



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TEMA:
MÁQUINA EXTRUSORA CON SOPLADO CONTINUO PAR
A FABRICACIÓN DE MANGUERA DE 1/2" CON
PLÁSTICO RECICLADO.**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

AUTOR: ALAN ROGER PROAÑO ROSERO

DIRECTOR: ING. OCTAVIO ARIAS

IBARRA-ECUADOR

JUNIO-2013



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejó sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003101852		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Proaño Rosero Alan Roger		
DIRECCIÓN:	Ibarra, sector Caranqui calle Huiracocha y Los Incas		
E-MAIL:	proano_industries@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	(06)2 650548	TELÉFONO MÓVIL:	0939631061
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	MÁQUINA EXTRUSORA CON SOPLADO CONTINUO PARA FABRICACIÓN DE MANGUERA DE 1/2" CON PLÁSTICO RECICLADO		
AUTOR:	Proaño Rosero Alan Roger		
FECHA: AAAAMMDD	2013-06-07		
PROGRAMA:	PREGRADO		
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Mecatrónica		
DIRECTOR:	Ing. Octavio Arias		

Firma -----

Nombre: Alan Roger Proaño Rosero

Cédula: 100310185-2

Ibarra, junio del 2013

2.- AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD.

Yo, Proaño Rosero Alan Roger, con cédula de identidad Nro. 100310185-2, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizó a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.



Firma -----

Nombre: Alan Roger Proaño Rosero

Cédula: 100310185-2

Ibarra, junio del 2013



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

**SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR
DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Proaño Rosero Alan Roger, con cédula de identidad Nro. 1003101852, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4,5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: "MÁQUINA EXTRUSORA CON SOPLADO CONTINUO PARA FABRICACIÓN DE MANGUERA DE 1/2" CON PLÁSTICO RECICLADO" que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO MECATRÓNICO en la Universidad Técnica Del Norte, quedando la Universidad Facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Firma -----

Nombre: Alan Roger Proaño Rosero

Cédula: 100310185-2

Ibarra, junio del 2013



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

En calidad de director del Trabajo de Grado, presentado por el señor Alan Roger Proaño Rosero, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que dicho trabajo fue realizado bajo mi supervisión.

En la ciudad de Ibarra, abril del 2013

Ing. Octavio Arias

C.I.: 100243433-8



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá a defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 28 días del mes de mayo de 2013

EL AUTOR:

Alan Roger Proaño Rosero

C.I.: 100310185-2



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

A mi Madre Doris quien siempre fue un ejemplo de superación jamás me faltó un pan, una muestra de cariño y su confianza a pesar que mi Padre no estuvo con nosotros, a mi Padre Rolan que nunca dejare de extrañar, ojala estuvieras aquí, gracias por guiarme por el buen camino siempre quise ser como tú. Porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta.

A mi amor eterno Juliana, por siempre estar a mi lado, brindándome todo su amor, entrega, dedicación y sobre todo dándome su comprensión y paciencia durante estos años de mi vida y quien ha sido una pieza clave en mi desarrollo profesional.

A mi hijo, Rolan por ser el empujón para siempre mirar hacia adelante, porque lucharé siempre por ser un ejemplo a seguir en todos los aspectos de mi vida y él se pueda sentir siempre orgulloso.

A mi Patria Ecuador por dejarme nacer en esta hermosa tierra, por abrirme sus puertas y porque quiero contribuir a la comunidad para bien con mi mayor esfuerzo.

Alan Proaño



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

Me gustaría que estas líneas sirvieran para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial al Ing. Octavio Arias, director de esta investigación, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continúa de la misma, pero sobre todo por el apoyo recibido a lo largo de estos años.

Especial reconocimiento merece el interés mostrado por mi trabajo y las sugerencias recibidas del Ing. Zamir Mera, Ing. Carlos Villareal, Ing. Gabriela Verdezoto, Ing. José Ortiz e Ing. Jorge Terán.

También me gustaría agradecer la ayuda recibida por mi tío Humberto Proaño quien ha sacrificado sus horas de trabajo, por echarnos una mano desde el inicio de esta tesis, con la que me encuentro en deuda por el ánimo infundido y la confianza en mí depositada.

Quisiera hacer extensiva mi gratitud a mis compañeros de la carrera en Mecatrónica, en especial a mi amigo Jefferson Guerra quien me ha ayudado para hacer realidad este proyecto.

A mí querida Universidad Técnica del Norte quien prestó toda la ayuda desde lo académico así como también las instalaciones y herramientas de la planta textil para poder culminar con la máquina de la mejor manera.

A mis amigos; Sr. Edwin Moreno, Sr. Abraham Pomasqui, Dr. Rogerio Moncayo, Lic. Sulay Morales, Ing. Cristian Cifuentes y el Sr. Ernesto Muñoz quienes me han ayudado de una u otra manera sin ellos nada de esto fuera posible.

Un agradecimiento muy especial merece la comprensión, paciencia y el ánimo recibidos de mi familia y amigos.

A todos ellos, muchas gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	ii
SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD	
TÉCNICA DEL NORTE.....	iv
CERTIFICACIÓN DEL ASESOR	v
CONSTANCIAS	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xv
CAPÍTULO I	1
GENERALIDADES.....	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.5. ALCANCE.....	2
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. POLÍMEROS	4
2.1.1. POLIETILENO (PE)	5
2.1.2. APLICACIONES	5
2.1.2.1. POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (LDPE)	5
2.1.2.2. POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE).....	6
2.2. RECICLAJE	6
2.2.1. PROCEDENCIA DE MATERIALES RECICLABLES.....	6
2.2.2. PROCESAMIENTO MECÁNICO DE LOS PLÁSTICOS	7
2.3. EXTRUSIÓN DE POLÍMEROS	8
2.3.1. EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA EXTRUSIÓN DE PLÁSTICOS.....	8
2.3.1.1. EXTRUSORA DE PISTÓN.....	9
2.3.1.2. BOMBA DE EXTRUSIÓN	9
2.3.1.3. EXTRUSORA DE TAMBOR ROTATORIO.....	10
2.3.1.4. EXTRUSORA DE RODILLOS.....	10
2.3.1.5. EXTRUSORA DE RODILLO.....	11
2.4. MÁQUINA EXTRUSORA DE TORNILLO SIMPLE	11
2.4.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.....	11
2.4.1.1. TRANSPORTE DE SÓLIDOS.....	12
2.4.1.2. ZONA DE PLASTIFICACIÓN.....	13
2.4.1.3. ZONA DE BOMBEO	14
2.4.2. DEFECTOS GENERADOS EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN.....	16
2.4.2.1. CONTRACCIÓN DEL MATERIAL.....	18

2.5. COMPONENTES DE UNA EXTRUSORA DE TORNILLO SIMPLE.....	19
2.5.1. TORNILLO	19
2.5.2. CILINDRO	21
2.5.3. RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	21
2.5.4. GARGANTA DE ALIMENTACIÓN	22
2.5.5. TOLVA.....	22
2.5.6. PLATO ROMPEDOR Y FILTROS.....	23
2.5.7. CABEZAL Y BOQUILLA.....	24
3.1. SELECCIÓN DE IMPULSORES.....	26
3.1.1. IMPULSORES DE BANDA.....	26
3.1.1.1. IMPULSORES DE BANDA EN V	27
3.1.1.2. FACTOR DE SERVICIO (K_s).....	30
3.1.1.3. POTENCIA DE DISEÑO	30
3.1.1.4. FACTOR DE CORRECCIÓN POR ÁNGULO DE CONTACTO (C_θ)	30
3.1.1.5. FACTOR POR CORRECCIÓN DE LONGITUD DE BANDA (C_l)	30
3.1.1.6. ESPECIFICACIÓN DE POTENCIA DE BANDA 5V	31
3.1.1.7. POTENCIA POR BANDA CORREGIDA (H_a).....	31
3.1.2. IMPULSORES DE CADENA.....	31
3.1.2.1. DISEÑO DE IMPULSORES DE CADENA	32
3.1.2.2. PARÁMETROS DE DISEÑO PARA IMPULSORES DE CADENA.....	32
3.2. DISEÑO DE FLECHAS O EJES	34
3.2.1. FUERZAS QUE EJERCEN ELEMENTOS DE MAQUINARIAS SOBRE FLECHAS O EJES	34
3.2.2. RUEDAS O POLEAS DE CADENA.....	35
3.2.3. POLEAS ACANALADAS PARA BANDAS EN FORMA DE V.....	36
3.2.4. CONCENTRACIÓN DE TENSIONES EN FLECHAS O EJES.....	37
3.2.4.1. FACTOR DE DISEÑO, N.....	38
3.2.4.2. VALORES PRELIMINARES DE DISEÑO PARA K_1	38
3.2.4.2.1. CUÑEROS.....	38
3.2.4.2.2. CHAFLANES DE HOMBROS	39
3.2.4.3. TENSIÓN DE DISEÑO PARA FLECHAS O EJES	39
3.2.4.3.1. TENSIÓN DE ESFUERZO POR CORTE DE DISEÑO	39
3.2.4.3.2. TENSIÓN NORMAL DE DISEÑO, CARGA QUE GENERA FATIGA	39
3.3. DISEÑO DEL EJE DE TRANSMISIÓN	41
3.4. DISEÑO DEL EJE DEL HUSILLO.....	46
4.1. TIPOS DE FLUIDOS	54
4.2. CARACTERÍSTICAS DEL HUSILLO	55
4.2.1. RELACIÓN LONGITUD-DIÁMETRO	56
4.3. HINCHAMIENTO DEL FUNDIDO A LA SALIDA DE LA BOQUILLA.....	56
4.4. TEORÍA MATEMÁTICA DEL FLUJO	57
4.4.1. CAUDAL VOLUMÉTRICO	60
4.4.2. TIEMPO DE RESIDENCIA APROXIMADO DEL MATERIAL (T_r).....	69
4.4.3. CONSTANTE TOTAL DE LA BOQUILLA (K)	69
4.4.4. DIFERENCIA DE PRESIÓN PRODUCIDO POR LA BOQUILLA.....	71
4.4.5. PRESIÓN ESTÁTICA MÁXIMA.....	72
4.5. POTENCIA NECESARIA PARA EL PROCESO DE EXTRUSIÓN.....	72

4.5.1. RELACIÓN DE COMPRESIÓN ($H_{(L)}$).....	74
4.5.2. CORRECCIÓN DE POTENCIA REQUERIDA	79
5.1. TRANSFERENCIA DE CALOR.....	81
5.2. POTENCIA DE LOS CALEFACTORES	81
5.2.1. BALANCE ENREGÉTICO EN EL ESTADO TRANSITORIO.....	81
5.2.1.1. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	84
5.2.1.2. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CONVECCIÓN	85
5.2.1.3. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE RADIACIÓN.....	87
5.3. ESTIMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CALOR.....	89
5.3.1. PÉRDIDAS POR CONDUCCIÓN	89
5.3.2. PÉRDIDAS POR RADIACIÓN	89
5.3.3. PÉRDIDAS POR CONVECCIÓN.....	90
4.4. INCREMENTO DE LA ENERGÍA INTERNA DEL POLÍMERO	90
4.5. CÁLCULO DE POTENCIA REQUERIDA PARA BANDAS CALEFACTORAS	91
6.1. CONEXIÓN DEL MOTOR	93
6.2. SISTEMA DE CALEFACCIÓN.....	93
6.2.1. RESISTENCIAS TIPO ABRAZADERA.....	95
6.2.2. TERMOCUPLA TIPO J	96
6.2.3. CONTROLADORES DE TEMPERATURA.....	96
6.2.4. RELÉS DE ESTADO SÓLIDO.....	97
6.2.4.1. CIRCUITO DE ENTRADA	97
6.2.4.2. CIRCUITO DE SALIDA	98
6.3. AMPERÍMETRO.....	99
6.3 CONEXIÓN DEL COMPRESOR	99
7.1. INTRODUCCIÓN.....	100
7.2. PIEZAS A MANUFACTURAR	101
7.2.1. HUSILLO.....	101
7.2.1.1. MATERIAL USADO EN LA MANUFACTURA DEL TORNILLO EXTRUSOR.....	101
7.2.1.2. ALABES O FILETES.....	102
7.2.1.3. ZONAS CARACTERÍSTICAS DEL HUSILLO.....	102
7.2.1.3.1. PROFUNDIDAD DEL FILETE EN LA ZONA DE ALIMENTACIÓN.....	103
7.2.1.3.2. PROFUNDIDAD DEL FILETE EN LA ZONA DE DESCARGA DOSIFICACIÓN	103
7.2.1.4. RELACIÓN DE COMPRESIÓN.....	103
7.2.1.5. LONGITUD	104
7.2.1.6. RELACIÓN L/D.....	104
7.2.1.7. DIÁMETRO.....	104
7.2.2. EJE DEL HUSILLO.....	105
7.2.3. CILINDRO DE LOS RODAMIENTOS.....	105
7.2.4. CILINDRO CALEFACTOR	106
7.2.5. BOQUILLA ANULAR.....	106
7.2.6. EJE POLEA-RUEDA DENTADA.....	108
7.2.7. ESTRUCTURA BASE	108
7.2.8. TOLVA.....	109
7.3. PIEZAS A COMPRAR.....	109
7.3.1. MOTOR.....	109

7.3.2. RUEDAS DENTADAS Y CADENA	110
7.3.3. POLEAS Y BANDA EN V	110
7.3.4. RODAMIENTOS DE BOLAS.....	110
7.3.5. RODAMIENTO DE RODILLOS CÓNICOS.....	111
7.4. ENSAMBLAJE	111
8.1. COSTOS DEL PROYECTO	113
8.1.1 COSTOS DIRECTOS.....	113
8.1.1.1. COSTOS DE MATERIA PRIMA DIRECTA.....	113
8.1.1. COSTOS DE MANO DE OBRA DIRECTA	116
8.1.2. COSTOS INDIRECTOS	116
8.1.3. COSTO TOTAL	117
8.2. PROYECCIÓN DE INGRESOS.....	117
8.3. ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN	118
8.3.1. PROYECCIÓN DE COSTOS	120
8.4. FLUJO DE CAJA.....	121
8.5. EVALUACIÓN	122
8.5.1. TASA DE DESCUENTO	122
8.5.2. VALOR ACTUAL NETO (V.A.N.)	122
8.5.3. TASA INTERNA DE RENTABILIDAD (t.i.r.).....	123
8.5.4. RELACIÓN BENEFICIO COSTO	124
9.1. OPERACIÓN	126
9.1.1. ENCENDIDO	126
9.1.2. ARRANQUE	127
9.1.3. APAGADO	129
9.2. MANTENIMIENTO	129
9.2.1. GENERALIDADES.....	129
9.2.2. SISTEMA MOTRIZ.....	131
9.2.2.1. MOTOR.....	131
9.2.2.1.1. MÉTODOS DE INSPECCIÓN.....	132
9.2.2.1.2. TÉCNICAS DE LIMPIEZA	133
9.2.2.2. SISTEMA DE REDUCCIÓN.....	133
9.2.2.2.1. RODAMIENTOS.....	133
9.2.2.2.2. CORREAS DE TRANSMISIÓN	134
9.2.2.2.3. CADENAS	135
9.2.3. SISTEMA ELÉCTRICO	135
9.2.4. SISTEMA DE EXTRUSIÓN.....	136
9.2.4.1 CILINDRO CALEFACTOR	136
9.2.4.2. HUSILLO	137
9.2.4.3. FILTRO	137
9.2.4.4. BOQUILLA	137
9.2.4.5. LIMPIEZA DEL SISTEMA DE EXTRUSIÓN	137
9.2.5. SISTEMA DE SOPLADO.....	139
10.1. CONCLUSIONES	140
10.2. RECOMENDACIONES	141
Bibliografía	143

ANEXO 1	146
ANEXO 2	149
ANEXO 3	151
ANEXO 4	160
ANEXO 5	162
ANEXO 6	169
ANEXO 7	173
ANEXO 8	181
ANEXO 9	188
ANEXO 10	207

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 2.1. Clasificación y propiedades de los Polímeros Sintéticos.	5
Diagrama 2.2. Zonas de la extrusora de tornillo simple.	12
Diagrama 7.1 Construcción de la máquina extrusora	100
Diagrama A1.1. Principales materiales para el reciclaje en la Ciudad de Ibarra.....	147
Diagrama A1.2. Procesado mecánico de los plásticos.	148

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Partes de la Extrusora de pistón.....	9
Figura 2.2. Mecanismo del tornillo en el canal de fusión.	13
Figura 2.3. Flujo de fricción.	15
Figura 2.4. Flujo de retroceso.....	15
Figura 2.5. Flujo Total.....	16
Figura 2.6. Fractura de la fusión, causada por flujo turbulento en la fusión a través de una aguda reducción a la entrada del dado.	17
Figura 2.7. Perfil de velocidades de la fusión al fluir a través de la abertura del dado, el cual puede conducir el defecto llamado piel de tiburón.....	17
Figura 2.8. Formación del tallo de bambú.	18
Figura 2.9. Sección transversal de una extrusora típica.....	19
Figura 2.10. Tornillos de extrusora típicos.	20
Figura 2.11. Zonas por las que atraviesa el material y aumento de presión a lo largo de las mismas.	20
Figura 2.12. Cilindro de calentamiento.	21
Figura 2.13. Garganta de alimentación y corte A-A.	22
Figura 2.14. Diseños de tolvas.....	23
Figura 2.15. Plato Rompedor.	24
Figura 2.16. Boquilla y cabezal.	25
Figura 3.1. Geometría básica de un impulsor de banda.	26
Figura 3.2. Impulsor de cadena de rodamientos.	32
Figura 3.3. Fuerzas en ruedas dentadas de cadena.	35
Figura 3.4. Fuerzas en poleas acanaladas para bandas o poleas.....	36
Figura 3.5. Eje de transmisión (Banda-Cadena)	41
Figura 3.6. Fuerzas en el eje de transmisión.....	42

Figura 3.7. Descripción del Rodamiento RMS 10.....	45
Figura 3.8. Eje rodamientos, rueda dentada y husillo.....	47
Figura 3.9. Fuerzas en el eje del husillo.....	48
Figura 3.10. Descripción del rodamiento 6312.....	51
Figura 3.11. Descripción del rodamiento 32314 BJ2.....	53
Figura 4.1 Tornillo de la extrusora.....	55
Figura 4.2. Sección de un cilindro con husillo de un canal, vista general.....	58
Fuente: Palacios, O. y Ramírez, J. (1992).....	59
Figura 4.4. Desarrollo del husillo.....	61
Figura 4.5. Flujo de pérdidas.....	63
Figura 4.6. Caída de presión en el husillo.....	65
Figura 4.8. Líneas características de la boquilla.....	71
Figura 4.9. Área diferencial dA_2	76
Figura 5.1. Sistema de análisis para el balance energético.....	82
Figura 5.2. Variación de temperatura en el tiempo.....	92
Figura 6.1. Conexión de resistencias en forma de triángulo.....	94
Figura 6.2. Resistencias tipo abrazadera.....	95
Figura 6.3. Acoplamientos ópticos.....	97
Figura 7.1 Husillo diseñado para la extrusora de fabricación de manguera.....	101
Figura 7.2 Eje de los rodamientos y husillo.....	105
Figura 7.3 Cilindro porta rodamientos con su respectiva tapa.....	105
Figura 7.4 Partes del Cilindro calefactor.....	106
Figura 7.5. Boquilla anular.....	107
Figura 7.6. Anillo y tuerca de la boquilla.....	107
Figura 7.7. Abrazadera.....	107
Figura 7.8. Eje montado rodamientos, polea y rueda dentada.....	108
Figura 7.9. Estructura Base.....	108
Figura 7.10. Tolva.....	109
Figura 7.11 Motor Trifásico.....	109
Figura 7.12. Rodamiento de Bolas.....	110
Figura 7.13. Rodamiento de rodillos cónicos.....	111
Figura 7.14. Eje montado rodamientos, rueda dentada y husillo.....	112
Figura 9.1. Tablero de control de la máquina extrusora.....	127
Figura 9.2. Interior del tablero de la extrusora.....	128
Figura A3.1. Tipos de Bandas en V.....	152
Figura A3.2. Grafica para selección de bandas en V industriales de sección estrecha.....	153
Figura A3.3. Especificación de potencia: bandas 3V.....	155
Figura A3.4. Especificación de potencia: bandas 5V.....	156
Figura A3.5. Especificación de potencia: bandas 8V.....	157
Figura A3.6. Potencia agregada contra relación de velocidad: bandas 5V.....	157
Figura A3.7. Factor de corrección del ángulo de la envolvente C_q	158
Figura A3.8. Factor de corrección por longitud de banda C_1	159
Figura A5.1. Cuñeros.....	165
Figura A5.2. Chaflanes en ejes.....	166

Figura A5.3 Tensión por durabilidad contra resistencia al esfuerzo por tracción para acero forjado para varias condiciones superficiales.....	166
Figura A5.4 Factor de tamaño para diseño de ejes.....	167
Figura A5.5 Base para la ecuación de diseño de ejes para tensión por esfuerzo de flexión inversa sucesiva y tensión por esfuerzo de corte por torsión.....	168

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Factor de confiabilidad.....	40
Tabla 3.2. Valores de diámetros convenientes para el eje de transmisión.....	44
Tabla 3.3. Valores de diámetros convenientes para el eje del husillo.....	50
Tabla 6.1. Comparación entre SSR y relés electromagnéticos.....	98
Tabla 7.1. Tareas de acuerdo a su duración.....	100
Tabla 8.1. Materia prima directa elementos mecánicos.....	113
Tabla 8.2. Materia prima directa elementos eléctricos.....	114
Tabla 8.3. Mano de obra directa.....	116
Tabla 8.4. Costos Misceláneos.....	116
Tabla 8.5. Costo total.....	117
Tabla 8.6. Proyección de Ingresos.....	118
Tabla 8.7. Análisis de costos de implementación de la máquina.....	119
Tabla 8.8. Proyección de costos.....	120
Tabla 8.9. Flujo de caja.....	121
Tabla 8.10. Tasa de descuento.....	122
Tabla 8.11. Indicadores de rentabilidad financiera.....	124
Tabla A2.1. Propiedades Físicas y Mecánicas.....	150
Tabla A3.1. Factores de servicio para bandas en V.....	154
Tabla A3.2. Longitudes de banda estándar para bandas 3V, 5V y 8V (pulgadas).....	158
Tabla A4.1. Tamaño de cadenas con rodamientos.....	161
Tabla A4.2. Factores de servicio para impulsores de cadena.....	161
Tabla A5.1. Propiedades de los aceros al carbón y con aleaciones.....	163
Tabla A5.2. Tamaño de cuña contra tamaño de flecha.....	164
Tabla A5.3. Radios y Chaflanes para cuñas que se sugieren.....	165
Tabla A6.1 Propiedades de los Aceros.....	170
Tabla A6.2 Propiedades del Aire.....	171
Tabla A6.3 Emisividad de los sólidos.....	172
Tabla A7.1. Capacidad de corriente de los cables.....	174
Tabla A7.2. Tipos disyuntores de dos Polos.....	175
Tabla A7.2 Tipos disyuntores de tres Polos.....	175
Tabla A7.3. Selección de contactores y relés térmicos de 9 a 32 A.....	176
Tabla A7.5. Especificaciones del motor.....	178
Tabla A7.6. Especificaciones del compresor.....	178

Tabla A8.1. Diagnóstico y corrección de fallas de motores eléctricos.....	182
Tabla A8.2. Control de desgaste diametral.....	184
Tabla A8.3. Programa de control y actividades del sistema motriz.....	185
Tabla A8.4. Programa de control y actividades del sistema eléctrico.....	186
Tabla A8.5. Programa de control y actividades de los Sistemas de Alimentación.....	186
Tabla A8.6. Programa de control y actividades del sistema de extrusión.....	187

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3.1. Relación de Velocidad.....	27
Ecuación 3.2. La relación de la velocidad angular.....	27
Ecuación 3.3. Longitud de paso, L	28
Ecuación 3.4. Distancia central, C	28
Ecuación 3.5. Ángulo de contacto en la primera polea.....	28
Ecuación 3.6. Ángulo de contacto en la segunda polea.....	28
Ecuación 3.7. La longitud del espacio libre entre las dos poleas acanaladas.....	29
Ecuación 3.8. Longitud de la Cadena.....	33
Ecuación 3.9. La distancia central de las ruedas dentadas.....	34
Ecuación 3.10. Diámetro de paso de las ruedas dentadas.....	34
Ecuación 3.11. Fuerza que actúa en el lado tenso de la cadena.....	35
Ecuación 3.12. Fuerza en x de la cadena.....	35
Ecuación 3.13. Fuerza en y de la cadena.....	35
Ecuación 3.14. Fuerza neta de impulso.....	36
Ecuación 3.15. Fuerza neta de impulso a partir del torque que se transmite.....	36
Ecuación 3.16. Diámetro mínimo para la elaboración del eje sometido solo a flexión y torsión....	37
Ecuación 3.17. Diseño de cuña.....	38
Ecuación 3.18. Tensión de esfuerzo de corte de diseño.....	39
Ecuación 4.1. Fluido Newtoniano.....	54
Ecuación 4.2. Fluido no Newtoniano.....	54
Ecuación 4.3. Viscosidad Aparente.....	55
Ecuación 4.4. Reemplazando T de (4.2) en (4.3).....	55
Ecuación 4.5. Capacidad de Extrusión.....	56
Ecuación 4.6. El ángulo de hélice ϑ del canal helicoidal.....	57
Ecuación 4.7. Movimiento de un fluido a lo largo del eje.....	59
Ecuación 4.8. Distribución de velocidades en cualquier punto del canal del husillo.....	60
Ecuación 4.9. Integración del producto de la velocidad obtenida en un área elemental de superficie, dentro de los límites de toda la sección del canal.....	60
Ecuación 4.10. Paso de hélice (mm).....	61
Ecuación 4.11. Ancho del canal (mm).....	61
Ecuación 4.12. Componente de la velocidad Tangencial a lo largo del canal (mm/seg).....	62
Ecuación 4.13. Diferencial de longitud del canal del tornillo.....	62
Ecuación 4.14. Gradiente de la presión a lo largo del canal.....	62
Ecuación 4.15. Movimiento del polímero a lo largo del eje X	63
Ecuación 4.16 Distribución de velocidades en la ranura.....	64

Ecuación 4.17. Flujo real de pérdidas.	64
Ecuación 4.18. Caída de Presión.	65
Ecuación 4.19. Flujo Total.	66
Figura 4.7. Husillo con una zona de compresión creciente.....	67
Ecuación 4.20. Caudal Total.	68
Ecuación 4.21. Cantidad de material que fluye a través de una boquilla en la que hay una diferencia de presión ΔP	70
Ecuación 4.22. Boquilla circular sencilla, de radio R y longitud L.....	70
Ecuación 4.23. Boquilla plana, de profundidad h, anchura w y longitud L (obtención de láminas planas).	70
Ecuación 4.24. Boquilla anular, de diámetro interno R0, diámetro externo R1 y longitud L (obtención de tubos).	70
Ecuación 4.25. Potencia consumida en el área del canal.....	72
Ecuación 4.26. Caudal de flujo medio.	75
Ecuación 4.27. Potencia necesaria para accionar el husillo.....	77
Ecuación 4.28. Potencia requerida para el proceso de extrusión en base a experiencias industriales.	78
Ecuación 5.1. Energía almacenada por el cilindro.....	82
Ecuación 5.2. Energía que sale del cilindro hacia el exterior.	83
Ecuación 5.3. Energía almacenada por el husillo.	83
Ecuación 5.4. Coeficiente por Transferencia de Calor.	84
Ecuación 5.5. Temperatura media de película.....	85
Ecuación 5.6. Número de Grashof.	86
Ecuación 5.7. Número de Nusselt para cilindros horizontales.....	86
Ecuación 5.8. Número de Nusselt para convección libre.....	87
Ecuación 5.9. Coeficiente de convección.	87
Ecuación 5.10. Pérdidas por radiación.	87
Ecuación 5.11. Coeficiente de radiación.	88
Ecuación 5.12. Pérdidas por radiación.	89
Ecuación 5.13. Perdidas por convección.	90
Ecuación 5.14. Cantidad teórica de calor necesario para elevar una masa de material a determinada temperatura.	90
Ecuación 8.1. Tasa de rendimiento medio.	122
Ecuación 8.2. Valor Actual Neto.....	123
Ecuación 8.3. Tasa interna de rentabilidad.....	123
Ecuación 8.4. Relación Beneficio/Costo.....	124

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

La necesidad de disminuir la abundante contaminación de desechos impulsa a desarrollar sistemas de reciclado que puedan utilizar estos desperdicios como materia prima. La abundante utilización del plástico en diversas industrias hace que este material sea uno de los desperdicios más comunes, por lo que el 10% de basura que llega a los rellenos sanitarios de la Ciudad de Ibarra es plástico. En la recicladora del Ilustre Municipio de Ibarra llega el HPDE, polietileno de alta densidad, LPDE, polietileno de baja densidad, que es un plástico de fácil utilización como una realidad viable como materia prima, tanto técnica como medioambiental, creando un producto con valor añadido y contribuye a disminuir la generación de residuos sólidos plásticos.

El Ilustre Municipio de Ibarra tiene una máquina Trituradora para plásticos que permite que se realice una parte del reciclado, por lo que una máquina Extrusora que utilice este plástico triturado ayudara a completar este proceso de reciclaje.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la ciudad de Ibarra existe un problema causado por la creciente cantidad de residuos sólidos plásticos, estos no se disuelven en el agua ni se pudren, lo cual supone una ventaja porque no liberan productos nocivos, pero también una desventaja, ya que se acumulan sin desaparecer, depositándose en tiraderos municipales o rellenos sanitarios desaprovechando su potencial económico.

La recolección de estos desechos está siendo efectuada por el departamento de desechos sólidos del Ilustre Municipio de Ibarra. Donde la creciente acumulación de este material recolectado no genera un aporte económico significativo a esta institución ya que no poseen el equipo necesario para utilizar estos desechos como Materia Prima.

El diseño y construcción de una máquina extrusora que utilice el material plástico recolectado para elaborar manguera, utilizara este material y generara ingresos económicos

1.1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Contribuir con la disminución de contaminación ambiental mediante la construcción de una máquina extrusora para reciclar plástico.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diseño detallado del sistema mecánico.
- Realizar un diseño detallado del sistema eléctrico y control.
- Construir una máquina extrusora.
- Realizar pruebas, ajustes y optimización.
- Manual de uso y Mantenimiento.

1.4. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad existen muchos problemas, uno de los cuales es la abundante contaminación. El ser humano y sus avances tecnológicos contaminan más y más el planeta.

La fabricación de artículos modernos se realiza con plástico y este se convierte en uno de los principales factores de acumulación de basura. Este material llega a descomponerse después de siglos por lo que hay la necesidad de recolectar estos desperdicios.

La recolección y reciclaje es un proceso útil para transformar basura en una nueva materia prima para la fabricación de diversos artículos.

La ingeniería en Mecatrónica está orientada a la conservación del planeta manteniendo los recursos naturales y utilizando recursos renovables.

1.5. ALCANCE

La máquina extrusora tendrá una capacidad mínima de 70m de manguera plástica para cableado eléctrico de ½ pulgada por hora.

El inicio de la máquina extrusora empezara mediante el ingreso del plástico con una tolva hasta el interior del cilindro con resistencias eléctricas tipo abrazaderas.

La acción del empuje generado por el tornillo funde, fluye y mezcla el plástico enviándolo hacia la boquilla.

La boquilla tiene un anillo que tendrá las dimensiones de diámetro de $\frac{1}{2}$ pulgada la cual será el diámetro exterior de la manguera y para el interior se le inyectara aire por medio de un compresor.

Al salir el plástico tendrá una forma llamada perfil geométrico preestablecido. Este perfil entrara en un proceso de enfriamiento que se lo realizar con agua. Al mismo tiempo será jalado por una máquina jaladora, la cual regulara por la velocidad de jalado y dará el espesor del diámetro interior.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. POLÍMEROS¹

En la naturaleza existen moléculas enormes llamadas **macromoléculas**. Estas moléculas están formadas por cientos de miles de átomos por lo que sus pesos moleculares son muy elevados.

Los **polímeros** son un tipo particular de macromolécula, que se caracteriza por tener una unidad que se repite a lo largo de la molécula. Las pequeñas moléculas que se combinan entre sí mediante un proceso químico, llamado **reacción de polimerización**, para formar el polímero se denominan **monómeros**.

Aparte de los polímeros que se pueden considerar naturales, han sido desarrollados una cantidad de polímeros sintéticos. Aunque el objetivo de las primeras síntesis fue la obtención de sustitutos de algunas macromoléculas naturales como el caucho y la seda, en la actualidad se ha logrado desarrollar una impresionante tecnología en este campo, la cual data de sólo unas pocas décadas, que produce cientos de sustancias que no tienen análogos naturales y que se hacen prácticamente imprescindibles para el desenvolvimiento de la vida moderna.

Los polímeros sintéticos se pueden clasificar en tres diferentes tipos de materiales como podemos ver en el diagrama 2.1.

Algunos ejemplos de plásticos de aplicación industrial y comercial son los siguientes:

- Polietileno (PE)
- Polipropileno (PP)
- Poliestireno (PS)
- Polimetilmetacrilato (PMMA)
- Policloruro de vinilo (PVC)
- Politetrafluoroetileno (Teflón)
- Poliamidas y poliésteres
- Plásticos termoestables

¹ Carrasquero, Francisco (2004): Universidad de Los Andes. Fundamentos de polímeros.

En nuestro caso el plástico que vamos a utilizar es el polietileno.

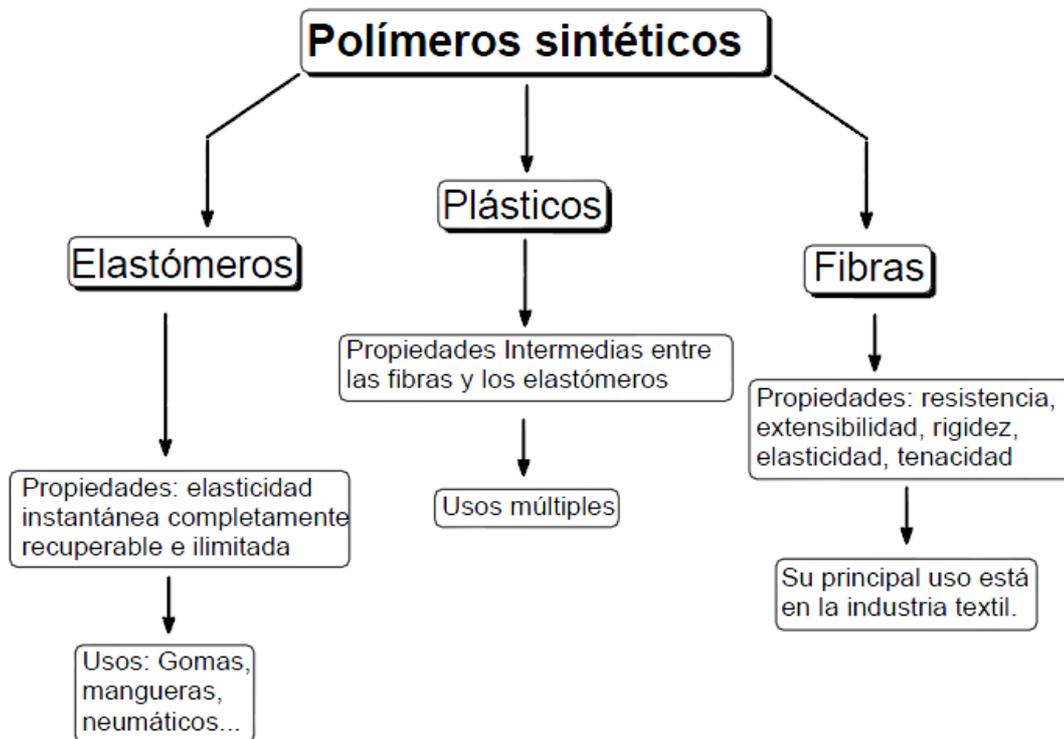


Diagrama 2.1. Clasificación y propiedades de los Polímeros Sintéticos.

Fuente: Carrasquero, Francisco (2004).

2.1.1. POLIETILENO (PE)

Este polímero se obtiene a partir del etileno. Las dos variedades comerciales más cocidas de este polímero son el polietileno de baja densidad (LDPE) y el de alta densidad (HDPE). La diferencia en sus propiedades y aplicaciones vienen dadas por el grado de cristalinidad que cada uno puede alcanzar. El LDPE, que posee una estructura muy ramificada y por ende una baja cristalinidad.

2.1.2. APLICACIONES²

2.1.2.1. POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (LDPE)

- Bolsas de todo tipo: supermercados, boutiques, panificación, congelados, industriales, etc.

² Recopilación de diferentes publicaciones.

- Recubrimiento de acequias.
- Envasado automático de alimentos y productos industriales: leche, agua, plásticos, etc.
- Base para pañales desechables.
- Bolsas para suero.
- Contenedores herméticos domésticos.
- Tubos y pomos: cosméticos, medicamentos y alimentos.
- Tuberías para riego.

2.1.2.2. POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE)

- Envases para: detergentes, lejía, aceites para automotor, champú, lácteos.
- Bolsas para supermercados.
- Cajones para pescados, gaseosas, cervezas.
- Envases para pintura, helados, aceites.
- Tuberías para gas, telefonía, agua potable, minería, láminas de drenaje y uso sanitario.
- Bolsas tejidas.
- Guías de cadena, piezas mecánicas.
- También se usa para recubrir lagunas, canales, fosas de neutralización, contra tanques, tanques de agua, plantas de tratamiento de aguas, lagos artificiales, canalones de lámina, etc.
- Biberones para bebé.

2.2. RECICLAJE

2.2.1. PROCEDENCIA DE MATERIALES RECICLABLES

Los materiales reciclables son generalmente los desechos sólidos no biodegradables que se pueden reutilizar o transformar en otros productos. Las principales fuentes de generación de estos materiales son:

- Los hogares.
- El comercio.
- Instituciones, establecimientos educativos, oficinas y compañías.
- La industria productora.

2.2.2. PROCESAMIENTO MECÁNICO DE LOS PLÁSTICOS³

Los plásticos se pueden vender a mucho mejor precio si ya han pasados por un procesamiento secundario. Después de la clasificación y limpieza de estos materiales, se pueden moler y peletizar (grancear).

Los plásticos escogidos y gruesamente limpiados (etiquetas, papeles, residuos de material biodegradable) pasan por un molino o una trituradora.

Este proceso se puede realizar en diferentes órdenes de sucesión, dependiendo del grado de contaminación de los plásticos y de la calidad del producto reciclado. El Diagrama A1.2 muestra dos alternativas de procesar mecánicamente el plástico. La preparación final del producto empieza con el lavado y la separación de sustancias contaminantes, proceso que se puede repetir si es necesario. Después el material pasa por una centrifuga y secadora y se almacena en un silo intermedio. En el caso ideal, este silo sirve también para homogeneizar más el material, al fin de obtener una calidad constante.

El producto triturado, limpio, seco y homogéneo se alimenta a una extrusora, y, tras el proceso de granceado, se obtiene la granza lista para ser procesada por diferentes técnicas. La granza de plásticos reciclados se puede utilizar de diferentes maneras, según los requerimientos para el producto final:

- a) Procesado del producto reciclado directamente, con la formulación que sea adecuada a su aplicación concreta. En este caso, las piezas obtenidas tienen en general propiedades menores a las fabricadas con polímero virgen, lo que es suficiente para la utilidad deseada.
- b) Mezcla de granza reciclada con polímero virgen para alcanzar las prestaciones requeridas.
- c) Coextrusión del producto reciclado. Un ejemplo de esta técnica es la fabricación de recipientes para detergentes, en la que la capa intermedia puede ser de polímero reciclado y al interior (contacto con el producto) y la exterior son de polímero virgen. El ejemplo típico es la adición de polímero virgen a la mezcla de termoplásticos.

³ Röben, Eva (2003): Municipio de Loja/ DED.

2.3. EXTRUSIÓN DE POLÍMEROS⁴

La extrusión es uno de los métodos más antiguos para dar forma a los materiales plásticos con perfiles relativamente sencillos. Es un proceso por 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 forma de la sección transversal queda determinada por la forma de la boquilla.

Dentro de la conformación de polímeros, la extrusión se usa ampliamente con termoplásticos y elastómeros, para producir masivamente artículos como tubos, ductos, láminas, películas, recubrimientos de alambres y cables eléctricos, perfiles estructurales como molduras de ventanas y puertas. Para este tipo de productos, la extrusión se lleva a cabo con un proceso continuo; el producto se extruye y se corta inmediatamente en las longitudes deseadas.

Con la extrusión se realiza el mayor volumen de producción de polímeros, ya que no se usa solamente para la producción de barras, tubos, láminas y películas en materiales termoplásticos, sino también para el mezclado minucioso de todas las clases de plásticos y para la producción de gránulos; una diferencia importante con las extrusoras de metales es el uso de extrusores de tornillo.

Dos son los métodos de extrusión utilizados industrialmente:

- Moldeo por extrusión en húmedo
- Moldeo por extrusión en seco, continuo o caliente.

La extrusión en húmedo solo es propia de máquinas de pistón, aplicándose a aquellos casos en el que el material tiene un disolvente o plastificante líquido (nitrato de celulosa, acetato de celulosa).

El moldeo por extrusión en seco, continuo o caliente, es el procedimiento más utilizado, en este caso el material es calentado hasta el punto de fluidez adecuado para producir su salida por la boquilla.

2.3.1. EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA EXTRUSIÓN DE PLÁSTICOS

Las extrusoras más utilizadas, según la presión necesaria para hacer pasar el plástico fundido a través de la boquilla son:

⁴ TP (2011): Tecnología de los Plásticos

a) Extrusoras de desplazamiento positivo:

- Extrusoras de pistón.
- Bombas de extrusión (bombas de engranaje).

b) Extrusoras de fricción viscosa:

- Extrusora de tambor rotatorio.
- Extrusora de rodillos.
- Extrusora de tornillo.

2.3.1.1. EXTRUSORA DE PISTÓN

Estas máquinas constan de un cilindro que posee elementos de calefacción, la materia prima desciende desde una tolva al interior del cilindro donde el material es plastificado. Éste es obligado a pasar a través de una boquilla, empujándolo con un pistón el cual es accionado por presión hidráulica o mecánica.

Las máquinas de un pistón producen piezas de longitud limitada, debido a la discontinuidad del proceso. Para fabricar perfiles continuos se utilizan las extrusoras de varios pistones.

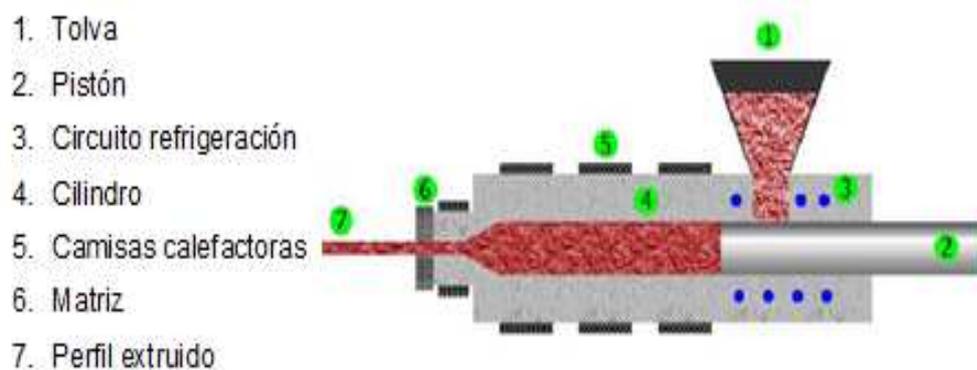


Figura 2.1. Partes de la Extrusora de pistón.

Fuente: EPSD (2003).

2.3.1.2. BOMBA DE EXTRUSIÓN

Son bombas con algunos pares de engranajes que están acoplados y alojados en una carcasa; cuando se impulsa un engrane éste mueve el correlativo. El transporte del

plástico se debe solo al empuje de los dientes sobre el material por el lado de la carcasa. El acoplamiento entre dientes aísla el lado de descarga a presión, del lado de succión. El flujo de material es proporcional a la frecuencia de rotación de los discos dentados obteniéndose así un flujo de material esencialmente constante.

2.3.1.3. EXTRUSORA DE TAMBOR ROTATORIO

En esta máquina el material desciende por gravedad e ingresa por el émbolo hasta la cámara, la cual está formada por el tambor rotatorio y por el bastidor fijo o cuerpo estático.

El bastidor puede calentarse o enfriarse para controlar la temperatura. En la cámara el polímero es arrastrado por el cilindro rotor que lo pone en contacto con las paredes calientes del bastidor y con el material previamente fundido, con lo que se efectúa la plastificación.

La homogenización tiene lugar en la pequeña holgura radial entre el marco fijo y el cilindro que gira.

El plástico así fundido es separado del cilindro rotatorio mediante una pieza en forma de cuchilla; la fundición, bajo acción de las fuerzas tangenciales se mueve hacia la boquilla y la cruza.

2.3.1.4. EXTRUSORA DE RODILLOS

Consiste en dos rodillos horizontales cuyos ejes son paralelos entre sí, dichos cilindros son calentados por fuente externa y giran en sentido opuesto.

El polímero se alimenta por la parte superior de los rodillos, y al atravesar la holgura que existe entre estos es sometido a intensos esfuerzos de cizalla, a la vez se calienta y pasa fundido a la cámara inferior venciendo la presión creada en ésta y saliendo finalmente extruido por la boquilla. La cámara inferior consiste en unas placas laterales, apretadas firmemente a la superficie inferior de los rodillos, con lo cual se confina el polímero fundido, y éste no puede salir si no es a través de la boquilla.

2.3.1.5. EXTRUSORA DE RODILLO

Estas máquinas constan de un motor adecuado para el giro del expulsor. El expulsor comprende un tornillo que rota dentro de una camisa calentada exteriormente.

El plástico en forma de gránulos, polvo o tiras, es alimentado constantemente desde una tolva situada sobre el cuerpo, el material pasa por un embudo al cilindro y a medida que avanza es calentado, mezclado y comprimido; y, cuando ha conseguido una consistencia moldeable, pasa a través de las boquillas u orificio formador.

La posición del cilindro y del tornillo es independiente en el proceso de extrusión. Por ello se utilizan las extrusoras verticales cuando se tienen espacios reducidos o cuando se requieren acoplar varias máquinas para elaborar productos constituidos por varios componentes.

Cuando se requiere una gran producción se utilizan extrusoras de varios husillos. La disposición y el número de dichos husillos es variada. En la mayoría de los casos los tornillos se encuentran mutuamente engranados, entrando las espiras de uno en el canal del otro, con lo que se logra el movimiento obligado del material y la autolimpieza de los husillos.

2.4. MÁQUINA EXTRUSORA DE TORNILLO SIMPLE

2.4.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

El polímero se alimenta en forma de gránulos, escamas o polvo. El material se Calienta a medida que avanza a lo largo del tornillo y se transforma en un fluido muy viscoso hacia la parte media del tornillo.

El movimiento del tornillo genera sobre el fluido la presión necesaria para hacerle salir por la boquilla el perfil extruido es enfriado, cortado o enrollado y almacenado.

En extrusores de husillo simple, el polímero atraviesa 3 estados físicos:

- Sólido
- Mezcla de material solido con masa caliente
- Material fundido

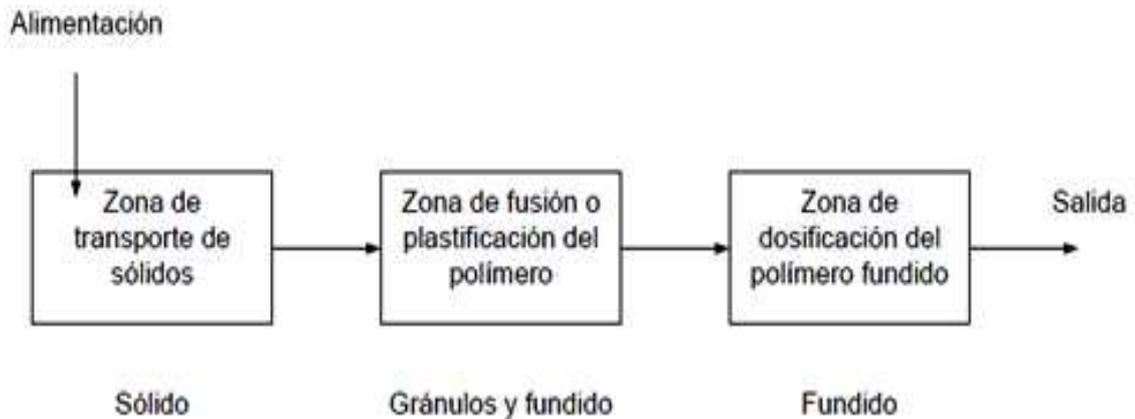


Diagrama 2.2. Zonas de la extrusora de tornillo simple.

Fuente: TP (2011).

Para que la zona de bombeo se llene totalmente con la fundición el volumen de la zona de transporte de sólidos debe ser mayor que el de la zona de bombeo. Este requisito se dicta por la diferencia entre el peso del material a granel (densidad esponjada) y el peso específico (densidad verdadera) de la fundición.

Para variar el volumen del canal se pueden tener 3 formas básicas del tornillo extrusor:

- a) Tornillo de diámetro constante, pero con paso variable entre anillos.
- b) Tornillo con diámetro variable, estrechándose hacia la salida.
- c) Tornillo con espacios uniformes entre anillos y diámetros gradualmente descendentes (tornillo cónico).

La relación entre el volumen del canal en el largo de la primera espira en la zona de carga y el valor al final de la zona dosificadora se llama **coeficiente de compresión**.

2.4.1.1. TRANSPORTE DE SÓLIDOS

El transporte de sólidos tiene lugar en la primera zona del tornillo extrusor plastificador.

Debajo de la tolva de alimentación el tornillo actúa como un elemento transportador en donde las partículas sólidas del polímero por acción de la pared conductora del roscado se trasladan a cierta distancia conservando su forma en el sector dado, las partículas individuales, idealmente siguen trayectorias rectas y paralelas al eje de tornillo.

2.4.1.2. ZONA DE PLASTIFICACIÓN

Es una zona en la cual coexisten polímero sólido y polímero fundido. La fusión del polímero es gradual. Los gránulos sólidos alimentados por la tolva se mueven hacia la boquilla atravesando primero la zona de transporte.

En cierto punto de ésta zona, los gránulos sólidos del polímero tocan la superficie caliente del cilindro, funden y forman una película de polímero fundido sobre la superficie del cilindro (figura 2.2); durante ésta etapa del proceso la transferencia de calor es lenta, ya que la masa sólida porosa situada debajo de la película fundida ofrece un pobre paso para el flujo de calor.

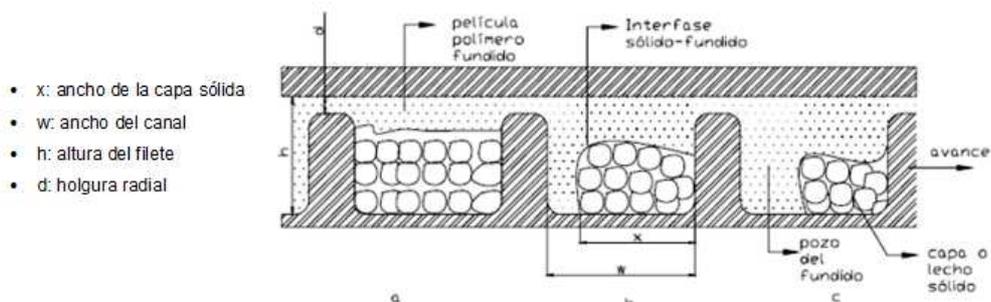


Figura 2.2. Mecanismo del tornillo en el canal de fusión.

Fuente: TP (2011).

La superficie del cilindro se mueve respecto al tornillo (y respecto a la capa sólida) con lo que se crea un gradiente de velocidad en la película fundida situada entre la capa sólida y la superficie del cilindro. Así el polímero fundido en la película comienza a fluir hacia el filete que avanza y cuando lo encuentre, éste barre el fundido y lo separa del cilindro.

El polímero fundido se acumula en un pozo situado en la parte posterior del canal delante del filete que avanza. A medida que la capa sólida se desliza por el canal se va acumulando más material fundido en dicho pozo, el tamaño de éste aumenta, mientras que el ancho de la capa sólida va disminuyendo.

Las partículas sin fundir son arrastradas por este flujo, se encuentran rodeadas de material fundido y caliente y funden con mayor rapidez. La transmisión de calor entre cilindro y fundido es buena debido al movimiento del fluido; una vez que se ha alcanzado éste estado, la fusión tiene lugar rápidamente. La existencia de la capa sólida en forma de larga pieza helicoidal explica también la eliminación del aire atrapado entre las partículas. A medida que la capa sólida funde gradualmente en la interface hay tiempo

suficiente para que el aire atrapado entre las partículas escape hacia el exterior vía la tolva de alimentación del extrusor.

2.4.1.3. ZONA DE BOMBEO

Conocida también como “zona de dosificación” es la zona en la cual, al flujo de material fundido se le pueden aplicar las leyes hidrodinámicas para líquidos viscosos.

El estudio se simplifica considerando tres tipos de flujos, estos son: el directo y el inverso o de retroceso a lo largo del canal helicoidal del husillo, y el correspondiente a las fugas de la masa que tienen lugar a través del ajuste entre las crestas de los filetes del husillo y la superficie interior del cilindro.

El **flujo directo** o flujo de fricción, es debido al rozamiento del material con el tornillo y con las paredes del cilindro. Este material está sometido a deformaciones por cizallamiento que las paredes del canal helicoidal transforman en movimiento de avance hacia la boquilla.

El caudal volumétrico del flujo directo viene determinado fundamentalmente por la profundidad y anchura del canal, diámetro del husillo y su velocidad de giro.

El **flujo de retroceso**, opuesto al anterior, es debido a la presión originada en la cabeza de la máquina extrusora, esta presión es generada por la presencia de una restricción, tal como la boquilla y los platos rompedores. Este flujo depende de la profundidad del canal helicoidal, del diámetro del tornillo, de la longitud del tornillo de extrusión, de la presión ejercida por la masa fundida sobre la cabeza extrusionadora y de la viscosidad del polímero.

El **flujo de pérdidas**, también opuesto al flujo de fricción, es creado por el gradiente de presión a lo largo del tornillo. El flujo total está dado la suma algebraica de los tres flujos anteriores.

$$Q_{total} = Q_{friccion} - Q_{retroceso} - Q_{perdidas}$$

Si solamente existiera el flujo de fricción debido a que el material fundido en los canales del tornillo se adhiere a las paredes internas del tornillo en rotación, el perfil de velocidades sería aproximadamente lineal.

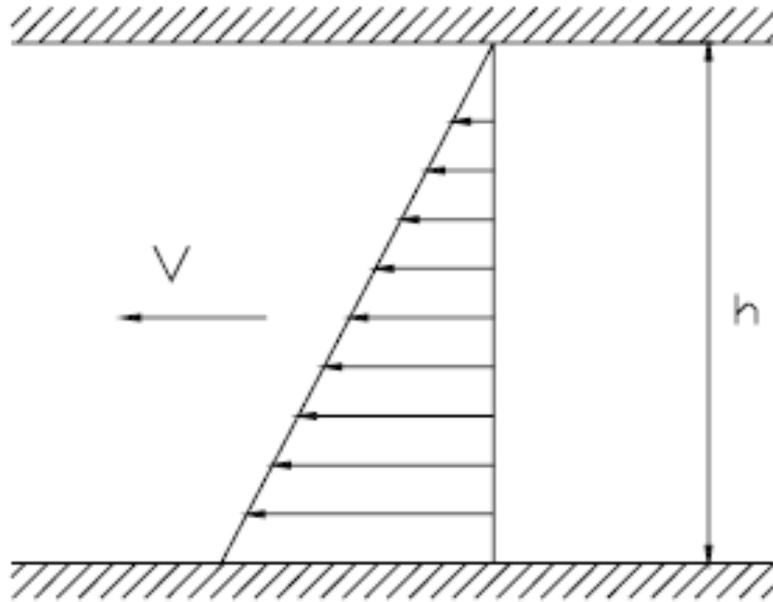


Figura 2.3. Flujo de fricción.

Fuente: TP (2011).

El flujo de retroceso se origina por la gradiente de presión a lo largo del cilindro, este tiende a hacer fluir el material hacia atrás a lo largo del canal del tornillo.

El perfil de velocidades debido a la gradiente de presión se muestra en la Figura 2.3 donde se observa que se opone al flujo de fricción.

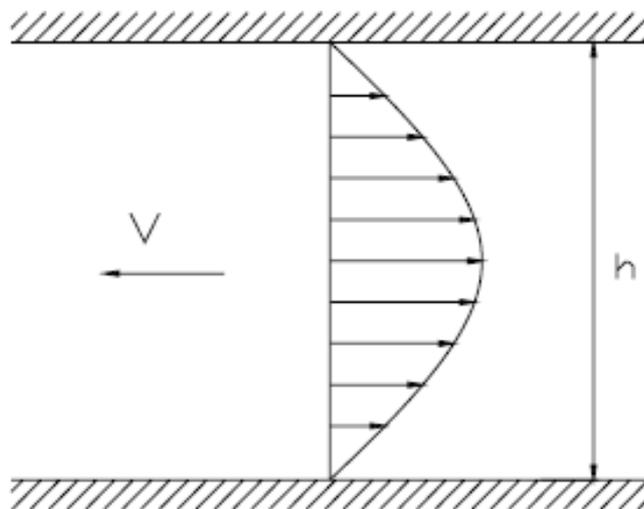


Figura 2.4. Flujo de retroceso.

Fuente: TP (2011).

El flujo de pérdidas lo despreciamos por ser mucho menor a los anteriores. Sumando algebraicamente los dos perfiles anteriores, obtenemos el flujo total del material a lo largo del tornillo:

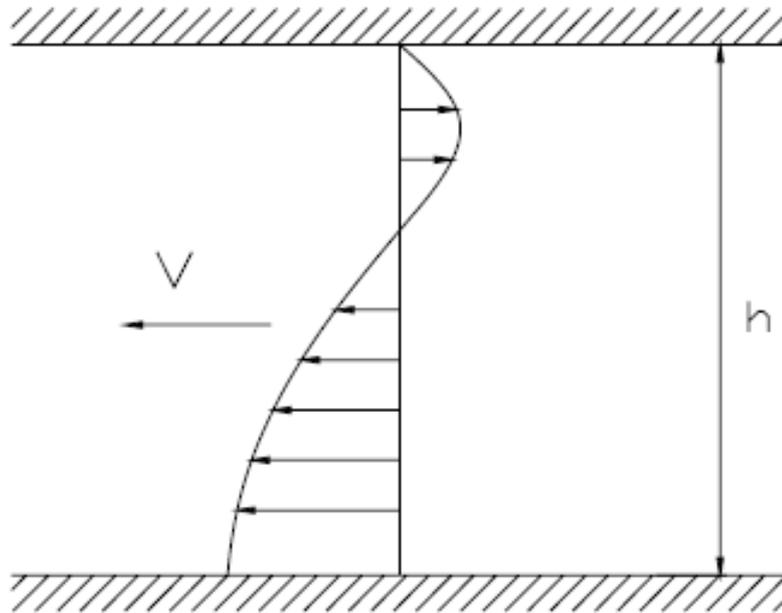


Figura 2.5. Flujo Total.

Fuente: TP (2011).

2.4.2. DEFECTOS GENERADOS EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Los productos de extrusión pueden sufrir numerosos defectos.

Uno de los peores es la fractura de fusión, en la cual los esfuerzos que actúan sobre la fusión inmediatamente antes y durante el flujo, a través del dado, son tan altos que causan rupturas que originan una superficie altamente irregular.

Como se indica en la figura 2.6, la fractura de fusión puede ser causada por una aguda reducción en la entrada del dado que causan un flujo turbulento y rompe la fusión. Esto contrasta con el flujo laminar uniforme en el dado gradualmente convergente.

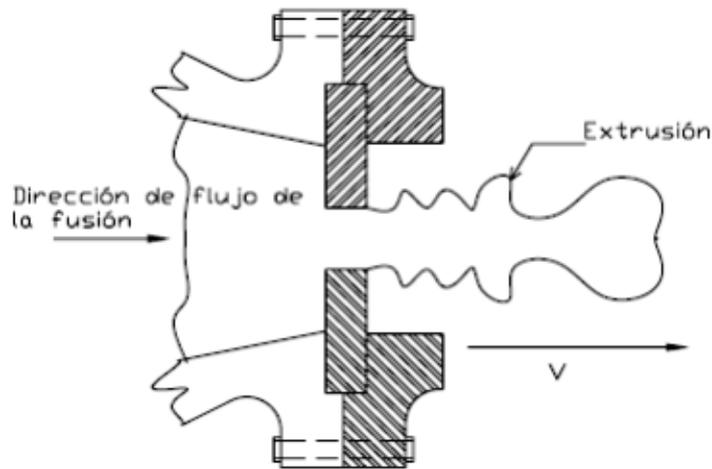


Figura 2.6. Fractura de la fusión, causada por flujo turbulento en la fusión a través de una aguda reducción a la entrada del dado.

Fuente: TP (2011).

Un defecto muy común en extrusión es la *piel de tiburón*, en la cual la superficie del producto se arruga al salir del dado. Conforme la fusión atraviesa la abertura del dado, la fricción con la pared produce un perfil diferencial de velocidades a través de la sección transversal, lo que se puede observar en la figura siguiente. Esto ocasiona esfuerzos tensiles en la superficie del material que se estira para igualar el movimiento más rápido del núcleo central. Estos esfuerzos causan rupturas menores que arrugan la superficie.

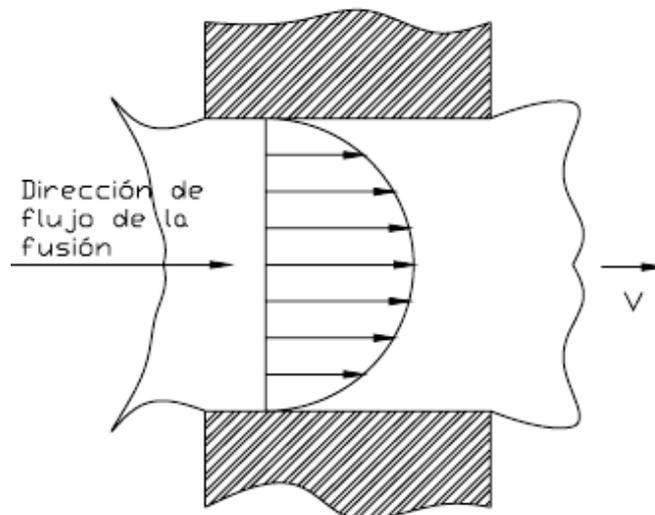


Figura 2.7. Perfil de velocidades de la fusión al fluir a través de la abertura del dado, el cual puede conducir el defecto llamado piel de tiburón.

Fuente: TP (2011).

Si el gradiente de velocidad se vuelve más grande, se forman marcas prominentes en la superficie que dan la apariencia de un tallo de bambú, que es el nombre como se conoce a este defecto más severo.

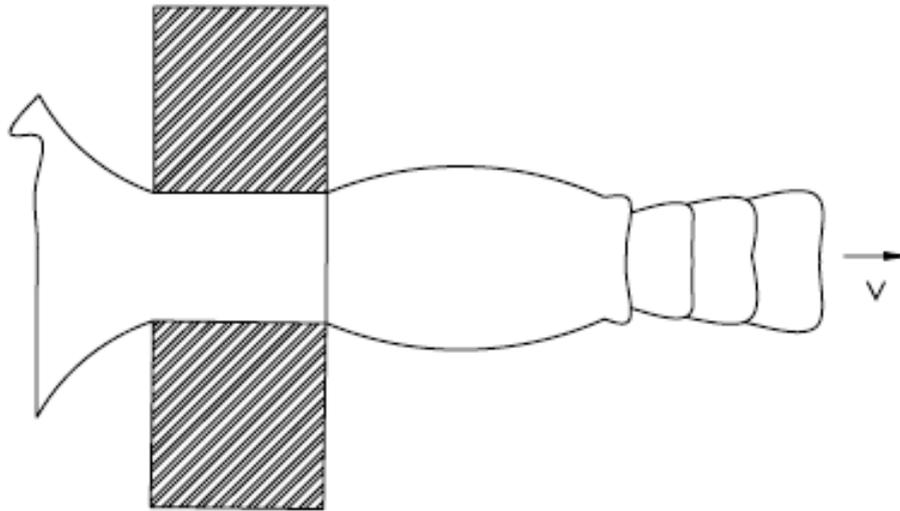


Figura 2.8. Formación del tallo de bambú.

Fuente: TP (2011).

2.4.2.1. CONTRACCIÓN DEL MATERIAL

Las irregularidades en la pared de la máquina extrusora pueden crear tensiones en la pieza moldeada. Las zonas gruesas tardan más en enfriarse que las delgadas y pueden causar rechupados, así como contracción diferencial en los plásticos cristalinos. Por regla general los plásticos cristalinos moldeados por inyección tienen una alta contracción, mientras que los amorfos se contraen menos.

Se debe ejercer una presión para introducir el material por las zonas más estrechas, hecho al que se suma el problema de la contracción del material. Los polietilenos, los poliacetales, las poliamidas, los polipropilenos y algunos polivinilos se contraen de 0.50 a 0.76 mm tras el moldeo. Los moldes para éstos plásticos cristalinos y éstos amorfos deben dar cabida a la contracción del material.

2.5. COMPONENTES DE UNA EXTRUSORA DE TORNILLO SIMPLE⁵

En la figura 2.9 indica las partes fundamentales de una extrusora, a pesar de los avances tecnológicos el diseño básico de las extrusoras de un solo tornillo no ha cambiado durante décadas. Además de por diámetro del tornillo, las maquinas extrusoras se valoran en el mercado por la cantidad de material que pueden plastificar por minuto o por hora.

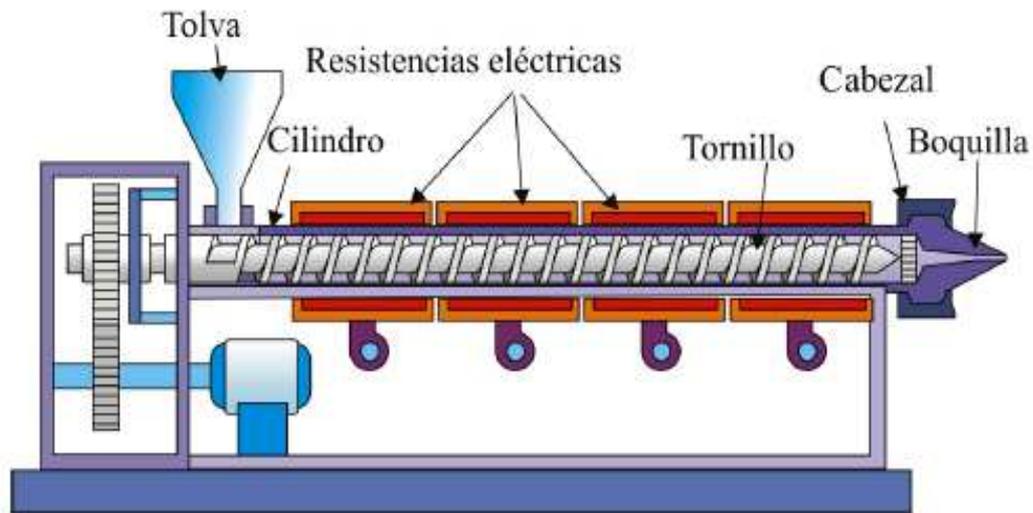


Figura 2.9. Sección transversal de una extrusora típica.

Fuente: Beltrán, Isabel (2001).

2.5.1. TORNILLO

Los tornillos se caracterizan por su relación L/D.

- L: Longitud
- D: Diámetro

La profundidad del tornillo es muy pronunciada en la zona de alimentación para permitir el paso de las granzas o pelets y otras formas de material y disminuye según se acerca a la zona de transición.

⁵ Beltrán, Isabel (2001): Tecnología de polímeros.

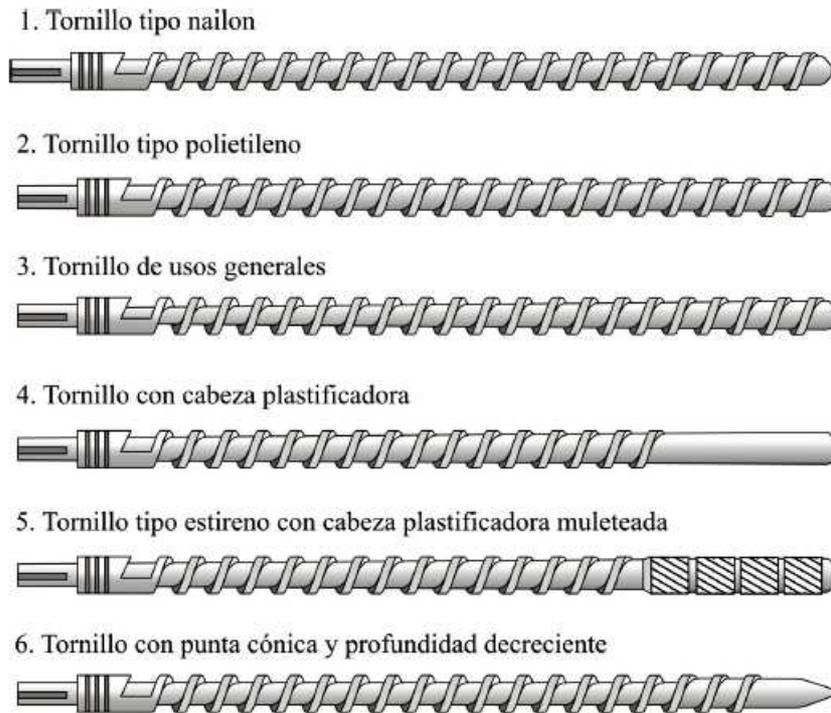


Figura 2.10. Tornillos de extrusora típicos.

Fuente: Beltrán, Isabel (2001).

De esta forma la reducción continua, gracias a lo cual favorece la expulsión de aire y la compactación del material. En la zona de dosificación, el dibujo en espiral superficial permite que se complete el fundido de los plásticos. En el extremo del tambor, una placa rompedora actúa como sello mecánico entre el tambor y la boquilla.

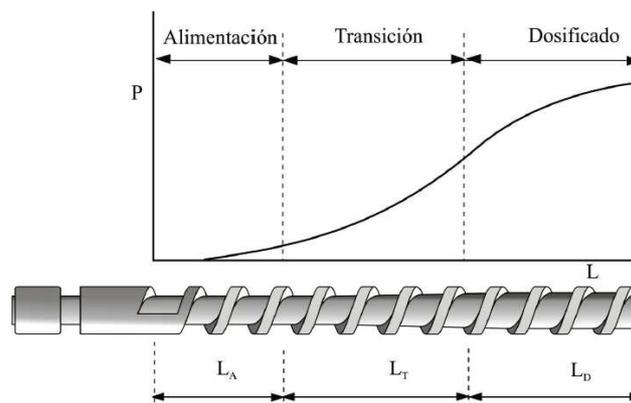


Figura 2.11. Zonas por las que atraviesa el material y aumento de presión a lo largo de las mismas.

Fuente: Beltrán, Isabel (2001).

Después de pasar por la placa rompedora, el plástico fundido entra en la boquilla que es realmente la que conforma el plástico derretido a medida que va saliendo de la extrusora. La boquilla más simple es la que consiste en un solo ramal, por donde se extruye el hilo algo más grande que el diámetro de la boquilla. Las que constan de varios ramales crean varios hilos simultáneamente.

2.5.2. CILINDRO

El cilindro de calefacción alberga en su interior al tornillo. La superficie del cilindro debe ser muy rugosa para aumentar las fuerzas de cizalla que soportará el material y permitir así que éste fluya a lo largo de la extrusora. Para evitar la corrosión y el desgaste mecánico, el cilindro suele construirse de aceros muy resistentes y en algunos casos viene equipado con un revestimiento bimetálico que le confiere una elevada resistencia, en la mayoría de los casos superior a la del tornillo.

2.5.3. RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

El cilindro por lo general posee sistemas de transferencia de calor. El calentamiento se puede realizar mediante resistencias eléctricas circulares localizadas en toda su longitud como se muestra en la figura 2.12, y también, aunque es menos usual, mediante radiación o encamisado con fluidos refrigerantes o calefactores. El cilindro suele dividirse en varias zonas de calefacción, al menos tres, con control independiente en cada una de ellas, lo que permite conseguir un gradiente de temperatura razonable desde la tolva hasta la boquilla.

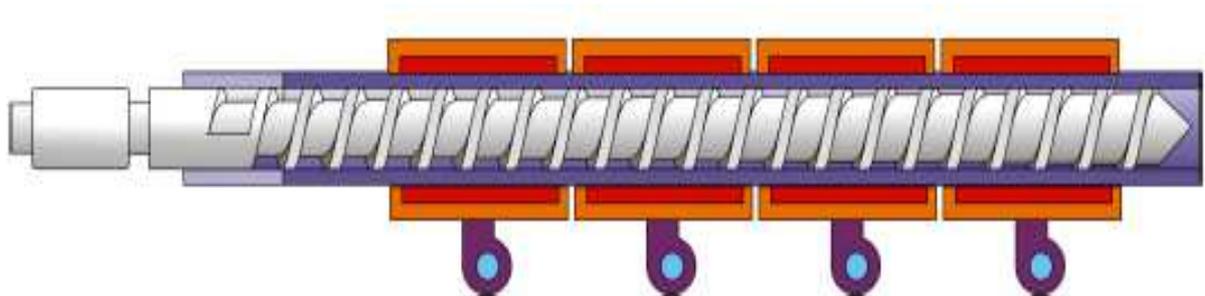


Figura 2.12. Cilindro de calentamiento.

Fuente: Beltrán, Isabel (2001).

2.5.4. GARGANTA DE ALIMENTACIÓN

El cilindro puede estar construido en dos partes, la primera se sitúa debajo de la tolva y se denomina garganta de alimentación. Suele estar provista de un sistema de refrigeración para mantener la temperatura de esta zona lo suficientemente baja para que las partículas de granza no se adhieran a las paredes internas de la extrusora.

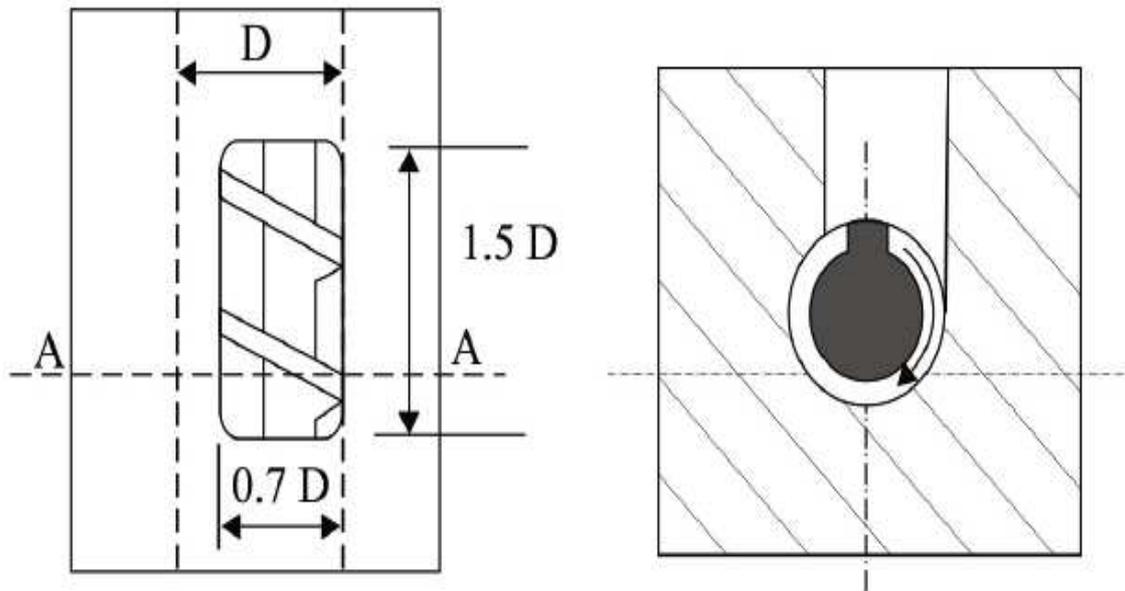


Figura 2.13. Garganta de alimentación y corte A-A.

Fuente: Beltrán, Isabel (2001).

La garganta de alimentación está conectada con la tolva a través de la boquilla de entrada o de alimentación. Esta boquilla suele tener una longitud de 1.5 veces el diámetro del cilindro y una anchura de 0.7 veces el mismo, y suele estar desplazada del eje del tornillo para facilitar la caída del material a la máquina.

2.5.5. TOLVA

La tolva es el contenedor que se utiliza para introducir el material en la máquina. Tolva, garganta de alimentación y boquilla de entrada deben estar ensambladas perfectamente y diseñadas de manera que proporcionen un flujo constante de material. Esto se consigue más fácilmente con tolvas de sección circular, aunque son más caras y difíciles de construir que las de sección rectangular. Se diseñan con un volumen que permita albergar material para 2 horas de trabajo.

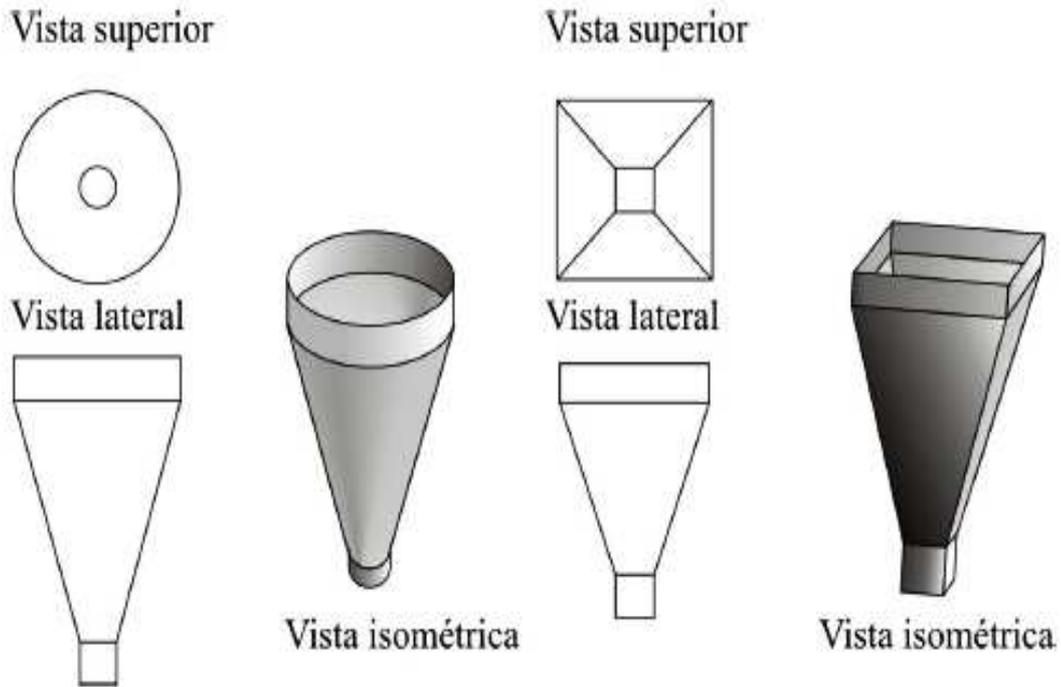


Figura 2.14. Diseños de tolvas.

Fuente: Beltrán, Isabel (2001).

2.5.6. PLATO ROMPEDOR Y FILTROS

El plato rompedor se encuentra al final del cilindro. Se trata de un disco delgado de metal con agujeros, como se muestra en la figura 2.15. El propósito del plato es servir de soporte a un paquete de filtros cuyo fin principal es atrapar los contaminantes para que no salgan con el producto extruído. Los filtros además mejoran el mezcldo y homogenizan el fundido. Los filtros van apilados delante del plato rompedor, primero se sitúan los de malla más ancha, reduciéndose el tamaño de malla progresivamente. Detrás se sitúa un último filtro también de malla ancha y finalmente el plato rompedor que soporta los filtros.

Conforme se ensucian las mallas es necesario sustituirlas para evitar una caída de presión excesiva y que disminuya la producción. Por ello, el diseño del plato debe ser tal que pueda ser reemplazado con facilidad.

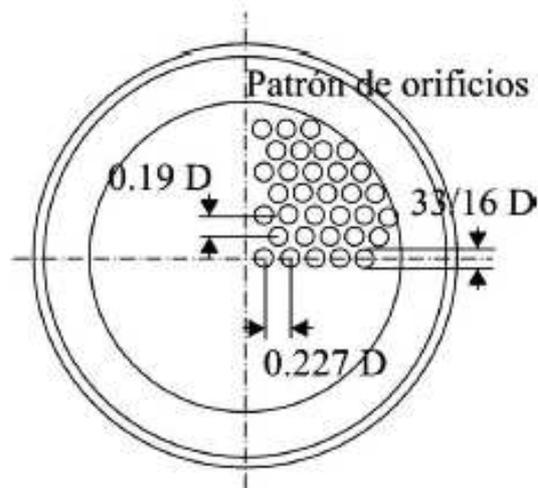


Figura 2.15. Plato Rompedor.

Fuente: Beltrán, Isabel (2001).

2.5.7. CABEZAL Y BOQUILLA

La función de la boquilla es la de moldear el plástico. El cabezal es la pieza situada al final del cilindro, que se encuentra sujetando la boquilla y por lo general manteniendo el plato rompedor. Generalmente va atornillado al cilindro. El perfil interno del cabezal debe facilitar lo más posible el flujo del material hacia la boquilla. La figura 2.16 muestra un sistema cabezal-boquilla de forma anular.

En la figura el material fluye del cilindro a la boquilla a través del torpedito, situado en el cabezal. La sección transversal de los soportes del torpedito se diseña para proporcionar el flujo de material a velocidad constante.

Las dimensiones de la boquilla no son exactamente las mismas que las del producto extruído. Hay varias razones para ello: la recogida del material, el enfriamiento y el fenómeno de relajación contribuyen a que el material cambie de tamaño e incluso de forma.

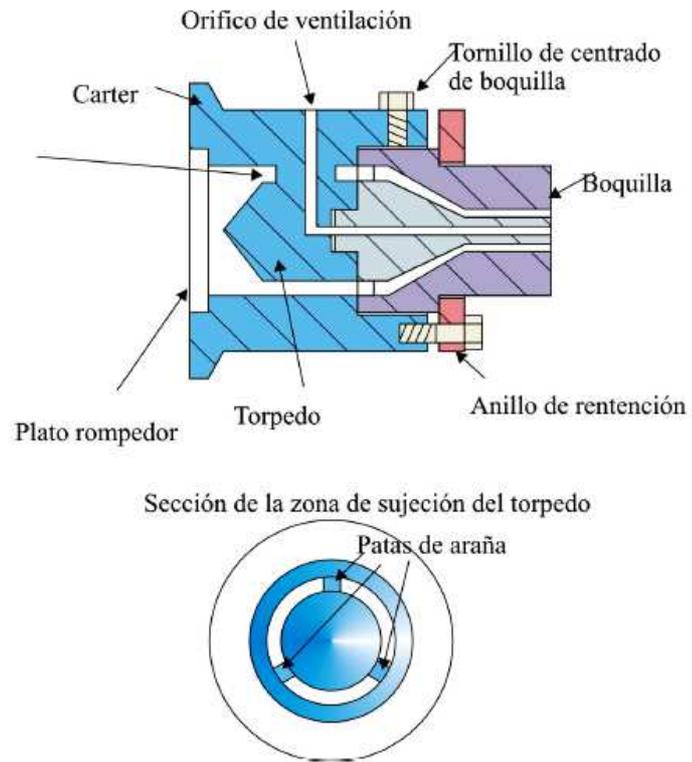


Figura 2.16. Boquilla y cabezal.

Fuente: Beltrán, Isabel (2001).

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA MÁQUINA EXTRUSORA DE TORNILLO SIMPLE

3.1. SELECCIÓN DE IMPULSORES⁶

3.1.1. IMPULSORES DE BANDA

Es un elemento flexible capaz de transmitir potencia que asienta en forma ajustada sobre un conjunto de poleas o poleas acanaladas. Cuando se utiliza para reducción de velocidad, el caso más común, la polea acanalada más pequeña se monta en la flecha de alta velocidad, como la flecha de un motor eléctrico. La polea de mayor tamaño se monta en la máquina que es impulsada. La banda se diseña de manera que gire alrededor de las dos poleas sin deslizarse.

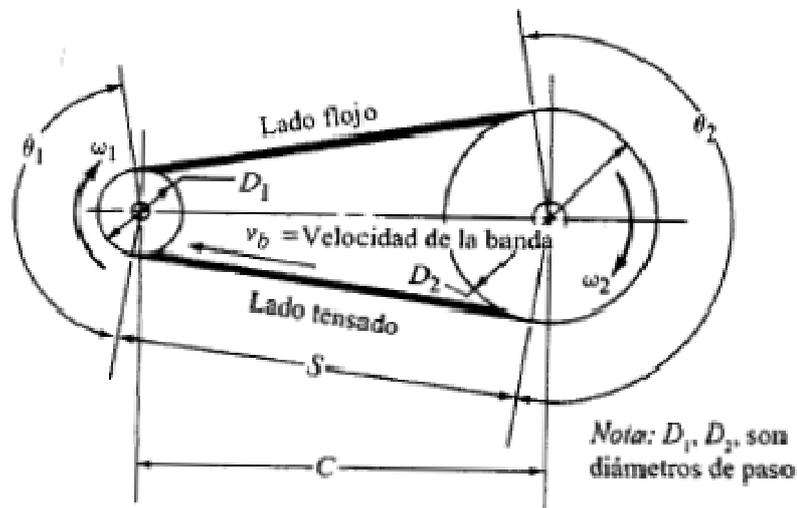


Figura 3.1. Geometría básica de un impulsor de banda.

Fuente: Mott, Robert L. (1995)

La banda se instala colocándola entre las dos poleas mientras que la distancia central entre ellas se reduce. Luego se separan las dos poleas acanaladas colocando la banda con una tensión inicial relativamente alta.

Cuando se transmite potencia, la fricción provoca que la banda se adhiera a la polea impulsora, y, a su vez, se incrementa la tensión al lado que se denomina **“lado tensionado del impulsor”**.

⁶ Mott, Robert L. (1995): Diseño de elementos de Máquinas.

La fuerza de tracción que se genera en la banda ejerce una fuerza tangencial sobre la polea acanalada que es impulsada, por consecuencia, se aplica un torque a la flecha que es impulsada. El lado opuesto de la banda aun esta en tensión, pero de menor valor, por lo tanto se le da el nombre de “lado flojo” (figura 3.1).

En el mercado se dispone de muchos tipos de bandas para el giro de la máquina se utilizara bandas en V como se indica en la figura A3.1:

3.1.1.1. IMPULSORES DE BANDA EN V

Las observaciones importantes que se derivan de una disposición de este tipo se resumen a continuación:

- La polea, con una ranura circunferencial sobre la que se apoya la banda se denomina **polea acanalada**.
- El tamaño de una polea acanalada se indica mediante su diámetro de paso, poco más pequeño que el diámetro exterior de la polea.

Ecuación 3.1. Relación de Velocidad.

$$V_b = \frac{D_1 \cdot \omega_1}{2} = \frac{D_2 \cdot \omega_2}{2}$$

Ecuación 3.2. La relación de la velocidad angular.

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

Donde:

- $D_1 = \frac{15}{4}$ in Diámetro de la polea acanalada pequeña
- $D_2 = 18$ in Diámetro de la polea acanalada grande
- $N_1 = 1760$ rpm Revoluciones por minuto del motor.
- $C = 22.77866$ in Distancia entre centros de las poleas.

$$Rt = \frac{D_1}{D_2} = 0.2083 = \frac{N_2}{N_1}$$

$$N_2 = 366.66 \text{ rpm}$$

Ecuación 3.3. Longitud de paso, L .

$$L = 2C + 1.57(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4C}$$

$$L = 2(22.77866) + 1.57 \left(18 + \frac{15}{4} \right) + \frac{\left(18 - \frac{15}{4} \right)^2}{4(22.77866)} = 81.9334 \text{ in} \approx 80 \text{ in (tabla A3.2)}$$

Ecuación 3.4. Distancia central, C .

$$C = \frac{B + \sqrt{(B^2 - 32 \cdot (D_2 - D_1)^2)}}{16}$$

Donde:

- $B = (D_2 + D_1) \cdot 4 \cdot L - 6.28 \cdot (D_2 + D_1)$

Ecuación 3.5. Ángulo de contacto en la primera polea.

$$\theta_1 = 180 - 2 \cdot \text{Sen}^{-1} \left[\frac{(D_2 - D_1)}{2C} \right]$$

$$\theta_1 = 180 - 2 \text{Sen}^{-1} \left[\frac{18 - \frac{15}{4}}{2C} \right] = 143.55^\circ$$

Ecuación 3.6. Ángulo de contacto en la segunda polea.

$$\theta_2 = 180 + 2 \cdot \text{Sen}^{-1} \left[\frac{(D_2 - D_1)}{2C} \right]$$

$$\theta_2 = 180 + 2 \text{Sen}^{-1} \left[\frac{18 - \frac{15}{4}}{2C} \right] = 216.44^\circ$$

Ecuación 3.7. La longitud del espacio libre entre las dos poleas acanaladas.

$$S = \sqrt{C^2 - \left[\frac{(D_2 - D_1)}{2C} \right]^2}$$

Esto es importante por dos razones. La tensión adecuada en la banda puede verificarse midiendo la cantidad de fuerza que se requiere para deflexionar la banda a la mitad del espacio libre en una cantidad especificada. A su vez, la tendencia de la banda a vibrar o chicotear depende de esta longitud.

- Los factores a que se genere tensión en la banda son:
 - a. La fuerza de tracción en la banda, que alcanza su máxima magnitud en el lado tensionado de la banda.
 - b. La flexión de la banda a lo largo de las poleas acanaladas, alcanza su magnitud máxima conforme al lado tensionado de la banda se flexiona alrededor de la polea más pequeña.
 - c. Fuerzas centrifugas que se generan a medida que la banda se desplaza alrededor de las poleas.

La tensión máxima total se genera cuando la banda entra en la polea mas pequeña y la tensión por esfuerzo de flexión es una gran parte de esa tensión. Por consiguiente existen diámetros mínimos de poleas acanaladas que se recomienda para bandas estándar. Al utilizar poleas acanaladas mas pequeñas se reduce en forma radical la vida útil de la banda.

- El valor de diseño de la relación de tensión del lado tensionado con la tensión del lado flojo es de 5.0 para impulsores de banda en V. el valor real puede ser tan alto como 10.0.

Los factores que influyen en la selección de una banda en V así como la de poleas impulsadas y la instalación correcta del impulsor son:

- La potencia específica del motor impulsado o de otra planta motriz importante.
- El factor de servicio con base en el tipo de impulsor y carga que es impulsada.
- La distancia central.
- La especificación de potencia para una banda como función del tamaño y de la velocidad de la polea acanalada más pequeña.
- La longitud de la banda.

- El tamaño de la polea impulsada.
- El factor de corrección para longitud de la banda.
- El factor de corrección para el ángulo envolvente en la polea acanalada más pequeña.

3.1.1.2. FACTOR DE SERVICIO (K_s)

Encontramos el factor de servicio de la tabla A3.1.

Motores con torque alto – (6h a 15h)

$$K_s = 1.6$$

3.1.1.3. POTENCIA DE DISEÑO

$$P_{\text{diseño}} = P_{\text{motor}} \cdot K_s = 20 \cdot 1.6 = 32 \text{ hp}$$

La cual buscamos una banda que soporte esta potencia en la figura A3.2.

La banda a utilizar es una 3V pero por el número excesivo de bandas utilizaremos una 5V.

3.1.1.4. FACTOR DE CORRECCIÓN POR ÁNGULO DE CONTACTO (C_θ)

Utilizamos la polea de menor diámetro:

$$\theta_1 = 143.55^\circ$$

Encontramos C_θ en la figura A3.7

$$C_\theta = 0.89$$

3.1.1.5. FACTOR POR CORRECCIÓN DE LONGITUD DE BANDA (C_1)

Encontramos el valor C_1 en la figura A3.8 con una longitud de banda de 80 in, 5V.

$$C_1 = 0.93$$

3.1.1.6. ESPECIFICACIÓN DE POTENCIA DE BANDA 5V

Encontramos el valor en la figura A3.4 con el diámetro $D_1 = \frac{15}{4}$ a 1760 rpm.

$$x = 13 \text{ hp}$$

3.1.1.7. POTENCIA POR BANDA CORREGIDA (H_a)

$$H_a = x \cdot C_0 \cdot C_1$$

Reemplazamos:

$$H_a = 10.76 \text{ hp}$$

Numero de bandas a utilizar:

$$N = \frac{P_{\text{diseño}}}{H_a} = \frac{32}{10.76} = 2.97$$

Entonces aproximamos y el número de bandas a utilizar es 3.

3.1.2. IMPULSORES DE CADENA

Una cadena es un elemento de transmisión de potencia que se fabrica como una serie de eslabones que se unen mediante pernos. El diseño proporciona flexibilidad mientras que la cadena transmite fuerzas de tracción cuya magnitud es considerable.

Cuando transmite potencia entre flechas o ejes que giran, la cadena activa ruedas dentadas que se enlazan, se conocen como **ruedas dentadas**. La figura 3.2 ilustra un impulsor de cadena común.

El tipo más común de cadena es la **cadena de rodamientos**, en la que el rodamiento de cada perno proporciona una fricción excepcionalmente baja entre la cadena y las ruedas dentadas. Otros tipos incluyen una variedad de diseños extendidos de eslabones que casi siempre se emplean en transportadores.

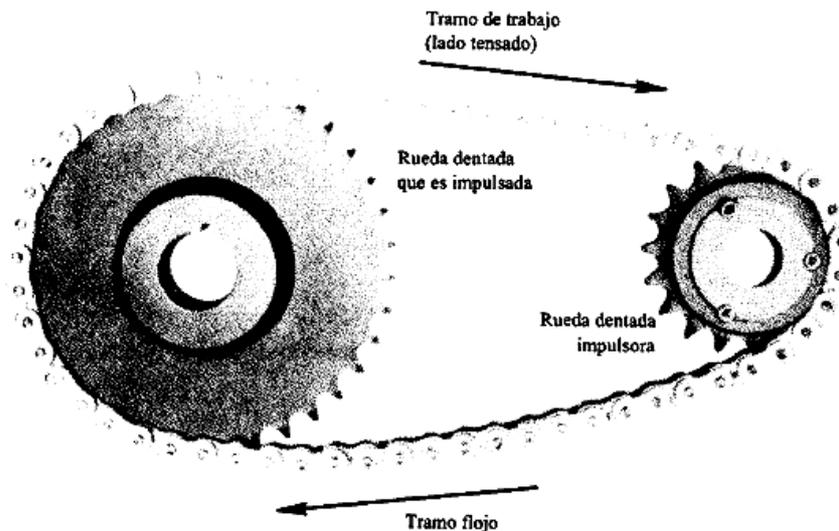


Figura 3.2. Impulsor de cadena de rodamientos.

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

3.1.2.1. DISEÑO DE IMPULSORES DE CADENA

La especificación de cadena en relación a su capacidad para transmitir potencia considera tres modos de falla: fatiga de las placas de los eslabones por aplicación sucesiva de la tensión en el lado flojo de la cadena, impacto en los rodamientos conforme se enlazan con los dientes de la rueda dentada y raspaduras entre los pernos de cada eslabón y los bujes en los pernos.

Las especificaciones se basan en datos empíricos con un impulsor suave y una carga suave (factor de servicio 1.0) y una vida útil especificada de 15000 horas aproximadamente. Las variables importantes son el paso de la cadena y el tamaño y la velocidad de giro de la rueda dentada más pequeña. La lubricación es de fundamental importancia para la operación satisfactoria de un impulsor por cadena.

Los fabricantes recomiendan el tipo de lubricación para combinaciones particulares de tamaño de cadena. Los fabricantes recomiendan el tipo de lubricación para combinaciones particulares de tamaño de cadena, tamaño de rueda dentada y velocidad.

3.1.2.2 PARÁMETROS DE DISEÑO PARA IMPULSORES DE CADENA

Las siguientes son recomendaciones generales para diseñar impulsores con cadena:

- El número mínimo de dientes en una rueda dentada debe ser 17 a menos que el impulsor este trabajando a un velocidad muy baja, menor de 100 rpm.
- La relación de velocidad máxima debe ser 7.0 aunque son factibles relaciones más altas. Se puede utilizar dos o más fases de reducción para obtener relaciones más altas.
- La distancia central entre los ejes de la rueda dentada debe ser de entre 30 y 50 pasos aproximadamente (30 a 50 veces el paso de la cadena).
- El arco de contacto de la cadena en la rueda dentada más pequeña no debe ser menor a 120° .
- En condiciones normales, la rueda dentada más grande no debe tener menos de 120 dientes.
- La disposición más favorecida para un impulsor de cadena es con la línea central de las ruedas dentadas horizontal y con el lado tensado en la parte superior.
- La longitud de la cadena debe ser un múltiplo completo del paso, y se recomienda un número par de pasos. La distancia central debe hacerse ajustable para adaptar la longitud de la cadena y compensar tolerancias y desgaste. Un juego excesivo en el lado flojo debe evitarse, sobre todo en impulsores no horizontales. Una relación conveniente entre la distancia central (C), la longitud de la cadena (L), número de dientes en la rueda dentada pequeña (N_1) y numero de dientes en la rueda dentada grande (N_2), expresada en pasos, es:

Ecuación 3.8. Longitud de la Cadena.

$$L = 2 \cdot C + \frac{N_2 + N_1}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot C}$$

Donde:

- $N_3 = 12$ Numero de dientes de la rueda dentada pequeña.
- $N_4 = 44$ Numero de dientes de la rueda dentada grande.
- $p = 1 \text{ in}$ Paso de la cadena (cadena N° 80 de la Tabla A4-1).
- $c = 21.654 \text{ in}$ Distancia entre los centros de las ruedas dentadas.

$$L = 2(21.654) + \frac{44 + 12}{2} + \frac{(44 - 12)^2}{4\pi^2(21.654)} = 72.50 \text{ in}$$

Ecuación 3.9. La distancia central de las ruedas dentadas.

$$C = 1/4[L - \frac{N_2 + N_1}{2} + \sqrt{[L - \frac{N_2 + N_1}{2}]^2 - \frac{8 \cdot (N_2 - N_1)^2}{4 \cdot \pi^2}}$$

- El diámetro de paso de una rueda dentada con N dientes para una cadena con paso p es:

Ecuación 3.10. Diámetro de paso de las ruedas dentadas.

$$D = \frac{p}{\text{sen}\left(\frac{180^\circ}{N}\right)}$$

$$D_1 = \frac{1}{\text{sen}\left(\frac{180^\circ}{12}\right)} = 3.86 \text{ in} \text{ Diámetro de la rueda dentada pequeña.}$$

$$D_2 = \frac{1}{\text{sen}\left(\frac{180^\circ}{44}\right)} = 14 \text{ in} \text{ Diámetro de la rueda dentada grande.}$$

La relación de transmisión es:

$$Rt = \frac{N_2}{N_1} = 0.27$$

La cual podemos utilizar para calcular la velocidad real de salida.

$$N_{\text{husillo}} = N_2 \cdot Rt = (366.66) \cdot (0.27) = 99 \text{ rpm} = 1.65 \text{ rps}$$

3.2. DISEÑO DE FLECHAS O EJES

3.2.1. FUERZAS QUE EJERCEN ELEMENTOS DE MAQUINARIAS SOBRE FLECHAS O EJES

Los engranes las poleas acanaladas para bandas y otros elementos que casi siempre son soportados por ejes o flechas, ejercen fuerzas sobre los ejes que dan lugar a momentos de flexión.

3.2.2 RUEDAS O POLEAS DE CADENA.

La figura 3.3 ilustra un par de ruedas o poleas de cadena que transmiten potencia. La parte superior de la cadena se somete a una tensión y genera el torque en cualquiera de las ruedas. A la parte inferior de la cadena se le da el nombre de **lado flojo** y no ejerce fuerza alguna en ninguna de las ruedas. Por tanto, la fuerza total de flexión en el eje que soporta a la rueda es igual a la tensión en el lado tenso de la cadena. Si se conoce el torque en alguna rueda, donde D es el diámetro de la holgura de esa rueda.

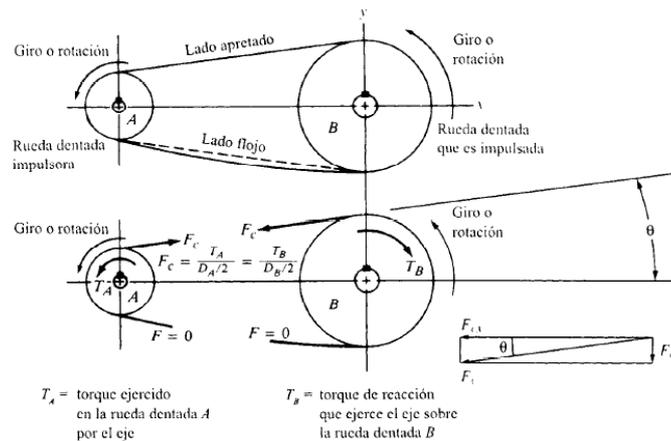


Figura 3.3. Fuerzas en ruedas dentadas de cadena.

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

Ecuación 3.11. Fuerza que actúa en el lado tenso de la cadena.

$$F_c = \frac{T}{\frac{D}{2}}$$

Debido a la diferencia de tamaño de las dos ruedas, ese sentido se encuentra a cierto ángulo respecto a la línea del centro entre los centros de eje.

Ecuación 3.12. Fuerza en x de la cadena.

$$F_{cx} = F_c \cdot \cos\theta$$

Ecuación 3.13. Fuerza en y de la cadena.

$$F_{cy} = F_c \cdot \sin\theta$$

3.2.3. POLEAS ACANALADAS PARA BANDAS EN FORMA DE V

El aspecto general del sistema impulsor mediante una banda en V es similar al sistema impulsor por medio de cadena. No obstante, presenta una diferencia importante. Ambos lados de la banda en forma de V se encuentran en tensión, como indica la figura 3.4. La tensión en el lado tenso, F_1 es de mayor magnitud que la tensión en el "lado flojo" F_2 .

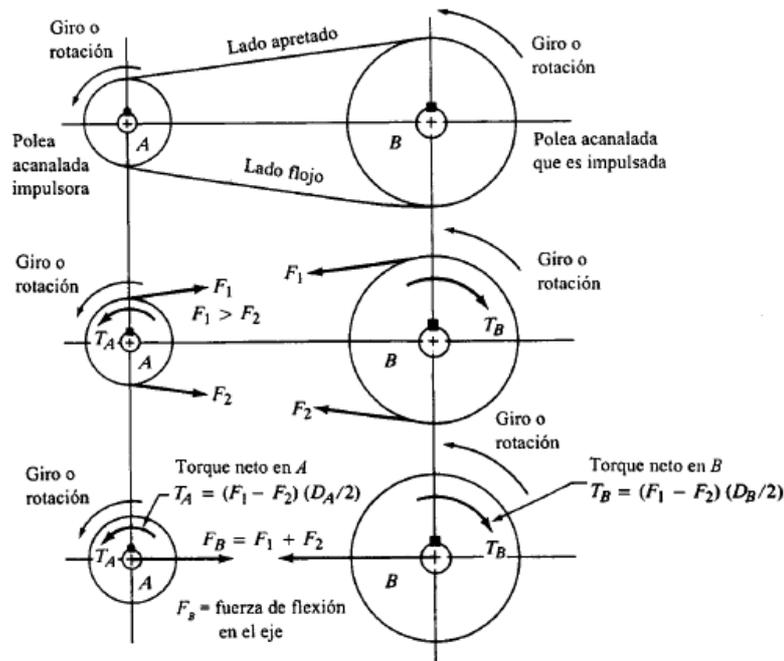


Figura 3.4. Fuerzas en poleas acanaladas para bandas o poleas.

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

Ecuación 3.14. Fuerza neta de impulso.

$$F_N = F_1 - F_2$$

Ecuación 3.15. Fuerza neta de impulso a partir del torque que se transmite.

$$F_N = \frac{T}{\frac{D}{2}}$$

Donde:

Fuerza de flexión en la polea acanalada.

$$F_B = F_1 + F_2$$

Relación entre el lado tenso y el lado flojo.

$$\frac{F_1}{F_2} = 5$$

Es conveniente obtener una relación entre F_N y F_B a partir de la forma:

$$F_B = 1.5 \cdot F_N$$

Se acostumbra considerar que las fuerzas de flexión, F_B actúa como una sola fuerza a lo largo de la línea de los centros de las dos poleas acanaladas, como se ilustra en la figura 3.4.

3.2.4. CONCENTRACIÓN DE TENSIONES EN FLECHAS O EJES

Para montar y ubicar en forma correcta los distintos tipos de elementos mecánicos en los ejes, por lo regular, el diseño final incluye varios diámetros, cuñeros, ranuras para anillo y otras discontinuidades geométricas que dan lugar a concentraciones de tensión o esfuerzo. Estas concentraciones de tensión deben ser tomadas en cuenta durante el análisis de diseño. La siguiente ecuación nos ayudara para el diseño de ejes:

Ecuación 3.16. Diámetro mínimo para la elaboración del eje sometido solo a flexión y torsión.

$$D = \left[\frac{32 \cdot N}{\pi} \sqrt{\left[\frac{K_f \cdot M}{S_n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

- N : Factor de Diseño.
- K_f : Discontinuidades Geométricas
- M : Momento por el que está atravesando ese punto.
- T : Torque en esa sección.
- S_y : Resistencia al punto cedente.

3.2.4.1. FACTOR DE DISEÑO, N

Bajo condiciones industriales típicas se sugiere el factor de diseño de $N=3$. Si la aplicación es en extremo suave, tal vez se justifique un valor tan bajo como $N=2$. Bajo condiciones de choque o impacto debe emplearse $N=4$ o más alto y se recomienda llevara a cabo pruebas exhaustivas.

3.2.4.2. VALORES PRELIMINARES DE DISEÑO PARA K_t

Aquí se consideran los tipos de discontinuidades geométricas que se encuentran con más regularidad en ejes que transmiten potencia: cuñeros, chaflanes de hombros y ranuras para anillos de sujeción.

3.2.4.2.1. CUÑEROS

Un cuñero consiste en una ranura longitudinal que se corta en un eje o una flecha para montar una cuña, ello permite transferir torque a partir del eje hacia un elemento que transmite potencia o viceversa.

Dos son los tipos de cuñeros que se utiliza con mayor frecuencia: el de perfil y el de correa o rastra (Figura A5.1). El cuñero de perfil se fresa en el eje o flecha utilizando una punta en la fresa con diámetro igual al ancho de la cuña. La ranura resultante tiene el fondo plano y en el extremo presenta una esquina aguda a escuadra. El cuñero de corredera o rastra se fabrica con una cortadora circular para fresar con espesor igual al ancho de la cuña. A medida que la cortadora inicia o termina el cuñero, se obtiene un radio continuo.

Ecuación 3.17. Diseño de cuña.

$$L = \frac{4 \cdot T \cdot N}{D \cdot W \cdot S_y}$$

Donde:

- $N = 3$ Adecuado en aplicaciones industriales
- T : Torque en esa sección.
- D : Diámetro en esa sección.
- S_y : Resistencia al punto cedente del material de la cuña.

3.2.4.2.2. CHAFLANES DE HOMBROS

Cuando en un eje se presentan cambios de diámetro para producir un hombro contra el cual se coloca un elemento mecánico, se genera una concentración de tensión que depende de la relación entre los dos diámetros y el diámetro del chaflán (Figura A5.2).

$$K_t = 2.5 \text{ (Chaflán con bordes cortantes)}$$

$$K_t = 1.5 \text{ (Chaflán bien redondeado)}$$

3.2.4.3. TENSIÓN DE DISEÑO PARA FLECHAS O EJES

En una flecha o eje en particular puede existir al mismo tiempo condiciones distintas que generan esfuerzo o tensión. Para cualquier parte del eje que transmite potencia, habrá una tensión por esfuerzo de corte por torsión, mientras la tensión por esfuerzo de flexión se presenta en esas mismas partes.

3.2.4.3.1. TENSIÓN DE ESFUERZO POR CORTE DE DISEÑO

El método más preciso para prever las fallas en materiales dúctiles debido a una tensión constante por esfuerzo de corte era la teoría de la distorsión de energía.

Ecuación 3.18. Tensión de esfuerzo de corte de diseño.

$$\tau_d = \frac{S_y}{N \cdot \sqrt{3}} = \frac{0.577 \cdot S_y}{N}$$

Utilizaremos este valor para tensión por esfuerzo de corte por torsión constante, tensión por esfuerzo de corte vertical o tensión por esfuerzo de corte directo en una flecha o eje.

3.2.4.3.2. TENSIÓN NORMAL DE DISEÑO, CARGA QUE GENERA FATIGA

Para la flexión inversa sucesiva en un eje provocada por cargas transversales que se aplican a un eje que gira, la tensión de diseño se relaciona con la resistencia por durabilidad del material que se fabrica en el eje. Las condiciones reales bajo las cuales se fabrica y opera el eje deberán tomarse en cuenta cuando se especifique la tensión de diseño.

1. Se calcula la resistencia máxima a la tracción del material, S_u a partir de los resultados de pruebas que se realizan, de las especificaciones del fabricante o de información publicada.
2. Se calcula la resistencia estimada del material por durabilidad, S_{ue} del material, con base en el Figura A5.3. En esta figura se considera la manera en que se fabrica el eje objeto del estudio, además de la relación entre la resistencia por durabilidad básica y la resistencia máxima.
3. Se aplica el factor de tamaño C_s para considerar el gradiente de tensión dentro del material y la probabilidad de que una sección particular presente una oclusión específica que puede ser el lugar en que se inicie una fractura por fatiga. La Figura A5.4 muestra los valores adecuados para C_s .
4. Se aplica un factor de confiabilidad C_R .

Tabla 3.1. Factor de confiabilidad.

Confiabilidad que se desea	Factor de confiabilidad, C_R
0.50	1.00
0.90	0.90
0.99	0.81
0.999	0.75

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

5. Se calcula:

$$S_n = S_u \cdot C_s \cdot C_R$$

6. Para piezas del eje o flecha que solo se ven sujetas a flexión inversa, la tensión de diseño es igual a:

$$\sigma_d = \frac{S_n}{N}$$

3.3. DISEÑO DEL EJE DE TRANSMISIÓN

El eje de transmisión es el elemento donde vamos a transmitir la fuerza impulsada por el motor y que se ha transmitido por las poleas acanaladas, para luego esta fuerza ser enviada hacia el husillo.

Torque en la polea acanalada

- P Potencia de entrada
- N Numero de revoluciones del eje

$$T_A = \frac{63000 \cdot P}{N} = \frac{(63000) \cdot (20)}{(366.66)} = 3436.4 \text{ lb tn}$$

$$F_A = \frac{T_A}{\frac{D_A}{2}} = \frac{3436.4}{\frac{18}{2}} = 381.822 \text{ lb}$$

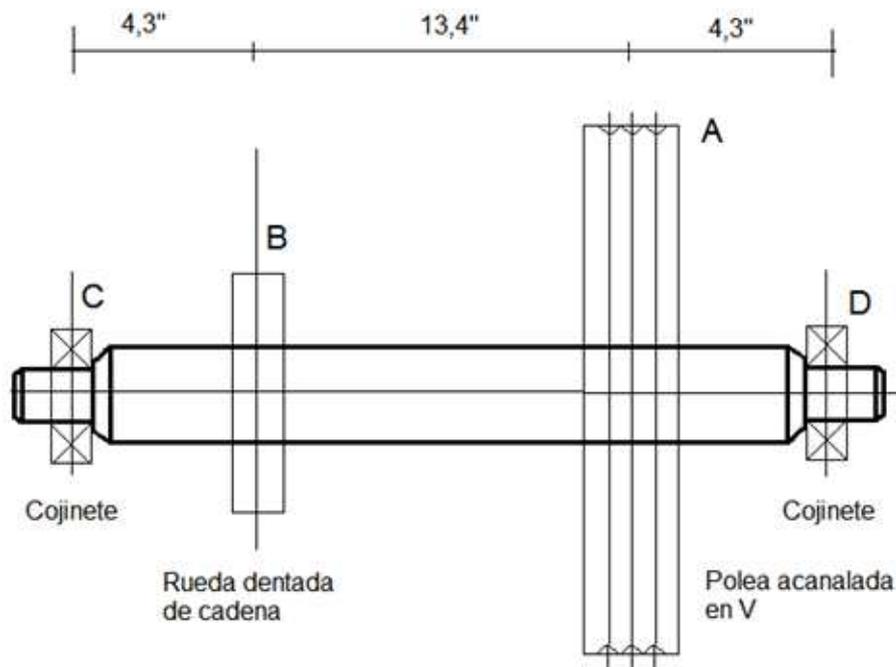


Figura 3.5. Eje de transmisión (Banda-Cadena)

Fuente: Autor.

Ahora al ver que los ejes de las dos poleas acanaladas se encuentran a 80 grados la una a la otra podemos descomponer la fuerza en sus componentes rectangulares.

- $F_{Ax} = F_A \cos 80^\circ = 66.30 \text{ lb}$ (Hacia la derecha)
- $F_{Ay} = F_A \sin 80^\circ = 376.021 \text{ lb}$ (Hacia abajo)

Fuerza en la rueda dentada pequeña con una potencia de 15/2 la necesaria para el proceso de extrusión que analizaremos más adelante.

$$T_B = \frac{63000 \cdot P}{N} = \frac{(63000) \cdot (15/2)}{(366.66)} = 1288.65 \text{ lb in}$$

$$F_B = \frac{T_B}{\frac{D_B}{2}} = \frac{1288.65}{\frac{3.86}{2}} = 667.69 \text{ lb}$$

Como los ejes de las dos ruedas dentadas se encuentran paralelos y a un ángulo de 90 grados la fuerza F_B solo tendrá su componente rectangular en y.

$$F_{By} = F_B \cdot \sin 90^\circ = 667.69 \text{ lb}$$

Ahora llevando estas fuerzas al eje podemos calcular las reacciones para los dos cojinetes. Primero vamos a utilizar los componentes rectangulares a lo largo de un plano x que será transversal al eje, y donde se va a desarrollar el cálculo de reacciones primero en x-y y luego en x-z.

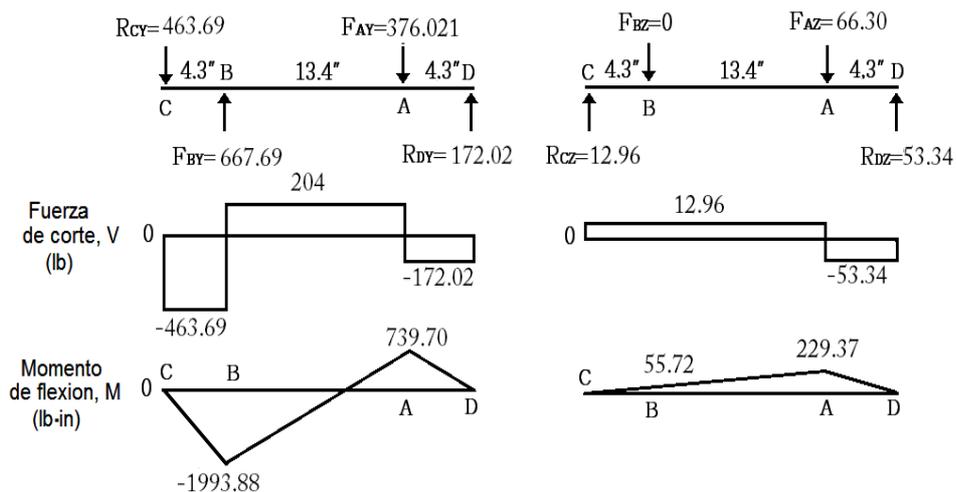


Figura 3.6. Fuerzas en el eje de transmisión.

Fuente: Autor.

Módulo de los momentos:

$$M_B = \sqrt{M_{B_y}^2 + M_{B_z}^2} = 1994.65 \text{ lb in}$$

$$M_A = 774.44 \text{ lb in}$$

Módulo de las reacciones:

$$R_C = 463.87 \text{ lb} = 2.0633 \text{ KN}$$

$$R_D = 180.10 \text{ lb} = 0.8011 \text{ KN}$$

El acero al carbón a utilizar para el eje de transmisión es el 1050 extruido en frío de acuerdo a la numeración AISI, donde tiene las siguientes características:

- $S_U = 100 \text{ Ksi}$ Resistencia a la tracción.
- $S_y = 84 \text{ Ksi}$ Resistencia al punto cedente.

Para el cálculo de S'_n debemos conocer:

- $S_n = 38 \text{ Ksi}$ Resistencia por durabilidad sacada de la figura A5.3.
- $C_s = 0.81$ Factor de tamaño con un diámetro aproximado figura A5.4
- $C_R = 0.75$ Factor de confiabilidad que se desea.

Entonces:

$$S'_n = S_n \cdot C_s \cdot C_R = (38000)(0.81)(0.75) = 23085 \text{ psi}$$

Un factor de diseño $N=3$ debe resultar satisfactorio para condiciones industriales típicas. A continuación calcularemos los diámetros mínimos aceptables, utilizaremos la ecuación 3.16.

A la derecha del Punto A. Diámetro de alivio donde asienta el cojinete. El torque es igual 3436.4 lb in ; Momento es igual a 0 lb in .

Con un $K_t = 1.5$ Chaflán con bordes bien redondeados.

$$D_4 = 1.02 \text{ in}$$

A la izquierda del Punto A. Diámetro donde asienta a polea acanalada.

El torque es igual **3436.4 lb tn**; el momento es **774.44 lb tn**.

Con un $K_t = 2.5$ Chablán con bordes cortantes.

$$D_3 = 1.4 \text{ in}$$

A la derecha del Punto B. Diámetro donde asienta a rueda dentada.

El torque es igual **1288.65 lb tn**; el momento es **1994.65 lb tn**.

Con un $K_t = 2.5$ Chablán con bordes cortantes.

$$D_2 = 1.877 \text{ in}$$

A la izquierda Punto B. Este es el diámetro de alivio donde asienta el cojinete. El torque es igual **1288.65 lb tn**; el momento es **0 lb tn**.

Con un $K_t = 1.5$ Chablán con bordes bien redondeados.

$$D_1 = 0.74 \text{ in}$$

Se igualo los diámetros D_1 y D_4 para así poder comprar cojinetes de la misma numeración y poner en las chumaceras, también se igualo D_2 y D_3 , el diámetro se aumentó para reducir trabajo en el torno y aumentar la seguridad.

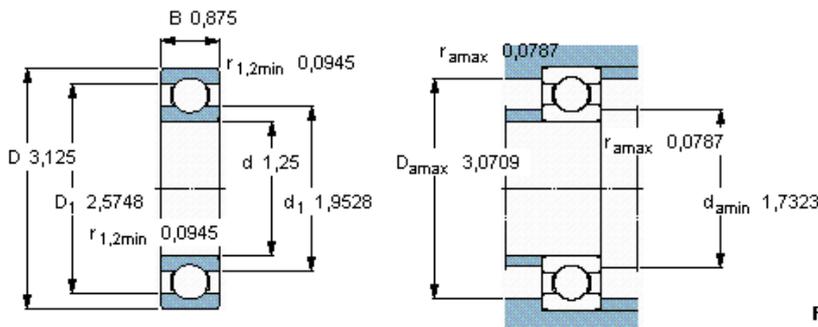
Tabla 3.2. Valores de diámetros convenientes para el eje de transmisión.

Parte que embona	Numero de diámetro	Diámetro mínimo (in)	Diámetro especificado	
			Fracción	Decimal
Polea acanalada	D3	1.4	2	2,00
Rueda dentada	D2	1.877	2	2,00
Cojinete	D1	0.74	1 1/4	1.25
Cojinete	D4	1.02	1 1/4	1.25

Fuente: Autor.

Los dos Rodamientos a utilizar son RMS 10 con fuerzas radiales tenemos una vida útil de primer rodamiento de **71200** millones de revoluciones lo que nos da un total de **194185348.82** revoluciones en un minuto, trabajando a 366.66 rpm y al convertirlo en años, considerando que la máquina extrusora trabaje 8 horas al día durante 30 días al mes, otorga un resultado de vida de 1123.75 años y para el segundo rodamiento tenemos una vida útil de 4170 millones de revoluciones lo que nos da un total de **11372934.05** revoluciones en un minuto y que otorga un resultado de vida de 65.81 años.

Dimensiones principales			Capacidades de carga		Carga límite de fatiga P_u lbf	Velocidades		Masa lb	Designación
d	D	B	C	C_0		Velocidad	Velocidad de referencialímite		
in			lbf		lbf	rpm			-
1,25	3,125	0,875	7460	4270	183	17000	12000	1,1	RMS 10



Factores de cálculo

k_r 0,03
 f_0 13

Rodamiento	RMS 10	Rodamiento	RMS 10
C [kN]	33.2	C [kN]	33.2
C_0 [kN]	19	C_0 [kN]	19
f_0	13	f_0	13
F_r [kN]	0.8011	F_r [kN]	2.06339
P [kN]	0.801	P [kN]	2.06
L_{10} [Mrev]	71200	L_{10} [Mrev]	4170
P_0 [kN]	0.801	P_0 [kN]	2.06

Figura 3.7. Descripción del Rodamiento RMS 10.

Fuente: SKF.

Cuña rueda polea grande

El eje tiene un torque de 3436.4 lb tn en la sección de la polea con un diámetro de 2 in con un acero AISI 1020 CD con $S_y = 51000 \text{ psi}$. Encontraremos la longitud mínima de la cuña con la ecuación 2.46 y de la tabla A5.2 encontraremos $W=0.625 \text{ in}$.

$$L = \frac{4 \cdot (3436.4) \cdot (3)}{(2) \cdot (0.625) \cdot (51000)} = 0.64685 \text{ in}$$

Utilizaremos una cuña de perfil con una longitud de 2.5 in con un ancho de 0.5 in y una altura de 0.5 in para una cuña cuadrada con chaflán obtenido de la tabla A5.3 de radio de 0.0625 in y con tornillo de sujeción.

Cuña rueda dentada pequeña

El eje tiene un torque de 1288.65 lb tn en la sección de la rueda dentada con un diámetro de 2 in con un acero AISI 1040 CD con $S_y = 71000 \text{ psi}$, $W=0.625 \text{ in}$.

$$L = \frac{4 \cdot (1288.65) \cdot (3)}{(2) \cdot (0.625) \cdot (71000)} = 0.1742 \text{ tn}$$

Utilizaremos una cuña de perfil con una longitud de 2 in con un ancho de 0.4 in y una altura de 0.4 in para una cuña cuadrada con chaflán de radio de 0.1875 in y con tornillo de sujeción.

3.4. DISEÑO DEL EJE DEL HUSILLO

$$W = m \cdot g \text{ Peso}$$

Donde:

- $m = 26.17 \text{ kg}$ masa del husillo
- $g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ gravedad

$$W = 256.63 \text{ N}$$

$$T_E = \frac{63000 \cdot P}{N} = \frac{(63000) \cdot \left(\frac{15}{2}\right)}{(99)} = 4772.72 \text{ lb in}$$

$$F_E = \frac{T_E}{D_E} = \frac{4772.72}{\frac{14}{2}} = 681.81 \text{ lb}$$

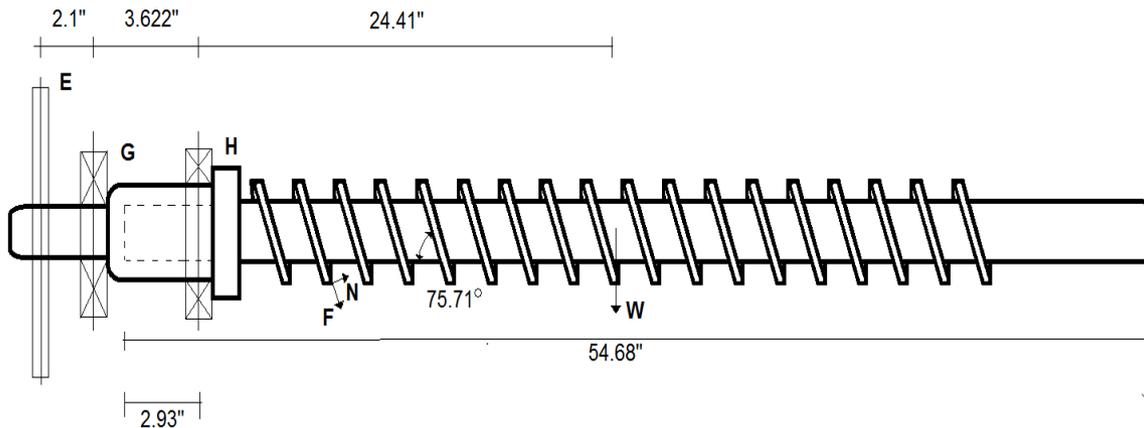


Figura 3.8. Eje rodamientos, rueda dentada y husillo.

Fuente: Autor.

Para sacar la fuerza axial que va a soportar el rodamiento de rodillos cónico analizaremos las fuerzas en el eje x.

$$T_{\text{tornillo}} = \frac{63000 \cdot P}{N} = \frac{(63000) \cdot (15/2)}{(99)} = 4772.72 \text{ lb in}$$

- $\eta = 0.25$ Coeficiente de fricción entre el polietileno y el metal.

$$F = \frac{T}{D} = \frac{4772.72}{\frac{59.7}{2}} = 159.89 \text{ lb}$$

$$N = \frac{F}{\eta} = \frac{159.890}{0.25} = 639.56 \text{ lb}$$

Aplicando sumatoria de fuerzas en el eje x tenemos:

$$\sum F_x = 0$$

$$R_x - N \cdot \cos\theta - F \cdot \sin\theta = 0$$

$$R_x = 639.56 \cdot \cos(14.29) + 159.89 \cdot \sin(14.29) = 659.236 \text{ lb} = 2.93 \text{ KN}$$

Debido a que todas las fuerzas analizadas solo se desarrollaron en el eje y solo analizaremos el diagrama de corte y de momentos en los ejes x-y.

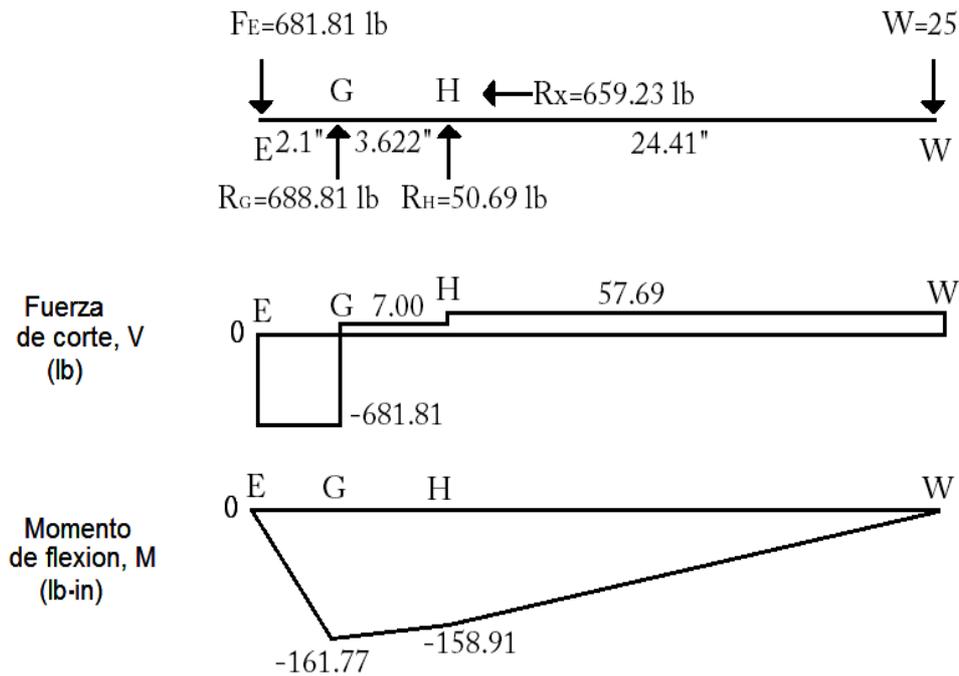


Figura 3.9. Fuerzas en el eje del husillo.

Fuente: Autor.

Módulo de los momentos:

- $M_G = 161.77 \text{ lb} \cdot \text{in}$
- $M_H = 158.91 \text{ lb} \cdot \text{in}$

Módulo de las reacciones:

- $R_G = 688.81 \text{ lb} = 3.0639 \text{ KN}$
- $R_H = 50.69 \text{ lb} = 0.225 \text{ KN}$

El acero al carbón a utilizar para el eje del tornillo es el 1040 extruido en frío de acuerdo a la numeración AISI, donde tiene las siguientes características:

- $S_U = 80 \text{ Ksi}$
- $S_y = 71 \text{ Ksi}$

Para el cálculo de S'_n debemos conocer:

- $S_n = 30 \text{ Ksi}$
- $C_s = 0.85$
- $C_R = 0.75$

Entonces:

$$S'_n = S_n \cdot C_s \cdot C_R = (20000) \cdot (0.85) \cdot (0.75) = 19125 \text{ psi}$$

- $N=3$

A la izquierda del Punto G. Diámetro donde asienta la rueda dentada. El torque es igual 4772.72 lb in ; Momento es igual a 0 lb in .

Con un $K_t = 1.5$ Chablán con bordes bien redondeados.

$$D_5 = 1.21 \text{ in}$$

A la derecha del Punto G. Diámetro donde asienta el rodamiento de bolas.

El torque es igual 4772.72 lb in ; el momento es 161.77 lb in .

Con un $K_t = 2.5$ Chablán con bordes cortantes.

$$D_6 = 1.236 \text{ in}$$

A la izquierda del Punto B. Diámetro donde asienta el rodamiento de rodillos cónicos. El torque es igual 4772.72 lb in ; el momento es 158.91 lb in .

Con un $K_t = 2.5$ Chablán con bordes cortantes.

$$D_7 = 1.236 \text{ in}$$

A la derecha del Punto B. Este es el diámetro del husillo. El torque es igual 4772.72 lb in ; el momento es 0 lb in .

Con un $K_t = 1.5$ Chaflán con bordes bien redondeados.

$$D_8 = 1.21 \text{ in}$$

Tabla 3.3. Valores de diámetros convenientes para el eje del husillo.

**Diámetro
especificado**

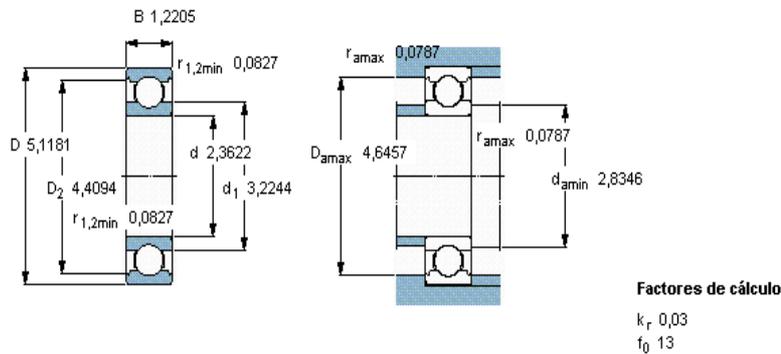
Parte que embona	Numero de diámetro	Diámetro mínimo (in)	Diámetro especificado	
			Fracción	Decimal
Rueda dentada	D5	1.21	$2 \frac{9}{25}$	2,28
Husillo	D8	1.21	$2 \frac{9}{25}$	2,36
Cojinete Bolas	D6	1.23	$2 \frac{9}{25}$	2.36
Cojinete Rodillos	D7	1.236	$1 \frac{3}{8}$	1.375

Fuente: Autor.

Con la fuerza radial que se aplica al rodamiento de bolas 6312 tenemos una vida útil del rodamiento de 21500 millones de revoluciones lo que nos da un total de 217171717.172 revoluciones en un minuto, trabajando a 99 rpm y al convertirlo en años, considerando que la máquina extrusora trabaje 8 horas al día durante 30 días al mes, entonces tiene un resultado de vida de 1256.78 años

Con la fuerza axial y radial que se aplica al rodamiento de rodillos cónico 32314 BJ2 tenemos una vida útil del rodamiento de 2680000 millones de revoluciones lo que nos da un total de 270707070.7 lo que da un resultado de vida de 156659.18 años

Dimensiones principales			Capacidades de carga	Carga límite de fatiga	Velocidades		Masa	Designación
d	D	B	dinámica	estática	Velocidad	Velocidad de referencialímite		
in			lbf	C ₀	P _u	rpm	lb	* - Rodamiento SKF Explorer
2,3622	5,1181	1,2205	19200	11700	495	11000	3,75	6312 *



Rodamiento **6312**

C [kN]

C₀ [kN]

f₀

F_r [kN]

P [kN]

L₁₀ [Mrev]

P₀ [kN]

Figura 3.10. Descripción del rodamiento 6312.

Fuente: SKF.

Cuña rueda dentada grande

El eje tiene un torque de **4772.72 lb in** en la sección de la rueda dentada con un diámetro de 2.36 in con un acero AISI 1040 CD con $S_y = 71000 \text{ psi}$, $W=0.625$.

$$L = \frac{4 \cdot (4772.72) \cdot (3)}{(2.36) \cdot (0.625) \cdot (71000)} = 0.54688 \text{ in}$$

Utilizaremos una cuña de perfil con una longitud de 2.36 in con un ancho de 0.511 in y una altura de 0.511 in para una cuña cuadrada con chaflán de radio de 0.0625 in y con tornillo de sujeción.

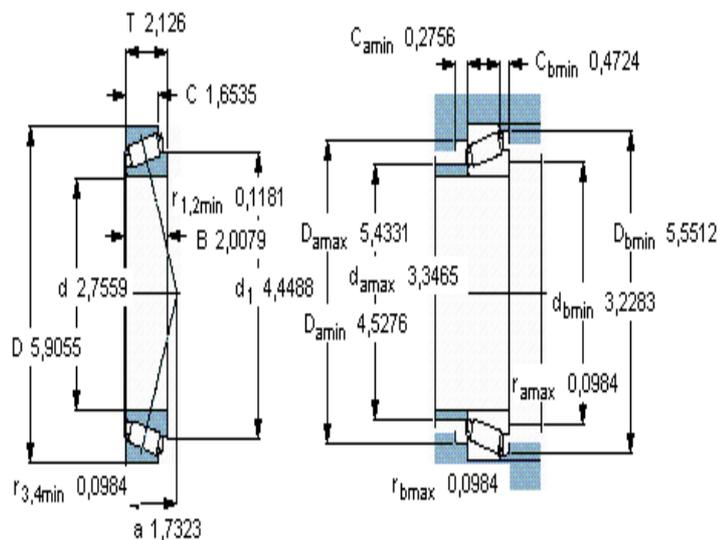
Cuña del tornillo

El tornillo tiene un torque de **4772.72 lb in** con un diámetro de 2.36 in con un acero AISI 1020 CD con $S_y = 51000 \text{ psi}$, $W=0.625$.

$$L = \frac{4 \cdot (4772.72) \cdot (3)}{(2.36) \cdot (0.625) \cdot (51000)} = 0.761351 \text{ in}$$

Utilizaremos dos cuñas para cuñero de perfil de longitud de 3.5 in con un ancho de 0.3937 in y una altura para cuña cuadrada de 0.3937 in con un radio de chaflán de 0.0625 in.

Dimensiones principales			Capacidades de carga		Carga límite de fatiga	Velocidades		Masa	Designación
d	D	T	C	C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite	lb	-
in			lbf		lbf	rpm			
2,7559	5,9055	2,126	63200	89900	10500	3000	4300	9,37	32314 BJ2/QCL7C



Factores de cálculo

e 0,54

Y 1,1

Y₀ 0,6

Rodamiento	32314 BJ2/QCL7C		
C [kN]	281		
C ₀ [kN]	400		
F _r [kN]	0.22548		
F _a [kN]	2.93		
e	0.54		
X	0.4	X ₀	0.5
Y	1.1	Y ₀	0.6
P [kN]	3.31	P ₀ [kN]	1.87
L ₁₀ [Mrev]	2.68E6		

Figura 3.11. Descripción del rodamiento 32314 BJ2.

Fuente: SKF.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DEL FLUIDO

4.1. TIPOS DE FLUIDOS⁷

Un fluido newtoniano cumple con la ley de rozamiento de Newton, que afirma que un fluido sometido a un esfuerzo cortante se deforma de manera proporcional a dicho proceso.

Ecuación 4.1. Fluido Newtoniano.

$$T = \mu \cdot \gamma$$

Donde:

- T : Esfuerzo cortante (Kgf/cm²)
- μ : Viscosidad (Kgf.sg/cm²)
- γ : Velocidad de cizalla (1/sg)

Los fluidos no newtonianos no siguen la relación del esfuerzo cortante. El comportamiento de este tipo de fluidos es descrito mediante el uso de diferentes relaciones empíricas. Los termoplásticos, son fluidos no newtonianos que cumplen la ley de "Ostwald", la cual puede describirse como:

Ecuación 4.2. Fluido no Newtoniano.

$$T = C \cdot \gamma^n \text{ En donde } n < 1$$

Donde C y n son constantes que dependen del polímero y de las unidades en que se expresan los valores para T y para γ . La consistencia del material lo caracteriza C y el exponente n , es una medida de la vibración de los fluidos newtonianos.

A los materiales que cumplen con la ley de Ostwald se los conoce como pseudoplásticos.

El valor de n en el caso de termoplásticos fundidos que fluyen a través de una boquilla de extrusión suele estar entre 0.25 y 1.

⁷ Palacios, O. y Ramírez, J. (1992): Diseño y construcción de una máquina extrusora por tornillo para material plástico.

Ecuación 4.3. Viscosidad Aparente.

$$\mu_a = \frac{T}{\dot{\gamma}}$$

Ecuación 4.4. Reemplazando T de (4.2) en (4.3).

$$\mu_a = C \cdot \dot{\gamma}^{(n-1)}$$

4.2. CARACTERÍSTICAS DEL HUSILLO

A nuestro tornillo lo podemos identificar en la figura (3.1) en donde indica que es un **tornillo tipo estireno con cabeza plastificadora muleteada** con una fabricación con acero 1050 rolado en caliente.



Figura 4.1 Tornillo de la extrusora.

Fuente: Autor.

La cual debemos tomar como referencia el paso constante debido a que este es el que genera el empuje del polietileno a la boquilla, el paso variable nos ayuda a comprimir el plástico permitiendo una mejor plastificación.

Donde:

- $L = 845 \text{ mm}$ Longitud paso contante
- $L_M = 330 \text{ mm}$ Longitud zona de dosificación
- $L_C = 300 \text{ mm}$ Longitud zona de transición
- $L_F = 215 \text{ mm}$ Longitud zona de alimentación
- $D = 59.7 \text{ mm}$ Diámetro del husillo
- $t = 47.8 \text{ mm}$ Paso de hélice
- $e = 7.8 \text{ mm}$ espesor del filete (sentido longitudinal)
- $\delta = 0.15 \text{ mm}$ holgura radial
- $L_{\text{paso variable}} = 405 \text{ mm}$

- $L_{total} = 1400 \text{ mm}$

4.2.1. RELACIÓN LONGITUD-DIÁMETRO

La relación L/D es:

$$RLD = \frac{L}{D} = \frac{845}{59.7} = 14.154$$

4.3. HINCHAMIENTO DEL FUNDIDO A LA SALIDA DE LA BOQUILLA

En el interior de la boquilla el polímero fundido está sometido a esfuerzos y presión, por lo cual sufre cierta deformación. El hinchado de fabricación ocurre bajo la acción de las tensiones normales, perpendiculares al curso del flujo. Estas tensiones se originan a consecuencia de la intención de las moléculas orientadas de pasar al estado sin tensión.

Los defectos y la desfiguración de la forma del extruido son debido al relajamiento de las tensiones de su componente elástica.

Se puede definir una “relación de hinchamiento” como la relación entre una dimensión transversal del extrudido y la análoga dimensión en el plano de salida de la boquilla.

La capacidad de extrusión Q que fluye a través de una boquilla perfiladora en la que se produce una caída de presión ΔP , se evalúa de modo sencillo, empleando una ecuación análoga a la del flujo newtoniano, en condiciones isothermas, que puede escribirse así:

Ecuación 4.5. Capacidad de Extrusión.

$$Q = K \cdot \left(\frac{\Delta P}{\mu \alpha} \right)$$

Donde K, es la constante total de la boquilla, que depende de la configuración y dimensiones de sus diferentes elementos. Para determinar la caída de presión en el cabezal, este se divide convencionalmente en sucesivas zonas de diferente configuración, estableciendo para cada una de éstas zonas el gradiente de presión.

4.4. TEORÍA MATEMÁTICA DEL FLUJO

Al aplicar conjuntamente las ecuaciones correspondientes a las leyes de la conservación de la masa y la energía, con las que se describe el estado físico de un líquido a presión, se puede determinar el trabajo de una extrusora.

Podemos considerar que en el extrusor mantenemos fijo el cilindro y el tornillo girando, o viceversa. El movimiento relativo es idéntico en ambos casos.

Resulta más fácil construir la primera opción, pero para obtener ecuaciones que describan matemáticamente el flujo del polímero, y evitar el movimiento del sistema de coordenadas, suponemos que lo que se mueve es el cilindro y las relaciones que así se obtienen, son válidas.

Para hacer el estudio del movimiento de material en el canal del tornillo se considera el movimiento de una superficie plana que se desliza sobre el material en cuestión; el movimiento relativo de la superficie respecto al canal, da lugar al arrastre del fluido; se considera el canal del tornillo de sección rectangular y moviéndose con relación a un plano que cubre su lado abierto, es decir el fondo del canal y el cilindro son dos planos paralelos.

Las direcciones positivas de los ejes x , y , z del sistema de coordenadas fijo, y eje auxiliar " l " vienen indicadas con flechas (figura 2.17). El eje y es perpendicular al plano seccionado, " z ", va dirigido en sentido longitudinal, y " x " es transversal al canal helicoidal; " l " va dirigido longitudinalmente al husillo.

Ecuación 4.6. El ángulo de hélice θ del canal helicoidal.

$$\theta = \text{ctg} \left(\frac{t}{\pi \cdot D} \right)$$

$$\theta = \text{ctg} \left(\frac{47.8}{59.7} \right) = 14.29^\circ$$

$$s = e \cdot \text{Cos}(\theta) = 7.8 \cdot \text{Cos}(14.29^\circ)$$

$$s = 7.55 \text{ mm}$$

Donde:

- D : diámetro exterior
- t : paso del husillo

La velocidad circunferencial del cilindro V_c , se puede descomponer en dos componentes perpendiculares entre sí, V_z y V_x dirigidos longitudinal y transversalmente respecto al canal del husillo. La velocidad de la masa fundida en cualquier punto del canal se caracteriza por las componentes análogas V_z y V_x Figura 4.2.

A continuación se realiza el análisis del flujo de fluido a través de la zona de bombeo; éste análisis, considera el flujo Newtoniano isotérmico para una corriente laminar estacionaria de un líquido isotrópico incompresible en un canal rectangular de ancho w y de altura h .

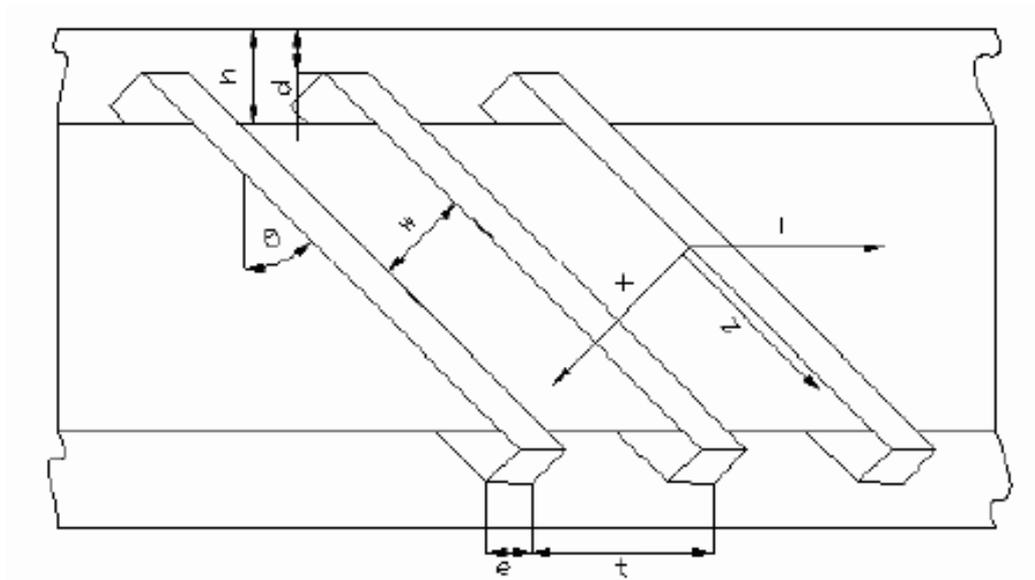


Figura 4.2. Sección de un cilindro con husillo de un canal, vista general.

Fuente: Palacios, O. y Ramírez, J. (1992).

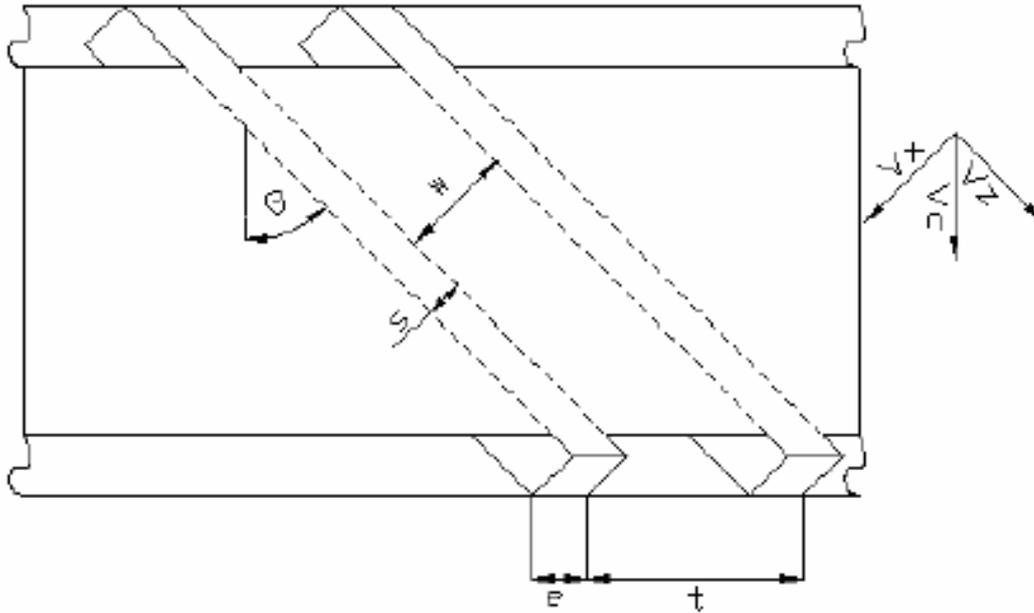


Figura 4.3. Esquema del desarrollo.

Fuente: Palacios, O. y Ramírez, J. (1992).

Si suponemos que el flujo es uniforme y puede despreciarse la aceleración, entonces:

Ecuación 4.7. Movimiento de un fluido a lo largo del eje.

$$\frac{dp}{dz} = \mu \cdot \left(\frac{d^2V_z}{dx^2} + \frac{d^2V_z}{dy^2} \right) + \frac{dV_z}{dx} \cdot \frac{d\mu}{dx} + \frac{dV_z}{dy} \cdot \frac{d\mu}{dy}$$

Donde:

- $\frac{dp}{dz}$: es el gradiente de presión a lo largo del canal (kgf/cm^2)
- V_z : es la velocidad del fluido en el canal (cm/seg)

La viscosidad de la masa fundida varía muy poco a lo largo del eje en la sección transversal del canal, por considerar flujo isotérmico; con éste antecedente, la derivada parcial $\frac{d\mu}{dx} = 0$, con respecto a la profundidad del canal también varía muy poco y se puede admitir también que $\frac{d\mu}{dy} = 0$.

El efecto que pueden tener las paredes del canal helicoidal sobre la distribución de la velocidad es prácticamente nula, admitiendo así que $\frac{dV_z}{dx} = 0$. Con ésta serie de simplificaciones la ecuación (4.7) se la puede escribir así:

$$\frac{d^2V_z}{dy^2} = \left(\frac{1}{\mu}\right) \cdot \frac{dp}{dz}$$

Tomando en cuenta las siguientes condiciones de borde: si $y = 0$ (junto a la pared interna del cilindro), $V_z = 0$; y, cuando, $y = h$ (fondo del canal); $V_z = V_z$ y luego de una doble integración, entonces:

Ecuación 4.8. Distribución de velocidades en cualquier punto del canal del husillo.

$$V = \frac{V_{zy}}{h} + \frac{y^2 - hy}{2\mu} \cdot \left(\frac{dp}{dz}\right)$$

El primer término del segundo miembro de (4.8) varía linealmente con la profundidad del canal, que corresponde a la velocidad de flujo directo. El segundo término de éste miembro varía según una ley parabólica que representa la velocidad de flujo inverso.

4.4.1. CAUDAL VOLUMÉTRICO

La expresión para calcular el caudal volumétrico de la extrusora se puede obtener partiendo de la ecuación (4.8):

Ecuación 4.9. Integración del producto de la velocidad obtenida en un área elemental de superficie, dentro de los límites de toda la sección del canal.

$$Q = \int_0^h v \cdot w \cdot dy$$

Donde Q es el caudal volumétrico, expresado en cm^3/seg .

$$Q = v_z \cdot w \cdot \frac{h}{2} - w \cdot \frac{h^3}{12\mu} \cdot \left(\frac{dp}{dz}\right)$$

De la ecuación se deduce que el flujo de retroceso se opone al flujo de fricción; al mismo tiempo que nos da el flujo del material a través de una boquilla en función de las

dimensiones del tornillo. Prescindiendo de la curvatura del canal, este puede ser desarrollado en un plano:

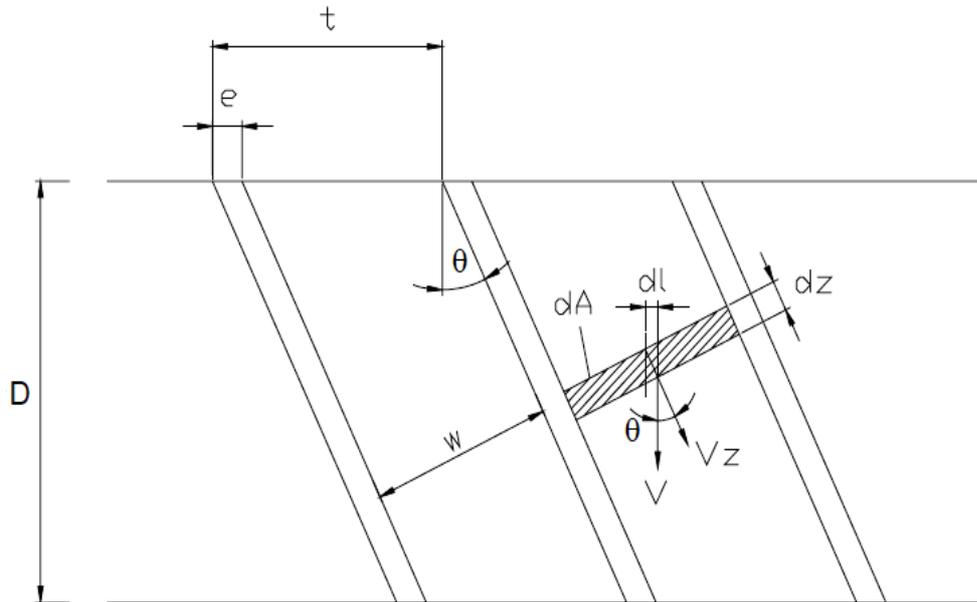


Figura 4.4. Desarrollo del husillo.

Fuente: Palacios, O. y Ramírez, J. (1992).

De la geometría del husillo podemos obtener las siguientes expresiones:

Ecuación 4.10. Paso de hélice (mm).

$$t = \pi \cdot D \cdot \tan(\theta)$$

Ecuación 4.11. Ancho del canal (mm).

$$w = \pi \cdot D \cdot \text{Sen}(\theta) - s$$

$$w = \pi \cdot 59.7 \cdot \text{Sen}(14.29^\circ) - 7.55$$

$$w = 38.74 \text{ mm}$$

Ecuación 4.12. Componente de la velocidad Tangencial a lo largo del canal (mm/seg).

$$V_z = \pi \cdot D \cdot N \cdot \text{Cos}(\theta)$$

Ecuación 4.13. Diferencial de longitud del canal del tornillo.

$$dz = \frac{dl}{\text{Sen}(\theta)}$$

Donde N es el número de revoluciones por segundo del tornillo y el producto $\pi \cdot D \cdot N$ es la velocidad relativa de rotación del cilindro respecto al tornillo, dl es un diferencial de distancia en dirección del eje del tornillo.

Sustituyendo (4.11), (4.12) y (4.13) en el caudal volumétrico.

$$Q = \frac{1}{2} \cdot \pi^2 \cdot D^2 \cdot N \cdot h \cdot \text{Sen}\theta \cdot \text{Cos}\theta - \left(\pi \cdot D \cdot h^3 \cdot \frac{\text{sen}^2\theta}{12} \cdot \mu \right) \cdot \left(\frac{dp}{dl} \right)$$

Donde el primer término corresponde al flujo de fricción (Q_f) y el segundo término corresponde al flujo de retroceso (Q_r). Cuando las dimensiones del canal son invariables y la viscosidad constante, entonces:

Ecuación 4.14. Gradiente de la presión a lo largo del canal.

$$\frac{dp}{dl} = \frac{\Delta p}{\Delta l} = \frac{\Delta P}{L}$$

Donde L es la longitud de la rosca del tornillo en la zona dosificadora.

Otra forma de expresar la ecuación (4.13).

$$Q = A \cdot N - B \cdot \left(\frac{\Delta p}{\mu} \right)$$

Dónde:

- $A = \frac{1}{2} \cdot \pi^2 \cdot D^2 \cdot h \cdot \text{Sen}\theta \cdot \text{Cos}\theta$
- $B = \pi \cdot D^2 \cdot h^3 \cdot \frac{\text{Sen}^2\theta}{12L}$

El flujo de pérdidas, se origina por el flujo de polímero fundido a través del huelgo radial (δ), existente entre el vértice del filete del husillo y la superficie interna del cilindro. Estas fugas pueden ser estimadas como un flujo a presión que pasa a través de una rendija larga y estrecha dispuesta como se indica en la figura 2.20.

Si suponemos que el flujo es uniforme, entonces:

Ecuación 4.15. Movimiento del polímero a lo largo del eje X.

$$\frac{d^2v}{dy^2} = \left(\frac{1}{\mu}\right) \cdot \left(\frac{dP}{dx}\right)$$

Tomando en cuenta las condiciones extremas del flujo, es decir, la velocidad nula en sentido X tanto en el cilindro como en la parte superior del husillo, esto es: cuando $y = 0$, $v = 0$ y, al ser $y = \delta$ entonces $v = 0$.

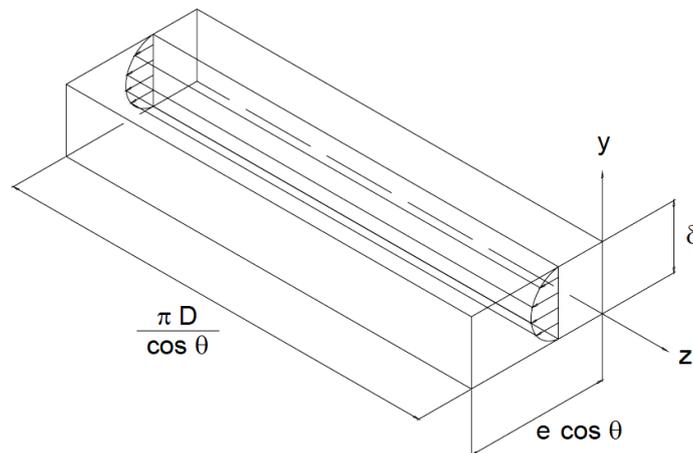


Figura 4.5. Flujo de pérdidas.

Fuente: Palacios, O. y Ramírez, J. (1992).

Realizando una doble integración sobre (2.18), tenemos:

Ecuación 4.16 Distribución de velocidades en la ranura.

$$v = \frac{1}{2 \cdot \mu} \cdot (y^2 - \delta \cdot y) \cdot \left(\frac{dP}{dx}\right)$$

Según la cual la velocidad del flujo de fugas varía según una ley parabólica.

Para calcular el caudal que fluye a través de la holgura, se integra el producto de la velocidad obtenida en un área elemental de superficie, dentro de los límites de toda la sección transversal de la rendija.

$$Q = \int_0^{\delta} v \cdot \pi \cdot \frac{D}{\cos\theta} dy$$

De la cual, se obtiene:

$$Q_p = \left(\frac{\pi \cdot D \cdot \delta^3}{12 \cdot \mu \cdot \cos\theta}\right) \cdot \left(\frac{dP}{dx}\right)$$

Como:

$$\frac{dP}{dx} = \frac{\Delta p}{\Delta x} = \frac{\Delta p}{e \cdot \cos\theta}$$

Donde:

- Δp : diferencia de presión en ambos lados del filete (kgf/cm^2)
- e : ancho de la cresta del filete (cm)

Reemplazando lo anterior se tiene:

$$Q_p = \left(\frac{\pi \cdot D \cdot \delta^3 \cdot \Delta p}{12 \cdot \mu \cdot e \cdot \cos^2\theta}\right)$$

Es conveniente, considerar un coeficiente de excentricidad para el husillo, entonces:

Ecuación 4.17. Flujo real de pérdidas.

$$Q_p = \left(\frac{\pi \cdot D \cdot \delta^3 \cdot E \cdot \Delta p}{12 \cdot \mu \cdot e \cdot \cos^2\theta}\right)$$

El valor de Δp , se puede expresar de mejor manera mediante la diferencia total de presión a lo largo del husillo ΔP , calculando primero la caída de presión Δp_p observada en el área correspondiente a un paso del canal helicoidal.

Ecuación 4.18. Caída de Presión.

$$\Delta p_p = \frac{\Delta P}{m}$$

Donde $m = \frac{L}{e}$, m es el número de espiras. Reemplazando m y (4.10) en (4.18) se obtiene:

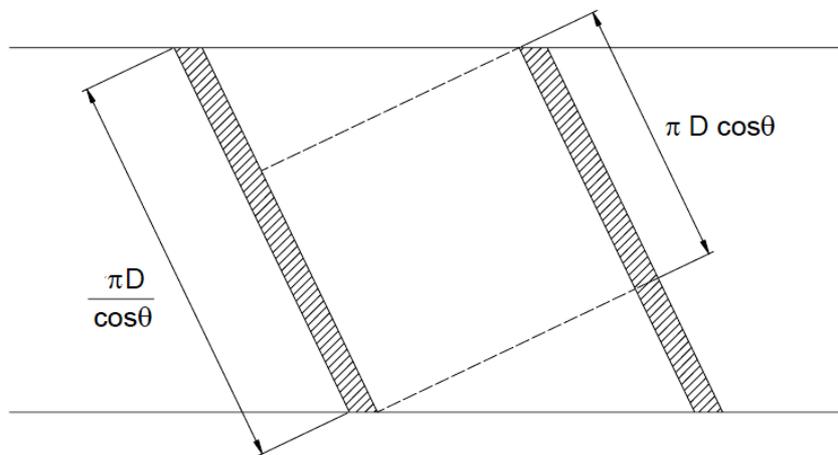


Figura 4.6. Caída de presión en el husillo.

Fuente: Palacios, O. y Ramírez, J. (1992).

La diferencia de presión en ambos lados del filete será una fracción de la caída de presión observada en el área correspondiente a un paso del canal helicoidal. Esta fracción depende de la geometría del tornillo:

$$\Delta p = \Delta p_p \frac{\left[\left(\frac{\pi \cdot D}{\cos \theta} \right) - \pi \cdot D \cdot \cos \theta \right]}{\frac{\pi \cdot D}{\cos \theta}}$$

Como:

$$\Delta p = \Delta p_p \cdot \text{Sen}^2 \theta$$

Sustituyendo se tiene:

$$\Delta p = \pi \cdot D \cdot \text{Tan}\theta \cdot \text{Sen}^2\theta \cdot \frac{\Delta P}{L}$$

Reemplazando lo anterior en (4.17), resulta:

$$Q_p = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot \delta^3 \cdot E \cdot \text{Tan}\theta \cdot \Delta p}{12 \cdot \mu \cdot e \cdot L} = G \cdot \left(\frac{\Delta P}{\mu}\right)$$

Donde G es una constante del flujo de pérdidas.

Añadiendo el flujo de pérdidas a la ecuación del caudal volumétrico, se determina la ecuación del flujo total:

$$Q = A \cdot N - B \cdot \left(\frac{\Delta P}{\mu}\right) - G \cdot \left(\frac{\Delta P}{\mu}\right)$$

Existen husillos para ciertos usos particulares en los cuales, las dimensiones del canal helicoidal varían con la longitud. En estos, el ángulo de hélice y la profundidad del canal deberán expresarse como función de la longitud. Reemplazando θ y h como una función de l , en la ecuación de flujo total se tiene:

Ecuación 4.19. Flujo Total.

$$Q = \partial \cdot h_{(l)} \cdot \text{Sen}\theta \cdot \text{Cos}\theta - \left[\frac{\theta}{\mu \cdot h_{(l)}^3 \cdot \text{Sen}^2\theta} + \frac{\epsilon}{\mu \cdot \text{Tan}^3\theta} \right] \cdot \left(\frac{dP}{dl}\right)$$

Donde:

- $\partial = \frac{1}{2} \cdot \pi^2 \cdot D^2 \cdot N$
- $\theta = \frac{\pi \cdot D}{12}$
- $\epsilon = \frac{\pi^3 \cdot D^3 \cdot \delta^3 \cdot E}{12 \cdot e}$

En diversas aplicaciones se suele emplear husillos con una sola zona de compresión creciente, al comienzo de la cual se efectúa la compresión y al final la extrusión del material plastificado homogéneo.

El tornillo de la figura 4.6 es de una sola etapa, con paso constante y profundidad de canal variable, por lo tanto la función $\theta(l)$ es constante, y la función $h(l)$ debe ser considerada.

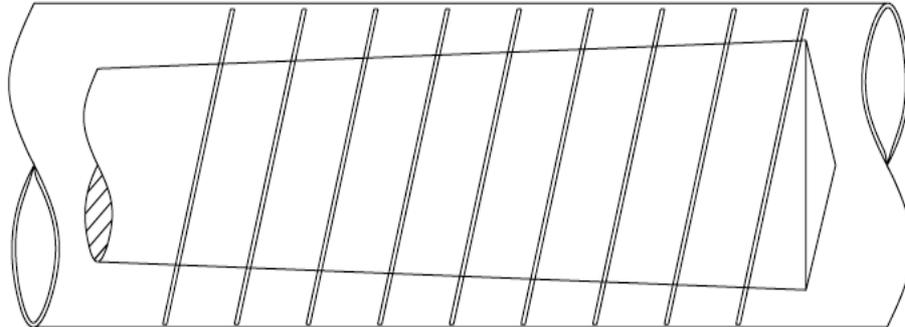


Figura 4.7. Husillo con una zona de compresión creciente.

Fuente: Palacios, O. y Ramírez, J. (1992).

Puesto que el flujo real Q es constante a lo largo del husillo, el incremento de presión en toda la longitud de la zona dosificadora del husillo (L) se obtiene integrando la ecuación (4.19), entonces:

$$\Delta P = \int_0^L dP = \int_0^L \frac{(\delta \cdot h_{(l)} \cdot \text{Sen}\theta \cdot \text{Cos}\theta - Q) \cdot \mu}{\delta \cdot h_{(l)}^3 \cdot \text{Sen}^2\theta + \epsilon \cdot \text{Tan}^3\theta} dl$$

Como la holgura δ está en el orden de las décimas de milímetro, el factor δ hace que el valor de ϵ sea despreciable frente al resto de valores. De esta manera la ecuación anterior puede escribirse como:

$$\Delta P = \int_0^L dP = \int_0^L \frac{(\delta \cdot h_{(l)} \cdot \text{Sen}\theta \cdot \text{Cos}\theta - Q) \cdot \mu}{\delta \cdot h_{(l)}^3 \cdot \text{Sen}^2\theta} dl$$

Despejando ΔP de (4.5) y reemplazando en la anterior resulta:

$$\frac{Q \cdot \mu}{K} = \int_0^L \frac{(\delta \cdot h_{(l)} \cdot \text{Sen}\theta \cdot \text{Cos}\theta - Q) \cdot \mu}{\delta \cdot h_{(l)}^3 \cdot \text{Sen}^2\theta} dl$$

Despejando Q de la última ecuación se tiene:

Ecuación 4.20. Caudal Total.

$$Q = \frac{\vartheta \cdot \int_0^L \frac{C \operatorname{tg} \theta}{h^2(l)} dl}{\frac{\vartheta}{K} + \int_0^L \frac{C \operatorname{csc}^2 \theta}{h^3(l)} dl}$$

Donde:

- $\vartheta = \frac{1}{2} \cdot \pi^2 \cdot D^2 \cdot N$
- $\vartheta = \frac{\pi \cdot D}{12}$

Reemplazando:

$$Q = \frac{29020.33 \cdot \int_{515}^{845} \frac{C \operatorname{tg}(14.29)}{(2.03)^2} dl}{\frac{15.62}{-96.249} + \int_{515}^{845} \frac{C \operatorname{csc}^2(14.29)}{(2.03)^3} dl}$$

$$Q = 14103.6 \frac{mm^3}{s}$$

$$Q = 14.1036 \frac{cm^3}{s}$$

$$Q_{total} = Q \cdot d$$

$$Q_{total} = 12.69 \frac{g}{s}$$

$$Q_{total} = 45.69 \frac{Kg}{h}$$

Entonces la capacidad total de la máquina es de $45 \frac{Kg}{h}$ aproximadamente.

4.4.2. TIEMPO DE RESIDENCIA APROXIMADO DEL MATERIAL (T_r).

Donde:

$$R = \frac{L + L_{\text{paso variable}}}{t}$$

Revoluciones necesarias para llevar el material a la zona de bombeo.

Entonces:

$$R = \frac{1250}{47.8}$$

$$R = 26.150 \text{ Revoluciones.}$$

$$T_r = \frac{R}{60 \cdot N}$$

$$T_r = \frac{26.150}{60 \cdot (1.65)}$$

$$T_r = 0.2641 \text{ minutos}$$

$$T_r = 15.846 \text{ segundos .}$$

4.4.3. CONSTANTE TOTAL DE LA BOQUILLA (K)⁸

El comportamiento global de la extrusora está determinado por la interacción entre el comportamiento de la boquilla y el del tornillo. La forma de la boquilla no puede ser cualquiera, pues lógicamente depende de las dimensiones del perfil que se desea obtener.

El flujo del material en la boquilla es debido exclusivamente a la diferencia de presión que se genera entre el punto por donde el material entra a la boquilla y la salida, donde la presión es la atmosférica. En la boquilla existe sólo flujo de presión en la dirección de salida del material, con un perfil de velocidades parabólico. Si la diferencia de presión entre los extremos de la boquilla fuese nula, no habría caudal de extrusión.

⁸ Beltrán, Isabel (2001): Tecnología de polímeros.

Ecuación 4.21. Cantidad de material que fluye a través de una boquilla en la que hay una diferencia de presión ΔP .

$$Q = K \cdot \left(\frac{\Delta P}{n}\right)$$

Donde:

- n : Tipo de polímero.
- K : Constante que depende del orificio de salida de la boquilla.

Cuanto mayor sea el orificio de salida de la boquilla, mayor será el caudal extruído para una ΔP dada. A continuación se listan algunos valores de k para determinadas geometrías del orificio:

Ecuación 4.22. Boquilla circular sencilla, de radio R y longitud L.

$$K = \frac{\pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^4}{8 \cdot L}$$

Ecuación 4.23. Boquilla plana, de profundidad h, anchura w y longitud L (obtención de láminas planas).

$$K = \frac{w \cdot h^3}{12 \cdot L}$$

Ecuación 4.24. Boquilla anular, de diámetro interno R_0 , diámetro externo R_1 y longitud L (obtención de tubos).

$$K = \frac{\pi \cdot (R_0 + R_1) \cdot (R_0 - R_1)^3}{12 \cdot L}$$

Donde:

- $R_0 = 20mm$
- $R_1 = 30mm$
- $L = 136mm$

$$K = \frac{\pi \cdot (20 + 30) \cdot (20 - 30)^3}{12 \cdot (136)}$$

$$K = -96.249 mm^3$$

Cada una de estas líneas representa el flujo de material a través de una boquilla particular.

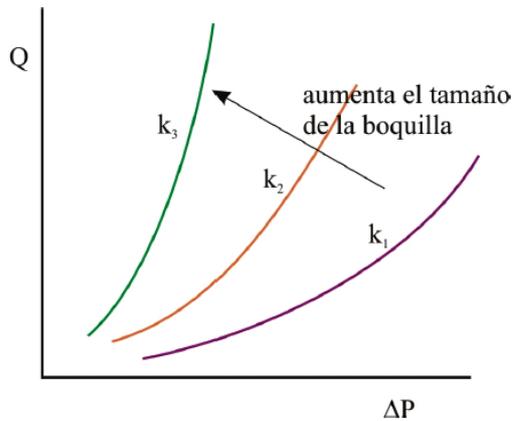


Figura 4.8. Líneas características de la boquilla.

Fuente: Beltrán, Isabel (2001).

4.4.4. DIFERENCIA DE PRESIÓN PRODUCIDO POR LA BOQUILLA

La viscosidad de extrusión del polietileno varía entre 2000 y 3500 Poise, por lo tanto utilizaremos un valor intermedio.

$$n = 2750 \text{ Poise}$$

$$\mu = 0.1 n$$

$$\mu = 275 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

Utilizando la ecuación (4.5), considerando un flujo newtoniano (aproximación) en condiciones isotermas.

Despejamos la variación de presión tenemos:

$$\Delta P = \frac{Q \cdot \mu}{K}$$

$$\Delta P = \frac{14103.6 \cdot 275}{-96.249}$$

$$\Delta P = -40296.4186 \text{ Pa}$$

4.4.5. PRESIÓN ESTÁTICA MÁXIMA

La presión estática máxima se produce cuando el flujo de retroceso es capaz de anular el flujo total en la extrusora, es decir, cuando el flujo de retroceso iguala al flujo de fricción.

$$P_{maxima} = \frac{6\pi \cdot D \cdot N \cdot L \cdot \mu \cdot Cot\theta}{hc^2}$$

$h_c = 7.35 \text{ mm}$ Profundidad media del canal.

$$P_{maxima} = \frac{6\pi \cdot 59.7 \cdot 1.65 \cdot 845 \cdot 275 \cdot Cot(14.29)}{7.35^2}$$

$$P_{maxima} = 686843109.391 \text{ Pa}$$

4.5. POTENCIA NECESARIA PARA EL PROCESO DE EXTRUSIÓN⁹

Para calcular la potencia requerida por una extrusora de tornillo es preciso analizar primero la potencia desarrollada en un área del tornillo de longitud dz en dirección del eje z.

En éste análisis se supone que el polímero fundido se compacta como un líquido newtoniano, que el canal del tornillo tiene dimensiones constantes, y que se trabaja en régimen isotérmico. Además se considera que el cilindro se desliza sobre el tornillo (figura 4.2), de manera idéntica a como fue considerado este movimiento anteriormente, en la determinación de las ecuaciones de flujo.

Ecuación 4.25. Potencia consumida en el área del canal.

$$dz1 = Vc \cdot dF1$$

Donde:

- $dz1$: diferencial de potencia consumida a lo largo de la longitud del canal;
- Vc : velocidad relativa del cilindro;
- $dF1$: Fuerza necesaria para mantener el movimiento del material en la dirección de V .

⁹ Palacios, O. y Ramírez, J. (1992): Diseño y construcción de una máquina extrusora por tornillo para material plástico.

La fuerza dF_1 es igual al producto del esfuerzo unitario de corte (T) por el área elemental sobre la que actúa este esfuerzo. En éste caso, la resultante de la fuerza que actúa en el sentido del eje Z del canal helicoidal, según la figura 4.2 es:

$$dF_z = dF_1 \cdot \cos\theta = T \cdot dA_1$$

$$T = \mu \cdot \gamma$$

Donde:

- T : Esfuerzo cortante (kgf/cm^2)
- μ : Constante de proporcionalidad llamada viscosidad ($\text{kgf}\cdot\text{sg/cm}^2$)
- γ : Velocidad de cizalla ($1/\text{sg}$)

Conjugando lo anterior y (4.25), Resulta:

$$dZ_1 = \left(\frac{V_c}{\cos\theta}\right) \cdot \mu \cdot \gamma \cdot dA_1$$

Donde:

- $\gamma = \frac{dv}{dy}$

Sustituyendo los valores de dA_1 y de γ , se obtiene la expresión de dZ_1 en función de las dimensiones geométricas del tornillo y de las variables de operación.

El diferencial de área, dA_1 , tal como se ve en la figura 2.17 es:

$$dA_1 = w \cdot dz = (\pi \cdot D \cdot \sin\theta) dz$$

Diferenciando la expresión (2.8), la cual determina la velocidad del material fundido en cualquier punto del canal del tornillo, se deduce la ecuación común para el gradiente de velocidad a cualquier profundidad:

$$\left(\frac{dv}{dy}\right)_{y=h} = \frac{V_z}{h} + \frac{h}{2\mu} \left(\frac{dP}{dz}\right)$$

Sustituyendo (2.28) en las expresiones anteriores resulta:

$$dZ_1 = \frac{\pi \cdot D \cdot V_c \cdot \mu \cdot V_c \cdot \sin\theta}{h \cdot \cos\theta} dz + \frac{\pi \cdot D \cdot h \cdot V_c \cdot \sin\theta}{2 \cdot \cos\theta} dP$$

Para la simplificación de la última ecuación, al relacionar el flujo de material con la potencia, se expresa dicha potencia en función de la longitud del tornillo y de las velocidades V_c y V_z , según la siguiente expresión obtenida de la figura 4.2:

$$V_c = \frac{V_z}{\cos\theta}$$

Reemplazando (4.12), (4.13) y la última ecuación, la expresión de la potencia será:

$$dZ1 = \frac{\pi^3 \cdot D^3 \cdot N^3 \cdot \mu}{h} dl + \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot h \cdot N \cdot \text{Sen}\theta \cdot \text{Cos}\theta}{2 \cdot \text{Cos}^2\theta} dP$$

El segundo término de la ecuación contiene todos los términos del flujo de fricción:

$$Qf = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot h \cdot N \cdot \text{Sen}\theta \cdot \text{Cos}\theta}{2}$$

Que reemplazando, se tiene:

$$dZ1 = \frac{\pi^3 \cdot D^3 \cdot N^3 \cdot \mu}{h} dl + \frac{Qf}{\text{Cos}^2\theta} dP$$

Debido a que la profundidad del canal varía, el flujo de fricción puede expresarse en función de un caudal medio, el cual, puede calcularse mediante la expresión:

$$Qfm = \frac{\int_0^L Qf(dl)}{L}$$

Utilizando la ecuación del caudal de flujo medio y despreciando el flujo de retroceso y limitando la zona de plastificación del tornillo tenemos:

4.5.1. RELACIÓN DE COMPRESIÓN ($h_{(L)}$)

Donde:

- $h_{(0)} = 9.85 \text{ mm}$
- $h_{(845)} = 4.85 \text{ mm}$

$$h_{(L)} = \frac{9.85}{4.85} = 2.03$$

Ecuación 4.26. Caudal de flujo medio.

$$Q_{fm} = \int_{L_F+L_C}^L \frac{\left(\frac{1}{2} \cdot \pi^2 \cdot D^2 \cdot N \cdot h \cdot \text{Sen}\theta \cdot \text{Cos}\theta\right)}{L_M} dl$$

Reemplazando:

$$Q_{fm} = \int_{818}^{845} \frac{\left(\frac{1}{2} \cdot \pi^2 \cdot (59.7)^2 \cdot (1.65) \cdot (2.03) \cdot \text{Sen}(14.29) \cdot \text{Cos}(14.29)\right)}{330} dl$$

$$Q_{fm} = 14091.14 \frac{m \cdot m^3}{s}$$

$$Q_{fm} = 14.09 \text{ cm}^3/s$$

Donde:

- $d = 0.9 \frac{g}{cm^3}$ Densidad del polietileno.

$$Q_m = Q_{fm} \cdot d$$

$$Q_m = 12.68 \frac{g}{s}$$

$$Q_m = 45.6516 \frac{Kg}{h}$$

A la máquina se le debe entregar una potencia adicional de $dZ2$, la cual es disipada por fricción cuando el material pasa a través del huelgo radial (δ). La potencia total requerida vendrá expresada como:

$$dZ = dZ1 + dZ2$$

De manera análoga a la determinación de $dZ1$ y prescindiendo del aumento de presión en ésta zona de holgura, se tiene:

$$\left(\frac{dv}{dy}\right)_{y=\delta} = \frac{V_Z}{\delta}$$

La potencia consumida en un área diferencial del filete del husillo (dA_2) es:

$$dZ_2 = V \cdot dF_2 = \left(\frac{V \cdot \mu}{\cos\theta} \right) \cdot \left(\frac{dv}{dy} \right) dA_2$$

Donde:

- dF_2 es la fuerza necesaria para mantener el movimiento del material en la dirección de V .

El área diferencial dA_2 , según la siguiente figura es:

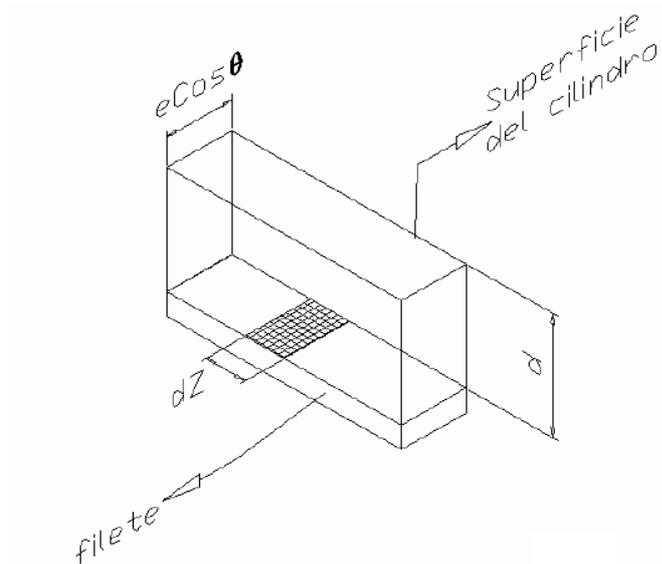


Figura 4.9. Área diferencial dA_2

Fuente: Palacios, O. y Ramírez, J. (1992).

Donde:

- $dA_2 = e \cdot \text{Ctg}\theta \, dl$

Conjugando las ecuaciones se tiene:

$$dZ_2 = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot N^2 \cdot \mu \cdot e}{d \cdot \text{Tan}\theta} dl$$

La viscosidad de la masa fundida varía a lo largo del husillo, por tal razón, las expresiones del caudal volumétrico y de la potencia, se pueden expresar en función de la viscosidad media. Esta viscosidad se la puede calcular mediante la expresión:

$$\mu_m = \frac{\int_0^L \mu (dL)}{L}$$

Entonces se tiene:

$$dZ = \frac{\pi^3 \cdot D^2 \cdot N^2 \cdot \mu}{h} dl + \frac{Qf}{\cos^2\theta} dP + \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot N^2 \cdot \mu \cdot e}{d \cdot \tan\theta} dl$$

Integrando la anterior ecuación a lo largo de la longitud L de la zona dosificadora del tornillo, recordando que h es función dl , debido a que es variable la profundidad del canal, reemplazando Qf por Qfm y μ por μ_m , entonces:

Ecuación 4.27. Potencia necesaria para accionar el husillo.

$$Z = \pi^3 \cdot D^2 \cdot N^2 \cdot \mu_m \cdot \int_0^L \frac{1}{h(l)} dl + \frac{Qfm \cdot \Delta P}{\cos^2\theta} + \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot N^2 \cdot \mu_m \cdot e \cdot L}{d \cdot \tan\theta}$$

En la ecuación 4.26, el primer término es proporcional al cuadrado de la velocidad de rotación del tornillo. El segundo término indica la potencia necesaria para mantener la presión en el tornillo. Si se coloca en la cabeza del extrusor una boquilla, o se adapta en la máquina un plato rompedor, aparece como consecuencia un gradiente de presión a lo largo del tornillo y aumenta el consumo de potencia necesaria.

El último término, es también, proporcional al cuadrado del número de revoluciones y expresa la potencia necesaria para cizallar el material en la holgura δ . Este término, prácticamente resulta el más grande, por lo que una pequeña variación de d tiene por resultado, un aumento relativamente alto de potencia necesaria para la extrusión.

Sin embargo, este procedimiento para calcular la potencia necesaria para la extrusión arroja resultados poco fiables puesto que no considera los aspectos de calentamiento y fusión del polímero. La potencia provista por la acción rotatoria del tornillo calienta al polímero desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de extrusión, plastificándolo y bombeándolo a través de la boquilla. Los calefactores del cilindro usualmente proveen menos del 25% de la potencia requerida para incrementar la

temperatura y plastificar al polímero; de forma general se establece que la fricción representa alrededor del 85% de la energía utilizada en el calentamiento del polímero, lo cual implica que el equipo de transmisión de potencia debe ser capaz de suministrar la energía necesaria para sobrellevar esta fricción. Una forma sencilla de calcular la es la siguiente:

$$Z = \pi^3 \cdot 59.7^2 \cdot 1.65^2 \cdot 275 \cdot \int_{515}^{845} \frac{1}{2.03} dl + \frac{14091.14(-40296.4186)}{\cos^2(14.29)} + \frac{\pi^3 \cdot 59.7^2 \cdot 1.65^2 \cdot 275 \cdot 7.8 \cdot 330}{0.15 \cdot \tan(14.29)}$$

$$Z = 5.58686 \cdot 10^{12} \frac{\text{mm}^3 \text{Pa}}{\text{s}}$$

$$P = \frac{Z}{10^9}$$

$$P = \frac{5.58686 \cdot 10^{12}}{10^9}$$

$$P = 5586.86 \text{ W}$$

$$P = \frac{15}{2} \text{ h}$$

Ecuación 4.28. Potencia requerida para el proceso de extrusión en base a experiencias industriales.

$$Po = \rho_m \cdot Q \cdot Cp \cdot (T_{out} - T_{in}) + \rho_m \cdot Q \cdot Hf + \Delta P \cdot Q$$

Donde:

- Po : Potencia.
- ρ_m : Densidad del fundido.
- Cp : Capacidad calorífica.
- T : Temperatura.
- Q : Flujo volumétrico del polímero fundido.
- ΔP : Cambio de presión.
- Hf : Calor de Fusión.

Las máquinas extrusoras poseen una pobre eficiencia de bombeo, con el término de bombeo $\Delta P \cdot Q$ contabilizado en alrededor del 10% de la potencia total suministrada por el motor. Con la ayuda de la ecuación (2.62) es fácil determinar que por cada Kg/h de capacidad de la máquina extrusora se necesitan alrededor de 0.3 KW de potencia suministrada.

Donde:

- $\rho_m = 800 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$
- $Q = 0.0000141 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
- $C_p = 2000 \frac{\text{J}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$
- $H_f = 55000 \frac{\text{J}}{\text{Kg}}$
- $T_a = 20^\circ\text{C}$
- $T_g = 180^\circ\text{C}$
- $\Delta P = -40296.4186 \text{ Pa}$

$$P_o = (800) \cdot (0.0000141)(2000) \cdot (180 - 20) + (800) \cdot (0.0000141) \cdot (55000) + (-40296.4186) \cdot (0.0000141)$$

$$P_o = 4229.43 \text{ W}$$

4.5.2. CORRECCIÓN DE POTENCIA REQUERIDA

Perdidas por instalaciones eléctricas:

$$Z_g = 0.015 P_o$$

$$Z_g = 63.44 \text{ W}$$

Perdidas en motores y generadores:

$$Z_m = 0.05 P_o$$

$$Z_m = 211.47 \text{ W}$$

Eficiencia de los elementos mecánicos:

- Rodamientos 98%
- Catalinas y cadenas 96%
- Bandas 95%

$$\varepsilon = 0.98 \cdot 0.96 \cdot 0.95$$

$$\varepsilon = 0.89$$

$$P_c = \frac{P_o + Z_e + Z_m}{\varepsilon}$$

$$P_c = 5061.05 \text{ W}$$

$$P_c = 6.78 \text{ hp} \text{ Potencia corregida.}$$

CAPÍTULO V

CALEFACCIÓN Y REGULACIÓN DE TEMPERATURA¹⁰

5.1. TRANSFERENCIA DE CALOR

El calor requerido al arrancar la extrusora, es el máximo, ya que se deben llevar a la temperatura de operación el cilindro, y el cabezal de ésta. Los tipos de calentadores seleccionados son bandas calefactoras diseñadas especialmente para trabajar en el procesamiento de plásticos. Los calentadores se sitúan por zonas, las cuales poseen, para el control de temperatura, una conexión de termocupla y un dispositivo regulador de temperatura.

5.2. POTENCIA DE LOS CALEFACTORES

La potencia que deberán suministrar las bandas calefactoras para poder elevar la temperatura del cilindro y del husillo, está en función del calor necesario que se produce en el estado transitorio. Se debe considerar este estado, puesto que el cilindro debe ser calentado hasta alcanzar la temperatura de trabajo antes de empezar a extruir el material plástico.

El cilindro y el husillo se encuentran al arrancar el equipo a temperatura ambiente, iniciado el proceso, se cierra el circuito de corriente de los elementos calefactores, los cuales comienzan a transferir calor, el mismo que se va acumulando y elevando su temperatura conforme pasa el tiempo.

5.2.1. BALANCE ENREGÉTICO EN EL ESTADO TRANSITORIO

Este balance se lo hace, considerando el cilindro y el husillo como dos sistemas, el husillo no gira y se desprecia el aire que se encuentra en el interior de los mismos.

Al realizar el balance energético en los sistemas de la figura 2.29 se tiene:

$$E_{gc} = E_{ac} + E_{sc} + E_{pc}$$

$$E_{gh} = E_{ah}$$

¹⁰Palacios, O. y Ramírez, J. (1992): Diseño y construcción de una máquina extrusora por tornillo para material plástico.

Donde:

- E_{ec} : Energía que entra al cilindro, proviene de los calefactores eléctricos (W).
- E_{ac} : Energía almacenada por el cilindro (W).
- E_{pc} : Energía que sale del cilindro al exterior (W).
- E_{sc} : Energía que sale desde el cilindro hacia el tornillo (W).
- E_{eh} : Energía que entra al husillo, proviene del cilindro (W).
- E_{ah} : Energía almacenada por el husillo (W).

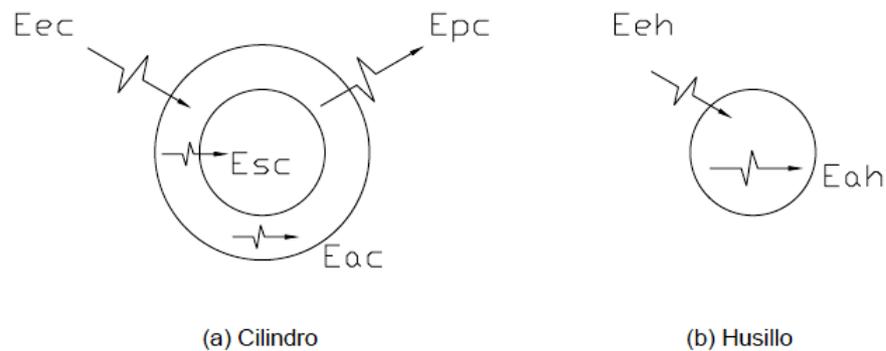


Figura 5.1. Sistema de análisis para el balance energético.

Fuente: Palacios, O. y Ramírez, J. (1992)

Considerando que existe un contacto térmico ideal entre el cilindro y el husillo, se tiene:

$$E_{sc} = E_{eh}$$

Ecuación 5.1. Energía almacenada por el cilindro.

$$E_{ac} = m_c \cdot Cp_c \left(\frac{dT_c}{dt} \right)$$

Donde:

- m_c : Masa del cilindro.
- Cp_c : Calor específico del material del cilindro (0.11 Kcal/Kg °K, acero).
- $\frac{dT_c}{dt}$: Variación de la temperatura respecto al tiempo.

Ecuación 5.2. Energía que sale del cilindro hacia el exterior.

$$E_{pc} = h \cdot A [T_{c(t)} - T_a]$$

Donde:

- h : Coeficiente de transferencia de calor ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).
- A : Área de transferencia de calor (m^2).
- $T_{c(t)}$: Temperatura del cilindro, variable con el tiempo ($^\circ C$).
- T_a : Temperatura del medio ambiente ($^\circ C$).

Ecuación 5.3. Energía almacenada por el husillo.

$$E_{ah} = m_h \cdot Cp_h \cdot \left(\frac{dT_h}{dt} \right)$$

Donde:

- m_h : Masa del husillo.
- Cp_h : Calor específico del material del husillo (0.11 Kcal/Kg $^\circ K$, acero).
- $\frac{dT_h}{dt}$: Variación de la temperatura respecto al tiempo.

Para facilitar la solución de las ecuaciones obtenidas por la figura 2.29, se considera que el husillo y el cilindro tienen la misma temperatura conforme varía el tiempo, consideración debida a que la termocupla se la coloca lo más cerca posible al polímero, en las cercanías del husillo, y dicho sensor indica la temperatura del interior del cilindro y del exterior del husillo. Al combinar las ecuaciones y reemplazando además las ecuaciones (2.48), (2.49) y (2.50), se llega a la siguiente expresión:

$$E_{sc} = (m_c \cdot Cp_c + m_h \cdot Cp_h) \left(\frac{dT}{dt} \right) + h \cdot A \cdot [T_{c(t)} - T_a]$$

Esta ecuación se resuelve haciendo las siguientes sustituciones:

- $Q = E_{sc}$
- $Q_{(t)} = T_{(t)} - T_a$

- $dQ_{(t)} = dT_{(t)}$
- $M = \frac{h \cdot A}{m_c \cdot Cp_c + m_h \cdot Cp_h}$
- $P = \frac{Q}{m_c \cdot Cp_c + m_h \cdot Cp_h}$

La ecuación se reduce a:

$$\frac{dQ_{(t)}}{dt} + M \cdot Q_{(t)} = P$$

Resolviendo la ecuación diferencial se tiene:

$$Q_{(t)} = Q_0 \cdot e^{(-Mt)} + [1 - e^{(-Mt)}] \left(\frac{P}{M} \right)$$

Sustituyendo los valores anteriores, y considerando que $T_{c(0)} = T_{ambiente}$, la ecuación queda de la siguiente forma:

$$T_{(t)} = \left[1 - e^{\left(-\frac{h \cdot A \cdot t}{m_c \cdot Cp_c + m_h \cdot Cp_h} \right)} \right] \left(\frac{Q}{h \cdot A} \right) + T_{\infty}$$

En esta ecuación interviene el coeficiente de transferencia de calor por convección, el cual se lo evalúa lo siguiente:

5.2.1.1. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Este coeficiente es igual a la suma del coeficiente de convección y del coeficiente de radiación:

Ecuación 5.4. Coeficiente por Transferencia de Calor.

$$h = h_c + h_r$$

Dónde:

- h_c : Coeficiente de transferencia de calor por convección ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
- h_r : Coeficiente de transferencia de calor por radiación ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

Los valores de h_c y h_r se los calcula a continuación:

5.2.1.2. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CONVECCIÓN

La transferencia de calor por convección, se presenta siempre que un cuerpo sólido es colocado en la vecindad de un fluido que está a diferente temperatura que la superficie de dicho cuerpo.

Ecuación 5.5. Temperatura media de película.

$$T_f = \frac{T_s + T_\alpha}{2}$$

Dónde:

- T_s : Temperatura de la superficie del cuerpo sólido
- $T_s = 453.15^\circ K = 180^\circ C$
- $T_\alpha = 293.15^\circ K = 20^\circ C$ Temperatura ambiente.

$$T_f = \frac{453.15 + 293.15}{2}$$

$$T_f = 373.15^\circ K$$

Propiedades del aire a $373.15^\circ K$. (Tabla A6.2).

- $Pr = 0.695$ Número de Prandtl.
- $\gamma = 2.3665 \cdot 10^{-5} \frac{m^2}{s}$ Viscosidad Cinemática.
- $k = 0.0319 \frac{W}{m \cdot K}$ Conductividad Térmica.
- $\beta = \frac{1}{T_f}$

$$\beta = \frac{1}{373.15}$$

$$\beta = 2.68 \cdot 10^{-3} K^{-1}$$

Las propiedades del aire deben ser evaluadas a la temperatura T_f .

La longitud característica en el número de **Grashof**, del cilindro horizontal grande, es su diámetro; por lo tanto:

Ecuación 5.6. Número de Grashof.

$$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot \Delta t \cdot D^3}{\nu^2}$$

Donde:

- g : Gravedad.
- D : Diámetro del cilindro.
- Δt : Variación de Temperatura.
- $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$ Gravedad.
- $D = 0.09 m$ Diámetro del cilindro horizontal.
- $\Delta T = T_s - T_a$

$$\Delta T = 453.15 - 293.15$$

$$\Delta T = 160^\circ K$$

$$Gr = \frac{(2.68 \cdot 10^{-3}) \cdot (9.81) \cdot (160) \cdot (0.09)^3}{2.3665 \cdot 10^{-3}}$$

$$Gr = 1.3$$

$$Ra = Pr \cdot Gr$$

$$Ra = (0.695) \cdot (1.3)$$

$$Ra = 0.9$$

El producto $Pr \cdot Gr$, es el número de Grayleigh que permite encontrar el número de **Nusselt**, así:

Ecuación 5.7. Número de Nusselt para cilindros horizontales.

$$Nu_{\alpha} = \left(0.5 + \frac{0.387 Ra_{\alpha}^{\frac{1}{4}}}{\left(1 + \left(\frac{0.559}{Pr} \right)^{\frac{3}{4}} \right)^{\frac{1}{4}}} \right)^2$$

- Pr : Número de Prandtl.

$$Nu = \left(0.6 + \frac{0.387 \cdot (0.9)^{1/6}}{\left(1 + \left(\frac{0.558}{0.695} \right)^{1/6} \right)^{1/4}} \right)^2$$

$$Nu = 0.8375$$

Ecuación 5.8. Número de Nusselt para convección libre.

$$Nu = \frac{hc \cdot D}{k}$$

Despejando hc y reemplazando valores se obtiene:

Ecuación 5.9. Coeficiente de convección.

$$hc = \frac{Nu \cdot k}{D} \text{ [W/m}^2 \cdot \text{°K]}$$

$$h_c = \frac{Nu \cdot k}{D} = \frac{0.8375 \cdot 0.0319}{0.09}$$

$$h_c = 0.2968 \frac{W}{m^2 \cdot \text{°K}}$$

5.2.1.3. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE RADIACIÓN

Las superficies metálicas oxidadas corrientes, son buenos radiadores de calor, las pérdidas que se verifican dependen de la temperatura absoluta, del área de la superficie y de la emisividad de la misma.

Ecuación 5.10. Pérdidas por radiación.

$$q = A \cdot \epsilon_1 \cdot \sigma (T_s^4 - T_a^4)$$

Donde:

- A : Área de transferencia de calor.
- ϵ_1 : Emisividad (radiación térmica) de la superficie = 0.61.

- σ : Constante de Stefan-Boltzmann = $5.67 \cdot 10^{-8}$ ($W/m^2 \cdot ^\circ K$).
- T_s : Temperatura absoluta de la superficie.
- T_a : Temperatura absoluta ambiental.

El calor de pérdidas por radiación, considerando un coeficiente de pérdidas es:

$$q = A \cdot hr \cdot (T_s - T_a)$$

De las ecuaciones (5.9) y la anterior, se determina:

Ecuación 5.11. Coeficiente de radiación.

$$hr = \frac{\epsilon_1 \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_a^4)}{T_s - T_a}$$

- ϵ_1 : Emisividad del acero de $453.15^\circ K$.

$$T_s = 453.15^\circ K$$

$$T_a = 293.15^\circ K$$

Sacamos el valor de la tabla de Emisividad. (Tabla A6-3)

$$\epsilon_1 = 0.865$$

Entonces:

$$hr = \frac{0.865 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot (453.15^4 - 293.15^4)}{453.15 - 293.15}$$

$$hr = 10.66 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Coeficiente de transferencia de calor total

$$h = h_r + h_c$$

$$h = 10.95 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

5.3. ESTIMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CALOR

5.3.1. PÉRDIDAS POR CONDUCCIÓN

El cilindro transmite calor a la garganta y a los soportes con los cuales entra en contacto. En el diseño de estos elementos de la extrusora se ha tratado de minimizar la conducción de calor entre las superficies, reduciendo al mínimo el contacto físico de la superficie del cilindro con los soportes y con la garganta, estas pérdidas se desprecian.

5.3.2. PÉRDIDAS POR RADIACIÓN

Las pérdidas por radiación se las determina mediante:

Ecuación 5.12. Pérdidas por radiación.

$$Q_r = S \cdot \epsilon_1 \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_a^4)$$

Dónde:

- S : Área de cada zona.
- ϵ_1 : Emisividad de la superficie.
- σ : Constante de Stefan-Boltzmann = $5.67 \cdot 10^{-8}$ ($W/m^2 \cdot ^\circ k$)
- T_s : Temperatura absoluta de la superficie.
- T_a : Temperatura absoluta ambiental.
- $L = 1 \text{ m}$ Longitud de la zona de calefacción.

$$S = \pi \cdot 0.09 \cdot 1$$

$$S = 0.2827 \text{ m}^2 \text{ Área de la zona de calefacción.}$$

$$Q_r = (0.2827) \cdot (0.865) \cdot (5.67 \cdot 10^{-8}) (453.15^4 - 293.15^4)$$

$$Q_r = 482.24 \text{ W}$$

Tomando en cuenta una temperatura promedio de $180^\circ C$ en toda la zona de calefacción.

5.3.3. PÉRDIDAS POR CONVECCIÓN

El aire caliente en contacto con la superficie lateral del cilindro tiende a elevarse a causa de su menor densidad comparada con el aire más frío. Este proceso establece un flujo de corriente de aire que se eleva al techo, llevando consigo una cantidad importante de calor desde las partes calientes de la extrusora.

Aplicando la ley de enfriamiento de Newton, se tiene que:

Ecuación 5.13. Perdidas por convección.

$$Q_c = h_c \cdot \Delta T \cdot S$$

Las pérdidas calóricas por convección, se las determina utilizando el coeficiente de convección calculado para el sistema.

$$Q_c = (0.2978) \cdot (160) \cdot (0.2827) = 13.47 \text{ W}$$

4.4. INCREMENTO DE LA ENERGÍA INTERNA DEL POLÍMERO

La siguiente relación, permite determinar:

Ecuación 5.14. Cantidad teórica de calor necesario para elevar una masa de material a determinada temperatura.

$$Esp = \frac{dm}{dt} \cdot Cp \cdot (Ts - Ta)$$

Donde:

- **Esp:** Cantidad de calor agregada al polímero (kcal/h).
- $\frac{dm}{dt}$: Flujo másico del polímero en la zona (Kg/h).
- **Cp:** Calor específico del polímero.
- **Ts:** Temperatura del polímero a la salida (°C).
- **Ta:** Temperatura del polímero a la entrada (°C).
- $\frac{dm}{dt} = 45.69 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$ Flujo másico del polímero en la zona.
- **Cp = 0.45 $\frac{\text{kcal}}{\text{Kg} \cdot \text{K}}$** Calor específico del polietileno.

$$Esp = (45.69) \cdot (0.45) \cdot (160)$$

$$Esp = 3289.68 \frac{Kcal}{h}$$

$$Qn = 3823.42 W$$

Cantidad teórica de calor necesario para elevar $45.69 \frac{Kg}{h}$ a una temperatura promedio en todo el cilindro o camisa de $453.15^\circ K$.

Energía que sale del sistema:

$$Es = Qr + Qc + Qn$$

$$Es = 4319.13 W$$

4.5. CÁLCULO DE POTENCIA REQUERIDA PARA BANDAS CALEFACTORAS

Donde:

- $T\alpha = 293.15^\circ K$
- $h_c = 0.2968 \frac{W}{m^2 \cdot K}$
- $A = 0.2827 m^2$ Área de transferencia de calor.
- $m_{cilindro} = 34.21 Kg$ Masa del cilindro.
- $m_{husillo} = 26.17 Kg$ Masa del husillo.
- $c_{pcilindro} = 434 \frac{J}{Kg \cdot K}$ Calor específico del material del cilindro (acero).
- $c_{phusillo} = 434 \frac{J}{Kg \cdot K}$ Calor específico del material del husillo (acero).
- $Q = 6609.94 W$ Potencia en los calefactores (6 bandas).

$$Q_{real} = Q - Qr - Qc$$

$$Q_{real} = 6114.68 W \text{ Potencia neta (considerando perdidas)}$$

$$T(t) = \left[1 - e^{\left(\frac{-hc \cdot A \cdot t \cdot 60}{m_{cilindro} \cdot C_{pcilindro} + m_{chusillo} \cdot C_{pchusillo}} \right)} \right] \cdot \frac{Q_{real}}{hc \cdot A} + T_{\alpha}$$

$$T(t) = \left[1 - e^{\left(\frac{-(0.2968) \cdot (0.2827) \cdot t \cdot 60}{(34.21) \cdot (434) + (26.17) \cdot (434)} \right)} \right] \frac{6114.68}{(0.2968) \cdot (0.2827)} + 293.15$$

$$T(t) = [1 - e^{(-1.8635 \cdot 10^{-4} t)}] 75128.766 + 293.15$$

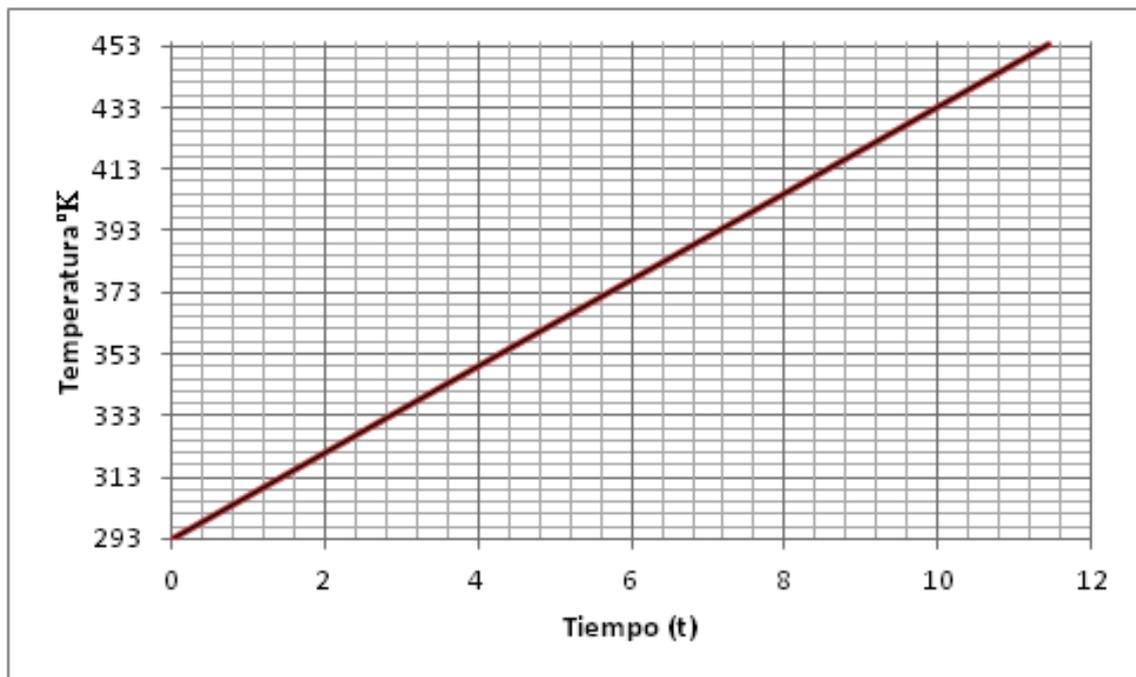


Figura 5.2. Variación de temperatura en el tiempo.

Fuente: Autor.

CAPÍTULO VI

SISTEMA ELÉCTRICO

6.1. CONEXIÓN DEL MOTOR

Las especificaciones del motor están en la tabla A7.5

Cálculo de los componentes con $V=220V$ según catálogo LS en Anexo 7:

- El cable a utilizar es un Tripolar Número 6 de acuerdo al Tabla A7.1.
- **$(Q1)Disyuntor C63 = 1.4 \cdot I = 48.8 A$** (Tabla A7.2)
- **$(KM1)Contactor GMC50 = 50 A$** con bobina a 220V
- **$(F1)Rele termico GT85 = 42 A (34 - 50)A$** ‘

El diagrama de conexiones se encuentra en la figura A7.1 y A7.2.

6.2. SISTEMA DE CALEFACCIÓN

Para calcular el dimensionamiento de los componentes tanto de control como de potencia se debe conocer los valores en ohmios de cada resistencia:

- **$R_1 = 87.8 \Omega$**
- **$R_2 = 44.4 \Omega$**
- **$R_3 = 49.1 \Omega$**
- **$R_4 = 37 \Omega$**
- **$R_5 = 36.8 \Omega$**
- **$R_6 = 35.6$**

Tomando en cuenta los valores de cada una de las resistencias se realizó el diagrama de conexión ilustrado en la figura 6.1 para tratar de hacer un sistema lo más equilibrado posible.

Para simplificar el análisis del circuito se suman las resistencias en paralelo obteniendo así:

$$R_{AB} = \frac{(R_1 \cdot R_4)}{(R_1 + R_4)} = 26.03 \Omega$$

$$R_{BC} = \frac{(R_2 \cdot R_3)}{(R_2 + R_3)} = 23.31 \Omega$$

$$R_{CA} = \frac{(R_5 \cdot R_6)}{(R_5 + R_6)} = 18.09 \Omega$$

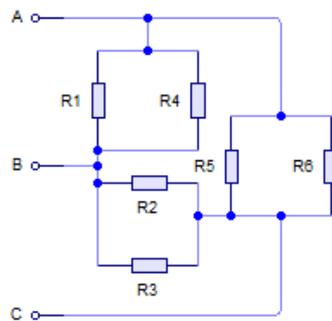


Figura 6.1. Conexión de resistencias en forma de triángulo.

Fuente: Autor.

Con el voltaje de trabajo las resistencias que son de 220V, a continuación se calculan las corrientes respectivas:

$$I_{AB} = \frac{V}{R_{AB}} = 8.45 A$$

$$I_{BC} = \frac{V}{R_{BC}} = 9.43 A$$

$$I_{CA} = \frac{V}{R_{CA}} = 12.16 A$$

Las corrientes de fase en el circuito eléctrico son:

$$I_A = \sqrt{3} \cdot I_{AB} = 14.63 \text{ A}$$

$$I_B = \sqrt{3} \cdot I_{BC} = 16.33 \text{ A}$$

$$I_C = \sqrt{3} \cdot I_{CA} = 21.06 \text{ A}$$

En base a los cálculos realizados, los componentes para el sistema de calefacción son:

- El cable a utilizar es tres conductores unipolares de Numero 10.
- **(Q2)Disyuntor C32 = 21.06 A**
- **(KM2)Contactor GMC32 = 32 A** con bobina a 220V
- **(SSR1 – SSR2 – SSR3)Rele de estado solido**
Entrada 4 – 32 VDC Salida 25 A

El diagrama de conexiones se encuentra en la figura A7.1 y figura A7.2.

6.2.1. RESISTENCIAS TIPO ABRAZADERA



Figura 6.2. Resistencias tipo abrazadera.

Fuente: Autor.

Las resistencias tipo abrazadera o bandas son elementos para abrazar cualquier tipo de conducción o recipiente, sea circular, rectangular o cuadrangular. Para el proyecto se utilizó circular para envolver el cilindro. Poseen diferentes tipos de aprietes y terminales con cierre tornillo allen o articuladas con bisagras. Tiene la capacidad de soportar altas temperaturas. Para solicitar su pedido, debe proporcionar: diámetro y ancho del tubo, tipo de apriete, terminales y números de orificios.

6.2.2. TERMOCUPLA TIPO J¹¹

La termocupla Tipo J, conocida como la termocupla hierro - constantán. El hierro es el conductor positivo, mientras que para el conductor negativo se recurre a una aleación de 55 % de cobre y 45 % de níquel (constantán). Las termocuplas Tipo J resultan satisfactorias para uso continuo en atmósferas oxidantes, reductoras e inertes y en vacío hasta 760° C. Por encima de 540° C, el alambre de hierro se oxida rápidamente, requiriéndose entonces alambre de mayor diámetro para extender su vida en servicio. La ventaja fundamental de la termocupla Tipo J es su bajo costo.

Las siguientes limitaciones se aplican al uso de las Termocuplas:

- No se deben usar en atmósferas sulfurosas por encima de 540° C.
- A causa de la oxidación y fragilidad potencial, no se las recomienda para temperaturas inferiores a 0° C.
- No deben someterse a ciclos por encima de 760° C, aún durante cortos períodos de tiempo.

En vista de que vamos a trabajar con una temperatura mínima de 15° C y una máxima de 175° C la termocupla tipo J se ajusta a las necesidades.

6.2.3. CONTROLADORES DE TEMPERATURA

El controlador de temperatura es un dispositivo con el cual se establece la temperatura que se desea de un medio ambiente, con este dispositivo se monitorea la temperatura, y se produce una orden de cambio de ésta misma, se observa en todo momento la temperatura actual. Por comodidad, economía y facilidad de uso el control de temperatura se ajusta a

¹¹ MCI: Medición y Control Industrial.

nuestras necesidades para controlar las resistencias eléctricas por medio de un sistema de histéresis generado por el auto tuning, por lo que extiende la vida útil de las resistencias y disminuye el consumo de energía eléctrica (AUTOR).

El diagrama de conexiones se encuentra en la figura A7.2.

Para la medir la temperatura del cilindro se utilizo tres termocuplas tipo J en las tres zonas donde va a estar alojado el tornillo, lo más cerca del plástico haciendo orificios en el cilindro de 1.7 cm.

6.2.4. RELÉS DE ESTADO SÓLIDO¹²

El relé de estado sólido (SSR) es un elemento que permite aislar eléctricamente el circuito de entrada o mando y el circuito de salida.

Las diferentes partes que forman un SSR son:

6.2.4.1. CIRCUITO DE ENTRADA

Aislamiento, está asegurado generalmente por un acoplamiento óptico con semiconductor (Fotoacoplador, fototriac,....)

Detector paso por cero (En algunos modelos): Un relé de estado sólido con función de paso por cero opera cuando la tensión de la carga (tensión alterna) se acerca o alcanza el punto cero. Los relés con esta función tienen una buena inmunidad a los parásitos de entrada y producen unas bajas radiaciones parásitas al conmutar tensiones bajas.

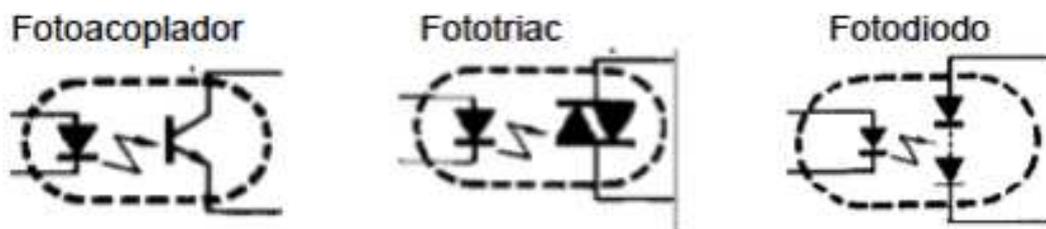


Figura 6.3. Acoplamientos ópticos.

Fuente: SSR.

¹² SSR: Guía Rápida Relés de estado Solido

Los relés de estado sólido con la función de detección de paso por cero son adecuados para cargas resistivas, capacitivas y cargas inductivas con un factor de potencia entre 0.7 y 1.

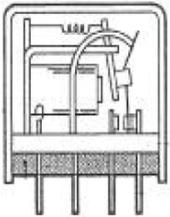
6.2.4.2. CIRCUITO DE SALIDA

Salida CA con tiristores antiparalelos o triacs, salida CC con transistor bipolar o MOS FET, salida CA-CC con transistor MOS FET (ya que tiene igual ganancia en directo que en inverso).

Protección frente a transitorios, (En algunos modelos): Los más frecuentemente utilizados son redes RC, diodos, etc.

Los tres relés de estado sólido utilizados son HFS15 con una entrada de voltaje de 3 a 32 VDC y una salida de voltaje hasta 25 A.

Tabla 6.1. Comparación entre SSR y relés electromagnéticos.

	Ventajas	Inconvenientes
<p>Relés de estado sólido</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Conexión con o sin función de paso por cero -Desconexión a I=0 -Gran resistencia a choques y vibraciones -No ocasionan arcos ni rebotes al no existir partes móviles. -Vida de trabajo óptima -Frecuencia de conmutación elevada -Facilidad de mantenimiento -Funcionamiento silencioso -Control a baja tensión, compatible TTL/CMOS 	<ul style="list-style-type: none"> -Circuito de entrada muy sensible a perturbaciones -Necesidad de elementos de protección externos <ul style="list-style-type: none"> -Disipadores de calor -Redes de protección -Muy sensibles a la temperatura y a las sobretensiones -Tecnológica y conceptualmente más complejos y abstractos
<p>Relés electromagnéticos</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Económicos en consumo -Reducción de dimensiones en aplicaciones de conmutación a baja potencia -Gran diversidad en encapsulados -Gran número de contactos -Control indistinto CA/CC -Tecnológica y conceptualmente muy evidentes -Defectos conocidos, así como sus soluciones 	<ul style="list-style-type: none"> -Ruido -Dimensiones considerables en aplicaciones de control de potencia -Presencia de chispas, arco y rebotes -Más lento en la maniobra -Vida útil menor

Fuente: SSR.

6.3. AMPERÍMETRO¹³

Un **amperímetro** es un instrumento que sirve para medir la intensidad de corriente que está circulando por un circuito eléctrico. Un microamperímetro está calibrado en millonésimas de amperio y un miliamperímetro en milésimas de amperio. Si hablamos en términos básicos, el amperímetro es un simple galvanómetro (instrumento para detectar pequeñas cantidades de corriente) con una resistencia en paralelo, llamada electrónica. Disponiendo de una gama de resistencias *shunt*, podemos disponer de un amperímetro con varios rangos o intervalos de medición. Los amperímetros tienen una resistencia interna muy pequeña, por debajo de 1 ohmio, con la finalidad de que su presencia no disminuya la corriente a medir cuando se conecta a un circuito eléctrico. Los amperímetros utilizados son de medición directa en una escala de 0 a 50 Amperios

6.3 CONEXIÓN DEL COMPRESOR

Las especificaciones del compresor son dadas en la tabla A7.6. Cálculo de los componentes con $V=220V$:

- El cable a utilizar es un Bipolar Número 16.
- **(Q2)Disyuntor C10 = $1.4 \cdot I = 9.1 A$.**
- **(KM2)Contactor GMC9 = 9 A** con bobina a 220V .
- **(F2)Rele termico GT22 = 6.5 A (7 – 10)A.**

El diagrama de conexiones se encuentra en la figura A7.1. y A7.2.

Se utilizó un disyuntor C6 de 6 A para la protección de los elementos de control además se implementó una fuente de 12 VDC para el control de los relés de estado sólido. También se utilizó selectores de dos posiciones para el encendido del motor S1, resistencias S2 y para el compresor S3, además un paro de emergencia para suspender el funcionamiento de todos los elementos de control. Para indicar el encendido de cada uno de los selectores y paro de emergencia se utilizó luces piloto.

¹³ WEL: Wikipedia la enciclopedia libre.

CAPÍTULO VII

CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA EXTRUSORA

7.1. INTRODUCCIÓN

La construcción de la máquina es de la siguiente manera:

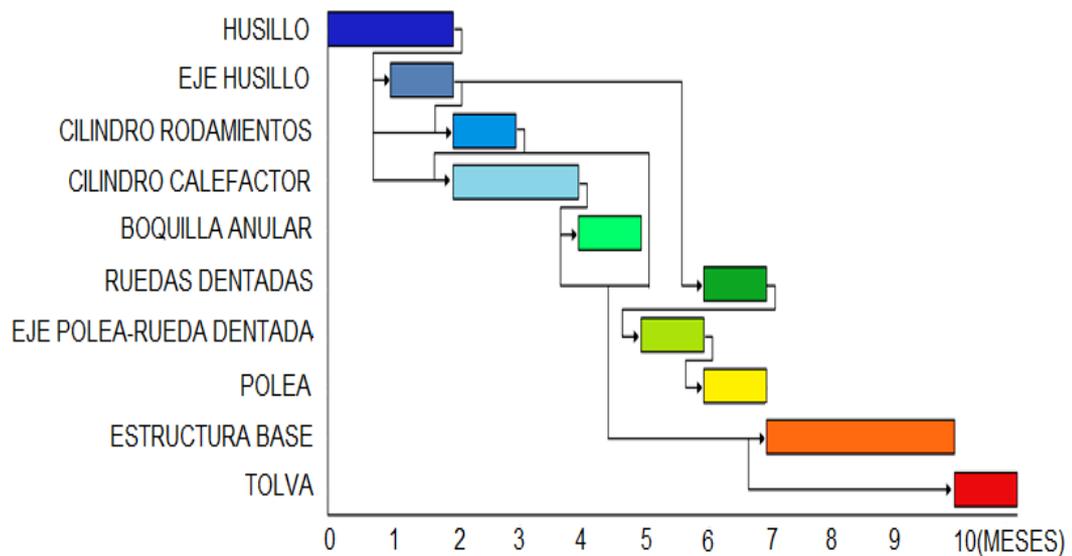


Diagrama 7.1 Construcción de la máquina extrusora

Fuente: Autor.

Donde la base de construcción es el tornillo para la elaboración de las otras partes de la extrusora.

Tabla 7.1. Tareas de acuerdo a su duración.

Tarea	Predecesor	Duración
Tornillo (Husillo)	-	2
Eje del Tornillo	Husillo	1
Cilindro Rodamientos	Husillo, Eje del Husillo	1
Cilindro Calefactor	Husillo, Cilindro Rodamientos	2
Boquilla Anular	Cilindro Calefactor	1
Ruedas Dentadas	Eje del Husillo	1

Eje Polea-Rueda dentada	Ruedas Dentadas	1
Poleas	Eje Polea-Rueda dentada	1
Estructura Base	Cilindro Rodamientos, Cilindro Calefactor	3
Tolva	Cilindro Calefactor	1

Fuente: Autor.

7.2. PIEZAS A MANUFACTURAR

7.2.1. HUSILLO

Con el pasar del tiempo y los estudios realizados en base a flujo de polímeros, se ha determinado que el comportamiento del husillo es indispensable para el éxito en un sistema de extrusión.

Por lo que la tecnología se ha ido perfeccionando en la elaboración tornillos, para que este se ajuste a las propiedades que se pretenda dar al polímero.



Figura 7.1 Husillo diseñado para la extrusora de fabricación de manguera.

Fuente: Autor.

7.2.1.1. MATERIAL USADO EN LA MANUFACTURA DEL TORNILLO EXTRUSOR

Los tornillos con una relación aproximada a 14:1 proporcionan una mejor plastificación, ideales para una producción continua y prolongada, como en nuestro caso para la obtención de manguera.

El desgaste mecánico y la corrosión pueden hacer variar las dimensiones del tornillo, esto se agrava cuando se trabaja con plásticos compuestos, reforzados con fibra de vidrio el cual es un material bastante abrasivo. Las características para que los tornillos sean durables son:

- Buena resistencia de los filetes del tornillo.
- Buena resistencia frente a la abrasión causada por fibras y cargas minerales que puedan estar presentes.
- Buena resistencia química en contacto con los plásticos fundidos y gran dureza a la superficie incluso a elevadas temperaturas de trabajo.

Por lo que se ha utilizado el acero AISI 1050, por ser un acero que presenta una gran maquinabilidad, estabilidad dimensional en el temple y una buena dureza.

7.2.1.2. ALABES O FILETES

Los alabes o filetes, que recorren el husillo de un extremo al otro, son los verdaderos impulsores del material a través del cañón o barril. Debido a que el tornillo extrusor debe transportar al material. En la extrusora para fabricación de manguera el ángulo de los alabes es aproximadamente igual a 14° y un espesor longitudinal de 7.8mm.

7.2.1.3. ZONAS CARACTERÍSTICAS DEL HUSILLO

Para poder analizar un tornillo es necesario conocer las tres zonas por las cuales el material es obligado a pasar.

- **Zona de alimentación:** Se produce el transporte del material y se precalienta por el rozamiento entre granos.
- **Zona de compresión o plastificación:** La altura de los filetes del husillo se reduce progresivamente para compactar el material y expulsar el aire atrapado hacia la zona de alimentación.
- **Zona de dosificación o bombeo:** Contiene la boquilla, plato rompedor y otros accesorios para la obtención del perfil o la forma final del producto.

7.2.1.3.1. PROFUNDIDAD DEL FILETE EN LA ZONA DE ALIMENTACIÓN

En esta parte los filetes son bien pronunciados para transportar una mayor cantidad de material que entra por la tolva y la dirige al interior del cañón, mientras que el material esta sin fundir y posee aire atrapado entre el material, el materia tiene tendencia a girar pero le impide a fuerza de fricción.

La profundidad máxima en la zona de alimentación es de $0.2 \cdot D$ en tornillos que poseen un diámetro D igual o menor a 2.5 in. La tolerancia que existe entre el filete del tornillo y el cilindro δ varían de 0.1mm para D menores que 30mm y 0.15mm para D mayores que 30mm.

El tornillo extrusor seleccionado posee una profundidad aproximada de filete en la zona de alimentación igual a 10 mm y un diámetro de 59.7mm, por lo tanto dicha profundidad no excede el valor máximo recomendado ($0.2 \cdot D = 11.94mm$). La holgura radial entre el cilindro y el tornillo se mantiene en 0.15 mm.

7.2.1.3.2. PROFUNDIDAD DEL FILETE EN LA ZONA DE DESCARGA DOSIFICACIÓN

En la mayoría de los casos, es mucho menor a la profundidad de filete en la alimentación. Esto tiene como consecuencia la reducción del volumen en que el material es transportado, ejerciendo una compresión sobre el material plástico. Esta compresión es útil para mejorar el mezclado del material y para la expulsión del aire que entra junto con la materia prima alimentada.

En la máquina extrusora de fabricación de manguera, la profundidad de filete en la zona de descarga para el tornillo extrusor tiene un valor aproximado a 5 mm.

7.2.1.4. RELACIÓN DE COMPRESIÓN

La profundidad de los alabes no es constante, por lo que existe una relación entre la profundidad del filete en la alimentación y la profundidad del filete en la descarga, la cual se denomina relación de compresión. Este cociente es siempre mayor a uno y puede llegar incluso hasta 4.5 en ciertos materiales. La relación de compresión del tornillo es de 2.03.

7.2.1.5. LONGITUD

Tiene una importancia especial; influye en el desempeño productivo de la máquina y en el costo de ésta, al aumentar la longitud del husillo, también aumenta la capacidad de plastificación y la productividad de la máquina también incrementa la calidad de mezclado y homogeneización del material. De esta forma, en una camisa pequeña la longitud es suficiente para fundir el material al llegar al final de la misma y el plástico se dosifica mal mezclado. En las mismas condiciones, una camisa mayor fundirá el material antes de llegar al final y en el espacio sobrante seguirá mezclando hasta entregarlo homogéneo. La extrusora para fabricación de manguera posee un tornillo largo con una longitud superior a 1250 mm.

7.2.1.6. RELACIÓN L/D

Es una relación entre la longitud y el diámetro L/D; debe ser menor que 30 si es para extrusores de fundidos, aproximadamente igual a 25 si es para soplado de películas y mayor que 30 para extrusión con venteo para altas producciones. El tornillo tiene una relación aproximadamente igual a 14:1.

7.2.1.7. DIÁMETRO

Es la dimensión que influye directamente en la capacidad de producción de la máquina. A diámetros mayores, la capacidad en Kg/h es presumiblemente superior.

Al incrementar esta dimensión debe hacerlo también la longitud del husillo, ya que el aumento de la productividad debe ser apoyada por una mejor capacidad de plastificación.

Como consecuencia de la importancia que tienen la longitud y el diámetro del equipo, y con base en la estrecha relación que guardan entre sí, se acostumbre especificar las dimensiones principales del husillo como una relación longitud / diámetro (L/D).

Los diámetros del tornillo varían de 19.5mm hasta 609.6mm dependiendo de la aplicación, en algunos casos se han llegado a construir tornillos con diámetros de 900mm, estas extrusoras trabajan con un gran variedad de productos y a grandes velocidades de extrusión.

La máquina extrusora de Polietileno cuenta con un tornillo extrusor de diámetro igual a 59.7 mm. Este diámetro corresponde al diámetro exterior de los álabes o filetes.

7.2.2. EJE DEL HUSILLO

El sistema por el cual esta acoplado el husillo a la rueda dentada es por medio de un eje, este tiene un orificio con dos cuñeras para la sujeción del husillo con un diámetro de 60mm.

En el otro extremo tiene la cuñera para la sujeción de la rueda dentada grande con un diámetro de 58 mm y en la parte central tiene el maquinado ideal para unir el eje con el cilindro mediante los rodamientos de bolas y cónico.

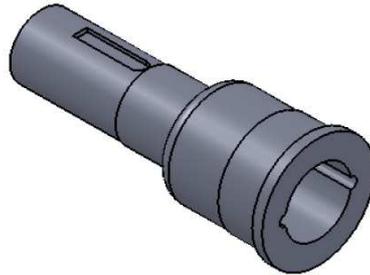


Figura 7.2 Eje de los rodamientos y husillo.

Fuente: Autor.

7.2.3. CILINDRO DE LOS RODAMIENTOS

El cilindro realiza el trabajo sujeción con los diámetros exteriores de los rodamientos de bolas y el de rodillo cónico además tiene un espacio para la lubricación de los rodamientos. El rodamiento de rodillos entra a presión en el orificio de diámetro 150 mm, mientras que el de bolas ingresa en el orificio de diámetro 130mm. Para unir el cilindro de rodamientos con el cilindro de tornillo se utilizara siete pernos de 15 mm de diámetro y en la parte trasera del cilindro se pondrá un tapa con cuatro pernos de 8mm de diámetro para evitar el contacto de los rodamientos con el polvo u otras suciedades.

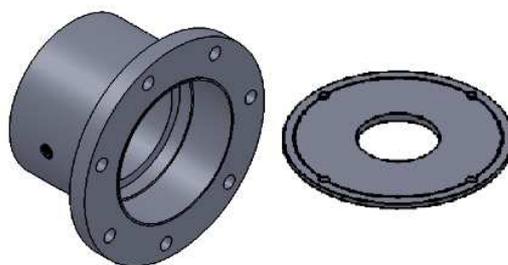


Figura 7.3 Cilindro porta rodamientos con su respectiva tapa.

Fuente: Autor.

7.2.4. CILINDRO CALEFACTOR

El cilindro calefactor consta de dos partes. La primera parte es en la cual ingresa el plástico mediante la unión del cilindro y la tolva con un mecanismo de sujeción, además consta de una cámara refrigeradora envuelta en el cilindro la cual va a circular el agua, el propósito de esta es para hacer permanecer a los rodamientos en una temperatura adecuada de trabajo libre de las zonas de calentamiento creadas por las resistencias.

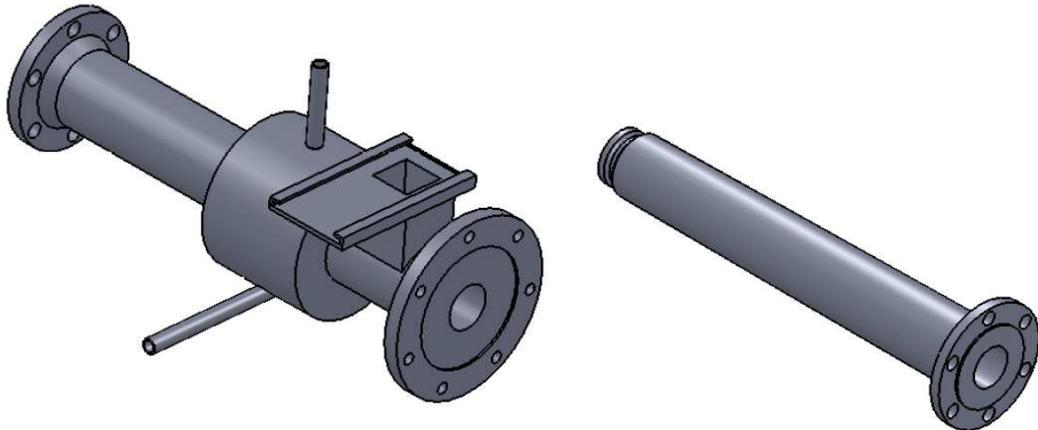


Figura 7.4 Partes del Cilindro calefactor.

Fuente: Autor.

La segunda parte tiene en la parte final ranuras para la unión del cilindro con la boquilla anular mediante una abrazadera. La unión de las dos partes del cilindro será mediante pernos de 20 mm de diámetro. En este cilindro van a estar envueltas las resistencias eléctricas para realizar la transferencia de calor hacia el plástico. Para la elaboración del cilindro se utilizó el acero AISI 1040 extruido en frío.

7.2.5. BOQUILLA ANULAR

La boquilla es el instrumento por el cual ingresa el aire para dar el diámetro interior de la manguera mientras el plástico sale de la boquilla después de haber pasado el plato rompedor.

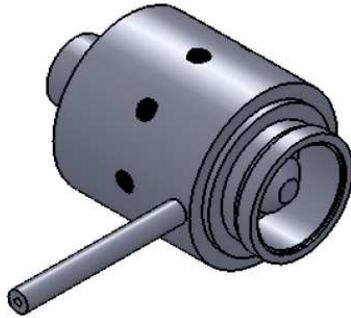


Figura 7.5. Boquilla anular.

Fuente: Autor.

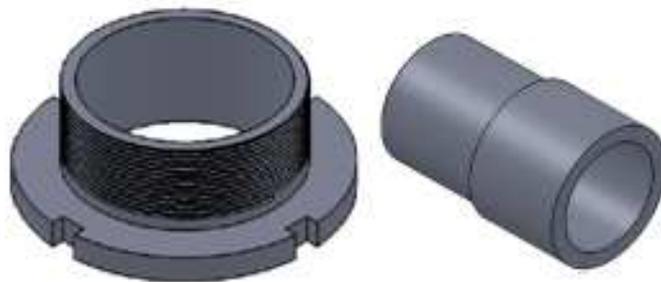


Figura 7.6. Anillo y tuerca de la boquilla.

Fuente: Autor.

Además este tiene un anillo con el cual da el diámetro exterior y este es sujetado con una tuerca especialmente diseñada para la boquilla. El encargado de la medida exacta de la manguera es el jalador controlado sus distintas velocidades de jalado.



Figura 7.7. Abrazadera.

Fuente: Autor.

7.2.6. EJE POLEA-RUEDA DENTADA

En este eje vamos a montar la rueda dentada pequeña para transmitir torque a la rueda dentada grande del eje del husillo y en el otro lado la polea grande que va a transmitir el impulso generado por el motor desde la polea pequeña. En los extremos se encuentra rodamientos que van a ser insertados en las chumaceras.



Figura 7.8. Eje montado rodamientos, polea y rueda dentada.

Fuente: Autor.

7.2.7. ESTRUCTURA BASE

Se ha diseñado esta estructura de tal manera que resista el peso y el movimiento sin ningún problema ya sea del motor como el del husillo y los elementos que ayudan a su funcionamiento. Tomando en cuenta la distancia entre centros de las poleas y ruedas dentadas como también los soportes para el cilindro calefactor y las chumaceras para el eje polea-cadena.

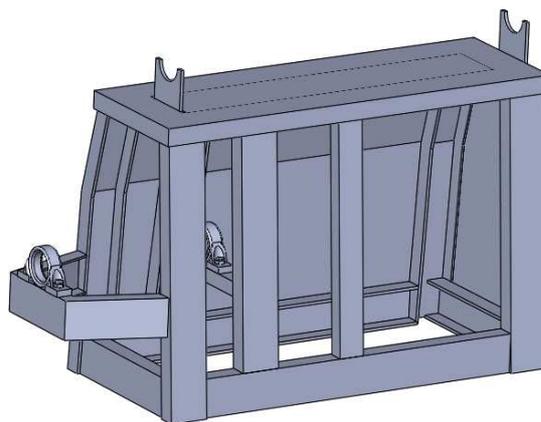


Figura 7.9. Estructura Base.

Fuente: Autor.

7.2.8. TOLVA

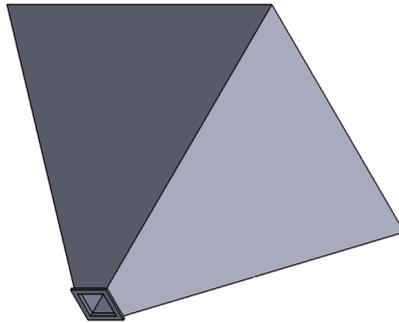


Figura 7.10. Tolva.

Fuente: Autor.

Es la encargada de ingresar el polietileno al interior del cilindro donde se encuentra el husillo, tiene un acople para insertarse en el cilindro calefactor, además tiene la capacidad de albergar en su interior más de dos horas de abastecimiento de polietileno para el proceso de extrusión y obtención de manguera.

7.3. PIEZAS A COMPRAR

7.3.1. MOTOR

El motor es la base de movimiento de la extrusora, la elección del motor se la realizo de acuerdo a la potencia necesaria para el proceso de extrusión. En este caso el motor es trifásico de 20 Hp y trabaja con 220 V.



Figura 7.11 Motor Trifásico.

Fuente: Autor.

7.3.2. RUEDAS DENTADAS Y CADENA

Las ruedas dentadas fueron diseñadas de tal manera que den la velocidad y el torque adecuado para un óptimo giro y empuje del material por medio del tornillo. Además de eso tiene las medidas correspondientes de acuerdo al eje donde van a estar sujetos. La primera rueda dentada es de 44 dientes con un diámetro de paso de 14 in con un espesor de 10 mm. La segunda rueda dentada consta de 12 dientes, un diámetro de paso de 3.86 in y un espesor de 10 mm. Las dos ruedas dentadas tienen una base torneada de acuerdo a la medida de la cuña con tornillo de sujeción. La cadena que se eligió es de acuerdo al paso de ruedas dentadas que es de 1 in y a la distancia entre centros de las ruedas dentadas y al número de dientes de cada una de estas que es de 72.5 in.

7.3.3. POLEAS Y BANDA EN V

Las tres bandas en V a utilizar es aproximadamente a 80 in donde va a estar una polea pequeña de 15/4 in y una polea grande de 18 in con una relación de transmisión de 0.2083 y una distancia entre centros de 22.77866 in para generar 366.66 rpm en el eje de la polea y rueda dentada. Las dos poleas son ajustadas por medio de tornillo de sujeción y diseñadas para la introducción de la las tres poleas en V por medio de las ranuras que dan la fricción deseada.

7.3.4. RODAMIENTOS DE BOLAS

Para el Eje de Pole-Rueda Dentada se utilizara dos rodamientos de diámetro interior de 1.25 in, un diámetro exterior de 3.125 in con un ancho de 0.875 in la descripción en el manual SKF es RMS 10. Para el rodamiento de bolas del Eje del Husillo se utilizara un rodamiento con diámetro interior de 2.3622 in, un diámetro exterior de 5.1181 in y un ancho de 1.2205 in la descripción es de 6312.



Figura 7.12. Rodamiento de Bolas.

Fuente: SKF.

7.3.5. RODAMIENTO DE RODILLOS CÓNICOS

En el Eje del Husillo se utilizara un rodamiento de rodillos cónicos de diámetro interior 2.7559 in, con un diámetro exterior 5.9055 in y un ancho de 2.126 in. En el manual SKF tiene la descripción de 32314 BJ2



Figura 7.13. Rodamiento de rodillos cónicos.

Fuente: SKF.

7.4. ENSAMBLAJE

La base siempre será el husillo por medio del cual se acoplara a el eje por medio de dos cuñas, en este eje se encuentran dos rodamientos (cónico y bolas) dentro de un cilindro que sirve como graseo y protección de los rodamientos.

Después se procede a insertar la rueda dentada grande en el eje y se sujeta con cuña y tornillo de sujeción.

Unimos las dos partes del cilindro calefactor con pernos, para luego insertar el husillo con los rodamientos, rueda dentada, cilindro que ya están acoplados al eje. Para también unir con pernos el cilindro con los rodamientos del husillo y el cilindro calefactor. La segunda etapa es subir en la estructura base el cilindro calefactor y también ajustar con pernos. Colocamos la boquilla al final del cilindro calefactor y ajustamos con la abrazadera, tomando en cuenta la posición deseada para la inyección del aire de la boquilla.



Figura 7.14. Eje montado rodamientos, rueda dentada y husillo.

Fuente: Autor.

Luego de terminar este proceso montaremos el eje que va a transmitir el torque y giro del tornillo (Figura 7.8), primero con la polea grande y después con la rueda dentada pequeña ambas sujetas por cuña y tornillo de sujeción.

Para poner en la estructura base ponemos el rodamiento de bolas en el eje e ingresamos en la chumacera después ingresamos el segundo rodamiento de bolas en la otra chumacera procurando que no haya juego en los componentes de este eje.

Comunicamos torque por medio de una cadena que va a estar en las ruedas dentadas.

En el exterior de la base se instalara el motor con la polea pequeña tomando en cuenta la distancia entre centros y el apriete adecuado para las tres bandas.

La finalización del ensamblaje de la parte mecánica termina con la tolva que es insertada en el acople del cilindro calefactor.

CAPÍTULO VIII

ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

8.1. COSTOS DEL PROYECTO

8.1.1 COSTOS DIRECTOS

8.1.1.1. COSTOS DE MATERIA PRIMA DIRECTA

Se considera materia prima directa aquella que interviene directamente en el producto final, es decir en la extrusora.

Tabla 8.1. Materia prima directa elementos mecánicos.

Ord.	Descripción	Cant.	Valor Unit.	Valor total
1	Tornillo (D=59,7mm-L=1400mm)	1	400.00	400.00
2	Camisa	1	500.00	700.00
3	Chavetas	6	6.66	40.00
3	Caja de rodamientos	1	50.00	50.00
4	Rodamiento de bolas	1	85.00	85.00
5	Rodamiento Cónico	1	70.00	70.00
6	Eje rodamientos	1	70.00	70.00
7	Motor 20 HP	1	800.00	800.00
8	Tolva	1	80.00	80.00
9	Estructura Base	1	250.00	250.00
10	Recubrimiento lata	1	80.00	80.00
11	Sueldas-ensamblaje	1	50.00	50.00
12	Boquilla	1	150.00	150.00
13	Piñón (12 dientes)	1	40.00	40.00
14	Piñón (44 dientes)	1	70.00	70.00
15	Cadenas y candados	1	50.00	50.00
16	Polea acanalada 3 bandas (D=15/4in)	1	30.00	30.00
17	Polea acanalada 3 bandas (D=18in)	1	60.00	60.00
18	Banda en V (L=80in)	3	25.00	75.00
19	Eje Transmisión banda-cadena	1	90.00	90.00
20	Rodamiento de bolas	2	35.00	70.00

21	Pintura	1	40.00	40.00
22	Compresor 1 HP	1	300.00	300.00
			SUBTOTAL	3650.00
			IVA 12%	438.00
			TOTAL	4088.00

Fuente: Autor.

Tabla 8.2. Materia prima directa elementos eléctricos.

Ord.	Descripción	Cant.	Valor Unit.	Valor total
1	Breack Schneider 6A	1	10.67	10.67
2	Breack Camsco 63A	1	23.80	23.80
3	Contactador LS 50A	1	62.80	62.80
4	Relé Térmico LS 34-50A	1	46.80	46.80
5	Breack LS 10A	1	11.80	11.80
6	Contactador LS 11A	1	14.80	14.80
7	Relé Térmico LS 7-10A	1	27.80	27.80
8	Breack LS 32 A	1	20.94	20.94
9	Contactador GMC32	1	39.42	39.42
10	Resistencia 600W	1	35.00	35.00
11	Resistencias 1000W	2	50.30	100.60
12	Resistencias 1400W	3	62.10	186.30
13	Pirómetros 48x48 EBC	3	69.46	208.38
14	Termocupla tipo J 2 metros	3	10.54	31.62
15	Selectores 2 posiciones Camsco	3	4.90	14.70
16	Bloques de contacto (NO-NC)	4	2.25	9.00
17	Pulsador Hongo retenido EBC	1	4.95	4.95
18	Luz piloto 220V verde 22mm	3	2.80	8.40
19	Luz piloto 220V amarilla 22 mm	3	2.80	8.40
20	Luz piloto 220V rojo 22 mm	1	2.80	2.80

21	Relés de estado solido	3	33.50	100.50
22	Disipadores de calor	3	32.74	98.22
23	Amperímetro Camsco	3	15.80	47.40
24	Transformadores para amperímetro	3	15.00	45.00
25	Riel Din	2	4.40	8.80
26	Canaleta Dexson Ranurada 25x40 Gris	2	4.90	9.80
27	Gabinete	1	80.00	80.00
28	Cable #10 flexible	6	0.86	5.16
29	Cable #12 flexible	20	0.62	12.40
30	Cable # 6 flexible	1	3.50	3.50
31	Cable # 6 x 3	5	9.00	45.00
32	Cable # 10 térmico	15	3.35	50.25
33	Terminal U Amarillo	40	0.13	5.20
34	Terminal U Azul	40	0.09	3.60
35	Terminal U Rojo	20	0.09	1.80
36	Termina Tipo Ojo	6	0.09	0.54
37	Prensa Estopa PG21 Negra	3	0.80	2.40
38	Prensa Estopa PG9 Negra	3	0.49	1.47
39	Prensa Estopa PG 12	1	0.60	0.60
40	Marcador Libretin Mixto	1	8.84	8.84
41	Base Adhesiva Camsco mediana	10	0.18	1.80
			SUBTOTAL	1401.26
			IVA 12 %	168.15
			TOTAL	1569.41

Fuente: Autor.

8.1.1. COSTOS DE MANO DE OBRA DIRECTA

La mano de obra directa es aquella que interviene en la fabricación de la extrusora, es el trabajo realizado en taller.

Tabla 8.3. Mano de obra directa.

Ord.	Descripción	Valor Unit.
1	Trabajo de sueldas	400.00
2	Trabajo Torno	500.00
3	Trabajo Eléctrico y Cables	150.00
TOTAL		1050.00

Fuente: Autor.

8.1.2. COSTOS INDIRECTOS

Son los costos de insumos y suministros que no son palpables en la extrusora una vez terminada.

Tabla 8.4. Costos Misceláneos.

Ord.	Descripción	Valor Unit.
1	Bibliografía	250.00
2	Útiles de oficina	200.00
3	Movilización, fletes y peajes	300.00
4	Otros	50.00
TOTAL		850.00

Fuente: Autor.

8.1.3. COSTO TOTAL

La máquina extrusora tiene el siguiente valor:

Tabla 8.5. Costo total.

Ord.	Descripción	Valor
1	Costos Materia Prima Directa	5657.41
2	Costos Mano de Obra Directa	1050.00
3	Costos Indirectos	850.00
TOTAL		7557.41

Fuente: Autor.

8.2. PROYECCIÓN DE INGRESOS

Para el siguiente análisis financiero se ha tomado en cuenta las siguientes consideraciones:

- Un Kg de plástico reciclado cuesta 0.30 USD
- El peso de 100 m de manguera negra de media pulgada oscila entre 12 Kg.
- La manguera negra comercialmente se la puede vender aproximadamente en 10 USD.
- La máquina extrusora tiene un capacidad de producción de 45 Kg/hora.

Realizando comparaciones en las siguientes comparaciones se tiene:

Ingreso anual por producción de manguera negra de media pulgada:

$$45 \frac{\text{Kg}}{\text{hora}} * \frac{1 \text{ rollo de manguera}}{12\text{Kg}} * \frac{10 \text{ USD}}{1 \text{ rollo de manguera}} * \frac{8 \text{ horas}}{1 \text{ día}} * \frac{20 \text{ días}}{1 \text{ mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}$$
$$= 72000 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

De acuerdo al análisis se tendría 72000 USD/año. Estos valores varían para cada periodo dependiendo de la inflación y el tiempo de vida útil del sistema, la máquina extrusora en 15 años.

La inflación anual en el Ecuador para el año 2011 fue de 5.41%¹⁴

Tabla 8.6. Proyección de Ingresos.

Año de operación	Valor USD
1	72000.00
2	75895.20
3	80001.13
4	84329.19
5	88891.40
6	93700.42
7	98769.61
8	104113.05
9	109745.57
10	115682.80
11	121941.24
12	128538.26
13	135492.18
14	142822.31
15	150549.00

Fuente: Autor.

8.3. ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN¹⁵

Para realizar el siguiente análisis se debe tomar en cuenta los siguientes factores:

- **Mano de obra directa:** Es la que interviene directamente transformando el material ya sea manualmente o accionando maquinaria.
- **Mano de obra indirecta:** Es la que interviene indirectamente para la fabricación de la máquina.
- **Gastos generales de fabricación:** Es aquellos egresos que intervienen para la elaboración del producto que se fabrica.

¹⁴ Índice de Inflación (2011).

¹⁵ Chilingua (2007).

La depreciación acelerada de maquinaria es del 5%.¹⁶

En la siguiente tabla se muestra el análisis de costos de implementación del proyecto.

Tabla 8.7. Análisis de costos de implementación de la máquina.

Análisis de costo			
Detalle	Cantidad (mensual)	Valor Unitario (USD)	Valor Total Anual (USD)
Costo del Servicio			
Sistema Eléctrico	1	550	6600
Materia Prima	1	2160	25920
Costos Indirectos	1	41.66	500
Terreno	1	150	1800
Total Materiales			34820
Mano de Obra Indirecta			
Transporte Materia Prima	1	70	840
Total de mano de obra indirecta			840
Total de costo de producción del servicio			35660
Gatos de fabricación			
Depreciación de equipos	1	377.87	377.87
Total de Depreciación			377.87
Mano de Obra Directa			
Mantenimiento	1	250	3000
Operación	1	1200	14400
Total Activo Diferido			17400
Total			53437.87

Fuente: Autor.

¹⁶ Tabla de vida útil (2002).

8.3.1. PROYECCIÓN DE COSTOS

Los costos de acuerdo a la inflación y a la vida útil de la máquina extrusora tiene la siguiente tabla:

Tabla 8.8. Proyección de costos.

Años	Total
1	53437.87
2	59376.25
3	62588.51
4	65974.54
5	69543.77
6	73306.08
7	77271.94
8	81452.36
9	85858.93
10	90503.9
11	95400.16
12	100561.3
13	106001.7
14	111736.4
15	117781.3

Fuente: Autor.

8.4. FLUJO DE CAJA

El flujo de caja es un indicador importante para medir la liquidez de un proyecto en un periodo determinado:

Tabla 8.9. Flujo de caja.

Año de operación	INGRESOS USD	COSTOS USD	UTILIDAD BRUTA USD
0	-7557.41	0.00	-7557.41
1	72000.00	53437.87	18562.13
2	75895.20	59376.25	16518.95
3	80001.13	62588.51	17412.62
4	84329.19	65974.54	18354.65
5	88891.40	69543.77	19347.63
6	93700.42	73306.08	20394.34
7	98769.61	77271.94	21497.67
8	104113.05	81452.36	22660.69
9	109745.57	85858.93	23886.64
10	115682.80	90503.9	25178.9
11	121941.24	95400.16	26541.08
12	128538.26	100561.3	27976.96
13	135492.18	106001.7	29490.48
14	142822.31	111736.4	31085.91
15	150549.00	117781.3	32767.7

Fuente: Autor.

8.5. EVALUACIÓN

8.5.1. TASA DE DESCUENTO

La tasa de descuento es una medida financiera que se aplica para determinar el valor en dinero de hoy del dinero pagado en un futuro.

Es necesario tomar en cuenta la tasa de interés del capital invertido.

Para este proyecto se estima que es un 5%.¹⁷

Tabla 8.10. Tasa de descuento.

Descripción	Valor	%	Tasa Ponderante
Inversión	-7557.41	100	5%

. **Fuente:** Autor.

Ecuación 8.1. Tasa de rendimiento medio.

$$TRM = (1 + TP) \cdot (1 + IF) - 1$$

Donde:

- **TP:** Tasa Ponderante.
- **IF:** Índice de inflación (5.41%).

Reemplazando:

$$TRM = (1 + 0.05) \cdot (1 + 0.0541) - 1$$

$$TD = 0.107 = 10.7\%$$

8.5.2. VALOR ACTUAL NETO (V.A.N.)

Es la rentabilidad en términos de dinero con poder adquisitivo presente y permite autorizar si es o no pertinente la inversión en el horizonte de la misma. Este indicador permite determinar si una inversión cumple con el objetivo financiero de maximizar la inversión, a

¹⁷ BNF (2012): Tasa de interés.

través de la suma actualizada de los flujos de caja que se espera generar a lo largo de la vida útil del proyecto.¹⁸

Ecuación 8.2. Valor Actual Neto.

$$VAN = \sum U_n (1 + cp)^{-m}$$

Donde:

- **VAN:** Valor Actual Neto.
- $\sum U_n$: Sumatoria de los saldos de caja para cada periodo.
- **n:** Periodo de análisis en años.
- **cp:** Costo del capital (10.80%).
- **m:** Año de Operación.

8.5.3. TASA INTERNA DE RENTABILIDAD (t.i.r.)

Es la tasa de descuento que hace que el V.A.N. de una inversión sea igual a cero.

Ecuación 8.3. Tasa interna de rentabilidad.

$$I = \sum U_n (1 + TIR)^{-m}$$

Donde:

- **I:** Inversión Inicial del Proyecto.
- $\sum U_n$: Sumatoria de los saldos de caja para cada periodo.
- **n:** Periodo de análisis en años.
- **TIR:** Tasa Interna de rentabilidad.
- **m:** Año de Operación.

¹⁸ Jácome, W. (2005).

8.5.4. RELACIÓN BENEFICIO COSTO

Es la relación entre los ingresos actualizados sobre los costos de inversión actualizados. A través de este indicador, se puede determinar cuáles son los beneficios por cada dólar invertido en el proyecto.

Ecuación 8.4. Relación Beneficio/Costo.

$$\text{Beneficio Costo} = \frac{\sum \text{Ingresos}/(1+i)^n}{\sum \text{Costos}/(1+i)^n}$$

Donde:

- i : tasa de descuento.
- n : año de operación.

Tabla 8.11. Indicadores de rentabilidad financiera.

Año de Operación	Costos Totales (USD)	Beneficios Totales (USD)	Factor de actualización	Costos actualizados (USD)	Beneficios Actualizados (USD)	Flujo neto de efectivo actualizados (USD)
0	0	-7557.41	10.7%	0.00	-7557.41	-7557.41
1	53437.87	72000.00	9.66%	48274.64	65043.28	16768.63
2	59376.25	75895.20	8.73%	54191.99	69268.63	15076.64
3	62588.51	80001.13	7.88%	57652.84	73692.32	16039.47
4	65974.54	84329.19	7.12%	61273.06	78319.72	17046.66
5	69543.77	88891.40	6.44%	65064.17	83165.54	18101.37
6	73306.08	93700.42	5.81%	69046.92	88256.33	19209.40
7	77271.94	98769.61	5.25%	73212.30	93580.55	20368.24
8	81452.36	104113.05	4.74%	77591.43	99177.98	21586.55
9	85858.93	109745.57	4.29%	82174.98	105036.71	22861.73
10	90503.9	115682.80	3.87%	86998.32	111201.94	24203.62

11	95400.16	121941.24	3.49%	92062.20	117674.63	25612.43
12	100561.3	128538.26	3.15%	97387.08	124480.95	27093.86
13	106001.7	135492.18	2.85%	102973,33	131621.30	28647.96
14	111736.4	142822.31	2.57%	108855.05	139139.35	3028.,29
15	117781.3	150549.00	2.33%	115033.93	147037.29	32003.36
Total	1250795.01	1594913.95		1191792.30	1519139.18	327346.87

Fuente: Autor.

Los indicadores financieros indican:

VAN = 327346.87

TIR = 217%

Beneficio Costo = 1.27%

Tomando en cuenta los valores anuales del proyecto se puede ver que la inversión inicial se recupera en los primeros 6 meses de trabajo.

CAPÍTULO IX

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA EXTRUSORA DE TORNILLO SIMPLE

9.1. OPERACIÓN

9.1.1. ENCENDIDO

Previo al encendido de la extrusora se deben tomar en cuenta las condiciones de operación.

La temperatura del ambiente debe encontrarse entre 15 y 45°C, la humedad del ambiente influye en la operación, ésta debe ser aproximadamente de un 20% a un 80% (humedad relativa HR).

La extrusora debe encontrarse lejos de lugares corrosivos e inflamables, lejos de solventes orgánicos y el lugar debe tener una alta iluminación.

El material a procesar debe tener las propiedades deseadas antes de ingresar a la tolva, la materia prima debe tener un 30% de polietileno de alta densidad y un 70% de polietileno de baja densidad más el protector UV que es el pigmento.

Procedimiento de encendido

1. La extrusora tienen un interruptor general en la parte externa del panel de control, antes de activar el interruptor todos los dispositivos de la extrusora; como resistencias, compresor, etc., deben estar apagados. Encender el interruptor general.
2. Activar los selectores para encender pirómetros de temperatura del sistema de extrusión, que se encuentran distribuidos en la extrusora verificando en el panel de control el amperaje de cada uno.
3. Verificar el sistema de enfriamiento con agua para impedir la fundición de plástico a la entrada de la tolva y el paso de temperatura hacia los rodamientos, esto puede reducir su vida útil.
4. Verificar en los pirómetros el valor correspondiente a la temperatura deseada a lo largo de la zona de calefacción.
5. Los sistemas de extrusión se ponen a calentar, hasta que llegan a la temperatura graduada en el pirómetro, aproximadamente de 40 a 60 minutos.
6. Cuando los sistemas de extrusión han alcanzado la temperatura de operación, esperar aproximadamente 10 minutos para asegurar cada temperatura.

7. Corroborar la dirección de rotación de cada motor antes de operar, para ello la extrusora ya debe haber alcanzado la temperatura de operación.

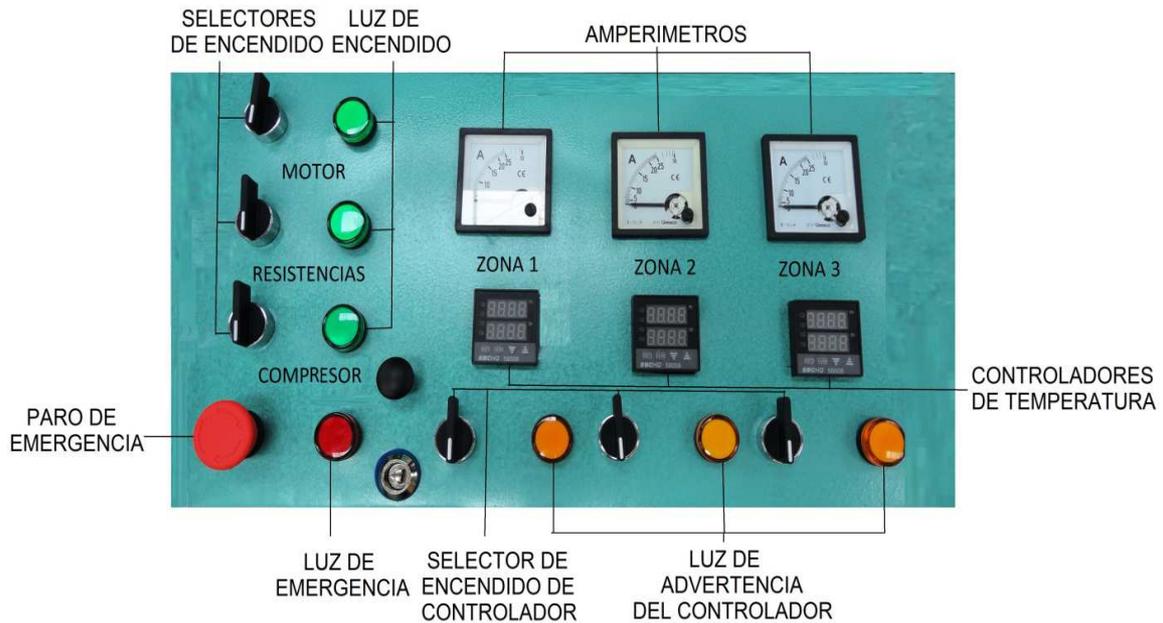


Figura 9.1. Tablero de control de la máquina extrusora.

Fuente: Autor.

9.1.2. ARRANQUE

Verificar que el material a utilizar sea el correcto y luego introducirlo en la tolva de alimentación, sin llenarla en su totalidad ya que pueden haber taponamientos y eso dificultaría actuar inmediatamente, si no los hay llenar la tolva y luego tapparla para que no caigan impurezas o sólidos dentro de la misma.

Encender el compresor tomando en cuenta que la velocidad de producción debe ser proporcional al volumen de aire soplado, los diferentes diámetros que se pueden obtener requiere regulación de la presión de aire del compresor.

Para una perfecta producción de manguera siempre mantenerse un equilibrio de soplado.



Figura 9.2. Interior del tablero de la extrusora.

Fuente: Autor.

Debe también corroborarse que el aire soplado sea constante en todo él alrededor del anillo y que no haya fugas de aire en los ductos, de lo contrario el espesor de la manguera no será el deseado.

Se enciende el motor. Este procedimiento se realizará luego que todos los sistemas de extrusión hayan alcanzado la temperatura de operación.

Nunca arrancar el motor principal si la extrusora está fría, es peligroso, ya que el material sólido residual que se encuentre dentro del cañón impedirá el movimiento del husillo y éste tenderá a quebrarse y a la vez dañar el cañón.

Si se observa que la película de polietileno no es homogénea o que la calidad de la película no es la que se espera, deben de regularse las temperaturas de la extrusora.

9.1.3. APAGADO

Para iniciar el apagado se debe hacer el siguiente procedimiento:

1. Sacar de la tolva la materia prima que ya no se procesará, colocarla en un saco e identificarla.
2. Cuando se observa a través de la tolva los hilos del husillo apagar los pirómetros, apagar el motor principal.
3. Apagar el compresor.
4. Apagar el interruptor principal.
5. Apagar la alimentación de agua.

9.2. MANTENIMIENTO

9.2.1. GENERALIDADES

Mantenimiento es una serie de trabajos que hay que realizar en alguna planta, sistema, equipo o maquinaria a fin de que se conserve y preste el servicio para el cual fue diseñado. El mantenimiento alarga la vida de una máquina y previene averías con anticipación suficiente para que éstas no se produzcan.

Una extrusora puede durar muchos años produciendo, pero esto dependerá de las condiciones de operación a las cuales sea sometida y de la calidad de mantenimiento que se le proporcione. Un buen mantenimiento implica aplicar un programa de inspecciones y servicios periódicos. Por lo que éste manual de usuario debe leerse completamente y debe diseñarse un programa de actividades de mantenimiento preventivo.

El mantenimiento es de suma importancia para el desarrollo óptimo de la producción, es necesario contar con toda la herramienta adecuada; y el personal encargado de realizar el mantenimiento debe ser lo suficientemente profesional y muy responsable a la hora de ejecutarlo, para evitar accidentes.

El mantenimiento preventivo se puede decir que es el método que se utiliza para la conservación planeada, teniendo como función conocer el estado de la máquina e instalaciones para programar en los momentos más oportunos y de menos impacto en la producción, las acciones que tratan de eliminar las averías que originan los paros forzosos. La finalidad del mantenimiento preventivo es eliminar en su máximo los mantenimientos correctivos, ya que éstos provocan paros repentinos de la maquinaria, provocando un impacto en la reducción de producción.

Un buen mantenimiento preventivo y eficiente reducirá costos, y los índices de producción serán más altos, además el costo por depreciación del equipo se reducirá y se alargara la vida útil de la maquinaria.

El programa de mantenimiento preventivo debe incluir los procedimientos de visitas, revisiones, lubricación periódica y limpieza.

Al mantenimiento preventivo también se le conoce como mantenimiento histórico, ya que está basado en la programación de rutinas de mantenimientos periódicos en tiempos predeterminados, en éste se pueden detectar mantenimientos correctivos, que deben programarse con anticipación para no impactar la producción. Es menos caro que el mantenimiento correctivo.

Luego del mantenimiento preventivo se presentan otros tipos de mantenimientos: el correctivo, predictivo y en algunas industrias el proactivo.

Al mantenimiento correctivo se le conoce también como mantenimiento histórico, se le llama así porque no hay tiempo de descanso debido a que la máquina ya falló o se averió, funciona bajo el principio donde la máquina ha fallado, este es el mantenimiento más caro.

El mantenimiento predictivo es otro de suma importancia, trata de predecir y está basado en los principios de que todas las máquinas dan alguna señal de su condición de operación normal y anormal a través del monitoreo de sus tendencias, por ejemplo temperaturas, presiones, flujos, análisis de vibraciones, análisis de lubricantes para cuantificar desgastes, termografía, etc.

Este mantenimiento monitorea condiciones operativas para cuantificar degradaciones o deterioros con respecto al tiempo.

Otro mantenimiento que en la actualidad se está volviendo de mucha aplicación y aún no es conocido por muchas industrias, es el mantenimiento proactivo, este utiliza la tecnología del análisis de origen de fallas, para llegar a la raíz del problema, no está enfocado a las reparaciones sino que a funciones de alto nivel de ingeniería, utiliza herramientas analíticas y de ingeniería integrando los mantenimientos preventivos, predictivo, y diagnóstico de fallas, con el propósito de identificar problemas ocultos para eliminar paros forzados debidos a fallas repetitivas y lo hace a través de las siguientes prácticas y actividades.

- Modificación del diseño y cambio de materiales de construcción o fábrica.
- Normas y criterios estrictos de aceptación de maquinaria.
- Estándares de precisión para la reparación, reconstrucción adquisición y montaje de maquinaria.
- El uso de modelos estadísticos, modelos dinámicos y sistemas expertos.

Mantenimiento preventivo

Para evitar los daños o la falla prematura del equipo, el mantenimiento deberá ser realizado únicamente por personal de mantenimiento calificado.

Cada sistema o cada parte de una extrusora debe mantenerse para alargar su vida útil, el mantenimiento preventivo se enfoca a lo que son visitas, revisiones, lubricación y limpieza periódica. Todo mantenimiento preventivo debe ser programado conforme a las horas de trabajo de la maquinaria, y debe realizarse en tiempos específicos en los cuales la producción no sufra ningún impacto.

Para comenzar se debe considerar primero que la instalación de la extrusora esté en el lugar apropiado, y que todos sus sistemas estén bien distribuidos, y en perfectas condiciones; ventilación, aire comprimido etc. La extrusora debe estar bien alineada y anclada, verificar que todos los ajustes sean precisos y estén alineados, una mala instalación o un mal alineamiento causará un gran impacto en la vida útil de la extrusora.

Puntos críticos del mantenimiento del sistema de extrusión: boquilla, cilindro calefactor, husillo o tornillo, sistema de reducción (Poleas y Cadena) y motor.

9.2.2. SISTEMA MOTRIZ

Es el encargado de proporcionar el movimiento en la extrusora, está conformado por un motor, Poleas, Ruedas dentadas.

9.2.2.1. MOTOR

El mantenimiento se debe realizar a cada 600 horas de operación o cada 3 meses lo que ocurra primero, antes de realizarlo debe desconectarse la máquina.

En general las operaciones de control y mantenimiento programadas se pueden subdividir en función del servicio en: control en servicio y mantenimiento ordinario, para los cuales no se requiere sacar de servicio los motores; revisión y controles periódicos, para los cuales es necesario sacar de servicio las máquinas.

La revisión prevé el desmontaje parcial o total o el cambio del motor e implica normalmente una interrupción programada de un determinado sector del servicio.

9.2.2.1.1. MÉTODOS DE INSPECCIÓN

Se debe iniciar por aquellas partes que, con base en la experiencia, son más propensas a experimentar daños o degradación como consecuencia de la naturaleza a que están sometidas las máquinas rotantes en servicio.

Para evitar que se dañe el equipo, asegurarse que el servicio eléctrico no exceda el amperaje nominal máximo del motor indicado en su placa, mantener el motor limpio y las aberturas para ventilaciones despejadas, verificar que la relación de poleas sea la especificada.

Alinear cuidadosamente las poleas a manera de minimizar el desgaste de la correa y las cargas de cojinetes axiales. La tensión de la correa deberá ser la necesaria para impedir el deslizamiento bajo velocidad y carga nominal, una tensión apropiada es dejar que la correa tenga un juego de una pulgada entre su nivel y un estiramiento que se produzca manualmente. La correa no se debe sobretensionar ya que durante el arranque se pueden producir deslizamientos.

El régimen de servicio y la máxima temperatura ambiente se indican en la placa de fábrica del motor. El exceso de calentamiento del motor disminuye la eficiencia del mismo.

Procedimientos para la revisión y control del motor, para ello es necesario sacarlo de servicio.

1. Verificar si el interior y exterior del motor se encuentran libres de suciedad, aceite, grasa, agua, etc. Puede haber acumulación de pulpa de papel, pelusas textiles, vapores aceitosos, etc., que bloquea la ventilación del motor, revisar carbones, cepillos, rodamientos y ajuste. Si el motor no está debidamente ventilado, puede haber recalentamiento y provocar la falla prematura.
2. Si posee un ventilador se debe corroborar que la dirección de movimiento sea la correcta, las especificaciones del motor que se encuentran en su lado exterior no deben borrarse cuando se esté limpiando, se deben remover todas las partículas de polvo, manchas de quemadura y grasa o aceite, para ello se puede utilizar lija fina.
3. Observar que el inducido no esté torcido y que esté alineado, para ello se pone a funcionar el motor cuando no esté sometido a trabajo y se observa que el eje no

cabecee y que su giro sea continuo, se debe observar que el eje del inducido ajuste perfectamente con la polea caso, el cuñero debe estar en perfectas condiciones, por último verificar que funcione el regulador de velocidad.

4. Use periódicamente un megóhmetro para asegurar que se haya mantenido la integridad del aislamiento en los devanados.
5. Revisar todos los conectores eléctricos asegurarse que estén bien apretados.

9.2.2.1.2. TÉCNICAS DE LIMPIEZA

Se deben realizar también trabajos de limpieza de los canales radiales y/o axiales de ventilación, que tienen fundamental importancia para asegurar que la circulación del fluido de refrigeración es la prevista.

Esta limpieza se debe realizar mediante aspiración para remover partículas carbonosas o polvo, completando la misma con soplete de aire a una presión limitada para evitar dañar el aislamiento.

El uso indebido de solventes puede causar más daño que ventajas y provocar costosas reparaciones. Las normas dan indicaciones al respecto y aconsejan consultar al fabricante que tipo de solvente utilizar, pero no es necesario su uso, basta con una limpieza con aire a presión.

Luego de proporcionarle el mantenimiento al motor se debe verificar que sus componentes no vibren, que no se sobrecaliente la carcasa y que el ventilador lo esté enfriando. Las vibraciones se pueden detectar por medio de ultrasonido, análisis infrarrojo, inspección auditiva, visual y al tacto; el calentamiento de la carcasa se puede detectar por tacto y mediciones con termómetro.

9.2.2.2. SISTEMA DE REDUCCIÓN

9.2.2.2.1. RODAMIENTOS

Revisar el rodamiento que se encuentre perfectamente ubicado, engrasado y sin gimotear. También se debe controlar la temperatura de los mismos ya que una temperatura elevada quita la grasa del rodamiento y comienza a desgastar las bolas o rodillos.

Los rodamientos deben reemplazarse cada 4800 horas si ya ha cumplido su vida útil.

Las chumaceras se deben engrasar y los castigadores de los rodamientos se deben reapretar equitativamente, si hubiese huelgo o juego entre el eje y el rodamiento de la chumacera, el eje se debe mandar a rectificar.

9.2.2.2.2. CORREAS DE TRANSMISIÓN

Una transmisión que ha sido bien instalada y mantenida trabajara pareja y suavemente.

Para una inspección detallada debe seguirse los siguientes pasos:

1. Mientras la transmisión este en operación estar atento a sonidos anormales o vibraciones.
2. Asegurarse que las cubiertas de protección estén libres de suciedad o escombros adquiridos durante la operación. Limpiarlos correctamente. Si las cubiertas llegaran a estar atascadas esto detendrá la disipación del calor y podría recalentar la transmisión a una temperatura mayor de la recomendada. Un incremento en temperatura puede reducir la duración de la correa considerablemente.
3. Revisar fugas de aceite o grasa en la transmisión de transmisiones y que lleguen a estar en contacto con las correas. Esto puede afectar la composición del caucho en las correas logrando fallas prematuras.
4. Verificar que las transmisiones estén correctamente montadas y firmes. Vibraciones en las transmisiones pueden significar exceso de fuerza aplicado en las correas llegando a causar fallas prematuras en las correas.
5. Se debe inspeccionar cada 24 horas. Es muy importante que la revisión frecuente se debe realizar los primeros días hasta que toda señal de estiramiento haya sido eliminado. Por consiguiente obtener una correa de larga duración. Las correas nuevas nunca deberán ser instaladas sin antes revisar e inspeccionar las poleas. Limpiar las poleas de las correas que han sido removidas usando un cepillo de cerdas. Esto debe hacerse suavemente no se debe pretender arañar o refregar las poleas ya que esto dañara las cavidades de la polea y así también más tarde dañara la correa.
6. Buscar por deshilachas o material de uso en las correas esto puede indicar su reemplazo.
7. Instalar correas nuevas en las transmisiones mientras que estas no estén bajo tensión. Nunca forzar las correas a una transmisión usando un destornillador o similar. Esto dañara los cordones de la correa y también dañara las cavidades de las poleas. Rotar las transmisiones a mano .Esto ayudara las correas a asentarse mejor.

9.2.2.2.3. CADENAS

Las causas principales de los fallos de funcionamiento de las transmisiones por cadenas son:

1. Desgaste de las articulaciones: Es la causa principal de fallo de las transmisiones por cadenas. Provoca su alargamiento durante su funcionamiento, desgastándose principalmente los pasadores, los casquillos y rodillos.
2. Con el tiempo de explotación, el paso de la cadena aumenta hasta que los eslabones entran indebidamente en los dientes de la rueda, surgiendo el peligro de alterarse el engrane y de que salte la cadena de las ruedas.
3. Si el ajuste prensado de los pasadores y casquillos con los agujeros de las placas está mal ejecutado, estos elementos darán vueltas en los sitios de ajuste, con intensificación del desgaste de las piezas.
4. Aunque puede ser un deterioro detectado en un solo eslabón, esta pérdida de la interferencia entre el pasador y/o casquillo con la placa hará que la cadena trabaje mal.
5. Evitar la acumulación de suciedad y materias extrañas entre dientes.
6. En las transmisiones por cadenas una correcta y efectiva lubricación evita el excesivo desgaste de las articulaciones y es quizás el factor con más influencia en la vida útil de las cadenas.

9.2.3. SISTEMA ELÉCTRICO

El sistema eléctrico se refiere al panel de control y dispositivos eléctricos de la extrusora, en el interior del panel de control se encuentran contactores, bobinas, pirómetros, SSR, tarjetas electrónicas, fusibles, cableados que distribuyen corriente a los componentes externos de la extrusora, termocuplas y dispositivos electrónicos.

El panel de control se debe limpiar a menudo por dentro y por fuera, para la limpieza interna debe interrumpirse el suministro de corriente (desactivar el Interruptor general), para evitar accidentes; si se utiliza aire para soplar éste debe estar libre de impurezas y humedad, se debe corroborar que todos los cables tengan sus respectivas terminales en buen estado, si hay algún empalme verificar que se encuentre en perfectas condiciones y con su respectivo material aislante.

Revisar el estado físico de los pirómetros, SSR y contactores, remover todas las partículas de polvo e impurezas, utilizar líquido limpia contactos electrónicos, en ciertas partes del panel de control se debe utilizar un cepillo fino de cerdas suaves o brocha para remover

partículas que estén muy adheridas a las superficies, con el cuidado de no dañar ningún dispositivo, luego limpiar con un paño seco y soplar con aire comprimido en spray.

Se debe revisar que las resistencias de calentamiento tengan un buen contacto con la superficie a calentar, debido a que un mal contacto proporcionará una lectura errónea en el pirómetro y además la misma se puede dañar. Se debe chequear que el voltaje de suministro sea el correcto, y que las terminales estén bien ajustadas a la resistencia.

Revisar la trayectoria de todos los cables corroborando que ninguno esté cortado o dañado para evitar cortocircuitos, además se deben revisar los contactos y limpiarlos.

Las termocuplas deben estar ajustadas en los contactos y libres de impurezas, de lo contrario tomarán una lectura errónea, el forro de la misma debe estar en perfectas condiciones.

El alambre que alimenta a las resistencias con corriente debe estar forrado con un material protector para altas temperaturas.

9.2.4. SISTEMA DE EXTRUSIÓN

Éste se subdivide en cilindro calefactor, husillo, filtros y boquilla.

9.2.4.1 CILINDRO CALEFACTOR

Debe verificarse el diámetro del cilindro calefactor cada vez que se realice el mantenimiento, midiéndolo y anotando las dimensiones obtenidas (Figura A8.2). Observar desgastes o astillamientos, el intervalo de mantenimiento del cilindro se debe realizar cada 2500 horas de operación, el interior se debe limpiar y revisar con una lámpara, revisar las juntas de la salida y rectificarlas si es necesario. Cada vez que se reemplace el cilindro calefactor también se debe reemplazar el husillo.

Cuando el desgaste del cilindro haya sobrepasado las especificaciones del deberá cambiarse junto con el husillo, ya que la producción tiende a reducirse por el desgaste, ocasionando pérdidas. El procedimiento es el mismo cuando el husillo o tornillo es el desgastado, la holgura que debe tener el cañón con las hélices del tornillo debe estar entre 0.10 y 0.15 mm, un ajuste más preciso sería muy difícil de fabricar y desarrollaría más calor debido a la fricción, y tolerancias mayores son sinónimo de desgaste y deben cambiarse ambos.

Deben de controlarse las temperaturas en su longitud y zona de alimentación, pero éstas pueden varear dependiendo de la calidad de la materia prima y de los aditivos que se utilicen.

9.2.4.2. HUSILLO

El mantenimiento del husillo es básicamente casi el mismo que el del Cilindro calefactor se deben medir las hélices para verificar desgastes, el desgaste es importante dependiendo la zona en que se encuentre. Debe limpiarse y verificar que no tenga astillamientos, el periodo de mantenimiento también se realiza cada 2500 horas de operación y el control de desgaste se debe llevar en un cuadro igual al de control de desgaste del cilindro calefactor.

Se recomienda pulir el husillo con pasta de pulir para eliminar sustancias carbonosas, y si se almacena porque no será utilizado, se debe guardar en lugares libres de humedad para evitar corrosión, lubricarse con cualquier tipo de aceite o grasa y envolverse en plástico.

9.2.4.3. FILTRO

Éste y los portamallas deben estar limpios, se deben proteger de la corrosión y revisar las juntas. Calibrar los pirómetros para una correcta temperatura, el tamaño de las mallas debe ajustar bien al filtro y deben estar instaladas en una posición correcta. Los tamices deben cambiarse cada 160 horas de operación, aunque los cambios pueden variar dependiendo de las condiciones de producción y operación.

9.2.4.4. BOQUILLA

Limpiar las superficies externas periódicamente, remover partículas de mota que se forman en el proceso, limpiar periódicamente el anillo por donde sale la manquera con espátulas de bronce, cobre o latón para no dañar superficies cada 24 horas. Aplicar grasa para altas temperaturas en las roscas de los tornillos de calibración para que no se peguen, se debe utilizar una grasa resistente para altas temperaturas a base de litio, las roscas de los acoples también deben engrasarse, verificar termocuplas y cables de alimentación de corriente, las piezas internas del molde se pueden pulir para eliminar impurezas o corrosión, chequear fugas de material, corroborar las conexiones de las resistencias.

9.2.4.5. LIMPIEZA DEL SISTEMA DE EXTRUSIÓN

Se recomienda que cada 2500 horas de operación se limpie completamente el sistema de extrusión conjuntamente con la boquilla, ya que en éstos se acumula polímero oxidado,

especialmente en las paredes. Estos residuos traen consecuencias como; velocidad baja del husillo, película ponzoñosa, puntos gelatinosos, partículas oxidadas, y el tubo de película se reventará constantemente.

Estos síntomas indican que el sistema está sucio, entonces debe desarmarse el cilindro calefactor, husillo, filtro, molde y limpiarse correctamente, cuando su temperatura está elevada ya que el trabajo se facilitara.

Los intervalos de mantenimiento del sistema de extrusión deben realizarse tomando en cuenta las condiciones a las que está sometido, y al tipo de materia prima que se está procesando.

Procedimiento de limpieza

Cuando ya se haya tomado la determinación o cuando según el programa de mantenimiento el sistema de extrusión deba limpiarse, se recomienda el siguiente procedimiento.

1. Sacar la materia prima de la tolva, no permitir que la máquina funcione sin suministro de materia prima.
2. Apagar el motor
3. Poner a calentar la máquina a unos 275 °C, durante 10 minutos, para facilitar el desarme de la misma.
4. Apagar los pirómetros.
5. Desactivar todos los interruptores e incluso el interruptor general.
6. Cortar el enfriamiento con Agua.
7. No esperar que la extrusora se enfríe, al contrario trabajar lo más rápido posible para aprovechar el calentamiento de las piezas para facilitar el desarme, utilizar guantes, y equipo de seguridad industrial.
8. Desconectar dispositivos eléctricos: termocuplas, y cables de alimentación de corriente en las resistencias, numerando las posiciones de cada uno.
9. Retirar el anillo.
10. Retirar la boquilla desarmarla y aprovechar a limpiarla, con espátula de cobre o latón, luego con un cepillo de bronce (no utilizar lija).
11. Retirar el filtro y límpiolo.
12. Retirar el husillo de la parte interna del cañón y limpiarlo. No utilizar herramienta que pueda rayar las partes de la extrusora.

13. Luego de remover toda la resina en molde, cañón, filtro y husillo pulir las piezas con lana de bronce.
14. Lubricar el husillo con una capa delgada de grasa si decide no utilizarlo durante cierto tiempo y guardarlo en áreas libres de humedad para evitar corrosión.
15. Remover la suciedad de todas las resistencias y revisar que el contacto sea efectivo.
16. Las piezas internas de la boquilla en especial el espiral, se deben pulir con pasta para eliminar residuos carbonosos.
17. Los tamices deben cambiarse.
18. Armar.
19. Conectar cables y termocuplas.

9.2.5. SISTEMA DE SOPLADO

Se debe considerar el mantenimiento del compresor que suministra el aire comprimido según las especificaciones de fabricante. Chequear fugas en las tuberías, purgar la trampa de condensado y revisar que se encuentre en buen estado, revisar manómetros, limpieza de los accesorios, chequeo de la llave de bola, al compresor se le debe realizar su cambio de filtro de lubricante, aire, lubricante según las especificaciones del fabricante y verificar que el aire esté libre de contaminantes. El programa de mantenimiento preventivo se encuentra en el Anexo.

CAPÍTULO X

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1. CONCLUSIONES

1. La principal variable a controlar es la temperatura por medio de los pirómetros en las tres zonas del cilindro calefactor: zona de alimentación, zona de transición y zona de dosificación deben tener la temperatura correcta para la producción de manguera, no mayor a 290° porque el polietileno se descompone.
2. El aislamiento de las resistencias eléctricas con asbesto disminuye las pérdidas de calor alrededor del cilindro y por lo tanto ayuda a disminuir el consumo de energía. Así mismo como el control de los pirómetros por histéresis a los SSR reduce las pérdidas por picos que tiene un control On-Off normalmente utilizado.
3. El motor utilizado es de 20 hp, tiene un factor de seguridad de 2.94, su velocidad es de 1760 rpm por lo que se ha diseñado un sistema de transmisión de bandas y cadena, permitiendo obtener a la salida una velocidad de 99 rpm aproximadamente necesaria para el proceso de extrusión.
4. La capacidad de extrusión de la máquina es de 45 kg/h aproximadamente, lo que nos permite calcular una producción de 3.75 rollos de 100 metros de manguera negra de 12 kilogramos en una hora de trabajo con el cual calculamos el ingreso anual de 72000 dólares que variara anualmente de acuerdo al índice de inflación.
5. La potencia de las seis bandas calefactoras de (87.8, 44.4, 49.1, 37, 36.8 y 35.6) ohmios es de 6609.94 W si consideramos las perdidas por radiación que es de 482.24 W, las perdidas por convección que es de 13.47 W podemos obtener la potencia neta real del sistema que es de 6114.68 W con el cual podemos hacer la elección de los componentes de control y su consumo de energía.
6. El husillo o tornillo fue elaborado mediante un torno de precisión con el cual se pudo dar las siguientes características de acuerdo al diseño requerido como su diámetro de 59.7 mm, la zona de alimentación es de 230 mm, la zona de transición es de 300 mm y la zona de dosificación de 330 mm dándonos una distancia total incluyendo su muñón y su parte muleteada de 1400mm.

7. Los materiales utilizados como el AISI 1040 extruido en frío, AISI 1050 extruido en frío y AISI 1050 rolado en caliente presentan una gran maquinabilidad, estabilidad dimensional al calor, dureza, facilidad de soldadura necesaria para la manufactura de piezas como el husillo, cilindro calefactor, boquilla, etc.
8. El proyecto permite evidenciar la factibilidad de producción de manguera de 1/2" para cableado eléctrico, contribuyendo a la reutilización de desechos sólidos plásticos, de acuerdo al estudio financiero realizado obtenemos que el V.A.N es de 327346.87, la T.I.R. es de 217 % y la relación de beneficio costo es de 1.27% en los 15 años de su vida útil, indicándonos que proyecto es rentable y factible.
9. En el eje del husillo y cilindro para los rodamientos se ha utilizado un rodamiento de bolas que soporta una carga radia de 688.81 libras y un rodamiento cónico es para resistir la fuerza axial de 659.23 libras y una fuerza radial de 50.69 libras generada por el peso y empuje de material que realiza el husillo y la fuerza de la rueda dentada grande.
10. La creciente utilización de plásticos ha generado a nivel mundial un cierto interés para el reciclaje de los mismos, estudios realizados demuestran que Japón lidera por un buen trecho la lista con 77% de reciclaje de sus desechos, el Reino Unido recicla la mitad de esa cifra y Estados Unidos tan solo un 20%. El Ecuador está empezando campañas de reciclaje y no llega ni al 1% por lo que es necesario implementar sistemas de transformación de desechos plásticos a productos útiles.

10.2. RECOMENDACIONES

1. Es necesario poner un motoreductor aproximadamente de 6.8 hp que es la potencia necesaria para el proceso de extrusión ya que el utilizado esta es de 20 hp esto reduciría el consumo de energía eliminando sus partes móviles como poleas y ruedas dentadas que tienden a desgastarse, facilitando su mantenimiento.
2. La implementación de un variador de frecuencia para el motor de 20 hp ayuda a controlar la dosificación del polietileno lo que facilita la producción de diferentes perfiles que se puedan obtener por procesos de extrusión y necesiten menos caudal de plástico como el que entrega a los 60Hz que es de 45 Kg/h.

3. El polietileno debe pasar por un proceso previo a la extrusión llamado aglutinado el cual trocea significativamente el polietileno y lo calienta mediante fricción a una temperatura de 70 grados centígrados, reduciendo el esfuerzo del tornillo de la extrusora y a su vez el del motor produciendo una mejor terminación a la producción de manguera.
4. La alimentación de polietileno debe ser contante ya que la dosificación de la extrusora es de 45 kg/h y para que la producción de manguera sea continua siempre debe controlarse esta variable. El polietileno introducido en la tolva como materia prima debe tener la menor cantidad de impurezas, esto influirá en el producto terminado.
5. La mezcla de polietileno de alta y baja densidad debe ser la adecuada para tener las propiedades mecánicas requeridas en este tipo de manguera. En este caso de a utilizado 70% de polietileno de baja densidad y un 30% de polietileno de baja densidad mas el protector UV o pigmento de acuerdo a las necesidades.
6. El análisis económico realizado es considerando que los 600 rollos de manguera van a ser vendidos mensualmente la venta de estos rollos influye directamente en este análisis, así mismo como su precio estimado de 10 usd por cada rollo de 100 metros de manguera que va a oscilar entre 10 y 12 usd de acuerdo a sus propiedades físicas y mecánicas.
7. La cantidad mínima de producción en la que no hay perdidas es de 500 rollos de manguera, que es aproximadamente a 5000 usd, si tenemos un costo de implementación de la máquina de 4453.15 usd mensuales, cada rollo se va a vender a 10 usd con un peso de 12 Kg.
8. El compresor debe dosificar con aire a aproximadamente unas 15 libras de presión pero esto cambia de acuerdo al diámetro de la manguera que se va a producir y a el espesor de la pared, hay que tomar en cuenta que mientras más ancha sea la pared entra mayor material y disminuye el diámetro interior cambiando el precio y la cantidad de producción.

Bibliografía

1. Beltrán, Isabel (2001): Tecnología de polímeros. Primera Edición. Universidad de Alicante, España. Disponible en: <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>
2. BNF (2012): Tasa de interés. Banco Nacional del Fomento. Disponible en: https://www.bnf.fin.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=16%Itemid=17#información
3. Carranza Lenin (2004): Programa de Operación y mantenimiento de extrusoras, para la manufactura de bobina plástica a base de Polietileno. Tesis Ing. Mecánica, Universidad de San Carlos Guatemala. Facultad de Ingeniería, Guatemala.
4. Carrasquero, Francisco (2004): Fundamentos de polímeros. Primera Edición. Editorial Smart Service. Mérida 5101 Venezuela, Universidad de Los Andes. Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/16700/1/polimeros.pdf>
5. Correas en V: Tipos de correas en V. Disponible en: polmangueras.com
6. Dunlop: Mantenimiento de poleas de transmisión Disponible en: <http://www.distrivelez.com/images/correasdetransmision.pdf>.
7. EA: Electricidad y Automatismos. Nichese. Disponible en: <http://www.nichese.com/tri-trian.html>.
8. EPSD (2003): La extrusión de Materiales Poliméricos. Escuela Politécnica Superior D'Alcoi. Valencia, España. Disponible en: <https://www.upv.es/bin2/caches/miw/visfit?id=510532&idioma>
9. Estrada Mario (1994): Guía de operación para la extrusión de película de polietileno. Tesis Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala.
10. Frank P. Icropera (1996): Fundamentos de transferencia de calor. Cuarta edición. Editorial Prentice Hall Hispanoamérica S.A., México.
11. Gaylord, Mark (1968): Encyclopedia of Polymer Science and Technology.Vol.14. Editorial John Wiley & Sons Inc. USA.
12. Gómez, J. y Gutiérrez, J. (2007): Diseño de una extrusora para plásticos. Facultad de tecnologías, Universidad tecnológica de Pereira, Risaralda, Colombia.
13. IE: Instalaciones Eléctricas. Sribd. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/51508573/Calibres-de-cables>.
14. Índice de Inflación (2011): Banco Central del Ecuador Disponible en: http://bce.fin.ec/resumen_ticker.php?ticker_value=inflacion.
15. INEN (1989): Código de dibujo Técnico-Mecánico. Quito, Ecuador.

16. Jácome, W. (2005): Bases teóricas y practicas para el diseño y evaluación de proyectos productivos y de inversión. Editorial Universitaria. Ibarra, Ecuador.
17. León Juan (1995): La máquina para el proceso de extrusión y soplado de plásticos. Tesis Ing. Mecánica., Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala.
18. LS: Catálogos LS industrial systemsDirect Industry Disponible en:<http://pdf.directindustry.es/pdf/ls-industrial-systems-19851.html>.
19. Mac Donald, Fox (1970): Mecánica de Fluidos. Segunda edición. Editorial Mc Graw Hill México.
20. Maldonado, M. y Medina G. (2008): Diseño y construcción de una maquina extrusora con capacidad de 1 Kg/h, diseño del proceso y diseño del producto para el reciclaje mecánico del PET. Tesis Ing. Mecánica, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolqui, Ecuador.
21. MCI: Medición y Control Industrial. Sapiensman. Disponible en: http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas.htm.
22. Moscoso, Alonso (2011): El reciclaje. Ilustre Municipio de Ibarra. Ibarra, Ecuador.
23. Mott, Robert L. (1995): Diseño de elementos de Maquinas, Segunda edición. Editorial Prentice hall Hispanoamérica S.A., México.
24. Palacios, O. y Ramírez, J. (1992): Diseño y construcción de una máquina extrusora por tornillo para material plástico. Tesis Ing. Mecánica, Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, Ecuador
25. Pitts D-Sissom L.(1979): Transferencia de Calor. Colección Schaum, 1era Edición, Editorial Mc Graw Hill.
26. PP (2005): Propiedades del Polietileno. Textos científicos. Disponible en: <http://www.textoscientificos.com/polimeros/polietileno/propiedades>
27. Röben, Eva (2003): El Reciclaje. Primera Edición. Ilustre Municipalidad de Loja. Loja, Ecuador. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/91605874/Roben-Eva-Reciclaje>
28. Salazar Jefferson (2002): Diseño y construcción de una línea de extrusión y peletizado para polietileno de alta densidad y Polipropileno. Tesis Ing. Mecánica. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
29. Savgorodny, V. (1981): Transformación de Plásticos, segunda edición, Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona, España.
30. SKF: Catalogo interactivo de Rodamientos. Disponible en: <http://www.skf.com/portal/skf/home/products?maincatalogue=1&newlink=1&lang=es>.

31. SSR: Guía Rápida Relés de estado Solido. Reitec. Disponible en:
<http://www.reitec.es/web/descargas/reles.pdf>.
32. Tabla de vida útil (2002): Nueva tabla de vida útil de los bienes físicos del activo inmovilizado. Disponible en:
<http://TABLA%20DE%20VIDA%20UTIL%20DE%20LOS%20BIENES%20FISICOS%20DEL%20ACTIVO%20INMOVILIZADO.html>
33. TP (2011): Tecnología de los Plásticos. Disponible en:
http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011_05_01_archive.html
34. WEL: Wikipedia la enciclopedia libre. Disponible en:
<http://es.wikipedia.org/wiki/Amper%C3%ADmetro>.

ANEXO 1
EL RECICLAJE

DESECHOS GENERADOS EN LA CIUDAD DE IBARRA 2011-2012

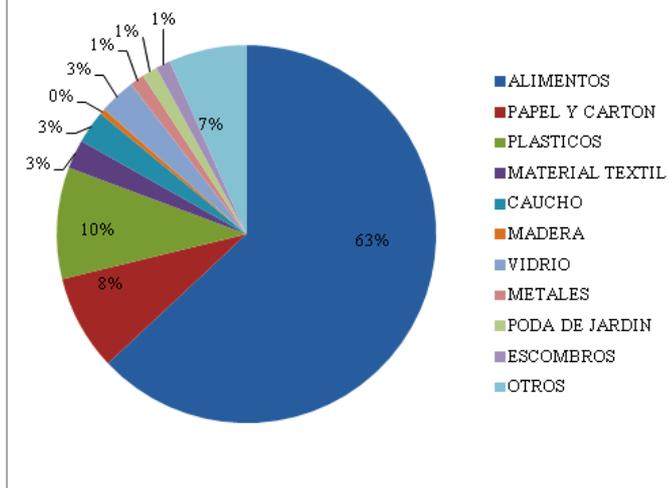


Diagrama A1.1. Principales materiales para el reciclaje en la Ciudad de Ibarra.

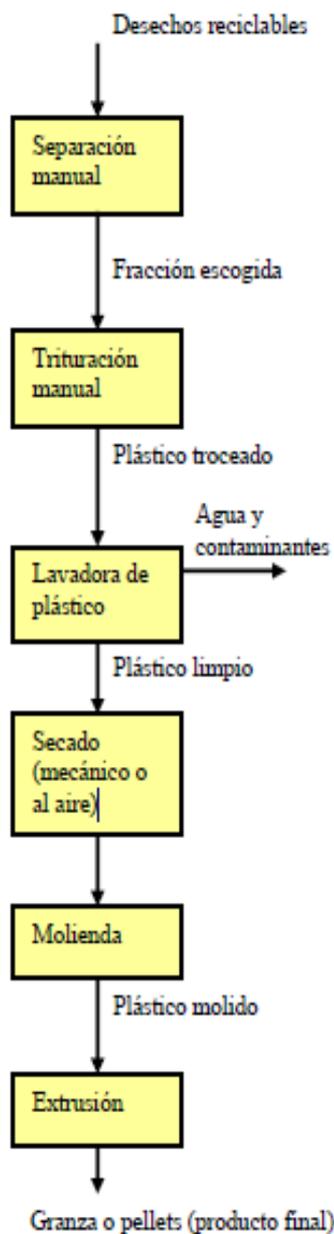
Fuente: Moscoso, Alonso (2011).

Tabla A1.1. Porcentaje de desechos por cada 18.48 Kg.

DESECHOS POR PORCION (18.48kg)	PESO EN KG	PORCENTAJE %
ALIMENTOS	11,64	0,63
PAPEL Y CARTON	1,51	0,08
PLASTICOS	1,77	0,10
MATERIAL TEXTIL	0,46	0,03
CAUCHO	0,52	0,03
MADERA	0,09	0,00
VIDRIO	0,57	0,03
METALES	0,23	0,01
PODA DE JARDIN	0,24	0,01
ESCOMBROS	0,23	0,01
OTROS	1,22	0,07
TOTAL	18,48	1,00

Fuente: Moscoso, Alonso (2011).

Alternativa A: Proceso casi manual



Alternativa B: Proceso avanzado

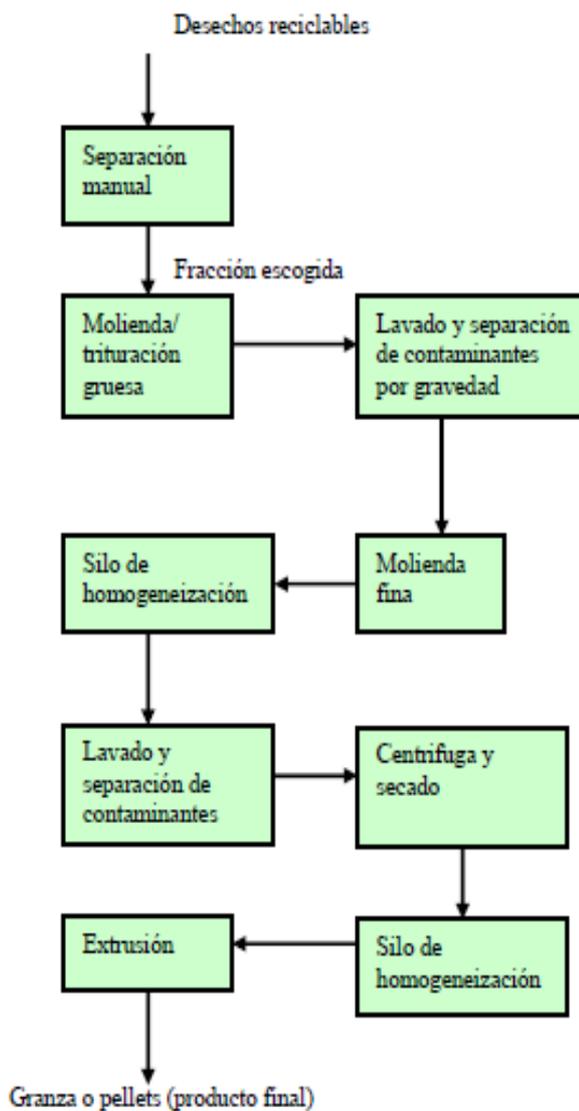


Diagrama A1.2. Procesado mecánico de los plásticos.

Fuente: TP (2011).

ANEXO 2
EL POLIETILENO

Tabla A2.1. Propiedades Físicas y Mecánicas.

Peso molecular medio	25000
Viscosidad (poise)	2000-3500
Punto de Fusión, °C	110
Densidad	0.9
Coefficiente de fricción entre el polietileno y el metal	0,25
Aumento de volumen por calentamiento desde 20 a 110 °C,	14
Compresibilidad a 20 °C, por atm.	0,000055
Calor específico	
a 20 °C	0,45
a 50 °C	0,7
a 80 °C	0,9
Índice de refracción	1,52
Módulo de Young (0-5% de extensión), Kg/cm ²	1600
Resistencia a la tracción a 20 °C., Kg/cm ²	150
Resistencia al choque (barra con muesca de 0,5 in. en cuadro),Kgm	2,07
Dureza Brinell (bola de 2 mm de diámetro, 3 Kg)	2
Conductividad térmica, cal/ (seg.) (cm ²) (°C/cm	0,0007
Alargamiento en la ruptura	500

Fuente: PP (2005).

ANEXO 3

IMPULSORES DE BANDA

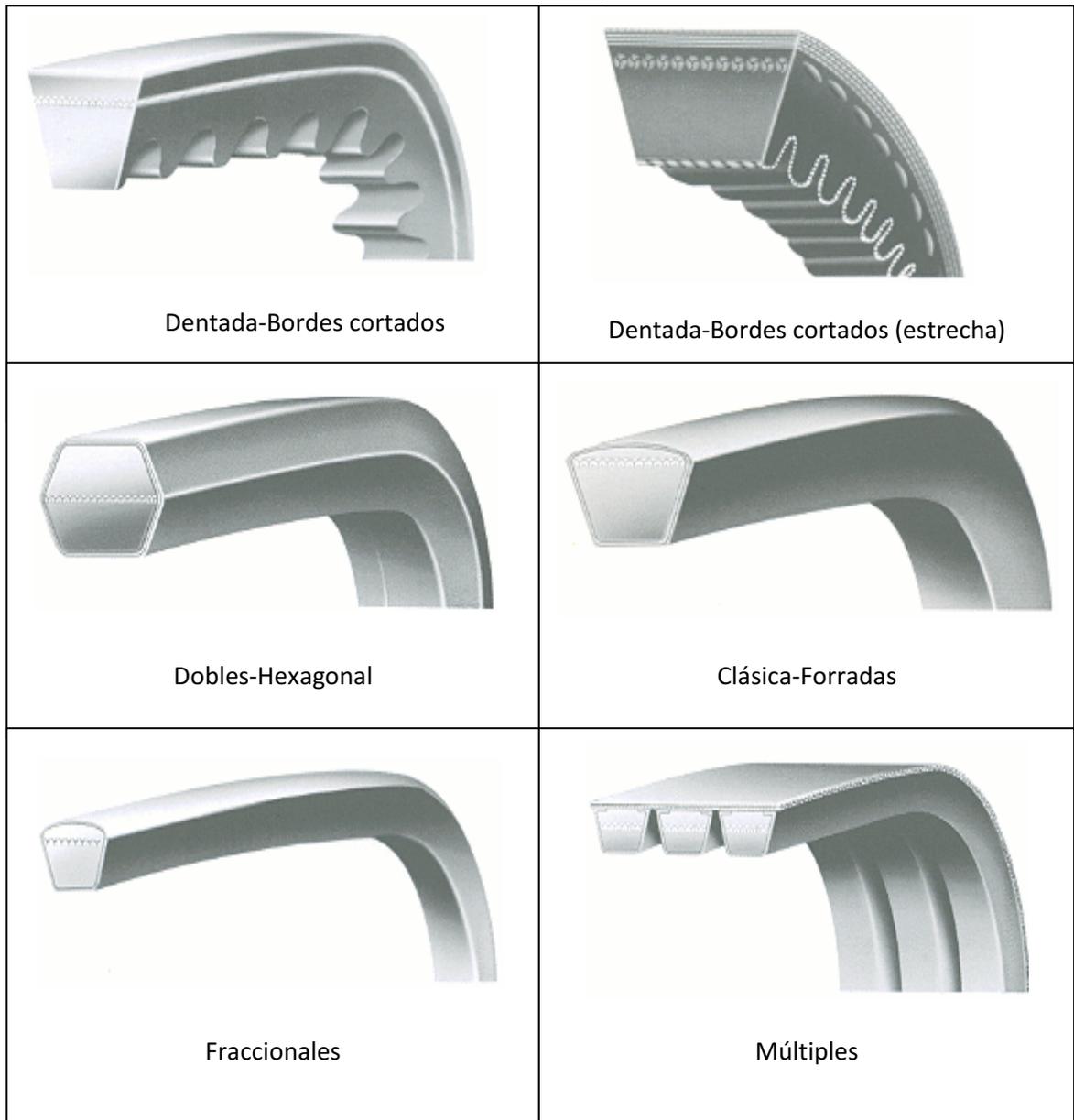


Figura A3.1. Tipos de Bandas en V.

Fuente: Correas en V.

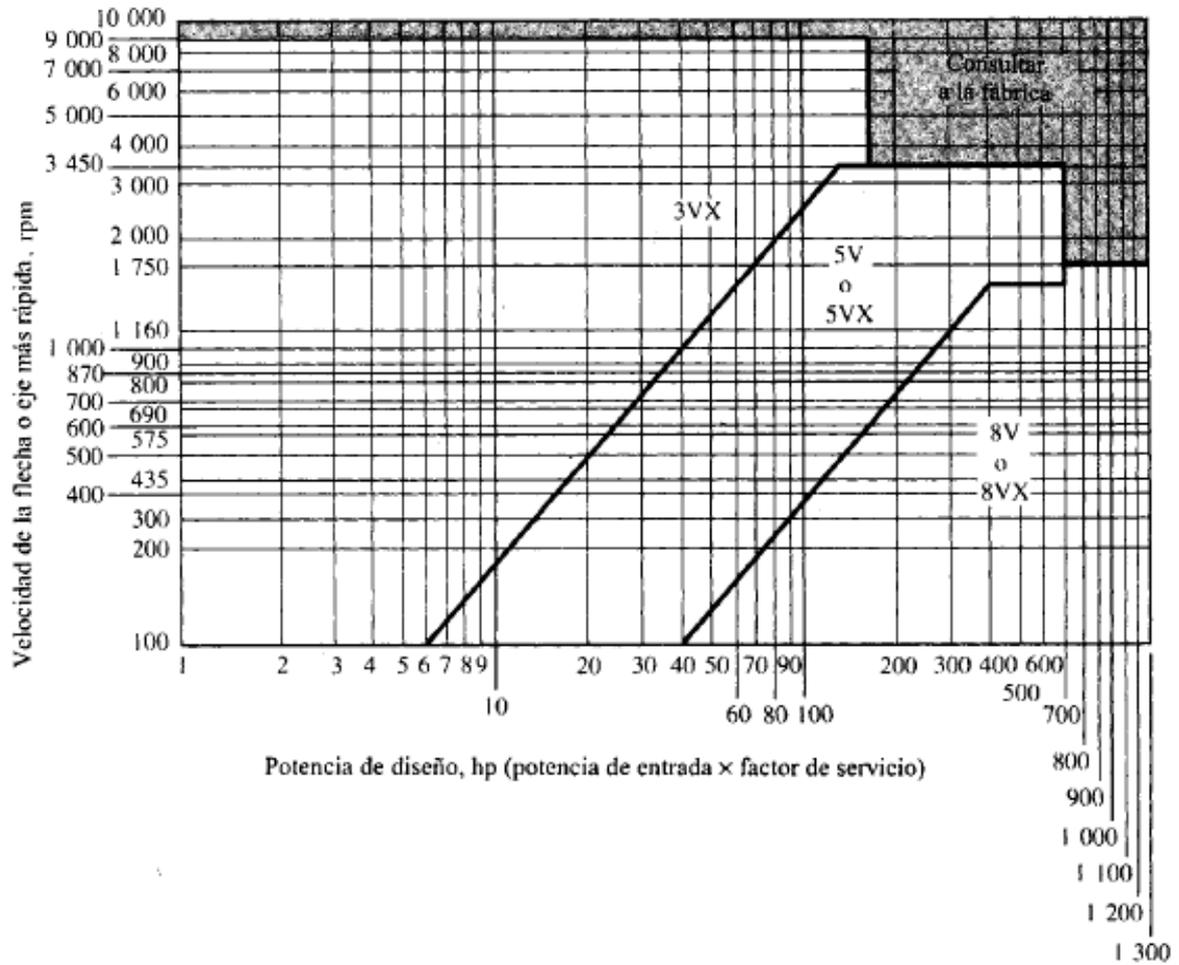


Figura A3.2. Grafica para selección de bandas en V industriales de sección estrecha.

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

Tabla A3.1. Factores de servicio para bandas en V.

<i>Tipo de máquina que es impulsada</i>	<i>Tipo de impulsor</i>					
	<i>Motores de CA: torque normal^a</i> <i>Motores de CD: bobinado en derivación</i> <i>Motores: de cilindro múltiple</i>			<i>Motores de CA: torque alto^b</i> <i>Motores de CD: bobinado en serie, bobinado compuesto</i> <i>Motores: de 4 o menos cilindros</i>		
	<i><6 h por día</i>	<i>6–15 h por día</i>	<i>>15 h por día</i>	<i><6 h por día</i>	<i>6–15 h por día</i>	<i>>15 h por día</i>
Agitadores, ventiladores, ventiladores con tolva, bombas centrífugas, transportadores, ligeras	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Generadores, herramientas para máquinas, mezcladores, transportadores, grava	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Elevadores de baldes o recipientes, máquinas textiles, molinos de martillo, transportadores, pesadas	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras, molinos de bola, malacates, extruidoras de hule	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Cualquier máquina que pueda ahogarse	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

^aSincrónicos, de fase dividida, de tres fases con torque (par) de arranque o torque (par) al paro menor que 250% del torque con carga total.

^bDe fase única, trifásico con torque (par) de arranque o torque (par) al paro mayor que 250% del torque con carga total.

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

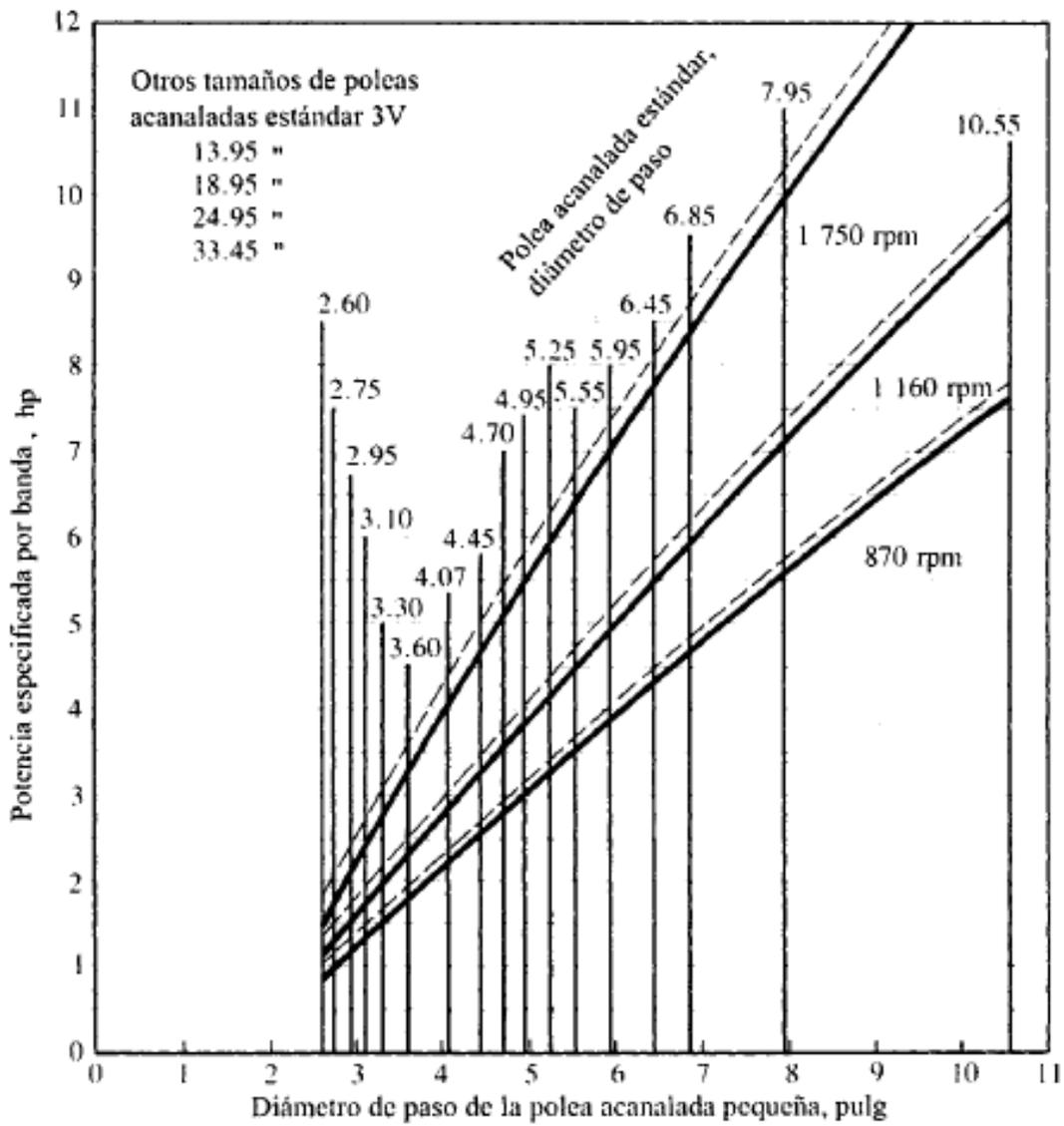


Figura A3.3. Especificación de potencia: bandas 3V.

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

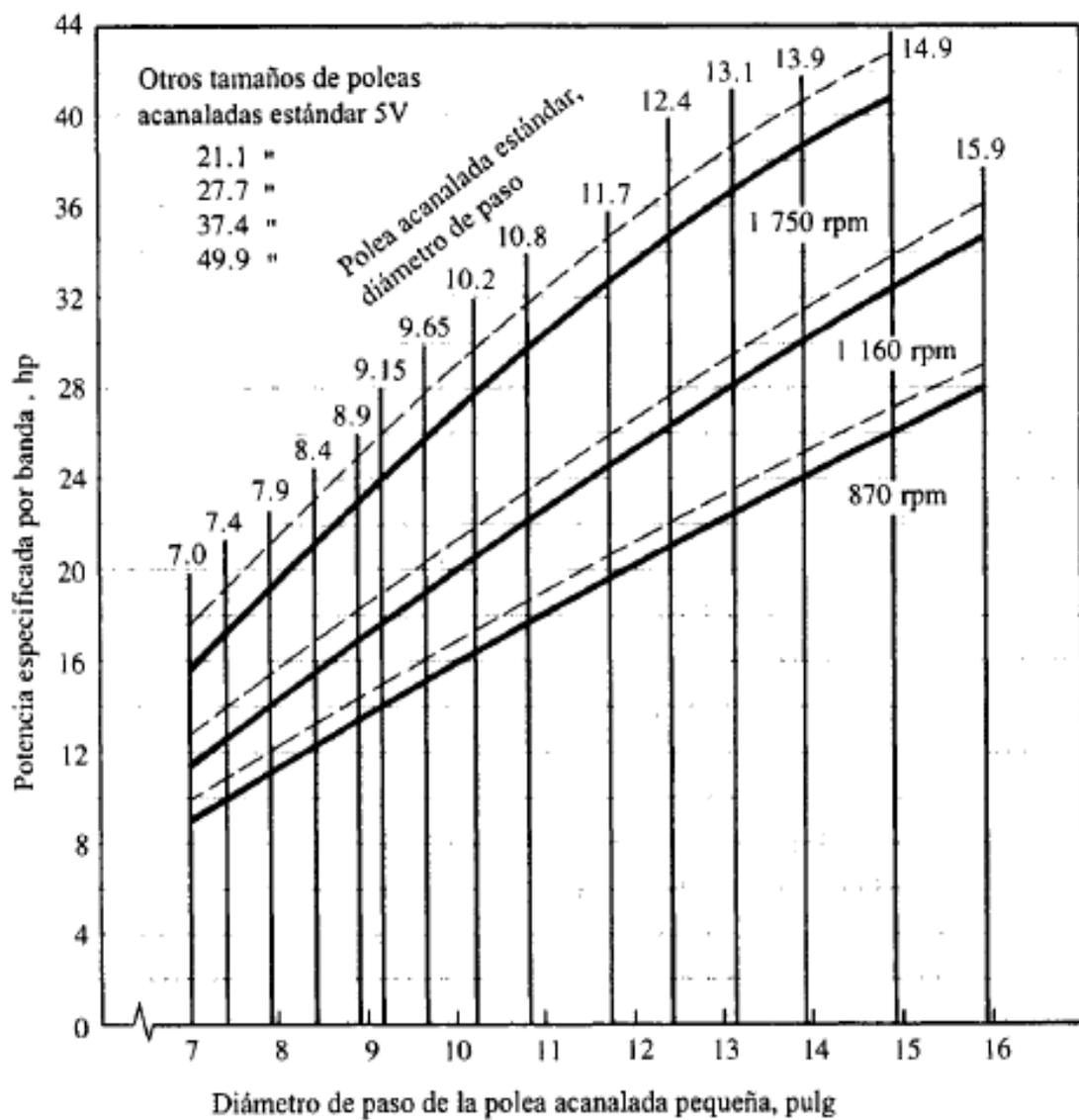


Figura A3.4. Especificación de potencia: bandas 5V.

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

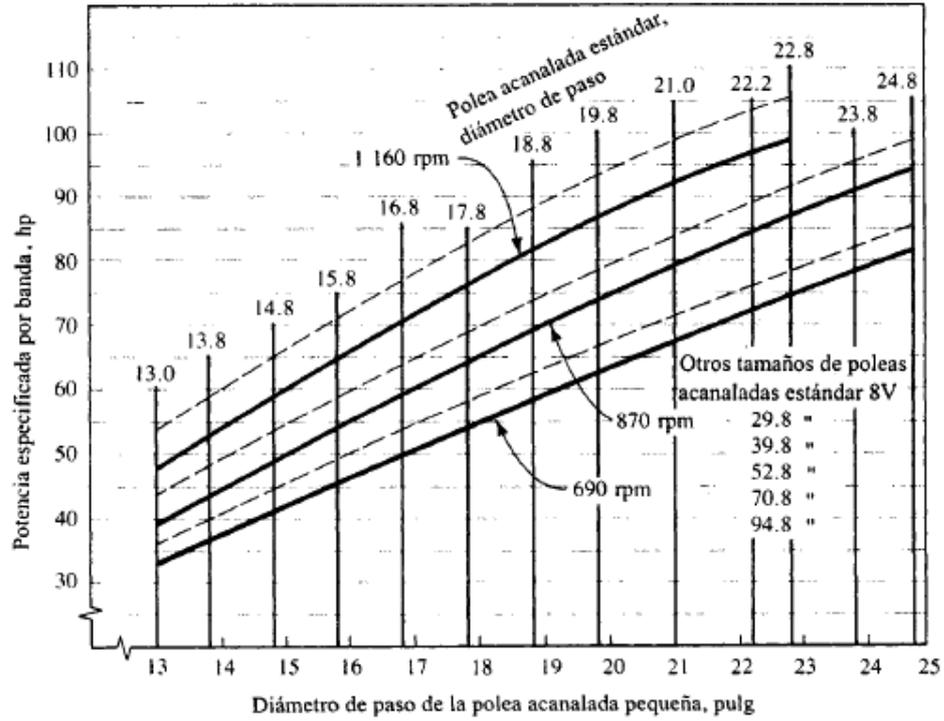


Figura A3.5. Especificación de potencia: bandas 8V.

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

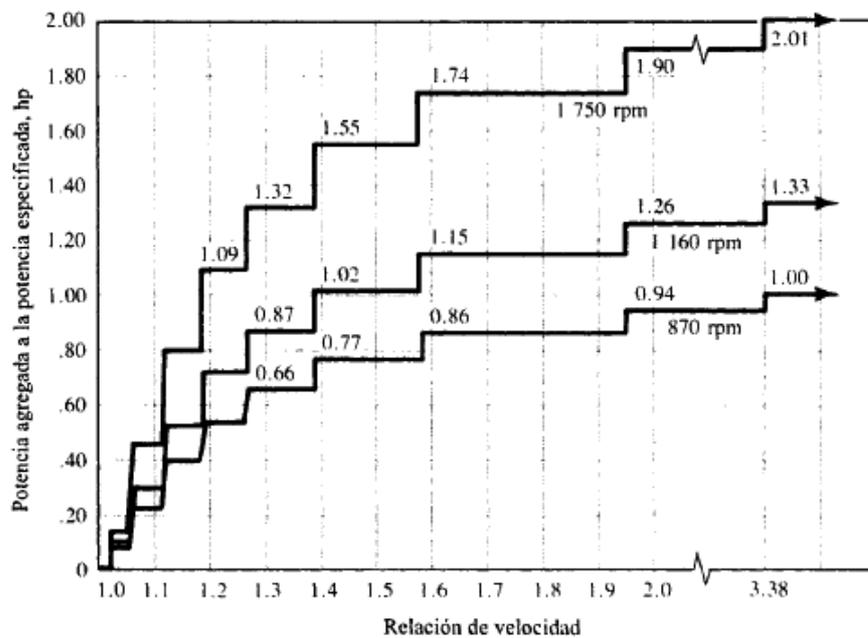


Figura A3.6. Potencia agregada contra relación de velocidad: bandas 5V.

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

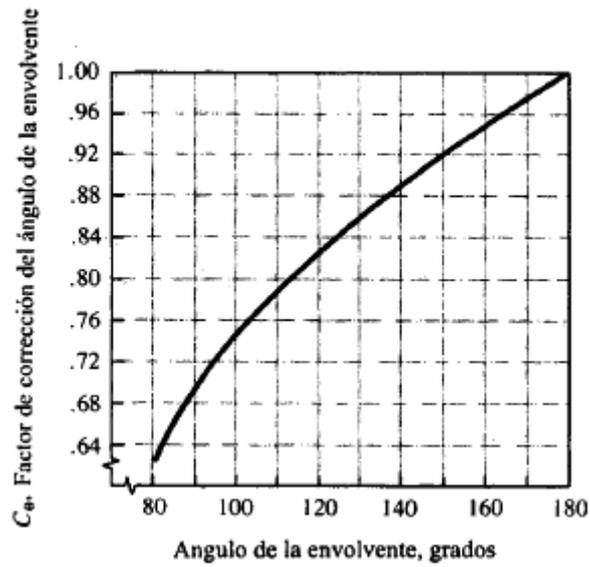


Figura A3.7. Factor de corrección del ángulo de la envolvente C_e .

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

Tabla A3.2. Longitudes de banda estándar para bandas 3V, 5V y 8V (pulgadas).

<i>Sólo 3V</i>	<i>3V y 5V</i>	<i>3V, 5V y 8V</i>	<i>5V y 8V</i>	<i>Sólo 8V</i>
25	50	100	150	375
26.5	53	106	160	400
28	56	112	170	425
30	60	118	180	450
31.5	63	125	190	475
33.5	67	132	200	500
35.5	71	140	212	
37.5	75		224	
40	80		236	
42.5	85		250	
45	90		265	
47.5	95		280	
			300	
165			315	
			335	
			355	

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

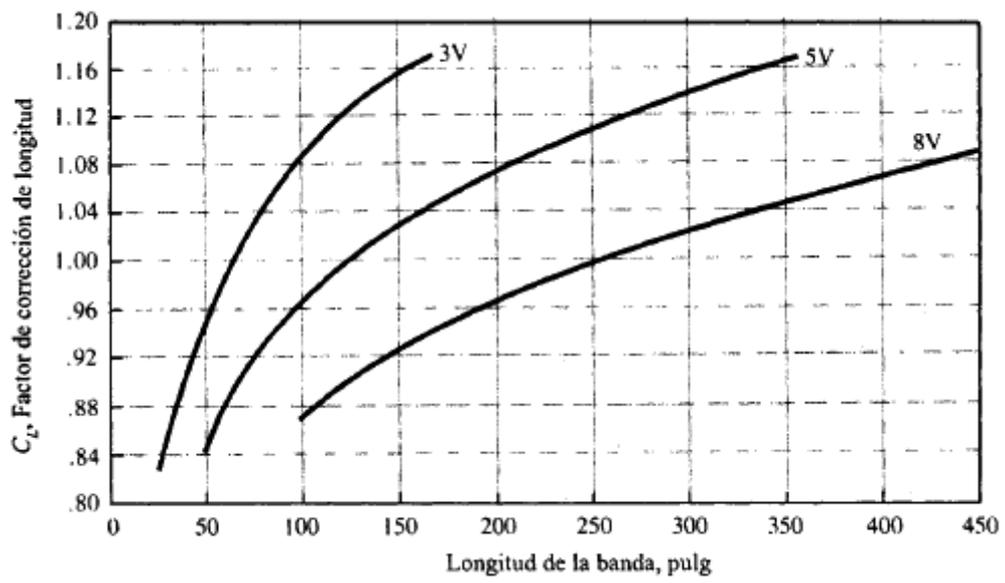


Figura A3.8. Factor de corrección por longitud de banda C_1

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

ANEXO 4

IMPULSORES DE CADENA

Tabla A4.1. Tamaño de cadenas con rodamientos.

<i>Número de cadena</i>	<i>Paso (pulg)</i>	<i>Resistencia promedio al esfuerzo de tracción (lb)</i>
25	1/4	925
35	3/8	2 100
41	1/2	2 000
40	1/2	3 700
50	5/8	6 100
60	3/4	8 500
80	1	14 500
100	1 1/4	24 000
120	1 1/2	34 000
140	1 3/4	46 000
160	2	58 000
180	2 1/4	80 000
200	2 1/2	95 000
240	3	130 000

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

Tabla A4.2. Factores de servicio para impulsores de cadena.

<i>Tipo de carga</i>	<i>Tipo de impulsor</i>		
	<i>Impulsor hidráulico</i>	<i>Motor eléctrico o turbina</i>	<i>Motor de combustión integral con impulsor mecánico</i>
Ligera (agitadores, ventiladores, transportadores que se someten a la acción uniforme de cargas ligeras)	1.0	1.0	1.2
Choque moderado (herramientas mecánicas, grúas, transportadores pesados, mezcladoras y molidoras de alimentos)	1.2	1.3	1.4
Choque pesado (prensas de punzón, molinos de martillo, transportadores recíprocos, impulsor de molino giratorio)	1.4	1.5	1.7

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

ANEXO 5
FACTORES DE CONCENTRACIÓN DE TENSIÓN.

Tabla A5.1. Propiedades de los aceros al carbón y con aleaciones.

Número de designación del material (número AISI)	Condición	Resistencia a la tracción		Resistencia a punto cedente		Ductibilidad (elongación porcentual en 2 pulg)	Dureza Brinell (HB)
		Ksi	MPa	Ksi	MPa		
1020	Rolado en caliente	55	379	30	207	25	111
1020	Extruido en frío	61	420	51	352	15	122
1020	Recocido	60	414	43	296	38	121
1040	Rolado en caliente	72	496	42	290	18	144
1040	Extruido en frío	80	552	71	490	12	160
1040	OQT 1300	88	607	61	421	33	183
1040	OQT 400	113	779	87	600	19	262
1050	Rolado en caliente	90	620	49	338	15	180
1050	Extruido en frío	100	690	84	579	10	200
1050	OQT 1300	96	662	61	421	30	192
1050	OQT 400	143	986	110	758	10	321
1117	Rolado en caliente	62	427	34	234	33	124
1117	Extruido en frío	69	476	51	352	20	138
1117	WQT 350	89	614	50	345	22	178
1137	Rolado en caliente	88	607	48	331	15	176
1137	Extruido en frío	98	676	82	565	10	196
1137	OQT 1300	87	600	60	414	28	174
1137	OQT 400	157	1083	136	938	5	352
1144	Rolado en caliente	94	648	51	352	15	188
1144	Extruido en frío	100	690	90	621	10	200
1144	OQT 1300	96	662	68	469	25	200
1144	OQT 400	127	876	91	627	16	277
1213	Rolado en caliente	55	379	33	228	25	110
1213	Extruido en frío	75	517	58	340	10	150
12L13	Rolado en caliente	57	393	34	234	22	114
12L13	Extruido en frío	70	483	60	414	10	140
1340	Recocido	102	703	63	434	26	207
1340	OQT 400	285	1960	234	1610	8	578
1340	OQT 700	221	1520	197	1360	10	444
1340	OQT 1000	144	993	132	910	17	363
1340	OQT 1300	100	690	75	517	25	235
3140	Recocido	95	655	67	462	25	187
3140	OQT 400	280	1930	248	1710	11	555
3140	OQT 700	220	1520	200	1380	13	461
3140	OQT 1000	152	1050	133	920	17	311
3140	OQT 1300	115	792	94	648	23	233
4130	Recocido	81	558	52	359	28	156
4130	WQT 400	234	1610	197	1360	12	461
4130	WQT 700	208	1430	180	1240	13	415
4130	WQT 1000	143	986	132	910	16	302
4130	WQT 1300	98	676	89	614	28	202
4140	Recocido	95	655	60	414	26	197
4140	OQT 400	290	2000	251	1730	11	578
4140	OQT 700	231	1590	212	1460	13	461
4140	OQT 1000	168	1160	152	1050	17	341
4140	OQT 1300	117	807	100	690	23	235

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

Tabla A5.2. Tamaño de cuña contra tamaño de flecha.

<i>Diámetro nominal de la flecha</i>		<i>Tamaño nominal de la cuña</i>		
<i>Más de</i>	<i>Hasta (incluso)</i>	<i>Espesor, W</i>	<i>Altura, H</i>	
			<i>Cuadrada</i>	<i>Rectangular</i>
5/16	7/16	3/32	3/32	
7/16	9/16	1/8	1/8	3/32
9/16	7/8	3/16	3/16	1/8
7/8	1 1/4	1/4	1/4	3/16
1 1/4	1 3/8	5/16	5/16	1/4
1 3/8	1 3/4	3/8	3/8	5/16
1 3/4	2 1/4	1/2	1/2	
2 1/4	2 3/4	5/8	5/8	3/8
2 3/4	3 1/4	3/4	3/4	1/2
3 1/4	3 3/4	7/8	7/8	5/8
3 3/4	4 1/2	1	1	3/4
4 1/2	5 1/2	1 1/4	1 1/4	7/8
5 1/2	6 1/2	1 1/2	1 1/2	1
6 1/2	7 1/2	1 3/4	1 3/4	1 1/2
7 1/2	9	2	2	1 1/2
9	11	2 1/2	2 1/2	1 3/4
11	13	3	3	2
13	15	3 1/2	3 1/2	2 1/2
15	18	4		3
18	22	5		3 1/2
22	26	6		4
26	30	7		5

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

Tabla A5.3. Radios y Chaflanes para cuñas que se sugieren.

<i>Profundidad del cuñero H/2</i>				
<i>Más de</i>	<i>Hasta (incluso)</i>	<i>Radio del chaflán</i>	<i>Chaflán a 45°</i>	
1/8	1/4	1/32	3/64	
1/4	1/2	1/16	5/64	
1/2	7/8	1/8	5/32	
7/8	1 1/4	3/16	7/32	
1 1/4	1 3/4	1/4	9/32	
1 3/4	2 1/2	3/8	13/32	

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

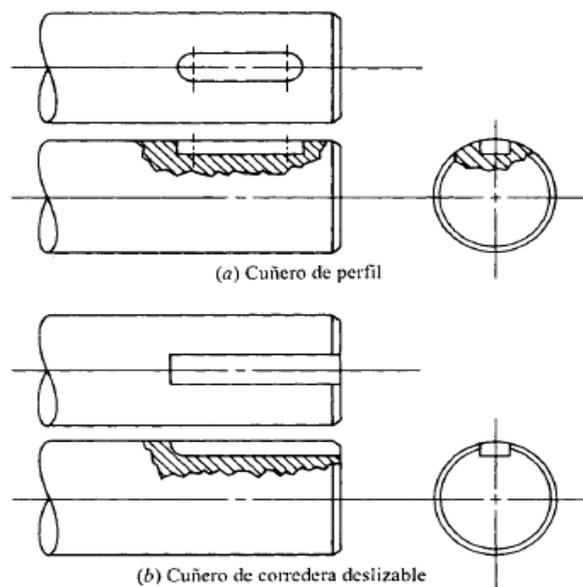


Figura A5.1. Cuñeros.

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

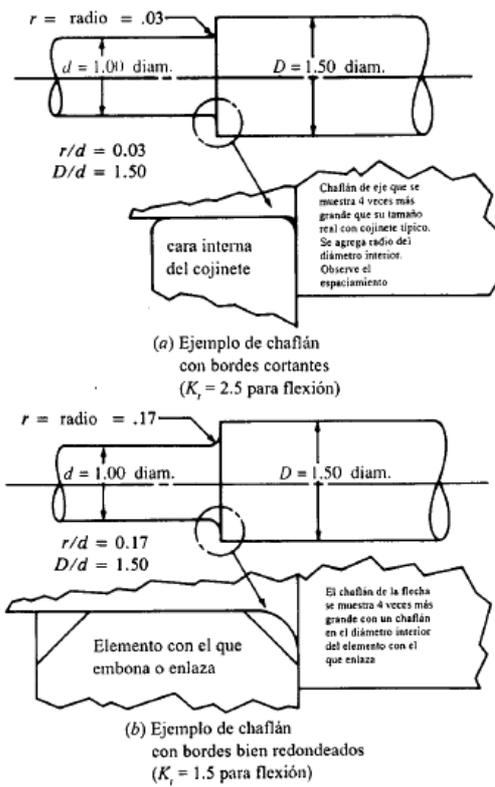


Figura A5.2 Chaflanes en ejes.

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

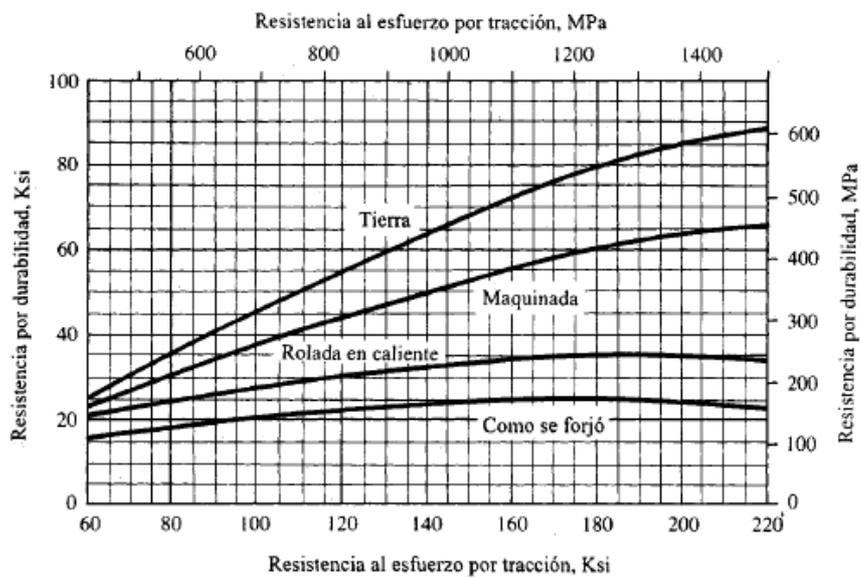


Figura A5.3 Tensión por durabilidad contra resistencia al esfuerzo por tracción para acero forjado para varias condiciones superficiales.

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

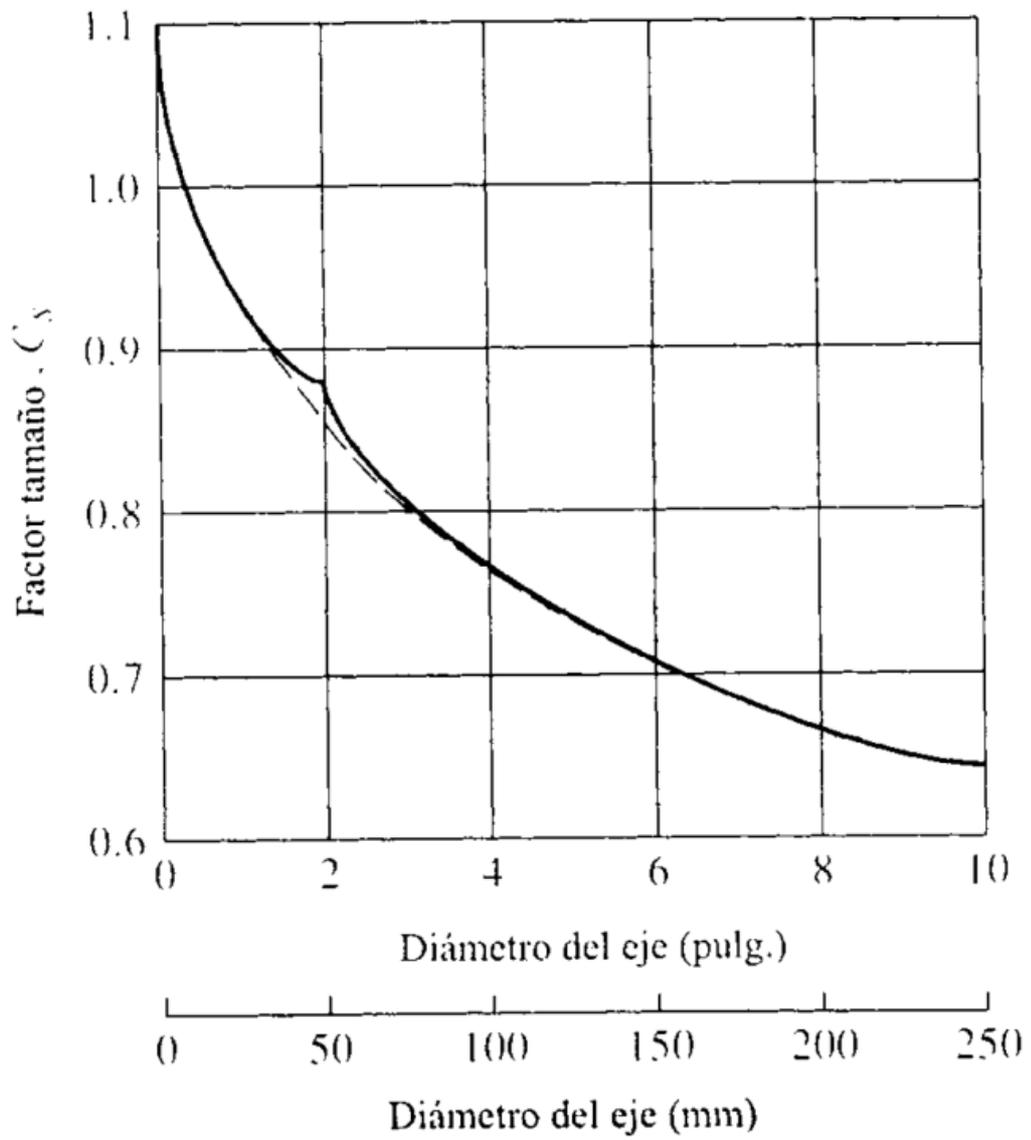


Figura A5.4 Factor de tamaño para diseño de ejes.

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

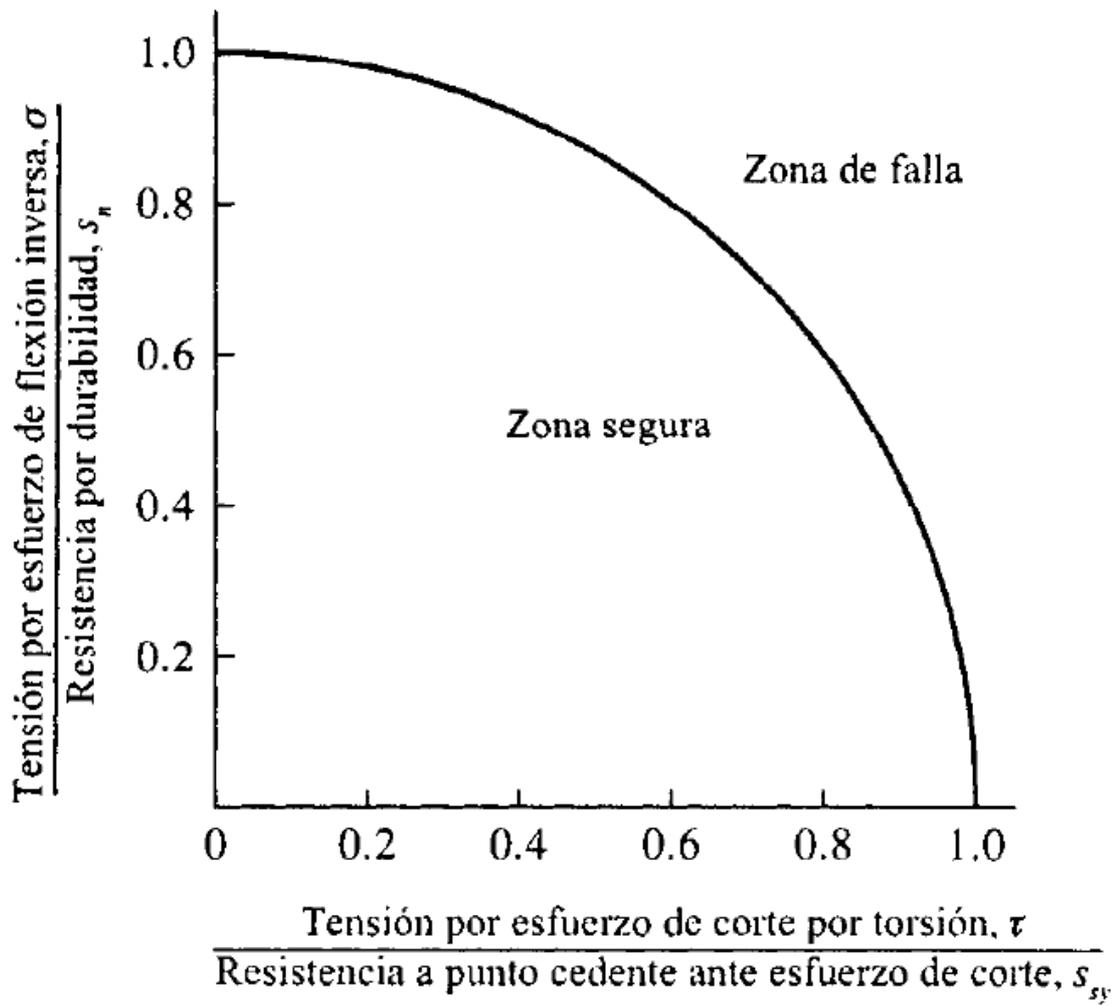


Figura A5.5 Base para la ecuación de diseño de ejes para tensión por esfuerzo de flexión inversa sucesiva y tensión por esfuerzo de corte por torsión.

Fuente: Mott, Robert L. (1995).

ANEXO 6
PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Tabla A6.1 Propiedades de los Aceros.

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K					Propiedades a varias temperaturas (K)									
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^4$ (m ² /s)	k (W/m · K), c_p (J/kg · K)										
						100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	
Acero puro	1810	7870	447	80.2	23.1	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8	28.3	25.4	22.8	20.0	17.3
Aceros al carbón																
Carbón ordinario (Mn \leq 1%, Si \leq 0.1%)		7854	434	60.5	17.7	216	384	490	574	680	975	609	654	606	585	512
AISI 1010		7832	434	63.9	18.8			56.7	48.0	39.2	30.0					
Carbón-silicio (Mn \leq 1%, 0.1% < Si \leq 0.6%)		7817	446	51.9	14.9			487	559	685	1169					
Carbón-manganeso-silicio (1% < Mn \leq 1.65%, 0.1% < Si \leq 0.6%)		8131	434	41.0	11.6			58.7	48.8	39.2	31.3					
Aceros con cromo (bajo)								487	559	685	1168					
1Cr-1Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)		7822	444	37.7	10.9			49.8	44.0	37.4	29.3					
1Cr-1Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)		7858	442	42.3	12.2			501	582	699	971					
1Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		7836	443	48.9	14.1			42.2	39.7	35.0	27.6					
Aceros inoxidables								487	559	685	1090					
AISI 302		8055	480	15.1	3.91			38.2	36.7	33.3	26.9					
AISI 304	1670	7900	477	14.9	3.95			492	575	688	969					
AISI 316		8238	468	13.4	3.48			42.0	39.1	34.5	27.4					
AISI 347		7978	480	14.2	3.71			46.8	42.1	36.3	28.2					
								492	575	688	969					
								504	550	576	602					
								15.8	18.9	21.9	24.7					
								513	559	585	606					
								17.3	20.0	22.8	25.4					
								512	559	585	606					
								16.6	19.8	22.6	25.4					
								515	557	582	611					
								15.2	18.3	21.3	24.2					
								272	402	492	602					
								504	550	576	602					
								15.8	18.9	21.9	24.7					
								513	559	585	606					
								17.3	20.0	22.8	25.4					
								512	559	585	606					
								16.6	19.8	22.6	25.4					
								515	557	582	611					
								15.2	18.3	21.3	24.2					
								272	402	492	602					
								504	550	576	602					
								15.8	18.9	21.9	24.7					
								513	559	585	606					

Fuente: Frank P. Incropera (1996)

Tabla A6.2 Propiedades del Aire.

Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica^a

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728

Fuente: Frank P. Incropera (1996).

Tabla A6.3 Emisividad de los sólidos.

Descripción/composición	Emisividad, ϵ_s o ϵ_h , a varias temperaturas (K)											
	100	200	300	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500	
Aluminio												
Altamente pulido, película	(h)	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06						
Hoja, brillante	(h)	0.06	0.06	0.07								
Anodizado	(h)			0.82	0.76							
Cromo												
Pulido o plateado	(h)	0.05	0.07	0.10	0.12	0.14						
Cobre												
Altamente pulido	(h)		0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04				
Establemente oxidado	(h)				0.50	0.58	0.80					
Oro												
Altamente pulido o película	(h)	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06				
Hoja, brillante	(h)	0.06	0.07	0.07								
Molibdeno												
Pulido	(h)					0.06	0.08	0.10	0.12	0.15	0.21	0.26
Limpiado con chorro de perdigones, áspero	(h)					0.25	0.28	0.31	0.35	0.42		
Establemente oxidado	(h)					0.80	0.82					
Níquel												
Pulido	(h)					0.09	0.11	0.14	0.17			
Establemente oxidado	(h)					0.40	0.49	0.57				
Platino												
Pulido	(h)					0.10	0.10	0.13	0.15	0.18		
Plata												
Pulida	(h)			0.02	0.02	0.03	0.05	0.08				
Aceros inoxidables												
Típico, pulido	(h)			0.17	0.17	0.19	0.23	0.30				
Típico, limpio	(h)			0.22	0.22	0.24	0.28	0.35				
Típico, ligeramente oxidado	(h)					0.33	0.40	0.40				
Típico, altamente oxidado	(h)					0.67	0.70	0.76				
AISI 347, establemente oxidado	(h)					0.87	0.88	0.89	0.90			
Tantalio												
Pulido	(h)							0.11	0.17	0.23	0.28	
Tungsteno												
Pulido	(h)						0.10	0.10	0.13	0.18	0.25	0.29

Fuente: Frank P. Incropera (1996).

ANEXO 7

SISTEMA ELÉCTRICO

Tabla A7.1. Capacidad de corriente de los cables.

<i>INSTALACIONES EN TUBO</i>				<i>INSTALACIONES AL AIRE LIBRE</i>		
Calibre del conductor	Sección transversal	3 conductores unipolares o un cable tripolar	Un cable bipolar	Un cable unipolar	Un cable bipolar	3 conductores unipolares o un cable tripolar
AWG – MCM	mm ²	Amperios	Amperios	Amperios	Amperios	Amperios
22	0.324	3	3	5	4	4
20	0.0517	5	6	8	7	6
18	0.821	7	8	10	9	8
16	1.31	10	11	15	14	13
14	2.08	15	27	20	18	17
12	3.31	20	21	25	23	22
10	5.26	30	30	40	35	33
8	8.37	40	40	55	48	45
6	13.30	55	55	80	68	63
4	21.15	70	---	105	---	87
2	33.63	95	---	140	---	119
1	42.41	110	---	165	---	145
1/0	53.51	125	---	195	---	155
2/0	67.44	145	---	225	---	180
3/0	85.02	165	---	260	---	210
4/0	107.2	195	---	300	---	240
250	126.7	215	---	340	---	265
300	152.0	240	---	375	---	300
350	177.4	260	---	420	---	330
400	202.7	280	---	455	---	360
500	253.4	320	---	515	---	415
600	304.0	355	---	575	---	450
750	380.0	400	---	655	---	515
1000	506.7	455	---	780	---	600

Fuente: IE.

Tabla A7.2. Tipos disyuntores de dos Polos.



Datos técnicos

Estándar	Conforme con IEC60898	
Protección	Contra sobrecarga y cortocircuito	
Corriente nominal, In	1, 2, 3, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63A	
Tensión nominal	1 polo 230/400VAC 50/60Hz 2, 3, 4 polo 400VAC 50/60Hz	
Poder de corte	6kA	
Características	Curvas B, C, D	
Número de polos	1P, 1P+N, 2P, 3P, 3P+N y 4P	
Tipo de disparo	Magneto-térmico	
Tipo de terminal	bornes	
Sección del cable	Cable hasta 25mm ²	
Instalación	Montaje en Rail DIN de 35mm	
Anchura	17,8mm por polo	
Endurancia eléctrica		
In	1 ... 32A	40 ... 63A
Endurancia	6000 ciclos	6000 ciclos
Frecuencia máx. (Ciclos/hora)	240	120

Fuente: LS.

Tabla A7.2 Tipos disyuntores de tres Polos.



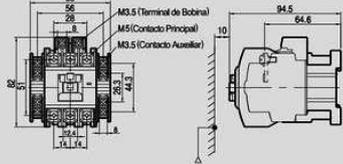
No.de Catálogo

6kA en 400VAC

In	Modelo (1polo)	No.de Catálogo	Paq. Unid. (Pza.)	Precio
1A	BKN 3P B1A	06130066R0	40	
2A	BKN 3P B2A	06130067R0	40	
3A	BKN 3P B3A	06130068R0	40	
4A	BKN 3P B4A	06130069R0	40	
6A	BKN 3P B6A	06130070R0	40	
10A	BKN 3P B10A	06130071R0	40	
16A	BKN 3P B16A	06130072R0	40	
20A	BKN 3P B20A	06130073R0	40	
25A	BKN 3P B25A	06130074R0	40	
32A	BKN 3P B32A	06130075R0	40	
40A	BKN 3P B40A	06130076R0	40	
50A	BKN 3P B50A	06130077R0	40	
63A	BKN 3P B63A	06130078R0	40	

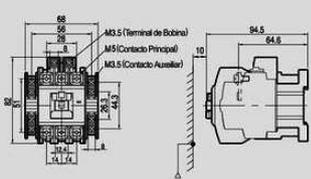
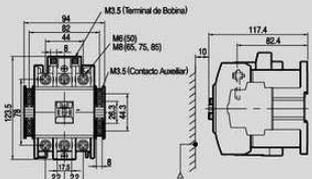
Fuente: LS.

Tabla A7.3. Selección de contactores y relés térmicos de 9 a 32 A.

tamaño		9A	12A	18A	22A
Contactor de 3 Polos					
Tipos	Bobina AC Bobina DC	GMC-9 GMD-9	GMC-12 GMD-12	GMC-18 GMD-18	GMC-22 GMD-22
Rangos / IEC 60947-4		kW A	kW A	kW A	kW A
AC1		25	25	40	40
AC3	200/240V	2.5 11	3.5 13	4.5 18	5.5 22
	380/440V	4 9	5.5 12	7.5 18	11 22
	500/550V	4 7	7.5 12	7.5 13	15 22
	690V	4 5	7.5 9	7.5 9	15 18
Rangos / UL508		hp A	hp A	hp A	hp A
Corriente continua		20	25	30	32
Monofásico	115V	0.5	0.5	1	2
	230V	1	2	3	3
Trifásico	200V	2	3	5	7
	230V	2	3	5	7.5
	460V	5	7.5	10	10
	575V	7.5	10	15	15
Tamaño NEMA		00	00	0	0
Adicional contactos auxiliares		 2 polos Montaje Frontal	 4 polos Montaje Frontal	 2 polos Montaje Lateral	
Contactor de 4 Polos					
Tipos	Bobina AC Bobina DC	GMC-9/4 GMD-9/4	GMC-12/4 GMD-12/4	GMC-18/4 GMD-18/4	GMC-22/4 GMD-22/4
AC1(A)		20	20	25	32
Relés de Sobrecarga					
Estilo bimetalico Tipo GT		 GT-22	Rangos de ajuste (A) 0.1 - 0.16 0.16 - 0.25 0.25 - 0.4 0.4 - 0.63 0.63 - 1 1 - 1.6 1.6 - 2.5 2.5 - 4	4 - 6 5 - 8 6 - 9 7 - 10 9 - 13 12 - 16 16 - 22	 Base para montaje separado
Clase 10A	Diferencial	GTK-22			
	Sin diferencial (3 - Térmico)	GTH-22/3			
Clase 20	Sin diferencial (2 - Térmico)	GTH-22			
	Diferencial	GTK-22/L			
Estilo Electrónico Tipo GMP Clase 1 a 30 Ajustable		 GMP22	Rangos de ajuste (A) 0.1 - 1.5 1 - 5 4.4 - 22	 Tipo de montaje separado	
Dimensión (mm)					

Fuente: LS.

Tabla A7.4. Selección de contactores y relés térmicos de 32 a 85.

32A		40A		50A		65A		75A		85A	
											
GMC-32 GMD-32		GMC-40 GMD-40		GMC-50 GMD-50		GMC-65 GMD-65		GMC-75 GMD-75		GMC-85 GMD-85	
kW A		kW A		kW A		kW A		kW A		kW A	
7.5 32		11 40		15 55		18.5 65		22 75		25 85	
15 32		18.5 40		22 50		30 65		37 75		45 85	
18.5 28		22 32		30 43		33 60		37 64		45 75	
18.5 20		22 23		30 28		33 35		37 42		45 45	
hp A		hp A		hp A		hp A		hp A		hp A	
45		50		70		80		90		100	
2		3		3		5		5		7.5	
5		5		7.5		10		15		15	
7.5		10		10		15		20		25	
10		10		15		20		25		30	
20		25		30		40		50		50	
20		25		30		40		50		50	
1		1		2		2		2		3	
											
2 polos Montaje Frontal		4 polos Montaje Frontal		2 polos Montaje Lateral							
											
GMC-32/4 GMD-32/4		GMC-40/4 GMD-40/4		GMC-50/4 GMD-50/4		GMC-65/4 GMD-65/4		GMC-75/4 GMD-75/4		GMC-85/4 GMD-85/4	
50		60		80		100		110		135	
						Rangos de ajuste (A) 7-10 28-40 9-13 34-50 12-18 45-65 16-22 54-75 18-26 63-85 24-36					
GT-40		Base para montaje separado		GT-85				Base para montaje separado			
GTK-40				GTK-85							
GTH-40/3				GTH-85/3							
GTH-40				GTH-85							
GTK-40/L				GTK-85/L							
						Rangos de ajuste (A) : 16 ~ 80A				Rangos de ajuste (A) : 5 ~ 60A	
GMP40		Tipo de montaje separado		GMP80		Tipo de montaje separado		GMP60		Tipo de montaje separado	
											

Fuente: LS.

Tabla A7.5. Especificaciones del motor.

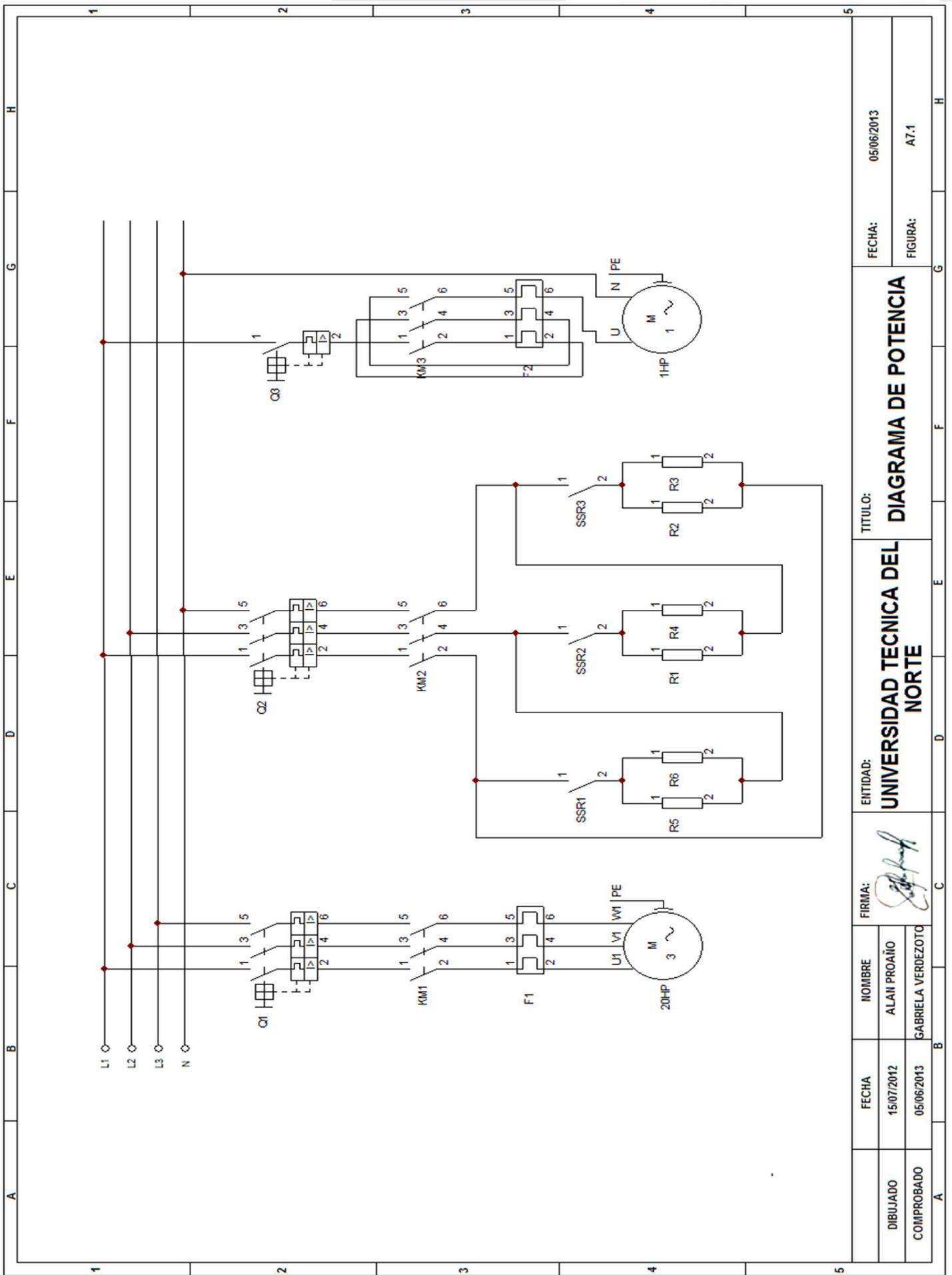
Marca:	Búfalo S.A
Modelo:	Nº B-0758-31
Tipo:	Motor de inducción.
Voltaje:	220/380 (V)
Corriente:	42/24.3 (A)
Frecuencia:	60 Hz
$\Delta T^{\circ}C$:	80°
Carga:	F254T
Fases:	3
Revoluciones:	1760 rpm

Fuente: Autor.

Tabla A7.6. Especificaciones del compresor.

Marca:	Weg
Modelo:	PH1 CH8
Tipo:	Motor de inducción.
Voltaje:	110-120/220-240 V
Corriente:	13,00-13,40/6,50-6,70 A
Frecuencia:	60 Hz
Eficiencia:	100%
Capacitor:	1x270-324uF 110V
Fases:	2
Revoluciones:	3350 rpm

Fuente: Autor.



FECHA: 05/06/2013

FIGURA: AT.1

TITULO: **DIAGRAMA DE POTENCIA**

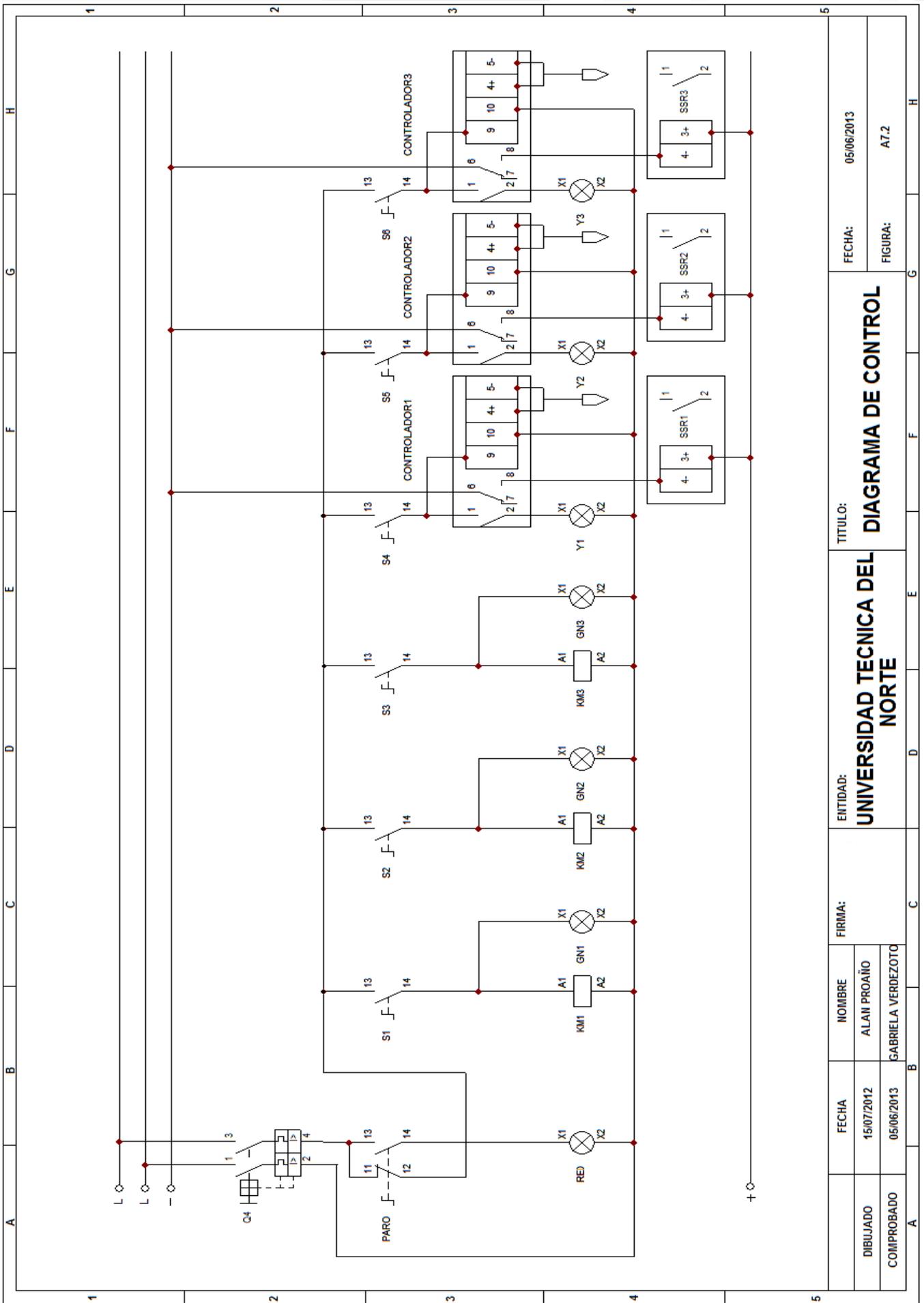
ENTIDAD: **UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE**

FIRMA:

NOMBRE: ALAN PROAÑO
GABRIELA VERDEZOTO

FECHA: 15/07/2012
05/06/2013

DIBUJADO
COMPROBADO



DIBUJADO		FECHA	TITULO:		FECHA:	H	
COMPROBADO		15/07/2012	UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE		05/06/2013	G	
		05/06/2013	DIAGRAMA DE CONTROL		FIGURA:	H	
			NORTE		AT.2	H	

ANEXO 8

MANTENIMIENTO

Tabla A8.1. Diagnóstico y corrección de fallas de motores eléctricos.

Síntoma	Posibles causas	Posibles soluciones
El motor no arranca	Causado usualmente por problemas en la línea, por ejemplo el funcionamiento con una sola fase en el arrancador.	Revise la fuente de alimentación: protectores de sobrecarga, fusibles, controles, etc.
Zumbido excesivo	Alto voltaje.	Revise las conexiones de la línea de entrada.
	Entrehierro excéntrico (descentrado).	Haga reparar el motor en el centro de servicio recomendado por el fabricante
Recalentamiento del motor	Sobrecarga. Compare el amperaje medido con su valor nominal de placa.	Localice y quite lo que produce la fricción excesiva en el motor o la carga. Reduzca la carga o reemplace el motor por uno de mayor capacidad.
	Funcionamiento con una sola fase.	Revise la corriente en todas las fases (deberá ser aprox. igual) para aislar y corregir el problema.
	Ventilación inadecuada.	Revise el ventilador externo para asegurarse que el aire se mueve bien entre las aletas de enfriamiento. Acumulación excesiva de suciedad en el motor. Limpie el motor.
	Voltaje desequilibrado.	Revise el voltaje en todas las fases (deberá ser aprox. igual) para aislar y corregir el problema.
	El rotor roza el estator.	Apriete los pernos pasantes.
	Sobrevoltaje o bajo voltaje.	Revise el voltaje de entrada en cada fase al motor.
	El devanado del estator está abierto.	Revisar si la resistencia del estator en las tres fases está equilibrada.

Síntoma	Posibles causas	Posibles soluciones
	Devanado puesto a tierra.	Efectúe una prueba dieléctrica y haga las reparaciones necesarias.
	Conexiones incorrectas.	Revise todas las conexiones eléctricas para determinar si la terminación, la resistencia mecánica y la continuidad eléctrica son adecuadas. Consulte el diagrama de conexión de cables del motor.
Recalentamiento del cojinete	Mal alineamiento.	Revise y alinee el motor y los equipos accionados por el mismo.
	Excesiva tensión de correa.	Reduzca la tensión de correa a su punto apropiado para la carga.
	Excesivo empuje terminal.	Reduzca el empuje terminal de la máquina accionada.
	Exceso de grasa en el cojinete.	Saque grasa hasta que la cavidad esté unos 3/4 llena.
	Insuficiente grasa en el cojinete.	Añada grasa hasta que la cavidad esté unos 3/4 llena.
	Suciedad en el cojinete.	Limpie el cojinete y la cavidad del cojinete. Rellene con el tipo de grasa correcto hasta que la cavidad esté aproximadamente 3/4 llena.
Vibración	Mal alineamiento.	Revisar y alinear el motor y los equipos accionados por el mismo.
	Roce entre las piezas rotativas y las piezas fijas	Aísle y elimine la causa del rozamiento.
	El rotor está desequilibrado.	Mande a revisar el equilibrio del rotor y hágalo reparar en el centro de servicio recomendado por el fabricante.

Síntoma	Posibles causas	Posibles soluciones
	Resonancia.	Sintonice el sistema o solicite asistencia al centro de servicio recomendado por el fabricante.
Ruido	Materias extrañas en el entrehierro o las aberturas de ventilación.	Extraiga el rotor y quite las materias extrañas. Vuelva a instalar el rotor. Revise la integridad del aislamiento. Limpie las aberturas de ventilación.
Ruido retumbante o Gimoteante	El cojinete está en malas condiciones.	Reemplace el cojinete. Quite toda la grasa de la cavidad y coloque el nuevo cojinete. Rellene con grasa del tipo correcto hasta que la cavidad esté aproximadamente 3/4 llena.

Fuente: Carranza Lenin (2004).

Tabla A8.2. Control de desgaste diametral.

Medición de puntos	Largo en mm	Diámetro según horas de operación.				
		2500	5000	7500	10000	12500
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Fuente: Carranza Lenin (2004).

Tabla A8.3. Programa de control y actividades del sistema motriz.

UNIDAD	ELEMENTO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA EN HORAS				
			24	160	600	2500	4800
			x				
		Revisión de Amperaje	x				
		Revisar la temperatura exterior	x				
		Revisión interna y limpieza			x		
	Motores y ventiladores	Escuchar ruidos y analizar vibraciones anormales.	x				
	Poleas	Alineación		x			
	Bandas en V	Revisar la tensión	x				
		Revisión	x				
	Ventiladores	Limpieza Interna.					
		Alineación		x			
	Cadenas	Revisar tensión	x				
	Conectores y Cables	Revisión	x				
		Cambio de lubricante y limpieza interna				x	
		Cambio					x
		Temperatura de trabajo	x				
	Rodamientos	Escuchar ruidos y analizar vibraciones	x				

Fuente: Autor.

Tabla A8.4. Programa de control y actividades del sistema eléctrico.

UNIDAD	ELEMENTO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA EN HORAS				
			24	160	600	2500	4800
SISTEMA ELECTRICO	Panel de control	Limpieza externa	x				
		Limpieza interna		x			
		Revisión interna: cables, contactores y pirómetros.		x			
	Resistencias	Revisar su estado	x				
		Limpieza		x			
	Cables	Revisar todo el cableado			x		
	Termocuplas	Revisar su estado	x				

Fuente: Autor.

Tabla A8.5. Programa de control y actividades de los Sistemas de Alimentación.

UNIDAD	ELEMENTO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA EN HORAS				
			24	160	600	2500	4800
SISTEMA DE ALIMENTACION	Agua	Revisar que el sistema se está alimentando	x				
		Revisar estado de tubería	x				
		Corroborar que recircule.	x				
	Aire	Revisión, cambios de filtros y lubricante del compresor					x
		Purgar condensado	x				
		Revisión de manómetros y tuberías	x				

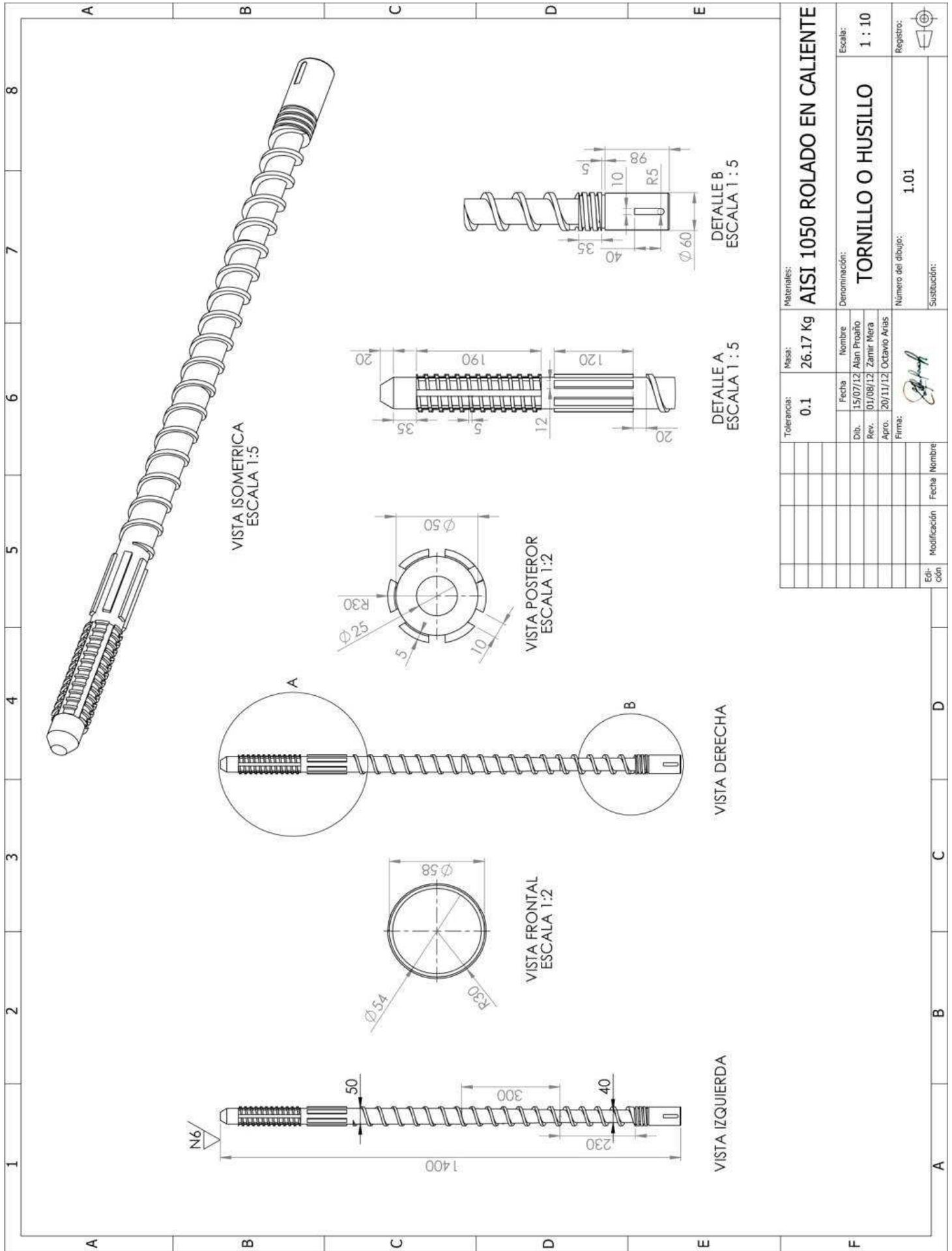
Fuente: Autor.

Tabla A8.6. Programa de control y actividades del sistema de extrusión.

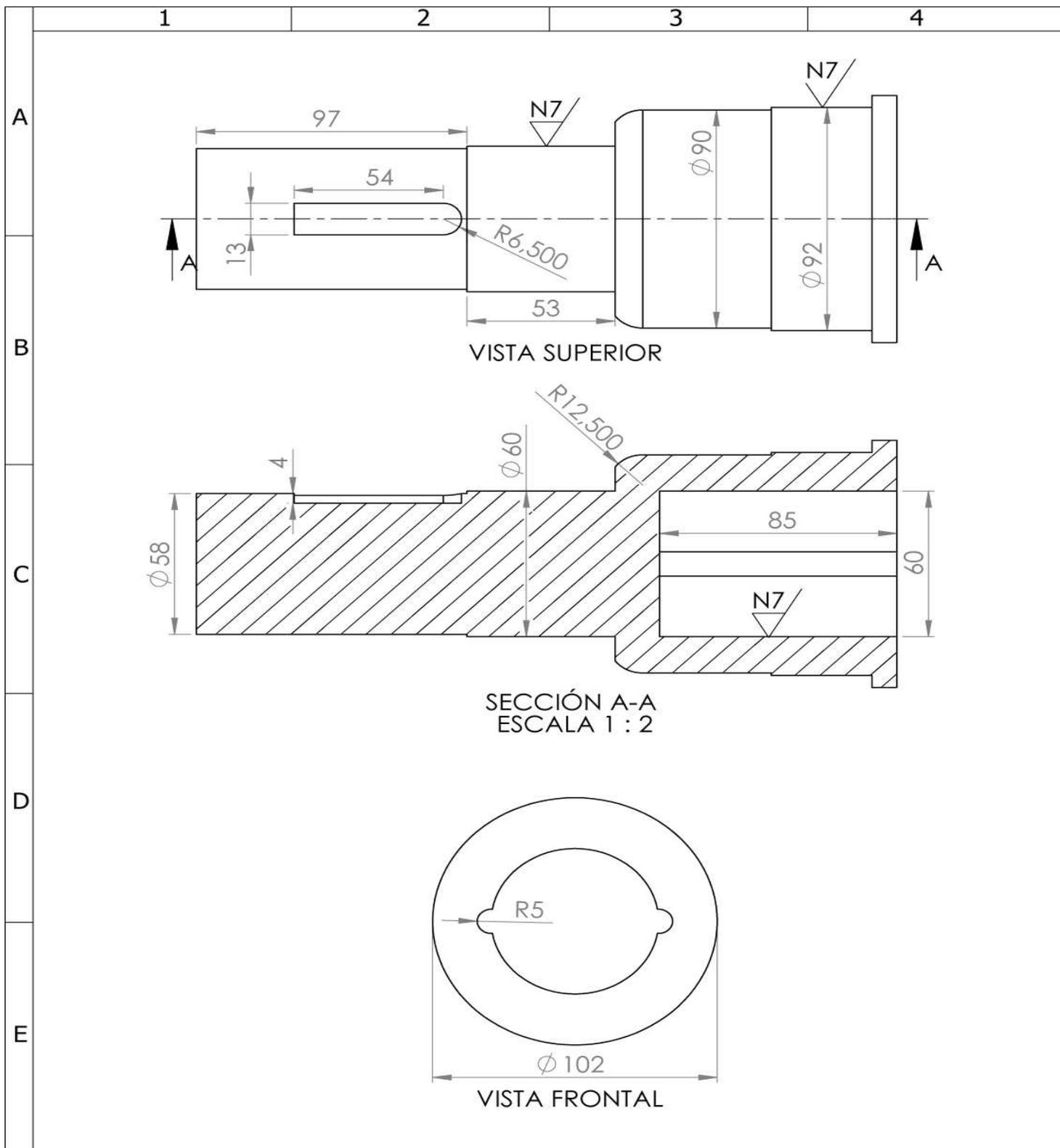
UNIDAD	ELEMENTO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA EN HORAS				
			24	160	600	2500	4800
SISTEMA DE EXTRUSION	Cilindro Calefactor	Medirlo				x	
		Revisión Interna				x	
		Limpieza				x	
		Rectificarlo					x
		Control de temperaturas	x				
	Husillo	medirlo				x	
		Revisar su estado				x	
		Limpieza				x	
		Rectificarlo					x
		Pulirlo con pasta				x	
	Adaptador o filtro	Limpieza		x			
		Revisar su estado		x			
	Boquilla	Limpieza interna y revisión				x	
		Pulirlo con pasta				x	
		Control de temperatura	x				
		Rectificarlo					x
		Limpieza externa	x				
		Engrasar acople				x	

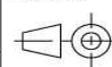
Fuente: Autor.

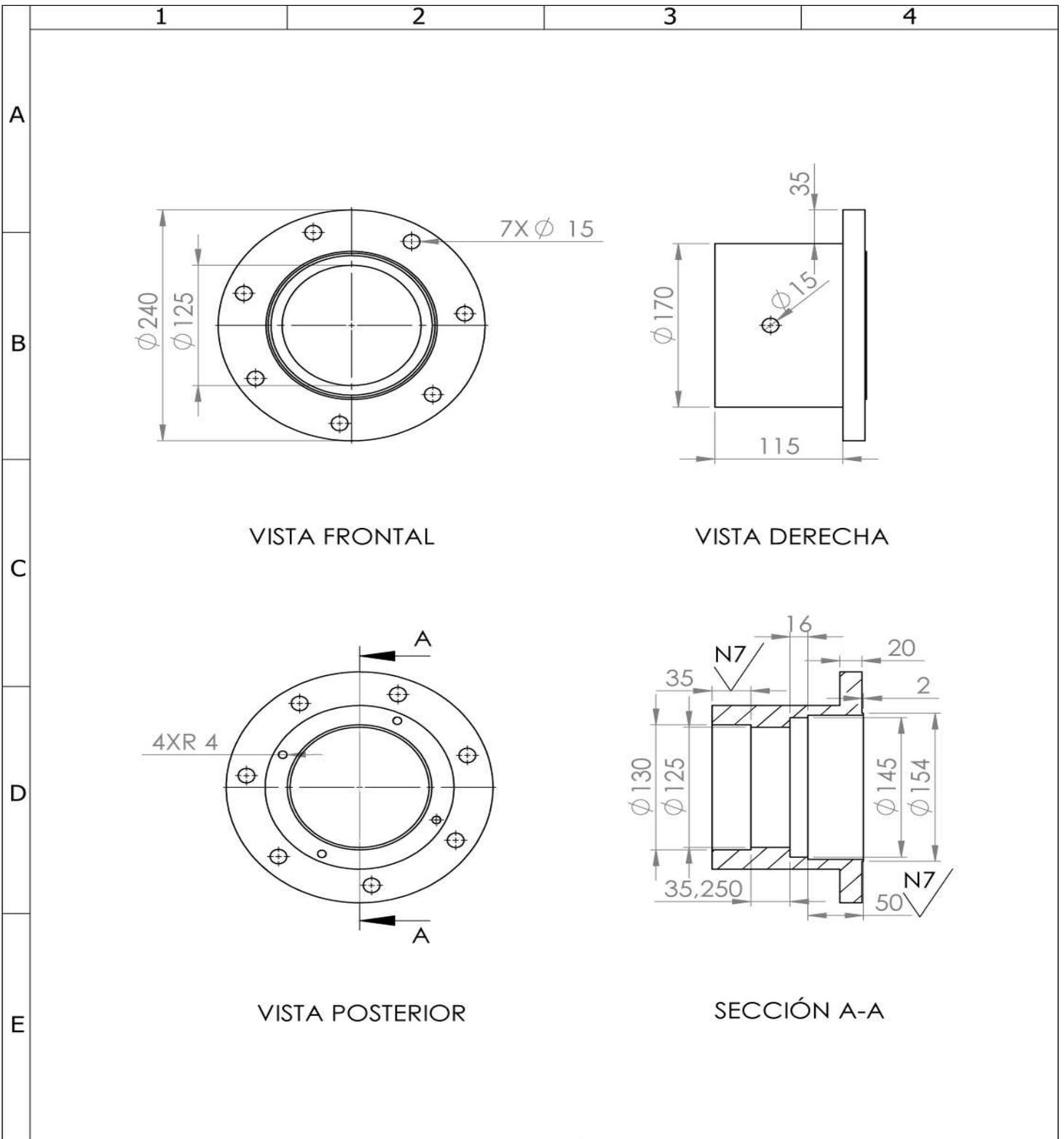
ANEXO 9
PLANOS DE LA MÁQUINA EXTRUSORA

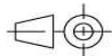


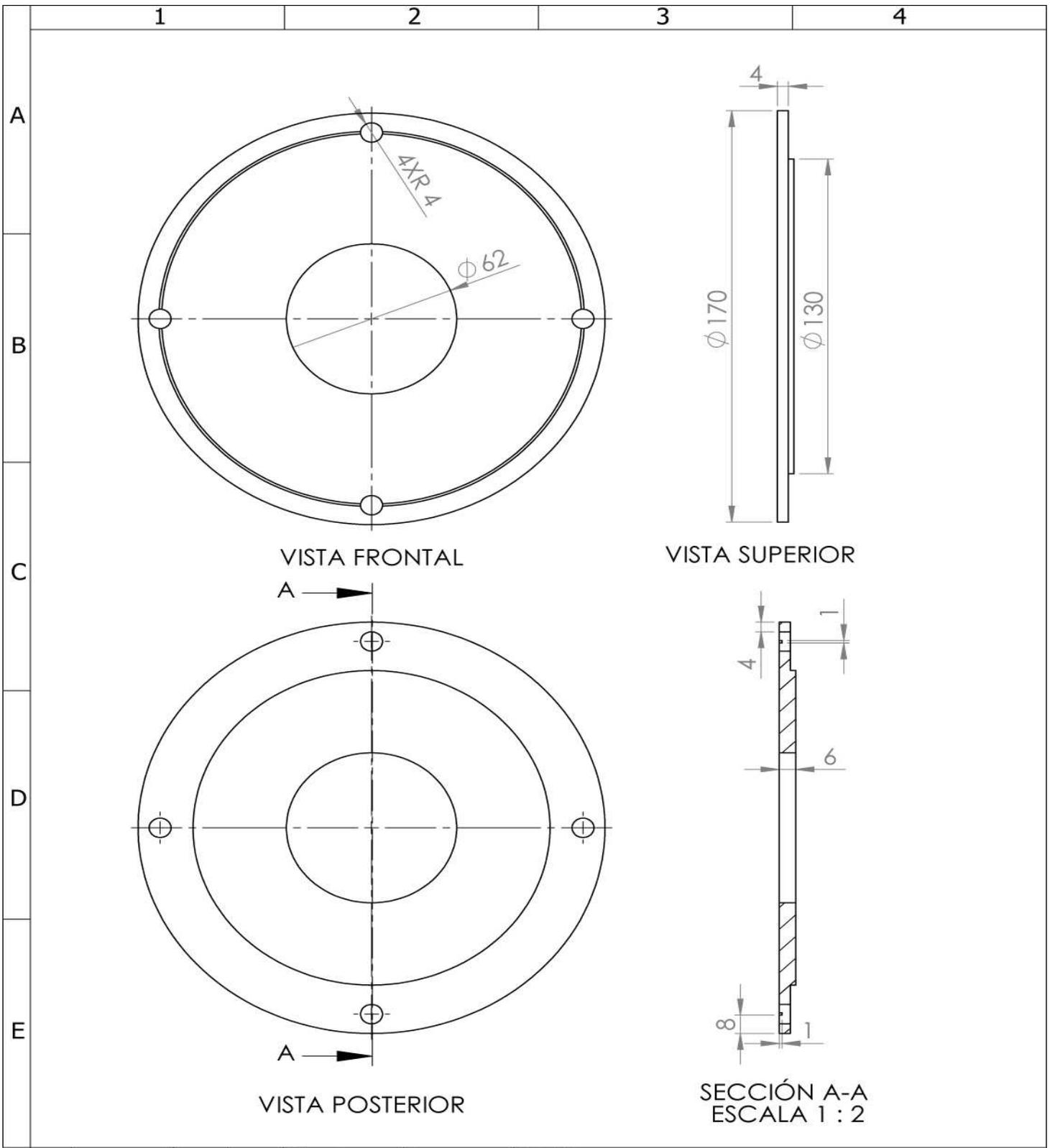
Materiales:		Masa:		Tolerancias:		Fecha:		Nombre:		Escala:	
0.1		26.17 Kg		0.1		15/07/12		Alan Proaño		1 : 10	
						01/08/12		Zamir Mera		TORNILLO O HUSILLO	
						20/11/12		Octavio Arias		Número del dibujo:	
										1.01	
										Registro:	
										Substitución:	



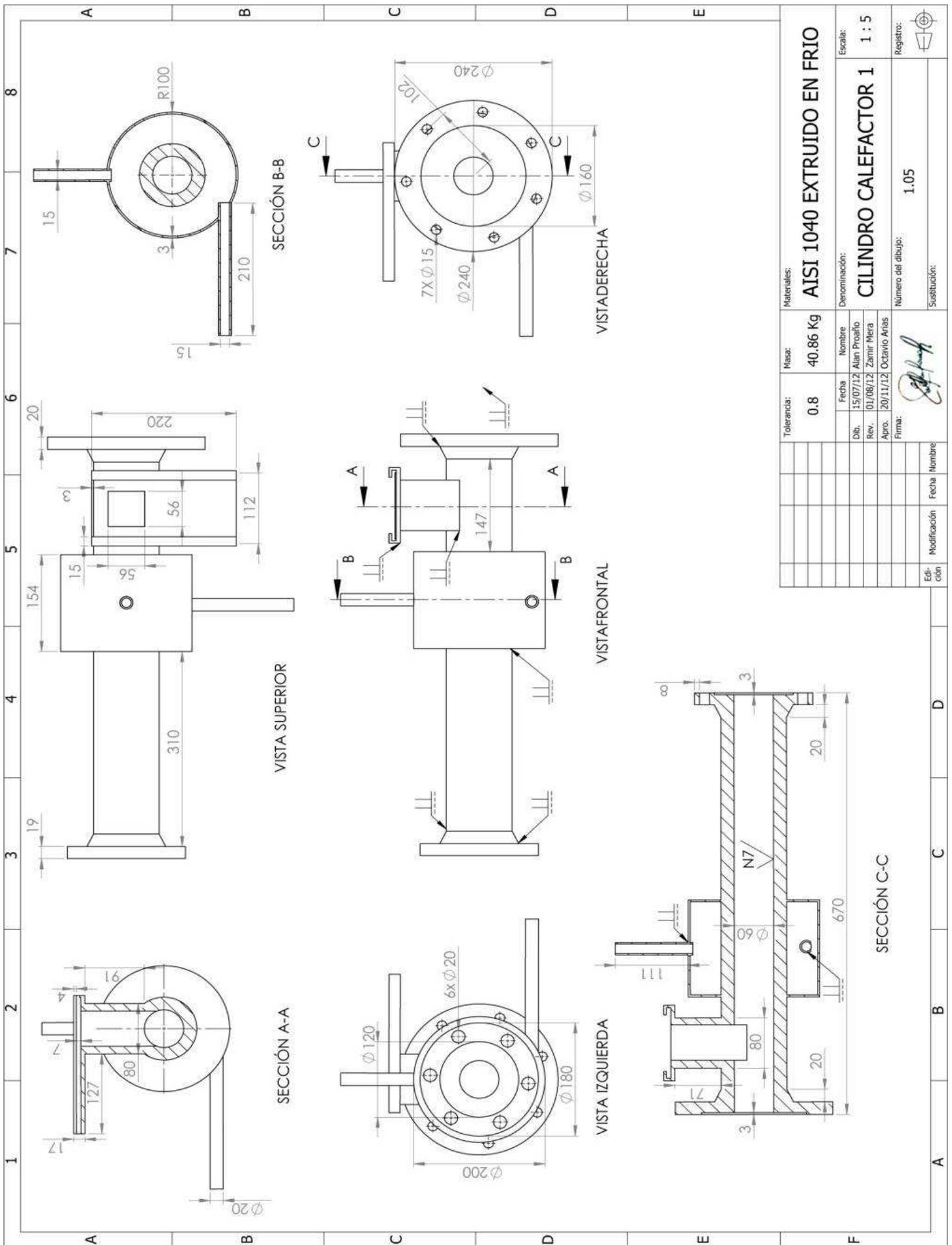
				Tolerancia: 0.1	Masa: 6.5 Kg	Materiales: AISI 1040 EXTRUIDO EN FRIO	
				Dib.	Fecha	Nombre	Denominación:
				15/07/12	Alan Proaño		EJE DEL HUSILLO
				Rev.	01/08/12	Zamir Mera	Escala: 1: 2
				Apro.	20/08/12	Octavio Arias	Registro:
				Firma:			Número del dibujo: 1.02
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustitución:			

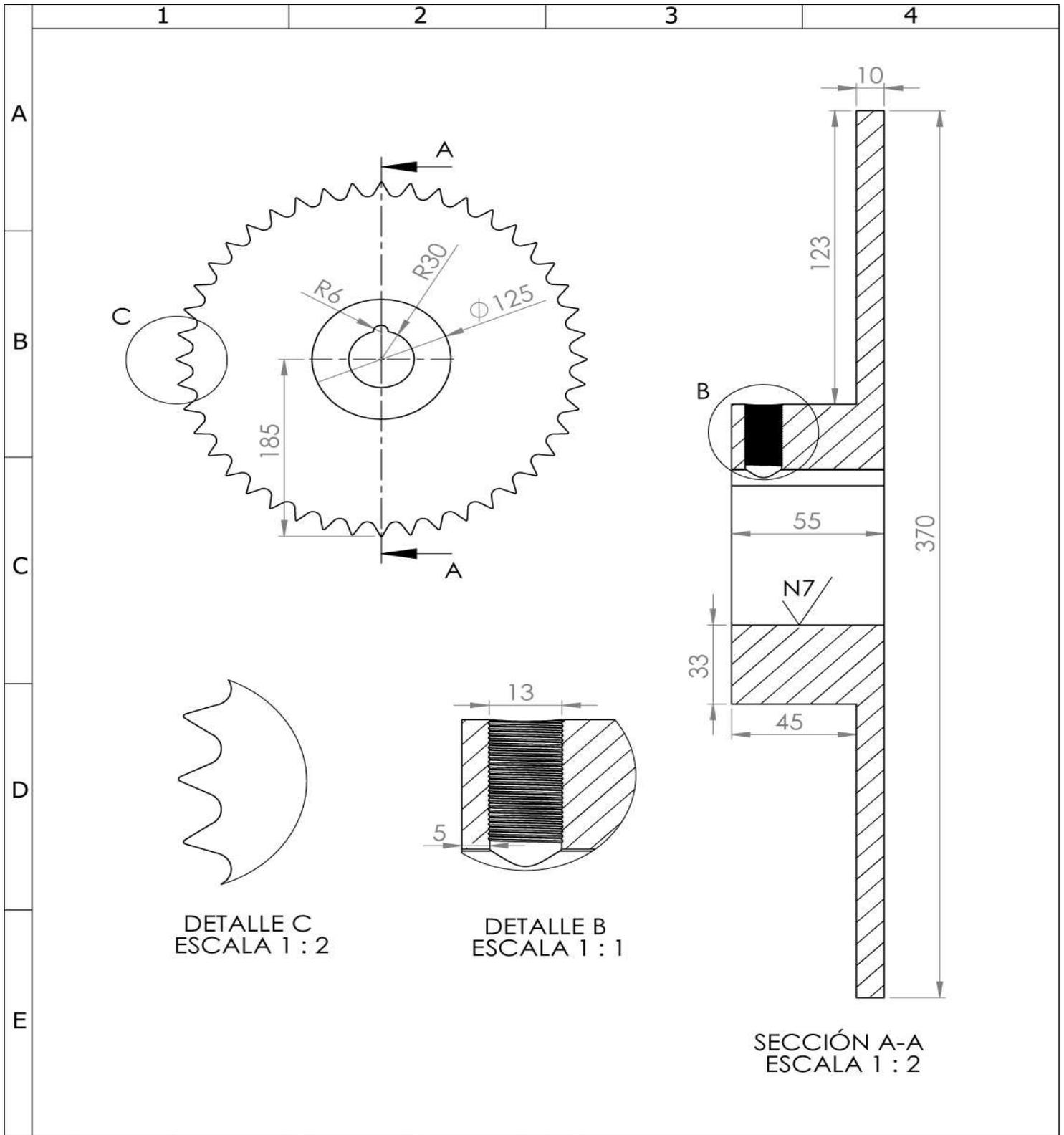


				Tolerancia:	Masa:	Materiales:	
				0.7	11.46 Kg	AISI 1040 EXTRUIDO EN FRIO	
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dib. 15/07/12	Alan Proaño	CILINDRO RODAMIENTOS	
				Rev. 01/08/12	Zamir Mera		
				Apro. 20/08/12	Octavio Arias		
				Firma:	Número del dibujo:		Escala:
					1.03		1 : 5
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustitución:		Registro:	
							

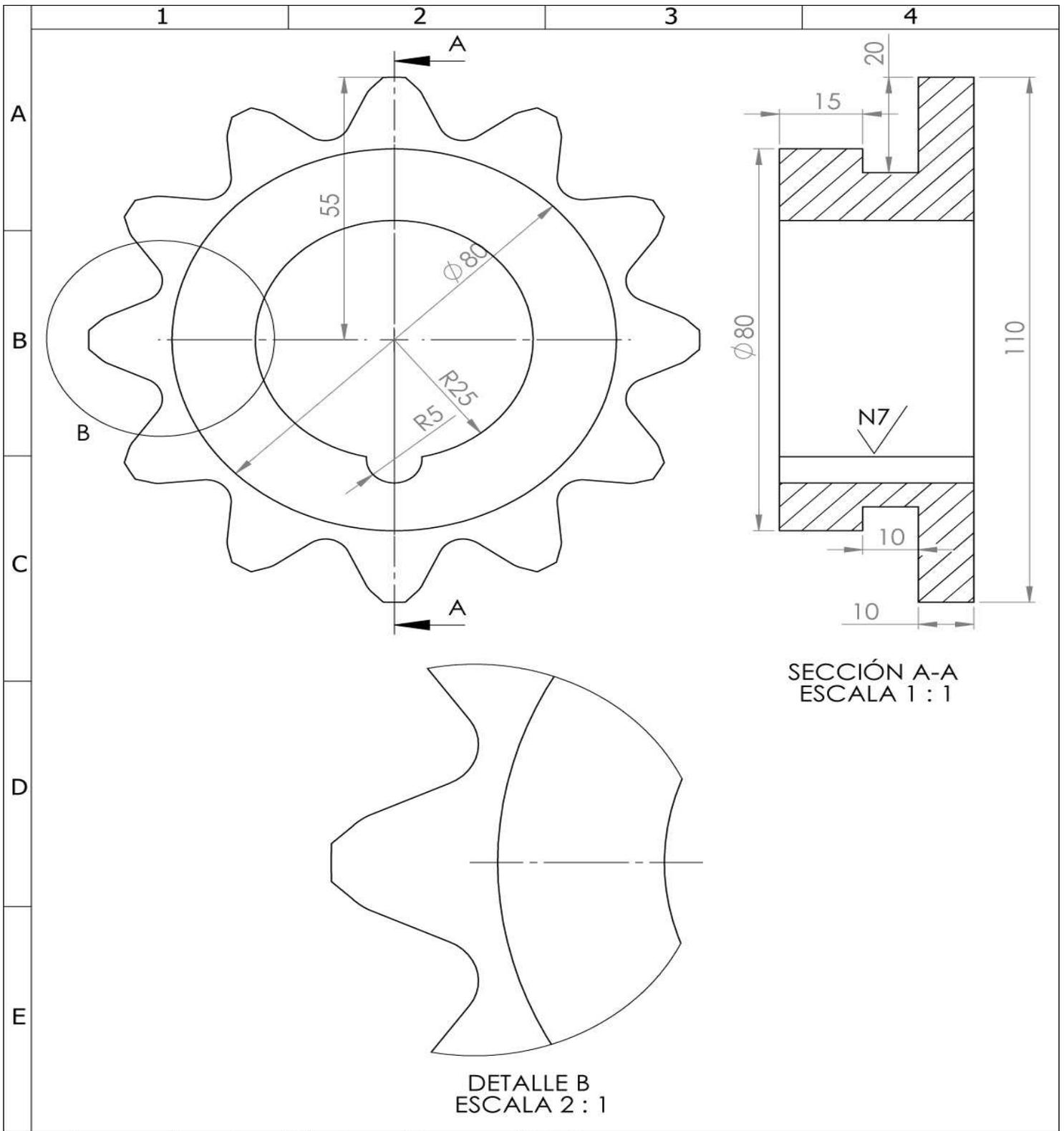


				Tolerancia: 0.7	Masa: 0.76 Kg	Materiales: AISI 1040 EXTRUIDO EN FRIO	
						Denominación: TAPETA CILINDRO RODAMIENTOS	Escala: 1 : 2
				Dib. 15/07/12	Alan Proaño	Número del dibujo: 1.04	Registro:
				Rev. 01/08/12	Zamir Mera	Sustitución:	
				Apro. 20/08/12	Octavio Arias		
				Firma: 			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				





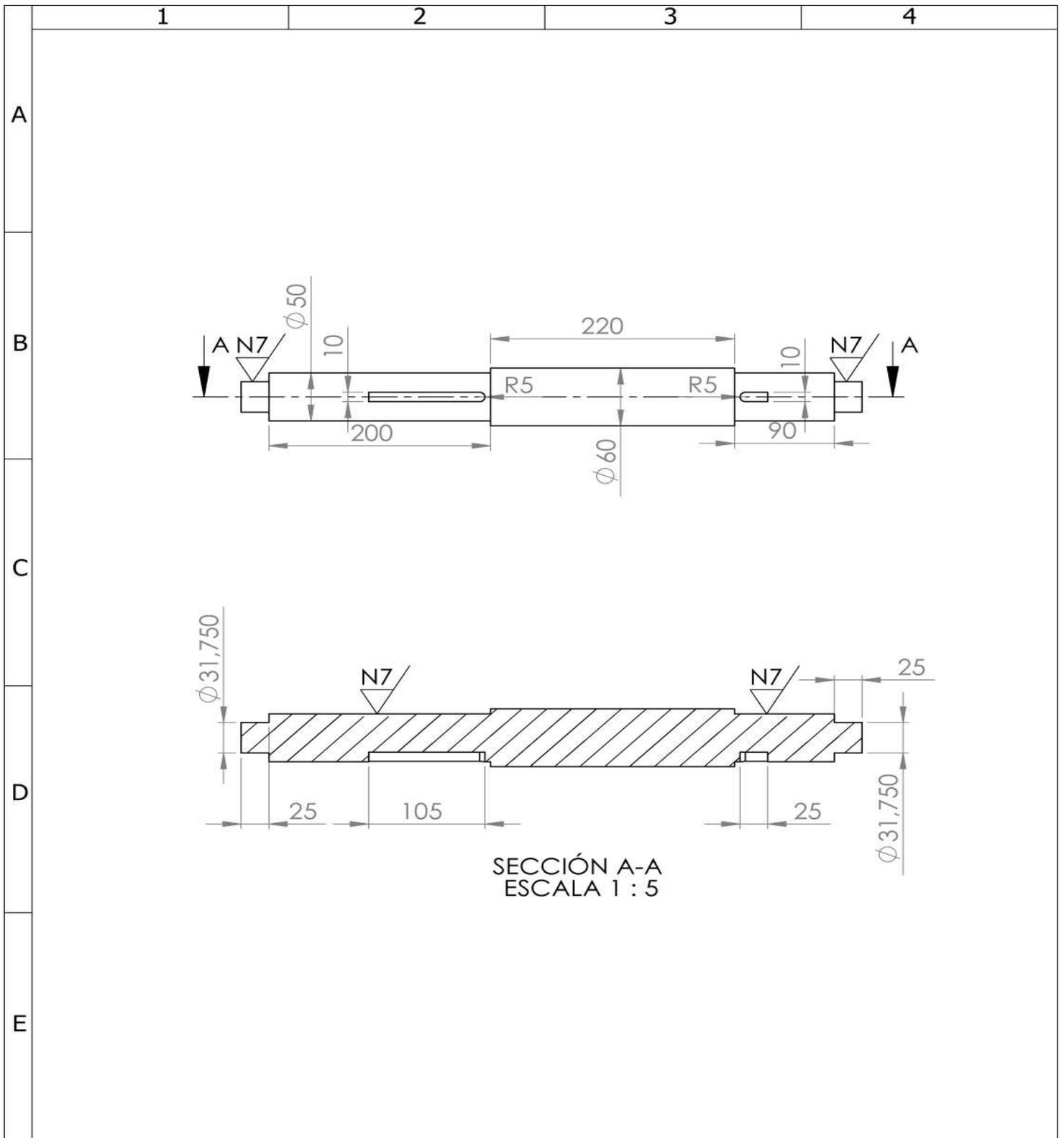
				Tolerancia: 0.7	Masa: 10.7 Kg	Materiales: AISI 1050 EXTRUIDO EN FRIO	
						Denominación: RUEDA DENTADA GRANDE	Escala: 1 : 5
				Dib.	Fecha	Nombre	
				Rev.	01/08/12	Zamir Mera	
				Apro.	20/08/12	Octavio Arias	
				Firma:			Número del dibujo: 1.08
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución:
							Registro:



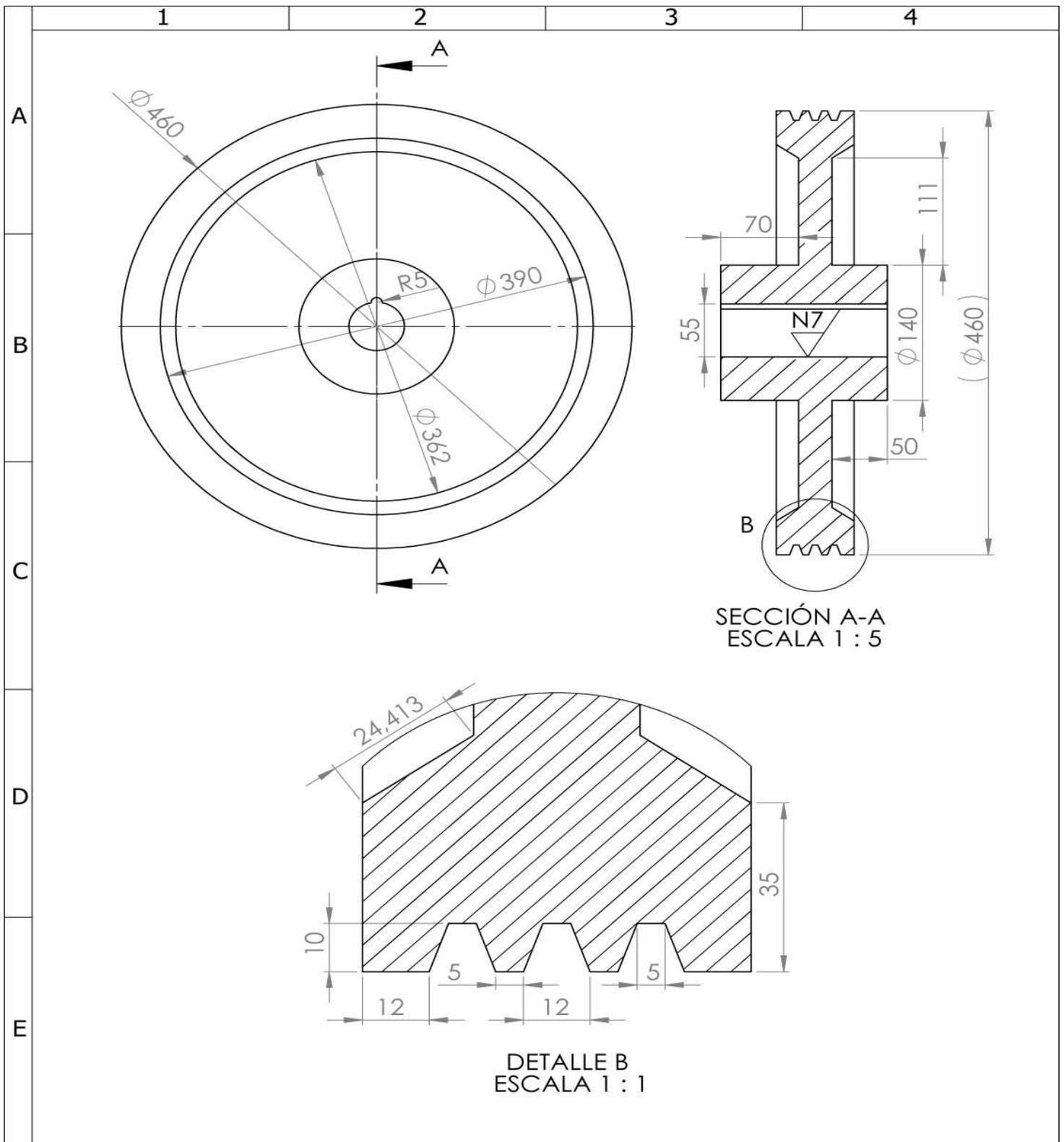
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1

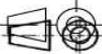
DETALLE B
ESCALA 2 : 1

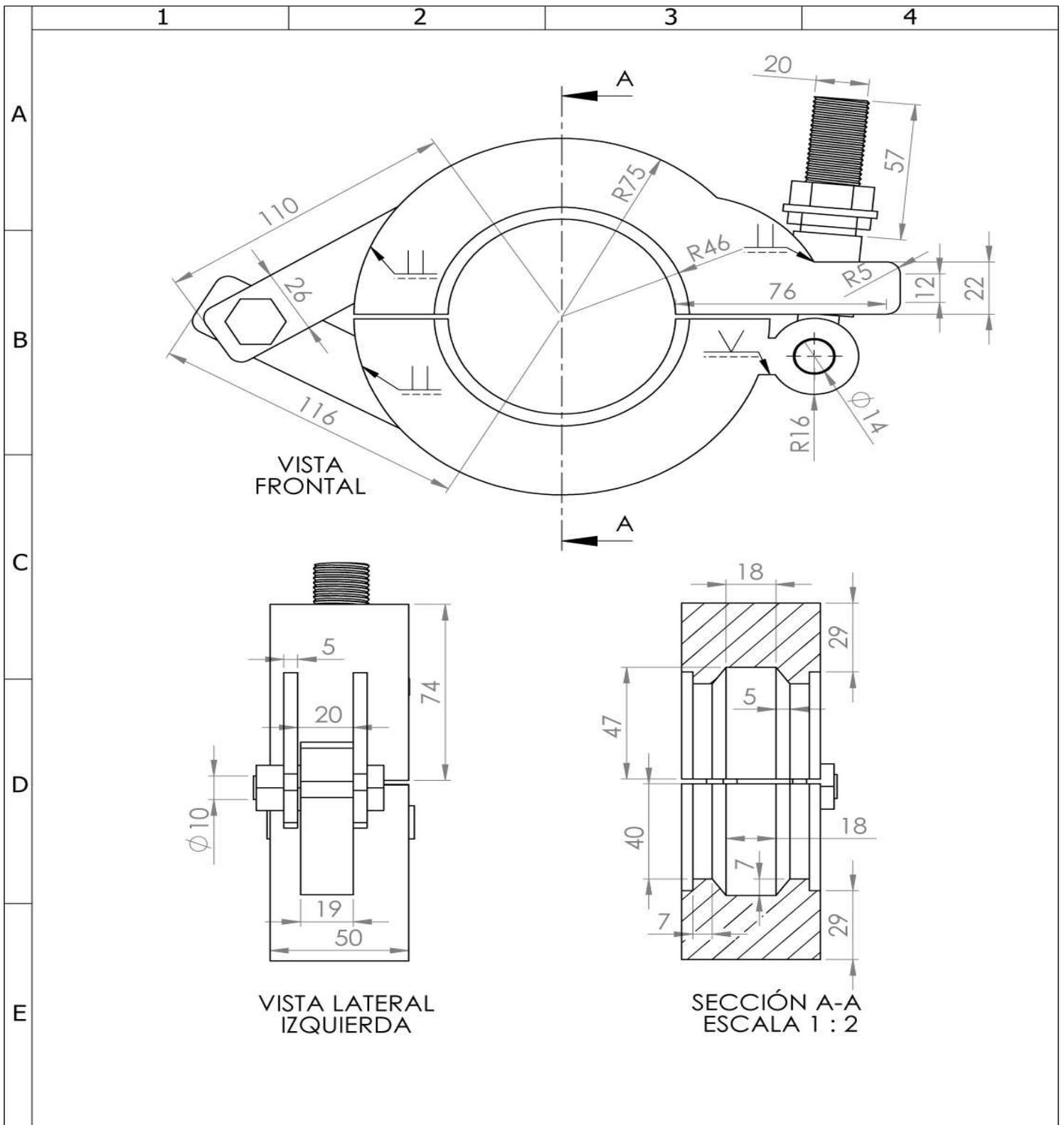
				Tolerancia: 0.7	Masa: 0.94 Kg	Materiales: AISI 1050 EXTRUIDO EN FRIO	
						Denominación: RUEDA DENTADA PEQUEÑA	Escala: 1 : 1
				Dib.	Fecha	Nombre	
				15/07/12	01/08/12	Alan Proaño	
				Rev.	20/08/12	Zamir Mera	
				Apro.		Octavio Arias	
				Firma:			Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Número del dibujo: 1.09			Sustitución:



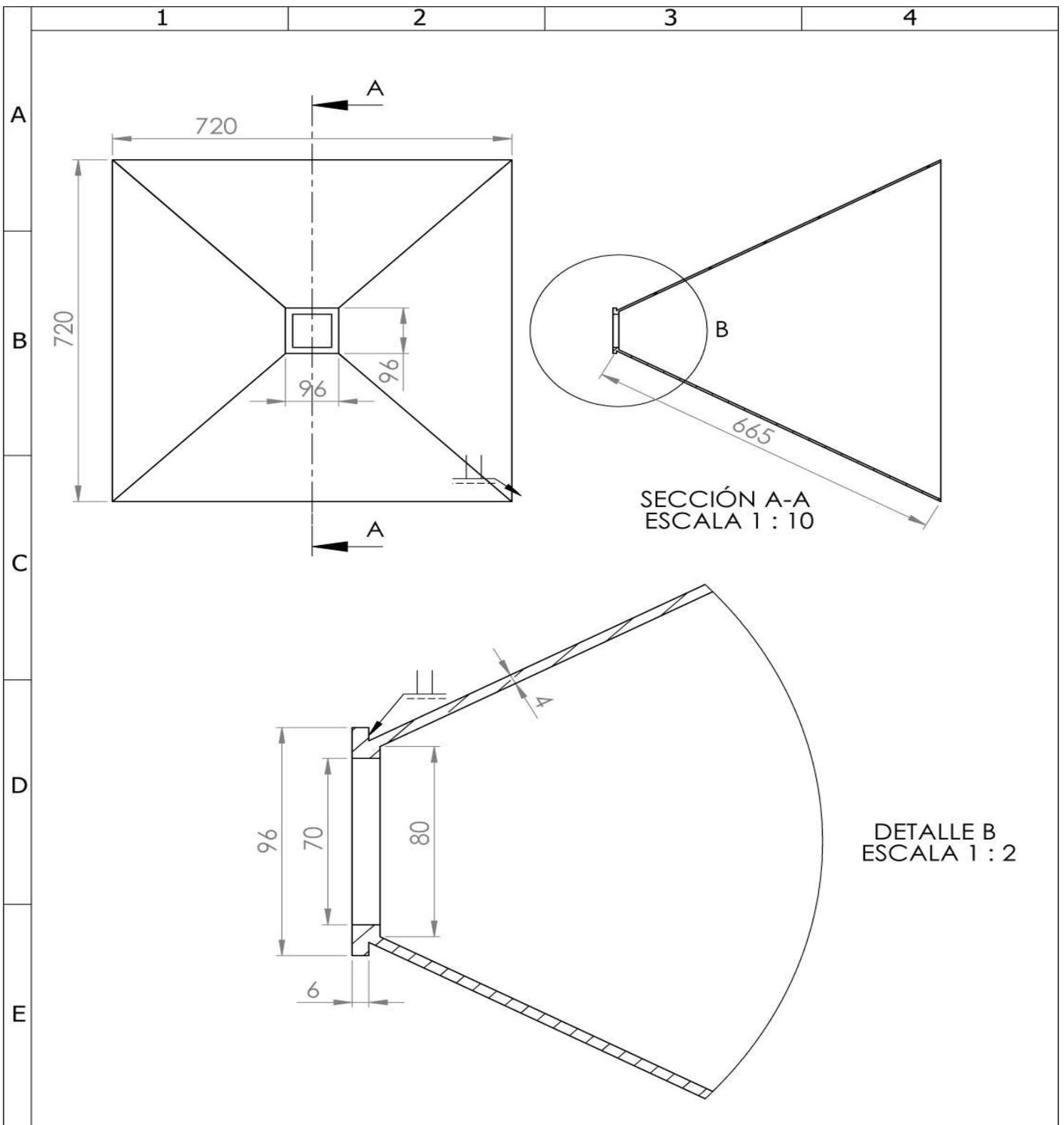
				Tolerancia: 0.5	Masa: 9.56 Kg	Materiales: AISI 1050 EXTRUIDO EN FRIO		
						Denominación: EJE TRANSMISIÓN	Escala: 1 : 5	
				Dib.	Fecha		Nombre	
				Rev.	01/08/12		Zamir Mera	
				Apro.	20/08/12	Octavio Arias		
				Firma:			Número del dibujo: 1.10	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución:	Registro:



				Tolerancia:	Masa:	Materiales:	
				0.7	22.62 Kg	ALUMINIO	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dib.	15/07/12	Alan Proaño	POLEA GRANDE
				Rev.	01/08/12	Zamir Mera	
				Apro.	20/08/12	Octavio Arias	
				Firma:			Número del dibujo:
							1.11
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



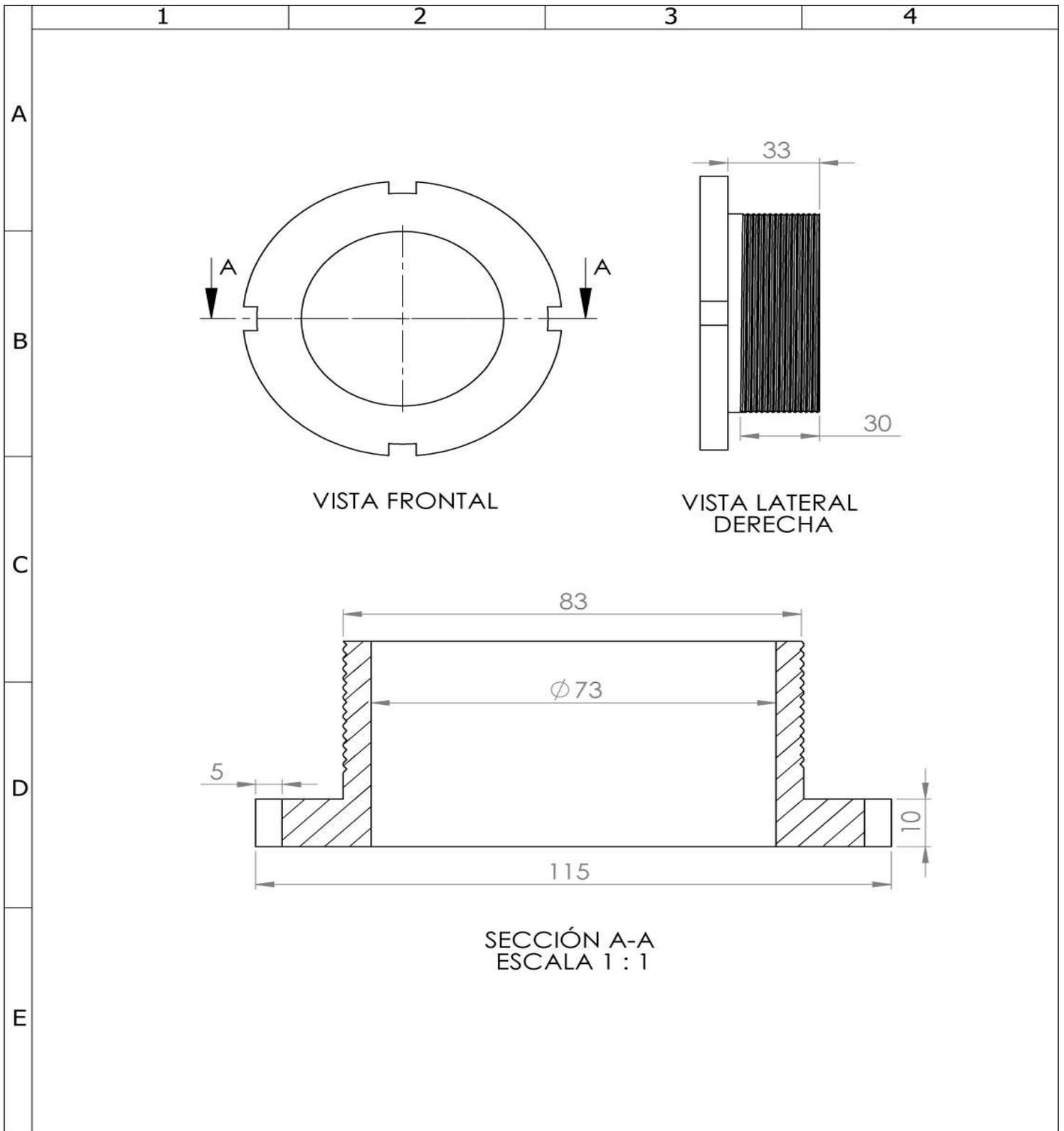
				Tolerancia:	Masa:	Materiales:	
				0.7	5.78 Kg	AISI 1040 EXTRUIDO EN FRIO	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dib. 15/07/12	Alan Proaño	ABRAZADERA	1 : 2
				Rev. 01/08/12	Zamir Mera		
				Apro. 20/08/12	Octavio Arias		
				Firma:	Número del dibujo:		Registro:
					1.12		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustitución:			



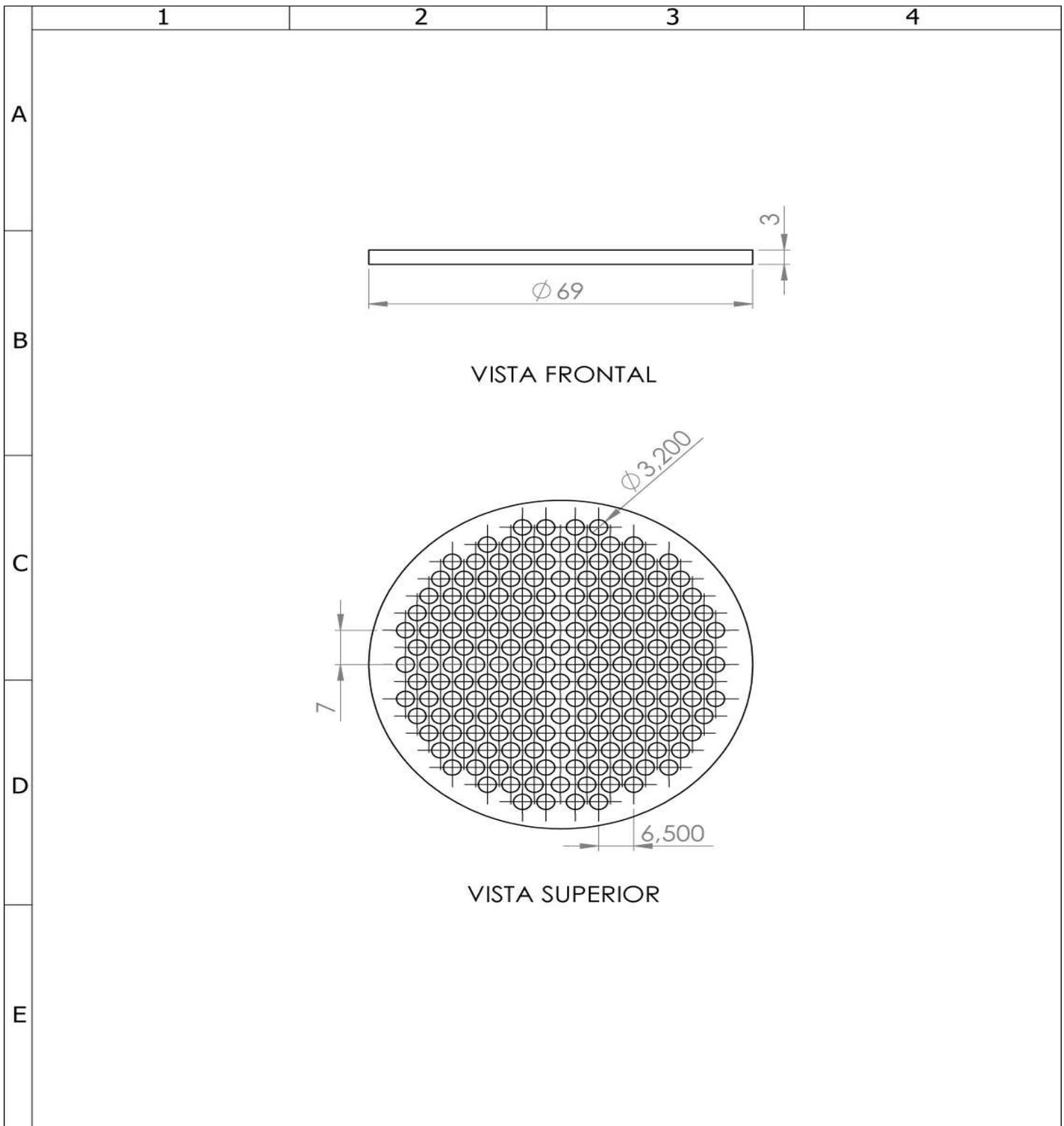
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 10

DETALLE B
ESCALA 1 : 2

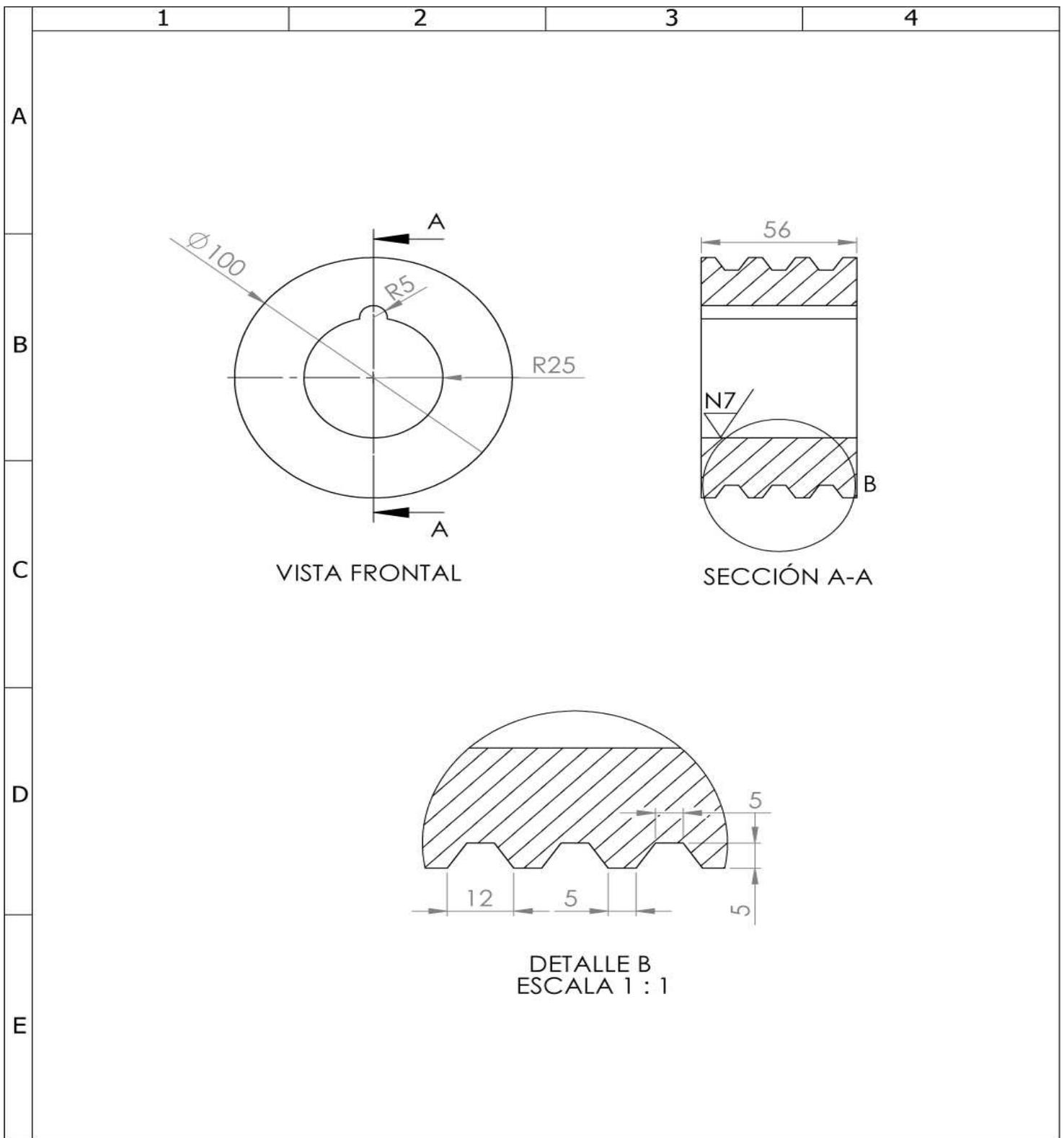
				Tolerancia: 0.8	Masa: 36.5 Kg	Materiales: AISI 1040 EXTRUIDO EN FRIO	
						Denominación: TOLVA	Escala: 1 : 10
				Dib.	Fecha	Nombre	
				Rev.	01/08/12	Zamir Mera	
				Apro.	20/08/12	Octavio Arias	
				Firma:			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Número del dibujo: 1.15	Registro:
						Sustitución:	



				Tolerancia:	Masa:	Materiales:		
				0.7	0.78 Kg	AIS1 1040 EXTRUIDO EN FRIO		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:	
				Dib.	15/07/12 Alan Proaño		SOPORTE ANILLO	1 : 2
				Rev.	01/08/12 Zamir Mera			Número del dibujo:
				Apro.	20/08/12 Octavio Arias	1.17		
				Firma:			Sustitución:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					



				Tolerancia: 0.6	Masa: 0.06 Kg	Materiales: AISI 1040 EXTRUIDO EN FRIO	
						Denominación: PLATO ROMPEDOR	Escala: 1 : 1
				Dib. 15/07/12	Alan Proaño	Número del dibujo: 1.19	Registro:
				Rev. 01/08/12	Zamir Mera		
				Apro. 20/08/12	Octavio Arias	Sustitución:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Firma: 			



				Tolerancia: 0.7	Masa: 2.26 Kg	Materiales: AISI 1040 EXTRUIDO EN FRIO	
						Denominación: POLEA PEQUEÑA	Escala: 1 : 2
				Dib.	Fecha	Nombre	
				Rev.	01/08/12	Zamir Mera	
				Apro.	20/08/12	Octavio Arias	
				Firma:			
						Número del dibujo: 1.27	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustitución:			

ANEXO 10
MÁQUINA EXTRUSORA



Figura A10.1. Máquina extrusora ensamblada.



Figura A10.2. Máquina extrusora descubierta.



Figura A10.3. Garganta de alimentación.



Figura A10.4. Reducción por bandas y cadena.



Figura A10.5. Cilindro calefactor con resistencias y termocoplas.



Figura A10.6. Ingreso de agua para refrigeración de la garganta de alimentación.