



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA
INYECCIÓN DE PLÁSTICO, CON CAPACIDAD DE
FABRICACIÓN DE HASTA 15g DE PESO PARA EL
LABORATORIO DE PROCESOS DE MANUFACTURA DEL
DECEM**

AUTORES:

ALICIA CRISTINA ENRÍQUEZ NOBOA

GUILLERMO LINCANGO PROAÑO

DIRECTOR: ING. BORYS CULQUI

CODIRECTOR: ING. PATRICIO RIOFRÍO

Sangolquí

2015

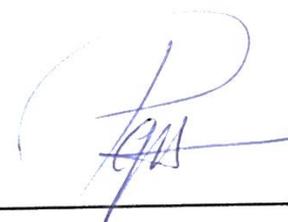
CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA INYECCIÓN DE PLÁSTICO, CON CAPACIDAD DE FABRICACIÓN DE HASTA 15G DE PESO PARA EL LABORATORIO DE PROCESOS DE MANUFACTURA DEL DECEM**” fue realizado en su totalidad por Alicia Cristina Enríquez Noboa y Guillermo Lincango Proaño, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.



ING. BORYS CULQUI

DIRECTOR



ING. PATRICIO RIOFRÍO

CODIRECTOR

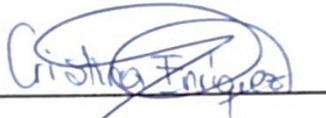
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, ALICIA CRISTINA ENRÍQUEZ NOBOA y GUILLERMO LINCANGO PROAÑO declaramos que:

El proyecto de grado titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA INYECCIÓN DE PLÁSTICO, CON CAPACIDAD DE FABRICACIÓN DE HASTA 15G DE PESO PARA EL LABORATORIO DE PROCESOS DE MANUFACTURA DEL DECEM”** ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas y notas que constan al pie de las páginas correspondientes, 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.

ELABORADO POR



CRISTINA ENRÍQUEZ

CC. 170918432-7



GUILLERMO LINCANGO

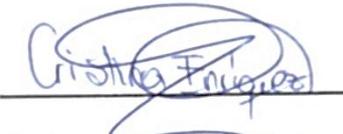
CC. 171575212-5

Sangolquí, 2015 – 04 – 23

AUTORIZACIÓN

Nosotros, ALICIA CRISTINA ENRÍQUEZ NOBOA y GUILLERMO LINCANGO PROAÑO

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA INYECCIÓN DE PLÁSTICO, CON CAPACIDAD DE FABRICACIÓN DE HASTA 15G DE PESO PARA EL LABORATORIO DE PROCESOS DE MANUFACTURA DEL DECEM**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.


CRISTINA ENRÍQUEZ
CC. 170918432-7


GUILLERMO LINCANGO
CC. 171575212-5

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi hermano
Iván que ha sido el motor para terminar
con mi meta y demostrarle que con
perseverancia todo se logra sin
importar el tiempo que a uno le tome.

Cristina

Con todo mi cariño y amor para
esas personas que hicieron todo
en la vida para que logre mis sueños,
por motivarme y darme la mano en
todo momento.

Papá y Mamá

Guillermo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por darme la fuerza para terminar este proyecto. A mis padres por el apoyo, a mis Hermanos Anita e Iván, a mi cuñado Luis. A mi novio Daniel por darme palabras de aliento e impulsarme a que termine. A toda mi familia en general y a mis amigos que siempre me ayudaron y a todos los que de una u otra forma aportaron para el desarrollo de la misma.

Cristina

Agradezco a mis padres, Gloria y Guillermo por todo el apoyo brindado a lo largo de mi vida.

A mis hermanos, Esteban y Micaela, por apoyarme en aquellos momentos de necesidad, y darme esa fuerza para seguir adelante.

A mi novia, Nicky por darme su apoyo, y exigirme al máximo, y ayudarme a tomar la decisión correcta.

Guillermo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE CUADROS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
NOMENCLATURA	xviii
RESUMEN	xxix
ABSTRACT	xxx
CAPÍTULO 1	1
1. GENERALIDADES	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. GENERAL	4
1.3.2. ESPECÍFICOS	4
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	4
1.5. ALCANCE	5
CAPÍTULO 2	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. INTRODUCCIÓN A LOS MATERIALES PLÁSTICOS	6
2.1.1. RESEÑA HISTÓRICA	6
2.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS PLÁSTICOS	8
2.1.2.1. Propiedades Térmicas	8
2.1.2.2. Propiedades mecánicas de los polímeros	9
2.1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS	10
2.1.3.1. Termoplásticos	11

2.1.3.2. Termoestables.....	15
2.1.3.3. Elastómeros.....	16
2.1.4. PROCESO DE MANUFACTURA DE LOS POLÍMEROS.....	17
2.1.4.1. Procesos de conformado.....	17
2.1.4.2. Inyección	18
2.1.4.3. Extrusión	19
2.1.4.4. Termoformado.....	20
2.1.4.5. Moldeo por soplado	20
2.2. INYECCIÓN DE PLÁSTICO.....	21
2.2.1. MÁQUINA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO	21
2.2.1.1. Parámetros de inyección	23
2.2.1.2. Ciclo de Inyección	24
CAPÍTULO 3.....	26
3. DISEÑO	26
3.1. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS PARA EL DISEÑO.....	26
3.1.1. ALTERNATIVAS	27
3.1.2. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	30
3.1.3. ESTRUCTURA MÁQUINA.....	33
3.1.4. ESQUEMA	34
3.1.5. PARÁMETROS DE LA MÁQUINA	35
3.1.6. DEFINICIÓN DE FACTORES DE SEGURIDAD.....	35
3.2. DISEÑO MECÁNICO	36
3.2.1. CÁLCULOS.....	36
3.2.1.1. Cálculo de la fuerza de inyección	37
3.2.1.2. Cálculo del Sistema de Inyección.....	38
3.2.1.2.1. Cálculo de la columna.....	39
3.2.1.2.2. Cálculo del cañón	40
3.2.1.2.3. Cálculo del émbolo	41
3.2.1.2.4. Cálculo de la cremallera.....	42
3.2.1.2.5. Cálculo del cuerpo columna.....	44
3.2.1.3. Cálculo del sistema de potencia.....	45
3.2.1.3.1. Cálculo del engranaje	45

3.2.1.3.2.	Cálculo del eje del engranaje.....	47
3.2.1.3.3.	Cálculo de chavetas.....	49
3.2.1.3.4.	Selección de rodamientos.....	51
3.2.1.3.5.	Selección del motorreductor	53
3.2.1.4.	Cálculo del sistema de fundición	53
3.2.1.4.1.	Cálculo de la resistencia eléctrica.....	53
3.2.1.5.	Cálculo del sistema de cierre.....	56
3.2.1.5.1.	Cálculo de los ejes.....	56
3.2.1.5.2.	Cálculo de la junta empernada 1	57
3.2.1.5.3.	Cálculo de la junta empernada 2	59
3.2.1.5.4.	Cálculo de la junta empernada 3	61
3.2.1.5.5.	Cálculo placa 1	62
3.2.1.5.6.	Cálculo porta matriz fijo.....	63
3.2.1.5.7.	Cálculo placa 2	63
3.2.1.5.8.	Cálculo porta matriz móvil.....	64
3.2.2.	SIMULACIÓN DE LLENADO DE LA PIEZA.....	65
3.2.3.	FACTORES DE SEGURIDAD	69
3.3.	AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL	70
3.3.1.	CONTACTORES.....	70
3.3.2.	RELÉ AUXILIAR	71
3.3.3.	RESISTENCIA ELÉCTRICA	72
3.3.4.	CONTROL DE TEMPERATURA.....	73
3.3.5.	MICRO SWITCH.....	74
3.3.6.	AMPERÍMETRO	74
3.3.7.	TIMER.....	75
3.3.8.	UNIDAD DE MANTENIMIENTO NEUMÁTICO FRL	76
3.3.9.	ELECTROVÁLVULA	77
3.4.	PLANOS.....	78
3.4.1.	TOLERANCIAS Y ACABADOS SUPERFICIALES	78
3.4.2.	CODIFICACIÓN	78
CAPÍTULO 4	82
4.	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	82

4.1.	MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS	82
4.1.1.	MÁQUINAS.....	82
4.1.2.	HERRAMIENTAS.....	82
4.1.3.	INSTRUMENTOS DE MEDIDA.....	83
4.2.	HOJAS DE PROCESOS	83
4.2.1.	DIAGRAMAS DE FLUJO	84
4.3.	MONTAJE MECÁNICO.....	105
4.4.	MONTAJE ELÉCTRICO.....	105
4.5.	MANUAL DE OPERACIÓN.....	105
4.6.	MANUAL DE MANTENIMIENTO	105
	CAPÍTULO 5.....	106
5.	PRUEBAS.....	106
5.1.	PRUEBAS DIMENSIONALES.....	106
5.2.	PRUEBAS DE OPERACIÓN.....	112
5.2.1.	ENSAYOS DE CALIBRACIÓN.....	112
5.2.2.	ENSAYOS DE INYECCIÓN	114
5.3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	118
	CAPÍTULO 6.....	119
6.	ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA	119
6.1.	PRESUPUESTO DE INVERSIÓN	119
6.1.1.	COSTOS DIRECTOS.....	119
6.1.1.1.	Materiales y accesorios	119
6.1.1.2.	Fabricación	121
6.1.2.	COSTOS INDIRECTOS	121
6.1.2.1.	Mano de Obra Indirecta.....	121
6.1.2.2.	Costos Generales.....	122
6.1.3.	COSTO TOTAL DEL PROYECTO	122
6.2.	PRESUPUESTO DE OPERACIÓN.....	123
6.2.1.	PRESUPUESTO DE EGRESOS	123
6.2.2.	PRESUPUESTO DE INGRESOS	124
6.3.	ESTADOS FINANCIEROS PROYECTADOS	125
6.3.1.	BALANCE GENERAL DEL PROYECTO	125

6.3.2. ESTADO DE RESULTADOS (PÉRDIDAS Y GANANCIAS)	126
6.3.3. FLUJO DE FONDOS.....	126
6.4. EVALUACIÓN FINANCIERA	128
6.4.1. COSTO DE CAPITAL O TASA MÍNIMA ACEPTABLE DE RENDIMIENTO (TMAR)	128
6.4.2. VALOR NETO ACTUAL (VAN)	128
6.4.3. TASA DE RETORNO (TIR).....	129
6.4.4. PERÍODO DE RECUPERACIÓN.....	130
6.4.5. RELACIÓN BENEFICIO/COSTO (B/C).....	130
CAPÍTULO 7	132
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	132
7.1. CONCLUSIONES	132
7.2. RECOMENDACIONES	133
BIBLIOGRAFÍA	134
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.
MONTAJE ELÉCTRICO MÁQUINA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO ..	¡Error!
Marcador no definido.	
MANUAL DE OPERACIÓN MÁQUINA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO	¡Error! Marcador no definido.
MANUAL DE MANTENIMIENTO DE MÁQUINA PARA INYECCIÓN DE PLÁSTICO	¡Error! Marcador no definido.
PRÁCTICA DE LABORATORIO DE MÁQUINA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1 Criterios de selección y ponderación.....	26
Cuadro 3.2 Alternativas de diseño.....	27
Cuadro 3.3 Sistema de almacenamiento de materia prima	30
Cuadro 3.4 Sistema de fundición	30
Cuadro 3.5 Sistema de inyección	31
Cuadro 3.6 Sistema de cierre	31
Cuadro 3.7 Sistema de potencia.....	32
Cuadro 3.8 Disposición de inyección	32
Cuadro 3.9 Elementos de la máquina.....	33
Cuadro 3.10 Sistemas de la Inyectora	35
Cuadro 3.11 Factores de seguridad nominales	36
Cuadro 3.12 Factores de seguridad.....	69
Cuadro 3.13 Codificación de planos	80
Cuadro 5.1 Pruebas dimensionales – Máquina inyección de plástico	106
Cuadro 5.2 Ensayos de calibración	112
Cuadro 5.3 Tiempo de precalentamiento.....	113
Cuadro 5.4 Tiempos de las etapas del ciclo	113
Cuadro 5.5 Ensayos de Inyección	114
Cuadro 6. 1 Costo de Metriales Directos	119
Cuadro 6. 2 Costo de Elementos y Accesorios	120
Cuadro 6. 3 Costo de Fabricación	121
Cuadro 6. 4 Costo de Diseño.....	121
Cuadro 6. 5 Costo Dirección de Proyecto.....	122
Cuadro 6. 6 Gastos de Oficina.....	122
Cuadro 6. 7 Costo Directo Final.....	122
Cuadro 6. 8 Costo Indirecto Final	122
Cuadro 6. 9 Costo Total.....	123
Cuadro 6. 10 Condiciones Prácticas.....	123
Cuadro 6. 11 Materia Prima y Mantenimiento.....	123
Cuadro 6. 12 Precio por hora de práctica de laboratorio	124
Cuadro 6. 13 Ingresos	125
Cuadro 6. 14 Balance General.....	126
Cuadro 6. 15 Estado de Resultados	126
Cuadro 6. 16 Flujo de Fondos	127
Cuadro 6. 17 VAN.....	129
Cuadro 6. 18 Cálculo del Período de Recuperación de la Inversión	130
Cuadro 6. 19 Beneficio/Costo	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Termoplásticos.....	13
Tabla 2.2 Termoestables	15
Tabla 2.3 Elastómeros	16
Tabla 3.1 Propiedades del plástico	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Evolución Exportación Sector Plástico y sus Manufacturas.....	2
Figura 2.1 Ilustración esquemática de cadenas de polímero	10
Figura 2.2 Volumen específico vs temperatura.....	12
Figura 2.3 Esquema de una máquina de moldeo por inyección con pistón .	19
Figura 2.4 Proceso de extrusión	19
Figura 2.5 Proceso de termoformado	20
Figura 2.6 Proceso de moldeo por soplado	21
Figura 2.7 Sistema de Cierre	22
Figura 2.8 Sistema de Inyección.....	22
Figura 2.9 Sistema de Potencia	23
Figura 2.10 Cierre Matriz	24
Figura 2.11 Calentamiento.....	24
Figura 2.12 Inyección.....	25
Figura 2.13 Enfriamiento de la pieza	25
Figura 2.14 Descarga de la pieza	25
Figura 3.1 Esquema de la Inyectora	34
Figura 3.2 Diagrama de fuerza de la máquina	37
Figura 3.3 Esquema de la matriz de inyección	37
Figura 3.4 Fuerzas sobre el sistema inyección	38
Figura 3.5 DCL sistema de inyección	38
Figura 3.6 Diagrama del cañón.....	40
Figura 3.7 Diagrama de fuerzas en el émbolo	41
Figura 3.8 Diagrama de fuerzas en el émbolo	42
Figura 3.9 Fuerzas en el diente del engranaje.....	43
Figura 3.10 Simulación del cuerpo columna	44
Figura 3.11 Nomenclatura engranaje recto.....	45
Figura 3.12 Esquema de fuerzas en un diente del engranaje.....	46
Figura 3.13 Diagrama de cuerpo libre del eje del engranaje	47
Figura 3.14 Nomenclatura y fuerzas de la chaveta.....	49
Figura 3.15 Diagrama de cuerpo libre en el eje del engranaje	51
Figura 3.16 Rodamiento recomendado por software de diseño	52
Figura 3.17 Esquema de transferencia de calor	54
Figura 3.18 Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de un cilindro.....	54
Figura 3.19 Esquema de fuerzas del sistema de cierre	56
Figura 3.20 Fuerzas en el eje	56
Figura 3.21 Diagrama de cuerpo libre de la junta empernada 1	57
Figura 3.22 Diagrama de cuerpo libre de la junta empernada 2	59
Figura 3.23 Diagrama de cuerpo libre de la junta empernada 3	61
Figura 3.24 Simulación del placa 1	62

Figura 3.25 Simulación porta matriz fijo.....	63
Figura 3.26 Simulación placa 2.....	63
Figura 3.27 Simulación porta matriz móvil	64
Figura 3.28 Pieza final	65
Figura 3.29 Análisis del ángulo de salida.....	65
Figura 3.30 Parámetros de llenado.....	66
Figura 3.31 Ubicación de la inyección	67
Figura 3.32 Inicio de llenado de la pieza.....	67
Figura 3.33 Proceso de llenado de la pieza	68
Figura 3.34 Fin de llenado de la pieza.....	68
Figura 3.35 Partes del Contactor	71
Figura 3.36 Contactores	71
Figura 3.37 Relé auxiliar y sus partes.....	72
Figura 3.38 Resistencia de la máquina.....	73
Figura 3.39 Control de temperatura	74
Figura 3.40 Ampeímetro	75
Figura 3.41 Timer.....	76
Figura 3.42 Unidad de mantenimiento neumático FRL.....	77
Figura 3.43 Electroválvula 5/2.....	78
Figura 4.1 Simbología ASME.....	83
Figura 4.2 Diagrama de flujo – estructura.....	84
Figura 4.3 Diagrama de flujo – ejes de apoyo	85
Figura 4.4 Diagrama de flujo – placa soporte 1	86
Figura 4.5 Diagrama de flujo – porta matriz 1	87
Figura 4.6 Diagrama de flujo – porta matriz 2.....	88
Figura 4.7 Diagrama de flujo – tubo soporte bastidor	89
Figura 4.8 Diagrama de flujo – bocín exterior	90
Figura 4.9 Diagrama de flujo – bocín interior	91
Figura 4.10 Diagrama de flujo – tuerca de seguridad	92
Figura 4.11 Diagrama de flujo – base controlador	93
Figura 4.12 Diagrama de flujo – varilla	94
Figura 4.13 Diagrama de flujo – matriz 2	95
Figura 4.14 Diagrama de flujo – matriz 1	96
Figura 4.15 Diagrama de flujo - boquilla	97
Figura 4.16 Diagrama de flujo – cañón	98
Figura 4.17 Diagrama de flujo – émbolo	99
Figura 4.18 Diagrama de flujo – tope controlador.....	100
Figura 4.19 Diagrama de flujo – base motor.....	101
Figura 4.20 Diagrama de flujo – cremallera	102
Figura 4.21 Diagrama de flujo – engranaje.....	103
Figura 4.22 Diagrama de flujo – tuerca de seguridad tolva.....	104
Figura 5.1 Pieza final prueba 1	115

Figura 5.2 Pieza final prueba 2	115
Figura 5.3 Pieza final prueba 3	116
Figura 5.4 Pieza final prueba 4	116
Figura 5.5 Pieza final prueba 5	116
Figura 5.6 Pieza final prueba 6	117
Figura 5.7 Pieza final prueba 7	117
Figura 5.8 Pieza final	117

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A - MONTAJE ELÉCTRICO MÁQUINA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO B - MANUAL DE OPERACIÓN MÁQUINA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO C - MANUAL DE MANTENIMIENTO MÁQUINA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO D - PRÁCTICA DE LABORATORIO..	¡Error! Marcador no definido.

NOMENCLATURA

c – Calor específico

T_g – Temperatura de transición vítrea

T_z – Temperatura de descomposición

γ – Peso específico

ε – Alargamiento a la rotura

E – Módulo de elasticidad

H – Dureza

P_{iny} – Presión de inyección

A_{proy} – Área proyectada de la matriz

F_{iny} – Fuerza de inyección

A_{emb} – Área del émbolo

F_{emb} – Fuerza en el émbolo

F_1 – Reacción en la base de la columna

M_1 – Momento la base de la columna

L_{col} – Longitud efectiva de la columna

$\Phi_{i,col}$ – Diámetro interno de la columna

$\Phi_{e,col}$ – Diámetro externo de la columna

R_{col} – Radio externo de la columna

A_{col} – Área de la columna

I_{col} – Inercia de la sección de la columna

$S_{y,col}$ – Resistencia a la fluencia Acero SAE 1018 – Columna

E_{col} – Módulo Elástico Acero SAE 1018 – Columna

σ_{F_1} – Esfuerzo normal debido a la fuerza F_1

σ_{M_1} – Esfuerzo normal debido al momento M_1

$\sigma_{t,col}$ – Esfuerzo combinado máximo

$F_{s,col}$ – Factor de seguridad de la columna

a_{col} – Distancia desde el empotramiento de la columna al centro del émbolo.

t_{col} – Deflexión de la columna

$\Phi_{e,cañ}$ – Diámetro externo del cañón

$\Phi_{i,cañ}$ – Diámetro interno del cañón

$S_{y,cañ}$ – Resistencia a la fluencia cañón

- $r_{e\text{cañ}}$ – Radio externo del cañón
 $r_{i\text{cañ}}$ – Radio interno del cañón
 $e_{\text{cañ}}$ – Espesor pared del cañón
 $\frac{e_{\text{cañ}}}{r_{i\text{cañ}}}$ – Relación entre el espesor y el radio interior del cañón
 σ_t – Esfuerzo tangencial en cilindros con presión interna
 σ_r – Esfuerzo tangencial en cilindros con presión interna
 σ_l – Esfuerzo longitudinal en cilindros con presión interna
 $\sigma_{\text{cañ}}$ – Esfuerzos combinados en el cañón
 F_s – Factor de seguridad en el cañón
 R_{emb} – Reacción en el émbolo
 Φ_{emb} – Diámetro del émbolo
 L_{emb} – Longitud del émbolo
 $S_{y\text{emb}}$ – Resistencia a la fluencia del émbolo
 E_{emb} – Módulo Elástico del émbolo
 K_{emb} – Constante de empotramiento
 $L_{e\text{emb}}$ – Longitud efectiva del émbolo
 I_{emb} – Inercia de la sección del émbolo
 A_{emb} – Área de la sección del émbolo
 r_{emb} – Radio de giro del émbolo
 F_{cr} – Fuerza crítica en el émbolo
 M_{cr} – Módulo del diente de la cremallera
 Φ_{cr} – Ángulo de presión del diente de la cremallera
 $e_{s\text{cr}}$ – Espesor del diente de la cremallera
 W_t – Fuerza tangencial en el diente de la cremallera
 W_r – Fuerza radial en el diente de la cremallera
 R_r – Reacción en el horizontal en el émbolo
 L_{cre} – Longitud de la cremallera
 Φ_{cre} – Diámetro de la cremallera
 E_{cre} – Módulo Elástico de la cremallera
 $S_{y\text{cre}}$ – Resistencia a la fluencia de la cremallera
 $S_{ut\text{cr}}$ – Resistencia a la tensión de la cremallera
 K_{cre} – Constante de empotramiento

L_{cre} – Longitud efectiva de la cremallera
 I_{cre} – Inercia de la sección de la cremallera
 A_{cre} – Área de la sección de la cremallera
 R_{cre} – Radio de giro de la cremallera
 F_{cr1} – Fuerza crítica en la cremallera
 a_{cr} – Constante para superficie maquinada de la cremallera
 b_{cr} – Constante para superficie maquinada de la cremallera
 K_{acr} – Factor de Marín acabado superficial de la cremallera
 K_{scr} – Factor de tamaño de la cremallera
 K_{mcr} – Factor de distribución de carga de la cremallera
 K_{vcr} – Factor dinámico de la cremallera
 Y_{cr} – Factor de forma de la cremallera
 σ_{bcr} – Esfuerzos de flexión en el diente de la cremallera
 Y_{Ncr} – Factor de ciclos de esfuerzo de la cremallera
 $Y_{\theta cr}$ – Factor de temperatura de la cremallera
 Y_{Zcr} – Factor de seguridad AGMA para confiabilidad 90% de la cremallera
 S_{Fcr} – Factor de seguridad AGMA de la cremallera
 FS_{col} – Factor de seguridad del cuerpo columna
 δ_{max} – Deflexión del cuerpo columna
 M – Módulo del diente del engranaje
 z – Número de dientes del engranaje
 Φ – Ángulo de presión del diente del engranaje
 d_p – Diámetro de paso del engranaje
 P_c – Paso del engranaje
 d_e – Diámetro exterior del engranaje
 d_i – Diámetro interior del engranaje
 h_{eng} – Altura del diente del engranaje
 e_s – Ancho de la cara del engranaje
 W_t – Fuerza tangencial en el diente del engranaje
 W_r – Fuerza radial en el diente del engranaje
 T_m – Par de torsión en el engranaje
 S_{ut} – Resistencia a la tensión del engranaje

S_y – Resistencia a la fluencia del engranaje
 a – Constante para superficie maquinada del engranaje
 b – Constante para superficie maquinada del engranaje
 K_a – Factor de Marín acabado superficial del engranaje
 K_s – Factor de tamaño del engranaje
 K_m – Factor de distribución de carga del engranaje
 K_v – Factor dinámico del engranaje
 Y – Factor de forma del engranaje
 σ_b – Esfuerzos de flexión en el diente del engranaje
 σ_t – Esfuerzos de flexión permisible en el engranaje
 Y_N – Factor de ciclos de esfuerzo del engranaje
 Y_θ – Factor de temperatura del engranaje
 Y_z – Factor de seguridad AGMA para confiabilidad 90% del engranaje
 S_F – Factor de seguridad AGMA del engranaje
 l_{eje} – Longitud del eje del engranaje
 Φ_{eje} – Diámetro del eje del engranaje
 Φ_{ejem} – Diámetro mayor del eje del engranaje
 Φ_{ejei} – Diámetro interior del eje del engranaje
 A_0 – Distancia A-0
 AC – Distancia A-C
 CB – Distancia C-B
 S_{ute} – Resistencia a la tensión del eje del engranaje
 S_{ye} – Resistencia a la fluencia del eje del engranaje
 E – Módulo de elasticidad del eje del engranaje
 I – Momento de inercia del eje del engranaje
 R_{Ay} – Reacción en el punto A en el eje del engranaje en el plano xy
 R_{By} – Reacción en el punto B en el eje del engranaje en el plano xy
 M_y – Momento flector en el eje del engranaje en el plano xy
 δ_{xy1} – Deflexión máxima en el plano x-y
 θ_{xy} – Pendiente en el plano x-y
 R_{Az} – Reacción en el punto A en el eje del engranaje en el plano xy
 R_{Bz} – Reacción en el punto B en el eje del engranaje en el plano xz

- M_z – Momento flector en el eje del engranaje en el plano xyz
 δ_{xz1} – Deflexión máxima en el plano x-z
 θ_{xz} – Pendiente en el plano x-z
 M_a – Combinación de momentos en planos ortogonales xy y xz
 δ_e – Deflexión máxima combinada en el eje del engranaje
 θ_e – Pendiente máxima combinada en el eje del engranaje
 δ_p – Deflexión máxima permitida en ejes con engranajes rectos
 θ_p – Pendiente máxima permitida en ejes con engranajes rectos
 K_t – Factor de concentración de esfuerzos por flexión en el eje del engranaje
 K_{ts} – Factor de concentración de esfuerzos por torsión en el eje del engranaje
 K_f – Factor de concentración de esfuerzos por fatiga en el eje del engranaje
 a – Constante para superficie maquinada del eje del engranaje
 b – Constante para superficie maquinada del eje del engranaje
 K_{ae} – Factor de superficie del eje del engranaje
 K_b – Factor de tamaño del eje del engranaje
 K_c – Factor de carga del eje del engranaje
 K_d – Factor de temperatura del eje del engranaje
 Z_a – Variación de transformación del eje del engranaje
 K_e – Factor de confiabilidad del eje del engranaje
 S_e – Límite de resistencia a la fatiga en el eje del engranaje
 n – Factor de seguridad del eje del engranaje
 σ'_a – Esfuerzos de Von Mises en el eje del engranaje
 σ'_m – Esfuerzos de Von Mises en el eje del engranaje
 n_{f1} – Factor de seguridad mediante el criterio de Goodman en el eje del engranaje
 n_y – Factor de seguridad a la fluencia en el eje del engranaje
 w_{c1} – Ancho de la chaveta del engranaje
 h_{c1} – Altura de la chaveta del engranaje
 p_{c1} – Profundidad de la chaveta del engranaje
 l_{c1} – Longitud de la chaveta del engranaje
 S_{yc1} – Resistencia a la fluencia de la chaveta del engranaje
 S_{sy1} – Resistencia a cortante de la chaveta del engranaje

F_{tc1} – Fuerza generada por el torque en la chaveta del engranaje
 t_{cc1} – Esfuerzo cortante en la chaveta del engranaje
 σ_{ac1} – Esfuerzo por aplastamiento en la chaveta del engranaje
 η_{cc1} – Factor de seguridad por esfuerzo cortante en la chaveta del engranaje
 η_{ac1} – Esfuerzo de seguridad por esfuerzo de aplastamiento en la chaveta del engranaje
 w_{c2} – Ancho de la chaveta del motorreductor
 h_{c2} – Altura de la chaveta del motorreductor
 p_{c2} – Profundidad de la chaveta del motorreductor
 l_{c2} – Longitud de la chaveta del motorreductor
 S_{yc2} – Resistencia a la fluencia de la chaveta del motorreductor
 S_{sy2} – Resistencia a cortante de la chaveta del motorreductor
 F_{tc2} – Fuerza generada por el torque en la chaveta del motorreductor
 t_{cc2} – Esfuerzo cortante en la chaveta del motorreductor
 σ_{ac2} – Esfuerzo por aplastamiento en la chaveta del motorreductor
 η_{cc2} – Factor de seguridad por esfuerzo cortante en la chaveta del motorreductor
 η_{ac2} – Esfuerzo de seguridad por esfuerzo de aplastamiento en la chaveta del motorreductor
 x_0 – Factor de carga radial del rodamiento
 y_0 – Factor de carga axial del rodamiento
 P_0 – Carga estática equivalente
 s_0 – Factor de seguridad elástico
 C_0 – Capacidad de carga estática
 C_1 – Capacidad de carga dinámica
 C_{01} – Capacidad de carga estática
 S_0 – Factor de seguridad estático (software)
 P_{m1} – Potencia motorreductor alternativa 1
 ω_1 – Velocidad angular motorreductor alternativa 1
 P_{m2} – Potencia motorreductor alternativa 2
 ω_2 – Velocidad angular motorreductor alternativa 2
 P_{m3} – Potencia motorreductor alternativa 3

- ω_3 – Velocidad angular motorreductor alternativa 3
- P_m – Potencia motorreductor
- ω_e – Velocidad angular entrada motorreductor
- ω_s – Velocidad angular salida motorreductor
- i – Relación de reducción de velocidad angular
- L_{cal} – Longitud del cañón en contacto con la resistencia
- r_1 – Radio de la cámara de fundición
- r_2 – Radio exterior del cañón
- r_3 – Radio exterior de la resistencia eléctrica
- r_4 – Radio exterior de la placa que cubre la resistencia
- T_h – Temperatura de fundición del material
- T_i – Temperatura inicial del material
- T_o – Temperatura del medio ambiente
- h_i – Coeficiente de transferencia de calor por convección del aire
- h_o – Coeficiente de transferencia de calor por convección del aire
- k_{A1} – Conductividad térmica de la placa
- k_{B1} – Conductividad térmica del cañón
- R_{conv1} – Resistencia térmica por convección en el interior del cañón
- R_{c1} – Resistencia térmica por conducción en el cilindro
- R_{c1} – Resistencia térmica por conducción en la placa protectora de la resistencia
- R_{conv2} – Resistencia térmica por convección hacia el exterior
- R_{eq1} – Resistencia térmica equivalente
- R_{eq2} – Resistencia térmica equivalente
- q_o – Transferencia de calor en condiciones estacionarias desde la resistencia al interior
- q_i – Transferencia de calor en condiciones estacionarias desde la resistencia al exterior
- q_h – Balance de energías entre el calor generado por la resistencia y la transferencia de calor entre los componentes
- I_r – Intensidad de corriente registrada durante el funcionamiento de máquina
- V_{rp} – Voltaje de la red pública de energía

P_{real} – Potencia real de la resistencia
 T_r – Temperatura de funcionamiento de la resistencia
 F_{cierre} – Fuerza de cierre
 F_{eje} – Fuerza aplicada en cada uno de los ejes
 L_t – Distancia entre placas
 L_1 – Distancia entre placa 1 y porta matriz fijo
 L_2 – Distancia entre placa 2 y el porta matriz fijo
 L_3 – Distancia entre la placa 1 y el plano de inyección
 σ_{eje} – Esfuerzo a tensión en el eje
 S_{y1} – Resistencia a la fluencia del eje
 F_{Seje} – Factor de seguridad del eje
 E_{eje} – Módulo de elasticidad del eje
 E_{p1} – Módulo de elasticidad de la placa 1
 E_{ap} – Módulo de elasticidad de la arandela plana
 Φ_{eje} – Diámetro del eje
 L_{p1} – Longitud de agarre efectivo de la placa 1
 Φ_{ea} – Diámetro exterior de la arandela
 L_{ap1} – Longitud de agarre efectivo de la placa 1
 k_{mp1} – Relación de rigidez de la placa 1
 k_{map1} – Relación de rigidez de las arandelas planas
 k_{m1} – Relación de resorte total de la junta empernada placa 1
 A_{t1} – Área de esfuerzo sometido a tensión
 l_{t1} – Longitud de la parte roscada de agarre
 A_{d1} – Área del diámetro mayor del sujetador
 l_{d1} – Longitud de la parte sin roscar en agarre
 k_{b1} – Rigidez efectiva estimada del eje
 $C1$ – Constante de rigidez de la unión
 S_{p1} – Resistencia de prueba
 F_{p1} – Carga de prueba
 F_{i1} – Fuerza e precarga para conexiones
 P_{b1} – Parte de carga tomada por el eje
 P_{m1} – Parte de carga tomada por el eje

F_{b1} – Carga resultante en el perno
 F_{m1} – Carga resultante en los elementos
 $K1$ – Factores del par de torsión
 $T1$ – Par de torsión para desarrollar precarga
 σ_{i1} – Esfuerzo de precarga
 σ_{b1} – Esfuerzo bajo la carga de servicio
 n_1 – Factor de seguridad de carga
 n_{01} – Factor de seguridad contra la separación de la unión
 E_{pm1} – Módulo de elasticidad del porta matriz
 L_{pm1} – Longitud agarre efectivo del porta matriz
 k_{mp2} – Relación de rigidez del tronco
 k_{map2} – Relación de rigidez del tronco
 k_{m2} – Relación de resorte total
 k_{b2} – Rigidez efectiva estimada en el eje
 $C2$ – Constante de rigidez de la unión
 S_{p2} – Resistencia de prueba
 F_{p2} – Carga de prueba
 F_{i2} – Fuerza e precarga para conexiones
 P_{b2} – Parte de carga tomada por el eje
 P_{m2} – Parte de carga tomada por el eje
 F_{b2} – Carga resultante en el perno
 F_{m2} – Carga resultante en los elementos
 $K2$ – Factores del par de torsión
 $T2$ – Par de torsión para desarrollar precarga
 σ_{i2} – Esfuerzo de precarga
 σ_{b2} – Esfuerzo bajo la carga de servicio
 n_2 – Factor de seguridad de carga
 n_{02} – Factor de seguridad contra la separación de la unión
 $t1$ – Espesor del ángulo del bastidor
 Φ_{p1} – Diámetro nominal del perno
 S_p – Resistencia de prueba mínima para perno
 S_{ut} – Resistencia mínima a la tensión para perno

S_y – Resistencia a la tensión del perno
 S_{ut1} – Resistencia a la fluencia
 F_2 – Fuerza producida por el cilindro neumático
 A_c – Superficie de apoyo de cada perno
 A_r – Área del diámetro menor
 σ_p – Esfuerzo por aplastamiento del perno
 σ_e – Esfuerzo por aplastamiento en el ángulo
 $ndap$ – Factor de diseño por aplastamiento del perno
 nda_e – Factor de diseño por aplastamiento del ángulo
 τ_p – Esfuerzo cortante del perno
 ndc – Factor de diseño por cortante del perno
 τ_{p2} – Esfuerzo cortante si la rosca del perno se extiende en uno de los planos
 $ndc2$ – Factor de diseño por cortante del perno
 a_b – Distancia del borde del elemento
 τ_{cb} – Cortante del borde del elemento
 $ndce$ – Factor de diseño por cortante al borde del elemento
 σ_{te} – Esfuerzo de fluencia por tensión de los elementos
 $ndte$ – Factor de diseño para fluencia por tensión de los elementos
 nfe – Factor de diseño por fluencia del elemento
 FS_{p1} – Factor de seguridad de la placa 1
 δ_{p1} – Deflexión máxima de la placa 1
 FS_{pmf} – Factor de seguridad del porta matriz fijo
 δ_{pmf} – Deflexión máxima del porta matriz fijo
 FS_{p2} – Factor de seguridad de la placa 2
 δ_{p2} – Deflexión máxima de la placa 2
 FS_{pmm} – Factor de seguridad del porta matriz móvil
 δ_{pmm} – Deflexión máxima del porta matriz móvil
 mn – Medida nominal
 mr – Medida real
 e – Error
TMAR – Tasa mínima aceptable de rendimiento
VAN – Valor neto actual

FNF – Flujo neto de fondos

i – Tasa de interés

t – Periodo

TIR – Tasa de retorno

B/C – Beneficio costo

RESUMEN

El proyecto de tesis permitirá al departamento contar con una máquina para inyección de plástico para prácticas de laboratorio. Se reforzará y demostrará la teoría impartida en clases sobre la inyección de plástico, permitiendo a los estudiantes ampliar sus conocimientos sobre este proceso, los elementos y sistemas que lo conforman. La selección para el diseño de la máquina se realizó a través de matrices de decisión, evaluando los sistemas y componentes principales en Costos de fabricación, Seguridad, Eficiencia, Fabricación, Facilidad de operación y Bajo mantenimiento. El principal parámetro para el diseño de la máquina fue la presión de inyección de 20 MPa. El diseño mecánico se lo realizó de los elementos principales donde hay puntos críticos durante el funcionamiento de la máquina. En diseño térmico se realizó por transferencia de calor mediante resistencias térmicas, para la correcta selección del elemento de calentamiento. Los planos se realizaron con un software CAD, y mediante las normas INEN para dibujo técnico mecánico, tolerancias, acabados superficiales. El molde con el que cuenta la máquina es un molde de tres cavidades, el producto final de la inyección son tres placas circulares para llaveros de polietileno, en caso de ser necesario se puede cambiar realizando una matriz que no excedan las dimensiones máximas recomendadas y el peso de material a inyectar. La máquina se construyó con supervisión de una persona capacitada en proceso de manufactura, una persona que trabaja en la industria del plástico y con ayuda de una persona con conocimientos de electrónica.

PALABRAS CLAVE:

INYECCIÓN DE PLÁSTICO

PRÁCTICAS DE LABORATORIO

PRESIÓN DE INYECCIÓN

MOLDE

POLIETILENO

ABSTRACT

The thesis project allow the department have plastic injection machine to perform laboratory practices. It would help to reinforce and demonstrate the theory taught in class on plastic injection, allowing students expand their knowledge of this process and the elements and systems that comprise it. The selection for the machine design was performed by decision matrices, evaluating the principal systems and components, on Production Costs, Safety, Efficiency, Production, Easy Operation and Low maintenance. The main parameter for the design of the machine was the injection pressure of 20 MPa. The mechanical design was made of the main elements which present critical points during operation of the machine. The thermal design was made by heat transfer, using thermal resistances, for the correct selection of the heating element. The mechanical drawings where made with a CAD software, and through INEN standards for mechanical drawing, tolerances, surface finishes. The mold with which the machine is currently working is a mold of three cavities, the final product of injection is three circular plates for key chains of polyethylene. If necessary can be changed by making a new mold for pieces not exceeding the maximum recommended dimensions and the weight of material to be injected. The machine was built under the supervision of a qualified person in the manufacturing process, a person working in the plastics industry and with the help of a person with knowledge of electronics.

KEY WORDS:

PLASTIC INJECTION

LABORATORY PRACTICE

INJECTION PRESSURE

MOLD

POLYETHYLENE

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

En el Departamento Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, no cuenta con una máquina para la inyección del plástico, que puede ser utilizada en las prácticas de laboratorio.

Se estima que la producción de plástico mundial alcanzó las 299 millones de toneladas, presentando un crecimiento del 3,9% en 2013. Es la tercera más grande industria de manufactura en los Estados Unidos. Hay alrededor de 181,500 instalaciones dedicadas a la industria del plástico en este país. En Ecuador la productividad en la manufactura de plástico ha crecido 2,3 por ciento por año. De igual forma en la industria ecuatoriana la exportación del sector del plástico ha crecido como se observa en la figura 1.1 del año 2012 al 2014.

La industria del plástico ha contribuido en varios aspectos como la salud, en la industria alimenticia, transporte, seguridad, comunicación, construcción, en la industria textil, al igual que en la vida diaria de las personas.

La actividad de la industria plástica en el Ecuador cuenta con procesos de producción limpia que no generan emisiones al medioambiente. El sector es parte importante de otras cadenas productivas, especialmente de aquellas consideradas como prioritarias en el Código Orgánico de la Producción del Ecuador.

La industria ecuatoriana de plásticos se ha convertido en un importante sector de la economía nacional, que cuenta con aproximadamente 500 empresas.

Los procesos que la industria desarrolla son: extrusión, soplado, termoformado, inyección y roto moldeo. Los productos que se ofrecen son:

láminas, placas, fundas, envases, artículos para el hogar, artículos de uso industrial, tubos rígidos y materiales de construcción, útiles escolares, desechos y recortes, resinas en formas primarias, pellets reciclados, etc.

El sector genera alrededor de 15,000 empleos directos y 60,000 empleos indirectos. La industria de plásticos está abierta al reciclaje post industrial y post consumo, inversión en investigación y diseño, y reducción de consumo energético.

Los principales destinos de las exportaciones de productos plásticos ecuatorianos son países sudamericanos como Colombia, Perú y Venezuela, que representan más del 60% del mercado, seguido por Estados Unidos y otros países.

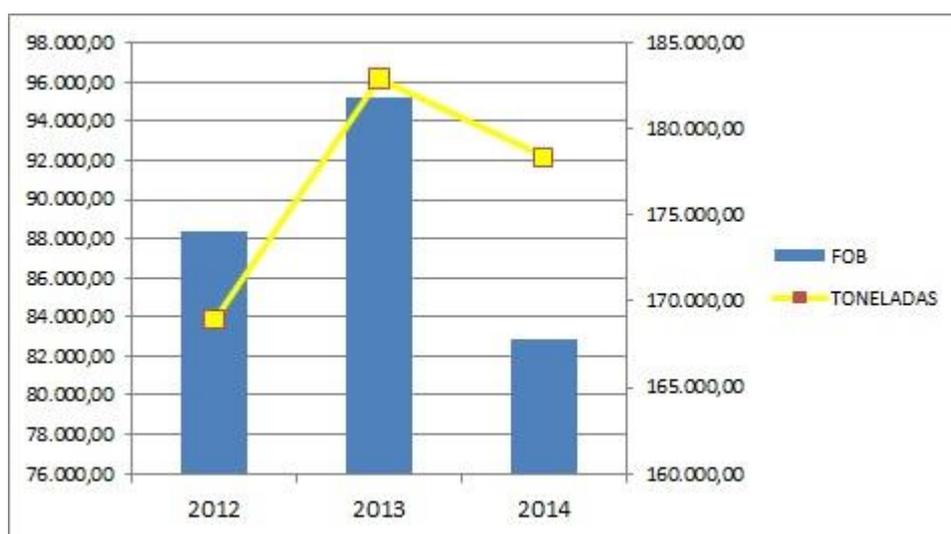


Figura 1. 1 Evolución Exportación Sector Plástico y sus Manufacturas

Fuente: (PROECUADOR, 2014)

A nivel superior en el país hay dos instituciones académicas que cuentan con centros de estudio e investigación relacionados con los polímeros.

La ESPOL cuenta con un laboratorio que tiene la capacidad para llevar a cabo las principales técnicas de transformación de plástico como: Proceso de moldeo por inyección, Proceso de extrusión de película, Procesamiento peletizado de Compuestos Termoplásticos. Una máquina de Brabender y equipos de DSC se utilizan para determinar el procesamiento y la estabilidad

térmica de los plásticos. Equipos de evaluación de Materiales para determinación de las propiedades de tracción, MFI, Vicat, Dart Impacto y Izod/Charpy Impacto de piezas de plástico y películas.

La Escuela Politécnica Nacional cuenta con el Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros, Este centro de investigación y desarrollo acreditado, con normas internacionales de calidad, realizan ensayos sobre materiales polímeros, liderando la prestación de servicios e investigación en este campo. Los servicios que presta este departamento de la universidad son caracterización de los polímeros e inyección de polímeros.

Al ser la industria del plástico un amplio campo tanto de estudio como de trabajo. El Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE podría contar con la implementación de un equipo de laboratorio para que los estudiantes puedan reforzar y realizar prácticas relacionadas a la inyección de plástico.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE no cuenta con una máquina para la inyección del plástico, para la fabricación de piezas, como parte de las prácticas de laboratorio. A través de la cual se podría aplicar los conocimientos teóricos adquiridos sobre el proceso de inyección de plástico.

Con una máquina de inyección de plástico disponible en el laboratorio, se podría adquirir conocimientos prácticos de un proceso que es parte importante de la industria.

Teniendo en cuenta el crecimiento de la industria del plástico, el amplio campo de aplicaciones y trabajo dentro del mismo, el contar con equipos para aplicar los conocimientos adquiridos pueden ser de gran beneficio para los estudiantes del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. GENERAL

Diseñar y construir una máquina para la inyección de plástico, con capacidad de fabricación de piezas de hasta 15 gr de peso.

1.3.2. ESPECÍFICOS

- Estudiar el proceso de inyección.
- Estudiar las etapas del ciclo de inyección.
- Diseñar la máquina con las especificaciones adecuadas para el laboratorio.
- Fabricar la máquina.
- Realizar las pruebas de funcionamiento.
- Desarrollar guía de práctica, manuales de usuario y mantenimiento

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El proyecto relacionado al diseño y construcción de una máquina para la inyección de plástico, con capacidad de fabricación de piezas de hasta 15 gr de peso, permitirá efectuar prácticas de laboratorio, donde se reforzarán y demostrarán los conocimientos teóricos adquiridos sobre la inyección de plástico. La misma será una herramienta de aprendizaje y de gran valor disponible para el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, y se ampliará las prácticas que actualmente hay disponibles en el laboratorio.

Al mismo tiempo con el desarrollo de este proyecto se va a incentivar a los estudiantes a generar nuevas máquinas y equipos para los laboratorios de la universidad.

1.5. ALCANCE

El presente proyecto tiene como alcance estudiar el proceso de inyección, y tipos de procesos industriales del plástico. Para posteriormente seleccionar la configuración más adecuada y diseñar una máquina para la inyección de plástico, con capacidad de fabricación de piezas de hasta 15 gr de peso. Finalmente se procederá a la construcción y montaje del equipo con los parámetros y especificaciones obtenidas en diseño, con el equipo listo se procederá a realizar las pruebas de funcionamiento. Con la información obtenida se realizarán los manuales de uso, mantenimiento y las guías de prácticas para el desarrollo de pruebas en el laboratorio.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN A LOS MATERIALES PLÁSTICOS

La palabra plástico viene de la palabra griega plastikos que significa “adecuado para moldear”. Aunque muchos de los materiales llamados plásticos, no se moldean, y muchos otros que se moldean no son plásticos. Debido a esto se los puede definir como un grupo de compuestos orgánicos de moléculas grandes naturales o sintéticas de elevado peso molecular, cuyo principal componente es el carbono, manufacturados como un producto químico y susceptible de conformarse bajo combinaciones de presión y calor. Estas moléculas también reciben el nombre de polímeros, y de ahí que a los materiales plásticos se los conozca también con este nombre.

La menor unidad de estructura o molécula, que identifica al producto químico implícito, se llaman monómeros. Por diversos medios que incluyen calor, luz, presión y agitación, puede lograrse que estos monómeros se unan y que crezcan en moléculas mucho más grandes por el proceso de polimerización.

2.1.1. RESEÑA HISTÓRICA

Por muchos años el ser humano utilizó ciertos polímeros naturales, como el ámbar, el caucho natural, la celulosa, el asta natural, la goma laca y la gutapercha. Pero es a principios del siglo XX que se produce el verdadero auge de los materiales plásticos, cuando los procedimientos de producción por síntesis de los plásticos son descubiertos.

Durante el siglo XIX se hacen varios descubrimientos de materiales como el caucho, la caseína, la ebonita, el celuloide, que pueden considerarse como los antecesores o padres de los plásticos modernos. En 1860 el inventor

estadounidense John Wesley Hyatt obtuvo a partir de la piroxilina el celuloide, que podría considerarse como el primer plástico de la historia.

En los primeros años del siglo XX se descubrieron algunos plásticos sintéticos. El primero de ellos fue el la baquelita, desarrollada por el químico estadounidense Leo Hendrik Baekeland en 1907. De la misma forma se logró mejorar las propiedades de polímeros naturales, con el tratamiento de varias sustancias.

En 1920 Hermann Staudinger, un químico alemán, demostró que largas cadenas formadas de unidades repetidas y enlazadas sucesivamente constituían los plásticos.

Aparecen algunos nuevos productos durante las décadas de los 1920 y 1930, tales como acetato de celulosa, utilizado en el moldeo de resinas y fibras; el cloruro de polivinilo (PVC) y el metacrilato de metilo polimerizado, excelentes propiedades ópticas y para gafas y lentes; caucho sintético y el nylon.

Durante la Segunda Guerra Mundial, los suministros de materia prima se redujeron drásticamente y la industria del plástico tuvo la oportunidad de convertirse en una fuente inagotable de sustitutos aceptables.

Finalizada la guerra, y con la reducción del precio del petróleo y sus derivados, la industria tienen un gran crecimiento tanto en descubrimiento de materiales como en aplicaciones para estos.

Hay un consumo masivo de productos plásticos durante las décadas de 1950 y 1960, y así mismo se desarrollan los policarbonatos y las poliamidas. En esta misma época se obtuvieron el polipropileno y el polietileno, que son de los materiales más utilizados actualmente.

Industrialmente los plásticos empiezan a sustituir ciertos elementos para maquinaria, aparatos sometidos a altas temperaturas y otros productos que están bajo condiciones ambientales extremas.

2.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS PLÁSTICOS

Debido a sus propiedades únicas y diversas, los polímeros han venido reemplazando a los componentes metálicos en varias aplicaciones en distintos campos de trabajo.

Las principales características son las siguientes:

- Resistencia a la corrosión y productos químicos.
- Baja conductividad eléctrica y térmica.
- Elevada relación resistencia/densidad, siendo ligeros poseen una resistencia mecánica notable.
- Plasticidad, muchos se reblandecen con el calor y, sin llegar a fundir, son fácilmente moldeables.
- Reducción de ruido.
- Amplia selección de colores y transparencia.
- Facilidad de manufactura y posibilidad de diseños complejos.
- Bajo costo de producción.
- Combustibilidad, la mayoría arden con facilidad, el color de la llama y el olor del humo suele ser característico de cada tipo de plástico.

2.1.2.1. Propiedades Térmicas

- Calor Específico (c)

Cantidad de calor necesaria para aumentar en 1°C la temperatura de la unidad de peso de un cuerpo.

$$c = \frac{C}{m} \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} \right)$$

- Temperatura de transición vítrea (Tg)

Temperatura o intervalo de temperaturas donde el material sólido pasa a un estado líquido. Por debajo de esta temperatura, el polímero se vuelve rígido y quebradizo, mientras que por encima de esta el material es suave y maleable.

$$T_g = (^\circ\text{C})$$

- Temperatura de descomposición (T_z)

Es la temperatura a la cual el polímero se quema o se carboniza. Representa la temperatura máxima de trabajo.

$$T_z = (^\circ\text{C})$$

2.1.2.2. Propiedades mecánicas de los polímeros

- Peso específico (γ)

Es la relación entre el peso de una sustancia y su volumen gr/cm³

$$\gamma = \frac{P}{V} \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$$

- Resistencia a la tracción (fluencia / rotura) Kg/cm²

Tensión máxima que un material puede soportar antes de romperse, cuando se somete a esfuerzos de tracción.

- Resistencia a la compresión Kg/cm²

Esfuerzo máximo que puede soportar un material sometido a una carga de aplastamiento

- Resistencia a la flexión Kg/cm²

Esfuerzo máximo que soporta un material sometido a fuerzas transversales.

- Resistencia al impacto Kg.cm/cm²

Es la capacidad de un material para absorber golpes y energía sin romperse.

- Alargamiento a la rotura (ϵ) %

Incremento de la longitud de un material sometido a un esfuerzo de tracción.

$$\epsilon \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

- Módulo de elasticidad (E)

Indica la rigidez de un material, y es la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación.

$$E \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

- Dureza (H)

Una medida de oposición de un material a ser penetrado por un objeto, lo que ocasionaría una deformación plástica permanente.

2.1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS

La estructura de los polímeros depende de manera importante de las estructuras poliméricas individuales, tanto en forma y tamaño, y en la manera en que están organizadas para formar una estructura; como se indica en la figura 2.1 las diferentes estructuras de polímeros.

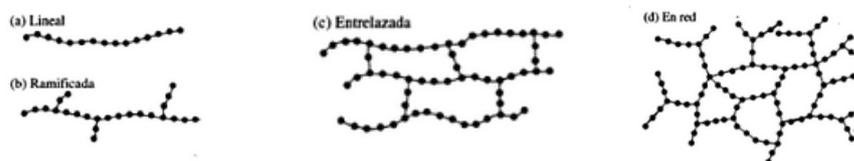


Figura 2. 1 Ilustracion esquemática de cadenas de polimero

a) Estructura lineal b) Estructura ramificada c) Estructura de enlace o entrelazada d) Estructura reticular.

Fuente: (Kalpakjian, Schmid, 2002)

Las cadenas de polímeros se las puede clasificar en:

Polímero lineal: se los conoce así debido a su estructura secuencial. Una molécula lineal no necesariamente es de forma recta. En general un polímero está formado por más de un tipo de estructura; un polímero lineal puede contener algunas cadenas ramificadas y algunas entrelazadas.

Polímeros ramificados: cadenas de ramales laterales se conectan a la cadena principal durante la síntesis del polímero. La ramificación interviene con el movimiento relativo de las cadenas moleculares, incrementando la resistencia a la deformación y al agrietamiento por esfuerzo. La densidad de los polímeros ramificados es menor que la de los polímeros de cadena lineal, ya que las ramas interfieren con la eficiencia de empacamiento de las cadenas del polímero.

Polímeros de enlace cruzado o entrelazados: generalmente de estructura tridimensional, tienen cadenas adyacentes unidas por enlaces covalentes. Los polímeros con una estructura de cadena entrelazada se los conoce como termoestables. El enlace cruzado influye importantemente en las propiedades del polímero por lo general impartiendo dureza, resistencia, rigidez, fragilidad, y una mejor estabilidad dimensional.

Polímeros en red: están formados por redes espaciales (tridimensionales) con tres o más enlaces covalentes activos. Un polímero muy entrelazado se lo considera como un polímero en red.

Una de las principales clasificaciones de los polímeros es de acuerdo a su comportamiento frente al calor. Se los puede clasificar en:

- Termoplásticos
- Termoestables
- Elastómeros

2.1.3.1. Termoplásticos

Los polímeros termoplásticos son aquellos que cuando se eleva la temperatura sobre la temperatura de transición vítrea o del punto de fusión, resultan más fáciles de formarlos o moldearlos a la forma que se requiere. Esto quiere decir que a mayor temperatura los enlaces secundarios se debilitan, permitiendo que las cadenas adyacentes se puedan mover con mayor facilidad cuando se sujeta a las fuerzas de formado. Regresando a su dureza y resistencia original cuando se enfría el polímero, siendo un proceso

reversible. En la figura 2.2 se puede observar un diagrama del volumen específico vs la temperatura cuando pasa de un estado líquido a elástico y vítreo o de líquido a cristalino.

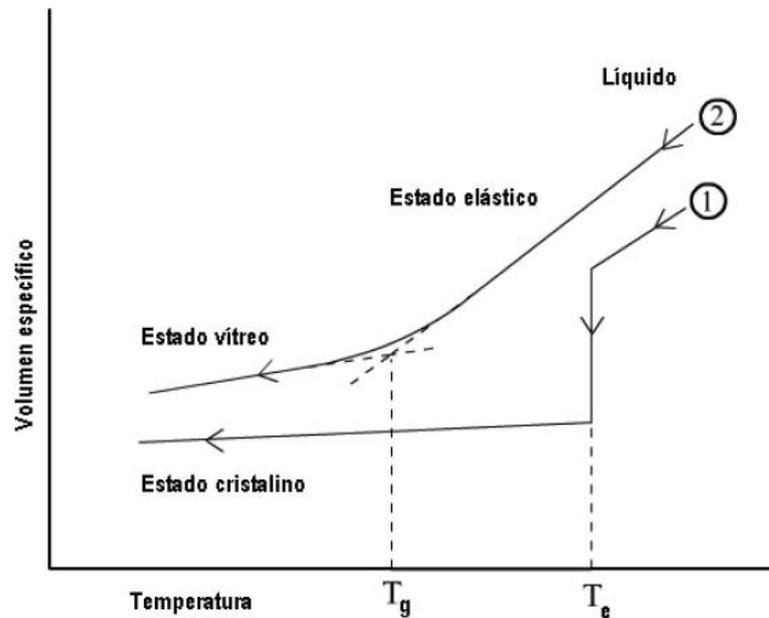


Figura 2. 2 Volumen específico vs temperatura

Fuente: (Newell, 2010)

Los termoplásticos presentan varios efectos de acuerdo a la temperatura. Al elevar la temperatura por sobre la temperatura de vítrea, primero se hace correoso, y con mayor temperatura similar al hule. Si la temperatura sube más y sobre la temperatura del punto de fusión se hace un fluido viscoso, disminuyendo su viscosidad a medida de que la temperatura aumenta. Con temperatura mayor se lo puede ablandar, moldear en formas, enfriar, volver ablandar y darle forma otra vez, y este proceso repetirlo, hay que tomar en cuenta que cuando se realiza repetidas veces este proceso causan degradación, un envejecimiento térmico de los termoplásticos. A mayor temperatura la resistencia y módulo de elasticidad de estos polímeros disminuye, y la tenacidad se incrementa.

Tabla 2. 1
Termoplásticos

NOMBRE	PROPIEDADES	APLICACIONES
ACETALES	Rígidos	Componentes de sistema de combustible
Polioximetileno (POM)	Estabilidad dimensional	Cinturones de seguridad
Polióxido de metileno	Coeficiente de fricción bajo	Manijas de ventanas.
Poliacetal	Resistente a disolventes	Propulsores de bombas
Poliformaldehido	Resistencia térmica	Engranajes
Derlín		Levas
Celcón		
Duracon		
Hostaform		
ABS	Resistencia mecánica	Tableros Parachoques
acrilonitrilo-	Resistencia al impacto	Consolas
butadienso-estireno	Resistencia térmica	Cobertores de Puertas
	Resistencia química	Tuberías Electrodomésticos
	Resistencia a la fatiga	Máquinas de oficina
	Dureza y rigidez	Contenedores
	Ductilidad a baja temperatura	Dispositivos eléctricos y electrónicos
	Facilidad de procesado	
FLUOROCARBONO	Coeficiente de fricción bajo	Sartenes
Teflón	Material inerte y antiadherente	Engranajes
	Punto de fusión media	Protección de focos
	Propiedades dieléctricas	Cintas para uso en plomería
	Aislante eléctrico	
	Alta resistencia a humedad	
	Alta resistencia a rayos UV	
NYLON	Alta rigidez y dureza	Engranajes
Poliamidas	Resistencia al impacto	Aristas para cojinetes
	Resistencia a cargas dinámicas	Tornillos y tacos
	Resistente a la abrasión y al desgaste	Guías para émbolos
	Buenas propiedades de deslizamiento	Poleas de rodadura
	Estabilidad térmica	Protectores
	Resistencia a la corrosión	Cojinetes
		Rectificadora de levas
		Piezas para enchufes

ARAMIDAS	Alta resistencia	Ropa de protección
Kevlar	Estabilidad dimensional	Filtración de gas
Nomex	Estabilidad térmica	Aislamiento eléctrico
	Llama retardante	Forros de freno y embrague
	Aislamiento eléctrico	Refuerzo de neumáticos
	Resistencia a la radiación	Equipamiento deportivo
Poliésteres	Alta transparencia	Fibras para ropa
PET	Resistencia al desgaste	Envases de botella
PBT	Resistente a la corrosión	Envoltura de alimentos
	Coefficiente de deslizamiento bueno	Conectores
	Resistencia química	Interruptores
	Resistencia térmica	Relés
		Propulsores de bombas
Poliétilenos	Resistente al impacto	Bolsas, películas para agro,
	Resistente a la corrosión	recubrimiento de acequias,
	Resistente a la abrasión	Stretch film
	Resistencia química	Envases, juguetes
Polipropilenos	Alta dureza y rigidez	Bujes, roldanas, ruedas
	Resistencia al impacto	Estrellas distribuidoras
	Resistente a los productos químicos corrosivos	Guías, perfiles
	Buenas propiedades eléctricas y químicas.	Rodillos, cojinetes
		Topes, tornillos
		Arandelas, poleas
Poliestirenos	Baja densidad	Juguetes, carcasas de radio
PS	Resistencia mecánica	y televisión
	Resistencia térmica	Partes del automóvil
	Resistencia eléctrica	Instrumental médico
		Menaje doméstico
		Tapones de botellas
		Contenedores
Polisulfonas	Resistencia y rigidez elevadas,	Piezas para hornos de
PSU	alta tenacidad	microondas, piezas de
PPSU	Estabilidad dimensional	secapelos, piezas de
	Resistencia a sustancias químicas	humectadores de aire
	Resistencia a rayos beta, gamma, X e infrarrojos	Componentes en la sección de víveres
	Auto extinguido	Impulsores-motor
		Piezas en la técnica médica, aislantes en la electrotecnia

PVC	Ligero	Cuerpos de bombas
Cloruro de polivinilo	Inerte	Juntas, bridas
	Inocuo	Cubetas, tuberías
	Resistente al fuego	Cuerpos de cepillos
		Piezas odontológicas
		Cajas de lámparas

2.1.3.2. Termoestables

Son aquellos polímeros que las moléculas en cadena larga están entrelazadas en una organización tridimensional, convirtiendo su estructura en una molécula gigantesca con fuertes enlaces covalentes. Durante la polimerización se completa la red y la forma de la pieza se conserva permanentemente, esta reacción es irreversible a diferencia de los termoplásticos.

Los polímeros termoestables no poseen una temperatura de transición vítrea definida. Al incrementar la temperatura lo suficiente, el polímero termoestable empezará a quemarse, degradarse y carbonizarse. A diferencia de los termoplásticos los termoestables presentan mejores propiedades mecánicas, químicas y térmicas, resistencia eléctrica y estabilidad dimensional.

Tabla 2. 2

Termoestables

NOMBRE	PROPIEDADES	APLICACIONES
AMINA	Rigidez	Adhesivos, resinas de unión,
	Resistencia al impacto	cascos de barcos
EPÓXICOS		Recubrimientos
	Adherencia química	Revestimiento
	Resistencia al calor	Adhesivos
	Buenas propiedades mecánicas, aislante eléctrico y térmico	Capas de impresión Moldes

CONTINÚA 

FENOLES Bakelita	Tenacidad baja Propiedades mecánicas bajas	Bolas de billar, mangos y asas de cocina, ruedas dentadas, aspiradoras, aparatos de teléfono, enchufes, Interruptores
POLIÉSTER	Resistente al agua, a rayos UV Frágil, viscosa, buenas propiedades mecánicas Resistencia química	Partes de automóviles Reforzar la fibra de vidrio, recubrimientos

2.1.3.3. Elastómeros

Forman una gran familia de polímeros amorfos, y presentan temperaturas de transición vítrea baja. Poseen una capacidad característica de sufrir grandes deformaciones elásticas sin ruptura. Tienen un módulo de elasticidad bajo y son blandos. Su estructura esta retorcida, se pueden estirar y luego regresan a su forma original cuando se retira la carga. Una de las desventajas de los elastómeros es su baja resistencia al calor y que se degradan a temperaturas medias, lo que hace que el reciclado por calor no sea posible.

Tabla 2. 3
Elastómeros

NOMBRE	PROPIEDADES	APLICACIONES
Hule natural	Aislante eléctrico, resistente al ambiente Resistencia química, adhesión a metales, resistencia a la tracción y al desgaste	Guantes quirúrgicos Preservativos Banditas elásticas Chupones, suela de calzado, neumáticos
Hule sintético	Resistencia a la abrasión Resistencia al calor Resistencia térmica Aislante eléctrico	Tuberías Aislante para cables Tubos de neumáticos

CONTINÚA 

Siliconas	Resistencia a la intemperie y al fuego, aislante eléctrico, vida útil larga, repele el agua, permeabilidad al gas	Chupetes Prótesis medicas Lubricantes, moldes Juntas, aislamiento
Poliuretano	Flexible, elástico Coeficiente de transmisión de calor bajo, adherencia, estabilidad dimensional, resistencia a los ácidos, resistencia a la absorción de agua	Prendas elásticas Lycras Espumas Materiales de ruedas Aislamiento Adhesivos

2.1.4. PROCESO DE MANUFACTURA DE LOS POLÍMEROS

2.1.4.1. Procesos de conformado

Los plásticos pueden ser conformados en un amplia gama de productos como partes moldeadas, secciones extruidas, hojas y películas, recubrimiento para alambres eléctricos y fibras para textiles.

Por el gran crecimiento que se ha dado en la industria del plástico, los procesos de conformado han sufrido una evolución tanto tecnológica como comercial. Actualmente muchas partes y elementos que se los fabricaba en metal han sido reemplazados por los de plástico.

La importancia de estos procesos de conformado de plástico se dan por las siguientes razones:

- La variedad de proceso de conformado y la facilidad con que se procesan los polímeros permiten una variedad casi ilimitada de formas para las piezas.
- Muchas partes de plástico se forman por moldeo, el cual es un proceso de forma neta, y generalmente no son necesarios los formados posteriores.
- Para formar los plásticos se requiere de calentamiento, pero la energía en comparación con los procesos con metales es mucho menor, ya que los plásticos necesitan una temperatura de procesamiento mucho más baja.

- El manejo del producto se simplifica, al trabajar con temperaturas más bajas.

En general los plásticos no requieren un acabado por pintura o deposición, excepto en algunos casos.

Con la forma del producto final, los procesos de conformado de plástico se los pueden clasificar en:

- Productos extruidos con sección transversal constante
- Hojas o láminas continuas y películas
- Filamentos continuos (fibras)
- Partes moldeadas solidas
- Partes moldeadas huecas
- Partes hechas de láminas preformadas y películas
- Fundiciones
- Productos expandidos

Los principales procesos comerciales asociados a los termoplásticos son:

- Moldeo por inyección
- Extrusión
- Termoformado
- Moldeo por soplado

2.1.4.2. Inyección

Es un proceso en el cual un polímero se calienta hasta un estado altamente plástico y se lo hace fluir bajo presión dentro de una cavidad. En este proceso se fabrican elementos o piezas separadas que son casi siempre formas finales. En este proceso el molde es la herramienta especial que da la forma y el tamaño de la pieza.

La máquina para el moldeo de inyección está conformada por varios sistemas siendo los principales el sistema de inyección que es parecido al de

extrusión, dentro del cilindro hay un émbolo para inyectar el fluido al molde; el sistema de cierre, sus funciones son mantener alineadas las partes del molde y cerradas para cuando se inyecte el material en el molde; el sistema de fundición que funde el polímero. El esquema de una máquina de inyección de plástico se puede observar en la figura 2.3.

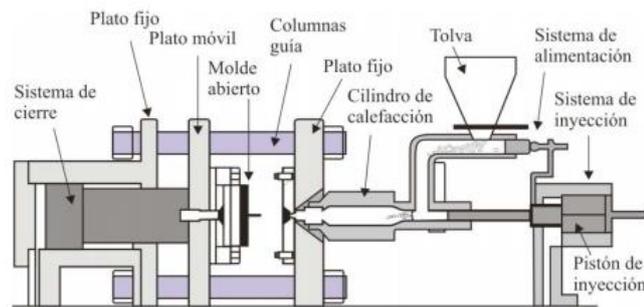


Figura 2. 3 Esquema de una máquina de moldeo por inyección con pistón

Fuente: (Beltrán y Marcilla, 2012)

2.1.4.3. Extrusión

Es un proceso de compresión en el cual se fuerza al material a fluir a través del orificio de un dado para generar un producto largo y continuo. Cuya sección transversal se determina por la forma del orificio del dado. Esto se lo utiliza para termoplásticos y elastómeros para producir masivamente elementos como tubos, ductos, mangueras, perfiles estructurales, etc. En la producción de estos elementos la extrusión se lleva a cabo como un proceso continuo cortando inmediatamente de acuerdo a las longitudes necesarias, como se observa en la figura 2.4.

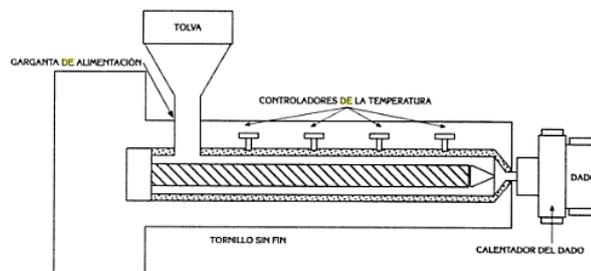


Figura 2. 4 Proceso de extrusión

FUENTE: (Cornish, 1997)

2.1.4.4. Termoformado

Es un proceso que consiste en calentar una lámina o plancha de termoplástico, para reblandecer el material y pueda tomar una forma de un molde por acción de la presión, vacío o mediante un contra molde, como se observa en la figura 2.5.

Las partes del sistema para este proceso son, un sistema de calentamiento que permite elevar a la temperatura de termoformado, la matriz sobre la cual se apoya y quedará la forma al producto deseado y el sistema de enfriamiento para que el material recupere las características de su rigidez original. Otro elemento es el dado o contrapunzón que es el elemento que empuja la lámina sobre la matriz, este elemento puede o no estar presente.



Figura 2. 5 Proceso de termoformado

FUENTE: (SENA, 2009)

2.1.4.5. Moldeo por soplado

Este proceso trabaja termoplásticos, generalmente para la elaboración de cuerpos huecos, como botellas. Se sitúa un cuerpo tubular en el interior de la matriz, con procesos previos de extrusión o inyección, posterior a esto se introduce aire a presión, expandiendo el material hacia los límites de la matriz, como se indica en la figura 2.6.

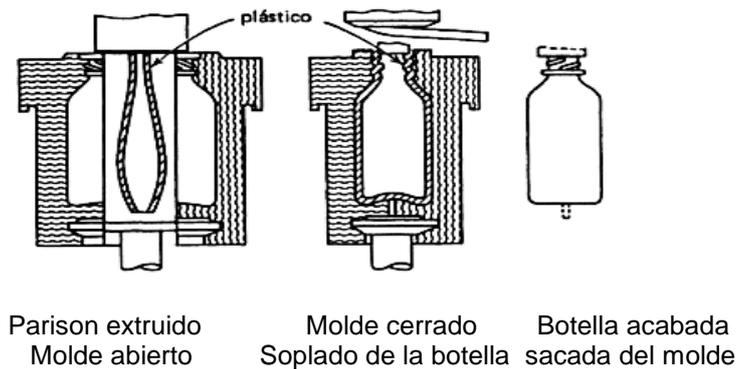


Figura 2. 6 Proceso de moldeo por soplado

FUENTE: (Billmeyer, 1975)

2.2. INYECCIÓN DE PLÁSTICO

El moldeo por inyección ha sido una de las herramientas de fabricación más importantes para la industria del plástico desde que se patentó la máquina de tornillo recíprocante en 1956. En la actualidad es prácticamente imposible hacer algo sin partes moldeadas por inyección. En el proceso de moldeo por inyección se calienta un material termoplástico, que viene en polvo o gránulos, hasta que se funde el plástico transformándolo en una masa plástica en una cámara y se inyecta el plástico en un molde. Una vez que el material es inyectado en el molde, este se solidifica, se abre el molde y se expulsa la pieza. La velocidad y consistencia son elementos claves para que la operación de moldeo por inyección sea exitosa.

2.2.1. MÁQUINA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO

Una máquina inyectora es un equipo capaz de plastificar el material polimérico y bombearlo hacia un molde en donde llena una cavidad y adquiere la forma del producto deseado.

Una inyectora se compone de cuatro sistemas principales:

- Sistema de cierre: consiste de un sistema conformado por dos placas portamatriz, una móvil y otra fija. El parámetro fundamental para dimensionar

una unidad de cierre es su fuerza para mantener el molde cerrado, otros parámetros importantes en una unidad de cierre son: la distancia mínima entre placas, la distancia máxima de apertura, las dimensiones de las placas y la distancia entre columnas, la carrera del sistema. Estos datos se utilizan para dimensionar los moldes, como se indica en la figura 2.7.

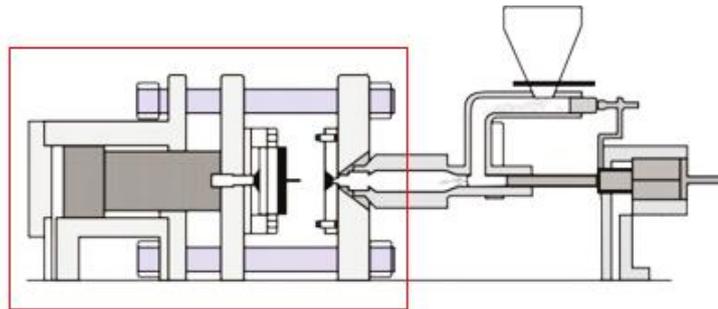


Figura 2. 7 Sistema de Cierre

Fuente: (Beltrán y Marcilla, 2012)

- Sistema de inyección: está conformado por un émbolo y el cilindro de inyección, la boquilla y las resistencias alrededor del cilindro. El material sólido ingresa por la tolva a la cámara de calentamiento, con la resistencia eléctrica se funde el material, una vez que el material se encuentra en estado líquido con la ayuda del émbolo se hace fluir hacia la cavidad de la matriz, como se observa en la figura 2.8.

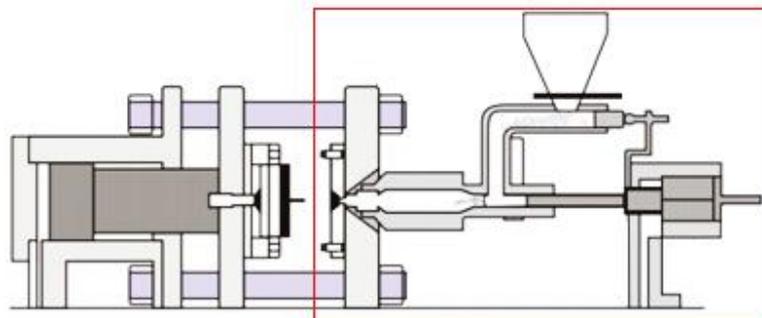


Figura 2. 8 Sistema de Inyección

Fuente: (Beltrán y Marcilla, 2012)

- Sistema de potencia: es el sistema que suministra la potencia necesaria para el funcionamiento del sistema de inyección, como se observa en la figura 2.9.

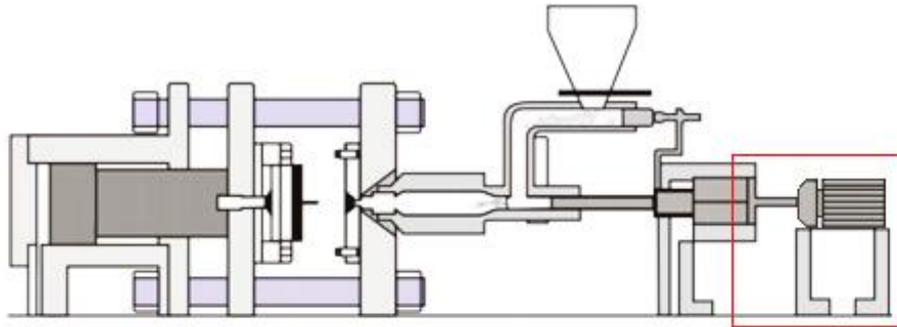


Figura 2. 9 Sistema de Potencia

Fuente: (Beltrán y Marcilla, 2012)

- La unidad de control: es un sistema desde el cual se controla el funcionamiento de la máquina inyectora de plástico y sus elementos. Controla la temperatura de las resistencias, y activación de los elementos.

2.2.1.1. Parámetros de inyección

- Capacidad o fuerza de cierre.
- Capacidad de inyección: es el volumen de material que es capaz de suministrar la máquina en una inyección (cm^3/etapa). Es común dar este valor en gramos, tomando como referencia la densidad del material a utilizar.
- Presión de inyección: es la presión máxima a la que puede bombear la unidad de inyección el material hacia el molde.

2.2.1.2. Ciclo de Inyección

El ciclo de inyección se puede dividir en las siguientes etapas:

1. Cierre de la matriz, iniciando el proceso de Inyección, como se muestra en la figura 2.10.

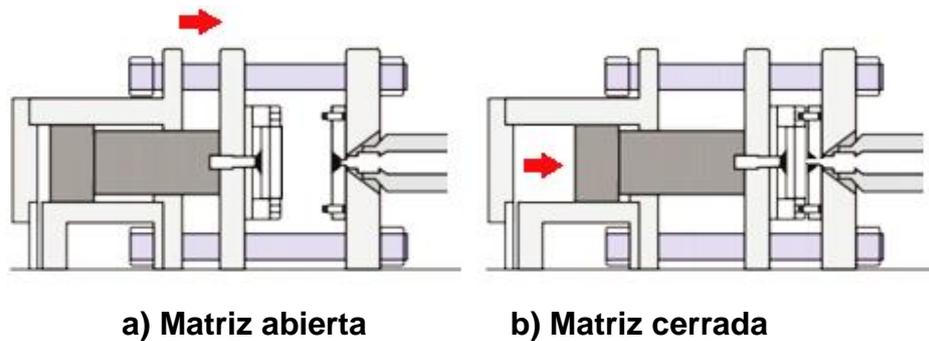


Figura 2. 10 Cierre Matriz

Fuente: (Beltrán y Marcilla, 2012)

2. Calentamiento de la cámara de fundición, como se puede observar en la figura 2.11.

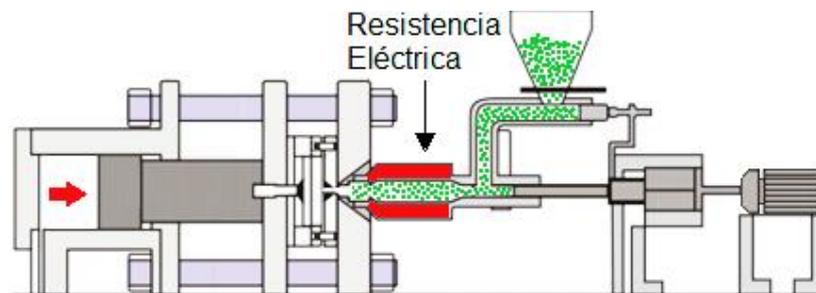


Figura 2. 11 Calentamiento

Fuente: (Beltrán y Marcilla, 2012)

3. Inyección, el émbolo empuja el material a través de la boquilla hacia la cavidades del molde, como en la figura 2.12.

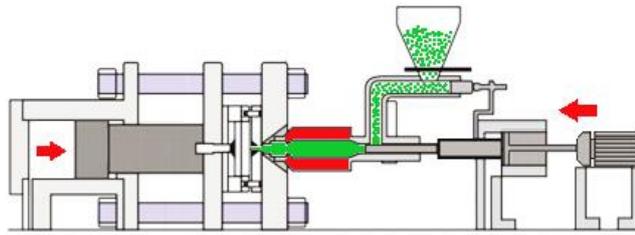


Figura 2. 12 Inyección

Fuente: (Beltrán y Marcilla, 2012)

4. Enfriamiento del material en la matriz, el calor es disipado. Una vez terminado el tiempo de enfriamiento, la parte móvil del molde se abre y la pieza es extraída, como se observa en la figura 2.13.

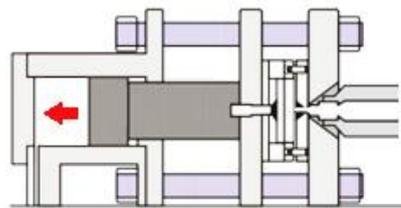


Figura 2. 13 Enfriamiento de la pieza

Fuente: (Beltrán y Marcilla, 2012)

5. Descarga, se retira la pieza y queda lista la máquina para reiniciar el ciclo, como se indica en la figura 2.14.

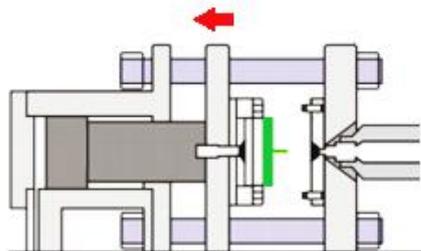


Figura 2. 14 Descarga de la pieza

Fuente: (Beltrán y Marcilla, 2012)

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO

3.1. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS PARA EL DISEÑO

Primero se realiza una matriz de decisiones para saber cuál es la mejor alternativa, la cual se muestra a continuación.

Planteadas las alternativas se estable los criterios de selección y construcción, y se procede a seleccionar cualitativamente la mejor opción, según el cuadro 3.1. Se busca obtener una configuración de bajo costo de fabricación, para obtener piezas de plástico de hasta 15 gramos.

Cuadro 3. 1

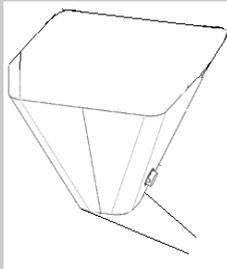
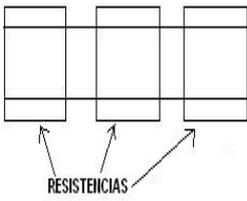
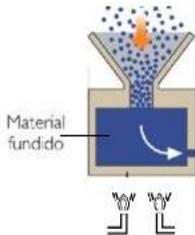
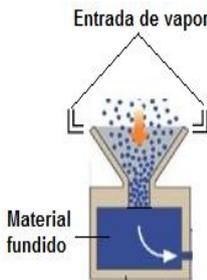
Criterios de selección y ponderación

Criterios de diseño	Ponderación (%)
Costos de fabricación	40 %
Seguridad	15 %
Eficiencia	15 %
Fabricación	10 %
Facilidad de operación	10 %
Bajo mantenimiento	10%
TOTAL	100%

3.1.1. ALTERNATIVAS

Cuadro 3. 2

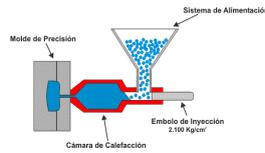
Alternativas de diseño

	Métodos		
	Función		
	A	B	C
Sistema de almacenamiento de materia prima	<p>Tolva Rectangular</p>  <p>Tiene una mayor capacidad de almacenaje. La velocidad de descarga es baja. Se utiliza para tiempo de almacenaje largo.</p>	<p>Tolva prismática</p>  <p>Fácil de construir pero presentan un problema, por la acumulación de material en las esquinas.</p>	<p>Tolva cilíndrica</p>  <p>Son más eficaces desde el punto de costo. Fácil de construir, para descargas rápidas y no hay problema de acumulación.</p>
Sistema de fundición	<p>Fundición por resistencia eléctrica</p>  <p>Fácil y seguro de usar, mejor control de la temperatura. Un sistema sencillo, simple y silencioso.</p>	<p>Fundición por fuego</p>  <p>Requiere un sistema separado para su funcionamiento. Mayor costo de fabricación y mantenimiento. Requiere un sistema para la eliminación de gases de combustión.</p>	<p>Fundición por vapor</p>  <p>Necesita un sistema separado para su funcionamiento. Mayor costo de fabricación y mantenimiento.</p>

CONTINÚA

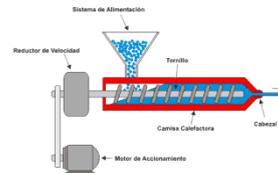
Sistema de Inyección

Cilindro - Émbolo



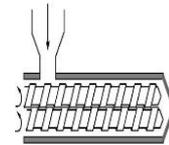
Costo de producción y construcción relativamente bajas. Para piezas pequeñas y de geometrías sencillas.

Extrusión o husillo



Dado el diseño de alta tecnología del husillo, los costos incrementan significativamente. Para producción continua y en grandes cantidades.

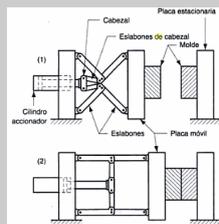
Doble husillo



Los costos son altos, por el diseño y construcción de los husillos, ya que presentan una geometría complicada y un diseño de alta tecnología.

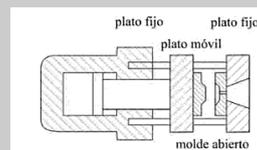
Sistema de cierre

Cierre mecánico



Requiere una mayor cantidad de elementos mecánicos para transmitir el movimiento necesario. Presenta una mayor complejidad para automatizar el proceso.

Cilindro neumático



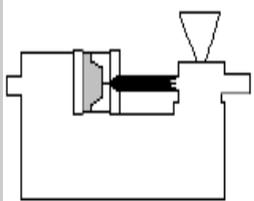
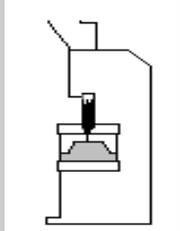
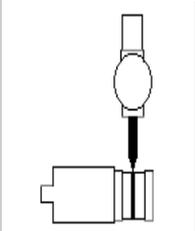
Presenta una mayor simplicidad de diseño, control y fácil montaje. Cierre preciso, necesario para el funcionamiento de la máquina.

Sin fin motor eléctrico



Mayor costo de fabricación, requiere un elemento adicional que genere potencia para el funcionamiento del sistema.

	Motorreductor	Manual	Motor hidráulico
Sistema de potencia	 <p>No requiere un sistema complejo para su funcionamiento. Fácil control de su desempeño. Tamaño y peso reducido.</p>	 <p>Sistema de control no es preciso. Requiere la operación de una persona permanente. Mayor complejidad para la operación.</p>	 <p>Elementos adicionales requeridos. Altos costos de instalación y mantenimiento.</p>

Disposición de inyección	Horizontal	Vertical	Lateral
	 <p>Esta configuración necesita más espacio, para su funcionamiento. Requiere elementos para la sujeción de la boquilla de inyección.</p>	 <p>Configuración sencilla, el molde no necesita ningún tipo de agarre para sostener la boquilla, ya que esta se sostiene en el molde por gravedad.</p>	 <p>Esta configuración es más sencilla ya que no requiere mucho espacio para su funcionamiento. Llenado del molde más efectivo por la gravedad.</p>

Fuente: (ASIPLA, 2013)

3.1.2. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Cuadro 3. 3

Sistema de almacenamiento de materia prima.

Métodos Criterios de diseño	A Horizontal, forma rectangular		B Vertical, forma prismática		C Vertical, forma cilíndrica	
	<u>Valor</u> 10	Valor Ponderado	<u>Valor</u> 10	Valor Ponderado	<u>Valor</u> 10	Valor Ponderado
	Costos de fabricación	10,0	4,0	9,0	3,6	8,0
Eficiencia	6,0	0,9	10,0	1,5	10,0	1,5
Fabricación	6,0	0,6	7,0	0,7	9,0	0,9
Seguridad	6,0	0,9	8,0	1,2	9,0	1,4
Facilidad de operación	9,0	0,9	9,0	0,9	9,0	0,9
Bajo mantenimiento	7,0	0,7	8,0	0,8	9,0	0,9
Porcentaje total		8,0		8,7		8,8

Cuadro 3. 4

Sistema de fundición

Métodos Criterios de diseño	A Por resistencia eléctrica		B Por fuego		C Por vapor	
	<u>Valor</u> 10	Valor Ponderado	<u>Valor</u> 10	Valor Ponderado	<u>Valor</u> 10	Valor Ponderado
	Costos de fabricación	8,0	3,2	4,0	1,6	3,0
Eficiencia	9,0	1,4	5,0	0,8	8,0	1,2
Fabricación	9,0	0,9	6,0	0,6	4,0	0,4
Seguridad	9,0	1,4	3,0	0,5	4,0	0,6
Facilidad de operación	9,0	0,9	4,0	0,4	4,0	0,4
Bajo mantenimiento	9,0	0,9	3,0	0,3	3,0	0,3
Porcentaje total		8,7		4,2		4,1

Cuadro 3. 5

Sistema de inyección

Métodos Criterios de diseño	A Cilindro - Émbolo		B Por extrusión o husillo		C Doble husillo	
	Valor 10	Valor Ponderado	Valor 10	Valor Ponderado	Valor 10	Valor Ponderado
Costos de fabricación	9,0	3,8	7,5	3,0	6,0	2,4
Eficiencia	5,0	0,8	8,0	1,2	9,0	1,4
Fabricación	8,0	0,8	8,0	0,8	6,0	0,6
Seguridad	8,0	1,2	8,0	1,2	8,0	1,2
Facilidad de operación	9,0	0,9	9,0	0,9	9,0	0,9
Bajo mantenimiento	8,0	0,8	8,0	0,8	8,0	0,8
Porcentaje total		8,3		7,9		7,3

Cuadro 3. 6

Sistema de cierre.

Métodos Criterios de diseño	A Mecánico		B Cilindro Neumático		C Sin fin motor eléctrico	
	Valor 10	Valor Ponderado	Valor 10	Valor Ponderado	Valor 10	Valor Ponderado
Costos de fabricación	4,0	1,6	6,0	2,4	7,0	2,8
Eficiencia	8,0	1,2	8,0	1,2	7,0	1,1
Fabricación	6,0	0,6	8,0	0,8	6,0	0,6
Seguridad	7,0	1,1	7,0	1,1	7,0	1,0
Facilidad de operación	7,0	0,7	7,0	0,7	8,0	0,8
Bajo mantenimiento	5,0	0,5	8,0	0,8	6,0	0,6
Porcentaje total		5,7		7,0		6,9

Cuadro 3. 7

Sistema de potencia

Métodos ↓ Criterios de diseño	A		B		C	
	Motorreductor		Manual		Motor hidráulico	
	Valor 10	Valor Ponderado	Valor 10	Valor Ponderado	Valor 10	Valor Ponderado
Costos de fabricación	7,0	2,8	8,0	3,2	6,0	2,4
Eficiencia	8,0	1,2	7,0	1,1	7,0	1,1
Fabricación	8,0	1,2	8,0	1,1	7,0	1,1
Seguridad	8,0	0,8	7,0	0,7	8,0	0,8
Facilidad de operación	9,0	0,9	7,0	0,7	9,0	0,9
Bajo mantenimiento	6,5	0,7	6,5	0,7	6,0	0,6
Porcentaje total		7,6		7,5		6,9

Cuadro 3. 8

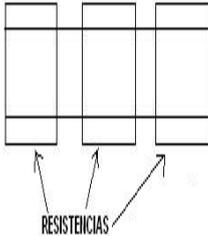
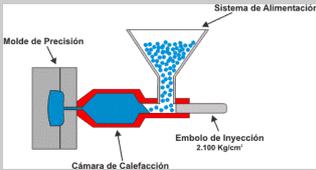
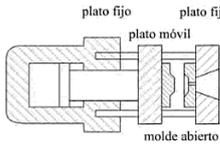
Disposición de inyección

Métodos ↓ Criterios de diseño	A		B		C	
	Horizontal		Vertical		Lateral	
	Valor 10	Valor Ponderado	Valor 10	Valor Ponderado	Valor 10	Valor Ponderado
Costos de fabricación	9,0	3,6	8,0	3,2	10,0	4,0
Eficiencia	8,0	1,2	8,0	1,2	8,0	1,2
Fabricación	9,0	0,9	7,0	0,7	8,0	0,8
Seguridad	9,0	1,4	9,0	1,4	9,0	1,4
Facilidad de operación	8,0	0,8	7,0	0,7	8,0	0,8
Bajo mantenimiento	9,0	0,9	9,0	0,9	9,0	0,9
Porcentaje total		8,8		8,1		9,1

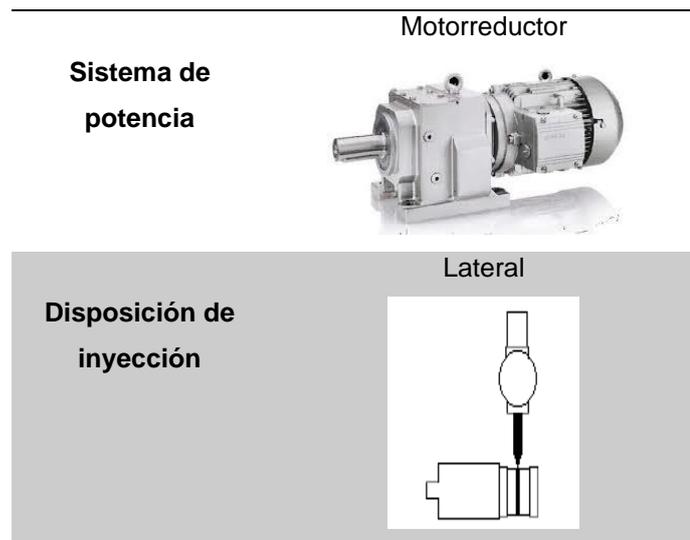
3.1.3. ESTRUCTURA MÁQUINA

Con la ayuda de la matriz de decisiones se obtiene la siguiente configuración para el diseño y construcción de la máquina inyectora, como se muestra en la tabla 3.9.

Cuadro 3. 9
Elementos de la máquina

Sistema	Alternativa
Sistema de almacenamiento de materia prima	Vertical, cilíndrica 
Sistema de fundición	Por resistencia eléctrica 
Sistema de inyección	Cilindro - Émbolo 
Sistema de cierre	Cilindro Neumático 

CONTINÚA 



Fuente: (ASIPLA, 2013)

3.1.4. ESQUEMA

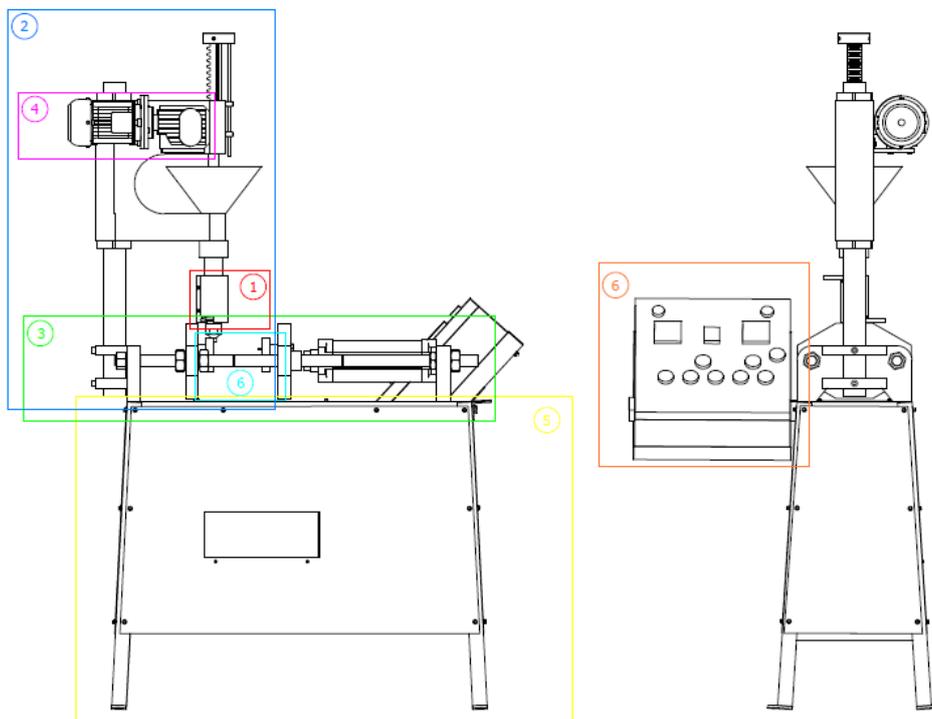


Figura 3. 1 Esquema de la Inyectora

Cuadro 3. 10

Sistemas de la Inyectora

No.	Detalle
1	Sistema de Fundición
2	Sistema de Inyección
3	Sistema de Cierre
4	Sistema de Potencia
5	Conjunto Bastidor
6	Matriz
7	Sistema de Control

3.1.5. PARÁMETROS DE LA MÁQUINA

Los parámetros para el diseño de la máquina son los siguientes:

- Presión de inyección 20 MPa¹ (Rango para inyección 10-30 MPa)
- Masa de inyección 15 gr
- Voltaje de funcionamiento 220V
- Material de trabajo: Polietileno

Tabla 3. 1

Propiedades del plástico

Concepto	Polietileno		
	Alta densidad	Baja densidad	Media densidad
Densidad (g/cm ³)	0,94 - 0,96	0,91 - 0,93	0,93 - 0,94
Temperatura máxima en uso continuo (°C)	120	82 - 100	102
Temperatura de moldeo (°C)	150 - 430	135 - 370	177 - 205

Fuente: (Avalone & Baumeister, 1995)

3.1.6. DEFINICIÓN DE FACTORES DE SEGURIDAD

En la ingeniería se emplean factores de seguridad con los que podemos asegurar condiciones inciertas o desconocidas en el funcionamiento de un

¹ Manual de Moldeo por Inyección de polímeros, Empresa DuPont, 20

elemento, sistema o conjunto. Siempre y cuando el factor de seguridad sea mayor que uno. Para el diseño de la máquina de inyección de plástico se utilizó como referencia un factor de seguridad nominal entre 1,2 – 3,5, tomando en cuenta la utilización, su aplicación, nivel de confianza del diseño, la confiabilidad de los materiales, el bajo nivel de riesgo de operación. La máquina tiene varios elementos y subconjuntos, sin embargo no todos están sometidos a las mismas fuerzas, por tal motivo se realizó un análisis en los elementos donde hay puntos críticos, estos son en la columna, el engranaje, el eje del engranaje, las chavetas, los rodamientos, los ejes del sistema de cierre, los elementos de anclaje más importantes.

Cuadro 3. 11

Factores de seguridad nominales

No.	Detalle	Fsn
1	Columna	1,2
2	Cañón	3,5
3	Cuerpo columna	2,5
4	Engranaje	2,5
5	Eje del engranaje	1,8
6	Chaveta	1,5
7	Rodamiento	1,5
8	Ejes	3,0
9	Juntas empernadas	1,4 - 2,5
10	Placa 1	2,5
11	Placa 2	2,5
12	Porta matriz fijo	2,5
13	Porta matriz móvil	2,5

3.2. DISEÑO MECÁNICO

3.2.1. CÁLCULOS

En esta sección se calcula la fuerza de inyección generada por la presión de inyección que es uno de los parámetros principales para el diseño y construcción de máquina inyectora de plástico, con los datos obtenidos se realiza el cálculo de los sistemas de la máquina y sus elementos principales.

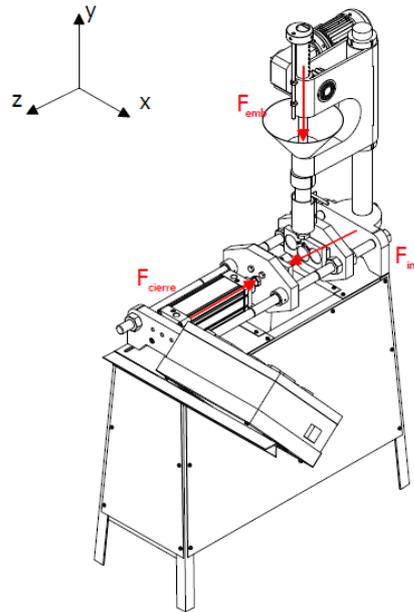


Figura 3. 2 Diagrama de fuerza de la máquina

3.2.1.1. Cálculo de la fuerza de inyección

Con el parámetro de la presión de inyección se calcula la fuerza de inyección.

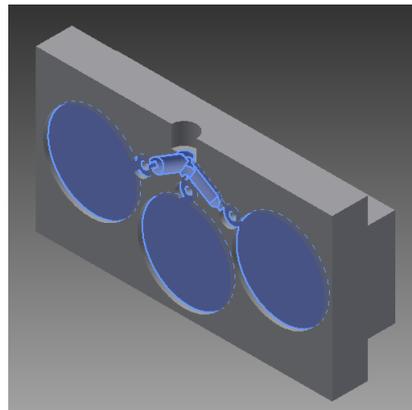


Figura 3. 3 Esquema de la matriz de inyección

$$P_{iny} := 20\text{MPa}$$

$$A_{proy} := 6371\text{mm}^2$$

$$F_{iny} := P_{iny} \cdot A_{proy} = 127.42 \cdot \text{kN}$$

Área proyectada de la matriz
obtenida del software CAD.

Fuerza de inyección generada por la
presión de inyección.

3.2.1.2. Cálculo del Sistema de Inyección

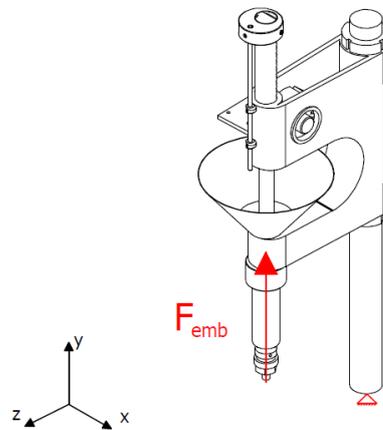


Figura 3. 4 Fuerzas sobre el sistema inyección

$$A_{emb} := \pi \cdot \frac{(28\text{mm})^2}{4} = 615.752 \text{ mm}^2$$

$$F_{emb} := P_{iny} \cdot A_{emb} = 1.232 \times 10^4 \text{ N}$$

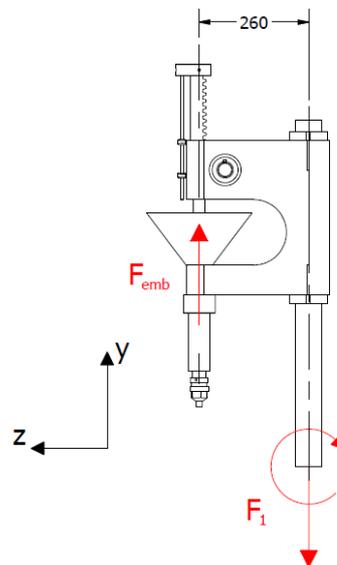


Figura 3.5 DCL sistema de inyección

Fuerza de reacción en la base de la columna

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F_1 := F_{emb} = 1.232 \times 10^4 \text{ N}$$

Momento de reacción en la base de la columna

$$\Sigma M=0$$

$$M_1 := F_{emb} \cdot 260 \text{ mm} = 3.202 \times 10^3 \text{ N}\cdot\text{m}$$

3.2.1.2.1. Cálculo de la columna

Propiedades geométricas y de materiales de la columna

$$L_{col} := 708 \text{ mm} \quad \Phi_{i_{col}} := 52 \text{ mm} \quad \Phi_{e_{col}} := 60 \text{ mm}$$

$$r_{col} := \frac{\Phi_{e_{col}}}{2} = 30 \cdot \text{mm}$$

$$A_{col} := \frac{\pi}{4} \cdot (\Phi_{e_{col}}^2 - \Phi_{i_{col}}^2) = 703.717 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_{col} := \frac{\pi}{64} \cdot (\Phi_{e_{col}}^4 - \Phi_{i_{col}}^4) = 2.773 \times 10^5 \cdot \text{mm}^4$$

$$S_{y_{col}} := 440 \text{ MPa} \quad \text{Resistencia a la fluencia del Acero SAE 1018}$$

$$E_{col} := 205 \text{ GPa} \quad \text{Módulo Elástico del Acero SAE 1018}$$

$$\sigma_{F1} := \frac{F_1}{A_{col}} = 17.5 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{M1} := \frac{M_1 \cdot r_{col}}{I_{col}} = 346.447 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{t_{col}} := \sigma_{F1} + \sigma_{M1}$$

$$\sigma_{t_{col}} = 363.947 \cdot \text{MPa}$$

$$F_{s_{col}} := \frac{S_{y_{col}}}{\sigma_{t_{col}}} = 1.209$$

Factor de seguridad de la columna

Rigidez de la columna

$$a_{col} := 311 \text{ mm}$$

$$t_{col} := \frac{M_1 \cdot a_{col}}{2E_{col} \cdot I_{col}} \cdot (2L_{col} - a_{col})$$

$$t_{col} = 0.968 \cdot \text{mm}$$

Deflexión de la columna

3.2.1.2.2. Cálculo del cañón

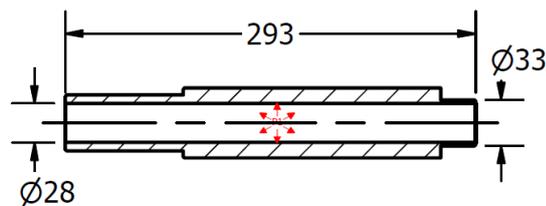


Figura 3. 6 Diagrama del cañón

Propiedades geométricas y del material del cañón.

$$\phi_{e_{cañ}} := 33 \text{ mm}$$

$$\phi_{i_{cañ}} := 28 \text{ mm}$$

$$S_{y_{cañ}} := 750 \text{ MPa}$$

$$r_{i_{cañ}} := \frac{\phi_{i_{cañ}}}{2} = 14 \cdot \text{mm}$$

$$r_{e_{cañ}} := \frac{\phi_{e_{cañ}}}{2} = 16.5 \cdot \text{mm}$$

$$e_{cañ} := \frac{\phi_{e_{cañ}} - \phi_{i_{cañ}}}{2} = 2.5 \cdot \text{mm}$$

$$\frac{e_{cañ}}{r_{i_{cañ}}} = 0.179$$

$$\frac{e_{cañ}}{r_{i_{cañ}}} > \frac{1}{20}$$

La relación entre el espesor y el radio interior del cañón cumple con la condición para el cálculo como cilindro de pared gruesa.

$$\sigma_t := \frac{r_{i\text{cañ}}^2 \cdot P_{\text{iny}}}{r_{e\text{cañ}}^2 - r_{i\text{cañ}}^2} \cdot \left(\frac{r_{e\text{cañ}}^2}{r_{i\text{cañ}}^2} + 1 \right) = 1.228 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$\sigma_r := \frac{r_{i\text{cañ}}^2 \cdot P_{\text{iny}}}{r_{e\text{cañ}}^2 - r_{i\text{cañ}}^2} \cdot \left(\frac{r_{e\text{cañ}}^2}{r_{i\text{cañ}}^2} - 1 \right) = 2 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$\sigma_l := \frac{r_{i\text{cañ}}^2 \cdot P_{\text{iny}}}{r_{e\text{cañ}}^2 - r_{i\text{cañ}}^2} = 51.41 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{cañ}} := \sigma_r + \sigma_l + \sigma_t = 194.23 \cdot \text{MPa}$$

$$F_s := \frac{S_{y\text{cañ}}}{\sigma_{\text{cañ}}} = 3.861 \quad \text{Factor de seguridad del cañón}$$

3.2.1.2.3. Cálculo del émbolo

Se realiza un análisis del émbolo como una columna empotrada bajo carga de compresión. Para lo cual mediante las propiedades geométricas del émbolo y las propiedades del material se obtiene la fuerza crítica que soporta el elemento.

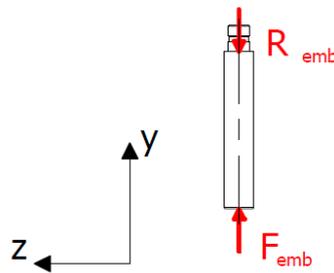


Figura 3. 7 Diagrama de fuerzas en el émbolo

$$\Sigma F=0$$

$$\Sigma M=0$$

$$R_{\text{emb}} := F_{\text{emb}} = 12.315 \text{ kN}$$

$$\phi_{\text{emb}} := 28 \text{ mm}$$

$$L_{\text{emb}} := 150 \text{ mm}$$

$$E_{\text{emb}} := 200 \text{ GPa}$$

$$S_{y_{\text{emb}}} := 750 \text{ MPa}$$

$$K_{\text{emb}} := 2$$

$$L_{\text{emb}} := L_{\text{emb}} \cdot K_{\text{emb}} = 300 \cdot \text{mm}$$

$$I_{\text{emb}} := \pi \cdot \frac{\phi_{\text{emb}}^4}{64} = 3.017 \times 10^4 \cdot \text{mm}^4$$

$$A_{\text{emb}} = 6.158 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$r_{\text{emb}} := \sqrt{\frac{I_{\text{emb}}}{A_{\text{emb}}}} = 7 \cdot \text{mm}$$

$$F_{\text{cr}} := \frac{\pi^2 \cdot E_{\text{emb}} \cdot I_{\text{emb}}}{L_{\text{emb}}^2} = 661.743 \cdot \text{kN}$$

Fuerza crítica en el émbolo

3.2.1.2.4. Cálculo de la cremallera

Se realiza un análisis de la cremallera como una columna bajo carga de compresión. Para lo cual mediante las propiedades geométricas de la cremallera y las propiedades del material se obtiene la fuerza crítica que soporta el elemento.

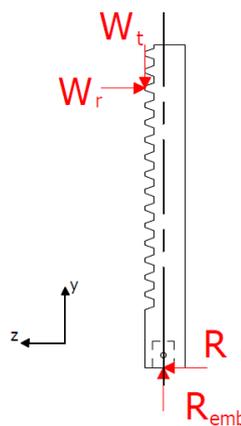


Figura 3. 8 Diagrama de fuerzas en el émbolo

$$M_{\text{cr}} := 5\text{mm}$$

$$\phi_{\text{cr}} := 20^\circ$$

$$e_{\text{cr}} := 34.65\text{mm}$$

$$\Sigma F_y=0 \quad W_t := R_{emb} = 12.315 \cdot \text{kN} \quad W_r := W_t \cdot \tan(\phi_{cr}) = 4.482 \cdot \text{kN}$$

$$\Sigma F_y=0 \quad R_r := W_r = 4.482 \cdot \text{kN}$$

$$\phi_{cre} := 40 \text{mm} \quad L_{cre} := 300 \text{mm}$$

$$E_{cre} := 200 \text{GPa} \quad S_{y_{cre}} := 655 \text{MPa} \quad S_{ut_{cr}} := 758 \text{MPa}$$

$$K_{cre} := 2$$

$$L_{e_{cre}} := L_{cre} \cdot K_{cre} = 600 \cdot \text{mm}$$

$$I_{cre} := \pi \cdot \frac{\phi_{cre}^4}{64} = 1.257 \times 10^5 \cdot \text{mm}^4$$

$$A_{cre} := \pi \cdot \frac{\phi_{cre}^2}{8} = 628.319 \cdot \text{mm}^2$$

$$r_{cre} := \sqrt{\frac{I_{cre}}{A_{cre}}} = 14.142 \cdot \text{mm}$$

$$F_{cr1} := \frac{\pi^2 \cdot E_{cre} \cdot I_{cre}}{L_{e_{cre}}^2} = 689.028 \cdot \text{kN}$$

Fuerza crítica en la cremallera

Cálculo del diente de la cremallera

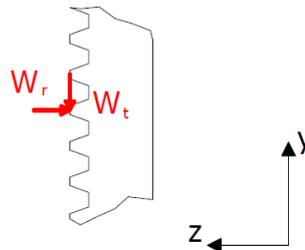


Figura 3. 9 Fuerzas en el diente del engranaje

$$a_{cr} := 2.70$$

$$b_{cr} := -0.265$$

$$K_{a_{cr}} := a_{cr} \cdot 110^{b_{cr}} = 0.777 \quad K_{s_{cr}} := 1 \quad K_{m_{cr}} := 1$$

$$K_{v_{cr}} := \frac{6.1 + 0.043}{6.1} = 1.007 \quad Y_{cr} := 0.309$$

$$\sigma_{b_{cr}} := \frac{Wt}{e_{s_{cr}} \cdot M_{cr} \cdot Y_{cr}} \cdot \frac{K_{a_{cr}} \cdot K_{s_{cr}} \cdot K_{m_{cr}}}{K_{v_{cr}}} = 177.48 \cdot \text{MPa}$$

$$S_{t_{cr}} := 36840 \text{ psi} = 254.003 \cdot \text{MPa}$$

$$Y_{N_{cr}} := 6.1514 \cdot (10^4)^{-0.1192} = 2.052$$

$$Y_{\theta_{cr}} := 1$$

$$Y_{Z_{cr}} := 0.85$$

$$S_{F_{cr}} := \frac{\frac{S_{t_{cr}} \cdot Y_{N_{cr}}}{Y_{\theta_{cr}} \cdot Y_{Z_{cr}}}}{\sigma_{b_{cr}}} = 3.455 \quad \text{Factor de seguridad AGMA}$$

3.2.1.2.5. Cálculo del cuerpo columna

Se realizó una simulación estática del cuerpo de la columna, por su geometría compleja. Para esto se utilizó un software CAD con un complemento para análisis estático.

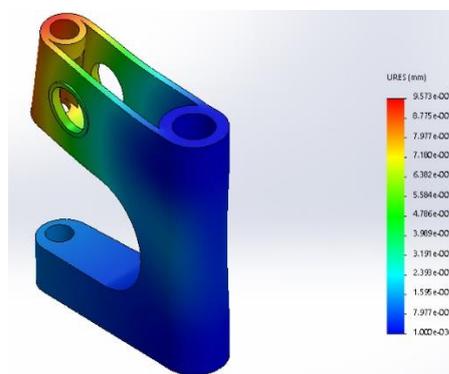


Figura 3. 10 Simulación del cuerpo columna

Del reporte generado por el software se obtiene el factor de seguridad mínimo y la deflexión máxima.

$$FS_{col} := 4.473$$

$$\delta_{max} := 0.096\text{mm}$$

3.2.1.3. Cálculo del sistema de potencia

Con la fuerza necesaria en el émbolo se procede a calcular los elementos de este sistema, que son el engranaje, el eje, chaveta y el motorreductor.

3.2.1.3.1. Cálculo del engranaje

En esta sección se calcula la geometría del engranaje y se realiza un análisis, para obtener el factor de seguridad de este elemento.

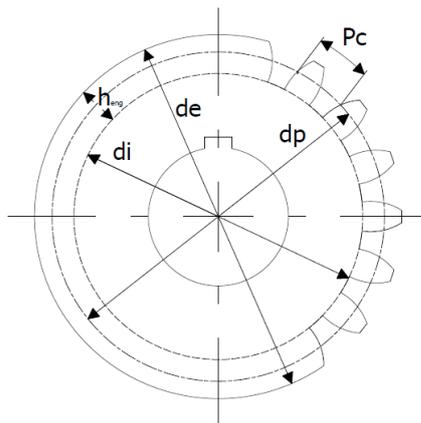


Figura 3. 11 Nomenclatura engranaje recto

$$M := 5\text{mm} \quad z := 19 \quad \phi := 20^\circ \quad dp := M \cdot z = 0.095\text{ m}$$

$$Pc := \frac{\pi \cdot dp}{z} = 15.708 \cdot \text{mm}$$

$$de := M \cdot (z + 2) = 105 \cdot \text{mm} \quad re := \frac{de}{2} = 52.5\text{ mm}$$

$$di := M \cdot (z - 2.5) = 82.5 \cdot \text{mm}$$

$$h_{eng} := 2.25 \cdot M = 11.25 \cdot \text{mm}$$

$$es := 6 \cdot M = 30 \cdot \text{mm}$$

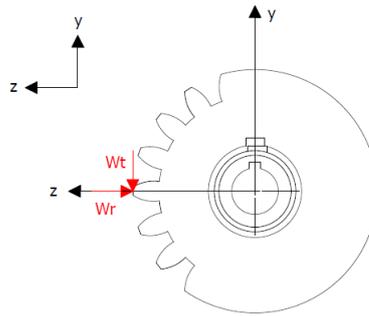


Figura 3. 12 Esquema de fuerzas en un diente del engranaje

$$W_t := F_{emb} = 12.315 \text{ kN} \quad T_m := W_t \cdot r_e = 646.54 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$W_r := W_t \cdot \tan(\phi) = 4.482 \cdot \text{kN}$$

Las propiedades del material del engranaje son:

$$S_{ut} := 758 \text{ MPa} \quad S_y := 655 \text{ MPa}$$

Una vez determinados los parámetros geométricos del engranaje e identificadas las fuerzas que se generan en el engranaje, se procede a realizar un análisis del engranaje sometido a los esfuerzos, tomando en cuenta los factores de corrección necesarios y que se indican en el libro Diseño en Ingeniería de Shigley, 8va Edición capítulo 6.

$$a := 2.70$$

$$b := -0.265$$

$$K_a := a \cdot 110^b = 0.777 \quad K_s := 1 \quad K_m := 1$$

$$K_v := \frac{6.1 + 0.043}{6.1} = 1.007 \quad Y := 0.314$$

$$\sigma_b := \frac{W_t}{es \cdot M \cdot Y} \cdot \frac{K_a \cdot K_s \cdot K_m}{K_v} = 201.725 \cdot \text{MPa}$$

$$S_t := 36840 \text{ psi} = 254.003 \cdot \text{MPa}$$

$$Y_N := 6.1514 \cdot (10^4)^{-0.1192} = 2.052$$

$$Y_\theta := 1$$

$$Y_Z := 0.85$$

$$S_F := \frac{S_t \cdot Y_N}{Y_\theta \cdot Y_Z \cdot \sigma_b} = 3.04$$

Factor de seguridad AGMA

3.2.1.3.2. Cálculo del eje del engranaje

Para este cálculo se toma en cuenta las fuerzas a las que está sometido. Se lo realiza con la ayuda de un software para diseño de vigas.

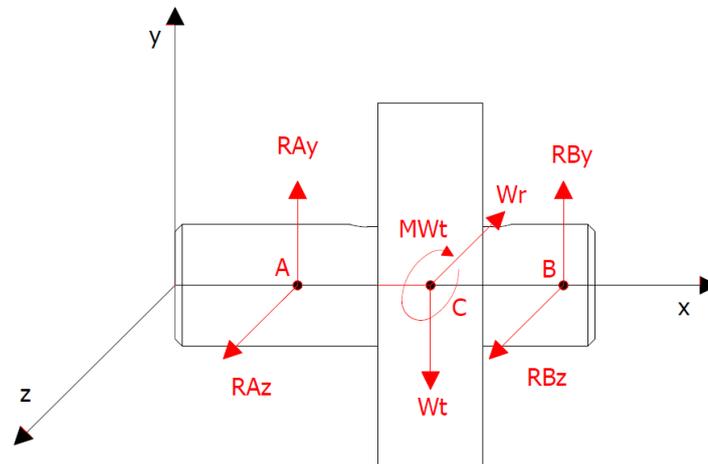


Figura 3. 13 Diagrama de cuerpo libre del eje del engranaje

Propiedades Geométricas del eje

$$l_{\text{eje}} := 120\text{mm}$$

$$\phi_{\text{eje}} := 35\text{mm}$$

$$\phi_{\text{ejem}} := 40\text{mm}$$

$$\phi_{\text{ejei}} := 20\text{mm}$$

$$A_0 := 35\text{mm}$$

$$AC := 38\text{mm}$$

$$CB := 38\text{mm}$$

Propiedades del material del eje:

$$S_{ute} := 860\text{MPa} = 1.247 \times 10^5 \text{psi}$$

$$S_{ye} := 860\text{MPa}$$

$$E := 200\text{GPa} \quad I := \frac{\pi \cdot \phi_{\text{ejem}}^4}{64} = 1.257 \times 10^5 \cdot \text{mm}^4$$

$$E \cdot I = 25.133 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}^2$$

Se ingresa los datos de las fuerzas en el software.

$$W_t = 12.315 \cdot \text{kN}$$

$$W_r = 4.482 \text{kN}$$

Los resultados obtenidos mediante el software son los siguientes:

$$R_{Ay} := 6.158 \text{kN}$$

$$R_{By} := 6.158 \text{kN}$$

$$M_y := R_{Ay} \cdot AC = 234.004 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$\delta_{xy1} := 0.008 \text{ mm}$$

$$\theta_{xy} := -0.019^\circ$$

$$R_{Az} := 2.241 \text{ kN} \quad R_{Bz} := 2.241 \text{ kN}$$

$$M_z := R_{Az} \cdot AC = 85.158 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$\delta_{xz1} := 0.003 \text{ mm}$$

$$\theta_{xz} := -0.007^\circ$$

$$M_a := \sqrt{M_y^2 + M_z^2} = 249.018 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$\delta_e := \sqrt{\delta_{xy1}^2 + \delta_{xz1}^2} = 8.739 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\theta_e := \sqrt{\theta_{xy}^2 + \theta_{xz}^2} = 0.02^\circ$$

$$\delta_p := 0.010 \text{ in} = 0.254 \cdot \text{mm} \quad \delta_e < \delta_p$$

$$\theta_p := 0.026 \quad \theta_e < \theta_p$$

En el punto C, se encuentra un chavetero por lo tanto en la sección 7-4 del libro Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, 8va edición se recomienda los siguientes valores para los factores de concentración de esfuerzos.

$$K_t := 2.2 \quad K_{ts} := 3 \quad K_f := K_t = 2.2 \quad K_{fs} := K_{ts} = 3$$

$$a = 2.7 \quad b = -0.265 \quad K_{ae} := a \cdot (124.728)^b = 0.752$$

$$K_b := 1.24 \times 40^{-0.107} = 0.836 \quad K_c := 1 \quad K_d := 1$$

$$Z_a := 2.326 \quad K_e := 1 - 0.08Z_a = 0.814$$

$$S_e := S_{ute} \cdot K_{ae} \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e = 439.557 \text{ MPa}$$

$$n := \frac{\pi \cdot \phi_{ejem}^3}{16 \left[\frac{2 \cdot (Kf \cdot Ma)}{Se} + \frac{3 (Kfs \cdot Tm)^2}{Sute} \right]^{\frac{1}{2}}} = 1.964 \quad \text{Factor de seguridad}$$

$$\sigma'_a := \frac{32 \cdot Kf \cdot Ma}{\pi \cdot \phi_{ejem}^3} = 87.191 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma'_m := \sqrt{3 \cdot \left(\frac{16 \cdot Kfs \cdot Tm}{\pi \cdot \phi_{ejem}^3} \right)^2} = 267.342 \cdot \text{MPa}$$

$$nf1 := \left(\frac{\sigma'_a}{Se} + \frac{\sigma'_m}{Sute} \right)^{-1} = 1.964 \quad \text{Factor de seguridad mediante el Criterio de Goodman}$$

$$ny := \frac{Sye}{\sigma'_a + \sigma'_m} = 2.426 \quad \text{Factor de seguridad a la fluencia.}$$

3.2.1.3.3. Cálculo de chavetas

Chaveta del engranaje

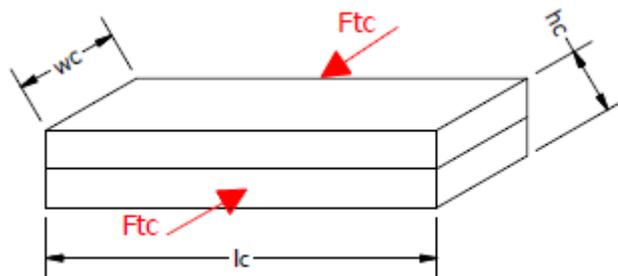


Figura 3. 14 Nomenclatura y fuerzas de la chaveta

Propiedades geométricas y del material acero SAE 1050 de la chaveta

$$\phi_{ejem} = 40 \cdot \text{mm}$$

$$\phi_{ejem} = 1.575 \cdot \text{in}$$

$$wc1 := 8 \text{mm}$$

$$hc1 := 6 \text{mm}$$

$$pc1 := 3 \text{mm}$$

$$lc1 := 30 \text{mm}$$

$$Syc1 := 655 \text{MPa}$$

$$Ssy1 := 0.577 \cdot Syc1 = 377.935 \cdot \text{MPa}$$

Se calcula la fuerza generada por el torque sobre la chaveta.

$$T_m = 646.54 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \qquad F_{tc1} := \frac{T_m}{\frac{\phi_{eje}}{2}} = 3.695 \times 10^4 \text{ N}$$

$$\tau_{cc1} := \frac{F_{tc1}}{w_{c1} \cdot l_{c1}} = 153.938 \cdot \text{MPa} \qquad \sigma_{ac1} := \frac{2 \cdot F_{tc1}}{h_{c1} \cdot l_{c1}} = 410.501 \cdot \text{MPa}$$

$$\eta_{ac1} := \frac{S_{yc1}}{\sigma_{ac1}} = 1.596 \qquad \eta_{cc1} := \frac{S_{sy1}}{\tau_{cc1}} = 2.455$$

Factor de seguridad por aplastamiento

Factor de seguridad por cortante

Chaveta motorreductor

Propiedades geométricas y del material Acero SKF 705 de la chaveta

$$\phi_{eje1} = 20 \cdot \text{mm} \qquad \phi_{eje1} = 0.787 \cdot \text{in}$$

$$w_{c2} := 8 \text{ mm} \qquad h_{c2} := 8 \text{ mm}$$

$$p_{c2} := 4 \text{ mm} \qquad l_{c2} := 35 \text{ mm}$$

$$S_{yc2} := 758 \text{ MPa} \qquad S_{sy2} := 0.577 \cdot S_{yc2} = 437.366 \cdot \text{MPa}$$

Se calcula la fuerza generada por el torque sobre la chaveta.

$$F_{tc2} := \frac{T_m}{\frac{\phi_{eje1}}{2}} = 64.654 \cdot \text{kN}$$

$$\tau_{cc2} := \frac{F_{tc2}}{w_{c2} \cdot l_{c2}} = 230.907 \cdot \text{MPa} \qquad \sigma_{ac2} := \frac{2 \cdot F_{tc2}}{h_{c2} \cdot l_{c2}} = 461.814 \cdot \text{MPa}$$

$$\eta_{ac2} := \frac{S_{yc2}}{\sigma_{ac2}} = 1.641 \qquad \eta_{cc2} := \frac{S_{sy2}}{\tau_{cc2}} = 1.894$$

Factor de seguridad por aplastamiento

Factor de seguridad por cortante

3.2.1.3.4. Selección de rodamientos

Análisis en el eje del engranaje para la selección de rodamientos, mediante el cálculo recomendado en el catálogo de rodamientos y con un software de diseño.

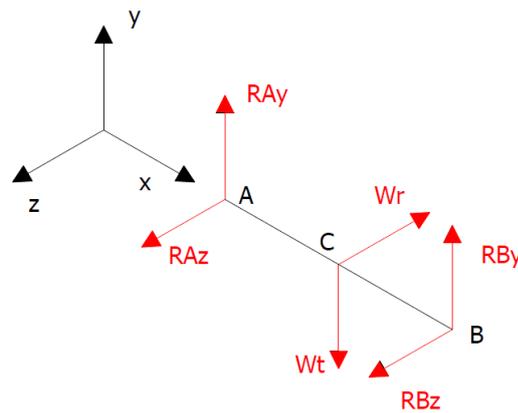


Figura 3. 15 Diagrama de cuerpo libre en el eje del engranaje

$$AC = 38 \text{ mm}$$

$$CB = 38 \text{ mm}$$

$$Wt = 12.315 \cdot \text{kN}$$

$$Wr = 4.482 \text{ kN}$$

Cálculo de las reacciones en los apoyos, mediante la sumatoria de fuerzas.

$$RAy = 6.158 \times 10^3 \text{ N}$$

$$RBy = 6.158 \times 10^3 \text{ N}$$

$$RAz = 2.241 \times 10^3 \text{ N}$$

$$RBz = 2.241 \times 10^3 \text{ N}$$

$$RA := \sqrt{RAy^2 + RAz^2} = 6.553 \cdot \text{kN}$$

$$RAa := 0 \text{ kN}$$

$$RB := \sqrt{RBy^2 + RBz^2} = 6.553 \cdot \text{kN}$$

$$RBa := 0 \text{ kN}$$

$$x0 := 1$$

$$y0 := 0$$

$$P0 := x0 \cdot RA + y0 \cdot RAa = 6.553 \text{ kN}$$

$$s0 := 1$$

$$C_0 := s_0 \cdot P_0 = 6.553 \cdot \text{kN}$$

Seleccionamos un rodamiento SKF 6007, ya que el alojamiento del rodamiento tiene un diámetro de 62mm.

$$C_1 := 16.8 \text{ kN} \quad C_{01} := 10.2 \text{ kN} \quad C_{01} > C_0$$

Mediante el software de diseño, se ingresa las fuerzas generadas y el tipo de uso que se va a dar a la máquina, el software nos recomienda el rodamiento más adecuado.

The screenshot shows the SKF Rolling Bearings software interface. The main window is titled "Rolling bearings SKF". The "Check lines: 3.13:" section is active, showing input parameters for a "Deep groove ball bearing, single row".

Input Parameters:

- 1.7 Bearing load: Fluctuating load
- 1.8 Rotational speed: $n = 8.5$ [1/min]
- 1.9 Radial load: $F_r = 7038.0$ [N]
- 1.10 Axial load: $F_a = 0.0$ [N]
- 1.11 Factor of additional dynamic forces: 1
- 1.12 Required parameters of bearing
- 1.13 Bearing life: $L_h = 20000$ [h]
- 1.14 Static safety factor: $s_0 = 1.00$
- 1.15 Additional dynamic forces: None
- 1.16 From geared transmissions
- 1.17 From belt drives
- 1.18 Ordinary machined gears (deviations of shape and pitch 0.02-0.1mm)
- 1.19 Factor: $f_k = 1.1 - 1.3$, 1.20
- 1.20 Electric rotary machines, turbines, turbo-compressors
- 1.21 Factor: $f_d = 1 - 1.2$, 1.10
- 1.22 From belt drives
- 1.23 V-belts
- 1.24 Factor: $f_b = 1.9 - 2.5$, 2.20

2.0 Selection of bearing size

2.1 Bearing size: Find first, Find next

ID	d	D	B	C	CO	nr	nmax	Bearing
631	35,01	62,01	14,01	169001	102001	1	70001	6007-RS1*

2.2 Bearing parameters

2.3 Basic dynamic load rating	C	16900	[N]
2.4 Equivalent dynamic load	P	7038	[N]
2.5 Basic rating life	L10h	26669	[h]
2.6 Basic static load rating	C0	10200	[N]
2.7 Equivalent static load	P0	7038	[N]
2.8 Static safety factor	s0	1,45	
2.9 Permissible radial load	Fmax	-	[N]
2.10 Permissible axial load	Famax	-	[N]
2.11 Reference speed	nr	-	[1/min]
2.12 Limiting speed	nmax	7000	[1/min]
2.13 Power loss	NR	0,16	[W]
2.14 Bearing mass	m	0,16	[kg]

Dimensions:

d	35
D	62
B	14
ramax	1
Damax	57,4
damin	39,6

The diagram on the right shows a cross-section of the bearing with dimensions labeled: d (inner diameter), D (outer diameter), B (width), d_e (effective diameter), and F_a (axial load).

Figura 3. 16 Rodamiento recomendado por software de diseño

$$s_0 = 1 \quad S_0 := 1.45$$

3.2.1.3.5. Selección del motorreductor

Para la selección del motorreductor seleccionamos 3 diferentes potencias para realizar un análisis y definir la mejor opción, utilizamos estos 3 valores obtenidos del catálogo Siemens.

$$P_{m1} := \frac{1}{8} \text{hp}$$

$$P_{m2} := \frac{3}{4} \text{hp}$$

$$P_{m3} := 1.5 \text{hp}$$

$$\omega_1 := \frac{P_{m1}}{T_m}$$

$$\omega_2 := \frac{P_{m2}}{T_m}$$

$$\omega_3 := \frac{P_{m3}}{T_m}$$

$$\omega_1 = 0.159 \frac{1}{s}$$

$$\omega_2 = 0.956 \frac{1}{s}$$

$$\omega_3 = 1.912 \frac{1}{s}$$

Para los parámetros seleccionados el motorreductor trifásico Siemens de 550W es el que cumple con los requerimientos.

$$P_m := \frac{3}{4} \text{hp} = 0.75 \cdot \text{hp}$$

Potencia del motor, dato del motor

$$\omega_e := 1650 \text{rpm}$$

Velocidad de entrada del motorreductor

$$\omega_s := 8.6 \text{rpm}$$

Velocidad de salida del motorreductor

$$i := \frac{\omega_e}{\omega_s} = 192$$

Relación de reducción de velocidad

3.2.1.4. Cálculo del sistema de fundición

3.2.1.4.1. Cálculo de la resistencia eléctrica

Se realiza un análisis y un cálculo mediante transferencia de calor y resistencias térmicas, para la selección de la resistencia adecuada para la fundición del plástico.

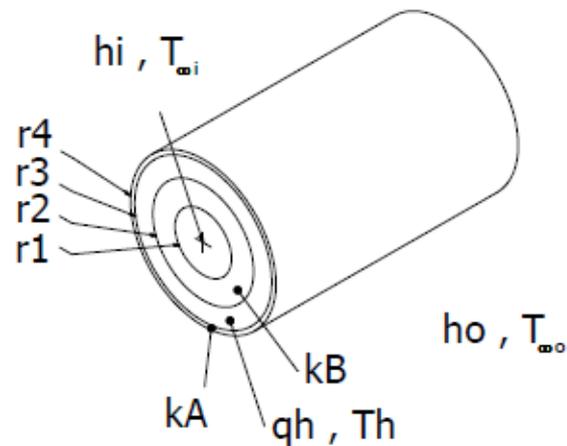


Figura 3. 17 Esquema de transferencia de calor

$$L_{\text{cal}} := 120\text{mm}$$

$$r1 := 14\text{mm}$$

$$r2 := 25\text{mm}$$

$$r3 := 34\text{mm}$$

$$r4 := 36\text{mm}$$

$$Th := (273.15 + 200)\text{K}$$

$$Ti := 293.15\text{K}$$

$$To := 293.15\text{K}$$

$$hi := 5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$ho := 5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$kA1 := 60.5 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$kB1 := 45 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

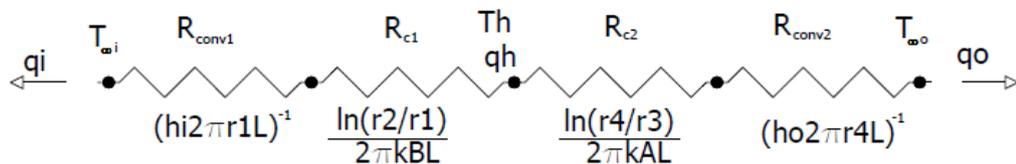


Figura 3. 18 Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de un cilindro.

$$R_{\text{conv1}} := \frac{1}{h_i \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot L_{\text{cal}}} = 18.947 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{c1}} := \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_{\text{B1}} \cdot L_{\text{cal}}} = 0.017 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{c2}} := \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_{\text{A1}} \cdot L_{\text{cal}}} = 0.153 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{conv2}} := \frac{1}{h_o \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_4 \cdot L_{\text{cal}}} = 7.368 \times 10^{-3} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{eq1}} := R_{\text{conv1}} + R_{\text{c1}} = 18.964 \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad R_{\text{eq2}} := R_{\text{c2}} + R_{\text{conv2}} = 0.16 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$q_o := \frac{T_h - T_i}{R_{\text{eq1}}} = 11.074 \text{ W}$$

$$q_i := \frac{T_h - T_o}{R_{\text{eq2}}} = 1.312 \times 10^3 \text{ W}$$

$$q_h := q_o + q_i = 1.323 \cdot \text{kW}$$

Se selecciona una resistencia eléctrica tubular / abrazadera de Φ 3/8" x 1600mm de 220V – 1300W ya que esta es la geometría que mejor se adapta a la máquina.

Para la verificación del funcionamiento de la resistencia la máquina inyectora cuenta con un amperímetro en el panel de control para medir la intensidad de corriente.

$$I_r := 5.6 \text{ A}$$

$$V_{\text{rp}} := 220 \text{ V}$$

$$P_{\text{real}} := V_{\text{rp}} \cdot I_r = 1.232 \times 10^3 \cdot \text{W}$$

$$T_r := \frac{\left(P_{\text{real}} + \frac{T_i}{R_{\text{eq1}}} + \frac{T_o}{R_{\text{eq2}}} \right)}{\left(\frac{R_{\text{eq2}} + R_{\text{eq1}}}{R_{\text{eq1}} \cdot R_{\text{eq2}}} \right)} = 459.801 \text{ K}$$

$$T_r := T_r \cdot 1.06 = 214.239 \cdot ^\circ\text{C}$$

3.2.1.5. Cálculo del sistema de cierre

Por las fuerzas que se producen en el funcionamiento de la máquina se realiza un cálculo como juntas empernadas en la placa 1 y en el porta matriz fijo, y una simulación estática sobre los elementos sometidos a fuerzas.

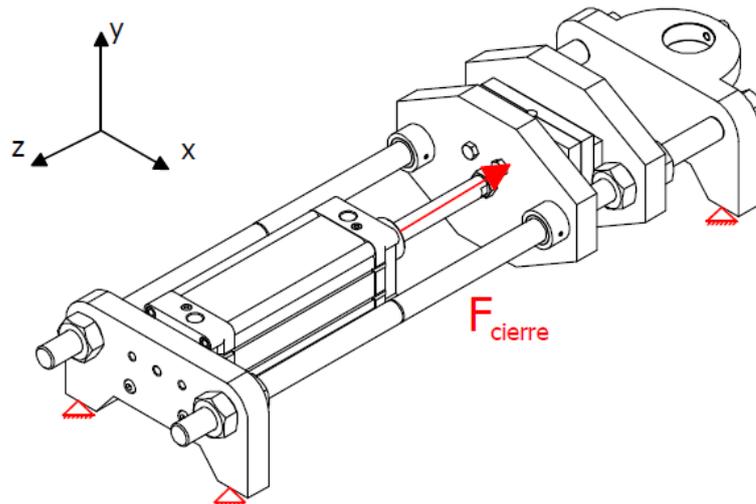


Figura 3. 19 Esquema de fuerzas del sistema de cierre

$$F_{\text{cierre}} := P_{\text{iny}} \cdot A_{\text{proy}} = 127.42 \cdot \text{kN} \quad F_{\text{eje}} := \frac{F_{\text{cierre}}}{2} = 63.71 \cdot \text{kN}$$

$$L_t := 809 \text{ mm} \quad L_1 := 657 \text{ mm} \quad L_2 := L_t - L_1 = 152 \cdot \text{mm}$$

$$L_3 := 544 \text{ mm} + \frac{113 \text{ mm}}{2} = 600.5 \cdot \text{mm}$$

3.2.1.5.1. Cálculo de los ejes



Figura 3. 20 Fuerzas en el eje

$$\sigma_{\text{eje}} := \frac{F_{\text{eje}}}{A_{\text{eje}}} = 90.131 \text{ MPa} \quad S_{y1} := 370 \text{ MPa}$$

$$F_{s_{\text{eje}}} := \frac{S_{y1}}{\sigma_{\text{eje}}} = 4.105 \quad \text{Factor de seguridad de los ejes.}$$

3.2.1.5.2. Cálculo de la junta empernada 1

Junta de la placa 1, que se encuentra sobre el eje y entre dos tuercas.

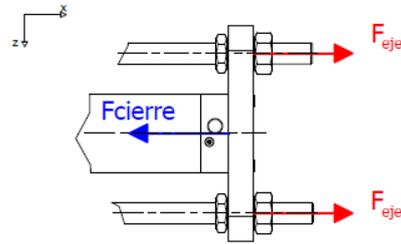


Figura 3. 21 Diagrama de cuerpo libre de la junta empernada 1

Propiedades geométricas de los elementos y materiales de la junta empernada 1

$$E_{eje} := 205 \text{ GPa} \quad E_{p1} := 200 \text{ GPa} \quad E_{ap} := 200 \text{ GPa}$$

$$S_{y1} := 370 \text{ MPa}$$

$$\phi_{eje} := 30 \text{ mm} \quad L_{p1} := 34 \text{ mm} \quad \phi_{e_a} := 42 \text{ mm}$$

$$L_{ap1} := 2.5 \text{ mm}$$

Cálculo del factor de seguridad de la junta empernada 1

$$k_{mp1} := \frac{0.5774 \cdot \pi \cdot E_{p1} \cdot \phi_{eje}}{2 \cdot \ln \left[\frac{(1.155 \cdot L_{p1} + \phi_{e_a} - \phi_{eje})(\phi_{e_a} + \phi_{eje})}{[(1.155 \cdot L_{p1} + \phi_{e_a}) + \phi_{eje}](\phi_{e_a} - \phi_{eje})} \right]} = 5.351 \times 10^3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

$$k_{map1} := \frac{0.5774 \cdot \pi \cdot E_{ap} \cdot \phi_{eje}}{2 \cdot \ln \left[\frac{(1.155 \cdot L_{ap1} + \phi_{e_a} - \phi_{eje})(\phi_{e_a} + \phi_{eje})}{[(1.155 \cdot L_{ap1} + \phi_{e_a}) + \phi_{eje}](\phi_{e_a} - \phi_{eje})} \right]} = 3.087 \times 10^4 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

$$k_{m1} := \left(\frac{1}{k_{mp1}} + \frac{1}{k_{map1}} + \frac{1}{k_{map1}} \right)^{-1} = 3.974 \times 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

$$A_{t1} := 561 \text{ mm}^2$$

$$l_{t1} := 36.5 \text{ mm}$$

$$A_{d1} := \pi \cdot \frac{\phi_{eje}^2}{4} = 706.858 \cdot \text{mm}^2 \quad l_{d1} := 2.5 \text{mm}$$

$$k_{b1} := \frac{A_{d1} \cdot A_{t1} \cdot E_{eje}}{A_{d1} \cdot l_{t1} + A_{t1} \cdot l_{d1}} = 2.988 \times 10^3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

$$C1 := \frac{k_{b1}}{k_{b1} + k_{m1}} = 0.429$$

$$S_{p1} := 0.85 \cdot S_{y1} = 3.145 \times 10^8 \text{Pa}$$

$$F_{p1} := A_{t1} \cdot S_{p1} = 176.435 \cdot \text{kN}$$

$$F_{i1} := 0.75 \cdot F_{p1} = 132.326 \cdot \text{kN}$$

$$P_{b1} := C1 \cdot F_{eje} = 27.347 \cdot \text{kN}$$

$$P_{m1} := (1 - C1) \cdot F_{eje} = 36.363 \cdot \text{kN}$$

$$F_{b1} := P_{b1} + F_{i1} = 159.673 \cdot \text{kN}$$

$$F_{m1} := P_{m1} - F_{i1} = -95.963 \cdot \text{kN}$$

$$K_1 := 0.30$$

$$T_1 := K_1 \cdot F_{i1} \cdot \phi_{eje} = 1.191 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{i1} := \frac{F_{i1}}{A_{t1}} = 235.875 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{b1} := \frac{F_{b1}}{A_{t1}} = 284.622 \cdot \text{MPa}$$

$$n_1 := \frac{S_{p1} \cdot A_{t1} - F_{i1}}{C1 \cdot F_{eje}} = 1.613$$

Factor de seguridad de carga

$$n_{01} := \frac{F_{i1}}{F_{eje} \cdot (1 - C1)} = 3.639$$

Factor de seguridad de carga
contra la separación de la unión.

3.2.1.5.3. Cálculo de la junta empernada 2

Junta del porta matriz fijo, que se encuentra sobre el eje y entre dos tuercas.

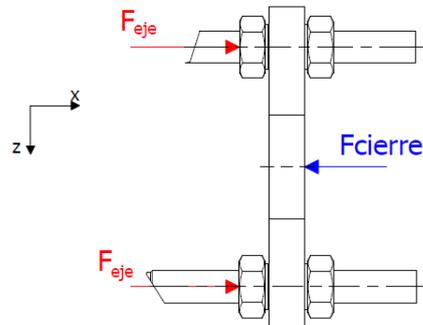


Figura 3. 22 Diagrama de cuerpo libre de la junta empernada 2

Propiedades geométricas de los elementos y materiales de la junta empernada 2

$$E_{eje} = 205 \text{ GPa} \quad E_{pm1} := 200 \text{ GPa} \quad E_{ap} = 200 \cdot \text{GPa}$$

$$S_{y1} = 370 \cdot \text{MPa}$$

$$\phi_{eje} := 30 \text{ mm} \quad L_{pm1} := 33 \text{ mm} \quad \phi_{ea} := 42 \text{ mm}$$

$$L_{ap1} = 2.5 \cdot \text{mm}$$

Cálculo del factor de seguridad de la junta empernada 1

$$k_{mp2} := \frac{0.5774 \cdot \pi \cdot E_{pm1} \cdot \phi_{eje}}{\ln \left[\frac{(1.155 \cdot L_{pm1} + \phi_{ea} - \phi_{eje})(\phi_{ea} + \phi_{eje})}{[(1.155 \cdot L_{pm1} + \phi_{ea}) + \phi_{eje}](\phi_{ea} - \phi_{eje})} \right]} = 1.083 \times 10^4 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

$$k_{map2} := \frac{0.5774 \cdot \pi \cdot E_{ap} \cdot \phi_{eje}}{\ln \left[\frac{(1.155 \cdot L_{ap1} + \phi_{ea} - \phi_{eje})(\phi_{ea} + \phi_{eje})}{(1.155 \cdot L_{ap1} + \phi_{ea} + \phi_{eje})(\phi_{ea} - \phi_{eje})} \right]} = 6.174 \times 10^4 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

$$k_{m2} := \left(\frac{1}{k_{mp2}} + \frac{1}{k_{map2}} + \frac{1}{k_{map2}} \right)^{-1} = 8.02 \times 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

$$A_{t1} = 561 \cdot \text{mm}^2 \quad l_{t2} := 35.5 \text{mm}$$

$$A_{d1} = 706.858 \cdot \text{mm}^2 \quad l_{d2} := 2.5 \text{mm}$$

$$k_{b2} := \frac{A_{d1} \cdot A_{t1} \cdot E_{\text{eje}}}{A_{d1} \cdot l_{t2} + A_{t1} \cdot l_{d2}} = 3.068 \times 10^3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

$$C2 := \frac{k_{b2}}{k_{b2} + k_{m2}} = 0.277$$

$$S_{p2} := 0.85 \cdot S_{y1} = 3.145 \times 10^8 \text{Pa}$$

$$F_{p2} := A_{t1} \cdot S_{p2} = 176.435 \cdot \text{kN}$$

$$F_{i2} := 0.75 \cdot F_{p2} = 132.326 \cdot \text{kN}$$

$$P_{b2} := C2 \cdot F_{\text{eje}} = 17.629 \cdot \text{kN}$$

$$P_{m2} := (1 - C2) \cdot F_{\text{eje}} = 46.081 \cdot \text{kN}$$

$$F_{b2} := P_{b2} + F_{i2} = 149.955 \cdot \text{kN}$$

$$F_{m2} := P_{m2} - F_{i2} = -86.245 \cdot \text{kN}$$

$$K_2 := 0.30$$

$$T_2 := K_2 \cdot F_{i2} \cdot \phi_{\text{eje}} = 1.191 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{i2} := \frac{F_{i2}}{A_{t1}} = 235.875 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{b2} := \frac{F_{b2}}{A_{t1}} = 267.3 \cdot \text{MPa}$$

$$n_2 := \frac{S_{p2} \cdot A_{t1} - F_{i2}}{C2 \cdot F_{\text{eje}}} = 2.502$$

Factor de seguridad de carga

$$n_{02} := \frac{F_{i2}}{F_{\text{eje}} \cdot (1 - C2)} = 2.872$$

Factor de seguridad de carga
contra la separación de la unión.

3.2.1.5.4. Cálculo de la junta empernada 3

Junta del placa 1, que unen el sistema de cierre y el bastidor.

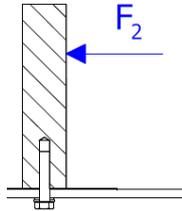


Figura 3. 23 Diagrama de cuerpo libre de la junta empernada 3

Propiedades geométricas de los elementos y materiales de la junta empernada 2

$$t1 := \frac{1}{4} \text{in} = 6.35 \cdot \text{mm}$$

$$\phi p1 := 8 \text{mm}$$

$$Sp := 225 \text{MPa}$$

$$Sut := 400 \text{MPa}$$

$$Sy := 250 \text{MPa}$$

$$Sut1 := 400 \text{MPa}$$

Cálculo del factor de seguridad de la junta empernada 3

$$F_2 := F_{\text{eje}}$$

$$Ac := 2 \cdot t1 \cdot \phi p1 = 101.6 \cdot \text{mm}^2$$

$$Ar := 31 \text{mm}^2$$

$$\sigma_p := \frac{F_2}{2Ac} = 26.649 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_e := \frac{F_2}{2Ac} = 26.649 \cdot \text{MPa}$$

$$ndap := \frac{Sp \cdot 2 \cdot Ac}{F_2} = 8.443$$

$$ndae := \frac{Sy \cdot 2 \cdot Ac}{F_2} = 9.381$$

Factor de diseño para aplastamiento del perno

Factor de diseño para aplastamiento del ángulo

$$\tau_p := \frac{F_2}{2 \cdot \pi \cdot \frac{\phi_{p1}^2}{4}} = 53.864 \cdot \text{MPa}$$

$$\text{ndc} := 0.577 \cdot \frac{S_p}{\tau_p} = 2.41$$

Factor de diseño por cortante del perno

$$\tau_{p2} := \frac{F_2}{2 \cdot A_r} = 87.339 \cdot \text{MPa}$$

$$\text{ndc2} := 0.577 \cdot \frac{S_p}{\tau_{p2}} = 1.486$$

Factor de diseño por cortante del perno

$$a_b := 20 \text{mm}$$

$$\tau_{cb} := \frac{F_2}{2a_b \cdot t_1} = 21.319 \cdot \text{MPa}$$

$$\text{ndce} := 0.577 \cdot \frac{S_y}{\tau_{cb}} = 6.766$$

Factor de diseño por cortante al borde del elemento

$$\sigma_{te} := \frac{F_2}{(300 \text{mm} - 2 \cdot \phi_{p1})t_1} = 3.003 \cdot \text{MPa}$$

$$\text{ndte} := \frac{S_y}{\sigma_{te}} = 83.259$$

Factor de diseño para fluencia por tensión de los elementos

$$\text{nfe} := \frac{300 \text{mm} \cdot t_1 \cdot S_y}{F_2} = 87.95$$

Factor de diseño por fluencia del elemento

3.2.1.5.5. Cálculo placa 1

Se realizó una simulación estática de la placa 1, por su geometría compleja. Para esto se utilizó un software CAD con un complemento para análisis estático.

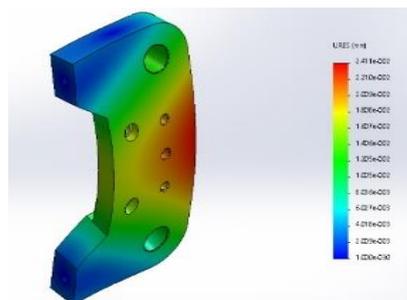


Figura 3. 24 Simulación del placa 1

Del reporte generado por el software se obtiene el factor de seguridad mínimo y la deflexión máxima.

$$FS_{p1} := 3.897 \quad \delta_{p1} := 0.024\text{mm}$$

3.2.1.5.6. Cálculo porta matriz fijo

Se realizó una simulación estática del porta matriz fijo, por su geometría compleja. Para esto se utilizó un software CAD con un complemento para análisis estático.

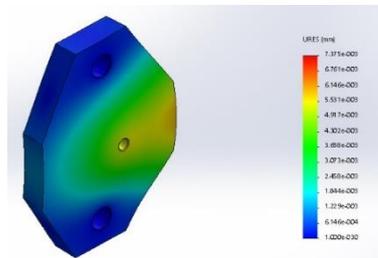


Figura 3. 25 Simulación porta matriz fijo

Del reporte generado por el software se obtiene el factor de seguridad mínimo y la deflexión máxima.

$$FS_{pmf} := 3.190 \quad \delta_{pmf} := 0.007\text{mm}$$

3.2.1.5.7. Cálculo placa 2

Se realizó una simulación estática de la placa 2, por su geometría compleja. Para esto se utilizó un software CAD con un complemento para análisis estático.

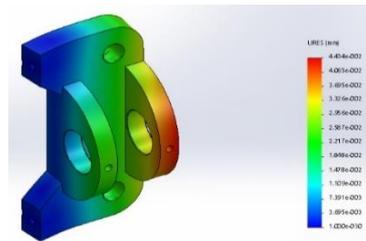


Figura 3. 26 Simulación placa 2

Del reporte generado por el software se obtiene el factor de seguridad mínimo y la deflexión máxima.

$$FS_{p2} := 3.774 \quad \delta_{p2} := 0.044 \text{ mm}$$

3.2.1.5.8. Cálculo porta matriz móvil

Se realizó una simulación estática del porta matriz móvil, por su geometría compleja. Para esto se utilizó un software CAD con un complemento para análisis estático.

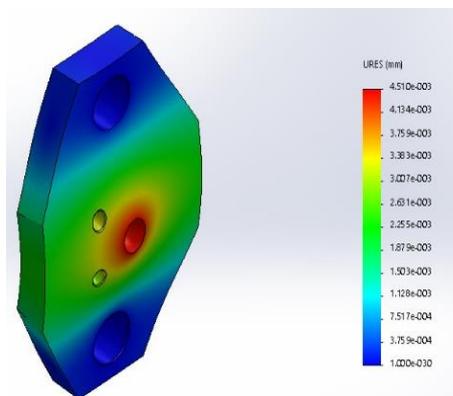


Figura 3. 27 Simulación porta matriz móvil

Del reporte generado por el software se obtiene el factor de seguridad mínimo y la deflexión máxima.

$$FS_{pmm} := 14.582 \quad \delta_{pmm} := 0.005 \text{ mm}$$

3.2.2. SIMULACIÓN DE LLENADO DE LA PIEZA

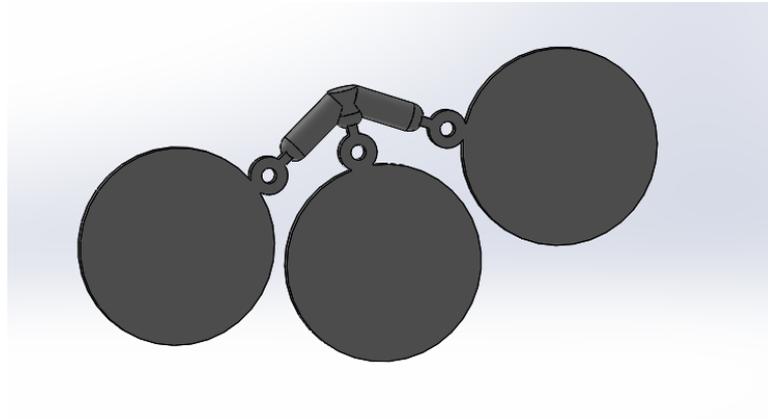


Figura 3. 28 Pieza final

Se realiza una simulación del llenado de la pieza con la ayuda de un software de CAD que dispone de un complemento para el estudio y de procesos de moldeo de plástico.

El primer paso para la simulación es realizar un análisis de ángulo de salida de la pieza, de acuerdo a la geometría de la pieza es necesario que pueda salir fácilmente del molde, para esto se debe construir el molde con estas recomendaciones, especialmente en geometrías complicadas. Como la pieza que se obtienen en este proceso tiene una geometría sencilla no presenta ningún problema como se puede observar en la figura.

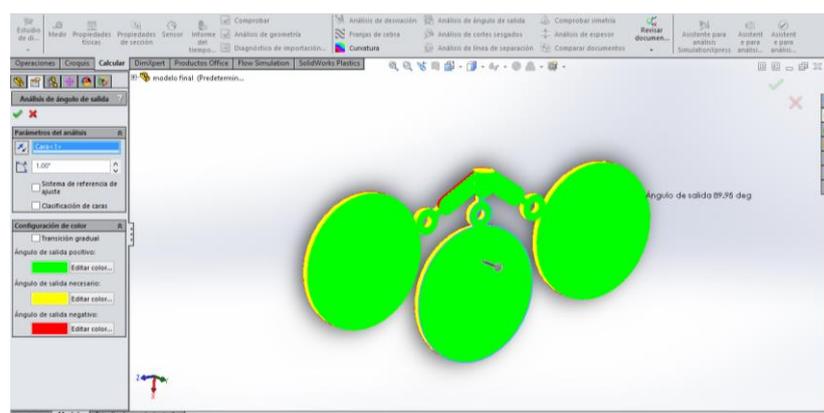


Figura 3. 29 Análisis del ángulo de salida

Se procede a ingresar los parámetros y condiciones bajo las cuales se trabaja con la máquina. El primer parámetro es el definir el tipo de pieza ya

sea un sólido o un armazón, en este caso se lo define como sólido, y se procede a realizar un mallado del sólido.

Se define el material con el cual estamos trabajando, el software cuenta con una base de datos de materiales, por lo que selecciona el material con características más parecidas al material disponible en el mercado y con el que se está trabajando. Se selecciona el PE LLD Dow Chemical/DOWLEZ 2552 E, es un polietileno de baja densidad.

Se define los parámetros de llenado de acuerdo a los establecidos en el diseño y operación de la máquina inyectora, cómo se muestra en la figura 3.35 El tiempo de llenado que inicia cuando el émbolo baja y termina cuando el émbolo regresa a su posición inicial es 8s, la temperatura de fundición de acuerdo al material con el que se realiza la simulación es 221°C, la temperatura de la matriz, en este caso se toma 20°C como temperatura ambiente ya que las matrices no tienen un precalentamiento, y es el valor utilizado para los cálculos.

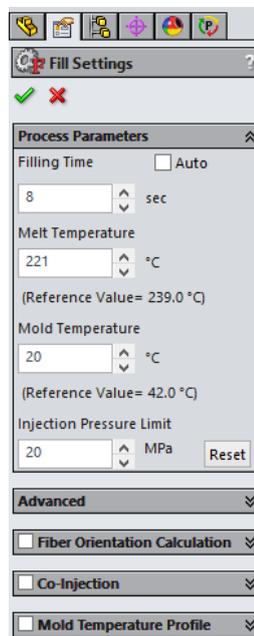


Figura 3. 30 Parámetros de llenado

Se definen la ubicación y diámetro de inyección en la pieza de acuerdo al diseño.

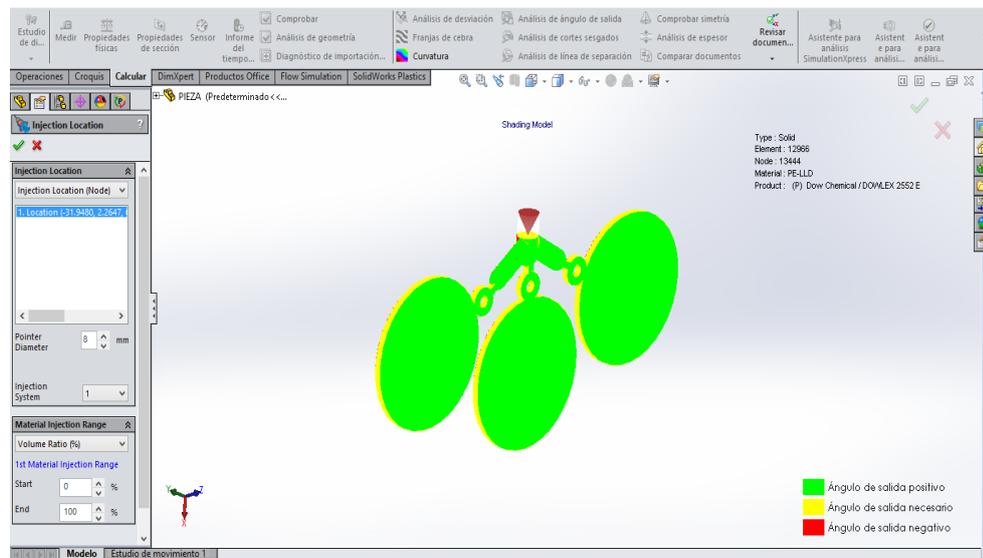


Figura 3. 31 Ubicación de la inyección

Con todos los parámetros definidos se procede a iniciar el modelado. Del informe que se obtiene mediante el software esta pieza puede ser llenada con una presión de inyección de 20 MPa. Hay un riesgo mínimo de degradación del material por la temperatura de trabajo. Se puede observar que por la geometría de la pieza no hay puntos donde se pueda atrapar aire durante el llenado. El llenado se lo realizó en 8.0204 s.

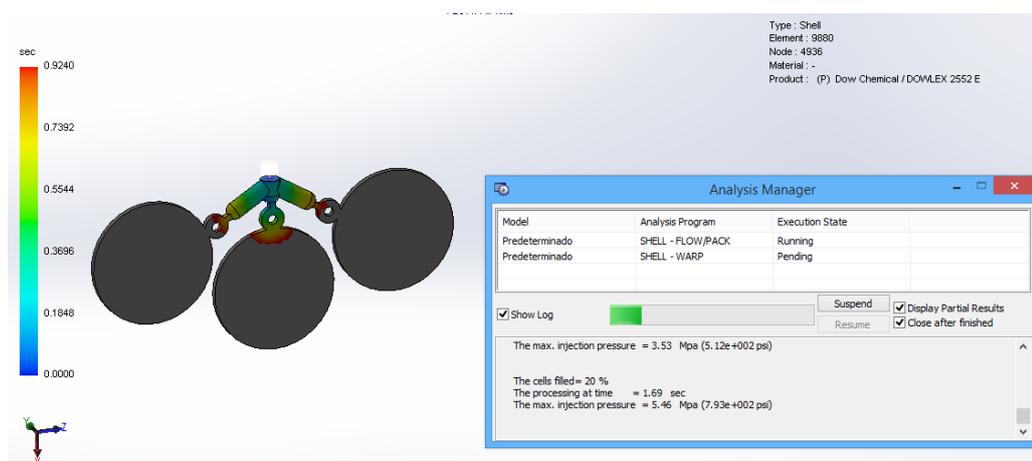


Figura 3. 32 Inicio de llenado de la pieza

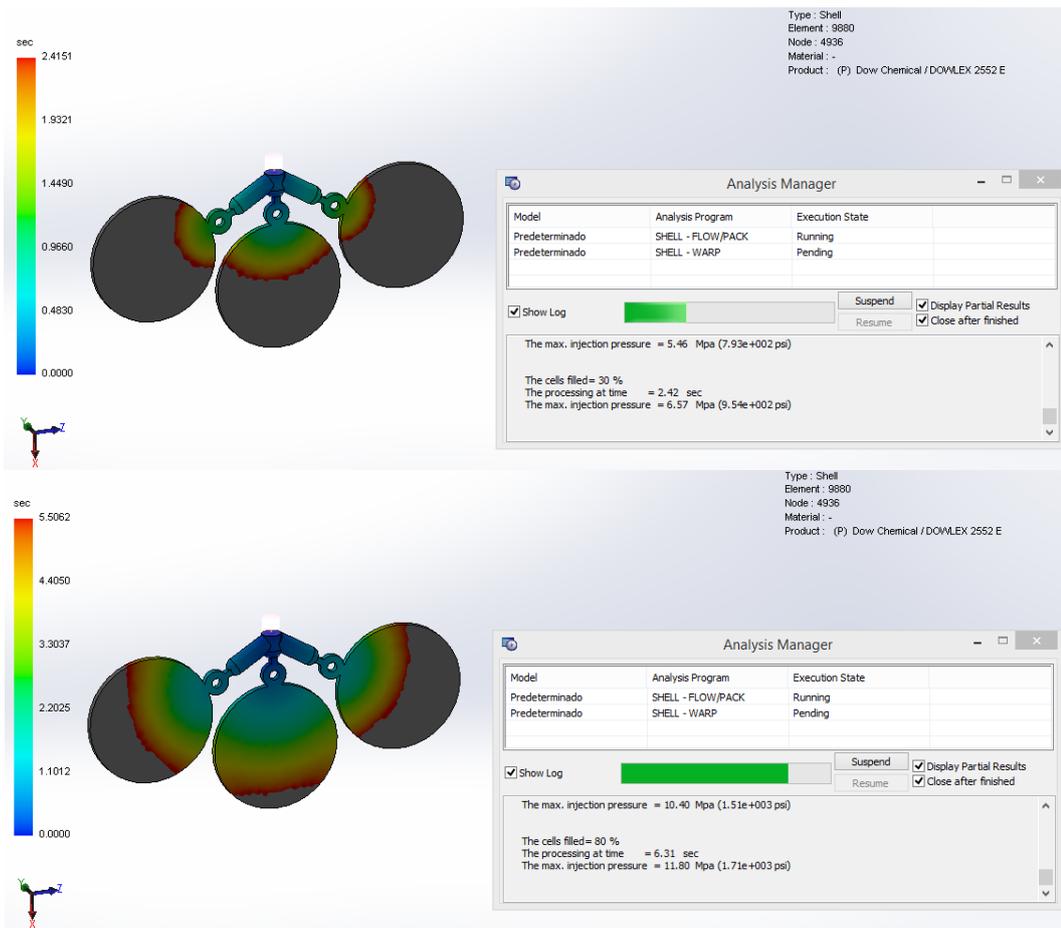


Figura 3. 33 Proceso de llenado de la pieza

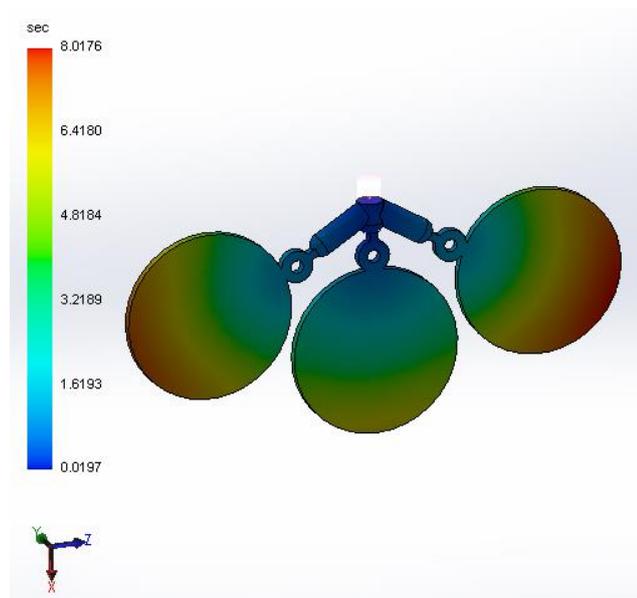


Figura 3. 34 Fin de llenado de la pieza

3.2.3. FACTORES DE SEGURIDAD

En la tabla 3.3 se muestran los valores de los factores de seguridad calculados en ciertos elementos donde se identificaron puntos críticos que se deben tomar en cuenta.

Cuadro 3. 12

Factores de seguridad

No.	Detalle	Fsn	Fsr	Diferencia	%
1	Factor de seguridad de la columna	1,2	1,21	0,01	1%
2	Factor de seguridad del cañón	3,5	3,86	0,36	10%
3	Factor de seguridad cuerpo columna	2,5	4,47	1,97	79%
4	Factor de seguridad AGMA - Engranaje	2,5	3,04	0,54	22%
5	Factor de seguridad mediante el Criterio de Goodman del eje del engranaje	1,8	1,96	0,16	9%
6	Factor de seguridad a la fluencia en el eje del engranaje	1,8	2,43	0,63	35%
7	Factor de seguridad para esfuerzo por aplastamiento en la chaveta 1	1,5	1,60	0,10	6%
8	Factor de seguridad para esfuerzo cortante en la chaveta 1	1,5	2,46	0,96	64%
9	Factor de seguridad para esfuerzo por aplastamiento en la chaveta 2	1,5	1,64	0,14	9%
10	Factor de seguridad para esfuerzo cortante en la chaveta 2	1,5	1,90	0,40	26%
11	Factor de seguridad estática en los rodamientos	1,4	1,45	0,05	4%
12	Factor de seguridad de los ejes	3	4,11	1,11	37%
13	Factor de carga de la junta emperrada 1	1,5	1,61	0,11	7%
14	Factor de carga contra la separación de unión de la junta emperrada 1	2,5	3,64	1,14	46%
15	Factor de carga de la junta emperrada 2	2,5	2,5	0	0%
16	Factor de carga contra la separación de unión de la junta emperrada 2	2,5	2,87	0,37	15%
17	Factor de diseño para aplastamiento del perno en la junta emperrada 3	2,5	8,44	5,94	238%

CONTINÚA 

18	Factor de diseño para aplastamiento del ángulo en la junta empernada 3	2,5	9,38	6,88	275%
19	Factor de diseño por cortante del perno en la junta empernada 3	2,2	2,41	0,21	10%
20	Factor de diseño por cortante del perno si la rosca se extiende en uno de los planos en la junta empernada 3	1,4	1,49	0,09	6%
21	Factor de diseño por cortante al borde del elemento	2,5	6,77	4,27	171%

Como se observa en los factores de seguridad calculados son todos mayores a la unidad lo cual nos indica que no se va a producir un fallo en el funcionamiento de los elementos principales de la máquina de inyección de plástico. Los valores en su mayoría están dentro de los rangos establecidos, sin embargo se pueden observar algunos factores de seguridad con valores muy altos que son el resultado de utilizar elementos y materiales de reciclaje que sobrepasan los requerimientos mínimos para el funcionamiento de la máquina.

3.3. AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

3.3.1. CONTACTORES

Los contactores se encuentran en el interior de la caja, son dos de fuerza para el motor de 20 Amp y 110 V, y uno auxiliar para 12 Amp y de 110 V.

Se utiliza contactores ya que estos pueden controlar grandes corrientes activadas por corrientes pequeñas, funcionan en régimen permanente o intermitente. Están compuestos por tres partes que son:

- **Polos:** que se encargan de interrumpir o activar el paso de la corriente por el circuito de potencia; está formado por una parte móvil y otra fija.
- **Contactos auxiliares:** que son los elementos que aseguran los mandos, alimentación y los enclavamientos en los contactores; estos contactos pueden ser abiertos o cerrados, es decir: NA + NC o temporizados.
- **Electroimán:** está formado por una bobina y un circuito magnético

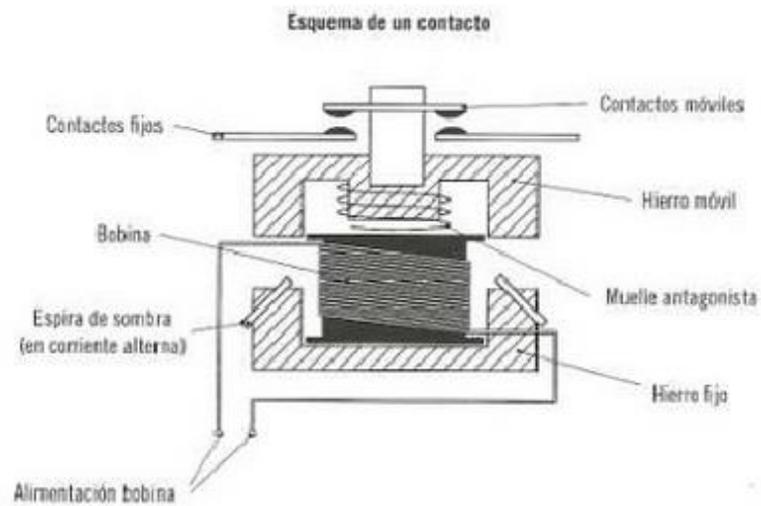


Figura 3. 35 Partes del Contactador

Fuente: (Castillo, 2012)

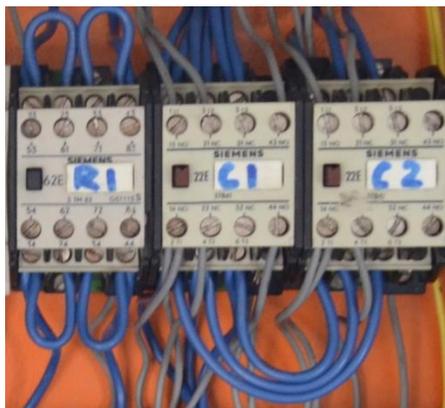


Figura 3. 36 Contactores

3.3.2. RELÉ AUXILIAR

El relé auxiliar se encuentra ubicado en el interior de la caja tiene una bobina de 220 V y 7 Amp. Se utiliza un relé auxiliar porque posee características como: una tensión nominal de contactos, máxima tensión nominal, máxima corriente admisible, presión de contactos y resistencia de contactos, está compuesto por:

- Bobina
- Pivote

- Armadura
- Núcleo del material ferromagnéticas
- Contactos NA/NC

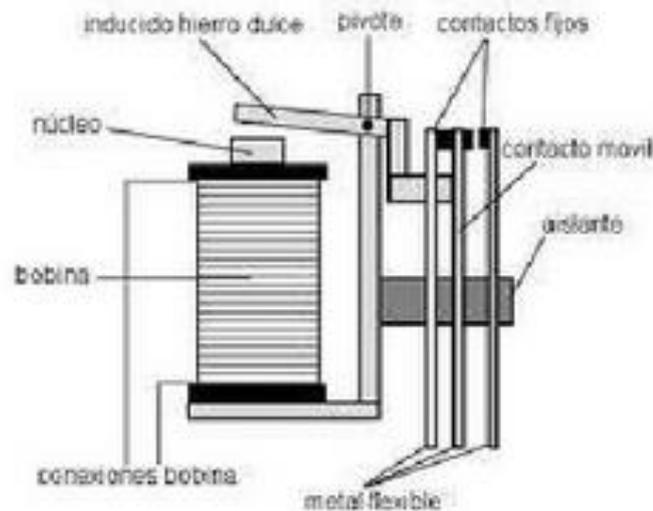


Figura 3. 37 Relé auxiliar y sus partes

Fuente: (Castillo, 2012)

3.3.3. RESISTENCIA ELÉCTRICA

La resistencia eléctrica se encuentra ubicada en el exterior del émbolo vertical bordeando al mismo para diluir los granos de plástico de manera que estos pasen por la boquilla que saldrá el material diluido hacia el molde previamente sellado.

La resistencia es tubular abrazadera, está hecha de hierro, cobre, níquel y cerámica, se recomienda para máquinas inyectoras y extrusoras de plástico, alcanzando una temperatura máxima de 600°C, con una potencia de 1300 W y trabaja a 220 V.

Con las siguientes características:

- Tipo: Tubular/abrazadera
- Longitud: 160 mm
- Diámetro: 3/8"

- Voltaje: 220 V



Figura 3. 38 Resistencia de la máquina

3.3.4. CONTROL DE TEMPERATURA

El control de temperatura para el calentamiento de la resistencia eléctrica se utiliza para evitar una temperatura mayor a la que se necesita debido a que el polietileno se quema a más de 300 °C por lo que es importante que sea controlada la temperatura.

Con las siguientes características:

- Voltaje: 220 V
- Rango de temperatura: Hasta 600 °C
- Pantalla digital Voltaje de alimentación: 110 / 220V AC 50 / 60Hz
- Tensión de trabajo : 90 % a 110 % de la tensión nominal
- Consumo de energía : TC - 72N , Aprox. < 5 VA
- Sensor de temperatura: K , E , J , T , PT- 100
- Rango de la escala estándar: TC - 72N : 0-199 , 0-399 , 0-999 (°C)
- Ajuste de precisión del ± 15 % máx. de la escala completa
- Salida de control de histéresis 0,2 % de la escala total (fijo)

- Tiempo de tasa de margen de ajuste (D) $30 \pm 10S$



Figura 3. 39 Control de temperatura

Fuente: (CAMSCO, 2014)

3.3.5. MICRO SWITCH

Es un dispositivo que detecta el fin de carrera, mediante un rodillo que al presionar este con un objeto da orden de detener el proceso que se esté llevando a cabo. La posición del rodillo es frontal.

Con las siguientes características:

- Micro switch: Rodillo frontal
- Sin activar: 61 mm
- Activado: 52 mm
- Dimensiones: 61 x 50 x 18 mm

3.3.6. AMPERÍMETRO

Es un instrumento que sirve para medir la intensidad de corriente que está pasando a través de un circuito eléctrico

Con las siguientes características:

- Amperímetro de lectura digital

- 0 – 10 Amperios
- Apreciación 1 A
- Dimensiones 45 x 45 mm



Figura 3. 40 Amperímetro

3.3.7. TIMER

Es un pequeño dispositivo que sirve como indicador que un tiempo a transcurrido, este aparato nos sirve para controlar el tiempo que se desea colocar en un proceso de varios ciclos o de un ciclo a corto o largo período para que se encienda o apague un proceso.

Con las siguientes características:

- 0 – 10 s
- Apreciación: 1 s
- Tensión nominal AC 110V, 220V
- Temperatura de ambiente: -10 °C - +55°C
- Humedad ambiental: 45 – 85% HR



Figura 3. 41 Timer

3.3.8. UNIDAD DE MANTENIMIENTO NEUMÁTICO FRL

Debido a que se utiliza un compresor se debe utilizar un FRL ya que los compresores aspiran aire húmedo y en los filtros no se puede eliminar las partículas que salen del compresor, por lo que para evitar que ingrese la suciedad del aire comprimido se utiliza el filtro que este detendrá las partículas para que no cause deterioro en la parte neumática ni en los componentes, el regulador como su nombre lo indica sirve para regular la presión que ingresa o que se requiere junto con un manómetro para que indique la presión que se necesita utilizar y un lubricador que debe lubricar los elementos neumáticos para evitar un desgaste prematuro de los mismos.

Con las siguientes características:

- Filtro, regulador , lubricador
- Manómetro: 0 – 150 PSI
0 – 10 kg/cm²



Figura 3. 42 Unidad de mantenimiento neumático FRL

3.3.9. ELECTROVÁLVULA

Es una válvula electrónica – mecánica que sirve para controlar el paso de un fluido por un conducto, que ayuda a manejar el sistema de aire.

Con las siguientes características:

- Monoestable: 5/2 – 3/8”
- Voltaje: AC220V 3.5VA
- Rango de tensión: AC 187V – 253V 50/60Hz
- Modelo: 4V310 – 10
- Presión: 1.5 – 8.0 Bares



Figura 3. 43 Electroválvula 5/2

3.4. PLANOS

Los planos se realizaron de acuerdo a la norma INEN para Dibujo técnico-mecánico (CPE INEN 003:1989) con esto se busca unificar los criterios sobre dibujos técnicos.

3.4.1. TOLERANCIAS Y ACABADOS SUPERFICIALES

Las tolerancias y ajustes seleccionados para la construcción de la máquina se los hizo de acuerdo a la norma INEN para la Selección de Ajustes Zonas de Tolerancia, Desviaciones, Tolerancias de Ajuste (NTE INEN 99 1976-02) y con la tabla del prontuario de Máquinas Prontuario Técnicas Máquinas Herramientas de NICOLÁS LARBURU A.

Para el acabado superficial de los elementos se hizo referencia a la norma española UNE-EN ISO 1302 Especificación geométrica de productos: Indicación de la calidad superficial en la documentación técnica de productos.

3.4.2. CODIFICACIÓN

En la tabla 3.12 Se indican todos los planos para la construcción de la máquina.

La codificación de los planos se la realizó empezando con 0000 para el conjunto de la máquina, los subconjuntos de la máquina con 1000, 2000, 3000,4000, 5000, 6000 y 7000, los elementos y piezas de cada subconjunto con un plano se codificaron de la siguiente forma:

Ejemplo

2000 – Subconjunto – Sistema de Inyección

2001 – Parte 1 – Columna

2002 – Parte 2 – Cuerpo columna

: : :

: : :

: : :

2014 – Parte 14 – Tuerca Tolva

Adicional a esta codificación se incluyeron elementos normalizados, como pernos, tuercas, arandelas, rodamientos, etc. con siguiendo la misma codificación pero sin un plano.

2015 – Elemento 1 – Prisionero M8 x 25

2016 – Elemento 2 – Prisionero M8 x 8

: : :

: : :

: : :

2019 – Elemento 5 – Perno hexagonal M6 x 20

Cuadro 3. 13**Codificación de Planos**

No.	Código	Detalle
1	0000	Máquina para la Inyección de Plástico Vistas Principales
2	0000	Máquina para la Inyección de Plástico Isometría
3	1000	Sistema de Fundición Vistas Principales
4	1000	Sistema de Fundición Isometría
5	1001	Protector de Resistencia Eléctrica Vistas Principales
6	1001	Protector de Resistencia Eléctrica Corte de Lámina de Acero
7	2000	Sistema de Inyección Vistas Principales
8	2000	Sistema de Inyección Isometría
9	2001	Columna Vistas Principales
10	2002	Cuerpo Columna Vistas Principales
11	2003	Boquilla Vistas Principales
12	2004	Cañón Vistas Principales
13	2005	Émbolo Vistas Principales
14	2006	Cremallera Vistas Principales
15	2007	Base Controlador Vistas Principales
16	2008	Varilla Controlador Vistas Principales
17	2009	Topes Controlador Vistas Principales
18	2010	Base Motor Vistas Principales
19	2011	Tuerca Columna Vistas Principales
20	2012	Tuerca Cañón Vistas Principales
21	2013	Tolva Vistas Principales
22	2014	Tuerca Tolva Vistas Principales
23	3000	Sistema de Inyección Vistas Principales
24	3000	Sistema de Inyección Isometría
25	3001	Placa 1 Vistas Principales
26	3002	Eje Vistas Principales
27	3003	Porta Matriz 1 Vistas Principales
28	3004	Porta Matriz 2 Vistas Principales
29	3005	Bocín Vistas Principales
30	3006	Bocín Interno Vistas Principales
31	3008	Placa 2 Vistas Principales
32	4000	Sistema de Potencia Vistas Principales

CONTINÚA 

33	4000	Sistema de Potencia Isometría
34	4001	Engranaje Vistas Principales
35	4002	Eje Engranaje Vistas Principales
36	5000	Conjunto Bastidor Vistas Principales
37	5000	Conjunto Bastidor Isometría
38	5001	Bastidor Vistas Principales
39	5001	Bastidor Isometría
40	5002	Placa Bastidor 3 Vistas Principales
41	5003	Placa Bastidor 4 Vistas Principales
42	5004	Placa Bastidor 6 Vistas Principales
43	5005	Placa Bastidor 2 Vistas Principales
44	5006	Placa Bastidor 7 Vistas Principales
45	5007	Placa Bastidor 5 Vistas Principales
46	5008	Base panel de Control Vistas Principales
47	5009	Placa Bastidor 1 Vistas Principales
48	5010	Placa Bastidor 8 Vistas Principales
49	5011	Placa Bastidor 9 Vistas Principales
50	6000	Matriz Vistas Principales e Isometría
51	6001	Matriz 1 Vistas Principales
52	6002	Matriz 2 Vistas Principales
53	7000	Panel de control Vistas Principales
54	7000	Panel de control Isometría
55	8000	Circuitos Eléctricos

CAPÍTULO 4

4. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

4.1. MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS

4.1.1. MÁQUINAS

En la construcción de la inyectora se emplean máquinas como:

- Torno
- Fresadora
- Rectificadora
- Taladro
- Dobladora
- Esmeril
- Suelta eléctrica

4.1.2. HERRAMIENTAS

En la construcción de la máquina se utilizan herramientas como:

- Brocas
- Fresas
- Cuchillas
- Machuelos
- Porta machuelos
- Destornillador plano y estrella
- Hexagonales
- Combos

4.1.3. INSTRUMENTOS DE MEDIDA

En la construcción de la máquina se utilizan instrumentos de medida como:

- Pie de rey de 200, 500 mm
- Flexómetro de hasta 3000 mm
- Escuadras
- Nivel
- Cuenta hilos

4.2. HOJAS DE PROCESOS

Para la descripción de las hojas de proceso, se utilizara diagramas de flujo de procesos. La simbología empleada para un diagrama de flujo será la siguiente:

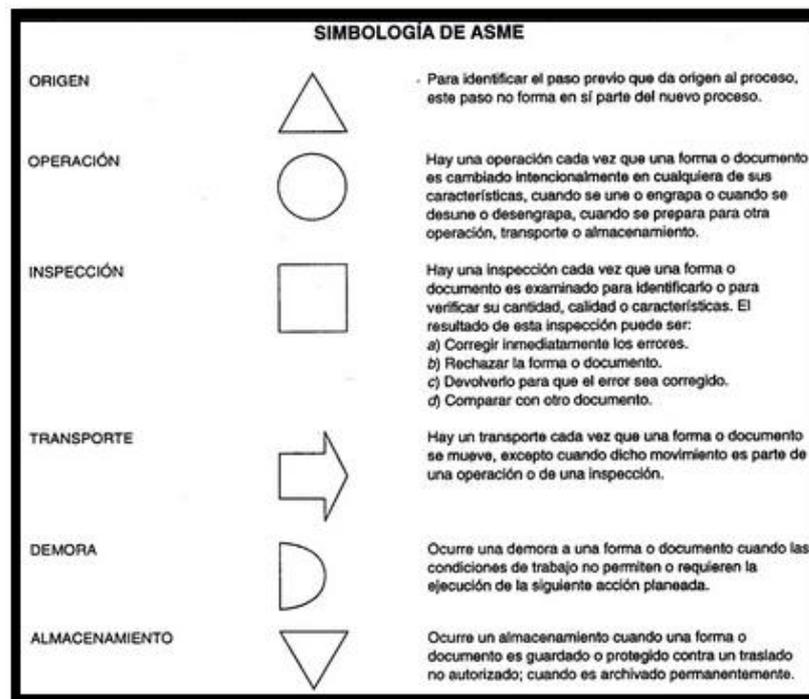


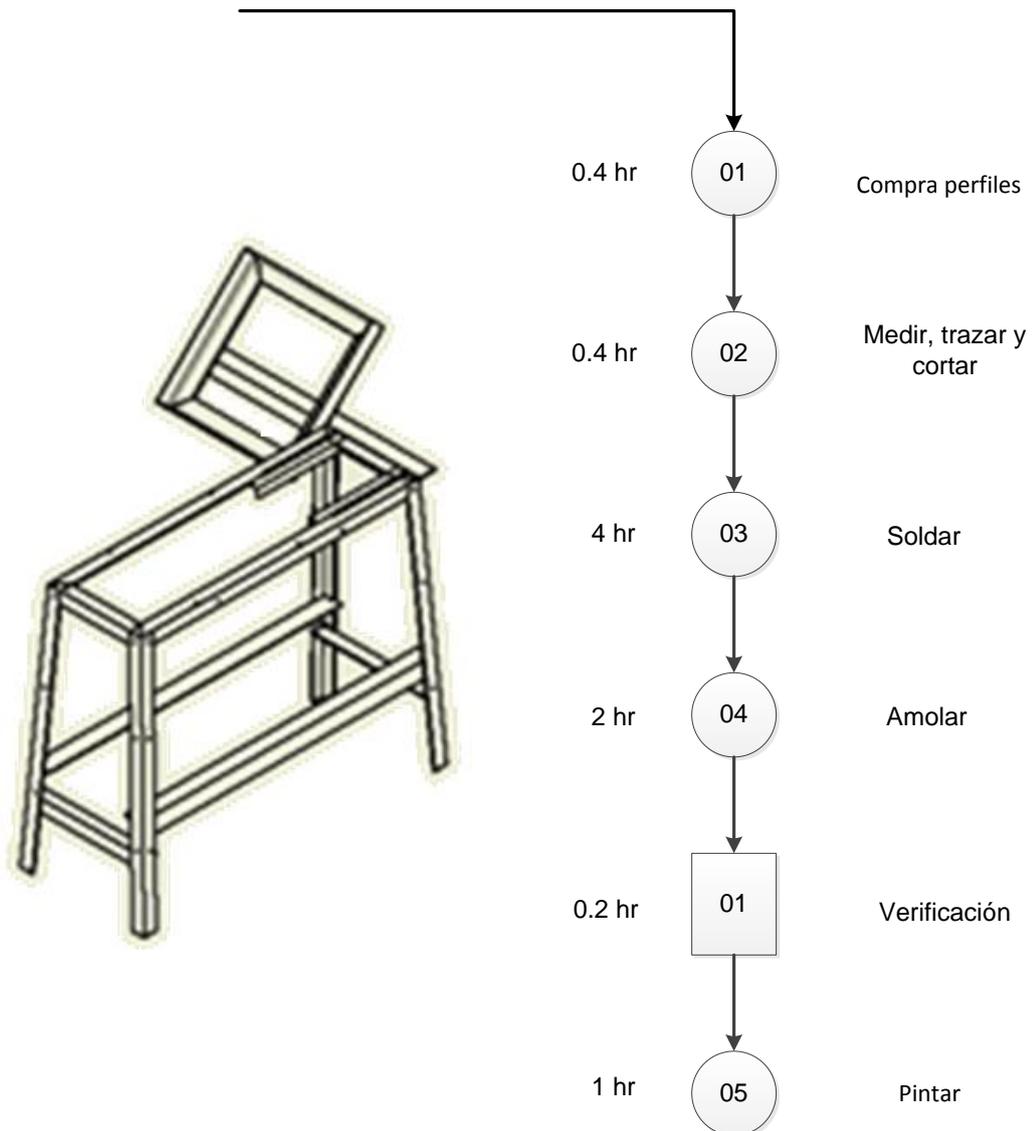
Figura 4. 1 Simbología ASME

Fuente: (Prieto, 2011)

4.2.1. DIAGRAMAS DE FLUJO

A continuación se presente los diagramas de flujo de todos los elementos que comprenden la máquina:

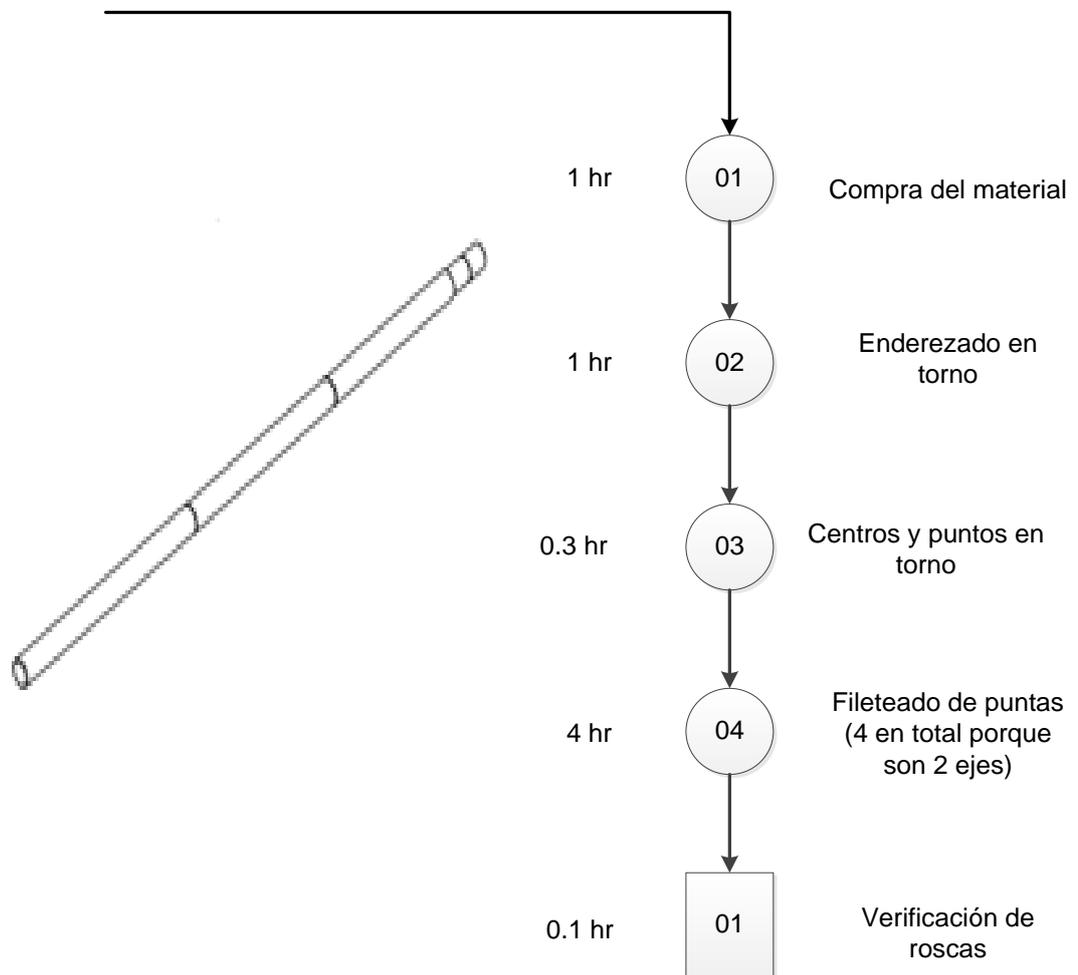
Estructura perfiles ANSI L: $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times \frac{1}{4}$
 $2 \times 2 \times \frac{3}{16}$
 $1\frac{1}{8} \times 1\frac{1}{8} \times \frac{1}{8}$



Tiempo total: 8.4 horas

Figura 4. 2 Diagrama de flujo – estructura

2 Ejes de apoyo roscados al final material Acero SAE 1018 $\varnothing = 30$, L = 950 mm



Tiempo total: 13.20 horas

Figura 4. 3 Diagrama de flujo – ejes de apoyo

Placa soporte Material Acero A-36 e=34 mm, h=148 mm, L=274 mm

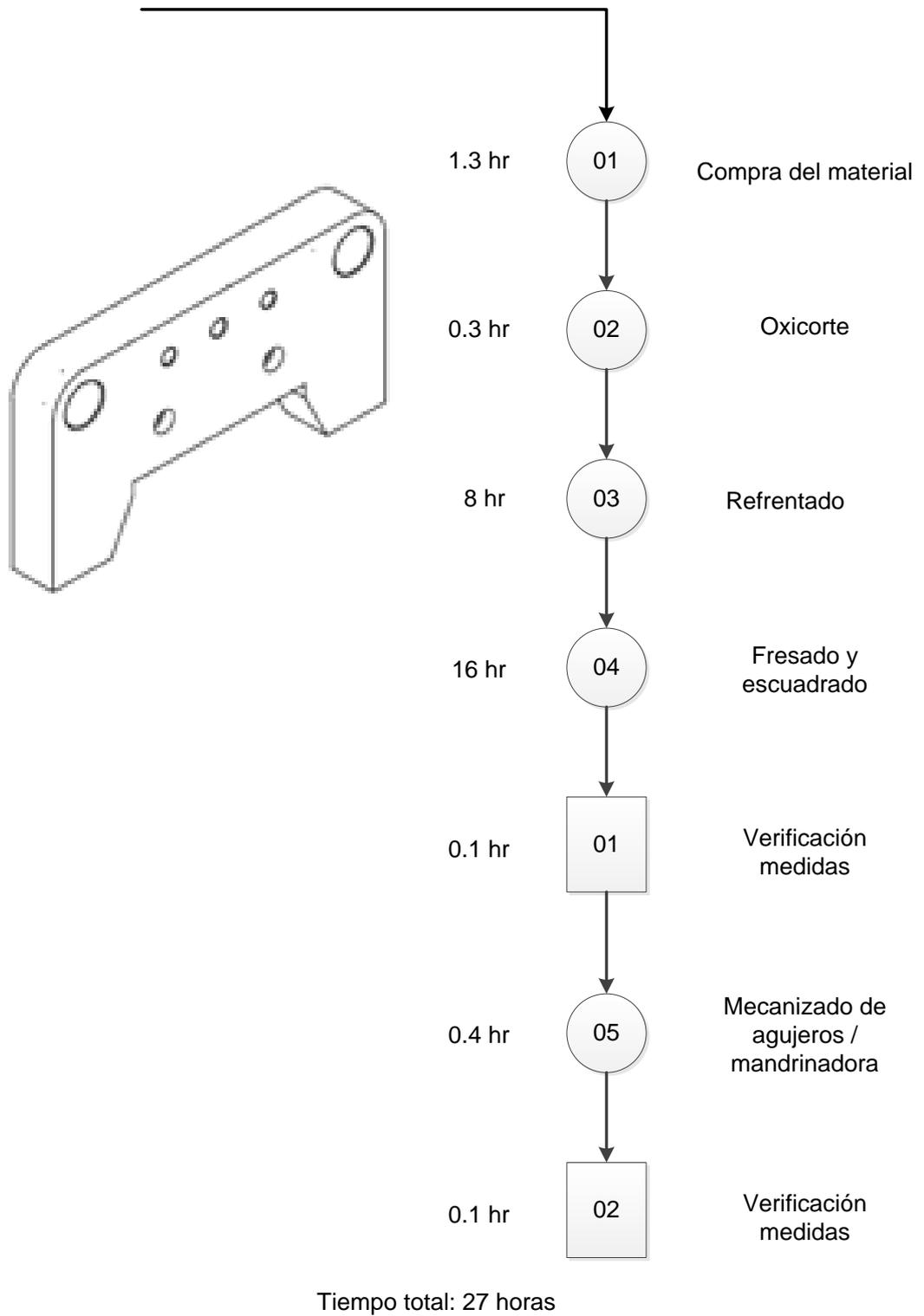


Figura 4. 4 Diagrama de flujo – placa soporte 1

Porta matriz material Acero A-36 e=34 mm, h=198 mm, L=296 mm

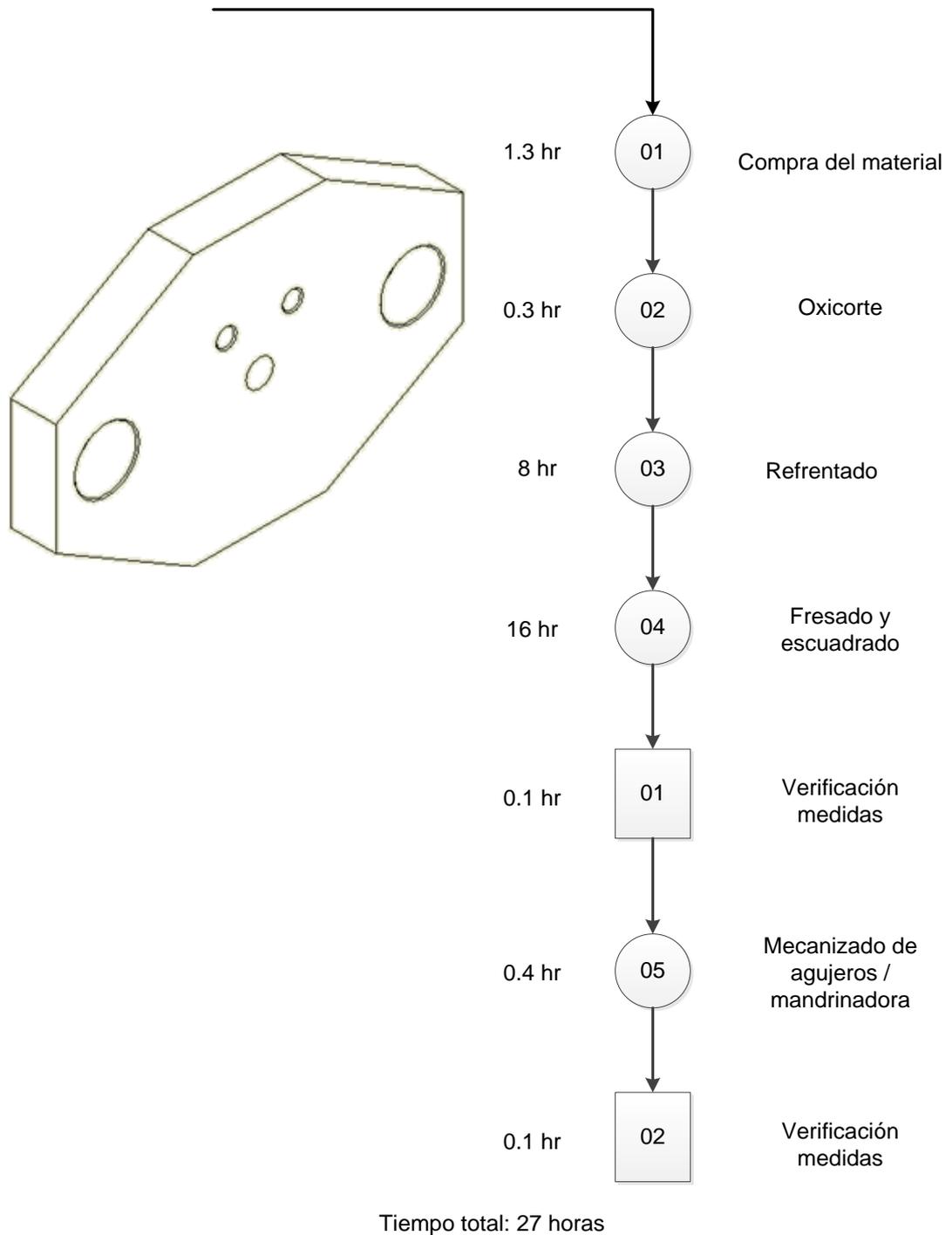


Figura 4. 5 Diagrama de flujo – porta matriz 1

Porta matriz material Acero A-36 e=34 mm, h=198 mm, L=296 mm

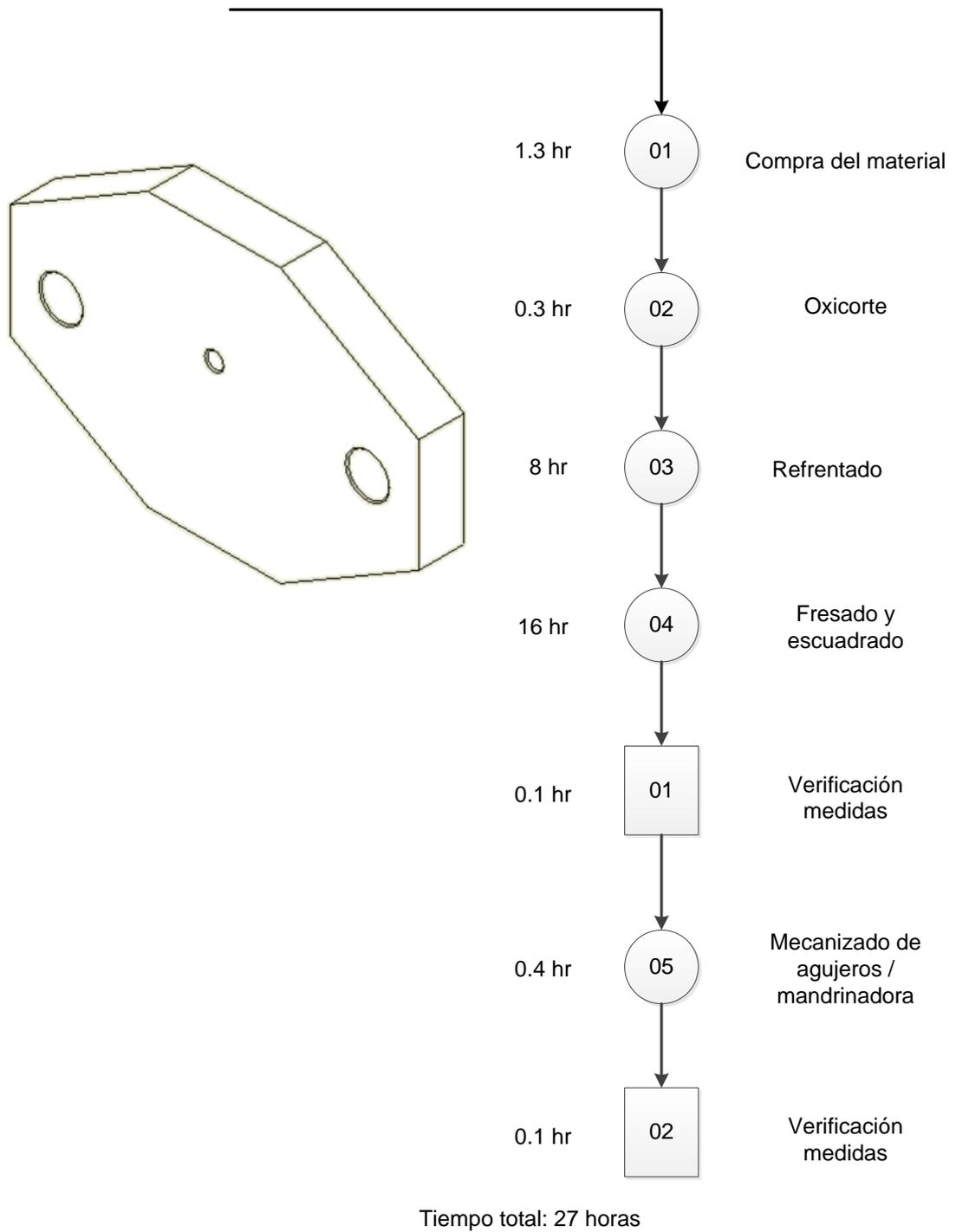
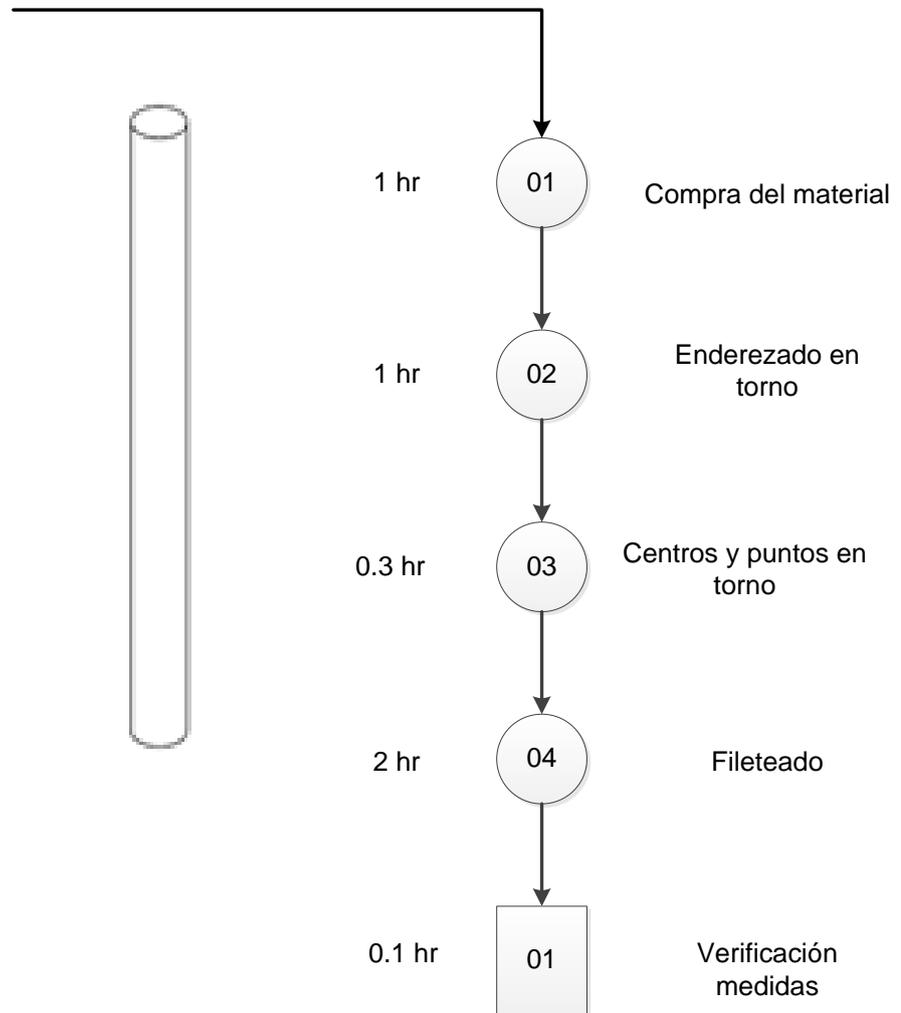


Figura 4. 6 Diagrama de flujo – porta matriz 2

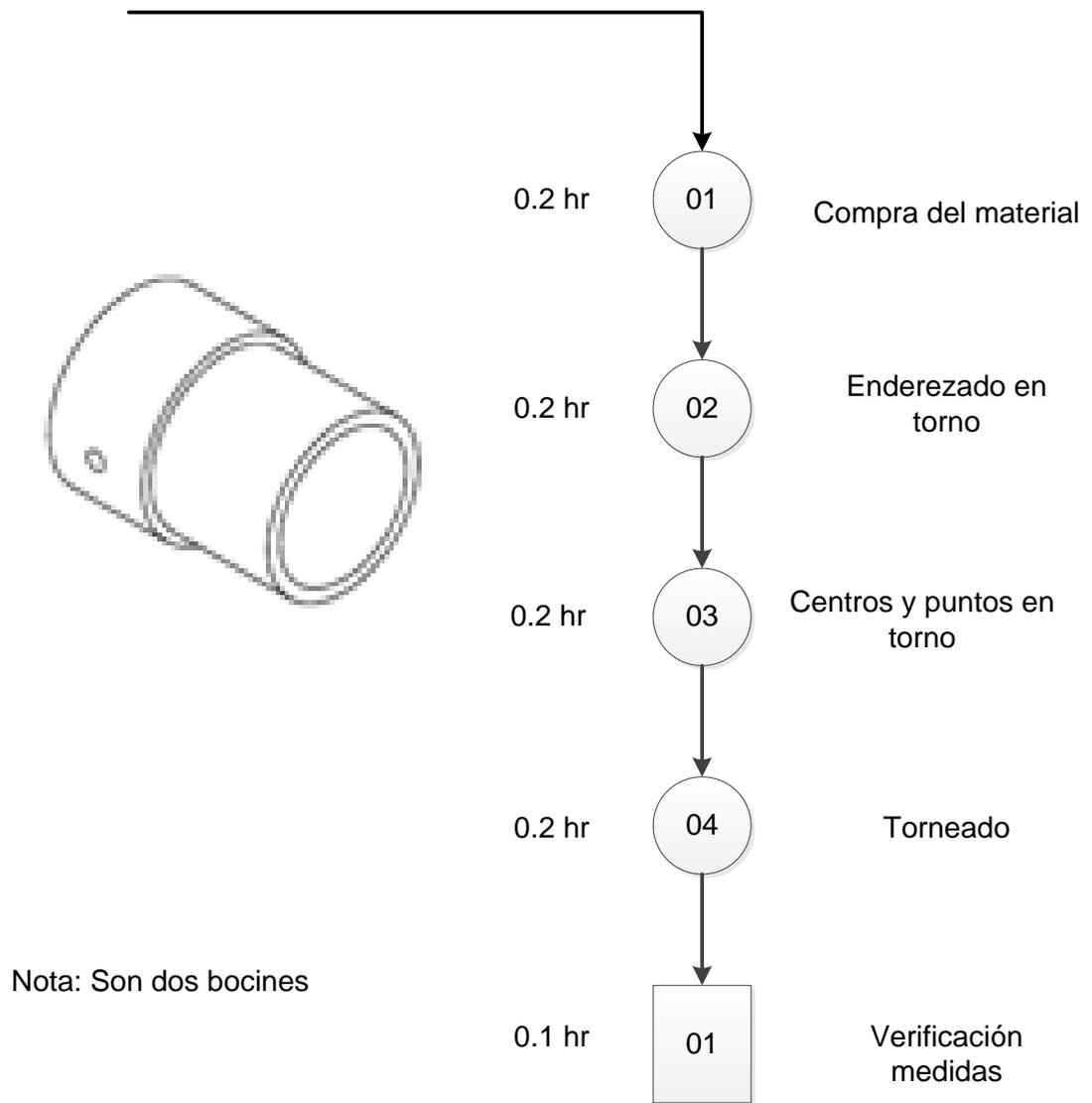
Tubo de soporte del bastidor material ST-33 sin costura cedula 80, $\varnothing_{ext} = 70$ mm, $\varnothing_{int} = 45$, $L = 835$ mm



Tiempo total: 4.40 horas

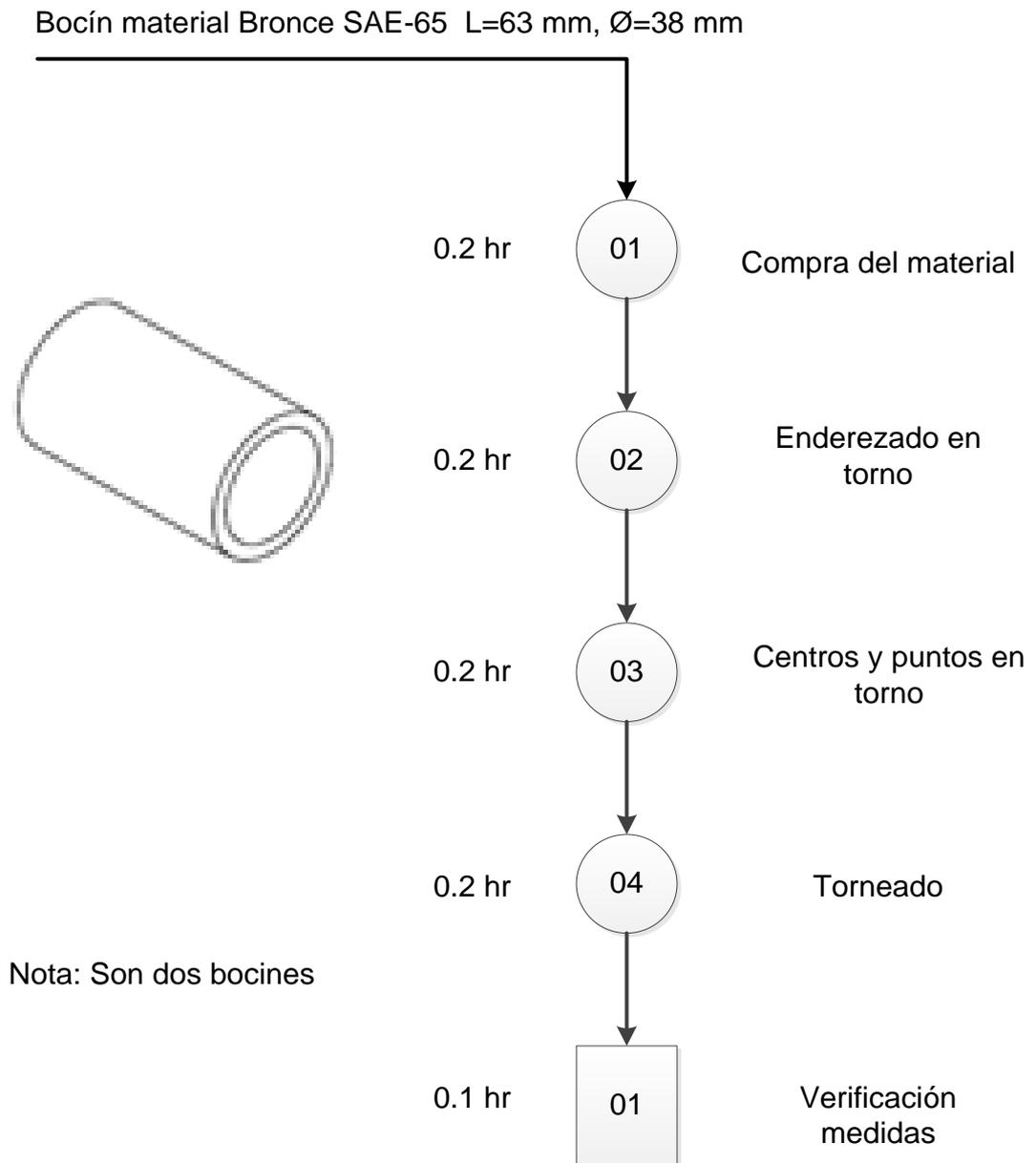
Figura 4. 7 Diagrama de flujo – tubo soporte bastidor

Bocín material Acero M - 238 L=63 mm, Ø=50 mm



Tiempo total: 3 horas

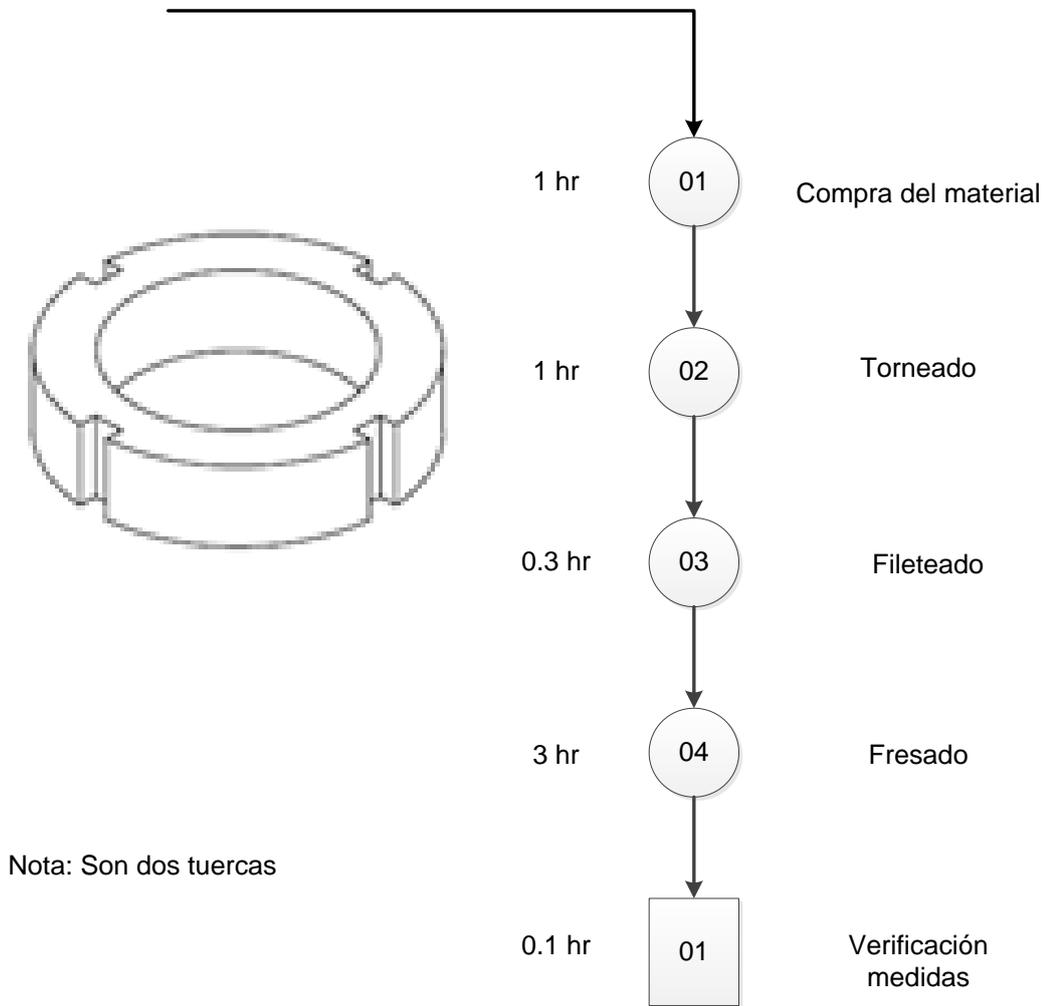
Figura 4. 8 Diagrama de flujo – bocín exterior



Tiempo total: 3 horas

Figura 4. 9 Diagrama de flujo – bocín interior

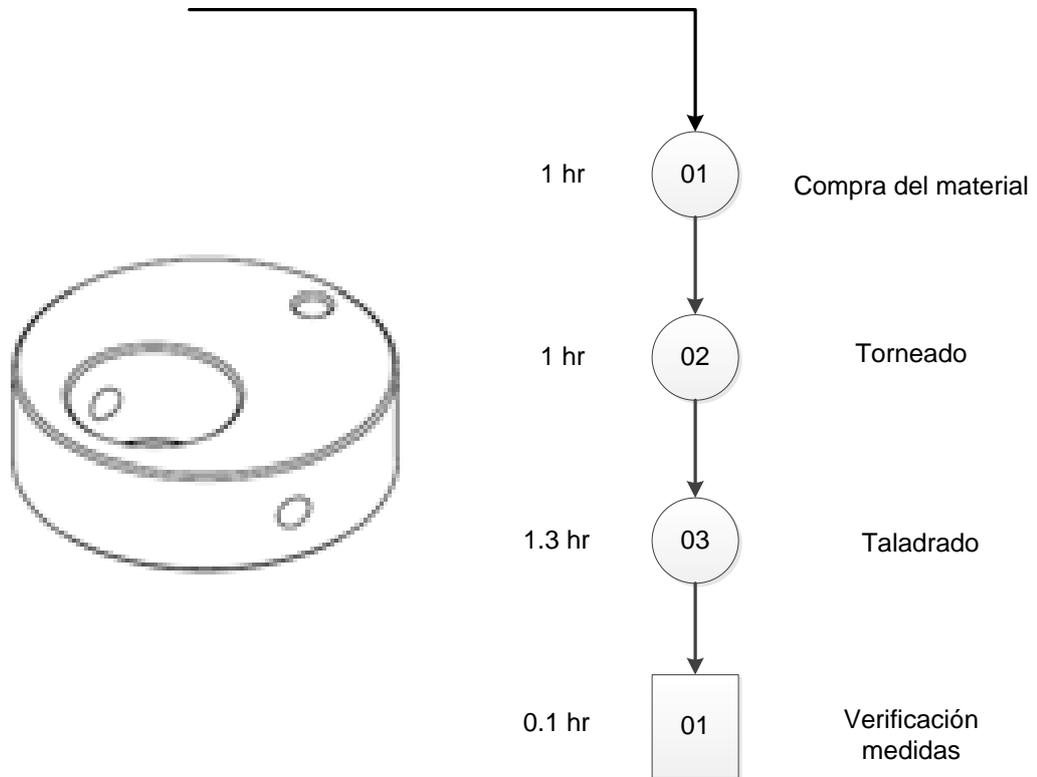
Tuercas de seguridad del bastidor material Acero M - 238 L=23 mm, Øext=90 mm, Ø=60 mm



Tiempo total: 11.20 horas

Figura 4. 10 Diagrama de flujo – tuerca de seguridad

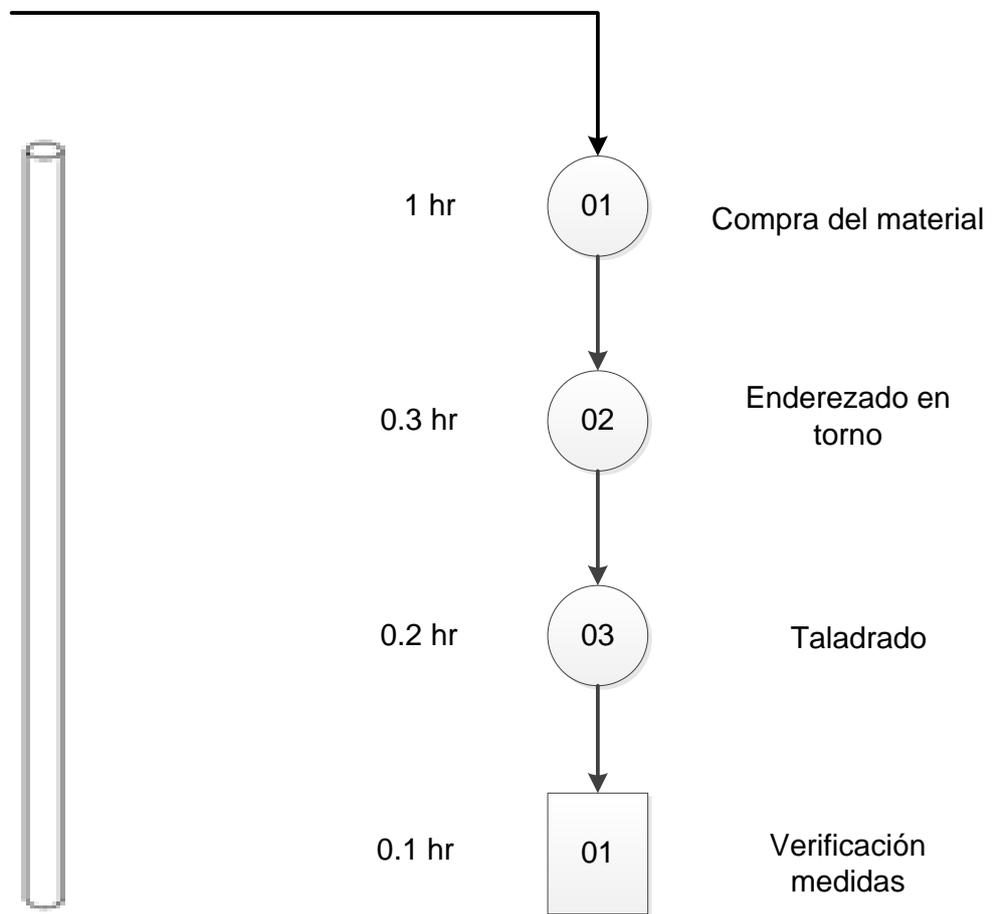
Tope y sujetador de micros material Aluminio Produx $\varnothing=82.5$ mm, h=27.5 mm



Tiempo total: 3.40 horas

Figura 4. 11 Diagrama de flujo – base controlador

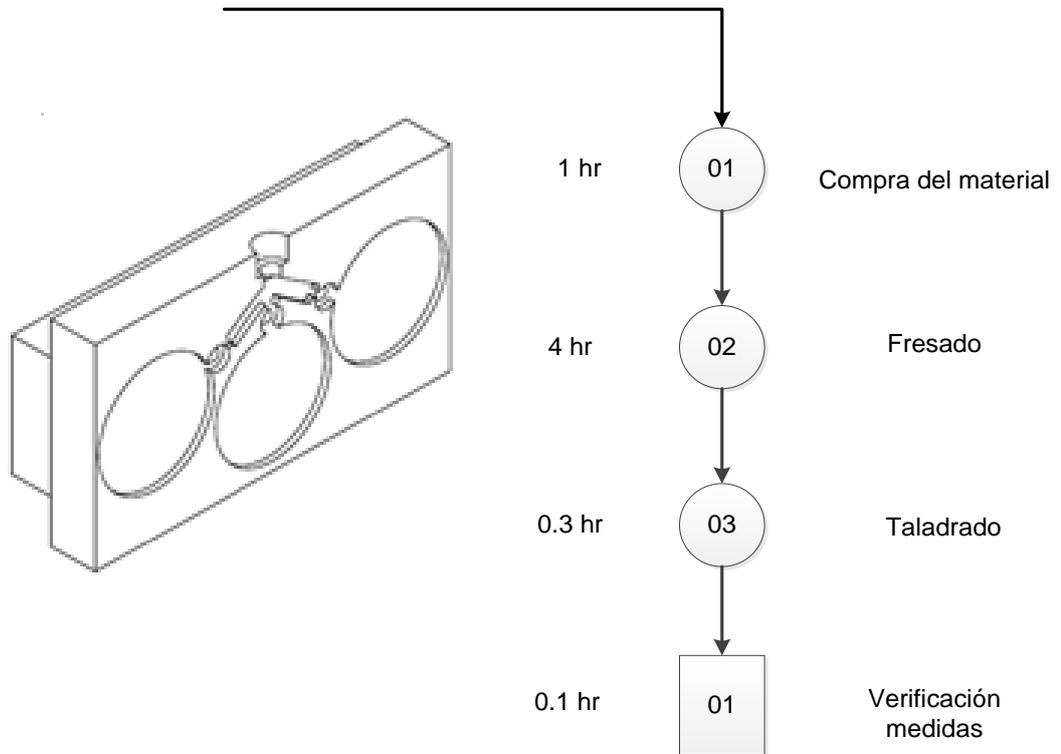
Ejes de micros material Acero Plata DF - 2 $\varnothing=8$ mm, L=270 mm



Tiempo total: 2 horas

Figura 4. 12 Diagrama de flujo – varilla

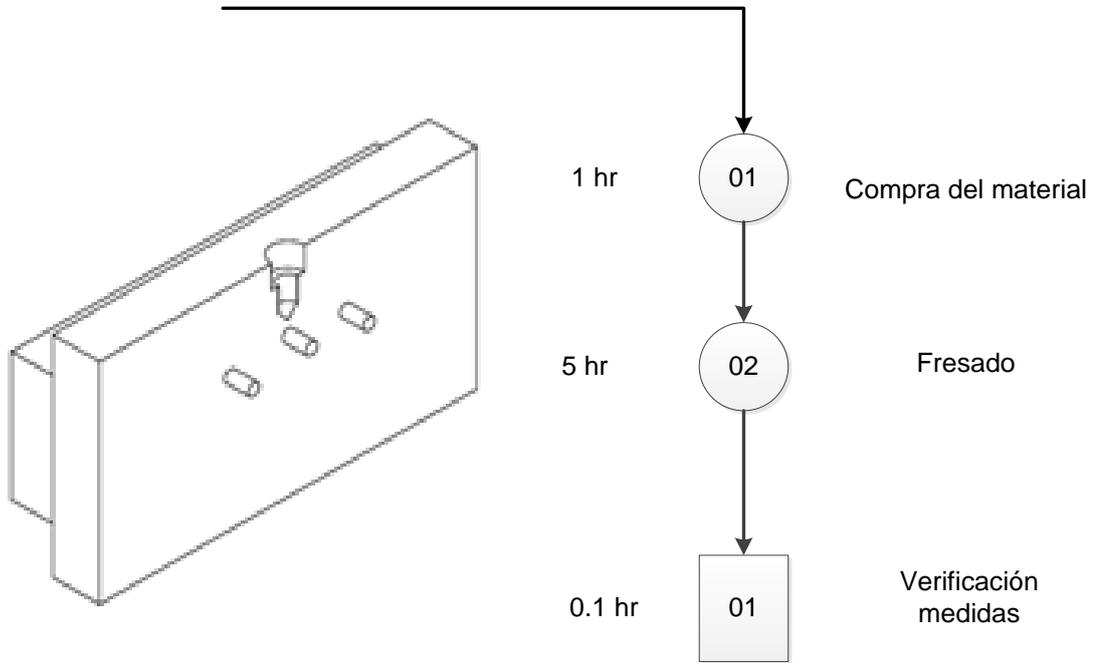
Placas del molde material Acero M - 238 e=40 mm, L=165 mm, h= 90mm



Tiempo total: 5.40 horas

Figura 4. 13 Diagrama de flujo – matriz 2

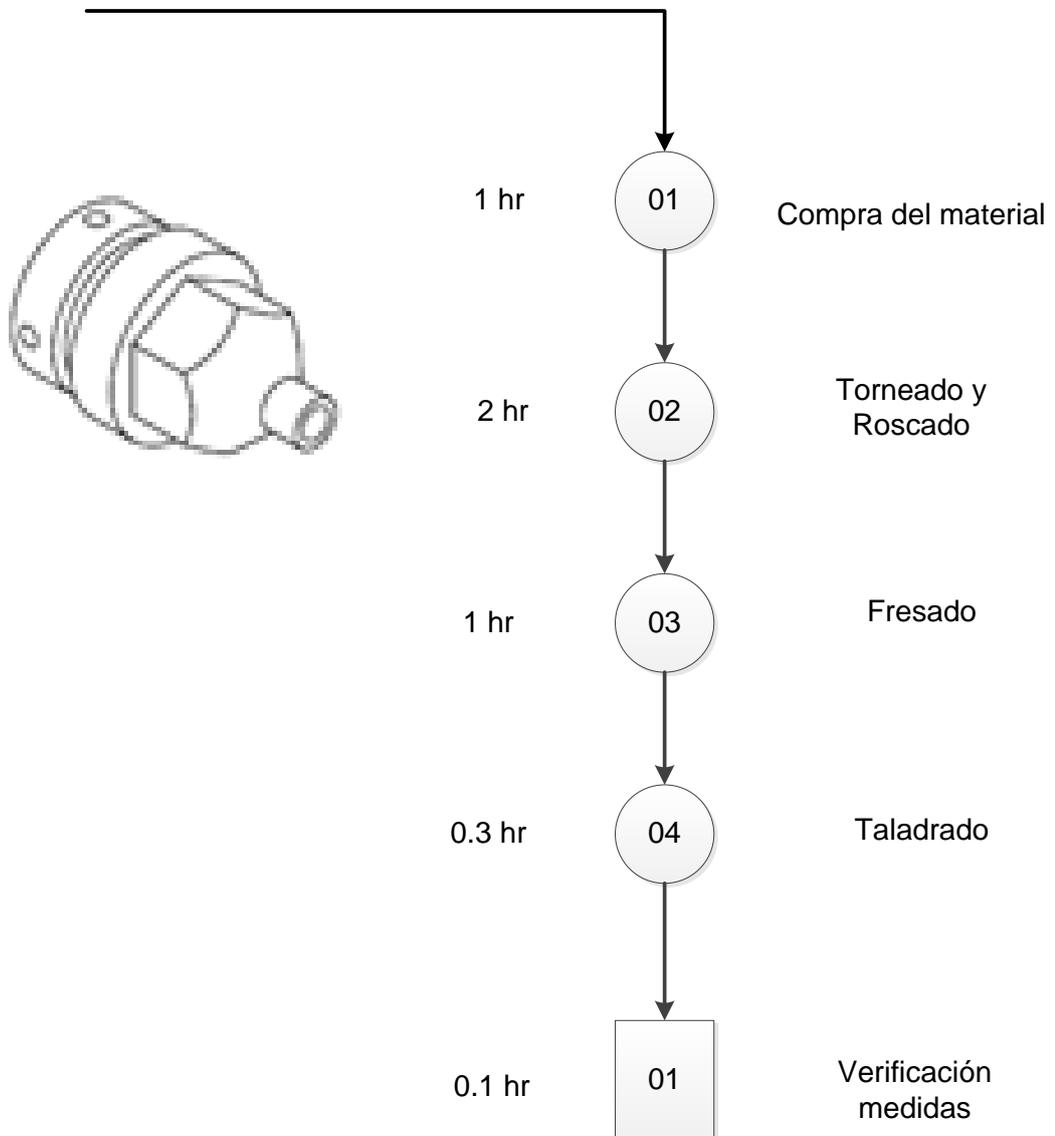
Placas del molde material Acero M - 238 e=40 mm, L=165 mm, h= 90mm



Tiempo total: 3.10 horas

Figura 4. 14 Diagrama de flujo – matriz 1

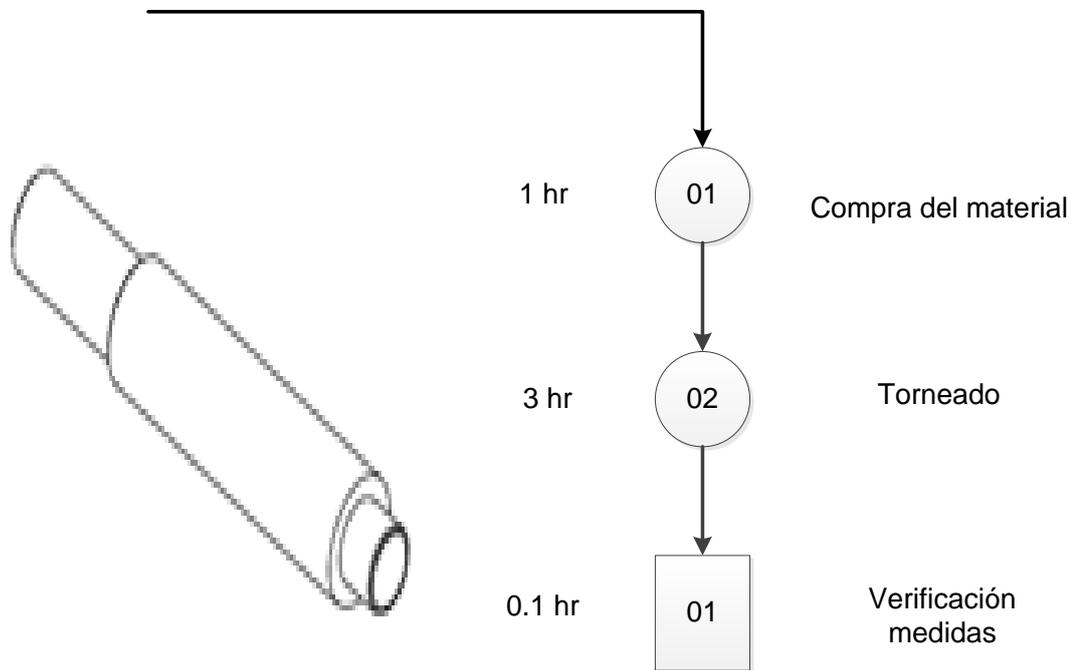
Boquilla material Acero Bonificado SKF - 705 $\varnothing = 44$ mm, L = 69 mm



Tiempo total: 4.40 horas

Figura 4. 15 Diagrama de flujo - boquilla

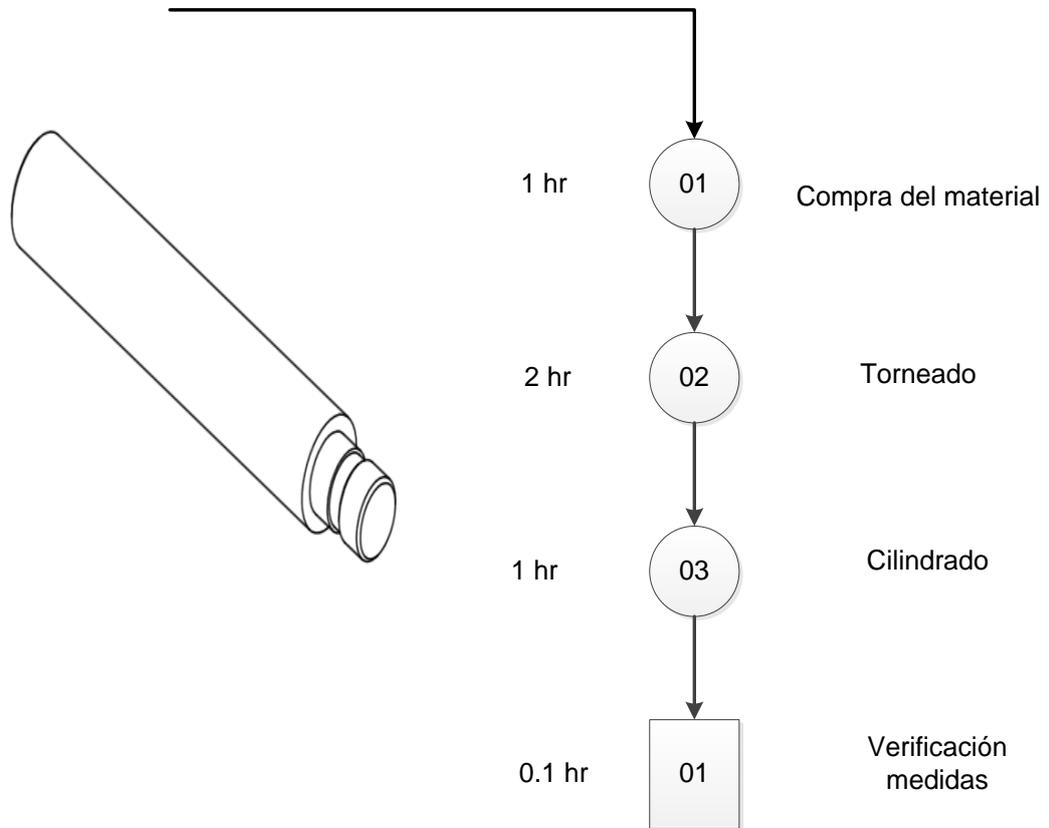
Cañón material Acero Bonificado SKF - 705 $\varnothing = 50$ mm, L= 293 mm



Tiempo total: 4.10 horas

Figura 4. 16 Diagrama de flujo – cañón

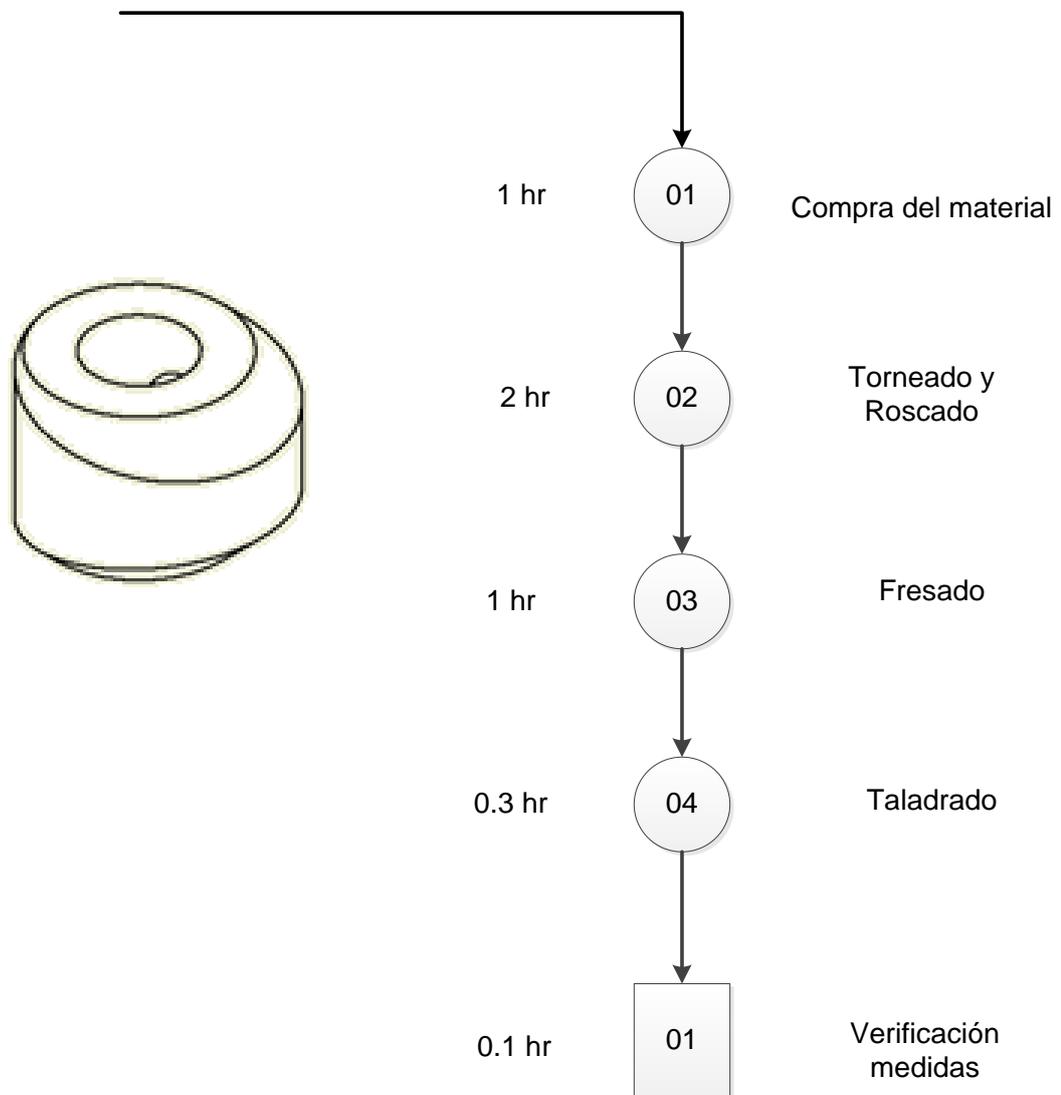
Embolo material Acero Bonificado SKF - 705 $\varnothing = 28$ mm, L=175 mm



Tiempo total: 4.10 horas

Figura 4. 17 Diagrama de flujo – émbolo

Topes material Acero de transmisión $\varnothing = 18 \text{ mm}$, $L = 13 \text{ mm}$

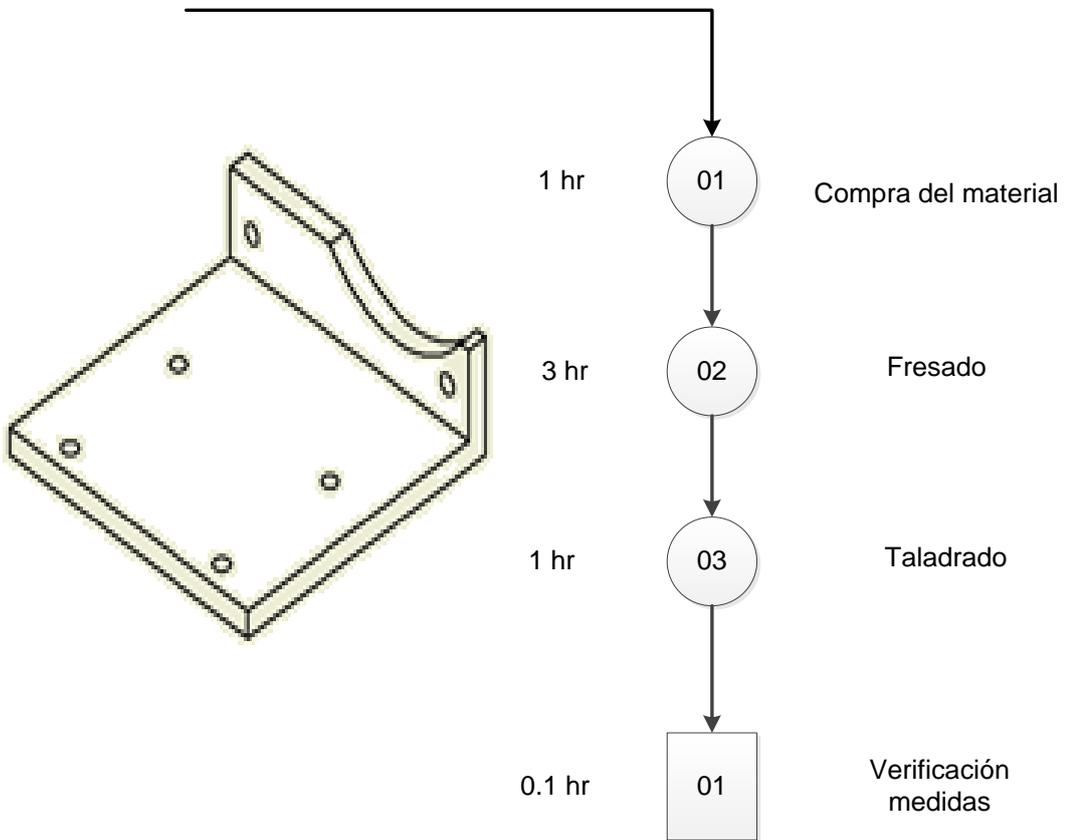


Tiempo total: 3.10 horas

Figura 4. 18 Diagrama de flujo – tope controlador

Base motor material Acero A 36 L=110 mm, H = 80 mm, e = 8 mm

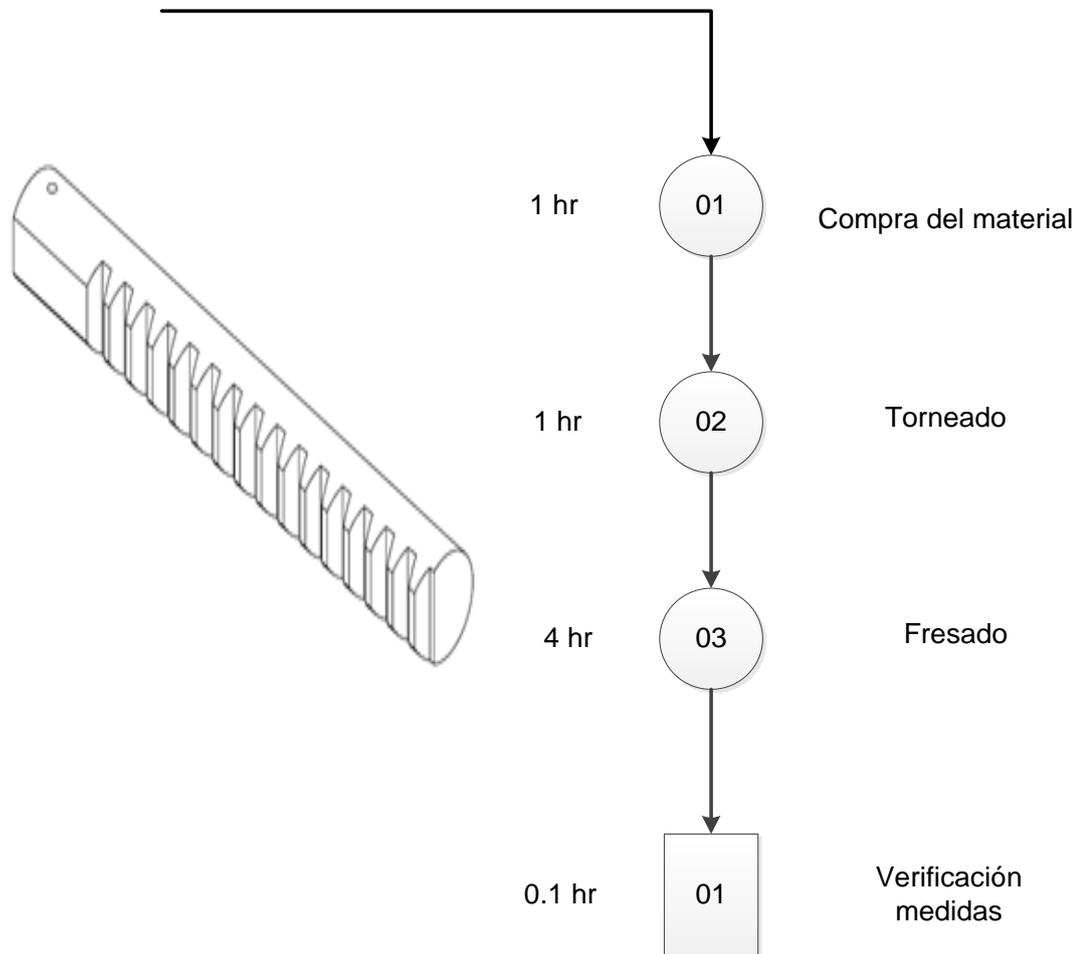
L = 35 mm, H = 80, e = 8 mm



Tiempo total: 5.10 horas

Figura 4. 19 Diagrama de flujo – base motor

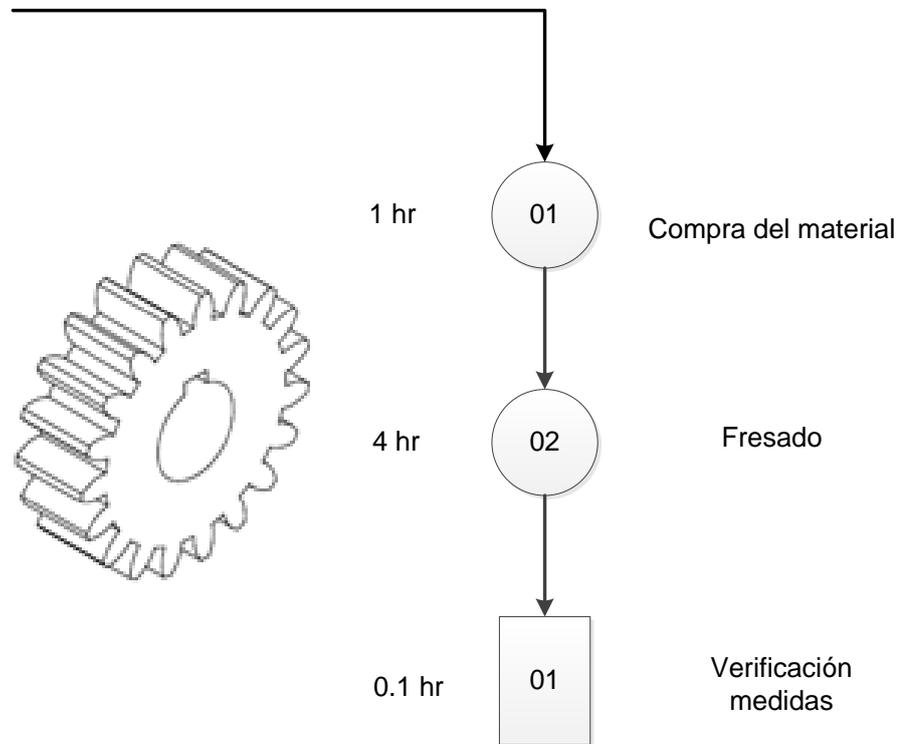
Cremallera material Acero Bonificado SKF – 705 L = 300 mm, $\varnothing = 39$ mm



Tiempo total: 6.10 horas

Figura 4. 20 Diagrama de flujo – cremallera

Engranaje material Acero Bonificado SKF – 705, $\varnothing_{ext} = 105$, $\varnothing_{int} = 35$ mm, $e = 35$ mm, $Z = 19$, $M =$



Tiempo total: 5.10 horas

Figura 4. 21 Diagrama de flujo – engranaje

Tuerca de seguridad material Aluminio Produx, $\varnothing_{ext} = 102 \text{ mm}$, $\varnothing_{int} = 40 \text{ mm}$, $e = 26 \text{ mm}$

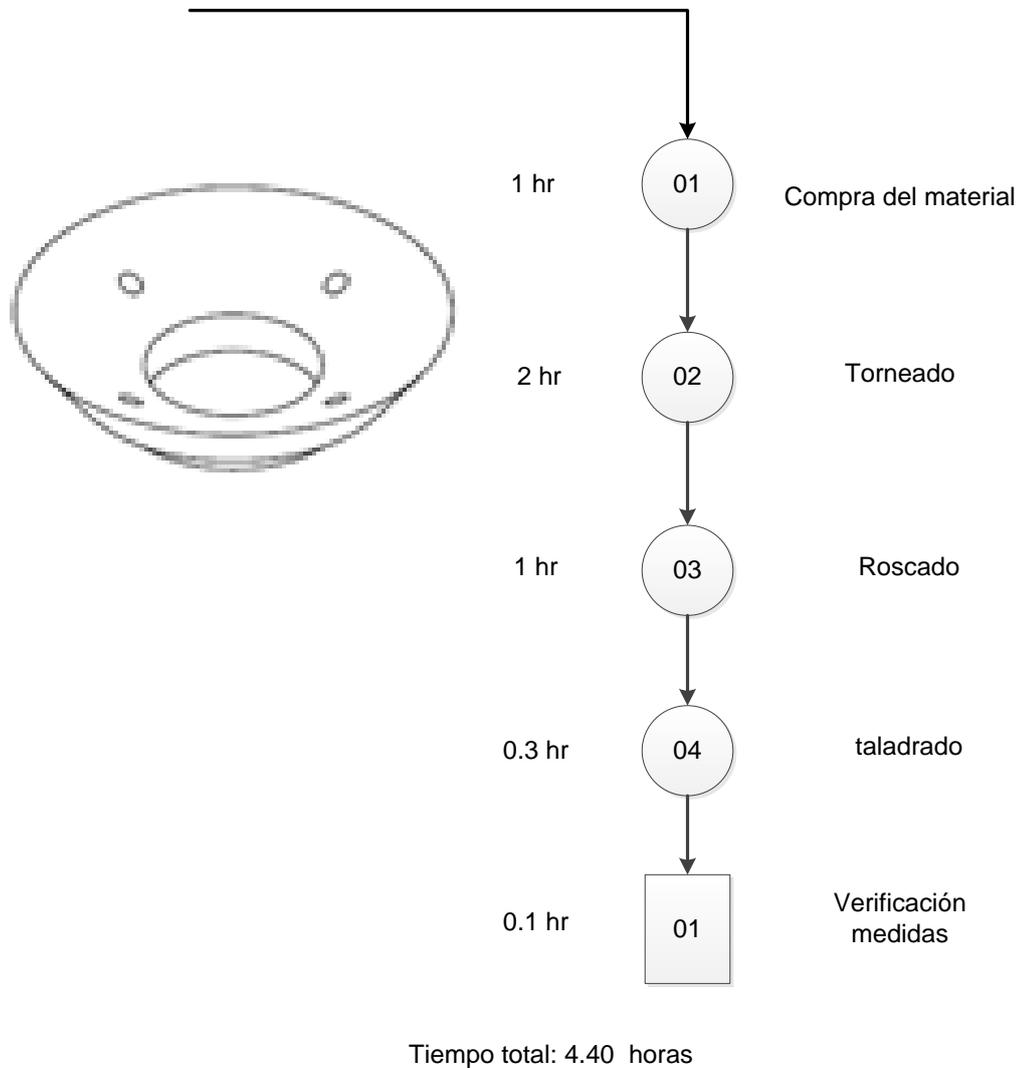


Figura 4. 22 Diagrama de flujo – tuerca de seguridad tolva

4.3. MONTAJE MECÁNICO

Las instrucciones para el montaje mecánico de la máquina son las siguientes:

1. La superficie sobre la cual se va a asentar la base de la máquina deberá ser de hormigón con un mínimo de 100mm de espesor y nivelado.
2. Marcar la posición en la superficie y realizar los agujeros.
3. Colocar en la posición donde se va a fijar la máquina.
4. Insertar y ajustar los pernos de anclaje mínimo M8 en las posiciones.

4.4. MONTAJE ELÉCTRICO

Ver en ANEXO A

4.5. MANUAL DE OPERACIÓN

Ver en ANEXO B

4.6. MANUAL DE MANTENIMIENTO

Ver en ANEXO C

CAPÍTULO 5

5. PRUEBAS

5.1. PRUEBAS DIMENSIONALES

Las pruebas dimensionales de la máquina de inyección de plástico se las realizaron con la ayuda de un calibrador digital de 300mm $\pm 0,01$. Se realizó de todas las piezas y elementos de la Inyectora, sin embargo en la tabla 5.1 de puede observar las medidas más importante para el correcto funcionamiento de la misma.

Cuadro 5. 1

Pruebas dimensionales –Máquina inyección de plástico

No	Plano	Medidas	mn	mr	e	Tolerancia	Cumple
1	2001	Diámetro exterior de la columna	60	60,01	0,01	+0,012 -0,007	SI
2	2002	Diámetro alojamiento rodamiento en el cuerpo	62	62,02	0,02	+0,030	SI
3	2002	Diámetro agujero columna en el cuerpo	60	60,01	0,01	+0,030	SI
4	2002	Diámetro agujero émbolo y cremallera en el cuerpo	40	40,13	0,13	+0,160	SI
5	2003	Diámetro de la boquilla	12	11,87	-0,13	$\pm 0,80$	SI
6	2003	Diámetro interno de la boquilla	8	8,12	0,12	$\pm 0,80$	SI
7	2004	Diámetro intermedio del cañón	40	39,89	-0,11	-0,160	SI
8	2004	Diámetro menor del cañón	33	32,17	-0,83	$\pm 1,50$	SI
9	2004	Diámetro interno del cañón	28	28,10	0,10	+0,130	SI
10	2005	Diámetro exterior émbolo	28	27,90	-0,10	-0,130	SI

CONTINÚA 

11	2005	Diámetro menor émbolo	20	20,00	0,00	+0,005 -0,004	SI
12	2006	Diámetro exterior de la cremallera	40	40,00	0,00	-0,160	SI
13	2006	Diámetro interior cremallera	20	20,00	0,00	+0,013	SI
14	2007	Diámetro agujero varilla de la base del controlador	8	8,01	0,01	+0,015	SI
15	2007	Diámetro agujero cremallera de la base del controlador	40	40,01	0,01	+0,025	SI
16	2008	Diámetro de la varilla	8	8,00	0,00	+0,007 -0,002	SI
17	2009	Diámetro interno del tope de controlador	8	8,00	0,00	+0,015	SI
18	3001	Diámetro agujero ejes placa 1	30	30,00	0,00	+0,014 -0,011	SI
19	3001	Posición vertical de agujero ejes de la placa 1	40	39,85	-0,15	±2,00	SI
20	3001	Posición horizontal de agujero ejes de la placa 1	39	40,12	1,12	±2,00	SI
21	3001	Distancia entre centro de ejes de la placa 1	222	221,87	-0,13	±0,50	SI
22	3001	Posición horizontal agujeros de sujeción al bastidor en la placa 1	25	23,78	-1,22	±2,00	SI
23	3001	Posición vertical agujeros de sujeción al bastidor en la placa 1	17	17,75	0,75	±2,00	SI
24	3001	Distancia entre centros de los agujeros de sujeción en la placa 1	250	249,78	-0,22	±0,50	SI
25	3001	Diámetro agujero sujeción cilindro en la placa 1	11	10,54	-0,46	±2,00	SI
26	3001	Distancia entre centros de agujeros de sujeción del cilindro en la placa 1	90	89,75	-0,25	±0,50	SI

CONTINÚA 

27	3002	Diámetro mayor del eje	30	30,00	0,00	-0,013	SI
28	3002	Diámetro menor del eje	27	27,00	0,00	-0,013	SI
29	3003	Diámetro agujero ejes del porta matriz 1	30	30,00	0,00	+0,025	SI
30	3003	Posición vertical de agujero ejes del porta matriz 1	41	42,47	1,47	±1,50	SI
31	3003	Posición horizontal de agujero ejes del porta matriz 1	37	38,27	1,27	±1,50	SI
32	3003	Distancia entre centro de ejes del porta matriz 1	222	221,88	-0,12	±0,50	SI
33	3003	Diámetro agujero sujeción de la matriz del porta matriz 1	12	11,87	-0,13	±1,50	SI
34	3004	Diámetro agujero ejes en porta matriz 2	45	44,98	-0,02	-0,008 -0,033	SI
35	3004	Posición vertical de agujero ejes en porta matriz 2	41	42,39	1,39	±1,50	SI
36	3004	Posición horizontal de agujero ejes en porta matriz 2	37	37,53	0,53	±1,50	SI
37	3004	Distancia entre centro de ejes en porta matriz 2	222	221,80	-0,20	±0,50	SI
38	3004	Diámetro agujero sujeción de la matriz en porta matriz 2	13	13,29	0,29	±1,50	SI
39	3004	Posición vertical agujero sujeción matriz en porta matriz 2	65	64,78	-0,22	±1,50	SI
40	3004	Posición horizontal agujero sujeción matriz en porta matriz 2	124	125,13	1,13	±1,50	SI
41	3004	Distancia entre centro de agujeros de sujeción matriz en porta matriz 2	48	47,88	-0,12	±0,50	SI

CONTINÚA 

		Diámetro agujero						
42	3004	sujeción cilindro en porta matriz 2	20	21,23	1,23	±1,50	SI	
43	3005	Diámetro externo bocín	45	44,99	-0,01	-0,026	SI	
44	3005	Diámetro interno bocín	38	38,00	0,00	+0,025	SI	
45	3006	Diámetro externo bocín interno	38	38,02	0,02	+0,020 -0,019	SI	
46	3006	Diámetro interno bocín interno	30	30,00	0,00	0,025	SI	
47	3008	Diámetro agujero ejes placa 2	27	27,00	0,00	+0,012 -0,009	SI	
48	3008	Posición vertical de agujero ejes placa 2	40	38,23	-1,77	±2,00	SI	
49	3008	Posición horizontal de agujero ejes placa 2	39	38,02	-0,98	±2,00	SI	
50	3008	Distancia entre centro de ejes placa 2	222	221,82	-0,18	±0,50	SI	
51	3008	Posición horizontal agujeros de sujeción al bastidor placa 2	25	24,78	-0,22	±2,00	SI	
52	3008	Posición vertical agujeros de sujeción al bastidor placa 2	17	17,81	0,81	±2,00	SI	
53	3008	Distancia entre centros de los agujeros de sujeción placa 2	250	250,28	0,28	±0,5	SI	
54	4001	Diámetro exterior del engranaje	105	103,97	-1,03	±1,50	SI	
55	4001	Diámetro interior del engranaje	40	40,01	0,01	+0,025	SI	
56	4002	Diámetro mayor externo del eje del engranaje	40	40,00	0,00	+0,018 +0,002	SI	
57	4002	Diámetro menor externo del eje del engranaje	35	35,01	0,01	+0,018 +0,002	SI	

CONTINÚA 

58	4002	Diámetro interno del eje del engranaje	20	20,00	0,00	+0,021	SI
59	5001	Ancho de la riel en el bastidor	10	10,15	0,15	±2,50	SI
60	5001	Posición horizontal del inicio de la riel en el bastidor	25	25,77	0,77	±2,50	SI
61	5001	Posición vertical del inicio de la riel en el bastidor	25	24,58	-0,42	±0,50	SI
62	5001	Distancia entre los centros de las rieles en el bastidor	250	250,33	0,33	±0,50	SI
63	5001	Diámetro agujero soporte placa en el bastidor	8	7,85	-0,15	±2,50	SI
64	5001	Posición horizontal agujero soporte placa en el bastidor	17	17,06	0,06	±0,50	SI
65	5001	Posición vertical agujero soporte placa en el bastidor	25	24,88	-0,12	±0,50	SI
66	5003	Diámetro agujero fijación placa 2 en la placa bastidor 4	8	7,89	-0,11	±2,50	SI
67	5003	Posición horizontal agujero fijación placa 2 en placa bastidor 4	17	18,50	1,50	±2,50	SI
68	5003	Posición vertical agujero fijación placa 2 en placa bastidor 4	25	26,18	1,18	±2,50	SI
69	5003	Distancia entre centros de agujeros de fijación placa 2 en la placa bastidor 4	250	250,15	0,15	±0,50	SI
70	5007	Longitud de riel de fijación placa 1 en la placa bastidor 5	200	199,60	-0,40	±2,50	SI
71	5007	Posición vertical de riel de fijación placa 1 en la placa bastidor 5	25	26,28	1,28	±2,50	SI

CONTINÚA 

72	5007	Posición horizontal de riel de fijación placa 1 en la placa bastidor 5	25	23,87	-1,13	±2,50	SI
73	5007	Distancia entre centros de las rieles de fijación placa 1 en la placa bastidor 5	250	250,35	0,35	±0,50	SI
74	6001	Longitud de pin matriz 1	10	9,67	-0,33	±0,50	SI
75	6001	Diámetro del pin matriz 1	4	4,00	0,00	-0,030	SI
76	6001	Posición horizontal pin 1 matriz 1	30	29,87	-0,13	±0,50	SI
77	6001	Posición vertical pin 1 matriz 1	58	58,57	0,57	±0,50	SI
78	6001	Posición horizontal pin 2 matriz 1	30	30,00	0,00	±0,50	SI
79	6001	Posición vertical pin 2 matriz 1	83	82,89	-0,11	±0,50	SI
80	6001	Posición horizontal pin 3 matriz 1	30	29,87	-0,13	±0,50	SI
81	6001	Posición vertical pin 3 matriz 1	58	57,72	-0,28	±0,50	SI
82	6001	Diámetro agujero sujeción matriz 1	12	12,13	0,13	±0,50	SI
83	6001	Posición horizontal agujero sujeción matriz 1	63	63,12	0,12	±0,50	SI
84	6001	Posición vertical agujero sujeción matriz 1	58,5	58,21	-0,29	±0,50	SI
85	6001	Distancia entre centros de agujeros sujeción matriz 1	48	48,32	0,32	±0,05	SI
86	6001	Diámetro agujero alojamiento boquilla matriz 1	14	14,25	0,25	±0,50	SI
87	6002	Profundidad agujero de pin matriz 2	10	10,45	0,45	±0,50	SI
88	6002	Diámetro del agujero del pin matriz 2	4	4,00	0,00	+0,018	SI

CONTINÚA 

89	6002	Posición horizontal agujero pin 1 matriz 2	58	57,85	-0,15	±0,50	SI
90	6002	Posición vertical agujero pin 1 matriz 2	30	30,11	0,11	±0,50	SI
91	6002	Posición horizontal agujero pin 2 matriz 2	83	82,98	-0,02	±0,50	SI
92	6002	Posición vertical agujero pin 2 matriz 2	30	30,25	0,25	±0,50	SI
93	6002	Diámetro agujero sujeción matriz 2	12	12,05	0,05	±0,50	SI
94	6002	Posición horizontal agujero sujeción matriz 2	82,5	82,30	-0,20	±0,50	SI
95	6002	Posición vertical agujero sujeción matriz 2	45	45,20	0,20	±0,50	SI
96	6002	Diámetro agujero alojamiento boquilla matriz 2	14	14,15	0,15	±0,50	SI

5.2. PRUEBAS DE OPERACIÓN

5.2.1. ENSAYOS DE CALIBRACIÓN

Mediante pruebas de operación se realizaron ensayos para obtener los tiempos promedios de precalentamiento y de las etapas del ciclo de inyección. Los tiempos que se registraron en los ensayos se muestran en el cuadro 5.2.

Cuadro 5. 2

Ensayos de Calibración

No.	Etapas	E1 (s)	E2 (s)	E3 (s)	E4 (s)	E5 (s)	Promedio (s)
1	Pre calentamiento de la resistencia	1048,18	1055,08	1040,21	1038,42	1038,12	1044,00
2	Cierre del cilindro	1,06	1,11	1,13	1,08	1,09	1,09
3	Bajada del émbolo	1,75	1,83	1,77	1,74	1,84	1,79
4	Inyección	6,12	6,19	6,12	6,2	6,15	6,16
5	Retorno del émbolo	1,6	1,65	1,67	1,62	1,64	1,64

CONTINÚA 

6	Enfriamiento	9,89	9,97	10,15	10,11	9,99	10,02
7	Apertura del cilindro	3,69	3,75	3,81	3,8	3,79	3,77
8	Sacado de pieza	5,84	5,85	5,92	5,88	5,94	5,89

Estos resultados obtenidos a través de ensayos se comparan con los valores nominales.

Cuadro 5. 3

Tiempo de precalentamiento

No.	Etapa	Tiempo nominal (s)	Tiempo promedio (s)	Error (%)
1	Precalentamiento de la resistencia	1080	1044	3.33%
TOTAL		1080	1044	3.33%

Cuadro 5. 4

Tiempos de las etapas del ciclo

No.	Etapa	Tiempo nominal (s)	Tiempo promedio (s)	Error (%)
1	Cierre del cilindro	1	1.09	-9,00%
2	Bajada del émbolo	2	1.79	10,50%
3	Inyección	6	6.16	-2,67%
4	Retorno del émbolo	2	1.64	18,00%
5	Enfriamiento	10	10,02	-0,20%
6	Apertura del cilindro	4	3.77	5,75%
7	Sacado de pieza	5	5.89	-17,80%
TOTAL		30	30,36	-1,20%

Los datos que se muestran en la tabla son un promedio de la medición de tiempos de cada uno de las etapas. Sin embargo al realizar un ciclo completo se incrementó el tiempo total del ciclo a un promedio de 33,36s, esta variación en el tiempo total de ciclo se debe a que al momento de operar y activar cada uno de los botones es un tiempo que no se tomó en cuenta en la tabla.

5.2.2. ENSAYOS DE INYECCIÓN

Se realizaron pruebas de operación de la máquina, y se pudo observar que hay parámetros importantes para obtener buenos resultados de inyección. Estos parámetros son la presión de cierre, la temperatura de la resistencia, el tiempo de inyección. Para analizar los resultados y la influencia que tienen estos parámetros en las características de la pieza final se realizaron varias pruebas.

Cuadro 5. 5

Ensayo de Inyección

No.	Temperatura de la resistencia	Presión de Cierre	Tiempo de Inyección	Observaciones
1	140°C	85 psi	2 s	El material no se fundió totalmente y no lleno la cavidad del molde de la manera adecuada, se solidificó antes de llenar la cavidad, por la presión de compresor se puede observar las rebabas en la pieza.
2	190°C	85 psi	2 s	La calidad en el material solidificado mejoró, pero no lleno la cavidad del molde de la manera adecuada, se solidificó antes de llenar la cavidad, por la presión de compresor se puede observar las rebabas en la pieza.
3	190°C	85 psi	4 s	Las cavidades del molde se llenan un poco más, sin embargo no completamente. Se siguen observando rebabas.
4	215°C	85 psi	6 s	Mejora en la calidad y terminación de la pieza, la presión del compresor al estar por debajo de lo indicado genera que las matrices no hagan un cierre correcto produciendo rebabas en la pieza final.
5	215°C	100 psi	4 s	Se puede observar que las rebabas desaparecieron y una buena calidad en el material de la pieza, por la variación en el tiempo de inyección se puede ver que no se llenó la cavidad de la matriz completamente.

CONTINÚA 

6	170°C	100 psi	6 s	Se ve afectada la calidad en la pieza final, por la falta de temperatura, es una pieza completa y sin rebabas.
7	240°C	100 psi	6 s	Al tener un incremento en la temperatura se requiere más tiempo antes de abrir el molde por lo que se puede observar en la parte donde ingresa el material fundido no se solidificó de la manera correcta.
8	215°C	100 psi	6 s	Se puede observar que la pieza final no presenta problemas.



Figura 5. 1 Pieza final prueba 1



Figura 5. 2 Pieza final prueba 2



Figura 5. 3 Pieza final prueba 3



Figura 5. 4 Pieza final prueba 4



Figura 5. 5 Pieza final prueba 5



Figura 5. 6 Pieza final prueba 6



Figura 5. 7 Pieza final prueba 7



Figura 5. 8 Pieza final

5.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la construcción de la máquina como se puede observar en la sección 5.1. PRUEBAS DIMENSIONALES se realizó una verificación de todas las medidas de piezas y elementos de la máquina. Las medidas presentadas están dentro del rango permitido de acuerdo a las tolerancias seleccionadas para cada una de las piezas y elementos de la Inyectora de Plástico. En una primera verificación de medidas no se obtuvo un 100% en las pruebas dimensionales, por lo cual las piezas regresaron al taller para realizar las correcciones necesarias.

Los principales parámetros que influyen en la calidad de la pieza son el tiempo de inyección, la temperatura de la resistencia eléctrica y la presión del compresor. Variando estos parámetros pueden causar varios problemas en las piezas finales.

Una parte de los materiales y elementos utilizados para la construcción de la inyectora de plástico fueron reciclados de diferentes máquinas irreparables y materiales sobrantes. Con esta iniciativa se pudo reducir en gran medida los costos de fabricación de la máquina y a su vez incentivar en la industria procesos de reciclaje tanto de piezas como de materiales.

CAPÍTULO 6

6. ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA

El estudio y evaluación financiera nos permite realizar un análisis de ingresos y gastos generados por el proyecto, para la verificación de la rentabilidad del mismo.

Al plantear el plan de tesis del proyecto se realizó un presupuesto, sin embargo al desarrollar el proyecto se obtuvieron los costos reales que se detallan en el presente capítulo.

6.1. PRESUPUESTO DE INVERSIÓN

Es el presupuesto necesario para el diseño y construcción, con pruebas de operación de la máquina.

6.1.1. COSTOS DIRECTOS

6.1.1.1. Materiales y accesorios

Cuadro 6. 1

Costo de Materiales Directos

COSTOS DE MATERIALES DIRECTOS			
Cant.	Detalle	Valor Unitario	Valor Total
2	Tuerca columna Acero M 238 Øext=95 mm L=30 mm	\$ 3,42	\$ 6,84
1	Tuerca cañón Acero Bonificado SKF 705	\$ 7,46	\$ 7,46
1	Placa 1 Acero A 36	\$ 22,10	\$ 22,10
2	Eje Acero SAE 1018	\$ 21,22	\$ 42,44
1	Porta matriz 1 Acero A 36	\$ 22,10	\$ 22,10
1	Porta matriz 2 Acero A 36	\$ 22,10	\$ 22,10
2	Bocín Bronce SAE 65	\$ 6,41	\$ 12,82
2	Bocín interno Acero M 238	\$ 1,79	\$ 3,58
1	Placa 2 Acero A 36	\$ 70,00	\$ 70,00
1	Matriz 1 Acero M 238	\$ 65,38	\$ 65,38
1	Matriz 2 Acero M 238	\$ 65,38	\$ 65,38
1	Boquilla Acero Bonificado SKF 705	\$ 5,22	\$ 5,22

CONTINÚA 

2	Cañón Acero Bonificado SKF 705	\$ 5,48	\$ 5,48
1	Émbolo Acero Bonificado SKF 705	\$ 6,35	\$ 6,35
1	Base controlador aluminio pródax	\$ 16,80	\$ 16,80
2	Varilla Controlador acero plata	\$ 3,42	\$ 3,42
1	Topes acero de transmisión	\$ 2,25	\$ 2,25
1	Base motor Acero A 36	\$ 5,95	\$ 5,95
2	Cremallera Acero Bonificado SKF 705	\$ 2,78	\$ 2,78
2	Engranaje Acero Bonificado SKF 705	\$ 1,91	\$ 1,91
1	Perfiles tablero y estructura L = 1640 mm Dimensiones L2" x 2" x 1/8"	\$ 4,38	\$ 4,38
1	Columna Ø65mm	\$ 60,00	\$ 60,00
1	Cuerpo columna Acero A36	\$ 180,00	\$ 180,00
1	Polietileno	\$ 80,00	\$ 80,00
		SUBTOTAL	\$ 716,99
		12% IVA	\$ 86,04
		TOTAL	\$ 803,03

Cuadro 6. 2

Costo de Elementos y Accesorios

COSTO DE ELEMENTOS Y ACCESORIOS			
Cant.	Detalle	Valor Unitario	Valor Total
2	Rodamientos 6007 2RS SKF	\$ 13,50	\$ 27,00
2	Micro switch rodillo frontal	\$ 7,52	\$ 15,04
3	Contactador LC1-D3210 C/BOB,220V	\$ 82,35	\$ 247,05
2	Fabricación de sello de pistón	\$ 25,56	\$ 51,12
1	Amperímetro	\$ 12,50	\$ 12,50
6	Conector Bx recto con PVC de 1/2"	\$ 0,95	\$ 5,70
1	Micro switch rodillo corto	\$ 5,47	\$ 5,47
2	Micro switch rodillo largo	\$ 2,36	\$ 4,72
6	Enchufe polarizado 15 A-125V cooper	\$ 2,65	\$ 15,90
6	Toma aéreo polar 15 A - 125V	\$ 4,55	\$ 27,30
1	Guardamotor 2,5 - 4 A	\$ 55,05	\$ 55,05
4	Tubo poliuretano 10 mm azul	\$ 1,95	\$ 7,80
1	Electroválvula 5/2 - 3/8 " mono 220 VAC	\$ 77,22	\$ 77,22
1	Regulador de flujo 3/8 " x 10 mm	\$ 9,74	\$ 9,74
2	Silenciador bronce sinterizado 1/4"	\$ 2,15	\$ 4,30
2	Racor codo 3/8" x 10 mm	\$ 2,81	\$ 5,62
2	Racor codo 1/2" x 10 mm	\$ 3,99	\$ 7,98
1	Termocupla 0-400 s T/K 72*72	\$ 64,50	\$ 64,50
1	Termoc.Tornillo 0-500 T/K C106	\$ 8,80	\$ 8,80
1	Camsco Amperímetro directo 25Amp 72*72	\$ 11,13	\$ 11,13
2	Cams pulsador marcha verde 1NA 22mm	\$ 1,60	\$ 3,20
2	Cams pulsador paro rojo 1NC 22mm	\$ 2,00	\$ 4,00
5	Camsco selector 2POS maneta corta 22mm	\$ 2,00	\$ 10,00
1	Cams timer 110/240V 1s/10s/1m/10m	\$ 16,30	\$ 16,30
1	Camsco base p/relay spines p/riel pque TC-085A	\$ 1,36	\$ 1,36
4	Porta fusible de 10*38 Gold-Camsco	\$ 1,55	\$ 6,20
2	Fusibles 10*38 2 Amp 500V	\$ 0,30	\$ 0,60
2	Fusibles 10*38 20 Amp 500V	\$ 0,30	\$ 0,60
4	Mt cable silicón # 12 fibra de vidrio	\$ 3,46	\$ 13,84

CONTINÚA 

1	Mt riel ding acero perforada dorada 1mt	\$ 2,65	\$ 2,65
1	Pelador de cables HT-5021	\$ 7,90	\$ 7,90
1	Dexson canaleta ranurada gris 25*25 (25UND)	\$ 3,80	\$ 3,80
100	Terminal en U 5/32 18-22 VF1,25-4Y	\$ 0,04	\$ 4,10
1	Resistencia tubular abrazadera Ø 3/8*160 cm de largo; 220V 1300W	\$ 66,00	\$ 66,00
29	Tornillos autorroscantes 10*3/4	\$ 0,04	\$ 1,16
1	Motor trifásico	\$ 180,00	\$ 180,00
1	Pistón	\$ 170,00	\$ 170,00
13	Placas galvanizadas	\$ 2,00	\$ 26,00
1	Tablero	\$ 46,00	\$ 46,00
1	Materia prima	\$ 80,00	\$ 80,00
1	Embudo	\$ 15,00	\$ 15,00
1	Automatización eléctrica instalación	\$ 350,00	\$ 350,00
4	Pernos 3"	\$ 0,03	\$ 0,12
		SUBTOTAL	\$ 1.672,77
		12 % IVA	\$ 200,73
		TOTAL	\$ 1.873,50

6.1.1.2. Fabricación

Cuadro 6. 3

Costos de Fabricación

COSTOS DE MANUFACTURA				
Cant.	Detalle	Total Horas	Costo x Horas	Total Costo
1	Suelda	4,00	\$ 15,00	\$ 60,00
1	Moladora	2,00	\$ 10,00	\$ 20,00
1	Torno	26,00	\$ 24,90	\$ 647,50
1	Oxicorte	1,40	\$ 1,60	\$ 2,24
1	Fresado	100,00	\$ 23,28	\$ 2.327,65
1	Mandrinado	1,20	\$ 18,00	\$ 21,60
1	Taladro	3,20	\$ 16,50	\$ 52,80
TOTAL				\$ 3.131,79

6.1.2. COSTOS INDIRECTOS

6.1.2.1. Mano de Obra Indirecta

Cuadro 6. 4

Costo Diseño

COSTO DISEÑO				
Cant.	Detalle	Total Horas	Costo x Horas	Total Costo
1	CRISTINA ENRÍQUEZ	160	\$ 3,00	\$ 480,00
1	GUILLERMO LINCANGO	160	\$ 3,00	\$ 480,00
TOTAL				\$ 960,00

Cuadro 6. 5**Costo Dirección de Proyecto**

COSTO DIRECCIÓN DE PROYECTO		
Cant.	Detalle	Total Costo
1	Director de tesis	\$ 600,00
1	Codirector de tesis	\$ 600,00
TOTAL		\$ 1.200,00

6.1.2.2. Costos Generales**Cuadro 6. 6****Gastos de oficina**

GASTOS DE OFICINA, SUMINISTROS Y TRANSPORTE				
Cant.	Detalle	Valor Unitario	Valor Total	
6	Impresiones planos	\$ 12,00	\$ 72,00	
3	Impresiones tesis	\$ 18,00	\$ 54,00	
1	Copias	\$ 10,00	\$ 10,00	
1	Varios papelería	\$ 77,00	\$ 20,00	
80	Transporte por dos meses	\$ 1,00	\$ 80,00	
SUBTOTAL			\$ 236,00	
			12% IVA	\$ 28,32
TOTAL			\$ 264,32	

6.1.3. COSTO TOTAL DEL PROYECTO**Cuadro 6. 7****Costo Directo Final**

DIRECTOS		
No.	Detalle	Total
1	Costos de materiales directos	\$ 803,03
2	Elementos varios	\$ 1.873,50
3	Maquinaria-horas trabajadas	\$ 3.131,79
TOTAL		\$ 5.808,32

Cuadro 6. 8**Costo Indirecto Final**

INDIRECTOS		
No.	Detalle	Total
1	Costo diseño	\$ 960,00
2	Costo dirección de proyecto	\$ 1.200,00
3	Costos generales	\$ 264,32
TOTAL		\$ 2.424,32

Cuadro 6. 9**Costo Total**

COSTO TOTAL		
No.	Detalle	Total
1	Costo Directo Final	\$ 5.808,32
2	Costo Indirecto Final	\$ 2.424,32
	TOTAL	\$ 8.232,64

6.2. PRESUPUESTO DE OPERACIÓN

Es el presupuesto de egresos e ingresos para el funcionamiento de la máquina inyectora de plástico. De acuerdo a las siguientes condiciones:

Cuadro 6. 10**Condiciones Prácticas**

PRODUCCIÓN ÓPTIMA PARA PRÁCTICAS		
Producto	Llaveros	unidades
Producción real por cargas de 15 gramos	3	unidades
Materia prima en gramos x unidad	5	gramos
Una inyección = 1 matriz de 3 productos de 15 gr en 24 s	3	unidades
Producción óptima real por inyección	3	unidades
Materia prima total en gramos real por inyección	15	unidades
Costo materia prima por gramo	\$ 0,003	USD.
Costo total materia prima por inyección	\$ 0,05	USD.
Tiempo real segundos por inyección	24	s
Práctica de 1,5 horas (8 inyecciones por práctica)	1,5	h
Número de prácticas en un año	160	unidades
Número de llaveros producidos por ciclo académico	3840	unidades
Costo total materia prima anual	\$ 57,60	USD.
Materia prima total (polietileno en gramos)	19200	gramos

6.2.1. PRESUPUESTO DE EGRESOS

Se toma en cuenta los materiales y mantenimiento requeridos para el funcionamiento de la máquina.

Cuadro 6. 11**Materia Prima y Mantenimiento**

REQUERIMIENTOS MATERIA PRIMA Y MANTENIMIENTO					
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total	Compras anuales	Total anual
Polietileno por Gramos	19200	\$ 0,003	\$ 57,60	1	\$ 57,60
Mantenimiento	1	\$ 15,00	\$ 15,00	8	\$ 120,00
				TOTAL	\$ 177,60

6.2.2. PRESUPUESTO DE INGRESOS

Se realiza un cálculo para obtener el costo de cada práctica tomando en cuenta el costo de los materiales requeridos, el costo por hora del laboratorista, el costo de la máquina, el costo de mantenimiento de la máquina y un porcentaje de rentabilidad por servicios prestados. Los costos que se presentan en el siguiente cuadro son en base a un análisis de costos de prestación de servicios:

Costo anual por laboratorista:	\$ 13.172,00 ²
Número de días hábiles en un año:	240 días
Horas de trabajo en un año (8hr x día):	1920 hr
Costo anual de la máquina:	\$ 1.399,55
Número de prácticas realizadas en un año	160
Energía eléctrica	

Cuadro 6. 12

Precio por hora de práctica de laboratorio

PRECIO POR HORA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO	
COSTOS DIRECTOS	
Materiales	\$ 0,24
COSTOS INDIRECTOS	
Costo laboratorista	\$ 6,86
Costo Inicial de la máquina y de depreciación	\$ 5,83
Costo por mantenimiento	\$ 0,50
Costo de consumo de energía	\$ 0,28
COSTO POR HORA DE PRACTICA DE LABORATORIO	\$ 13,71
Rentabilidad 30%	\$ 4,11
COSTO FINAL POR HORA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO	\$ 17,82

Fuente: (Pasaca, 2014)

² Valor indicado por un laboratorista del departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica.

La duración de una práctica de laboratorio es de 1,5 horas, por lo tanto el costo por cada práctica de laboratorio es de \$ 26,74.

Cuadro 6. 13

Ingresos

INGRESO POR PRÁCTICAS			
Descripción	Prácticas	Precio USD.	Ingreso Total
Prácticas	160	\$ 26,74	\$ 4.277,67
		TOTAL	\$ 4.277,67

6.3. ESTADOS FINANCIEROS PROYECTADOS

Los estados financieros, también denominados estados contables, informes financieros o cuentas anuales, son informes que utilizan las instituciones para reportar la situación económica y financiera y los cambios que experimenta la misma a una fecha o período determinado.

Datos Financieros³:

Tasa Pasiva: 5,18%

Tasa libre de riesgo: 8,00%

Inflación: 3,67%

6.3.1. BALANCE GENERAL DEL PROYECTO

Iniciamos con el Balance General Proyectado del Proyecto, el mismo que es la representación numérica de la situación financiera del negocio en una fecha determinada, y ayuda a la toma de decisiones gerenciales.

³ Datos obtenidos del banco Central del Ecuador 2014

Cuadro 6. 14**Balance General**

BALANCE GENERAL	
ACTIVOS	
ACTIVOS FIJOS	
MAQUINARIA	\$ 8.232,64
ACTIVOS INTANGIBLES	\$ -
GASTOS DE CONSTITUCIÓN	\$ -
CAPITAL DE TRABAJO	\$ 147,13
ACTIVO TOTAL	\$ 8.443,61
PASIVOS	
TOTAL PASIVOS	\$ -
PATRIMONIO	
CAPITAL SOCIAL	\$ 8.443,61
TOTAL PATRIMONIO	\$ 8.443,61
TOTAL PASIVO + PATRIMONIO	\$ 8.443,61

6.3.2. ESTADO DE RESULTADOS (PÉRDIDAS Y GANANCIAS)

Mediante el estado de resultados se puede establecer el rendimiento de los capitales invertidos en pérdida o ganancia. Se muestran las operaciones y los ingresos generados para determinar la efectividad del proyecto.

Cuadro 6. 15**Estado de resultados**

ESTADO DE RESULTADOS					
	2015	2016	2017	2018	2019
Ingresos netos	\$ 4.277,67	\$ 4.434,66	\$ 4.503,99	\$ 4.766,13	\$ 4.941,05
- Costo por prácticas	\$ 1.577,15	\$ 1.583,67	\$ 1.590,42	\$ 1.597,43	\$ 1.604,69
= Utilidad Bruta en ingresos	\$ 2.700,52	\$ 2.850,99	\$ 3.006,99	\$ 3.168,70	\$ 3.336,36
= Utilidad neta	\$ 2.700,52	\$ 2.850,99	\$ 3.006,99	\$ 3.168,70	\$ 3.336,36

6.3.3. FLUJO DE FONDOS

Es un informe donde se presentan entradas y salidas de dinero en distintos periodos de tiempo.

Cuadro 6. 16
Flujo de Fondos

	0	2015	2016	2017	2018	2019	
INGRESOS		\$ 4.277,67	\$ 4.434,66	\$ 4.597,41	\$ 4.766,13	\$ 4.941,05	
- Costos Fijos		\$ 57,60	\$ 61,91	\$ 64,18	\$ 66,53	\$ 66,53	
- Depreciaciones		\$ 1.399,55	\$ 1.399,55	\$ 1.399,55	\$ 1.399,55	\$ 1.399,55	
= Utilidad Operacional		\$ 2.820,52	\$ 3.135,95	\$ 3.302,41	\$ 3.474,97	\$ 3.374,57	
- Gastos Financieros		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
= Utilidad neta		\$ 2.820,52	\$ 3.135,95	\$ 3.302,41	\$ 3.474,97	\$ 3.374,57	
+ Depreciaciones		\$ 1.399,55	\$ 1.399,55	\$ 1.399,55	\$ 1.399,55	\$ 1.399,55	
- Inversiones Iniciales	\$ (8.232,64)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
= FLUJO NETO DE FONDOS	\$ (8.232,64)	\$ 4.220,07	\$ 4.374,94	\$ 4.535,50	\$ 4.701,96	\$ 4.874,52	\$ 22.706,99

6.4. EVALUACIÓN FINANCIERA

La evaluación del proyecto se basa en el análisis y la verificación de la información contenida en el estudio financiero, tiene como objetivo puntualizar alternativas de inversión, a través de la aplicación de criterios de evaluación que determinen su importancia tanto para la economía nacional como para el inversionista.

6.4.1. COSTO DE CAPITAL O TASA MÍNIMA ACEPTABLE DE RENDIMIENTO (TMAR)

Es la tasa que debería ganar el inversionista en un proyecto para que este pueda ejecutarse.

$$\text{TMAR} = \text{Tasa pasiva} + \text{Tasa libre de riesgo} + \text{inflación}$$

Datos⁴:

Tasa Pasiva:	5,18%
Tasa libre de riesgo:	8,00%
Inflación:	3,67%

$$\text{TMAR} = 16,85\%$$

La Tasa Mínima Aceptable es del: 16,85%, este valor se utilizará para realizar el cálculo del VAN y la TIR.

6.4.2. VALOR NETO ACTUAL (VAN)

El VAN permite valorar en términos del mercado que si al emprender el proyecto respecto a la opción que el mercado ofrece, si obtendrá ganancia o

⁴ Datos obtenidos del banco Central del Ecuador 2014

no. Su valor depende exclusivamente de la tasa de descuento aplicada, siendo los criterios de aplicación los siguientes:

VAN > 0 La inversión produciría ganancias

VAN < 0 La inversión produciría pérdidas

VAN = 0 La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FNF_t}{(1+i)^t} - Inv.In.$$

EN donde:

VAN: Valor Actual Neto

FNF: Flujo Neto de Fondos (Ingresos – Egresos)

i = tasa de Interés (TMAR)

Cuadro 6. 17

VAN

AÑO	FLUJO NETO DE EFECTIVO	FLUJO ACUMULADO	VAN
0	\$ (8.232,64)		\$ (8.232,64)
1	\$ 4.220,07	\$ 4.220,07	\$ 3.611,52
2	\$ 4.374,94	\$ 8.595,01	\$ 3.204,17
3	\$ 4.535,50	\$ 13.130,51	\$ 2.842,75
4	\$ 4.701,96	\$ 17.832,47	\$ 2.522,11
5	\$ 4.874,52	\$ 22.706,99	\$ 2.237,63
TOTALES	\$ 14.474,35	\$ 66.485,05	\$ 6.185,54

Si el VAN es positivo o mayor a cero, el proyecto es aceptable, en caso de ser negativo se rechaza. El resultado que se obtiene significa que el valor de los flujos del inversionista a valor presente es \$ 6.185,54 a una TMAR del 16,85%.

6.4.3. TASA DE RETORNO (TIR)

Es la tasa de descuento que iguala el valor actual de los gastos con el valor futuro de los ingresos previstos, se utiliza para decidir sobre la

aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Para ello, la TIR se compara con una tasa mínima, si la tasa de rendimiento del proyecto, expresada por la TIR, supera a la tasa de mínima, se acepta la inversión; en caso contrario, se rechaza. Se calcula mediante Excel.

$$\text{TIR} = 45,53\%$$

El proyecto se considera viable en vista de que la tasa interna de retorno es del 45,53%, siendo superior a la Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento 16,85%.

6.4.4. PERÍODO DE RECUPERACIÓN

Según el libro de Administración Financiera de Juan Lara, pág. 103, el Período de Recuperación o período de repago, es el número de años necesarios para recuperar la inversión inicial, sobre la base de flujo de fondos que genere en cada período durante la vida útil del proyecto.

Cuadro 6. 18

Cálculo del Período de Recuperación de la Inversión

Período	FNF	Flujo acumulado
1	\$ 4.220,07	\$ 4.220,07
2	\$ 4.374,94	\$ 8.595,01
3	\$ 4.535,50	\$ 13.130,51
4	\$ 4.701,96	\$ 17.832,47
5	\$ 4.874,52	\$ 22.706,99

Período de repago 1,92 años, que se aproxima a 2 años.

6.4.5. RELACIÓN BENEFICIO/COSTO (B/C)

La razón beneficio/costo expresa el rendimiento, en términos de valor actual neto, que genera el proyecto por unidad monetaria invertida.

La evaluación de la razón consiste en sumar todos los flujos originarios de la inversión descontados con la TMAR y luego el total se divide para la

inversión, con lo cual se obtiene, en promedio, el número de unidades monetarias recuperadas por cada unidad de inversión.

$$B/C = \frac{\text{Valor Actual Flujo Fondos}}{\text{Inversión Inicial}}$$

Cuadro 6. 19
Beneficio/Costo

SUMATORIA FLUJO FONDOS	INVERSIÓN INICIAL	B/C
\$ 22.706,99	\$ 8.232,64	\$ 2,76

El proyecto por cada dólar de inversión permite recuperar USD \$ 2,76; es decir, cada dólar de inversión genera \$ 1,76.

De acuerdo al análisis financiero realizado, el presente proyecto es rentable ya que con una TMAR de 16,85% el VAN resultante es positivo y el proyecto genera un beneficio real de \$ 1,70 dólares por cada dólar invertido, lo cual demuestra que el proyecto es viable desde el punto de vista económico financiero.

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

1. La máquina para inyección de plástico, satisface los requerimientos de diseño y construcción establecidos. Es un equipo de laboratorio que produce piezas de hasta 15gr de polietileno. La máquina trabaja con una presión de inyección es 20MPa y energía eléctrica trifásica de 220V.
2. El rango establecido para factores de seguridad nominal es de 1,2-3,5. Estos valores hacen referencia a la aplicación, el nivel de confianza y la confiabilidad de los materiales de los elementos. Mediante los cálculos el rango de los factores de seguridad varía entre 1,21 y 9,38. El porcentaje de errores de los factores de seguridad está entre 0 y 275%, los valores altos son el resultado de utilizar elementos y materiales de reciclaje que sobrepasan los requerimientos mínimos para el funcionamiento de la máquina.
3. La máquina para inyección de plástico permite la producción de otras piezas. Se pueden adaptar matrices que sus dimensiones estén dentro de los siguientes rangos, altura máxima 200mm, altura mínima 50mm, ancho máximo 190mm y ancho mínimo 50mm.
4. Las etapas en el ciclo de inyección, cierre de la matriz, calentamiento de la cámara de fundición, inyección, enfriamiento del material y descarga, cada una es fundamental para el funcionamiento de la máquina. Estos pasos son indispensables porque con la omisión de alguno de ellos la calidad de la pieza final se ve afectada directamente.
5. Con el desarrollo de pruebas de funcionamiento de la máquina se pudieron comprobar los parámetros establecidos en el diseño. Los rangos para los parámetros son la presión de inyección de 10MPa a 30MPa, temperatura de la resistencia de 135°C a 370°C, tiempo de inyección de 5s a

8s y presión en el compresor de 90psi a 110 psi. Se realizaron correcciones en la práctica para establecer los parámetros finales de funcionamiento: 20MPa presión de inyección, 215°C temperatura de la resistencia, 6s tiempo de inyección, 100psi presión en el compresor.

6. Los ensayos de inyección permitieron determinar cómo los parámetros: presión de cierre, el tiempo de inyección y la temperatura de la resistencia eléctrica para la fundición del material, afectan directamente en la pieza producida, generando llenado incompleto de la cavidad de la matriz, rebabas en la pieza y solidificación de la pieza.

7. Se diseñó y construyó una máquina para inyección de plástico de bajo costo. El costo total de la máquina fue de \$ 8232,64, siendo más económico que las máquinas de característica similares disponibles en el mercado, que inician en con un costo de \$ 15.000,00 y más de acuerdo a la marca.

8. Se elaboraron manuales de montaje, operación, mantenimiento y guía de práctica que se encuentran en los anexos, A, B, C y D. Estos insumos son de gran ayuda y guía para los estudiantes que van a utilizar este equipo.

7.2. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso de esta máquina en las prácticas de laboratorio para el aprendizaje del proceso de inyección de plástico, los diferentes sistemas que conforman la máquina, y su funcionamiento.

2. Tomar en cuenta las recomendaciones y parámetros establecidos en este documento para garantizar el correcto funcionamiento de la máquina.

3. Se debe realizar el mantenimiento sugerido para extender la vida útil de la máquina.

4. En caso de requerir una nueva matriz, para la producción de piezas diferentes, estas deben estar dentro de los rangos de dimensiones especificadas, altura máxima 200 mm, altura mínima 50 mm, ancho máximo 190 mm y ancho mínimo.

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, M., & ACOSTA, V. (1978). *Introducción a la Física*. Colombia: Cultural Colombiana Ltda.
- ASIPLA. (2013). *Industriales del Plástico*. Obtenido de <http://www.asipla.cl/transformacion/>
- ASKELAND, D. R. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los materiales*. México: International Thomson Editores.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN. (2002). *Especificación geométrica de productos: Indicación de la calidad superficial en la documentación técnica de productos. UNE-EN ISO 1302*. España: ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN.
- AVALLONE, E. A., & BAUMEISTER, T. (1995). *Manual del Ingeniero Mecánico*. Nueva York: Editorial McGraw-Hill.
- BEER, F. P. (2005). *Mecánica vectorial para ingenieros*. México: MCGRAW-HILL.
- BELTRÁN, M., & MARCILLA, A. (s.f.). *Tecnología de Polímeros*. Universidad de Alicante. Departamento de Ingeniería Química. Obtenido de <http://iq.ua.es/TPO/Tema5.pdf>
- BILLMEYER, F. W. (1975). *Ciencia de los Polímeros*. Barcelona: Editorial Reverte.
- BUUDYANA, R. G., & NISBETT, J. K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México: MCGRAW-HILL.
- CAMSCO ELECTRIC CO. LTDA. (2014). *Controladores de Temperatura*. Obtenido de <http://www.camsco.com.tw/spa/temperature-controller/P239.html>
- CASTILLO C., J. M. (2012). *Relés y Contactores*. Obtenido de <http://www.slideshare.net/Jomicast/rels-y-contactores>

- CENGEL, Y. A. (2007). *Transferencia de Calor y Masa: Un enfoque práctico*. México: MCGRAW-HILL.
- CORNISH A. , M. L. (1997). *El ABC de los plásticos*. Universidad Iberoamericana.
- ESTEVE, M. (1997). *Tecnología II ESO*. España: Editorial Editex.
- FLECK, R. H. (1953). *Plásticos, su estudio científico y tecnológico*. Barcelona: Gustavo Gili Ed.
- GARCÍA, S. (2009). "Referencias históricas y evolución de los plásticos". *REVISTA IBEROAMERICANA DE POLÍMEROS*, 71-80.
- GROOVER, M. P. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna Materiales, Procesos y Sistemas*. México: PRENTICE HALL HISPANOAMERICANA S.A.
- INCROPERA, F. P., & DEWITT, D. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. México: PRENTICE HALL.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (1976). *Selección de Ajustes Zonas de Tolerancia, Desviaciones, Tolerancias de Ajuste*. NTE INEN 99. Ecuador: INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (1989). *Código de Dibujo Técnico – Mecánico*. CPE INEN 003. Ecuador: INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.
- KALPAKJIAN, S., & SCHMI, S. R. (2002). *Manufactura Ingeniería y tecnología*. México: PERASON EDUCACIÓN.
- LARBURU , N. (1990). *Máquinas Prontuario Técnicas Máquinas Herramientas*. Madrid: EDITORIAL PARANINFO S.A.
- MENDELEVICH, H., & MENDELEVICH, R. (15 de Marzo de 2010). *Petrolene* S.A. Obtenido de <http://www.petrolene.com.ar/nylon.htm>

- MENDELEVICH, H., & MENDELEVICH, R. (2010). *Que son los Termoplásticos*. Obtenido de <http://www.petrolene.com.ar/nylon.htm>
- MOORE, H. D. (1987). *Materiales y Procesos de Fabricación Industria Metalmecánica y de Plásticos*. México: LIMUSA.
- MORRIS, J. L. (1961). *Procesos Modernos De Fabricación*. Barcelona: LABOR.
- MOTT, R. L. (2006). *Mecánica de Fluidos*. México: Person Educación.
- NASH, W. A. (1969). *Resistencia de Materiales*. México: MCGRAW-HILL.
- NEWELL, J. A. (2010). *Ciencia de Materiales: Aplicaciones en Ingeniería*. México: ALFAOMEGA.
- PASACA V., E. M. (2014). *ANÁLISIS DE COSTOS DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DEL CENTRO DE MECANIZADO FADAL VMC 3016 Y TORNO VIWA VTC 1640 – T400 DEL LABORATORIO DE PROCESOS DE MANUFACTURA DEL DECEM*. Quito: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- PRIETO C., L. (2011). *Diagramas de flujo con símbolos ASME*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/prietocontreras/diagramas-de-flujo-con-simbolos-asme>
- Salazar Pico, F. (2010). *Gestión Estratégica de Negocios*. Ecuador: ESPE.
- SANMETAL S.A. (2010). *Termoplásticos*. Obtenido de www.sanmetal.es/productos/termoplasticos/nylon-poliamida-6/9#aplicaciones
- SENA Servicio Nacional de aprendizaje. (2009). *Proceso Industrial del Plástico 3*. Obtenido de *Tecnología en Gestión de la Producción Industrial*. Obtenido de <http://9tgpi.blogspot.com/2009/07/proceso-industrial-del-plastico-3.html>
- STREET, V. L. (2000). *Mecánica de Fluidos*. Colombia: MCGRAW-HILL.

TELLEZ S., S. (s.f.). *Introducción al proceso de Inyección de Plásticos*, México, Centro Nacional de Actualización Docente. Obtenido de <http://www.cnad.edu.mx/sitio/matdidac/md/plasticos/MANUALPARTINYPLAS.pdf>

TEXTOS CIENTÍFICOS. (2009). *ABS*. Obtenido de <http://www.textoscientificos.com/polimeros/abs>

UNIVERSIDAD DE VIGO. (2011). *Guías de Ayuda, Fundamentos de Sistemas y Tecnologías de Fabricación*. Obtenido de <http://www.scribd.com/doc/91173578/Practica-fstf-inyeccion-plasticos-23>

Universidad Politécnica de Madrid. (2005). *Materiales polimérico y Procesos de Polímeros*. Obtenido de http://www.mater.upm.es/polimeros/Documentos/Cap6_5MoldeoInyeccion.pdf

VAN VLACK, L. (1991). *Tecnología de materiales*. México: ALFAOMEGA.

VON MEYSENBURG, C. M. (1973). *Tecnología de plásticos para ingenieros*. Bilbao: URMO.