatics. El actuador roto lineal está compuesto por dos cilindros, el primero se encarga de bajar el cortador acercando la cuchilla al envase plástico y el segundo proporciona el torque necesario para producir el corte. El cilindro de doble vástago se encarga de insertar la cuchilla en la

campana a cortar. En la figura 2.64 se muestra el diagrama neumático del cortador.

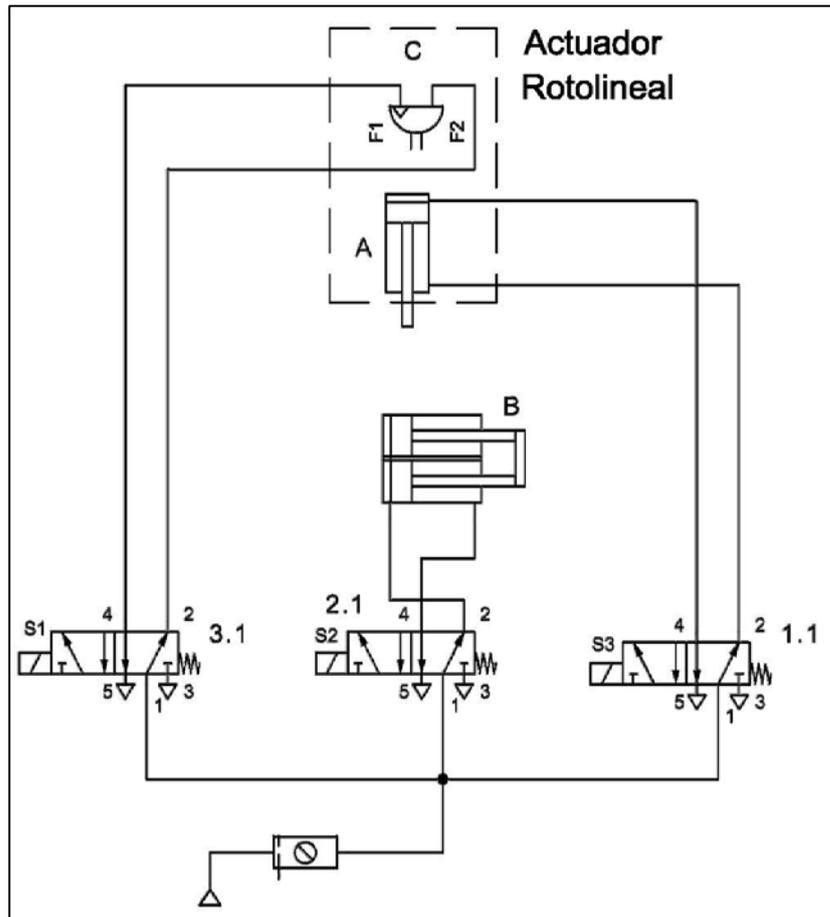


Figura 2.64. Circuito neumático del cortador automático de rebabas.

El diagrama de estado de los actuadores se puede observar en la figura 2.65. Donde se muestra la secuencia A+ B- C+ C- B+ A-. Las señales negra, celeste y roja son las correspondientes a los actuadores neumáticos mientras que la señal verde, violeta y morada corresponde a la acción de la electroválvula.

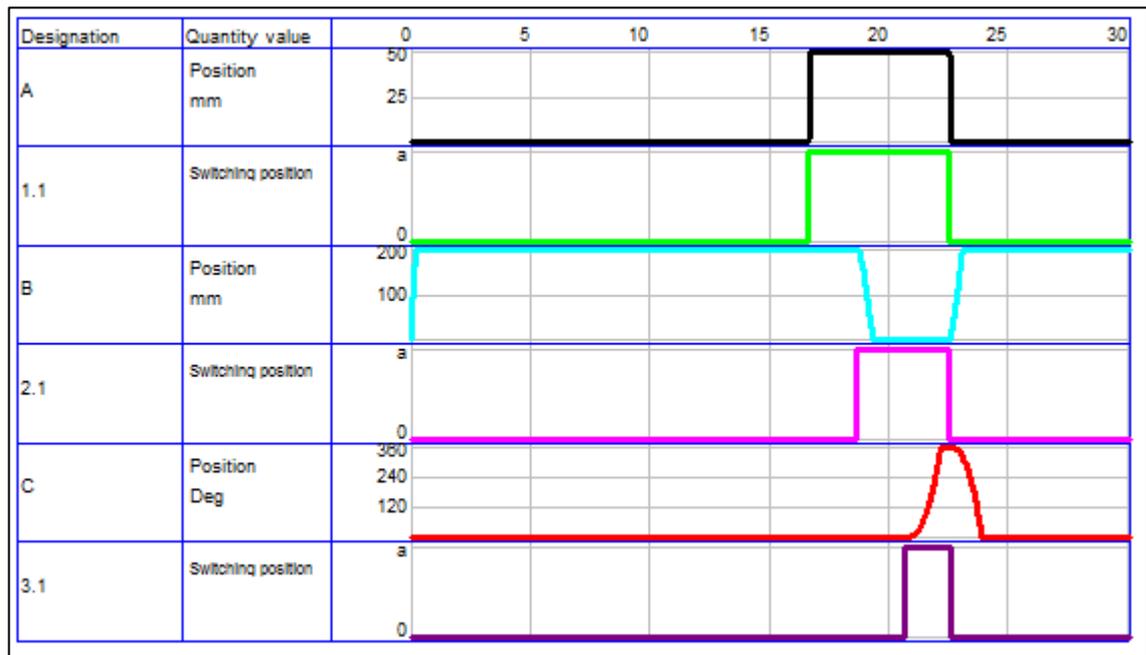


Figura 2.65. Diagrama de secuencia A+ B- C+ C- B+ A-.

2.10.4 Diseño de control del cortador automático

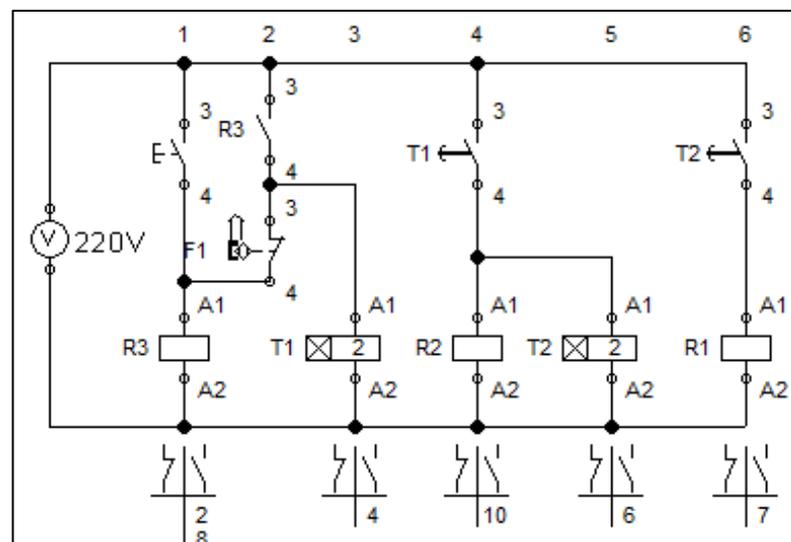


Figura 2.66. Diagrama de control.

Para el control se considera la señal del sensor de posición del pin de soplado de la máquina extrusora para poder sincronizar el ciclo de trabajo de la máquina con el ciclo de trabajo del cortador automático. El control se lo

realiza mediante circuito por relés 24V y temporizadores de 240V como se ilustra en las figuras 2.66 y 2.67).

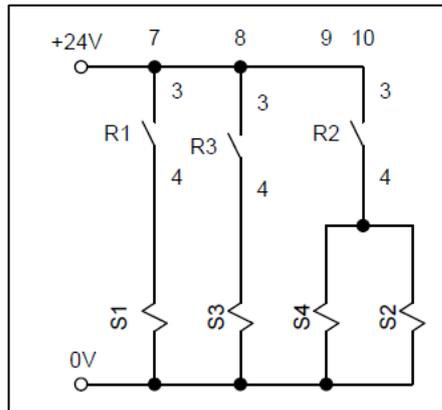


Figura 2.67. Conexión a solenoides.

En control T1 es el tiempo de soplado de aire frío en el interior del envase plástico y T2 es el tiempo de retardo para que el cortador suba a la posición inicial, para de esta manera evitar algún desperfecto en el corte.

2.11 Implementación del sistema párison

La implementación del sistema párison consta de 2 etapas, la primera del sistema de control y la segunda del circuito hidráulico. Para cada etapa es necesario contar con los equipos y herramientas adecuadas para cada aplicación.

2.11.1 Implementación del sistema de control

El sistema de control consta del servo amplificador, pulsadores, sensores y el PLC por lo que es necesario cablear todo. En el Anexo O se muestran los esquemas eléctricos, así como la distribución de los elementos en el tablero.

2.11.2 Servoamplificador

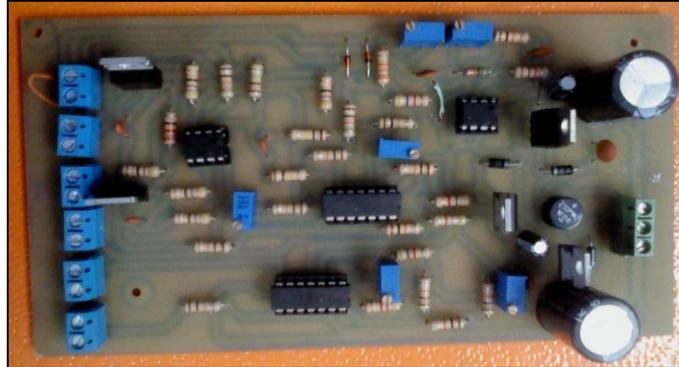


Figura 2.68. Servo amplificador vista frontal.

La figura 2.68 muestra el servoamplificador, diseñado. Para verificar el correcto funcionamiento de la tarjeta es necesario la utilización de un osciloscopio, esta prueba se realizó sin carga. La figura 2.67 muestra las pruebas que se realizó al servoamplificador, en la figura 2.69a se observa la salida de voltaje ante una entrada de control o de mando, esta señal se encuentra sin dither. En las figuras 2.69b y 2.69c se observa cómo afecta el dither al variar su amplitud y frecuencia, esta señal ayuda al control de la servo válvula, y su calibración se la debe realizar con el sistema ensamblado. La variación de amplitud del dither es de aproximadamente 1 Vdc y la frecuencia se encuentra dentro de los rangos calculados.

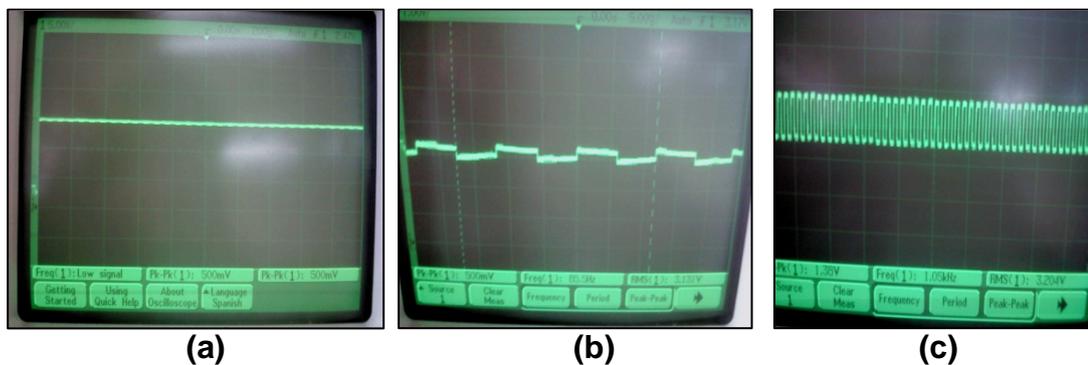


Figura 2.69. Servoamplificador: a) Sin dither, b) y c) Con dither variando amplitud y frecuencia.

2.11.3 Tablero de control

La figura 2.70 muestra la implementación del tablero, según el diseño realizado, y tomando en cuenta las respectivas normas de seguridad.



Figura 2.70. Tablero de control.

2.11.4 Implementación del circuito hidráulico

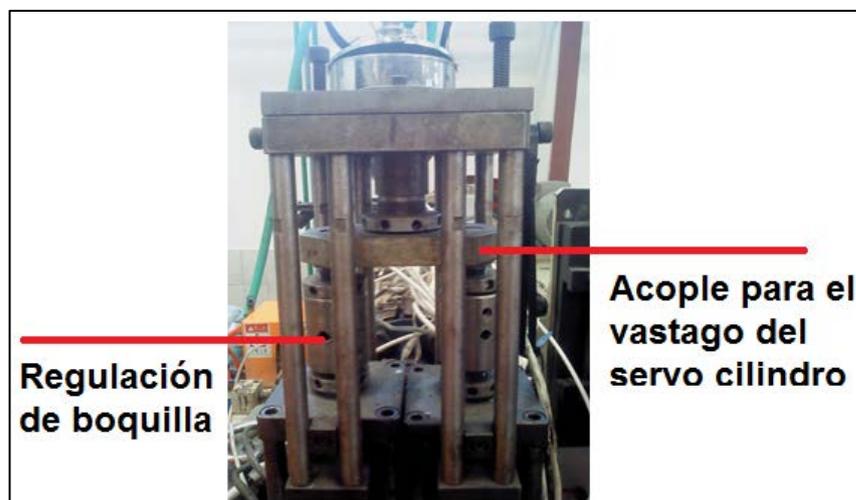


Figura 2.71. Descripción del lugar a colocar el servo cilindro.

La implementación del circuito hidráulico se realiza en la Máquina #0 la cual trabaja con 7 variedades de envases plásticos diferentes. El servo cilindro debe ir acoplado al cabezal extrusor. Hay que considerar que al trabajar en un ambiente que produce calor por la naturaleza de su trabajo la unidad hidráulica debe de estar con una correcta refrigeración para evitar el

calentamiento del aceite. Adicionalmente las mangueras deben ir lo más alejadas posibles de la fuente de calor (Niquelinas). La figura 2.71 ilustra el lugar donde se va a colocar el servo cilindro, en este caso es un cabezal doble, además se cuenta con las respectivas regulaciones en caso de ser necesario. El vástago del servo cilindro se encuentra roscado por lo que el acople para el mismo debe ser igualmente roscado.

La figura 2.72, muestra el servo cilindro montado en el cabezal el cual va a mover la boquilla de la matriz para regular el espesor de los envases plásticos, esta boquilla tiene 4 guías que además de permitir su sujeción ayuda que no gire y se desplace linealmente.



Figura 2.72. Descripción del servo cilindro y los componentes del cabezal.

La unidad hidráulica y las mangueras se ubican a un costado de la maquina evitando así alargar las distancias y por consiguiente reduciendo perdidas.

2.12 Implementación del cortador automático de rebabas

Para la implementación se realizan procesos de mecanizado usando las máquinas con las que cuenta la empresa auspiciante del proyecto.

Principalmente se usa el torneado y fresado para la conformación de piezas, en la figura 2.73 se muestran algunos elementos realizadas con estos procesos. Una vez que todas las piezas han sido fabricadas se ensambla la estructura como muestra en la figura 2.74.

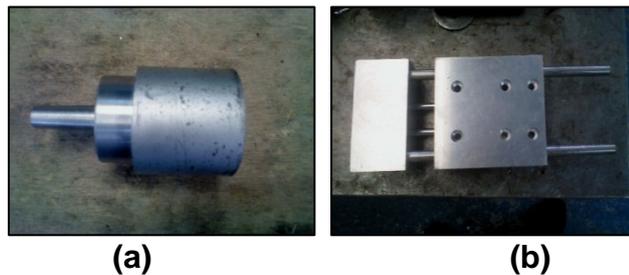


Figura 2.73. Implementación; a) Pin de centrado y b) Cortador.



Figura 2.74. Ensamble cortador.



Figura 2.75. Cortador automático de rebabas en la máquina Magic simple.

En la figura 2.75 se puede observar la estructura completa ya montado en la máquina sopladora.

La instalación de las electroválvulas y el montaje del circuito de control se muestran en la figura 2.76a y 2.76b.

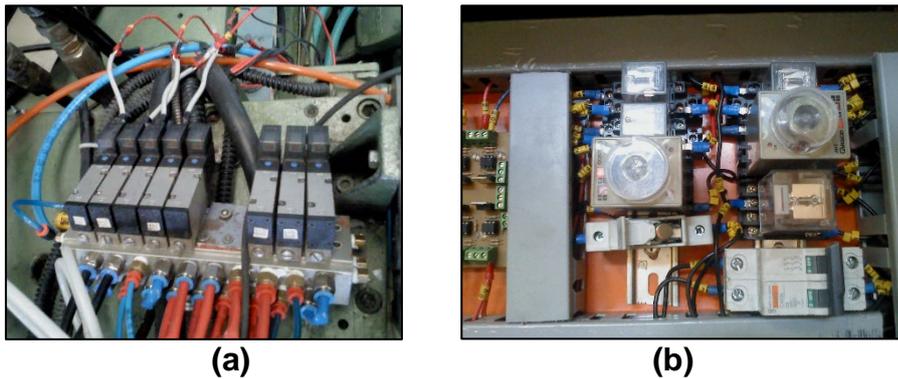


Figura 2.76: a) Cuerpo de electroválvulas; b) Tablero de control.

Finalmente se realiza la calibración para que la cuchilla pueda ingresar al envase y realizar el corte de manera correcta como se muestra en la figura 2.77. La calibración se realizó mediante la manipulación de las regulaciones mecánicas que el cortador posee.



Figura 2.77. Cortador automático de rebabas.

CAPÍTULO III

3. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se detallaran las diversas pruebas y los análisis de resultados obtenidos en cada sistema, para conocer si la funcionalidad de los sistemas planteados son los esperados, además de conocer las ventajas económicas de cada sistema.

3.1 Pruebas y análisis de resultados del sistema de párison

3.1.1 Operacionalización de la variable independiente

Tabla 3.1.

Operacionalización de la variable independiente.

Sistema párison

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Técnica	Instrumento
El sistema de párison permite regular el espesor de envases plásticos, esta regulación ayuda a mejorar la calidad del envase reforzando partes que por su forma acogen poco material.	Peso.	Peso del envase.	Medición	Balanza.
	Configuración de puntos.	Espesor del envase.	Medición	Calibrador.
	Ciclo de Trabajo.	Ubicación de cada punto en el envase.	Medición	Calibrador.
	Velocidad de giro del tornillo de la extrusora.	Ubicación de cada punto en el envase.	Medición	Calibrador.

Este procedimiento es necesario para hacer medibles las variables para su posterior análisis. La tabla 3.1 muestra la operacionalización de las variables independientes. Cabe recalcar que todas las pruebas fueron realizadas con polietileno de alta densidad (HDPE).

a. Peso

El peso es una variable que se puede variar desde el HMI teniendo un valor de 0 a 2 mm, lo que representa la apertura mínima de la boquilla o pin. En esta prueba se tomaron muestras y se midieron los respectivos pesos. La máquina #0 tiene una producción de 20100 envases en 24 horas; para que los datos obtenidos sean fiables se requiere tener una muestra de 377 envases, los cuales fueron tomados cada 4 minutos aproximadamente. Cada 18 envases se variaba el peso en el HMI, esto con el fin de conocer su variación con la configuración ingresada. La figura 3.1 muestra la variación de peso del envase plástico con respecto al valor de peso ingresado en el HMI, donde se observa que al incrementar 0.1 el valor ingresado el envase obtenido presenta una variación aproximada de 0,25 gramos en su peso. Los valores obtenidos presentan una tendencia lineal. Esta prueba se realizó con el envase 250 Kiosko.

Con el ingreso en el HMI del peso máximo que sería de 2 mm se tiene un peso medido en el envase plástico de 18.4 gramos. Tomando en consideración que el ideal que se maneja en la empresa es de 14,2 gramos se tiene que es posible aumentar 4.2 gramos al peso del envase, esto sin considerar variaciones en las configuraciones de los puntos.

De existir oscilaciones en el vástago del servo cilindro el peso del envase podría variar, para verificar que no existan estas oscilaciones al momento de trabajar en la extrusora se empleó el sintonizador PID del PLC mostrado en la figura 3.2. Donde se observa que no existen oscilaciones que afecten al sistema, también se muestra como se aumenta el peso progresivamente y el sistema es capaz de seguir estos cambios.

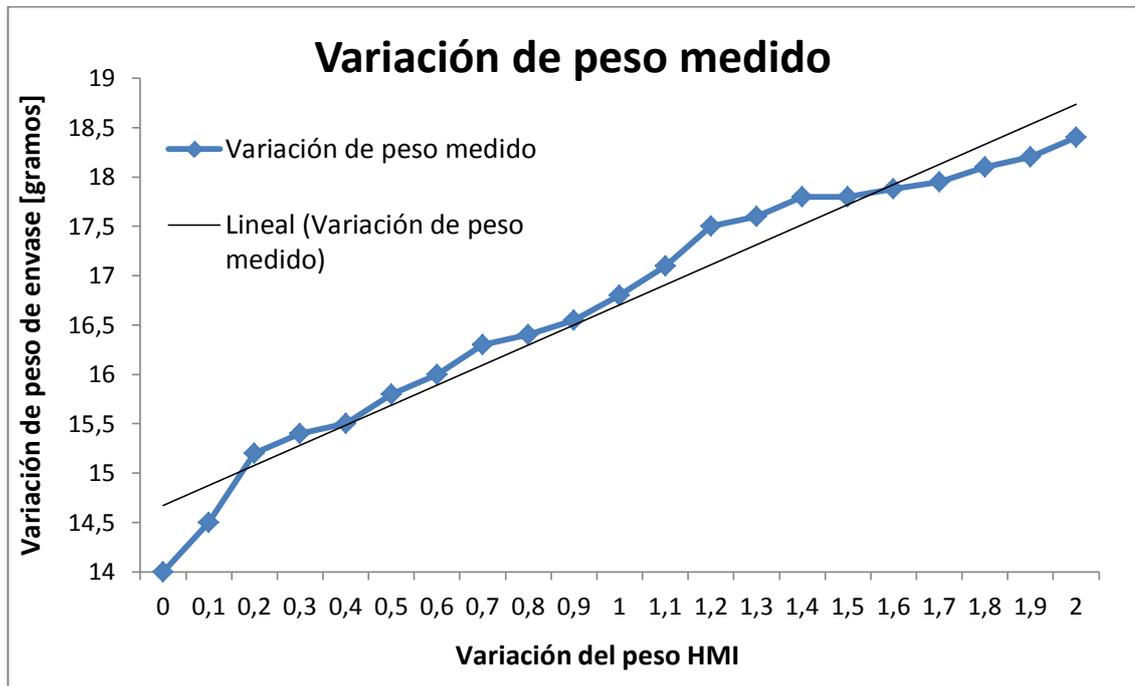


Figura 3.1. Grafica Variación de peso HMI vs Variación de peso envase.

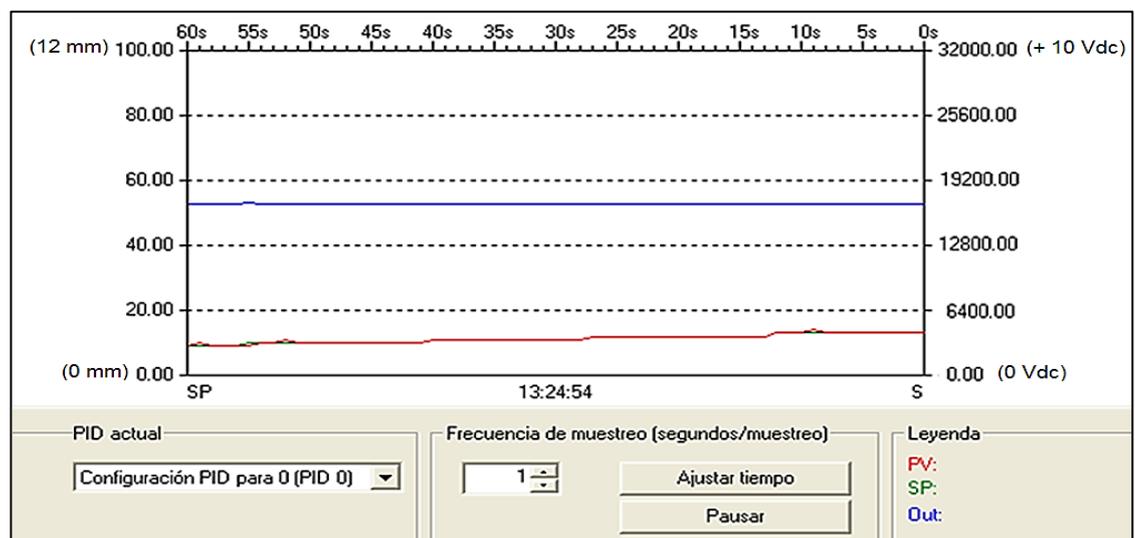


Figura 3.2. Sintonizador PID con matriz Divergente.

b. Configuración de puntos

En este caso el desplazamiento del vástago del servo cilindro es de 0 a 4 mm o de 0 a 100 que son los valores ingresados en el HMI. Se utilizó el

sintonizador de PID del PLC para poder conocer con exactitud el movimiento de la boquilla y la repercusión que este movimiento en los envases.

Con el fin de poder observar y medir los desplazamientos se colocó un ciclo de trabajo de 10 seg, adicionalmente la configuración de puntos ingresados fueron al azar. Se observó el comportamiento del sistema durante aproximadamente 8 horas, cambiándose cada 2 horas los puntos alternándolos entre valores altos y bajos.

La figura 3.3 muestra la respuesta del sistema de párison ante valores bajos de configuración de los puntos, donde la línea roja representa la realimentación de la LVDT y la línea verde la configuración de los puntos, la línea azul es la respuesta del controlador. Se observa que tanto los puntos configurados como el movimiento del servo cilindro coinciden moviéndose sincronizadamente.

La figura 3.4 muestra en cambio la respuesta del sistema ante configuraciones de altos valores de los puntos, el comportamiento del sistema en el mismo que con los valores bajos.

Adicionalmente se incrementó de espesor al punto medio (14) que coincide con el cuerpo de la botella, el valor ingresado en este punto fue de 100 por lo que al momento de observar la botella este presentaba una línea gruesa alrededor del envase verificándose la ubicación del punto y la variación del espesor en el mismo. El espesor aumento de 0.6 mm a 2.5 mm lo que denota un aumento de espesor de 1.9 mm con la apertura máxima de la boquilla.

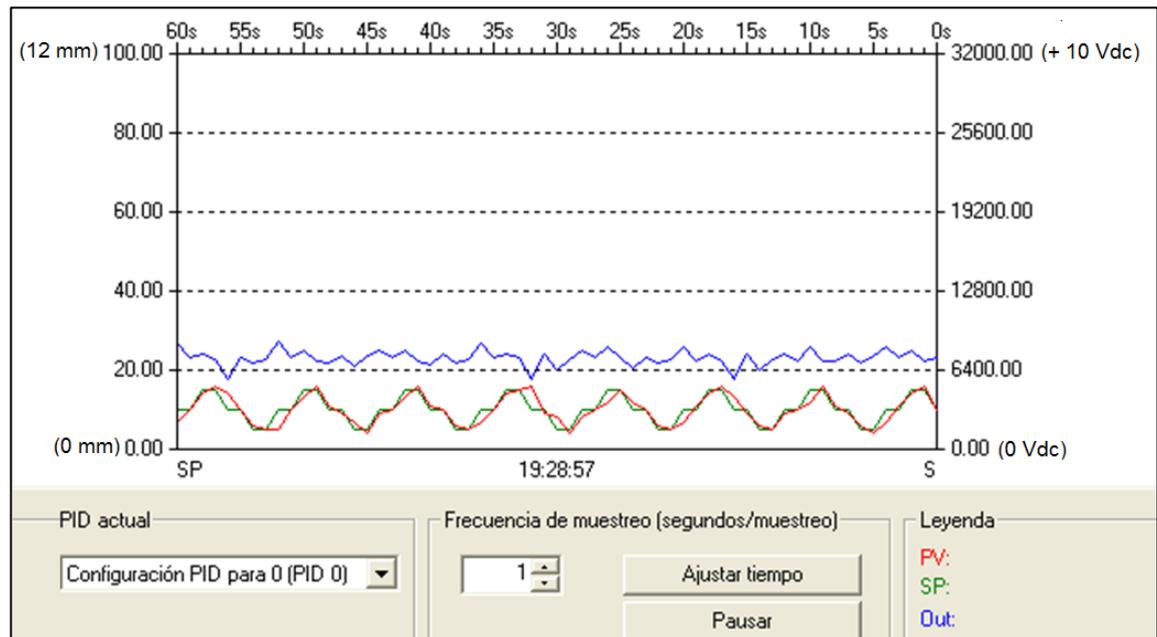


Figura 3.3. Variación de puntos en valores bajos.

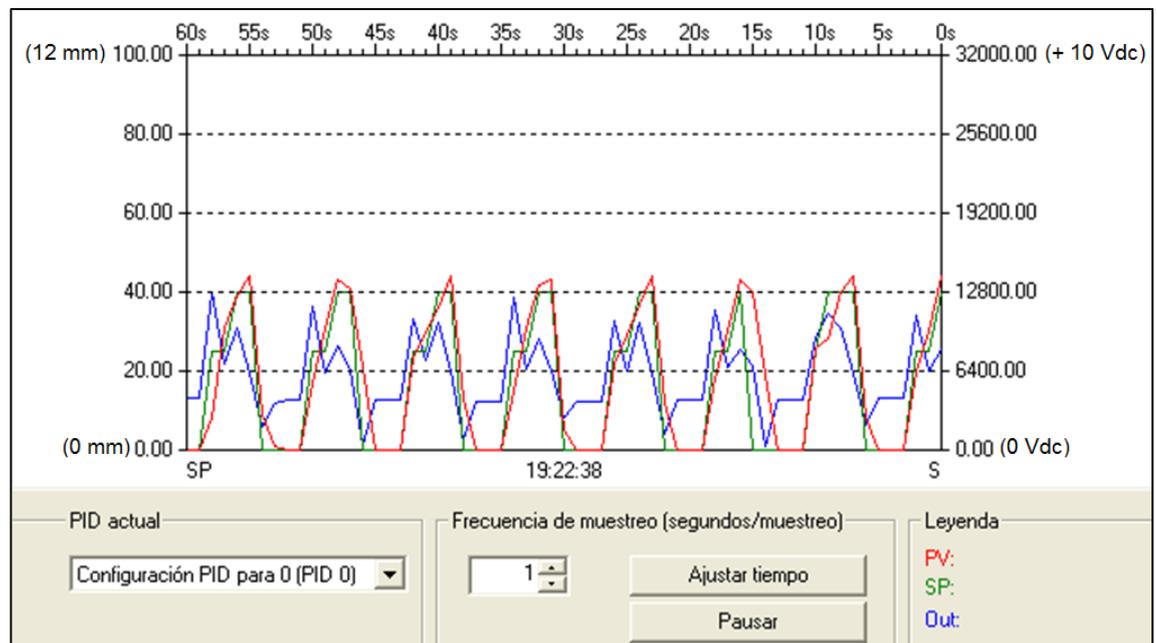


Figura 3.4. Variación de puntos en valores altos.

c. Ciclo de trabajo

El ciclo de trabajo es el tiempo de extrusión de la manga hasta que el molde la tome, este tiempo varía de acuerdo a cada envase, por lo que para

su medición en la extrusora es necesario la utilización de un cronometro. Una vez obtenido este tiempo se configura en el HMI, este ciclo varía de 3 a 10 seg aproximadamente. El ciclo de trabajo es un parámetro que permanece constante en cada tipo de envases a fabricarse.

Para esta prueba se incrementó de manera exagerada (70) a dos puntos (13 y 15) que coinciden con el cuerpo del envase y se varió el ciclo de trabajo observándose así si la distancia entre esos puntos. Con las mediciones realizadas se tiene que con un ciclo de trabajo de 3 segundos la distancia entre los puntos es de aproximadamente 8 mm medidos de cresta a cresta, mientras que con un ciclo de trabajo de 10 segundos la distancia se incrementa a 19 mm. Lo que daría que con resultado que la distancia entre puntos depende directamente del ciclo de trabajo pudiendo variar de 4 mm a 9.5 mm para tiempos de 3 y 10 segundos respectivamente.

d. Velocidad de giro del tornillo de la extrusora

La velocidad del tornillo sinfín de la extrusora influye al momento de la regulación de espesor. Al salir con mayor velocidad la manga de plástico y al ser el ciclo de trabajo contante, los puntos se van a mover ligeramente provocando que las regulaciones de espesor no se apliquen en los lugares deseados, por lo contrario estas se desplazan hacia arriba o hacia abajo según suba o baje la velocidad del tornillo sinfín.

Para evitar este inconveniente se controla la velocidad del tornillo sinfín con la medición de la rebaba la cual debe permanecer constante en un valor de 2 cm.

3.1.2 Operacionalización de la variable dependiente

La tabla 3.2 muestra la operacionalización de la variable dependiente.

Tabla 3.2.**Operacionalización de la variable dependiente.****Regulación de espesor de envases plásticos.**

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Técnica	Instrumento
El espesor en envases plásticos es fundamental debido a que de este espesor depende la resistencia del envase así como la cantidad de material utilizado.	Peso de cada envase.	Variación del peso en los envases producidos.	Medición	Balanza
	Grosor de pared de cada punto del envase.	Variación de grosor de pared de los envases producidos.	Medición	Calibrador

a. Peso de cada envase

Esta medición se realizó con la utilización d una balanza de la marca LEXUS FENIX ELECTRONICS, la cual es utilizada con la empresa para el control de peso de todos sus envases. La figura 3.12 muestra la medición de los pesos de las muestras.

La cantidad de envases que se producen en 24 horas es 20100 por lo que una muestra significativa son 377 envases. La figura 3.6 muestra la variación del peso con y sin párison existente en los envases plásticos. Los envases en los cuales se aplicó la regulación presentan un variación de peso de +0,5/-0,7 gramos mientras que la variación en los envases en los que no se aplicó la regulación es de +0,4/-0,6 gramos. El error comparando estas dos muestras es de +0,1/-0,1 gramos. El envase con el que se realizó las mediciones es 500 Ranchito, la empresa admite un peso de 22 gramos para este envase.



Figura 3.5. Medición de peso de envase 500 Ranchito.

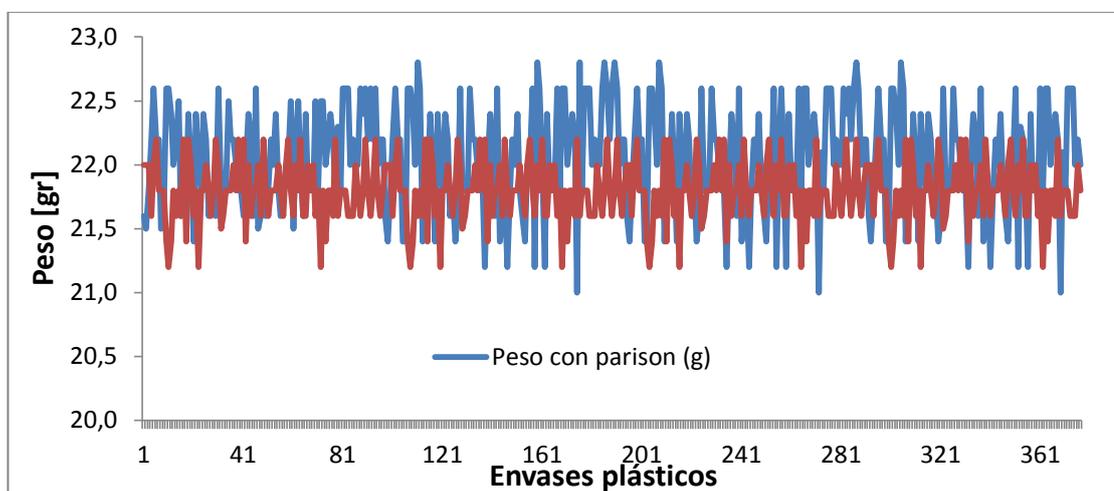


Figura 3.6. Variación de peso con y sin párison.

b. Espesor de pared de cada punto del envase

La configuración de los 25 puntos con los que cuenta el párison se la realizo acorde a los requerimientos del envase 500 Ranchito. Este envase necesita que se aumente su espesor en la base y se retire material en la parte del cuello, adicionalmente se debe considerar los puntos de las rebabas y la campana, por lo que para las mediciones solo se consideran 18 puntos. Se tomaron las mismas condiciones que para la prueba de peso. La figura 3.7, muestra la forma en que distribuyeron los 18 puntos a lo largo del envase y donde se tomaron las medidas empleando una escuadra y un

calibrador. Para poder cotejar la mejora del envase es necesario tomar muestras sin la regulación del párison.

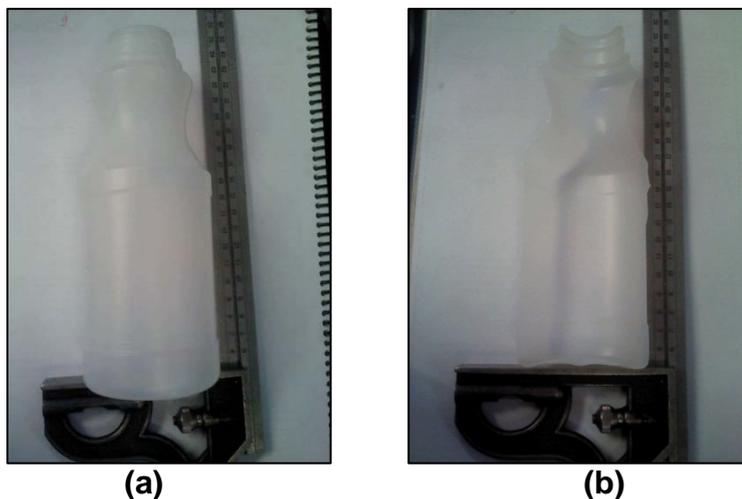


Figura 3.7. Mediciones de 18 puntos; a) envase cerrado, b) envase abierto.

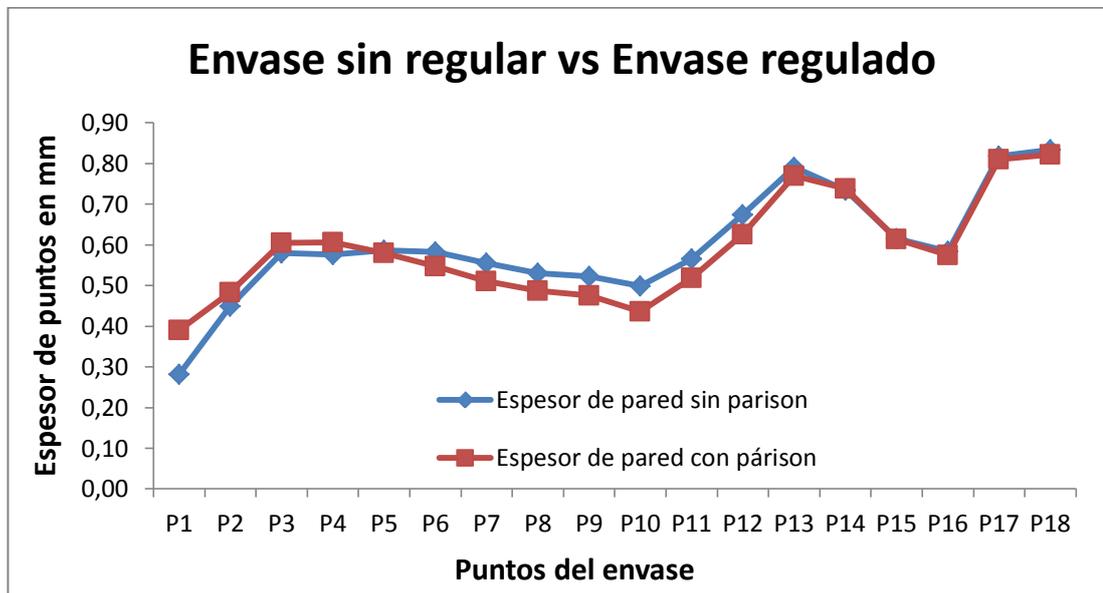


Figura 3.8. Envase sin regular vs Envase con regulación

La figura 3.8 muestra la variación de espesor en los puntos del envase donde se puede observar que el envase sin regulación representado por la línea azul cuenta con menor espesor en los puntos del 1 al 4 que son la

base del envase mientras que en los puntos del 5 al 13 el espesor aumenta, esta parte corresponde al cuerpo, el resto de puntos de mantiene constante. El envase con regulación es el representado con la línea roja.

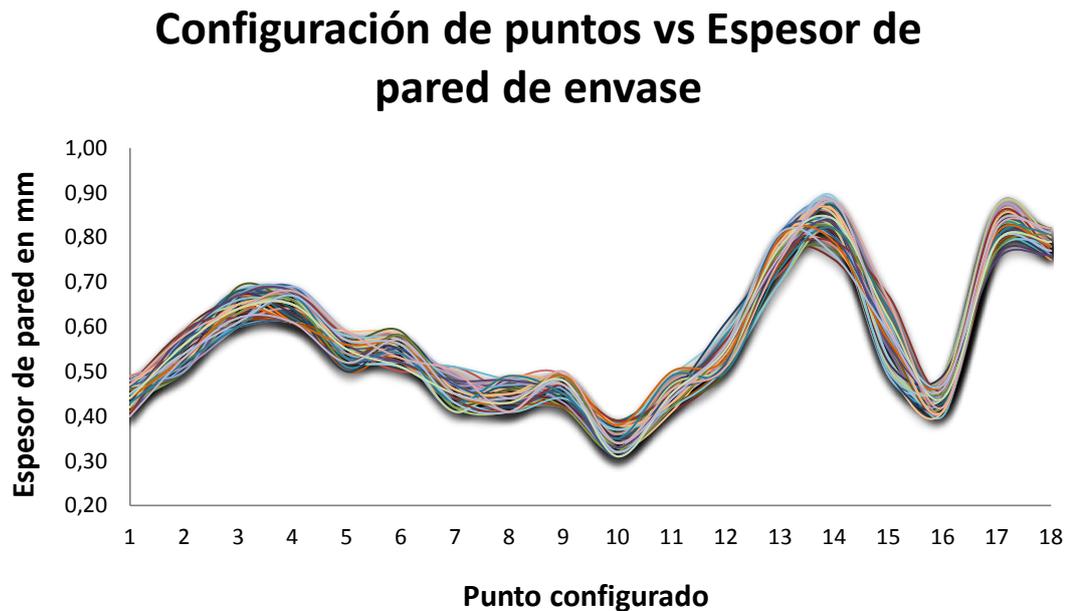


Figura 3.9. Configuración de puntos vs Espesor de pared de envase.

Una vez cotejado la mejora del envase, se tomaron y analizaron muestras para determinar la repetibilidad del sistema. En la figura 3.9 se observa la gráfica de la variación de espesor en cada punto de las muestras tomadas.

La tendencia es la misma en todas las gráficas, los errores entre las gráficas son debido a la forma de cómo se realizó las mediciones, los instrumentos con los que se cuenta no son los adecuados para el procedimiento, pero debido a la falta de estos se empleó el calibrador y la escuadra.

3.2 Pruebas y análisis de resultados cortador automático de rebabas

3.2.1 Operacionalización de las variables independientes

Tabla 3.3.

Operacionalización de la variable independiente.

Cortador automático de rebabas.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Técnica	Instrumento
El corte de rebabas es un procedimiento que se realiza de forma manual, al automatizar se mejora la calidad del producto, al igual que existe la opción de aumentar la producción disminuyendo tiempos en los procedimientos.	Configuraciones mecánicas	Ingreso correcto del pin.	Observación	Vista
	Configuración de tiempos.	Sincronización con la extrusora.	Observación	Vista
	Configuración de presión Neumática de trabajo.	Velocidad de giro y bajada de cilindro.	Observación	Vista
		Fuerza adecuada.	Observación	Vista

Este procedimiento es necesario para hacer medibles las variables para su posterior análisis, la tabla 3.3 muestra la operacionalización de las variables independientes.

a. Configuraciones mecánicas

Las configuraciones mecánicas hacen referencia a las regulaciones con las cuales se coloca el cortador en la posición adecuada permitiendo el corte de calidad. La forma de constatar estas configuraciones es la medición de distancias y que el cilindro neumático se encuentra a nivel. La figura 3.10 muestra el cortador automático de rebabas en la máquina. Las calibraciones descritas se las realizó con el envase colocado en la posición de corte para minimizar los fallos. La figura 3.11 muestra la posición en la que se realizaron estas operaciones.



Figura 3.10. Ubicación de cortador automático de rebabas.



Figura 3.11. Calibraciones mecánicas.

b. Configuración de tiempos

El control del cortador posee dos temporizadores, el uno para setear el tiempo al que ingresa la cuchilla de corte y el otro es la espera para el giro al momento del corte. El cortador al ser para un envase en específico, el llamado Galón Lechero, una vez configurados estos tiempos no es necesario

que se vuelva setearlos. Se debe considerar un tiempo en el cual el envase no se enfrié demasiado porque de ser así la cuchilla tiene dificultades para ingresar. El tiempo en el cual se configuró para conseguir el correcto funcionamiento es de 1 seg aproximadamente y de 0,5 para que gira el roto-cilindro.

c. Configuración de presión Neumática de trabajo

La presión de aire de trabajo que la empresa posee es 100 psi, con los reguladores de presión colocados en los cilindros se puede variar esta presión permitiendo variar la velocidad de giro y desplazamiento de los cilindros. Esta calibración se la realizó con el cortador en funcionamiento. Las presiones con las que el cortador trabajo correctamente fue a 70 psi en el cilindro de giro, 60 psi en el cilindro que ubica el pin de centrado y 80 psi en el cilindro de ingreso de la cuchilla.

3.2.2 Operacionalización de la variable dependiente

La tabla 3.4 muestra la operacionalización del cortador automático de rebabas.

Tabla 3.4.

Operacionalización de la variable dependiente.

Cortador automático de rebabas.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Técnica	Instrumento
El corte de rebabas es fundamental para la calidad del envase por lo que este debe ser perfecto, la automatización de dicho corte permite mejorar este procedimiento.	Número de envases desbarbados correctamente.	Corte correcto.	Observación	Conteo manual.

Esta prueba se realizó por un lapso de un día observándose que de cada 8 envases sopladados, 5 son correctamente cortados. Estos resultados se debieron al calentamiento del molde y el pin de soplado de la extrusora. El calentamiento detectado provoca que el plástico se pegue al pin dañando la campana, y por consiguiente el corte. Una vez pasado estos 8 envases es necesario esperar alrededor de media hora para que la temperatura baje y vuelvan a condiciones iniciales de temperatura el pin y el molde. Este problema es un factor independiente del cortador automático de rebabas, pudiendo ser corregido con la implementación de un sistema de enfriamiento de la parte superior del molde.



Figura 3.12. Galón Lechero rebabeado.

La figura 3.12 muestra un Galón Lechero rebabeado, que cumple con las condiciones de corte requeridos por la empresa.

3.3 Validación de la hipótesis

Hipótesis

Con la implementación del programador de parison y su correspondiente unidad hidráulica en una máquina de soplado para fabricar envases plásticos se podrá regular el espesor de dichos envases.

Validación

Después de la puesta en marcha del programador de párison se verifica la mejora de los envases plásticos a través de mediciones realizadas como se observa en la figura 3.15, donde se coteja los espesores de pared de envases sin programador de párison y con programador de párison.

Los envases que fueron fabricados sin el uso del programador claramente presentan exceso de material en ciertas partes y deficiencia en otras, dejando ver como el envase es débil en la base y robusto en el cuello. La mejora que se consideró y realizó es retirar el exceso en el cuello y aumento en la base. La gráfica que representa los espesores medidos a envases con programador de párison presentan un aumento de 0.2 mm en la base y una disminución de 0.1 a lo largo del cuello.

Con los datos obtenidos de las pruebas se llega a la conclusión que con la implementación del programador de párison se logró la regulación de espesores de pared de envases plásticos fabricados mediante el proceso de extrusión-soplado.

En consecuencia la hipótesis queda validada.

3.4 Análisis técnico económico

3.4.1 Tasa Mínima Aceptable De Rendimiento (TMAR)

Para tomar la decisión de ejecutar el proyecto, los inversionistas exigen una tasa mínima de ganancia sobre la inversión que efectúa, por lo que se espera que esta tasa sea por lo menos igual al costo promedio ponderado de la institución de crédito. La TMAR tiene dos componentes:

- Tasa Activa (tasa que cobra el banco).
- Premio al riesgo (que se expresa en una tasa).

$$\text{TMAR} = \text{Tasa activa} + \text{Tasa de riesgo}$$

Se ha fijado el Costo de Capital en un 12% en función de la tasa activa que cobra actualmente el banco por la prestación de capital. Se establece una tasa de riesgo del 5% para el inversionista. La TMAR del proyecto es:

$$\text{TMAR} = 12\% + 5\% = 17\%$$

3.4.2 Determinación de la tasa de descuento del inversionista

La tasa de descuento para el inversionista se denomina también costo ponderado de capital, el cual depende de la estructura de financiamiento del proyecto. La tabla 3.5 muestra el Costo Promedio Ponderado del Capital para el presente proyecto.

Tabla 3.5.

Costo promedio ponderado del capital.

Fuente de Financiamiento	Ponderación	Costo	Costo después de impuesto	CPPC
Accionistas	30%	17%	17%	5.1%
Crédito	70%	12%	8.4%	7.3%
Total				12,4%

El capital requerido en este proyecto es de 13.822,59 dólares. Los inversionistas aportan con el 30% es decir 4.146,78 dólares, y el 70% que da 9.675,81 proviene de financiamiento externo. El capital obtenido en la institución financiera tiene un interés del 12% anual.

3.4.3 Tasa Interna de Retorno

La tasa interna de rendimiento (TIR) es la tasa de descuento que permite igualar el valor presente de los flujos netos de efectivo con el valor inicial asociado a un proyecto (tasa más alta que un inversionista podría pagar sin perder dinero), que reduce el valor presente, el valor futuro, o el valor anual equivalente de una serie de ingresos y egresos.

La tasa interna de retorno (TIR) representa la rentabilidad obtenida en proporción directa al capital invertido.

TIR < TMAR RECHAZO
TIR > TMAR ACEPTADO

La tasa interna de retorno del proyecto con financiamiento se ubica en 27% y se detalla en el Anexo N

El proyecto se considera viable a razón de que de que la tasa interna de retorno (27%) es superior a la tasa mínima aceptable de rendimiento (17%) ya que garantiza que el proyecto está en capacidad de generar mayor rentabilidad que una inversión alternativa.

3.4.4 Valor Presente Neto

El Valor Presente Neto (VAN) debe aceptarse si su valor es superior a cero, este es valor es la diferencia entre todos los ingresos y egresos expresados en moneda actual.

VAN < 0 RECHAZO
VAN > 0 ACEPTACIÓN

La actualización se presenta en la medida en que se tiene que comparar valores monetarios en el tiempo, es decir, se requiere medir los “cambios” entre gastos presentes e ingresos futuros. Para calcular el VAN se tiene la Ecuación 3.1.

$$VAN = -I_o + \sum_{t=1}^n \frac{FFP}{(1 + K)^t} \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Dónde:

VAN = Valor presente neto

I_o = Inversión inicial

t = número del período en años

FFP = Flujos de fondos del proyecto

K = Tasa de descuento

Al reemplazar la fórmula, considerando los flujos del proyecto que se detalla en el Anexo N, el valor presente neto es el siguiente:

$$VAN = -13822.59 + \frac{10698.9}{(1 + 0.12)^1} + \frac{10698.9}{(1 + 0.12)^2} + \frac{10698.9}{(1 + 0.12)^3} + \frac{10698.9}{(1 + 0.12)^4} + \frac{10698.9}{(1 + 0.12)^5}$$

$$\mathbf{VAN = 40033,71}$$

El resultado del VAN del inversionista es de \$ 40033,71 por lo que se puede definir que el proyecto tiene un rendimiento alto; determinando que el proyecto es rentable considerando un costo de oportunidad del 12.4%.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Mediante el análisis de un controlador de párison comercial se determinó característica del sistema como son voltajes de control, principio de funcionamiento. Dentro del principio de funcionamiento el sistema comercial e implementado pueden trabajar con matrices convergentes y divergentes. El controlador comercial analógico no posee monitoreo de posición lo que se corrige con el sistema implementado al ofrecer una pantalla donde se puede observar la posición y los parámetros de configuración.
- El porcentaje máximo de apertura de la boquilla de la máquina extrusora para regular el espesor de la manga plástica es de 85%, ya que si se excede este valor se obtiene un error en los puntos de regulación debido a que la manga se presenta demasiado gruesa impidiendo que el molde se cierre correctamente y por consiguiente dificultando el soplado del envase. El porcentaje mínimo de apertura es del 0%, en este valor la manga tomará el menor espesor. Los puntos de regulación que actúan directamente en el envase plástico son 18, los restantes corresponden a las rebabas.
- El sistema de párison regula el espesor de envases plásticos en 25 puntos, dentro de los cuales se encuentran la rebaba inferior y la campana. Con esta regulación se logra una optimización que da como resultado la disminución del consumo de materia prima en un 3.61%, resultado correspondiente a 560 kg lo cual representa un ahorro económico de 950\$ mensualmente.

- La inversión realizada en la implementación del sistema párison representa un ahorro económico de 55.29% frente a un sistema comercial disponible únicamente en mercados internacionales.
- La variación de peso de envases producidos con el sistema párison es de ± 0.1 gr mientras que la repetitividad de espesor de pared se encuentra en ± 0.1 mm, estos valores se encuentran dentro del rango permisible y asegurando que se cumplen los estándares de calidad de la empresa. El valor de ciclo de trabajo del sistema párison se encuentra entre los 3000 y 10000 mili segundos, dependiendo el envase a producir. Produciendo un espacio entre puntos de 4 y 9.5 mm respectivamente en cada tiempo. Este ciclo es variable para cada envase a producir por lo que es necesario su ajuste cada vez que se cambie el molde.
- La presión hidráulica mínima que se necesita para el correcto funcionamiento del sistema de párison es de 1450 psi, con esta presión se garantiza que el servo cilindro va a superar en 4.11 veces la fuerza generada por la extrusora.
- La presión neumática mínima para que el sistema de corte funcione correctamente es de 80 psi y una presión máxima de 200 psi. La estructura cuenta con regulaciones que permiten la fácil calibración para el corte, adicionalmente por su constitución no presenta vibraciones que interfieran con el corte.
- El cortador automático de rebabas se ve afectado por el calentamiento del molde y el pin de soplado de la extrusora, con este calentamiento se deforma la campana o rebaba superior dando paso a la falla al momento del corte. El número aproximado de envases con un corte correcto es de 5 en el resto existe fallas.

4.2 Recomendaciones

- En el sistema de párison se puede implementar el monitoreo del sistema mediante indicadores luminosos para que el operario pueda constatar el correcto funcionamiento de manera fácil y rápida.
- Probar un controlador PID analógico ya que estos permiten mayor velocidad en el control permitiendo incrementar más el número de puntos de regulación.
- Probar con otro tipo de control como es el de lógica difusa, redes neuronales o controladores inteligentes para mejorar su funcionamiento.
- Desarrollar un sistema de párison centralizado que permita la regulación de espesor de la manga plástica en dos máquinas extrusoras.
- Realizar adaptaciones en el sistema de corte para poder cortar otro tipo de envase con similares características del Galón Lechero.
- Implementar sensores para ayudar a mantener constante el largo de la manga plástica para poder reducir en lo posible los errores del sistema de párison.
- Buscar nuevos métodos para la calibración del sistema de corte automático.

BIBLIOGRAFÍA

- Rosales Terraza, E. A. (2003). *Proceso De Selección, Aceptación Y Calificación De Una Máquina De Extrusión-Soplado De Plástico Para Una Industria Manufacturera De Botellas*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Farina, M. (2014). *Instalaciones eléctricas*. Buenos Aires: Editorial Alsina.
- Gómez, S. O., & Berrío, L. G. (2007). *Neumática Básica*. México D.F.: Instituto Tecnológico Metropolitano.
- Martín, J. C. (2010). *Instalaciones domóticas*. Madrid: Editex.
- Martín, J. C., Castillo, J., & García, M. (2009). *Automatismos industriales*. Madrid: Editorial Editex.
- Millán Teja, S. (1995). *Automatización neumática y electroneumática*. Barcelona: Marcombo S.A.
- MOOG. (2000). *Manual de usuario de programador de párison G25*. Brazil.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de Fluidos*. México D.F.: Pearson Educación.
- Nicolás, A. S. (2009). *Neumática práctica*. Madrid: Ediciones Paraninfo. S.A.
- Profiter. (2007). *Digital 30 Point Wall Thickness Controller*. Brazil.
- Salazar Monroy, J. H., & Silva San Vicente, R. A. (2010). *Diseño de un molde de Extrusión-Soplado para botellas de polietileno de baja densidad*. México D.F.: ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA UNIDAD AZCAPOTZALCO.
- Solé, & Antonio, C. (2012). *Neumática e Hidráulica*. Barcelona: Marcombo S.A.
- Vycmex. (2004). *Manual de Hidraulica Industrial*. México D.F.

LINKOGRAFÍA

- Albuerne, G. (7 de Abril de 2008). *Departamento de Tecnología IES La Ería*. Recuperado el 17 de Febrero de 2015, de Departamento de Tecnología IES La Ería: <http://boj.pntic.mec.es/~lalbuern/Plasticos.htm>
- Brazkem. (04 de 2015). *HDPE GF4950*. Obtenido de <http://www.braskem.com.br/site.aspx/teste-consultar-produto?codProduto=376>
- Camps, V. (2000). *www.edu.xunta.es*. Recuperado el 21 de Abril de 2015, de www.edu.xunta.es: <http://www.edu.xunta.es/centros/iessantomefreixeiro/system/files/plastico.pdf>
- Canosa Diaz, M. A. (12 de Abril de 2012). *Curso de Polímeros*. Recuperado el 24 de Marzo de 2015, de Curso de Polímeros: <http://es.slideshare.net/MiguelCanosa/unmp-unlzt-finalpostgrado-polimeros>
- Daé Aguilar , A. (14 de Junio de 2006). *mailxmail.com*. Recuperado el 6 de Febrero de 2015, de mailxmail.com: <http://www.mailxmail.com/curso-manual-inyeccion-plasticos/definicion-obtencion-clasificacion-plastico>
- Ferrocortes. (15 de 05 de 2015). *Acero ASTM A36*. Obtenido de <http://www.ferrocortes.com.co/laminas/lamina-calidad-estructural-astm-a36>
- López, C. M. (24 de Diciembre de 2007). *Los Plásticos*. Recuperado el 6 de Marzo de 2015, de Los Plásticos: <http://aliso.pntic.mec.es/cm10029/PLASTICOS/Index.html>
- LOS PLÁSTICOS . (30 de Diciembre de 2009). *Educa Madrid*. Recuperado el 16 de Abril de 2015, de Educa Madrid: http://www.educa.madrid.org/web/ies.josesaramago.arganda/Departamento/web_tecnologia/ficheros/tec_industrial/t11_plasticos.pdf
- Salazar Monroy, J. H., & Silva San Vicente, R. A. (2010). *Diseño de un molde de Extrusión-Soplado para botellas de polietileno de baja*

densidad. México D.F.: ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA UNIDAD AZCAPOTZALCO.

SEAS. (2006). *Actuadores Neumáticos*. Recuperado el 27 de Abril de 2015, de Actuadores Neumáticos: http://fosva.seas.es/docs/t3_neumatica.pdf

Tecnologia-Informatica. (2010). *www.tecnologia-informatica.es*. Recuperado el 22 de Abril de 2015, de www.tecnologia-informatica.es: <http://www.tecnologia-informatica.es/metodos-para-fabricar-plasticos/>

Termoplásticos, S. d. (1998). *www.iq.ua.es*. Recuperado el 4 de Abril de 2015, de www.iq.ua.es: <http://www.iq.ua.es/TPO/Tema8.pdf>

ANEXOS

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Elaborado por:

Alex Fernando Llerena Mena

AUTOR

Luis Eduardo Gavilanez Acosta

AUTOR

Revisado por:

Ing. Héctor Cochise Terán

DIRECTOR

Ing. Wilson Sánchez Ocaña

CODIRECTOR

Aprobado por:

Ing. Vicente Hallo

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

Certificado por:

Dr. Freddy Jaramillo

SECRETARIO ACADÉMICO

Latacunga, Octubre 2015