

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A	
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		iii(223)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	JHON FREDY BARBOSA PAREDES
FACULTAD	INGENIERIAS
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA MECANICA
DIRECTOR	ALFREDO BOHORQUEZ NIÑO
TÍTULO DE LA TESIS	DISEÑO DE UNA MAQUINA EXTRUSORA DE PLASTICO PARA LOS PRODUCTORES DE MAGUERA DE OCAÑA

RESUMEN

ESTE PROYECTO ESTÁ ORIENTADO A EL DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA EXTRUSORA DE PLÁSTICO PARA LOS PRODUCTORES DE MANGUERA DE LA PROVINCIA DE OCAÑA, POR LO QUE SE PLANTEA COMO SOLUCIÓN A LAS PROBLEMÁTICA DE COMPETITIVIDAD Y A LAS CONDICIONES DE TRABAJO EN LAS QUE SE DESENVUELVEN ESTOS; EL PROTOTIPO SE ENCARGARÁ DE PRODUCIR MANGUERA DE POLIETILENO DE ½”, ¾” Y 1” MEDIANTE UN MECANISMO COMPUESTO DE UN HUSILLO Y SISTEMA DE CALENTAMIENTO QUE FUNDIRÁ, COMPRIMIRÁ LA MATERIA PRIMA PROVENIENTE DE UNA TOLVA DE ALIMENTACIÓN Y ADEMÁS LA HARÁ PASAR A TRAVÉS DE UNA BOQUILLA O MOLDE DE EXTRUSIÓN PARA OBTENER EL PRODUCTO FINAL, LA MÁQUINA SERÁ DE BAJO COSTO PARA FOMENTAR EL CRECIMIENTO Y LA CAPACIDAD COMPETITIVA DE LOS PRODUCTORES DE MANGUERA.

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 223	PLANOS:11	ILUSTRACIONES: 62	CD-ROM: 1
--------------	-----------	-------------------	-----------



**DISEÑO DE UNA MAQUINA EXTRUSORA DE PLASTICO PARA LOS
PRODUCTORES DE MAGUERA DE OCAÑA**

AUTOR:

JHON FREDY BARBOSA PAREDES

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico

Director:

ALFREDO BOHORQUEZ NIÑO

(c)Esp. Automatización Industrial

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA MECANICA

Ocaña, Colombia

Agosto de 2017

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo agradecerle a Dios por permitirme culminar esta etapa tan importante en mi vida, en segundo agradecerle a mi mama Zenaida Paredes Rincón que ha luchado sola por sacarme adelante a mí y a mi hermano menor y ha hecho todo para que seamos persona de bien y útiles a la sociedad. También agradecerle a mi familia por apoyar a mi mama y a mí en los momentos más complicados de esta etapa en mi vida.

Además agradecer a mi novia Greezly Carrascal Acosta que ha sido parte muy importante de mi crecimiento personal y un apoyo muy importante para culminar mi carrera de la mejor manera, además que ha estado en los momentos difíciles apoyándome siempre.

También agradecerle a todo mis amigos que me colaboraron cuando fue posible a lo largo de mi estadía en la ciudad de Ocaña.

Por ultimo agradecerle a mi director de tesis Alfredo Bohórquez Niño por colaborar en todo lo que necesite y por estar siempre pendiente de todo el proceso de desarrollo de la misma, también agradecerle a todos mis docentes a lo largo de la carrera que me nutrieron de conocimiento y experiencia.

Jhon Fredy Barbosa Paredes

Índice

Pág.

Capítulo 1. Diseño de una maquina extrusora de plástico a bajo costo para los productores de manguera de Ocaña	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Objetivo General.....	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Delimitaciones.....	4
1.4.1. Conceptuales.....	4
1.4.2. Operativa.....	4
1.4.3. Temporal.....	4
1.4.4. Geográfica.....	4
 Capítulo 2. Marco referencial	 5
2.1. Antecedentes	5
2.1.1. A nivel mundial	5
2.1.2. A nivel nacional.....	7
2.1.3. A nivel departamental.....	7
2.1.4. A nivel local.....	7
2.2. Alcance	8
2.3. Marco conceptual	8
2.3.1. Husillos	8
2.3.2. Criterios de selección de motores eléctricos.....	11
2.3.3. Termoplásticos y características.....	18
2.3.4. Resistencias eléctricas de calefacción	20
2.3.5. Estructuras y sus criterios de diseño.....	22
2.3.6. Extrusión.....	24
2.4. Marco legal.....	25
2.4.1. A nivel local.....	25
2.4.2. A nivel nacional.....	27
2.3.3. A nivel mundial	27
 Capítulo 3. Diseño metodológico	 32
3.1. Tipo de investigación	32
3.2. Población.....	32
3.3. Muestra	33
3.4. Fases del proyecto de investigación.....	33
3.4.1. Fase I. Conocer las diferentes máquinas y materiales para el proceso de extrusión, para establecer los requerimientos de diseño	33
3.4.2. Fase II. Calcular los elementos que conforman la maquina extrusora con base a los requerimientos establecidos.....	33

3.4.3 Fase III. Evaluar la viabilidad económica para la construcción del prototipo con el fin de dar una base teórica de la alternativa a los productores de manguera Ocañeros 34

Capítulo 4. Desarrollo del proyecto por medio de las actividades propuestas 35

4.1. Investigar los tipos de máquinas de extrusión existentes y su funcionamiento.	35
4.1.1. Extrusoras de desplazamiento positivo.....	35
4.1.2. Extrusoras de fricción viscosa.	36
4.2. Indagar acerca de los materiales plástico que se pretenden procesar en la maquina extrusora.	47
4.2.1. Materiales que pueden extrairse.	47
4.3. Establecer los requerimientos de dimensión y funcionamiento de la máquina.....	51
4.3.1. Características de los productos de mayor uso en la región.	52
4.4. Diseñar el sistema de alimentación y cabezal de extrusión de la máquina.	54
4.4.1. Tolva.	54
4.4.2. Cabezal de extrusión.....	58
4.5. Seleccionar el sistema de variación de velocidad y transmisión de potencia.	69
4.5.1. Selección de la caja de cambios.	69
4.5.2. Definición de características principales.	69
4.6. Diseñar el husillo y cilindro de extrusión correspondiente.	70
4.6.1. Husillo.	70
4.6.2. Cilindro.....	109
4.7. Seleccionar el motor adecuado basado en los cálculos realizados.	112
4.7.1. Condiciones.	112
4.7.2. Selección.....	114
4.8. Seleccionar las resistencias eléctricas adecuadas para el sistema de calefacción de la máquina.	114
4.8.1. Potencia requerida.	114
4.8.2. Selección de resistencias eléctricas.	124
4.9. Realizar los cálculos necesarios para el sistema de Ventilación y circuito eléctrico del sistema.	125
4.9.1. Sistema de Ventilación.	125
4.9.2. Sistema eléctrico.....	126
4.10. Calcular y seleccionar el sistema de ajuste de velocidad y potencia del motor.	130
4.10.1. Definición de los requerimientos de ajuste para la transmisión.	130
4.10.2. Selección del sistema de cadenas.	130
4.11. Seleccionar de la estructura de soporte elementos de sujeción.	133
4.11.1. Material de la estructura.	133
4.11.2. Bridas de acople.....	134
4.11.3. Tornillos y pernos.....	135
4.11.4. Selección de rodamientos.	135
4.12. Realizar los análisis de elementos finitos correspondientes para el husillo y el cilindro de extrusión.	137
4.12.1. Husillo de extrusión.....	137
4.12.2. Cilindro de extrusión.	142
4.13. Generar los planos de las piezas de la maquina extrusora.	146

4.13.1. Apariencia y vista técnica de la máquina extrusora.	146
4.13.2. Partes de la máquina.	149
4.14. Determinar el presupuesto para la construcción de la máquina.	159
4.14.1. Gastos de ejecución del proyecto.	159
4.15. Calcular los indicadores de factibilidad para la construcción y puesta en funcionamiento de la maquina	165
Conclusiones	173
Recomendaciones	174
Referencias	175

Lista de tablas

Tabla 1. Características específicas de diferentes termoplásticos.	19
Tabla 2. Temperatura de fusión y transición vítrea de algunos plásticos.	20
Tabla 3. Características de los platos rompedores.	59
Tabla 4. Especificaciones de las mallas extrusoras.	55
Tabla 5. Contracción de algunos polímeros.	65
Tabla 6. Dimensiones de las mangueras comerciales.	66
Tabla 7. Relaciones de velocidad de la caja de velocidades.	69
Tabla 8. Profundidad de canal para el husillo de extrusión.	78
Tabla 9. Características del Blower seleccionado.	126
Tabla 10. Características del motor eléctrico.	127
Tabla 11. Selección de los elementos eléctricos para el motor.	127
Tabla 12. Potencias y resistencias de los calefactores.	128
Tabla 13. Selección de los elementos eléctricos para los calefactores.	129
Tabla 14. Selección de los elementos eléctricos para el Blower.	130
Tabla 15. Características principales del rodamiento de rodillos cilíndricos.	136
Tabla 16. Características principales del rodamiento de rodillos cónicos.	137
Tabla 17. Características del Material del husillo.	137
Tabla 18. Características de la malla del husillo.	138
Tabla 19. Cargas térmicas aplicadas al husillo.	139
Tabla 20. Resultado de la temperatura del husillo.	140
Tabla 21. Resultado del desplazamiento del husillo.	141

Tabla 22. Características del material del cilindro de extrusion.....	142
Tabla 23. Características de la malla del cilindro.	143
Tabla 24. Cargas térmicas en el cilindro de extrusion.....	144
Tabla 25. Resultado de la temperatura del cilindro de extrusion.....	145
Tabla 26. Resultado del desplazamiento en el cilindro de extrusion.....	146
Tabla 27. Cotizaciones de los materiales de la extrusora.	160
Tabla 28. Estimacion de costo óptima para cada material.....	162
Tabla 29. Presupuesto para la opción 1	163
Tabla 30. Presupuesto para la opción 2.	164
Tabla 31. Costos por mantenimiento.	168
Tabla 32. Flujo neto opción 1.	168
Tabla 33. Flujo neto opción 2.	169

Lista de figuras

Figura 1. Tornillos de potencia.	8
Figura 2. Esquema motor eléctrico.	11
Figura 3. Resistencias de abrazadera comerciales.	21
Figura 4. Estructura común.	22
Figura 5. Proceso de extrusión y componentes.	24
Figura 6. Proceso de extrusión con desplazamiento positivo.	35
Figura 7. Extrusora de fricción viscosa.	38
Figura 8. Husillo de extrusión más común.	40
Figura 9. Sistema cilindro-husillo.	41
Figura 10. Garganta de alimentación.	42
Figura 11. Modelos de tolvas más comunes.	43
Figura 12. Tornillo Crammer de una tolva especializada.	44
Figura 13. Esquema plato rompedor.	45
Figura 14. Configuraciones de las extrusora doble husillo.	46
Figura 15. Maquina extrusora de metales.	47
Figura 16. Maquina extrusora de ladrillos.	50
Figura 17. Productos hechos mediante la extrusión.	52
Figura 18. Esquema de la tolva de alimentación.	55
Figura 19. Distribución de los agujeros del plato rompedor.	59
Figura 20. Bordes de filtros para extrusión.	61
Figura 21. Recomendación para la selección de filtro de extrusión.	62

Figura 22. Cabezal de extrusión y componentes.	63
Figura 23. Torpedo visto de manera frontal.....	64
Figura 24. Pieza central de la boquilla.....	66
Figura 25. Cuerpo de la boquilla.....	67
Figura 26. Vista esquemática del sistema cilindro-husillo.	71
Figura 27. Zonas del husillo de extrusión.....	74
Figura 28. Índice de velocidad de cortadura.	76
Figura 29. Grafica de viscosidad efectiva.....	77
Figura 30. Flujo entre el husillo y cilindro de extrusión.....	79
Figura 31. Vista lateral del alma del husillo en la zona de alimentación.....	88
Figura 32. Vista lateral del alma en la zona de transición del husillo.	89
Figura 33. Vista lateral del alma del husillo en la zona de extrusión.	89
Figura 34. Esquema para determinar la longitud del filete.....	91
Figura 35. Sección de un filete en la zona de alimentación.....	92
Figura 36. Sección de un filete en la zona de transición.....	93
Figura 37. Sección de un filete en la zona de extrusión.....	95
Figura 38. Fuerzas presentes en el husillo de extrusión.....	101
Figura 39. Efectos de la presión en el interior de un cilindro.....	110
Figura 40. Dilatación térmica de un sólido.....	111
Figura 41. Esquema de Nitrurado de una pieza.....	112
Figura 42. Flujos de calor en el sistema cilindro-husillo.....	115
Figura 43. Brida para el cilindro de extrusión.....	134
Figura 44. Pernos y tornillos de trabajo pesado.....	135

Figura 45. Rodamiento SKF.	135
Figura 46. Malla del husillo de extrusion.	138
Figura 47. Cargas estáticas en el husillo de extrusion.	141
Figura 48. Malla del cilindro de extrusion.....	143
Figura 49. Presión en el cilindro de extrusión.	145
Figura 50. Render de la maquina extrusora de plástico.....	147
Figura 51. Vista técnica de la maquina extrusora de plástico con sus partes.	147
Figura 52. Plano general de la maquina extrusora de plástico.....	148
Figura 53. Plano de la tolva	149
Figura 54. Plano del husillo de extrusión.....	150
Figura 55. Plano del cilindro de extrusión.....	151
Figura 56. Plano de la camisa de ventilación.....	152
Figura 57. Plano del cabezal de extrusión.	153
Figura 58. Plano del torpedo del cabezal de extrusión.	154
Figura 59. Plano de la parte 1 de la boquilla de extrusión.....	155
Figura 60. Plano de parte 2 de la boquilla de extrusión.....	156
Figura 61. Plano 1 de la estructura de la máquina extrusora.	157
Figura 62. Plano 2 de la estructura de la maquina extrusora	158

Lista de Apéndices

Apendice 1. Propiedades térmicas y físicas del polietileno.....	181
Apendice 2. Principales materiales para los husillos de extrusion.	182
Apendice 3. Características Acero AISI 4140	183
Apendice 4. Propiedades del aire.....	184
Apendice 5. Ficha técnica motor.	185
Apendice 6. Ficha técnica del Blower de ventilación.....	186
Apendice 7. Cables para instalaciones electricas.....	187
Apendice 8. Disyuntores trifásicos.	188
Apendice 9. Propiedades mecánicas de los aceros.	189
Apendice 10. Numero de dientes de Catarina disponibles.	190
Apendice 11. Características geométricas de las cadenas.	191
Apendice 12. Potencia nominal para los sistemas de cadena.	192
Apendice 13. Factor de corrección del diente.....	193
Apendice 14. Factor de torones múltiples.....	193
Apendice 15. Ficha brida delantera.	194
Apendice 16. Ficha brida trasera.	195
Apendice 17. Características tornillos de sujeción.	196
Apendice 18. Características rodamiento de rodillo cilíndrico-1	197
Apendice 19. Características rodamiento de rodillo cilíndrico-2	198
Apendice 20. Características rodamiento de rodillo cónico.	199
Apendice 21. Angulos comerciales.....	200
Apéndice 22. Recomendaciones para el mantenimiento de la máquina extrusora	201

Apéndice 23. Actividades de mantenimiento.....	204
Apéndice 24. Instrucciones de operación.....	205
Apéndice 25. Reglas de seguridad.....	207

Capítulo 1. Diseño de una máquina extrusora de plástico a bajo costo para los productores de manguera de Ocaña

1.1. Planteamiento del problema

La situación actual por la que atraviesa la industria de la ciudad de Ocaña evidencia la falta de inversión, estudio y gestión que ha llevado a los empresarios a utilizar métodos rudimentarios en ocasiones poco efectivos para el proceso productivo, que conlleva en ocasiones a grandes inversiones y pocos réditos económicos.

Los productores locales cuentan con la maquinaria adecuada para el tratamiento de sus materias primas, pero siempre son máquinas de alto costo, por lo cual al momento de querer aumentar su productividad se ven obstaculizados, ya que no les resulta viable la inversión en nuevas máquinas a causa de elevado costo de las mismas.

La ciudad de Ocaña tiene un alto potencial en este mercado ya que en la región hay un gran número de campesinos que cultivan diferentes productos y requieren de sistemas de riego, que a su vez requieren de mangueras. Y los productores locales no suplen la demanda local, por lo cual se encuentra mucho producto que es traído de otros lugares del país a mayor costo.

Evidentemente, el origen de los problemas que actualmente presenta el sector productivo que se centra en la producción, tiene su raíz en la incapacidad de competir con productores bien establecido que ha monopolizado el mercado, y todo por el alto costo de las máquinas disponibles en el mercado.

Por las razones presentadas anteriormente los productores de manguera local requieren alternativas más económicas y accesibles, para poder competir de mejor manera con los grandes productores y fomentar el uso de producto totalmente ocañero, a bajo costo y fortalecer la industria local.

1.2. Formulación del problema.

¿A través del diseño de una maquina extrusora de plástico de bajo costo se podrá suplir las dificultades que presentan los productores de manguera de Ocaña en cuanto a la competitividad con otros productores de la región?

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo General.

Diseñar una máquina extrusora de plástico de fricción viscosa para los productores de manguera de Ocaña.

1.3.2. Objetivos específicos.

Estudiar las diferentes máquinas y materiales para el proceso de extrusión, para establecer los requerimientos de diseño.

Calcular los elementos que conforman la maquina extrusora con base a los requerimientos establecidos.

Evaluar la viabilidad económica para la construcción del prototipo con el fin de dar una base teórica de la alternativa a los productores de manguera Ocañeros.

1.3. Justificación

En Ocaña y en las regiones aledañas existe un grupo de personas que por el auge agrícola en Ocaña han tomado la iniciativa a lo largo de los años de crear sus microempresas de producción de manguera negra, y son un suministro casi constante para los campesinos de la región, pero frente a grandes productores no tienen la capacidad de crecimiento por la limitación económica que tienen.

Con este proyecto se pretende contribuir a la mejora de la competitividad en la región debido a que con este los productores de manguera que quieran ampliar su capacidad productiva con una inversión menor a la acostumbrada en la construcción de dichas máquinas puedan comenzar a competir de manera más profesional, y así ofrecer más producto local a los campesinos e inclusive a menor precio.

Además, que en el diseño de la máquina extrusora incluirá un análisis de factibilidad para que los interesados en esta conozcan todo lo pertinente sobre lo que deben invertir y en cuanto tiempo podría recuperar dicha inversión y así tengan un fundamento más preciso para decidir. Adicionalmente por medio de este diseño se cumple con las pretensiones de la universidad a hacer extensión a la comunidad y ser un solucionador de los problemas que aquejan a la comunidad ocañera y la provincia, generando un impacto positivo en la región.

1.4. Delimitaciones

1.4.1. Conceptuales.

Las temáticas a emplearse en este proyecto son: Plástico, Extrusión, Resistencias eléctricas, Variador de velocidad, entre otros.

1.4.2. Operativa.

El cumplimiento y desarrollo de los objetivos del proyecto se harán con base en los parámetros y requerimientos del presente documento y con la asesoría del director del mismo y de las personas que se necesiten como asesores o consultores en el transcurso de la investigación.

1.4.3. Temporal.

El presente proyecto tendrá una duración estimada de 8 semanas a partir de la fecha de aprobación del anteproyecto.

1.4.4. Geográfica.

El desarrollo se materializará en la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel mundial

En 1797, Joseph Bramah patentó el primer proceso de extrusión para hacer un tubo de plomo. Éste consistía en el precalentamiento del metal para luego pasarlo por un troquel mediante un émbolo a mano. Y En 1894 Alexander Dick expandió el proceso de extrusión al cobre y aleaciones de bronce (Villegas, 2011).

Luego Arquímedes ideó un tornillo para remover o bombear agua contenida en un bote (barco). Este diseño se aplicó en varias industrias y se usó para bombear una mezcla plástica a través de un dado y este estaba protegido por un cilindro, el cual en el siglo 19 estaba cubierto con una chaqueta para permitir la circulación y transferencia de calor mediante aceite o vapor (para extrusores de caucho). En unos pocos diseños tuvieron algún tipo de adaptaciones para obtener y/o controlar temperaturas uniformes e independientes a las del cabezal y el dado, donde posteriormente se incorporaron a los extrusores elementos como aisladores de conductores eléctricos (Villegas, 2011).

El material plástico alimentado a estas máquinas inicialmente fue una cinta de caucho. La alimentación fue llevada en el cilindro por el husillo y calentada por contacto a través de las paredes del cilindro. El compuesto fue reducido a un estado de plastificación suave por el calor externo, por el trabajo mecánico y la contra presión creada. El material fue forzado a pasar por el cabezal a través de un dado en forma de tubo (Villegas, 2011).

El extrusor actual consiste esencialmente de un cilindro horizontal en el cual está girando un tornillo de Arquímedes modificado. Esto significa que está provisto de un orificio al fondo del cilindro para permitir la alimentación de un compuesto dentro de él, al extremo opuesto se encuentra el cabezal y el dado (Villegas, 2011).

Las nuevas máquinas desarrolladas, fueron diferentes a las típicas de caucho debido a los siguientes cambios:

Los cilindros y los husillos fueron aproximadamente $1/3$ más largos, en la relación longitud diámetro (L/D) nomenclatura posteriormente adoptada, para el viejo extrusor de caucho de $3\frac{1}{2}$ " de diámetro que tenía una relación L/D de 6:1 o aún menor. Las modificaciones posteriores para los extrusores de plástico fueron cercanas a una relación L/D de 8:1 (Villegas, 2011).

Se hicieron provisiones para la inserción de un plato rompedor con mallas para crear y controlar una contra presión debido al trabajo mecánico del material plástico (fricción) que tiene grandes efectos en el avance de la masa (Villegas, 2011).

Las secciones de acometida (es donde inicia la sección de alimentación del extrusor) fueron más sólidamente construidas para absorber la contra presión desarrollada con los 12 termoplásticos. Este incremento en la contra presión permitió el desarrollo de mayor trabajo mecánico (fricción), y como resultado mejorar el flujo y la uniformidad del plástico.

Las temperaturas del cilindro y del extrusor fueron individualmente controladas, estas se hicieron ajustables para poder modificarlas durante el proceso de extrusión como una condición básica. Los trabajos de desarrollo continuaron, resultando mejoras adicionales al extrusor, las longitudes del cilindro y el husillo fueron incrementadas hasta dar una relación L/D de 12:1. Este

incremento en la longitud resultó en un considerable aumento en la capacidad de extrusión, uniformidad y una cualidad de sobre extrusión. Actualmente las longitudes de los husillos son del orden de 24:1 y este factor es probablemente el desarrollo más prominente en este tipo de equipos en las tres o cuatro últimas décadas (Villegas, 2011).

2.1.2. A nivel nacional

En Colombia el desarrollo de prototipos de máquinas de extrusora ha dado ciertos pasos, en ciertas universidades del orden nacional, donde se registran trabajos tales como el diseño de una extrusora de plástico más concretamente el “polipropileno” desarrollado en la Universidad Tecnológica de Pereira en el año 2007, y también el diseño de una maquina extrusora para la empresa PLASTIK de la ciudad de Santiago de Cali, desarrollado en la Universidad del valle en el año 2011 (Roosvelt, 2011).

2.1.3. A nivel departamental.

No se registran desarrollos de prototipos de extrusoras de plásticos, ni estudios relacionados con este en el departamento de Norte de Santander, solo desarrollos a nivel aficionado por parte de ciertos mecánicos de la región, pero sin la fundamentación técnica y teórica.

2.1.4. A nivel local

No se registran desarrollos de prototipos de extrusoras de plásticos ni estudios en un nivel estrictamente técnico y bien fundamentado asociado a este en el municipio de Ocaña.

2.2. Alcance

El alcance de este proyecto es a nivel municipal ya que afectara positivamente a los pequeños productores de manguera de Ocaña debido a que con el hecho de contar con un diseño de máquina extrusora de bajo costo y con todos los requerimientos técnicos, se convierte una alternativa para fomentar la competitividad y el ánimo de crecimiento, además que cualquier estudiante de ingeniería mecánica de la universidad que quiere realizar el proceso de construcción de la máquina tendrá a disposición un material claro y detallado para llevarlo a cabo.

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Husillos



Figura 1. Tornillos de potencia.

Nota Fuente: (XYZ Control de movimiento lineal CNC)

2.3.1.1. Concepto

A través de estos elementos de máquinas, denominados también tornillos de fuerza, es posible transformar un movimiento de rotación en un movimiento rectilíneo con el objeto de transmitir fuerza o potencia, derivándose de esto último el nombre de tornillos de potencia. Generalmente trabajan con un roce elevado, por lo que la eficiencia, el desgaste y el calentamiento son consideraciones importantes para su diseño, además de las consideraciones de resistencia mecánica, donde entra en juego el estado de esfuerzos involucrados como resultado del estado de cargas actuante en el punto crítico (Universidad de los Andes, 2010).

2.3.1.2. Tipos de roscas utilizadas

Los tipos de roscas utilizados frecuentemente en los tornillos de potencia son la cuadrada y la Acmé. La rosca cuadrada es la que posee mayor rendimiento, aunque se prefiere comúnmente la rosca Acmé, con un ángulo de 29° , por su buen ajuste; además tomando en consideración que la rosca cuadrada no está normalizada mientras que la Acmé es de fácil construcción mediante todos los procedimientos existentes (Universidad de los Andes, 2010).

2.3.1.3. Aplicaciones

Las aplicaciones de los tornillos de potencia se derivan de sus cualidades más resaltantes, entre las que se encuentran:

- Sencillez en su diseño.
- Posibilidad de fabricación con gran exactitud.

- Bajo costo.
- Elevado rozamiento entre las roscas.
- Baja eficiencia en la transmisión (Universidad de los Andes, 2010).

La última cualidad que constituye una característica desventajosa puede solventarse por medio del uso de rodamientos de bolas, que tienden a disminuir el rozamiento y por tanto a incrementar dicha eficiencia. Todo lo anteriormente descrito, determina el campo de aplicación de estos elementos mecánicos (Universidad de los Andes, 2010), como son:

- Gatos mecánicos.
- Prensa de tornillo.
- Tornillos de avance de máquinas herramientas.
- Dispositivos de apriete de trenes de laminado.
- Maquinas universales de tracción y compresión.

2.3.2. Criterios de selección de motores eléctricos.

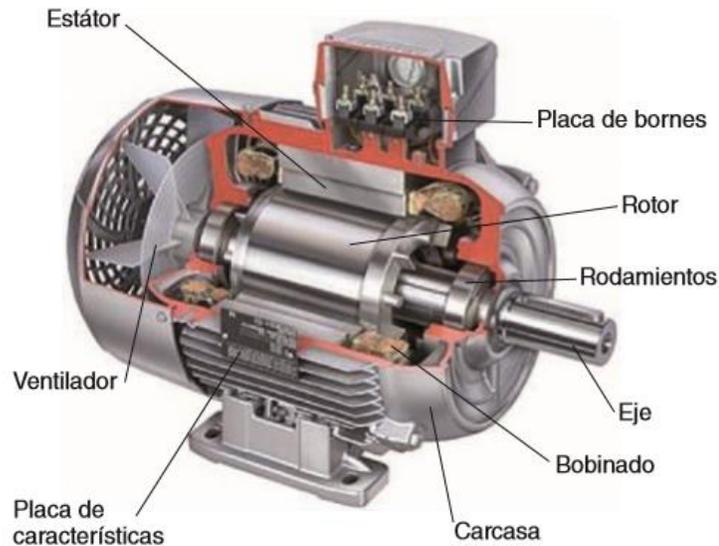


Figura 2. Esquema motor eléctrico.

Nota fuente: (Como funciona que)

Todos sabemos que el motor eléctrico es una máquina que transforma energía eléctrica recibida de la red en energía mecánica rotacional en el eje. De esta forma se puede accionar cualquier tipo de carga mecánica, siempre y cuando tengamos disponibilidad de una red eléctrica. También sabemos que, dentro del universo del motor eléctrico, el motor de inducción es el más común y prácticamente todas las aplicaciones industriales pueden realizarse con este motor, generalmente el tipo Jaula de Ardilla, o con rotor en cortocircuito. Es tan generalizado su uso, que pasamos por alto muchos aspectos en el momento de la selección y aplicación del mismo. En las siguientes líneas se darán algunas indicaciones importantes que ayudarán a hacer

estas labores más técnicas y más eficientes desde el punto de vista de operación de una industria (WEG, 2010).

2.3.2.1. Gestión inicial

Siempre que se tiene la necesidad de adquirir un motor, hay que hacer antes los siguientes cuestionamientos:

- ¿Qué tipo de normas debe cumplir el motor?
- ¿Es una instalación nueva o existente (lugar de instalación)?
- ¿Cuáles son las condiciones de la red eléctrica?
- ¿Cuál es la carga que el motor va a accionar?
- ¿Cuáles son las condiciones medioambientales?
- ¿Cómo va a ser hecho el arranque del motor?
- ¿Cuáles son las características de potencia y velocidad requeridas del motor?

(WEG, 2010)

2.3.2.2. Las normas

Existen dos normas bajo las cuales se fabrican los motores.

- IEC Comisión Electrotécnica Internacional que es acogida por la gran mayoría de países y especialmente los europeos.

- NEMA Asociación Nacional de Fabricantes de Equipos Eléctricos. Es una norma nacional de Estados Unidos, pero es común en muchos países.

Hay varias diferencias en la construcción dependiendo de la norma, pero lo más significativo es que mientras que las dimensiones según IEC son en milímetros, según NEMA son en pulgadas. Por esta razón, la intercambiabilidad no es inmediata (WEG, 2010).

2.3.2.3. El lugar de instalación.

Por norma, todos los motores están diseñados para operar en un ambiente con temperatura no superior a 40 °C y en una altura no superior a 1000 metros sobre el nivel del mar. La instalación en cualquier ambiente por encima de estas condiciones hará que el motor deba ser operado a una carga menor de la nominal. Cortamente, esto sucede porque las propiedades refrigerantes disminuyen. La vida útil de un motor está principalmente en su devanado. Si la refrigeración es insuficiente, el devanado se debilita y sufre daños severos. Generalmente, los motores jaula de ardilla están refrigerados mediante aire. A mayor altitud sobre el nivel del mar, el aire toma una densidad mayor y a una misma velocidad, se tendrá menor flujo de aire. En cuanto a la temperatura ambiente, es necesario garantizar que el motor no tendrá una elevación de temperatura tal que lo haga tener un calentamiento por encima de su límite térmico (definido por su clase de aislamiento) (WEG, 2010).

Pero la combinación de altitud y temperatura no siempre es desfavorable, pues en lugares como Bogotá en donde tenemos altitud de 2600 m, pero una temperatura ambiente de 20°C, podemos prácticamente decir que se compensa el efecto.

2.3.2.4. *Las condiciones de instalación (grado de protección).*

Otro tema a considerar son las condiciones propias del ambiente: Contaminación, presencia de agentes químicos, utilización en lugares abiertos o cerrados. Para garantizar una adecuada selección de motor, es importante conocer el significado de grado de protección IP, definido según normas internacionales.

IP significa INTERNAL PROTECTION y determina el grado de protección (mecánico) o de encerramiento del motor. Viene seguido de dos cifras características; la primera de ellas indica la protección contra el ingreso de cuerpos sólidos y la segunda indica la protección contra el ingreso de líquidos. Los siguientes son los más comunes

IP21: Protegido contra contacto con los dedos, contra ingreso de cuerpos sólidos mayores que 12 mm y contra gotas verticales de agua

IP22: Protegido contra contacto con los dedos, contra ingreso de cuerpos sólidos mayores que 12 mm y contra gotas de agua hasta una inclinación de 15° con la vertical (WEG, 2010).

IP55: Protegido completamente contra contacto, contra acumulación de polvos nocivos y contra chorros de agua en todas las direcciones.

Es también importante considerar si el motor será instalado en un área clasificada (lugares donde se almacenen productos inflamables), pues en estos casos se requieren cuidados especiales que garanticen el mantenimiento de los equipos y especialmente, no pongan en riesgo la vida humana (WEG, 2010).

2.3.2.5. *La carga*

La carga es la que define la potencia y velocidad del motor. En la gran mayoría de aplicaciones, el motor jaula de ardilla puede atender cualquier carga en su eje, pero es conveniente hacer un estudio detallado de cuál será el momento de inercia, la curva Par-Velocidad de la carga. Estos puntos nos ayudan a definir cómo será el comportamiento dinámico del motor con su máquina de trabajo y cuáles serán los tiempos de arranque. Es ideal conocer las condiciones de la carga durante la especificación del motor, pues el comportamiento varía, dependiendo de ésta. Máquinas como bombas y ventiladores tienen un comportamiento específico diferente de molinos, trituradoras y diferente de bandas transportadoras o de máquinas herramientas o elevadores. En todas estas máquinas, los torques de arranque son diferentes y con toda seguridad, los ciclos de trabajo varían de una instalación a otra (WEG, 2010).

2.3.2.6. *La red*

Las principales características que identifican una red eléctrica son la tensión (voltaje) y frecuencia. En Colombia la tensión normalizada es 60 Hz, al igual que en Norteamérica, Centroamérica y Suramérica (con excepción de los países del cono Sur), mientras que en Europa la tensión normalizada es 50 Hz. Dada la diversidad de tamaños de industrias, no hay una única tensión, por lo que es usual que los motores tengan doble tensión, generalmente 220/440 V. Industrias “grandes” tienen tensiones mayores, como pueden ser 460 V ó 480 V.

Se acostumbra a que los motores con potencias de potencias de 10 HP o superiores sean aptos para el arranque Estrella-Triángulo, con el objetivo de que la red no se desestabilice por las altas corrientes consumidas durante el arranque directo. De esta forma, para las potencias

mencionadas los motores Standard en nuestro país tienen doce cables de conexión. Esta característica les hace aptos para funcionar prácticamente en cualquier red, pero es importante tener bastante precaución en las conexiones, pues con mayor cantidad de uniones a realizar, se puede presentar mayor cantidad de errores. Esto debe evitarse durante la etapa de instalación (WEG, 2010).

2.3.2.7. El arranque

Uno de los momentos más críticos para el motor, la red y la carga es el arranque. Por sus características propias, el motor jaula de ardilla consume durante el arranque una corriente que puede oscilar entre 5 y 8 veces la corriente nominal. El arranque es el periodo en el que el motor hace la transición desde su estado de reposo hasta su velocidad de régimen.

Para la red, la mejor condición de arranque es aquella en que este tiempo de transición es el mínimo posible y la corriente consumida es la mínima posible. Para el motor, la mejor condición de arranque es la que garantiza el menor calentamiento. Para la carga, la mejor condición es aquella que garantiza los menores desgastes mecánicos. En general, el tipo de arranque de cada aplicación debe ser analizado adecuadamente para lograr el mejor equilibrio entre las tres partes mencionadas previamente. Las características de curva de carga y momento de inercia tanto de motor como de carga, deberían ser consideradas en este análisis (WEG, 2010).

2.3.2.8. Potencia y eficiencia del motor

En cortas palabras, un motor eléctrico es una máquina que transforma potencia eléctrica tomada de la red en potencia energía mecánica en el eje. La potencia eléctrica obedece a la siguiente relación:

$$P = \sqrt{3} * V * I * \text{Cos } \varphi$$

Donde

P: Potencia en kW V: Voltaje o tensión en voltios

I: Corriente en amperios Cos φ : Factor de potencia

La potencia mecánica obedece a la siguiente relación

$$P = T * n / 9550$$

Donde

P: Potencia en kW

T: Torque en Nm; es la capacidad del motor de hacer girar cargas.

n: Velocidad en rpm

Al seleccionar un motor, lo primero que se debe considerar es cuál es la velocidad de rotación y cuál será el torque requerido del motor. Estos datos normalmente deben ser suministrados por el proyectista mecánico. La potencia del motor será entonces una consecuencia de los dos factores anteriores (WEG, 2010).

La capacidad de sobrecarga del motor será un factor a considerar, pues el ciclo de carga puede exigir al motor que en ciertos momentos suministre mayor potencia de su potencia nominal (o normal). Esta capacidad es conocida como Factor de Servicio (FS).

Toda máquina consume más potencia de la que entrega, por lo que es importante que consideremos el término de eficiencia. La potencia que el motor consume y no convierte en potencia de salida son pérdidas. La eficiencia o rendimiento es una medida de qué tanto desperdicia una máquina.

La eficiencia se calcula según la siguiente relación

$$\eta = P_s / P_e$$

Donde

P_s es la potencia de salida, en este caso potencia en el eje

P_e es la potencia de entrada, en este caso potencia eléctrica

De esta forma, entre mayor eficiencia, menor desperdicio y consecuentemente menores costos de operación. Contrariamente, entre menor eficiencia, mayor desperdicio y mayores costos. En un solo motor, tal vez no sea notorio, pero para una industria que tenga 100 o 200 motores, o más, la eficiencia es un punto muy importante a considerar (WEG, 2010).

2.3.3. Termoplásticos y características.

Se ablandan al calentar y se vuelven a endurecer al enfriar (se reciclan). En general, son blandos y flexibles. Son ampliamente utilizados en procesos como la extrusión y la inyección (Universidad de Salamanca, 2012).

Entre estos materiales se encuentra los siguientes con ciertas características y aplicaciones:

Tabla 1.*Características específicas de diferentes termoplásticos.*

PLASTICO	PROPIEDADES	APLICACIONES
POLIETILENO (PE)	Resistente a agentes químicos Buenas propiedades mecánicas Aislante eléctrico Demasiado blando	Aislante eléctrico, bolsas, envoltorios Fabricación de botellas
POLIPROPILENO (PP)	Resistente a agentes químicos Buenas propiedades mecánicas Aislante eléctrico	Aislante eléctrico Engranajes Utensilios de cocina Piezas mecánicas
CLORURO DE VINILO (PVC)	Muy resistente y rígido Baja tenacidad Buena resistencia a ácidos Toxicidad del cloruro de vinilo	Tuberías Canalizaciones Revestimiento de cables No apto para alimentos
POLIESTIRENO (PS)	Resistencia mecánica; Rígido Muy frágil Poco resistente al calor Poco viscoso	Juguetes Equipos electrónicos Envases Aislante térmico y acústico
RESINA ABS	Resistencia al calor Tenacidad	Cascos de protección Maletas, carcasas
POLIMETACRILATO DE METILO (PMMA)	Transparente Alta resistencia la rayado	Sustituto del vidrio Farolas y lámparas
POLIAMIDA	Gran elasticidad Resistencia a la tracción Permite transformarse en hilos	Elaboración de tejidos Fabricación de piezas mecánicas
POLIESTER (PU)	Gran resistencia a la tracción	Fabricación de barnices Tejidos Piezas mecánicas
POLICARBONADOS (PC)	Materiales cristalinos Buenas propiedades mecánicas	Carcasas Cristales irrompibles Discos compactos (CDs)
FLUOROPLASTICO (PVDF)	Gran resistencias a altas temperaturas Resistencia a ácidos y disolventes en caliente Resistentes a la abrasión Buenos aislantes	Fabricación de teflón Material de laboratorio Piezas de maquinaria industrial Recubrimiento de utensilios de cocina

Nota fuente: (Universidad de Salamanca, 2012)

También los termoplásticos tienen ciertas características térmicas que se usan para determinar elementos en procesos como la extrusión, el termo formado, la inyección, entre otras; como las siguientes:

Tabla 2.

Temperatura de fusión y transición vítrea de algunos plásticos.

Polímero	Tf (°C)	Tv (°C)
Polietileno de baja densidad (BD)	115	-120
Polietileno de alta densidad (AD)	137	-120
Cloruro de vinilo	175-212	87
Polipropileno	168-176	-16
Poliestireno	240	85-125
Poliacrilonitrilo	320	107
Teflón	327	
Policlorotrifluoroetileno	220	
Polimetilmetacrilato (acrílico)		90-105
ABS		88-125
Polímeros por condensación		
Acetal	181	-85
6.6-Nylon	265	50
Acetato de celulosa	230	
Policarbonato	230	145
Poliéster	255	75
Elastómeros		
Silicón		-123
Polibutadiendo	120	-90
Policloropreno	80	-50
Poliisopreno	30	-73

Nota fuente: (Universidad politecnica de Valencia)

2.3.4. Resistencias eléctricas de calefacción

Las resistencias calentadoras convierten energía eléctrica en calor. Procedimiento descubierto por James Prescott Joule cuando en 1841 al hacer circular corriente eléctrica a través de un conductor se liberó calor por encontrar resistencia. En la actualidad las resistencias

calentadoras se utilizan para infinidad de aplicaciones. La gran mayoría de ellas son fabricadas con un alambre de una aleación de níquel (80%) y cromo (20%). Esta aleación soporta temperaturas muy altas (1000°C), es resistivo (condición necesaria para generar calor), es muy resistente a los impactos y es inoxidable (RCI, 2011).

- **Resistencias de abrazadera**



Figura 3. Resistencias de abrazadera comerciales.

Nota fuente: (Electrifor)

Este tipo de resistencias se utiliza, mayormente, en la industria del plástico (máquinas de inyección o extrusión) para el calentamiento de los husillos. Estas resistencias, al igual que las de chapa plana, tienen que estar completamente apretadas al husillo para que la disipación del calor sea lo más perfecta posible. La carga superficial por recomendación no debe sobrepasar los 4 W / cm^2 . Se fabrican bajo las condiciones de diseño del sistema o máquina donde se usará (RCI, 2011).

2.3.5. Estructuras y sus criterios de diseño.



Figura 4. Estructura común.

Nota fuente: (Solimpex)

Puede definirse, en general, una estructura como conjunto de elementos resistentes capaz de mantener sus formas y cualidades a lo largo del tiempo, bajo la acción de las cargas y agentes exteriores a que ha de estar sometido (Universidad Carlos III Madrid, 2012).

La estructura soporta las cargas exteriores (acciones y reacciones), las cuales reparten su efecto por los diferentes elementos estructurales que resultan sometidos a diferentes esfuerzos, los cuales inducen un estado tensional, que es absorbido por el material que la constituye (Universidad Carlos III Madrid, 2012).

El estudio de las estructuras se lleva a cabo por dos disciplinas la Mecánica Racional y la Resistencia de Materiales. La Mecánica Racional estudia el modelo del sólido rígido, que es aquel que cumple que no se deforma y tiene resistencia infinita. Dentro de la Mecánica Racional a su vez existen varias disciplinas; una de ellas es la Estática que nos indica que el sólido rígido ante cualquier fuerza o momento tiene que cumplir las condiciones de equilibrio. Con lo que la Estática no nos proporciona ninguna información sobre los efectos que las acciones pueden

producir sobre el sólido en concreto, como las deformaciones o como la capacidad de resistir tales esfuerzos (Universidad Carlos III Madrid, 2012).

Por lo que es la Resistencia de Materiales la que estudia el modelo del sólido deformable donde se tiene en cuenta los fenómenos de deformación y rotura, ya que cumple que tiene resistencia finita y que se deforma, además se les supone una serie de cualidades como son la isotropía, homogeneidad y continuidad (Universidad Carlos III Madrid, 2012).

La Resistencia de Materiales se puede definir como la ciencia que trata del cálculo de la resistencia mecánica, rigidez y estabilidad de las piezas de una estructura. Entendiendo como:

Resistencia mecánica: las fuerzas internas máximas o tensiones que es capaz de desarrollar dicho cuerpo. Dependerá de las dimensiones del mismo y del material del que esté hecho.

Rigidez: la capacidad de oposición a las deformaciones.

Estabilidad: la capacidad de un elemento de oponerse a perturbaciones, manteniendo el equilibrio.

Es decir, que la resistencia de materiales nos permitirá determinar el material más adecuado, la forma y dimensiones más convenientes que hay que dar a los elementos de una construcción o máquina para que puedan resistir la acción de fuerzas exteriores que los solicitan, así como para obtener este resultado de la forma más económica.

Estudiando la resistencia mecánica conseguiremos diseñar los elementos del material y medida adecuados para evitar su rotura. Estudiando la rigidez, que se estudia cuantificando los

esfuerzos interiores y las deformaciones, obtenemos las condiciones en las cuales la estructura o la pieza puede ser utilizada sin peligro de fallo (Universidad Carlos III Madrid, 2012).

2.3.6. Extrusión

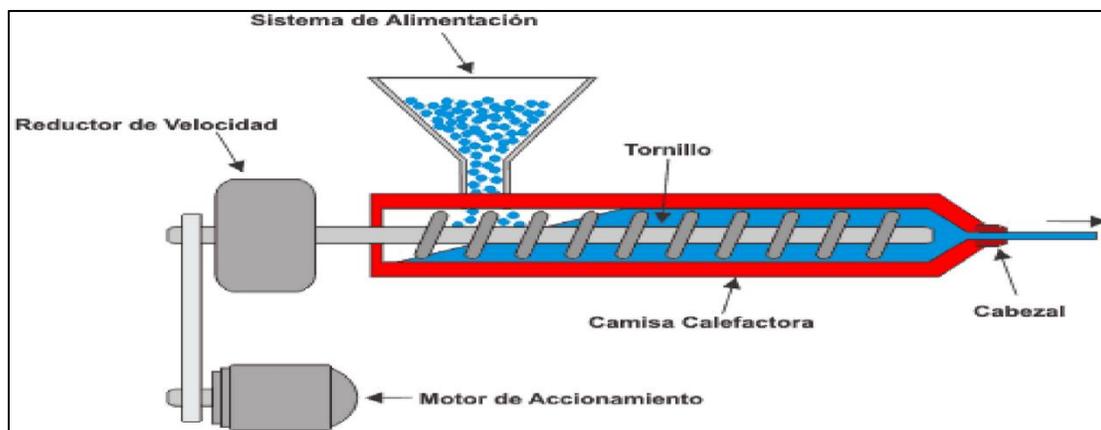


Figura 5. Proceso de extrusión y componentes.

Nota fuente: (Desarrollo sustentable ITP, 2010)

Consiste en moldear productos de manera continua, ya que el material es empujado por un tornillo sinfín a través de un cilindro que acaba en una boquilla, lo que produce una tira de longitud indefinida. Cambiando la forma de la boquilla se pueden obtener barras de distintos perfiles. También se emplea este procedimiento para la fabricación de tuberías, inyectando aire a presión a través de un orificio en la punta del cabezal. Regulando la presión del aire se pueden conseguir tubos de distintos espesores.

Es un proceso continuo utilizado para la fabricación de productos semi-acabados tales como perfiles, tuberías, planchas y hojas, que deben someterse a acabado antes de ser puestos en servicio (Escuela de Ingeniera "Julio Garavito", 2007).

2.4.Marco legal

2.4.1. A nivel local

2.4.1.1.Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña. Se tienen en cuenta las

Siguientes normativas institucionales:

Acuerdo 065 de 1996. El cual establece el estatuto estudiantil que es regente actual en la institución (Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, 1996).

Artículo 140. El estudiante podrá optar por una de las siguientes modalidades del trabajo de grado:

a. Proyecto de Investigación

- Monografía
- Trabajo de investigación: Generación o aplicación de conocimientos
- Sistematización del conocimiento.

b. Proyecto de extensión.

- Trabajo social
- Labor de consultoría aquellos proyectos en los cuales participe la Universidad
- Pasantía
- Trabajo dirigido.

Parágrafo 1. El estudiante podrá optar como componente alternativo al proyecto de grado, créditos especiales como cursos de profundización académica o exámenes preparatorios.

Parágrafo 2. Para algunos planes de estudio y de acuerdo a sus características el consejo académico podrá obviar la presentación de trabajo de grado (Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, 1996).

Artículo 141. El proyecto de grado incluye las siguientes etapas:

- a. Presentación de anteproyecto o plan de trabajo correspondiente a la modalidad del proyecto seleccionado.
- b. Desarrollo de la investigación o ejecución física del proyecto.
- c. Sustentación de la investigación y/o verificación o aval de la realización del proyecto.

Artículo 142. Las condiciones y procedimientos para la presentación, desarrollo y evaluación de cada una de las modalidades de trabajo de grado, o sus componentes alternas, harán parte de la reglamentación específica de cada facultad, para cada plan de estudios.

Parágrafo 1. La universidad incorporará los trabajos de grado como componentes básicos de su hacer y creará bancos de proyectos en los Departamentos Académicos y en la Vicerrectoría asistente de Investigación y Extensión (Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, 1996).

2.4.2. A nivel nacional

2.4.2.1. *Norma técnica colombiana (NTC 2050), Código eléctrico.* Esta normativa es la concerniente a la manipulación de todos los elementos eléctricos de los sistemas, y fundamentalmente tiene los siguientes objetivos (ICONTEC, 1996).

Salvaguardia. El objetivo de este código es la salvaguardia de las personas y de los bienes contra los riesgos que pueden surgir por el uso de la electricidad.

Provisión y suficiencia. Este código contiene disposiciones que se consideran necesarias para la seguridad. El cumplimiento de las mismas y el mantenimiento adecuado darán lugar a una instalación prácticamente libre de riesgos, pero no necesariamente eficiente, conveniente o adecuada para el buen servicio o para ampliaciones futuras en el uso de la electricidad. Nota. Dentro de los riesgos, se pueden resaltar los causados por sobrecarga en instalaciones eléctricas, debido a que no se utilizan de acuerdo con las disposiciones de este código. Esto sucede porque la instalación inicial no prevé los posibles aumentos del consumo de electricidad. Una instalación inicial adecuada y una previsión razonable de cambios en el sistema, permitirá futuros aumentos del consumo eléctrico.

Intención. Este código no tiene la intención de marcar especificaciones de diseño ni de ser un manual de instrucciones para personal no calificado (ICONTEC, 1996).

2.3.3. A nivel mundial

2.3.3.1. ASTM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales) ASTM-A913.

Especificación estándar para formas de acero de baja aleación de alta resistencia de la calidad

estructural, producido por el proceso de templado y auto-templado (QST), que se tendrá en cuenta en este caso para el proceso de soldadura y su alcance es: (ASTM, 2015)

- Esta especificación cubre formas de acero estructural de baja aleación de alta resistencia en Grados 50 [345], 60 [415], 65 [450] y 70 [485], producidas por el proceso de templado y templado (QST). Las formas están destinadas a la construcción remachada, atornillada o soldada de puentes, edificios y otras estructuras (ASTM, 2015).
- El proceso de la QST consiste en un tratamiento térmico en línea y controles de la velocidad de enfriamiento que dan lugar a propiedades mecánicas en la condición de acabado equivalentes a las obtenidas mediante procesos de tratamiento térmico que implican un recalentamiento después de la laminación. En el Apéndice X1 se da una descripción del proceso de la TVQ.
- Debido a las características inherentes del proceso de la QST, las formas no se formarán y se someterán a tratamiento térmico post soldadura a temperaturas superiores a 600 ° C [1100 ° F].
- Cuando se va a soldar el acero, se presupone que se utilizará un procedimiento de soldadura adecuado para el grado de acero y el uso o servicio previsto. Véase el Apéndice X3 de la Especificación A6 / A6M para obtener información sobre la soldabilidad (ASTM, 2015).
- Los valores indicados en unidades de pulgada-libra o unidades SI deben considerarse por separado como estándar. Dentro del texto, las unidades SI se

muestran entre paréntesis. Los valores indicados en cada sistema no son equivalentes exactos; Por lo tanto, cada sistema debe utilizarse independientemente del otro. La combinación de valores de los dos sistemas puede resultar en no conformidad con esta especificación (ASTM, 2015).

2.3.3.2. ASTM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales) ASTM-A500.

Especificación Normalizada para Tubos Estructurales de Acero al Carbono Conformados en Frío, Electro soldados y sin Costura, de forma Circular y no Circular. Y se tendrán en cuenta en este caso para la selección de la camisa de la extrusora, y tiene los siguientes alcances:

- Esta especificación trata sobre tubos estructurales de acero al carbono conformado en frío, electro soldados y sin costura, de forma circular, cuadrada, rectangular, u otra forma especial, utilizados para construcción electro soldada, remachada o atornillada de puentes y edificaciones, y para usos generales en estructuras.
- Estos tubos son producidos tanto electro soldados como sin costura, en tamaños con una periferia de 64 in. [1630 mm] o menos, y un espesor de pared especificado de 0.688 in. [18 mm] o menos. El grado D requiere tratamiento térmico (ASTM, 2015).

NOTA 1. Los productos fabricados según esta especificación pueden no ser apropiados para aquellas aplicaciones como elementos con cargas dinámicas en estructuras electro soldadas, etc., donde puedan ser importantes las propiedades de tenacidad en las entalladuras a baja temperatura.

- Los valores dados ya sea en unidades SI o en unidades pulgada-libra son considerados separadamente como los estándares. Dentro del texto, las unidades SI se muestran entre corchetes. Los valores dados en cada sistema pueden no ser exactamente equivalentes; por lo tanto, cada sistema debe ser usado independientemente del otro. La combinación de valores entre los dos sistemas puede resultar en la no conformidad con la norma. A menos que la designación “M” de esta especificación aparezca en la orden de compra, se deben aplicar las unidades pulgada-libra.
- El texto de esta especificación contiene notas y notas al pie de página que proporcionan material explicativo. Tales notas y notas al pie de página, excluyendo aquellas en tablas y figuras, no contienen requisitos obligatorios (ASTM, 2015).

2.3.3.3. ASTM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales) ASTM-1248.

Especificación estándar para materiales de extrusión de plásticos de polietileno para cables y alambres. Esta se usará para identificar y determinar los materiales termoplásticos a usar en el proceso de extrusión y su alcance es el siguiente:

- Esta especificación prevé la identificación de materiales de extrusión de plásticos de polietileno para cables y alambres de tal manera que el vendedor y el comprador puedan acordar la aceptabilidad de diferentes lotes o envíos comerciales. Las pruebas involucradas en esta especificación tienen por objeto proporcionar información para identificar materiales de acuerdo con los tipos, clases, categorías y grados cubiertos. La

función de esta especificación no es proporcionar datos de ingeniería específicos con fines de diseño.

- Los valores indicados en unidades SI deben considerarse como el estándar. Los valores dados entre paréntesis son conversiones matemáticas a unidades de libras pulgadas que se proporcionan sólo para información y no se consideran estándar.
- La siguiente advertencia de riesgos de seguridad se refiere únicamente a la sección 12 del método de prueba de esta especificación: Esta norma no pretende abordar todos los problemas de seguridad, si los hubiera, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes del uso (ASTM, 2015).

Capítulo 3. Diseño metodológico

3.1. Tipo de investigación

Este proyecto tiene un enfoque de investigación proyectiva, dado que este consiste en elaborar una posible solución a la problemática en cuestión y además intenta responder preguntas sobre posibles acontecimientos futuro, en este tipo de investigación se ubican las investigaciones para inventos, programas y diseños; por lo que se ocupa de cómo deberían ser las cosas, para alcanzar unos fines y funcionar adecuadamente. También se implementará una investigación descriptiva porque mediante el fundamento teórico se pretende responder a las preguntas: quién, qué, dónde, porque, cuándo y cómo diseñar un prototipo de una maquina extrusora, todos los criterios y elementos necesarios para llegar a completar el objetivo general.

Aunque la descripción de datos es real, precisa y sistemática, el proceso llevado en la investigación no puede asegurar que se ajuste a la construcción misma de la extrusora, dado que se presentan factores que terminan afectando al proceso mismo.

3.2. Población

En esta investigación la población objeto del estudio será los conceptos maquina extrusora de plástico y todos sus elementos de diseño asociados con el fin de obtener información para su diseño, todo suministrado por el fundamento teórico y asesorías si se requiere.

3.3.Muestra

Se recopilarán datos arrojados por bases teóricas que se ha tenido a lo largo de la carrera, mediante recomendaciones de asesores y documentación bibliográfica para determinar los requerimientos para el desarrollo de diseño del prototipo de la máquina extrusora de plástico.

3.4.Fases del proyecto de investigación

Estas son fases para el desarrollo del proyecto cumpliendo con los objetivos específicos. De esta forma se formulan cada una de las fases y sus actividades al fin de dar una solución al problema de investigación entre las cuales tenemos:

3.4.1. Fase I. Conocer las diferentes máquinas y materiales para el proceso de extrusión, para establecer los requerimientos de diseño. Para el cumplimiento del objetivo se desarrollarán las siguientes actividades:

- Investigar los tipos de máquinas de extrusión existentes y su funcionamiento.
- Indagar acerca de los materiales plástico que se pretenden procesar en la maquina extrusora.
- Establecer los requerimientos de dimensión y funcionamiento de la máquina.

3.4.2. Fase II. Calcular los elementos que conforman la máquina extrusora con base a los requerimientos establecidos. Para el cumplimiento de este objetivo se realizará mediante las actividades siguientes:

- Diseñar el sistema de alimentación y cabezal de extrusión de la máquina.

- Seleccionar el sistema de variación de velocidad y transmisión de potencia.
- Diseñar el husillo y cilindro de extrusión correspondiente.
- Seleccionar el motor.
- Seleccionar las resistencias eléctricas para el sistema de calefacción de la máquina.
- Realizar los cálculos para el sistema de enfriamiento y circuito eléctrico del sistema.
- Calcular y seleccionar el sistema de ajuste de velocidad y potencia del motor
- Seleccionar el material de la estructura de soporte y elementos de sujeción.
- Realizar los análisis de elementos finitos para el husillo y el cilindro de extrusión.
- Generar los planos de las piezas de la máquina extrusora

3.4.3 Fase III. Evaluar la viabilidad económica para la construcción del prototipo con el fin de dar una base teórica de la alternativa a los productores de manguera Ocañeros.

Para el cumplimiento del objetivo se desarrollarán las siguientes actividades:

- Determinar el presupuesto para la construcción de la máquina.
- Calcular los indicadores de factibilidad para la construcción y puesta en funcionamiento de la maquina

Capítulo 4. Desarrollo del proyecto por medio de las actividades propuestas

4.1. Investigar los tipos de máquinas de extrusión existentes y su funcionamiento.

4.1.1. Extrusoras de desplazamiento positivo.

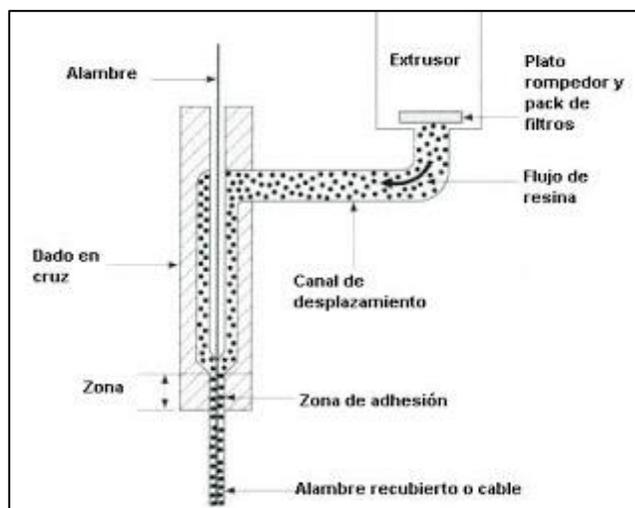


Figura 6. Proceso de extrusión con desplazamiento positivo.

Nota fuente: (Mariano, 2011)

4.1.1.1. 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 (Mariano, 2011).

4.1.1.2. Bombas de extrusión (Bombas de engranaje).

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 (Mariano, 2011).

4.1.2. Extrusoras de fricción viscosa.

4.1.2.1. Extrusora de tambor giratorio.

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 (Mariano, 2011).

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 (Mariano, 2011).

4.1.2.2. Extrusora de rodillo.

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 (Mariano, 2011).

4.1.2.3. Extrusora de husillo.

Estas máquinas constan de un motor y un variador de velocidad para adecuar el giro del expulsor. El expulsor comprende uno o dos husillos que rotan dentro de una camisa calentada exteriormente (Mariano, 2011).

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 husillo es independiente en el proceso de extrusión. Por ello se utilizan los extrusores 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 husillos 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 auto limpieza de los husillos (Mariano, 2011).

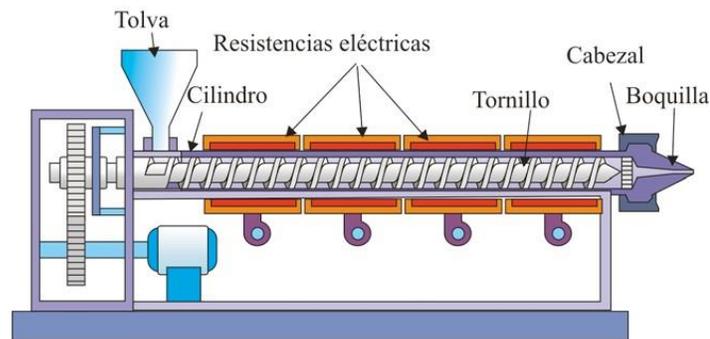


Figura 7. Extrusora de fricción viscosa.

Nota fuente: (Beltran & Marcilla, pág. 104)

Como puede apreciarse el sistema de una extrusora de husillo consta de un método de alimentación en el que el más habitual es una tolva, en la que el material a procesar se alimenta en forma de polvo o granza, además un dispositivo o sistema de fusión-plastificación, bombeo y mezclado que está constituido por uno o varios tornillos de Arquímedes que gira en el interior de un cilindro calentado, generalmente mediante resistencias eléctricas y en la parte del cilindro más alejada de la tolva de alimentación se acopla un cabezal cuya boquilla de salida tiene el diseño adecuado para que tenga lugar el conformado del producto.

La parte esencial de la máquina es el sistema cilindro-husillo(s) que, como consecuencia del giro, compacta(n) la materia prima sólida, dando lugar a la fusión del material y el transporte hacia la boquilla de conformado, produciendo al mismo tiempo la presurización y el mezclado del material.

Existe de acuerdo a su sistema de fusión-plastificación extrusora de husillo de dos tipos:

- **De un husillo.**

Estas máquinas constan de un motor y un variador de velocidad para adecuar el giro del expulsor. El expulsor comprende un husillo que rota dentro de una camisa calentada exteriormente (Mariano, 2011).

- **Partes principales.**

- **Husillo de extrusión**

El tornillo o husillo consiste en un cilindro largo rodeado por un filete helicoidal. El husillo es una de las partes más importantes ya que contribuye a realizar las funciones de transportar, calentar, fundir y mezclar el material. La estabilidad del proceso y la calidad del producto que se obtiene dependen en gran medida del diseño del husillo. Los parámetros más importantes en el diseño del husillo son su longitud (L), diámetro (D), el ángulo del filete (θ) y el paso de rosca (w) (Beltran & Marcilla, págs. 104-120).

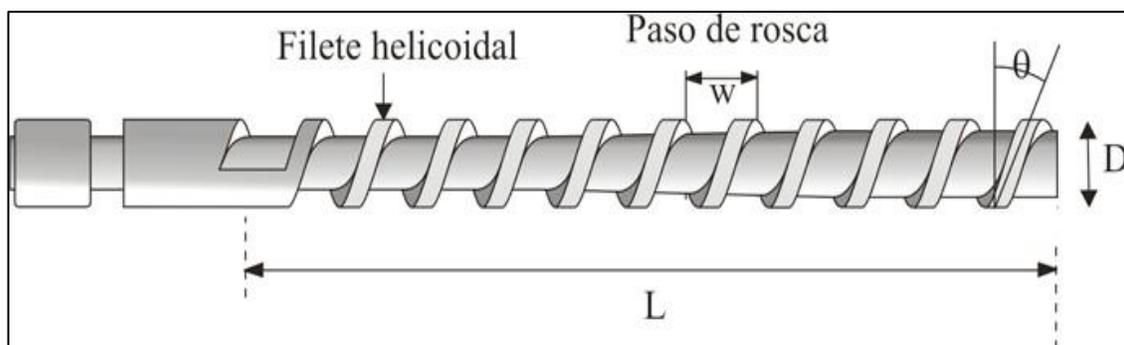


Figura 8. Husillo de extrusión más común.

Nota fuente: (Beltran & Marcilla, pág. 108)

El material se va presurizando a medida que avanza por el husillo, comenzando con presión atmosférica en la tolva y aumentando hasta la salida por la boquilla. La sección de paso del husillo no es constante, sino que es mayor en la zona de alimentación (mayor profundidad de canal). Normalmente el husillo no viene acompañado de ningún sistema de calentamiento o enfriamiento, aunque en algunos casos se emplean husillos huecos por los que se hace circular un fluido refrigerante o calefactor (Beltran & Marcilla, págs. 104-120).

Los materiales termoplásticos que se usan en el proceso de extrusión difieren notablemente entre sí. La elasticidad, calor específico, coeficiente de fricción, temperatura de fusión, viscosidad del fundido, etc., cubren un amplio rango de valores, y puesto que todas estas propiedades tienen su importancia en el momento de diseñar el husillo, es lógico que sea necesario utilizar diferentes tipos de husillos para trabajar adecuadamente cada material. En la práctica es muy raro que un husillo determinado sea adecuado para trabajar con materiales muy diversos; de hecho, cada husillo se diseña o elige para trabajar con una determinada combinación boquilla/material (Beltran & Marcilla, págs. 104-120).

- Cilindro

El cilindro de calefacción alberga en su interior al husillo. 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 husillo, ya que éste es mucho más fácil de reemplazar.

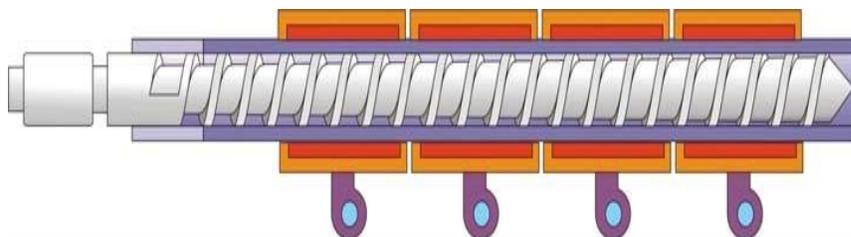


Figura 9. Sistema cilindro-husillo.

Nota fuente: (Beltran & Marcilla, pág. 108)

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 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 (Beltran & Marcilla, págs. 104-120).

El cilindro debe enfriarse si como consecuencia de la generación interna de calor originada por la cizalla a la que se somete al plástico se rebasa la temperatura nominal del

proceso (lo que ocurre normalmente). El enfriamiento en la menor parte de las ocasiones se hace con líquidos, ya que, aunque tengan una mayor capacidad para eliminar calor que el aire, la temperatura es más difícil de controlar. Normalmente se usan sopladores. Hay que tener en cuenta que los sensores de control de temperatura quedan situados en el cilindro, por lo que la temperatura del material será siempre superior a la que indican los controles.

- 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.

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 husillo para facilitar la caída del material a la máquina (Beltran & Marcilla, págs. 104-120).

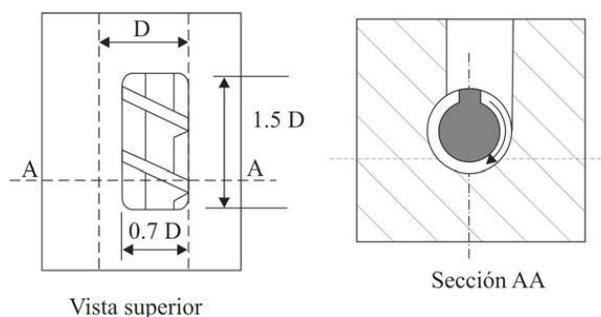


Figura 10. Garganta de alimentación

Nota fuente: (Beltran & Marcilla, pág. 110)

- 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.

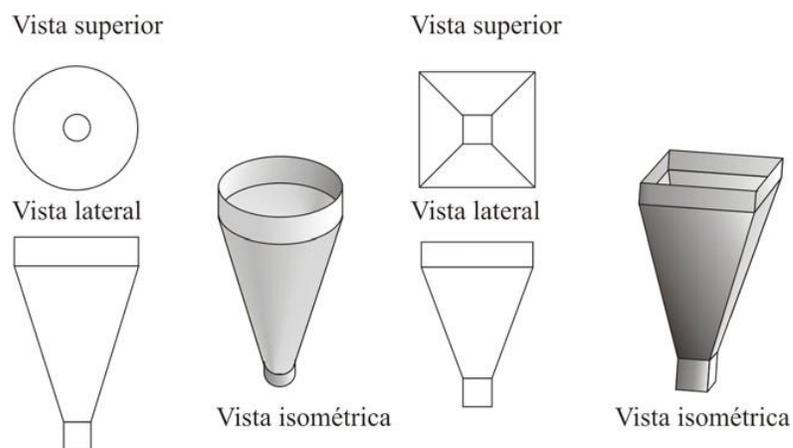


Figura 11. Modelos de tolvas más comunes

Nota fuente: (Beltran & Marcilla, pág. 111)

En ocasiones para asegurar el flujo constante del material se usan dispositivos de vibración, agitadores e incluso husillos del tipo del que se muestra a continuación:

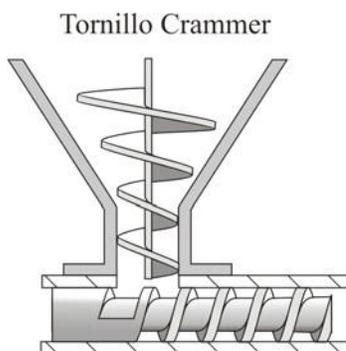


Figura 12. Tornillo Crammer de una tolva especializada

Nota fuente: (Beltran & Marcilla, pág. 111)

- **Plato rompedor y filtros**

El plato rompedor se encuentra al final del cilindro. Se trata de un disco delgado de metal con agujeros. 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 extruido. Los filtros además mejoran el mezclado 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 (Beltran & Marcilla, págs. 104-120).

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.

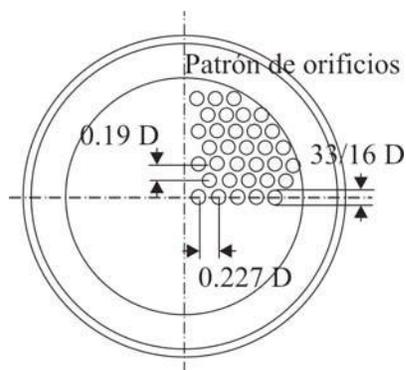


Figura 13. Esquema plato rompedor.

Nota fuente: (Beltran & Marcilla, pág. 112)

- **Cabezal y boquilla**

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.

El material fluye del cilindro a la boquilla a través del torpedo, situado en el cabezal. La sección transversal de los soportes del torpedo se diseña para proporcionar el flujo de material a velocidad constante (Beltran & Marcilla, págs. 104-120).

La función de la boquilla es la de moldear el plástico. Las boquillas se pueden clasificar por la forma del producto, teniendo así boquillas (por ejemplo, para la fabricación de tuberías o recubrimientos de materiales cilíndricos), boquillas planas (con las que se obtienen planchas y láminas), boquillas circulares (con las que se obtienen fibras y productos de forma cilíndrica), etc.

Se puede distinguir tres partes diferenciadas en todas las boquillas (corte de boquilla plana): la primera parte es el canal de entrada, luego el distribuidor y a continuación la zona de salida.

- **De múltiples husillos.**

Como su nombre indica, poseen más de un husillo. Entre éstas las más importantes son las de dos husillos, dentro de las cuales existe gran variedad dependiendo de si los husillos tienen giro contrario (lo más corriente ya que generan mayor fuerza de cizalla) o paralelo, y del grado de interpenetración entre los mismos (Beltran & Marcilla, págs. 104-120).

Las extrusoras de dos husillos presentan posibilidades que a menudo superan en gran medida a las de un solo husillo. Entre las ventajas que presentan se incluye una buena capacidad de mezclado y desgasificación, y un buen control del tiempo de residencia y de su distribución. Algunas desventajas de estas extrusoras son su precio, superior al de las de husillo único y el hecho de que sus prestaciones son difíciles de predecir.

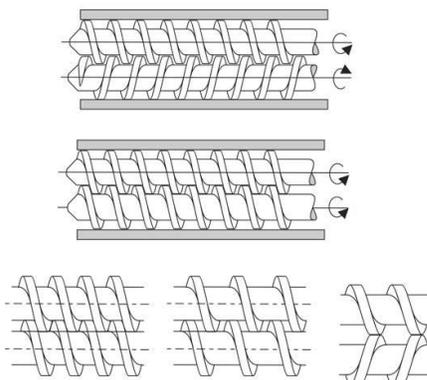


Figura 14. Configuraciones de extrusoras doble husillo.

Nota fuente: (Beltran & Marcilla, pág. 107)

4.2. Indagar acerca de los materiales plástico que se pretenden procesar en la máquina extrusora.

4.2.1. Materiales que pueden extruirse.

Hay una gran variedad de materiales que pueden extruirse, entre ellos están:

4.2.1.1. Extrusión de Metales.



Figura 15. Maquina extrusora de metales.

Nota fuente: (Guía de la industria, 2013)

Mediante el proceso de extrusión pueden obtenerse productos de diversas formas. En el caso de los metales, tales como aluminio o acero, se vacían en moldes de distintas formas; pueden laminarse entre rodillos, o efectuar el conformado de piezas, o por empuje, ejerciendo

presión y haciendo pasar la materia prima a través de dados para que adquieran la forma deseada. (Ryffel, 2000)

La extrusión en prensa se realiza mediante la conformación de la pieza por deformación plástica. El metal es sometido a moldeado en frío o caliente, y por compresión en un recipiente cerrado en un extremo, con una matriz que posee un orificio, y por el otro, un disco macizo denominado disco de presión.

El metal puede someterse al esfuerzo de compresión de dos modos distintos:

- Por disco de presión
- Por matriz.

En caso de realizarse con disco, se lo denomina extrusión directa, cuando se realiza por matriz, se lo denomina extrusión inversa (Ryffel, 2000).

- **Requisitos de la Materia Prima para Extrusión**

Para efectuar el procedimiento de extrusión, un elemento debe satisfacer tres requisitos fundamentales:

- Lograr reunir la materia prima continuamente en estado sólido y fundido.
- Fundir en forma continua la materia prima.
- Conseguir homogeneidad de la materia prima en forma física y térmica.

Aluminio: es el material más común, puede ser extruido caliente o frío. Si es extruido caliente es calentado de 300 a 600 °C (575 a 1100 °F). Ejemplos de este producto incluye armaduras, marcos, barras y disipadores de calor entre otros.

Cobre: (600 a 1000 °C (1100 a 1825 °F)) cañerías, alambres, varas, barras, tubos y electrodos de soldadura. A menudo se requieren 100 ksi (690 MPa) para extruir el cobre.

Plomo y estaño: (300 °C (máximo 575 °F)) cañerías, alambres, tubos y forros exteriores de cables. La fundición de plomo también es usada en vez del prensado de extrusión vertical.

Magnesio: (300 a 600 °C (575 a 1100 °F)) en partes de aviones y partes de industrias nucleares.

Zinc: (200 a 350 (400 a 650 °F)), varas, barras, tubos, componentes de hardware, montajes y barandales

Acero: (1000 a 1300 °C (1825 a 2375 °F)) varas y pistas, usualmente el carbón acerado simple es extruido. La aleación acero y acero inoxidable también puede ser extruida.

Titanio: (600 a 1000 °C (1100 a 1825 °F)) componentes de aviones, asientos, pistas, anillos de arranques estructurales.

4.2.1.2. Extrusión de Plásticos

El material plástico se obtiene de la reacción química de derivados del petróleo y se moldea a través de presión o de calor. El plástico se conforma dentro de una máquina extrusora que va procesando las piezas en forma continua. La extrusora posee un transportador de husillo

helicoidal. El polímero (materia prima) se transporta desde la tolva a través de una cámara de calentamiento llegando hasta la boca de descarga en forma continua. Al emerger el polímero, que ingresa en forma de gránulos sólidos, sale de la matriz en estado blando adoptando la forma. Luego se corta lo producido a la medida necesaria (Ryffel, 2000).

4.2.1.3. Extrusión de otros materiales

Cauchos: Similar a la extrusión con plásticos, pero con un posterior vulcanizado por calor

Cerámicas: La cerámica también puede formarse a través de la extrusión. La extrusión de la terracota se usa para producir las cañerías. Muchos ladrillos modernos también son manufacturados usando un proceso de extrusión de ladrillos (Ryffel, 2000).



Figura 16. Maquina extrusora de ladrillos.

Nota fuente: (Maquilob)

Alimentos: La extrusión ha tenido una gran aplicación en el proceso de alimentación. Productos como pastas, masa de la galleta, cereales del desayuno, las comidas para bebé, las papas fritas y la comida seca, entre otros, son principalmente manufacturados por la extrusión. En el proceso, se muelen los materiales hasta darles el tamaño correcto a las partículas (usando la

consistencia de la harina ordinaria). La mezcla seca se pasa a través de un pre-acondicionador donde se agregan otros ingredientes (azúcar líquido, grasas, tintes, carnes y agua que dependen del producto). La mezcla pre condicionada se pasa entonces a través de un extrusor forzándola a pasar por un troquel donde se corta a la longitud deseada. El proceso de cocción tiene lugar dentro del extrusor en el que el producto produce su propia fricción y calor debido a la presión generada (10-20 bares). El proceso de cocción utiliza un proceso conocido como la gelatinización del almidón. Los extrusores que usan este proceso tienen una capacidad de 1-25 toneladas por hora (Ryffel, 2000).

4.2.1.4. Extrusión de Polietileno

Los polietilenos de alta densidad y de baja densidad lineal, son plásticos rígidos que no empiezan a ablandarse hasta alcanzar los 100 grados Celsius, son insolubles en agua y en algunos disolventes, pero pueden hincharse cuando se colocan en disolventes. Aunque también es de anotar que el polietileno de baja densidad, es un plástico sólido mucho más blando, comienza a deformarse cuando se calienta por encima de los 75 grados Celsius, también es insoluble en agua, pero se ablanda y se hincha una vez expuesto a disolventes basados en hidrocarburos, también es más fácil de estirar que el polietileno de alta densidad (Ryffel, 2000). Algunas de sus características específicas se enumeran en el Apéndice 1.

4.3. Establecer los requerimientos de dimensión y funcionamiento de la máquina.

Para establecer los requerimientos de la máquina extrusora, para realizar los cálculos pertinentes, se deben mirar tres aspectos fundamentales, basados en la producción, economía, consumo energético y en la operación óptima.

4.3.1. Características de los productos de mayor uso en la región. Entre los principales productos obtenidos por extrusión a nivel general son (Roxana, 2016):

Película tubular: bolsas, película plástica.

Tubería: caños para condición de agua y drenaje.

Recubrimiento: cables para uso eléctrico y telefónico.

Perfil: hojas para persiana, ventanearía, canales de flujo de agua

Lámina y película plana: rafia, manteles para mesa, rafia, manteles para mesa, cinta adhesiva, fleje para embalaje.

Monofilamentos: filamentos, alfombra (filamento de las alfombras)



Figura 17. Productos hechos mediante la extrusión.

Nota fuente: (Aristegui Maquinaria)

Por cuestiones de tradición e historia Ocaña ha sido y es una región con alto nivel de agricultura, y por esto las llamadas fincas en sus sistemas de riego de los cultivos usan las mangueras negras (mangueras de Polietileno de alta densidad), y hay ciertos diámetros que se

utilizan con mayor frecuencia, para esta extrusora se tendrán en cuenta estos productos, entre los que están:

- Manguera de 1" (32 mm), Espesor (4,4 mm)
- Manguera de 1/2" (25 mm), Espesor (3,5 mm)
- Manguera de 3/4" (20 mm), Espesor (3 mm)

Con estos datos se puede determinar la geometría de las matrices de extrusión que necesita la extrusora, y como se trata de mangueras las matrices deben ser de geometría anular para facilitar su endurecimiento interno.

4.3.1.1. Tamaño de la máquina. Puestos que las instalaciones de los pequeños productores no son tan grandes, se requiere de una máquina de un tamaño razonablemente pequeño y con una producción no tan elevada, ya que se trata de pequeños productores. Por esto la maquina debe tener una altura alrededor 80 cm, por un largo de 120 cm y un ancho de 30 cm, lo que hace que no sea una maquina sobredimensionada y muy manejable a la hora de instalarla en el sitio definitivo. También se define que el husillo debe tener una longitud máxima de 600 mm en sus zonas de trabajo, por aspectos del maquinado y disponibilidad de equipos especializados en la región.

4.3.1.2. Consumo eléctrico. Puesto que se quiere un consumo reducido o bajo, lo preferible es que todo el sistema trabaje a un voltaje 220 v y si es posible trifásico, también por el hecho de que la mayoría de los productores cuenta en sus instalaciones con circuitos eléctricos de 220 v trifásico, además se requiere que los elementos trabajen a la frecuencia local 60 Hz.

4.4. Diseñar el sistema de alimentación y cabezal de extrusión de la máquina.

4.4.1. Tolva. Para cumplir los requerimientos de tamaño antes establecidos, la tolva tendrá un diámetro superior de 22,54 cm y un diámetro inferior 2,54 cm y una altura total de 29,68 cm, en la figura se muestran las dimensiones de la tolva con lo cual se calculará el volumen de la tolva, para calcular su capacidad en función de las hojuelas de PET.

4.4.1.1. Volumen de la tolva El volumen de la tolva se calcula mediante la suma de tres volúmenes, el volumen de un cilindro pequeño, un cono truncado y un cilindro grande así:

$$V_{tolva} = V_{cilp} + V_{ct} + V_{cilg}$$

V_{cilp} = Volumen cilindro pequeño.

V_{ct} = Volumen cono truncado.

V_{cilg} = Volumen cilindro grande.

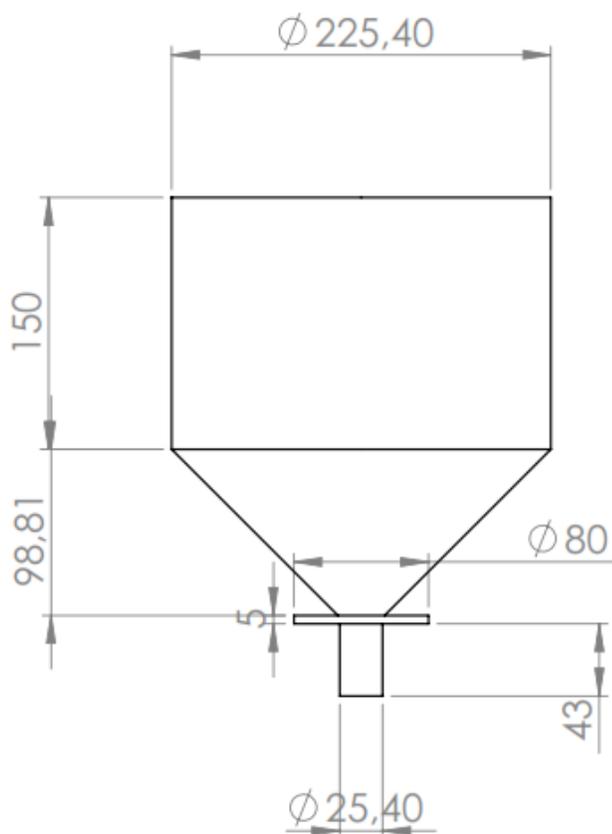


Figura 18. Esquema de la tolva de alimentación. (unidades en milímetros)

Nota fuente: Autor del proyector.

- **Volumen cilindro pequeño**

$$V_{cilp} = \pi \cdot (\text{radio cil peq})^2 * \text{Altura}$$

$$\text{radio cil peq} = 1,27 \text{ cm}$$

$$\text{Altura cp} = 4,8 \text{ cm}$$

$$V_{cilp} = \pi \cdot (1,27 \text{ cm})^2 * (4,8 \text{ cm})$$

$$V_{cilp} = 24,33 \text{ cm}^3$$

- **Volumen cono truncado**

$$V_{ct} = \frac{h}{3} (R * r + (R^2 + r^2))$$

$R =$ Radio superior del cono truncado (11,27 cm)

$r =$ Radio inferior del cono truncado (1,27 cm)

$h =$ Altura del cono truncado (9,881 cm)

$$V_{ct} = \frac{\pi(9,881 \text{ cm})}{3} ((11,27 \text{ cm}) * (1,27 \text{ cm}) + ((11,27 \text{ cm})^2 + (1,27 \text{ cm})^2))$$

$$V_{ct} = 1479,04 \text{ cm}^3$$

- **Volumen cilindro pequeño**

$$V_{cilg} = \pi \cdot (\text{radio cil } g)^2 * \text{Altura } cg$$

$\text{radio cil } g = 11,27 \text{ cm}$

$\text{Altura } cg = 15 \text{ cm}$

$$V_{cilg} = \pi \cdot (11,27 \text{ cm})^2 * (15 \text{ cm})$$

$$V_{cilg} = 5985,34 \text{ cm}^3$$

- **Volumen total de la tolva**

$$V_{tolva} = V_{cilp} + V_{ct} + V_{cilg}$$

$$V_{tolva} = (24,33 \text{ cm}^3) + (1479,04 \text{ cm}^3) + (5985,34 \text{ cm}^3)$$

$$V_{tolva} = 7461,71 \text{ cm}^3$$

4.4.1.2. *Capacidad.* Para determinar la capacidad de la tolva se debe determinar el peso de cada hojuela de PET. Para esto se determinará un volumen promedio de las hojuelas de Pet, Y para así hallar un valor cercano del peso que puede llegar a tener una hojuela. Para esto asumiremos que una hojuela de Polietileno medirá 1cm de largo por 1cm de ancho por 0,5 mm de grueso.

$$\text{Area Hojuela PET: } 1 \text{ cm}^2$$

$$\text{Volumen Hojuela PET: } 0,05 \text{ cm}^3$$

Y conociendo la densidad del polietileno podemos determinar su peso promedio.

$$\rho = 0,00135 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Peso Hojuela PET: } (0,05 \text{ cm}^3) * \left(0,00135 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}\right)$$

$$\text{Peso Hojuela PET} = 6,75 \times 10^{-5} \text{ Kg}$$

Con esto podemos calcular el número de hojuelas aproximada que puede contener la tolva.

$$\text{numero de hojuelas en la tolva} = \frac{7461,71 \text{ cm}^3}{0,05 \text{ cm}^3}$$

$$\text{numero de hojuelas en la tolva} = 149234,2 \text{ hojuelas.}$$

Conociendo esto se puede determinar la capacidad en kilogramos de la tolva.

$$\text{Capacidad de la tolva} = (149234,2 \text{ hojuelas}) * \left(6,75 \times 10^{-5} \frac{\text{Kg}}{\text{hojuela}}\right)$$

$$\text{Capacidad de la tolva} = 10,07 \text{ Kg}$$

- **Recomendación.**

Para evitar obstrucciones en la entrada al cilindro, se recomienda llenar la tolva solo un 60% es decir:

$$\text{Capacidad de la tolva recomendada} = (10,07 \text{ Kg})(0,6) = 6,04 \text{ kg}$$

4.4.1.3. Material.

Para la selección del material de la tolva, solo se debe tener en cuenta que soporte el calor de manera considerable y que se de superficie lisa al menos por uno de los lados, por eso se seleccionará una lámina de acero Aisi 1020 calibre 10, e incluso para disminuir costos puede ser de un calibre menor para facilitar la construcción de la misma, las características están en el Apéndice 9.

4.4.2. Cabezal de extrusión.

4.4.2.1. Plato rompedor.

Para la selección del plato rompedor se utiliza el catalogo en línea de la empresa SFR Tooling, y se realizó la selección con el dato del diámetro del cañón del extrusor.

Tabla 3.

Características de los platos rompedores.

Diámetro del Cañón (pulg)	Diámetro del Cañón (mm)	Plato Rompedor Standard Área Abierta (<i>pulg</i> ²)	Plato Rompedor Standard %Área Abierta	Inversor Rompedor Standard Área Abierta (<i>pulg</i> ²)	Inversor Rompedor Standard %Área Abierta
3/4"	20	0.13	30%	-	-
1"	25	0.36	46%	0.13	17%
1-1/2"	32	0,71	40%	0.36	21%
2"	50	1.17	37%	0.71	23%
2-1/2"	60	1.78	36%	1.17	24%
3"	75	2.55	36%	1.78	25%
3-1/2"	90	3.43	36%	2.55	27%
4"	100	4.47	36%	3.43	27%
4-1/2"	115	5.62	35%	4.47	28%
6"	150	9.76	35%	8.26	29%
8"	200	17.16	34%	15.09	30%

Nota fuente: (Sfr tooling)

Con el catalogo anterior seleccionamos el área expuesta ($0,36 \text{ pulg}^2 = 227,6 \text{ mm}^2$), con el siguiente esquema se define el número de perforaciones en el plato rompedor de acuerdo al diámetro interno del cilindro extrusor.

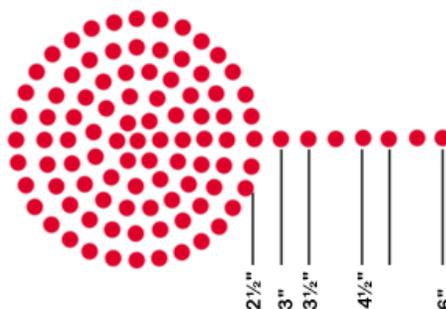


Figura 19. Distribución de los agujeros del plato rompedor.

Nota fuente: (Sfr tooling)

Dado que el diámetro interno del cilindro de extrusión es de 25,1 mm (1 pulg) entonces se define que para este caso el número de perforación es igual a 37, y teniendo esto se puede calcular el diámetro de las perforaciones que por recomendación deben ser cercana a 3 mm.

$$\text{Àrea por perforaciòn} = \frac{\text{Àrea expuesta}}{\text{Numero de perforaciones}}$$

$$\text{Àrea por perforaciòn} = \frac{227,6 \text{ mm}^2}{37 \text{ perforaciones}}$$

$$\text{Àrea por perforaciòn} = 6,15 \frac{\text{mm}^2}{\text{perforacion}}$$

Ahora con esto podemos determinar el diámetro de cada perforación así:

$$D \text{ perforaciòn} = \sqrt{\frac{4 * \text{àrea por perforaciòn}}{\pi}}$$

$$D \text{ perforaciòn} = \sqrt{\frac{4 * \left(6,15 \frac{\text{mm}^2}{\text{perforaciòn}}\right)}{\pi}}$$

$$D \text{ perforaciòn} = 2,79 \text{ mm}$$

Las perforaciones se hacen de forma concéntrica al centro del plato rompedor, y en este caso se requieren de 4 círculos concéntricos a una perforación en el centro, con una diferencia de diámetro de 0,5 pulg o 12,7 mm, de esta manera el plato rompedor tiene una forma simétrica y un buen balance de salida de flujo.

4.4.2.2. Malla o filtro de extrusión.

Su principal es atrapar los contaminantes para que no salgan con el producto extruido. Los filtros además mejoran el mezclado 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.



Figura 20. Bordes de filtros para extrusión.

Nota fuente: (Ambica Group, 2010)

La designación de las malla o filtros, se tomaron de los catálogos de la empresa Ambica-Group, y se indica en la tabla 4 la selección de malla, dicha organización fabrica sus mallas circulares con superficie de cribado lisa, sin bordes afilados, rebabas o ángulos agudos, de alta durabilidad, estabilidad en tensión y se cortan de manera uniforme por una prensa de energía específicamente desarrollada para evitar el borde irregular.

Para este caso se seleccionará un sistema de 3 mallas delante del plato rompedor, para eliminar las impurezas del proceso.



Figura 21. Recomendación para la selección de filtro de extrusión.

Nota fuente: (Roxana, 2016)

Como lo muestra la figura, en un sistema de extrusión estándar se recomienda colocar una combinación de 3 tipos mallas, entre gruesas y delgadas, entonces se seleccionaron:

Tabla 4.

Especificaciones de las mallas extrusoras.

ESPECIFICACIONES DE LAS MALLAS ESTÁNDAR EXTRUSORA			
MALLA	DIA alambre. mm	Tamaño de la abertura mm	ÁREA ABIERTA
10 X 10	0,711	1.829	51.8
14 X 14	0,457	1.357	55.9
16 X 16	0,457	1.131	50.7
20 X 20	0,559	0,711	31.4
20 X 20	0,457	0,813	41.0
24 X 24	0,376	0,682	41.4
30 X 30	0,376	0,531	34.2
30 X 30	0,31	0,536	40.0
40 X 40	0,274	0,361	32.3
50 X 50	0,193	0,335	43.6
60 X 60	0,193	0.230	29.8
80 X 80	0,122	0,196	37.9
100 X 100	0,102	0,152	36.0
120 X 120	0,091	0,12	31.8
150 X 150	0,071	0,088	29.6
200 X 200	0,05	0,077	36.76
250 X 250	0,04	0,062	36.76

Nota Fuente: (Ambica Group, 2010)

Seleccionamos 1 malla de denominación Mesh 80x80, una malla de denominación Mesh 100x100 y una última de denominación Mesh 120x120, en este caso la configuración de ubicación será 80/100/120, y tendrán un diámetro de 55 mm para su instalación en el plato rompedor.

Se recomienda el cambio de los filtros cuando se supere la presión máxima calculada en un máximo de 30%, ya que en este momento las obstrucciones estarán causando pérdida de energía considerable y por lo tanto disminución alta de la producción.

4.4.2.3. Matriz de extrusión.

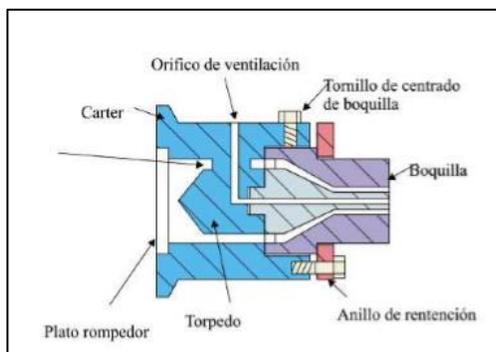


Figura 22. Cabezal de extrusión y componentes.

Nota fuente: (Beltran & Marcilla, pág. 113)

- **Torpedo.**

El torpedo o cuerpo de la matriz de extrusión es el lugar donde se relaja la masa fundida luego de pasar por los filtros y el plato rompedor, ya que en estos se producen diferentes esfuerzos que causan que la masa fundida se tense, lo que hace que la conformación del producto no sea estable. Este se conforma por un cuerpo macizo de metal (Carter) y en su centro un cilindro con

punta, que divide y relaja la masa fundida, dicho cilindro se fija al cuerpo macizo (Carter) mediante un sistema denominado patas de araña.



Figura 23. Torpedo visto de manera frontal.

Nota fuente: (Beltran & Marcilla, pág. 114)

Puesto que en los requerimientos de la máquina se estableció que los diámetros de las mangueras a producir serán de $\frac{1}{2}$ " , $\frac{3}{4}$ " y 1" , por funcionalidad el diámetro del cuerpo macizo (Carter) del torpedo será de (36 mm) y el diámetro del cilindro interno será de 33 mm.

- **Boquilla.**

La boquilla es la pieza del cabezal que le da la forma final al producto de la extrusora, ya que es para fabricar mangueras esta es de tipo anular, para diseñar las boquillas se debe tener en cuenta la contracción volumétrica del polietileno, en la tabla siguiente se muestra dicho porcentaje de contracción.

Tabla 5.*Contracción de algunos polímeros.*

Termoplástico	Contracción (%)
Acrilonitrilo butadieno estireno	0,4 - 0,8
Poliacetel	0,1 - 2,3
Polimetilmetacrilato	0,2 - 0,7
Acetato de celulosa	0,5
Nylon 66	1,4 - 1,6
Policarbonato	0,6
Polielileno	4 - 4,5
Polipropileno	1,3 - 1,6
Poliestireno	0,4 - 0,7
Pvc rígido	0,6 - 1,2
Pvc plastificado	1 - 4,5

Nota fuente: (Universidad de salamanca)

La contracción térmica del polietileno en cada radio es equivalente a la mitad, para que se refleje en el área total de la abertura. A continuación, realizaremos el cálculo de los diámetros y dimensiones de cada una de las boquillas. Dado que la boquilla está conformada por dos piezas una central que se acopla mediante una rosca al torpedo y otra pieza exterior que se acopla mediante un tornillo vertical y uno horizontal, para aumentar la cohesión entre ambos.

A continuación, se muestran las características de las mangueras a fabricar:

Tabla 6.

Dimensiones de las mangueras comerciales.

d(mm)	1 Mpa (10 atm)	
	e(mm)	L(m)
20	3	200
25	3,5	100
32	4,4	100
40	5,5	100
50	6,9	50
63	8,6	50
75	10,3	50

Nota fuente: (AENOR)

- **Boquilla para manguera de (20 mm)**

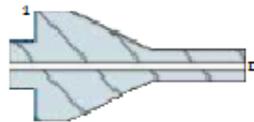


Figura 24. Pieza central de la boquilla.

Nota fuente: Autor del proyecto.

Sabiendo que el diámetro del cilindro interno del torpedo será de 33 mm que se acopla con el punto 1, determinaremos para este caso el diámetro menor de la pieza central de la boquilla, conociendo que el diámetro interior de la manguera es de 14 mm .

$$D_{\text{boquilla}} = D_{\text{manguera}} - \text{Contracción PET} * D_{\text{manguera}}$$

$$D_{\text{boquilla}} = 14\text{mm} - (0,0225 * (14\text{ mm}))$$

$$D_{\text{boquilla}} = 13,685\text{ mm}$$

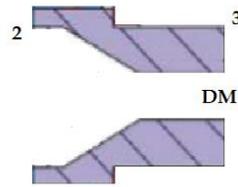


Figura 25. Cuerpo de la boquilla.

Nota fuente: Autor del proyecto.

Sabiendo que el diámetro del cilindro externo será de 36 mm que se acopla con el punto 2, y por lo tanto tienen el mismo diámetro que el punto 3. Determinaremos para este caso el diámetro mayor (DM) de la pieza central de la boquilla, conociendo que el diámetro exterior de la manguera es de 20 mm .

$$DM = \text{Demanguera} + \text{Contraccion PET para el radio exterior} * \text{Demanguera}$$

$$DM = 20\text{mm} + (0,0225 * (20\text{ mm}))$$

$$DM = 20,45\text{ mm}$$

- **Boquilla para manguera de (25 mm)**

Sabiendo que el diámetro del cilindro interno del torpedo será de 33 mm que se acopla con el punto 1, determinaremos para este caso el diámetro menor de la pieza central de la boquilla, conociendo que el diámetro interior de la manguera es de 18 mm .

$$Diboquilla = \text{Dimanguera} - \text{Contraccion PET para el radio menor} * \text{Dimanguera}$$

$$Diboquilla = 18\text{ mm} - (0,0225 * (18\text{ mm}))$$

$$Diboquilla = 17,595\text{ mm}$$

Sabiendo que el diámetro del cilindro externo será de 36 mm que se acopla con el punto 2, y por lo tanto tienen el mismo diámetro que el punto 3. Determinaremos para este caso el

diámetro mayor (DM) de la pieza central de la boquilla, conociendo que el diámetro exterior de la manguera es de 25 mm.

$$DM = Demanguera + Contraccion PET * Demanguera$$

$$DM = 25mm + (0,0225 * (25 mm))$$

$$DM = 25,56 mm$$

- **Boquilla para manguera de (32 mm)**

Sabiendo que el diámetro del cilindro interno del torpedo será de 33 mm que se acopla con el punto 1, determinaremos para este caso el diámetro menor de la pieza central de la boquilla, conociendo que el diámetro interior de la manguera es de 24,2 mm.

$$Diboquilla = Dimanguera - Contraccion PET para el radio menor * Dimanguera$$

$$Diboquilla = 24,2 mm - (0,0225 * (24,2 mm))$$

$$Diboquilla = 23,65 mm$$

Sabiendo que el diámetro del cilindro externo será de 36 mm que se acopla con el punto 2, y por lo tanto tienen el mismo diámetro que el punto 3. Determinaremos para este caso el diámetro mayor (DM) de la pieza central de la boquilla, conociendo que el diámetro exterior de la manguera es de 32 mm.

$$DM = Demanguera + Contraccion PET * Demanguera$$

$$DM = 32 mm + (0,0225 * (32 mm))$$

$$DM = 32,72 mm$$

4.5. Seleccionar el sistema de variación de velocidad y transmisión de potencia.

En este sistema de variación con el fin de disminuir los costos y hacer más accesible la máquina se optó por una caja de cambios de 4 velocidades de un automóvil usado de un tamaño moderado.

4.5.1. Selección de la caja de cambios.

La caja de cambios seleccionada fue una caja de cambios con corona de un automóvil Mazda 323 de cuatro velocidades y reversa, la cual cumple con la función para la que se requiere y adicional a esto se ahorra dinero.

4.5.2. Definición de características principales.

La característica más importante de la caja de cambios para el presente proyecto es la relación de velocidad con la que cuenta y la caja de cambios seleccionada cuenta con la siguiente:

Tabla 7.

Relaciones de velocidad de la caja de velocidades.

Velocidad	Reducción
Cambio 1	6,73
Cambio 2	4,12
Cambio 3	2,67
Cambio 4	1,89
Reversa	5,93

Nota fuente: Autor del proyecto.

4.6. Diseñar el husillo y cilindro de extrusión correspondiente.

4.6.1. Husillo.

4.6.1.1. Geometría.

Por razones de eficiencia la mayoría de las extrusoras se fabrican con el husillo giratorio y el cilindro fijo, pero para mayor compresión podemos suponer que el cilindro es el que gira y el husillo es el que permanece inmóvil (Savgorodny, 1978, págs. 1-26).

Angulo de hélice

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{t}{\pi * D} \right)$$

$D =$ Diámetro de la variable del cañón.

$t =$ Paso del husillo.

$\varphi =$ Angulo de la hélice.

Para este caso el diámetro de la variable del cañón (diámetro de husillo) por ser un husillo de los más básicos y simples tendrá el mismo valor del paso del husillo, produciendo entonces un ángulo de hélice igual a:

$$\varphi = \frac{1}{\pi} = 17,65^\circ$$

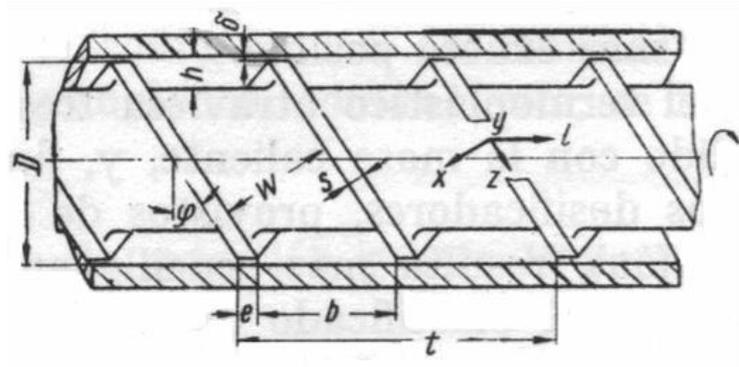


Figura 26. Vista esquemática del sistema cilindro-husillo.

Nota fuente: (Savgorodny, 1978, pág. 4)

Dónde:

h = Profundidad del canal.

h_e = Anchura de la cresta del filete.

W = Anchura del canal

δ = Holgura entre cilindro y husillo

φ = Angulo de Hélice, Con la finalidad de simplificar los cálculos, se tendrá en cuenta solo el valor mínimo del ángulo de la hélice, que corresponde al diámetro exterior del husillo, ya que en los husillos con poca profundidad del canal este ángulo varía muy poco.

t = Paso del husillo

D = Diámetro del Husillo

b = Distancia entre filetes

- **Relación de Longitud del husillo**

El husillo es el órgano fundamental de trabajo de una máquina extrusora. Tanto la Producción como la aplicación de la extrusora dependen del diámetro del husillo, de la relación de longitud al diámetro (L: D), de la velocidad de giro y de las particularidades geométricas del canal helicoidal, perfil de vértices de los filetes y del cabezal, numero de zonas, etc (Savgorodny, 1978, págs. 1-26).

Según el material a transformar y en parte según la forma y finalidad de los artículos a fabricar, en este caso se fabricará una máquina a escala pequeña, por lo cual se construirá de un solo canal, $m=1$.

Tomamos como medida para la longitud del extrusor un valor de 600 milímetros con una relación de 24:1 con lo que determinamos el diámetro del husillo

$$D = \frac{600}{24} = 25 \text{ mm}$$

Dado que es un husillo simple, el paso tiene el mismo valor del diámetro;

$$t = 25 \text{ mm}$$

Conociendo el diámetro podemos determinar el ancho del filete

$$e = 0,12D = (0,12)(25\text{mm}) = 3 \text{ mm.}$$

- **Holgura y tolerancias de husillo/cilindro**

Tiene mucha importancia en el trabajo de una extrusora la medida de la holgura entre la cresta del filete del husillo y la superficie interior del cilindro. Cuando la holgura es grande el material se mezcla con mayor efectividad, pero disminuye el avance del mismo por aumentar el flujo inverso del material. Generalmente se suele emplear husillos de diámetro constante, manteniendo una holgura entre el husillo y el cilindro de $0,002D$ (Savgorodny, 1978, págs. 1-26).

$$\delta = 0,002D = 0,002(25mm) = 0,05 \text{ mm}$$

Para las holguras del radio de filete se toma, a menos que se especifique, el radio de raíz; además la holgura no debe ser menor que $\frac{1}{2}$ de la profundidad del filete hasta $1''$. Cuando se especifica, se deben observar las siguientes tolerancias: $\pm 0,030''$ y $\pm 0,75mm$.

- **Zonas del husillo y sus longitudes**

La configuración geométrica del husillo depende fundamentalmente del material a transformar, para nuestro caso el polietileno, por lo cual generalmente el husillo está compuesto por tres zonas exactamente definidas cuyas longitudes corresponden a:

$$L \text{ Alimentación} = L/2 = 600/2 = 300 \text{ mm}$$

$$L \text{ Compresión} = L/4 = 600/4 = 150 \text{ mm}$$

$$L \text{ Dosificación} = L/4 = 600/4 = 150 \text{ mm}$$

$$L = \text{Longitud}$$

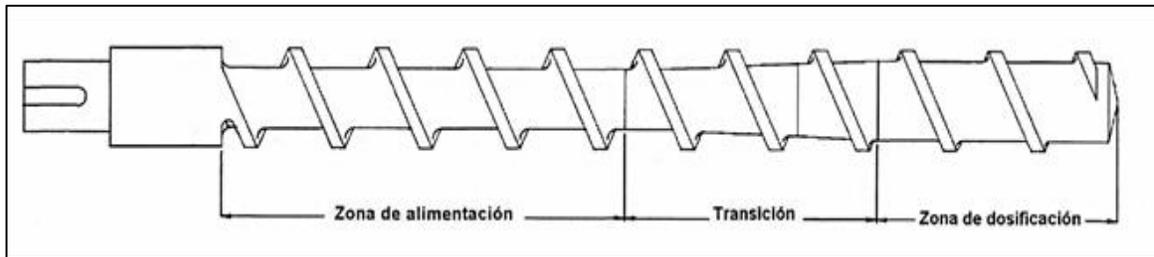


Figura 27. Zonas del husillo de extrusión.

Nota fuente: (Savgorodny, 1978)

3.1.1.5 Cálculo del número de filetes del husillo

El número de filetes se calcula por medio de la relación de longitud diametral que comprende el diámetro del husillo y el número de filetes, para extrusoras de plásticos este es determinado por.

L/D = Relación longitud/diámetro para la determinación de número de filetes.

$$D = \frac{600}{25} = 24 \text{ filetes}$$

$$L = 400 \text{ mm}$$

$$D = 25 \text{ mm}$$

3.1.1.6. Intervalos de velocidad de cortadura

Experimentalmente, se ha encontrado que la mayoría de los plásticos fundidos poseen un comportamiento geológico razonablemente pseudoplástico.

Se dice que el intervalo de la velocidad de cortadura para el cual aplica el proceso de extrusión, se encuentra limitado, ya que cuando este intervalo es mayor, se obtienen curvas con pendientes decrecientes y no se obtienen buenos resultados finales.

Los intervalos de velocidad de corte accesibles dependen de los diferentes tipos de reómetros. Para el elastómero de extrusión con diferentes tipos de procesamiento, se opera entre 100 y 1000 s^{-1} (Savgorodny, 1978, págs. 1-26).

3.1.1.7. Viscosidad efectiva

La viscosidad efectiva se determina en función de la velocidad de cortadura por medio de diagramas, preparados para los diferentes materiales, en función de la temperatura, ya que las viscosidades de los termoplásticos dependen de este factor y del peso molecular, que va decreciendo al calentar el material y al disminuir su peso molecular.

De las figuras siguientes se toman los datos correspondientes a una velocidad de cortadura de (100 s^{-1}) y viscosidad efectiva a una temperatura de trabajo aproximada de 80°C a 235°C . Con esto se obtiene un valor de viscosidad efectiva de 750 P.a.-s , para efecto de cálculos.

La velocidad de cortadura que se utiliza para el polietileno con relación a los parámetros de rpm que se utilizaran de 52 a 185 rpm , es un promedio de 131.94 s^{-1} y se aproxima a un valor de tabla de 265 s^{-1} (Savgorodny, 1978, págs. 1-26).

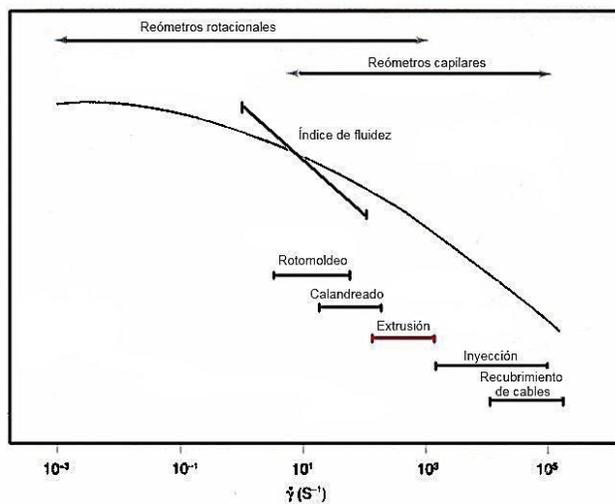


Figura 28. Índice de velocidad de cortadura.

Nota fuente: (Savgorodny, 1978, pág. 12)

La viscosidad efectiva en base a la velocidad de cortadura y las temperaturas que se producen dentro del cañón, se seleccionó como se mencionó antes para efectos de cálculo un valor de 750 Pas–seg.

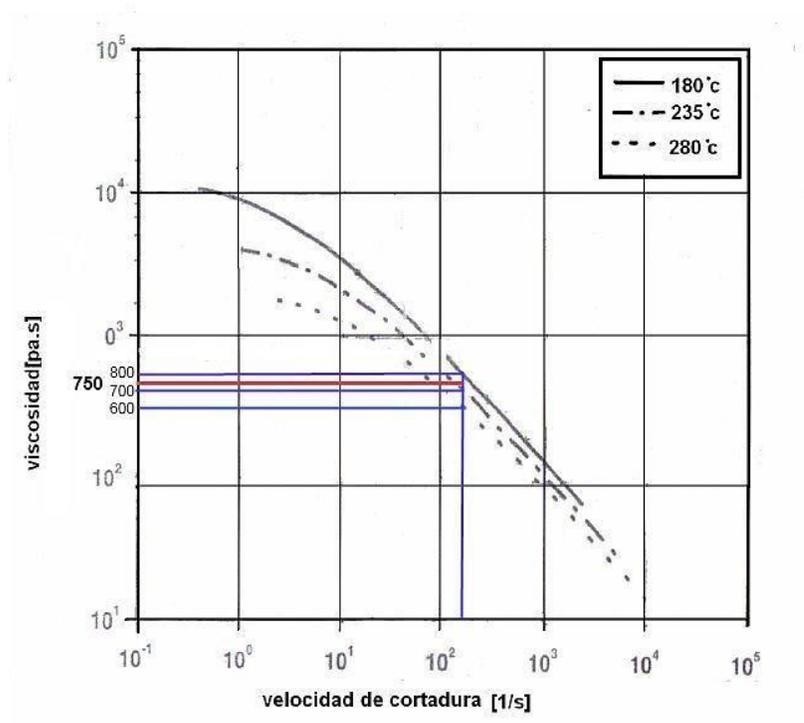


Figura 29. Grafica de viscosidad efectiva.

Nota fuente: (Savgorodny, 1978, pág. 12)

Relación de compresión

La relación de compresión es probablemente el término más usado en la terminología de diseño de husillos, el cual es importante para determinar problemas de degradación asociados a la profundidad del canal o a la alta velocidad de rotación. La relación de compresión está dada por:

Tabla 8.

Profundidad de canal para el husillo de extrusión.

Diametro (mm)	Paso t (mm)	h1 (mm)	h2 (mm)	e (mm)
25	25	3	1,4	3
32	32	6	1,9	3,8
45	45	8	2,1	5
63	63	9,6	2,4	6,3

Nota fuente: (Savgorodny, 1978, pág. 17)

$$Rc = \frac{h1}{h2} = \frac{3 \text{ mm}}{1,4 \text{ mm}} = 2,14$$

La relación de compresión (Rc) calculada se encuentra entre 2 y 5 coincide con la recomendada por los expertos en el procesamiento de plásticos (Savgorodny, 1978, págs. 1-26).

4.6.1.2. Producción.

La producción expresada como flujo volumétrico (Q), es el resultado de tres tipos diferentes de flujo. El flujo de arrastre (α), es el componente mayor provocado por el giro del husillo. El flujo de presión (β), es el componente que se oponen al flujo en el sistema y el flujo de filtración (γ), el cual reduce la producción por pérdidas de material entre las holguras del husillo-cilindro. Por lo tanto, la producción en la zona de dosificación es equivalente a la producción total del husillo (Savgorodny, 1978, págs. 1-26).

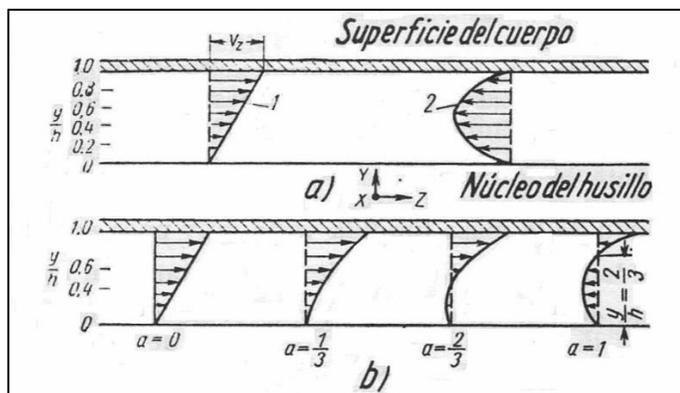


Figura 30. Flujo entre el husillo y cilindro de extrusión

Nota fuente: (Savgorodny, 1978, pág. 6)

El flujo volumétrico unitario se puede determinar con la siguiente expresión:

$$Q = \left(\frac{\alpha * K}{K + \beta + \gamma} \right) n * \rho$$

Cada uno de estos flujos está definido por una ecuación, que relaciona las dimensiones del husillo con algunas variables de la máquina (Savgorodny, 1978, pág. 7).

- **Volumen unitario del flujo de arrastre o de fricción**

$$\alpha = \frac{\pi * m * D * h1 * \left(\frac{t}{m} - e \right) \cos^2 \varphi}{2} \dots (cm^3)$$

D = Diámetro del husillo

$h1$ = Profundidad del canal en la zona de bombeo

φ = Angulo de la hélice

$\cos \varphi$ = Función trigonométrica del coseno del ángulo

m = Número de canales del husillo

e = Anchura de la cresta del filete

$$\alpha = \frac{\pi * (1) * (2,5\text{cm}) * 0,3 * \left(\frac{2,5}{1} - 0,3\right) \cos^2(17,65)}{2}$$

$$\alpha = 2,3535 \text{ cm}^3$$

- **Volumen unitario del flujo de presión**

$$\beta = \frac{m * h^3 * \left(\frac{t}{m} - e\right) \operatorname{sen}\varphi * \cos^2\varphi}{12 * L}$$

Dónde:

L = Longitud del husillo

$$\beta = \frac{(1) * 0,3^3 * \left(\frac{2,5}{1} - 0,3\right) \operatorname{sen}(17,65) * \cos^2(17,65)}{12 * 60\text{cm}}$$

$$\beta = 2,2715 \times 10^{-5} \text{ cm}^3$$

- **Volumen unitario del flujo de filtración**

$$\gamma = \frac{\pi^3 * D^3 * \delta^3 * \tan\varphi}{10 * e * L}$$

$$\gamma = \frac{\pi^3 * (2,5)^3 * (0,005)^3 * \tan(17,65)}{10 * 0,3 * 60}$$

$$\gamma = 1,07048 \times 10^{-7} \text{ cm}^3$$

Este último flujo como es de notarse es de muy bajo valor incluso despreciable, pero se tiene en cuenta para ver la importancia de la holgura husillo/cilindro.

- **Constante total de la cabeza K**

Para determinar la constante K (coeficiente de la forma geométrica) el cabezal se divide convencionalmente en sucesivas zonas de diferente configuración, estableciendo para cada una de estas zonas la constante K (Savgorodny, 1978, págs. 1-26).

K1 para una malla (plato rompedor)

$$K1 = \frac{\pi n d o}{128 L}$$

Donde:

do = Diametro de los agujeros plato rompedor (2,79 mm)

n = Numero de agujeros plato rompedor (37 agujeros)

L = Espesor del plato rompedor (15 mm)

$$K1 = \frac{\pi}{128} \frac{(37 \text{ agujeros})(2,79 \text{ mm})}{(15 \text{ mm})}$$

$$K1 = 0,169$$

K2 para un canal cilíndrico anular (Torpedo)

$$K2 = \frac{\pi}{8L} \left[R_e^4 - R_i^4 - \frac{(R_e^2 - R_i^2)^2}{2,3 \log \left(\frac{R_e}{R_i} \right)} \right]$$

Donde:

R_e = Radio exterior del canal cilindrico anular (18 mm).

R_i = Radio interior del canal cilindrico anular (16,5 mm)

L = Longitud del canal cilindrico anular (45 mm)

$$K2 = \frac{\pi}{8(45\text{mm})} \left[(18 \text{ mm})^4 - (16,5 \text{ mm})^4 - \frac{((18 \text{ mm})^2 - (16,5 \text{ mm})^2)^2}{2,3 \log \left(\frac{18 \text{ mm}}{16,5 \text{ mm}} \right)} \right]$$

$$K2 = 0,376$$

K3 para un canal cónico anular (boquilla) (Savgorodny, 1978)

$$K3 = \frac{\pi(R_o S_2 - R_1 S_1)}{6 * L * m)}$$

Dónde:

R_o es el radio medio en la entrada del cono $\left(\frac{18 + 16,5}{2} = 17,25 \text{ mm} \right)$

R_1 es el radio medio en la salida del cono. $\left(\frac{10,23 + 8,31}{2} = 9,27 \text{ mm} \right)$

S_1 es la anchura de la rendija en la entrada del cono ($18 - 16,5 = 1,5 \text{ mm}$)

S_2 es la anchura de la rendija en la salida del cono ($10,23 - 8,31 = 1,92 \text{ mm}$)

m es una constante que determinar apartir de la siguiente ecuacion:

$$m = \frac{2,3(R_o - R_1)^2}{(R_o S_2 - R_1 S_1)^2} * \log\left(\frac{R_o S_2}{R_1 S_1}\right) - \left(\frac{(R_o - R_1)(S_1 - S_2)}{R_o S_2 - R_1 S_1}\right) \frac{(S_1^2 - S_2^2)}{2S_1^2 S_2^2}$$

$$m = \frac{2,3(17,25\text{mm} - 9,27\text{mm})^2}{((17,25\text{mm})(1,92\text{mm}) - (9,27\text{mm})(1,5\text{mm}))^2} \lg\left(\frac{(17,25\text{mm})(1,92\text{mm})}{(9,27\text{mm})(1,5\text{mm})}\right) - \frac{(17,25\text{mm} - 9,27\text{mm})(1,5\text{mm} - 1,92\text{mm})}{((17,25\text{mm})(1,92\text{mm}) - (9,27\text{mm})(1,5\text{mm}))(1,5\text{mm})(1,92\text{mm})} - \frac{((1,5\text{mm})^2 - (1,92\text{mm})^2)}{2(1,5\text{mm})^2(1,92\text{mm})^2}$$

$$m = 0,0857$$

$$K3 = \frac{\pi((17,25 \text{ mm})(1,92\text{mm}) - (9,27\text{mm})(1,5\text{mm}))}{6 * 45\text{mm} * 0,0857}$$

$$K3 = 2,61$$

K4 para un canal cilíndrico anular (boquilla) (Savgorodny, 1978)

$$K4 = \frac{\pi}{8L} \left[R_e^4 - R_i^4 - \frac{(R_e^2 - R_i^2)^2}{2,3 \log\left(\frac{R_e}{R_i}\right)} \right]$$

Donde:

$R_e = \text{Radio exterior del canal cilindrico anular (10,23 mm)}$.

$R_i = \text{Radio interior del canal cilindrico anular (8,31 mm)}$

$L = \text{Longitud del canal cilindrico anular (50 mm)}$

$$K4 = \frac{\pi}{8(50\text{mm})} \left[(10,23 \text{ mm})^4 - (8,31 \text{ mm})^4 - \frac{((10,23 \text{ mm})^2 - (8,31 \text{ mm})^2)^2}{2,3 \log\left(\frac{10,23 \text{ mm}}{8,31 \text{ mm}}\right)} \right]$$

$$K4 = 0,63$$

Conociendo la constante de cabeza en cada sección del cabezal podemos determinar la constante total de cabeza.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_4}} = \frac{1}{\frac{1}{0,169} + \frac{1}{0,376} + \frac{1}{2,61} + \frac{1}{0,63}}$$

$$K = 0,095$$

Retomando los valores de los flujos y las constantes K, podemos obtener el flujo volumétrico del husillo. Y tomando en cuenta los rpm con las que se puede trabajar en la extrusora se obtienen los siguientes flujos. Para obtener el flujo en kg/h se hace la conversión y se toma en cuenta la densidad específica del PET (Savgorodny, 1978, págs. 1-26).

$$Q = \left(\frac{\alpha * K}{K + \beta + \gamma} \right) n * \rho$$

Donde:

$$\rho (\text{polietileno}) = 0,00135 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Conversion} = 60 \text{min}/1\text{h}$$

$$n1(\text{calentamiento}) = 52 \text{rpm}$$

$$Q1 = \left(\frac{(2,3535 \text{ cm}^3) * (0,095)}{0,095 + (2,2715 \times 10^{-5} \text{ cm}^3) + (1,07048 \times 10^{-7} \text{ cm}^3)} \right) (52 \text{rpm}) \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \right) \\ * (0,00135 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3})$$

$$Q1 = 9,91 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$n2 = 85 \text{rpm} (\text{perfiles con secciones trasnversales grandes})$$

$$Q2 = \left(\frac{(2,3535 \text{ cm}^3) * (0,095)}{0,095 + (2,2715 \times 10^{-5} \text{ cm}^3) + (1,07048 \times 10^{-7} \text{ cm}^3)} \right) (85 \text{rpm}) \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \right) \\ * (0,00135 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3})$$

$$Q2 = 16,2 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$n3 = 131 \text{rpm} (\text{perfiles con secciones tranvesales de tamaño intermedio})$$

$$Q3 = \left(\frac{(2,3535 \text{ cm}^3) * (0,095)}{0,095 + (2,2715 \times 10^{-5} \text{ cm}^3) + (1,07048 \times 10^{-7} \text{ cm}^3)} \right) (131 \text{rpm}) \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \right) \\ * (0,00135 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3})$$

$$Q3 = 24,97 \frac{kg}{h}$$

$n4 = 185 \text{ rpm}$ (perfiles de seccion transversal pequeña)

$$Q4 = \left(\frac{(2,3535 \text{ cm}^3) * (0,095)}{0,095 + (2,2715 \times 10^{-5} \text{ cm}^3) + (1,07048 \times 10^{-7} \text{ cm}^3)} \right) (185 \text{ rpm}) \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \right) \\ * (0,00135 \frac{kg}{\text{cm}^3})$$

$$Q4 = 35,26 \frac{kg}{h}$$

$n5$ (Limpieza de la extrusora) = 59 rpm

$$Q5 = \left(\frac{(2,3535 \text{ cm}^3) * (0,095)}{0,095 + (2,2715 \times 10^{-5} \text{ cm}^3) + (1,07048 \times 10^{-7} \text{ cm}^3)} \right) (59 \text{ rpm}) \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \right) \\ * (0,00135 \frac{kg}{\text{cm}^3})$$

$$Q5 = 11,24 \frac{kg}{h}$$

4.6.1.3. Material.

A la hora de seleccionar el material para el husillo se deben tener en cuenta diferentes condiciones como los factores químicos y mecánicos que pueden llegar a afectar a la pieza, a que en ocasiones esta se encuentra sometida a condiciones agresivas y expuesta a elementos corrosivo y elevados esfuerzos, en el Apéndice 2 se encuentran los principales materiales usado.

Analizando diferentes opciones se optó por seleccionar un acero 4140, el cual ofrece una serie de ventajas teniendo en cuenta las consideraciones anteriores. Por su composición química de Cromo y Molibdeno este tiene dureza bastante alta, alta resistencia a la corrosión y además de esto tiene una alta maquinabilidad aun después de ser sometido a tratamientos térmicos. Resiste temperaturas de más de 540°C (1000°F) sin perder ninguna de sus cualidades aún después de haber sido sometido a un ritmo de trabajo excesivo y a altas temperaturas (Savgorodny, 1978, págs. 1-26).

Tomando en cuenta sus características, ventajas y el hecho de que los usos más habituales de este material son la fabricación de perforadoras, cortadoras, husillos, acoples, mesas rotatorias, juntas, ruedas, válvulas, husillos para alta temperatura, ruedas dentadas, pistones, eslabones para cadena; es un material ideal para el husillo de extrusión (Savgorodny, 1978, págs. 1-26), las características del material seleccionado se encuentran en el Apéndice 3.

Maquinabilidad

La maquinabilidad de este acero es de aproximadamente un 65% comparándolo con el acero AISI 1213 de 100%.

4.6.1.4. Peso del husillo

Es importante calcular el peso de este dispositivo ya que de él se derivan los cálculos para hallar las fuerzas que se generan en el husillo (Savgorodny, 1978, págs. 1-26).

- **Volumen del alma del husillo en cada sección**

Para calcular el volumen de alma del husillo este se divide en 3 zonas.

- **Zona de alimentación**

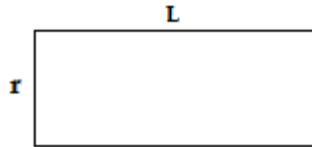


Figura 31. Vista lateral del alma del husillo en la zona de alimentación.

Nota fuente: Autor del proyecto.

$$L = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Radio del alma} = 0,0096 \text{ m}$$

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

$$A = \pi * (0,0096)^2$$

$$A = 0,000289 \text{ m}^2$$

Con el valor ya calculado del área y la longitud de la zona de alimentación se puede calcular el volumen de la zona de alimentación.

$$V_1 = A * L$$

$$V_1 = (0,000289 \text{ m}^2) * 0,3\text{m}$$

$$V_1 = 8,67 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

- **Zona de transición**

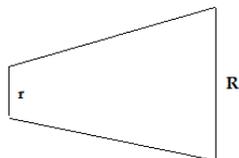


Figura 32. Vista lateral del alma en la zona de transición del husillo.

Nota fuente: Autor del proyecto.

En esta zona se determina el volumen por medio de la siguiente fórmula, sabiendo que esta tiene la geometría de un cono truncado.

$$V_2 = \frac{\pi}{3} * L * ((r^2 + r) * (R^2 + R))$$

$$V_2 = \frac{\pi}{3} * (0,15) * ((0,0096)^2 + (0,0096 * 0,0111) + (0,0111)^2)$$

$$V_2 = 5,0568 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

- **Zona de extrusión o Dosificación**

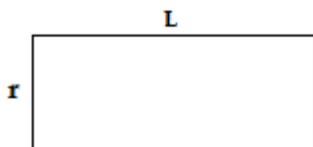


Figura 33. Vista lateral del alma del husillo en la zona de extrusión.

Nota fuente: Autor del proyecto.

Dado que su geometría es un cilindro se trabaja como la zona de alimentación.

$$L = 0,15 \text{ m}$$

$$\text{Radio del alma Husillo} = 0,0111 \text{ m}$$

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

$$A = \pi * (0,0111)^2$$

$$A = 0,0003870 \text{ m}^2$$

Con el valor ya calculado del área y la longitud de la zona de alimentación se puede calcular el volumen de la zona de alimentación.

$$V_3 = A * L$$

$$V_3 = (0,0003870 \text{ m}^2) * 0,15 \text{ m}$$

$$V_3 = 5,806 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Después de tener los tres valores del volumen del alma del husillo decimos que:

$$V_{total \text{ del alma}} = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_{total \text{ del alma}} = (8,67 \times 10^{-5} \text{ m}^3) + (5,0568 \times 10^{-5} \text{ m}^3) + (5,806 \times 10^{-5} \text{ m}^3)$$

$$V_{total \text{ del alma}} = 1,9533 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Volumen de los filetes en cada sección.

Para este cálculo el husillo también se divide en las tres mismas zonas.

Zona de alimentación

$e =$ Ancho de filete

$h_1 =$ Profundidad del canal en la zona de alimentación m^3

$b =$ Longitud del filete (hipotenusa)

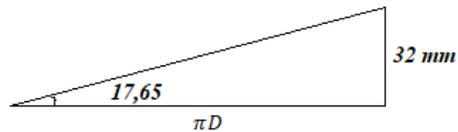


Figura 34. Esquema para determinar la longitud del filete.

Nota fuente: Autor del proyecto.

$$b = \sqrt{(\pi * D)^2 + D^2}$$

$$b = \sqrt{(\pi * 0,025)^2 + (0,025)^2}$$

$$b = 0,0824 \text{ m}$$

Luego de hallar este valor podemos proceder a hallar el volumen de un filete del husillo.

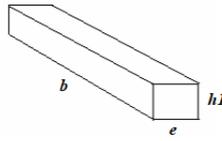


Figura 35. Sección de un filete en la zona de alimentación.

Nota fuente: Autor del proyecto.

$$V_1 = e * b * h1$$

$$V_1 = (0,003m) * (0,0824m) * (0,003m)$$

$$V_1 = 7,416 \times 10^{-7} m^3$$

Con el valor del volumen de un filete podremos calcular el volumen total de los filetes en esta zona del husillo de extrusión.

$$V_1T = V1 * \text{Numero de filetes seccion}$$

$$V_1T = (7,416 \times 10^{-7} m^3) * 12 \text{filetes}$$

$$V_1T = 8,899 \times 10^{-6} m^3$$

Zona de transición

Dado que esta zona tiene una variación del diámetro del alma, para calcular el volumen de un filete se debe hacer de una forma compuesta.

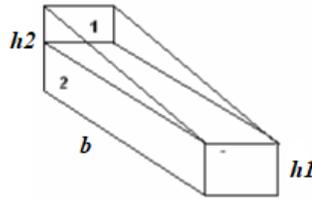


Figura 36. Sección de un filete en la zona de transición.

Nota fuente: Autor del proyecto.

Con el cubo rectangular inferior es fácil determinar su volumen así:

$$V_{2-1} = e * b * h1$$

$$V_{2-1} = (0,003m) * (0,0824m) * (0,003m)$$

$$V_{2-1} = 7,416 \times 10^{-7} m^3$$

Igualmente podemos determinar el volumen total por el número de filetes en la zona de transición.

$$V_{2-1}T = V1 * \text{Numero de filetes seccion}$$

$$V_{2-1}T = (7,416 \times 10^{-7} m^3) * 6 \text{filetes}$$

$$V_{2-1}T = 4,4496 \times 10^{-6} m^3$$

Para la segunda sección del volumen se debe halla el volumen de una figura triangular así:

$$A_{\Delta} = \frac{b * (h1 - h2)}{2}$$

$$A_{\Delta} = \frac{(0,0824 \text{ m}) * (0,003 - 0,0014)}{2}$$

$$A_{\Delta} = 6,592 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Con esta área si se multiplica con el ancho de filete se hallará el volumen de esa sección rectangular.

$$V_{2-2} = A_{\Delta} * b$$

$$V_{2-2} = (6,592 \times 10^{-5} \text{ m}^2) * (0,0824 \text{ m})$$

$$V_{2-2} = 5,432 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Con ese volumen y el número de filetes se determina el volumen total de la sección en específico.

$$V_{2-2}T = V_{2-2} * \text{Numero de filetes seccion}$$

$$V_{2-2} = (5,432 \times 10^{-6} \text{ m}^3) * (6 \text{ filetes})$$

$$V_{2-2} = 3,259 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Para calcular el volumen de los filetes en esa zona, se deben sumar los volúmenes totales de cada sección de la figura de la zona.

$$V_2T = V_{2-1}T + V_{2-2}T$$

$$V_2T = (4,4496 \times 10^{-6} \text{ m}^3) + (3,259 \times 10^{-5} \text{ m}^3)$$

$$V_2T = 3,704 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Zona de dosificación o extrusión

Para esta zona es más sencillo hallar el volumen total de los filetes.

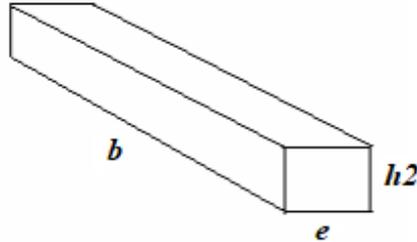


Figura 37. Sección de un filete en la zona de extrusión.

Nota fuente: Autor del proyecto.

$$V_3 = e * b * h_2$$

$$V_3 = (0,003m) * (0,0824m) * (0,0014m)$$

$$V_3 = 3,4608 \times 10^{-7} m^3$$

Igualmente se multiplica por el número de filetes de la zona para obtener el volumen total.

$$V_{3T} = V_3 * \text{Numero de filetes seccion}$$

$$V_{3T} = (7,416 \times 10^{-7} m^3) * 6 \text{filetes}$$

$$V_{3T} = 2,076 \times 10^{-6} m^3$$

Por ultimo para hallar el valor de volumen total de los filetes, solo se debe sumar todos los volúmenes calculados.

$$V_{total \text{ de filetes}} = V_{1T} + V_{2T} + V_{3T}$$

$$V_{total\ de\ filetes} = (8,899 \times 10^{-6} \text{ m}^3) + (3,704 \times 10^{-5} \text{ m}^3) + (2,076 \times 10^{-6} \text{ m}^3)$$

$$V_{total\ de\ filetes} = 4,802 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Con el valor del volumen del alma del husillo y el volumen de los filetes se puede calcular el volumen total del husillo de extrusión.

$$V_{total\ del\ husillo} = V_{total\ de\ filetes} + V_{total\ del\ alma}$$

$$V_{total\ del\ husillo} = (1,9533 \times 10^{-4} \text{ m}^3) + (4,802 \times 10^{-5} \text{ m}^3)$$

$$V_{total\ del\ husillo} = 2,433 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Con el valor del volumen del husillo y la densidad del material, se puede calcular ya el peso del husillo.

$$masa = \rho * V$$

$$\rho (\text{Acero 4140}) = 7700 \text{ kg/m}^3$$

$$masa = \left(7700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * (2,433 \times 10^{-4} \text{ m}^3)$$

$$masa = 1,87 \text{ kg}$$

4.6.1.5. Potencia requerida por el husillo.

La potencia es la rapidez con que se efectúa un trabajo, es decir, el trabajo por unidad de tiempo (Potencia = Trabajo/Tiempo). Tomando los conceptos básicos de física sabemos que (Trabajo = Fuerza x Distancia), que son precisamente las unidades del torque. Además,

sabemos que la velocidad rotacional de un motor se mide en rpm (cuyas unidades son 1/min). Entonces si multiplicamos el torque por los rpm del motor tenemos $F \times D / 60 \text{seg}$ que es igual precisamente a la potencia (Savgorodny, 1978, págs. 1-26).

Conociendo el diámetro del husillo, el factor de proporcionalidad ($K=66,7$) y el número de revoluciones podemos obtener la potencia:

$$N = \frac{n * \pi * D^3}{K^2}$$

n = Velocidad del husillo

D = *Diámetro del tornillo*

K = *Factor de proporcionalidad*

N = *Potencia*

Se desarrolla esta fórmula, para cada una de las revoluciones que se podrán usar en el proceso de extrusión y se da un parámetro de la potencia requerida en Kilowatts y en Caballos de fuerza (Hp).

$n_1(\text{calentamiento}) = 52 \text{ rpm}$

$$N_1 = \frac{(52 \text{ rpm}) * \pi * (25 \text{mm})^3}{66,7^2} = 573.75 \text{ Kw} = 0,77 \text{ hp}$$

$n_2(\text{Diámetros mayores}) = 85 \text{ rpm}$

$$N2 = \frac{(85 \text{ rpm}) * \pi * (25\text{mm})^3}{66,7^2} = Kw = 1,26 \text{ hp}$$

$$n3(\text{Diametros intermedios}) = 131 \text{ rpm}$$

$$N3 = \frac{(131 \text{ rpm}) * \pi * (25\text{mm})^3}{66,7^2} = Kw = 1,94 \text{ hp}$$

$$n4(\text{Diametros menores}) = 185 \text{ rpm}$$

$$N4 = \frac{(185 \text{ rpm}) * \pi * (25\text{mm})^3}{66,7^2} = Kw = 2,74 \text{ hp}$$

$$n5(\text{calentamiento}) = 59 \text{ rpm}$$

$$N5 = \frac{(59 \text{ rpm}) * \pi * (25\text{mm})^3}{66,7^2} = Kw = 0,87 \text{ hp}$$

Con estos cálculos nos percatamos de la potencia máxima que se requiere en el husillo, sabiendo que los rpm máximos que me ofrece la caja de cambios a husillos es de 185 rpm, obtenemos un caballaje entre 2,74 y 3 Hp.

4.6.1.6. Fuerzas y presiones en el husillo.

- **Presión máxima**

La presión en las máquinas de extrusión se genera en la parte delantera del husillo cumpliendo un papel importante en el proceso y en el acabado del material, de igual manera es importante porque de ella se derivan diferentes cálculos para el diseño de dicha máquina.

Para el cálculo de presiones en la máquina se toman en cuenta las rps (revoluciones por segundo) que actuarán en ella; de este modo se ejercerán diferentes presiones en el cañón con respecto a la velocidad con la que gira el husillo; también usamos la viscosidad efectiva antes mencionada de 750 Pas (Savgorodny, 1978, págs. 1-26).

$$n1 = 52 \text{ rpm} = 0,866 \text{ rps}$$

$$n2 = 85 \text{ rpm} = 1,4166 \text{ rps}$$

$$n3 = 131 \text{ rpm} = 2,1833 \text{ rps}$$

$$n4 = 185 \text{ rpm} = 3,083 \text{ rps}$$

$$n5 = 59 \text{ rpm} = 0,9833 \text{ rps}$$

Para efectos de cálculo se toma $Q = 0$, es decir sin flujo de arrastre, y se calculan las presiones para cada velocidad de operación de la máquina (Savgorodny, 1978, págs. 1-26).

$$P_{max} = \frac{6 * \pi * D * L * n * \mu}{h_2^2 \tan \varphi}$$

$$P_{max 1} = \frac{6 * \pi * 0,025 * 0,15 * (0,866 \text{ rps}) * 750 \text{ Pas}}{(0,0014)^2 \tan(17,65)} = 73,61 \text{ Mn/m}^2$$

$$P_{max 2} = \frac{6 * \pi * 0,025 * 0,15 * (1,4166 \text{ rps}) * 750 \text{ Pas}}{(0,0014)^2 \tan(17,65)} = 120,42 \text{ Mn/m}^2$$

$$P_{max 3} = \frac{6 * \pi * 0,025 * 0,6 * (2,1833 \text{ rps}) * 750 \text{ Pas}}{(0,0014)^2 \tan(17,65)} = 185,6 \frac{\text{Mn}}{\text{m}^2}$$

$$P_{max 4} = \frac{6 * \pi * 0,025 * 0,6 * (3,083 \text{ rps}) * 750 \text{ Pas}}{(0,0014)^2 \tan(17,65)} = 262,08 \text{ Mn/m}^2$$

$$P_{max 5} = \frac{6 * \pi * 0,025 * 0,6 * (0,9833 \text{ rps}) * 750 \text{ Pas}}{(0,0014)^2 \tan(17,65)} = 83,56 \text{ Mn/m}^2$$

- **Presión de operación**

Esta se puede calcular para cada velocidad de operación mediante (Savgorodny, 1978, págs. 1-26):

h_1 = Profundidad de alimentación

$$Pop = \frac{2 * \pi * \mu * D^2 * n * h_2 * \text{sen } \varphi * \cos \varphi}{\left(\frac{R^4}{2 * h_1}\right) + \left(\frac{D * h_2^3 \text{sen}^2 \varphi}{3L}\right)}$$

$$Pop 1 = \frac{2\pi(750 \text{ Pas})(0,025 \text{ m})^2(0,866 \text{ rps})(0,0014\text{m})\text{sen}(17,65) \cos(17,65)}{\left(\frac{(0,001)^4\text{m}}{2*0,003}\right) + \left(\frac{0,025*(0,0014)^3 \text{sen}^2(17,65)}{3*(0,60\text{m})}\right)}$$

$$Pop 1 = 6,063 \text{ Mn/m}^2$$

$$Pop 2 = \frac{2\pi(750 \text{ Pas})(0,025 \text{ m})^2(1,4166 \text{ rps})(0,0014\text{m})\text{sen}(17,65) \cos(17,65)}{\left(\frac{(0,001)^4\text{m}}{2*0,003}\right) + \left(\frac{0,025*(0,0014)^3 \text{sen}^2(17,65)}{3*(0,60\text{m})}\right)}$$

$$Pop 2 = 9,92 \text{ Mn/m}^2$$

$$Pop 3 = \frac{2\pi(750 \text{ Pas})(0,025)^2(2,1833 \text{ rps})(0,0014\text{m})\text{sen}(17,65) \cos(17,65)}{\left(\frac{(0,001)^4\text{m}}{2*0,003}\right) + \left(\frac{0,025*(0,0014)^3 \text{sen}^2(17,65)}{3*(0,60\text{m})}\right)}$$

$$Pop 3 = 15,29 \text{ Mn/m}^2$$

$$Pop\ 4 = \frac{2\pi(750\ Pa s)(0,025\ m)^2(3,083\ rps)(0,0014m)\sen(17,65)\cos(17,65)}{\left(\frac{(0,001)^4m}{2*0,003}\right) + \left(\frac{0,025*(0,0014)^3\sen^2(17,65)}{3*(0,60m)}\right)}$$

$$Pop\ 4 = 21,59\ Mn/m^2$$

$$Pop\ 5 = \frac{2\pi(750\ Pa s)(0,025)^2(0,9833\ rps)(0,0014m)\sen(17,65)\cos(17,65)}{\left(\frac{(0,001)^4m}{2*0,003}\right) + \left(\frac{0,025*(0,0014)^3\sen^2(17,65)}{3*(0,60m)}\right)}$$

$$Pop\ 5 = 6,88\ Mn/m^2$$

- **Fuerzas en Husillo.**

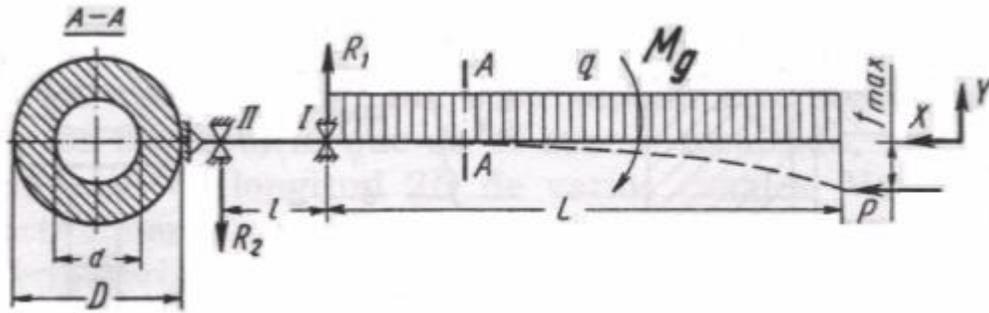


Figura 38. Fuerzas presentes en el husillo de extrusión.

Nota fuente: (Savgorodny, 1978, pág. 24)

Como paso inicial para calcular las fuerzas en el husillo se calcula el torque que indica la fuerza aplicada en una palanca para lograr la rotación de un elemento sobre un eje determinado. Al aplicar fuerza en el extremo de una llave se aplica un torque que hace girar el husillo. En términos científicos el torque es la fuerza aplicada multiplicada por el largo de la palanca (Torque = $F \times D$) y se mide en Newton por metro (Savgorodny, 1978, págs. 1-26).

$$T = 9550 \frac{N}{n}$$

T = Torque o momento de giro

N = Potencia del motor

n = Revoluciones del motor

$$T = 9550 \frac{2.238 \text{ kw}}{185 \text{ rpm}} = 115,53 \text{ N} * \text{m}$$

Además del torque otro factor a calcular es la relación de diámetros de husillo que se calcula así:

$$u = \frac{da}{de}$$

da = Diametro de alimentacion

de = Diametro de extrusion

u = Relacion de diametro entre las zonas del tornillo

$$u = \frac{da}{de} = \frac{0,0192 \text{ m}}{0,0222 \text{ m}} = 0,8649$$

S = Superficie transversal del husillo en el segmento A – A

$$S = \frac{\pi D^2}{4} (1 - U^2)$$

$$S = \frac{\pi(0,025)^2}{4} (1 - (0,8649)^2)$$

$$S = 0,0001237 \text{ m}^2$$

Luego se calcula el momento de inercia de la sección transversal del tornillo.

J = Momento de inercia

$$J = \frac{\pi D^4}{64} (1 - U^4)$$

$$J = \frac{\pi(0,025)^4}{64} (1 - (0,8649)^4)$$

$$J = 8,4445 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

Posterior a esto se calcula el radio de inercia para determinar lo esfuerzo que se provoca.

Ri = Radio de inercia

$$Ri = \sqrt{\frac{J}{S}}$$

$$Ri = \sqrt{\frac{(8,4445 \times 10^{-9} \text{ m}^4)}{(0,0001237 \text{ m}^2)}}$$

$$R_i = 0,00826 \text{ m}$$

$\epsilon =$ Esbeltes del husillo.

$$\epsilon = \frac{\partial * L}{R_i}$$

$$\epsilon = \frac{2 * 0,6 \text{ m}}{0,00826 \text{ m}} = 145,28$$

- **Fuerza axial**

Esta es variante también con el numero de revoluciones por minuto del sistema, por lo cual se hace un calcula para cada una de las potencias en dichas velocidades (Savgorodny, 1978, págs. 1-26). Y está determinada por:

$$F = S * P_{max}$$

$F =$ fuerza axial en el torillo

$P_{max} =$ presion maxima en el tornillo o husillo

$S =$ seccion transversal del tornillo donde se ejerce la fuerza

$$F_1 = S * P_{max1}$$

$$F_1 = (0,0001237 \text{ m}^2) * (73,61 \frac{Mn}{m^2})$$

$$F_1 = 9105,56 \text{ N}$$

$$F_2 = S * P_{max2}$$

$$F2 = (0,0001237 \text{ m}^2) * (120,42 \frac{\text{Mn}}{\text{m}^2})$$

$$F2 = 14895,95 \text{ N}$$

$$F3 = S * Pmax3$$

$$F3 = (0,0001237 \text{ m}^2) * (185,6 \frac{\text{Mn}}{\text{m}^2})$$

$$F3 = 22958,72 \text{ N}$$

$$F4 = S * Pmax4$$

$$F4 = (0,0001237 \text{ m}^2) * (262,08 \frac{\text{Mn}}{\text{m}^2})$$

$$F4 = 32419,3 \text{ N}$$

$$F5 = S * Pmax5$$

$$F5 = (0,0001237 \text{ m}^2) * (83,56 \frac{\text{Mn}}{\text{m}^2})$$

$$F5 = 10336,37 \text{ N}$$

Luego de conocer las fuerzas ejercidas en el husillo, podemos determinar el esfuerzo en el husillo, pero antes se deben calcular diferentes incógnitas.

- **Tensión tangencial (τ)**

$$\tau = \frac{16 * T}{\pi D^3 (1 - u^4)}$$

$$\tau = \frac{16 * 115,53 N * m}{\pi(0,025m)^3(1 - 0,8649^4)}$$

$$\tau = 85,5 \frac{Mn}{m^2}$$

- **Carga repartida (q)**

$$q = \frac{\textit{peso del tornillo}}{\textit{longitud del husillo}}$$

$$\textit{peso del tornillo} = (1,87 \text{ kg}) * (9,8 \frac{m}{s^2})$$

$$\textit{peso del tornillo} = 18,326 N$$

$$q = \frac{18,326 N}{0,6 m}$$

$$q = 30,54 \frac{N}{m}$$

- **Tensión normal (σ)**

$$\sigma = \frac{F}{S} + \frac{Mf}{W_o}$$

Donde

$$Mf = \frac{q * L^2}{2}$$

$$Mf = \frac{(30,54 \frac{N}{m}) * (0,6)^2}{2}$$

$$Mf = 5,4972 N * m$$

- **Momento de inercia respecto al eje neutro**

$$W_o = \frac{\pi * D^3}{32} (1 - u^3)$$

$$W_o = \frac{\pi * (0,025m)^3}{32} (1 - (0,8649)^3)$$

$$W_o = 5,41 \times 10^{-7} m^3$$

• **Esfuerzos en el tornillo.**

Se calculan los esfuerzos para cada velocidad de operación del motor para determinarlo (Savgorodny, 1978, págs. 1-26).

$$\sigma_1 = \frac{F1}{S} + \frac{Mf}{W_o}$$

$$\sigma_1 = \frac{9105,56 N}{0,0001237 m^2} + \frac{5,4972 N * m}{5,41 \times 10^{-7} m^3}$$

$$\sigma_1 = 83,76 \frac{Mn}{m^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{F2}{S} + \frac{Mf}{W_o}$$

$$\sigma_2 = \frac{14895,95 N}{0,0001237 m^2} + \frac{5,4972 N * m}{5,41 \times 10^{-7} m^3}$$

$$\sigma_2 = 130,57 \frac{Mn}{m^2}$$

$$\sigma_3 = \frac{F_3}{S} + \frac{Mf}{W_o}$$

$$\sigma_3 = \frac{22958,72 \text{ N}}{0,0001237 \text{ m}^2} + \frac{5,4972 \text{ N} * \text{m}}{5,41 \times 10^{-7} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_3 = 195,75 \frac{Mn}{m^2}$$

$$\sigma_4 = \frac{F_4}{S} + \frac{Mf}{W_o}$$

$$\sigma_4 = \frac{32419,3 \text{ N}}{0,0001237 \text{ m}^2} + \frac{5,4972 \text{ N} * \text{m}}{5,41 \times 10^{-7} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_4 = 272,23 \frac{Mn}{m^2}$$

$$\sigma_5 = \frac{F_5}{S} + \frac{Mf}{W_o}$$

$$\sigma_5 = \frac{10336,37 \text{ N}}{0,0001237 \text{ m}^2} + \frac{5,4972 \text{ N} * \text{m}}{5,41 \times 10^{-7} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_5 = 93,712 \frac{Mn}{m^2}$$

- **Deflexión máxima del husillo** (Savgorodny, 1978, págs. 1-26)

$$df_{max} = \frac{q * L^4}{8 * E * J}$$

$E(\text{modulo de elasticidad o modulo de young}) = 207 \times 10^9 \text{ Pa}$

$$df_{max} = \frac{(30,54 \frac{N}{m}) * (0,6m)^4}{8 * (207 \times 10^9 \text{ Pa}) * (8,4445 \times 10^{-9} \text{ m}^4)}$$

$$df_{max} = 2,8303 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$df_{max} = 0,28303 \text{ mm}$$

4.6.2. Cilindro.

4.6.2.1. Geometría

- **Diámetro interno de cilindro.**

$$D - int = 2 * holgura + Diam$$

$$D - int = (2 * 0,05mm) + 25 \text{ mm}$$

$$D - int = 25,1 \text{ mm} \quad === \quad R - int = 12,55 \text{ mm}$$

$$P_{max} = 262,08 \text{ Mn/m}^2$$

$$\text{Esfuerzo Cortante admisible} = 80000 \text{ Mpa (20 } ^\circ\text{C)} = 56000 \text{ Mpa (400 } ^\circ\text{C)}$$

$$\text{Modulo elastico Aisi 1020} = 207000 \text{ Mpa (20 } ^\circ\text{C)} = 144900 \text{ Mpa (400 } ^\circ\text{C)}$$

$$\text{Relacion de Poisson} = 0,29 \text{ (20 } ^\circ\text{C)} = 0,21 \text{ (400 } ^\circ\text{C)}$$

- **Calculo del espesor mínimo del cañón**

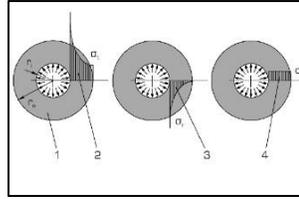


Figura 39. Efectos de la presión en el interior de un cilindro.

Nota fuente: (GUNT Hamburg)

$$E_{\text{min cañon}} = \frac{P_{\text{max}} * R_{\text{int}}}{\text{Esfuerzo cortante} - (0,6 * P_{\text{max}})}$$

$$E_{\text{min cañon}} = \frac{262,08 \text{ Mpa} * (12,55 \text{ mm})}{56000 \text{ Mpa} - (0,6 * (262,08 \text{ Mpa}))}$$

$$E_{\text{min cañon}} = 0,059 \text{ mm}$$

- **Especificaciones de diseño del cilindro.**

$$\text{Material} = \text{AISI 1020}$$

$$E \text{ (Espesor del cañon seleccionado)} = 12,5 \text{ mm}$$

$$D_{\text{ext Cil}} = D_{\text{int}} + 2E$$

$$D_{\text{ext Cil}} = 25,1 \text{ mm} + (2 * 12,5 \text{ mm}) = 50,1 \text{ mm}$$

$$E_{\text{sp min de los pozo de calefactores}} = \frac{1}{16} (D_{\text{ext cil}}/2) = \frac{1}{16} (50,1/2) = 1,5656 \text{ mm}$$

Barrenado de la tolva

$$D \text{ inf tolva} = 25,4 \text{ mm}$$

4.6.2.2. Dilatación térmica el cilindro.

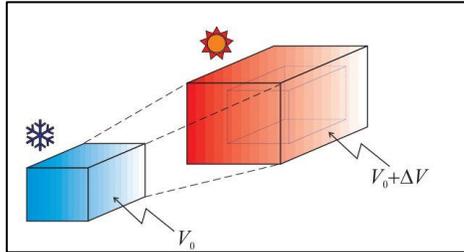


Figura 40. Dilatación térmica de un sólido.

Nota fuente: (Física de once, 2012)

$$\text{Dilatacion} = \text{Long } f - \text{Long Inicial}$$

$$\text{Dilatacion} = (Li * \text{Coefdilata} * \Delta T + Li) - Li$$

$$Li = 0,6 \text{ m}$$

$$\Delta T = (400 - 20)^\circ\text{C} = 380^\circ\text{C}$$

$$\text{Coefdilata} = 1,7 \times 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

$$\text{Dilatacion} = \left((0,6 \text{ m}) * \left(1,7 \times 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}} \right) * (380^\circ\text{C}) \right)$$

$$\text{Dilatacion} = 3,87 \text{ mm}$$

4.6.2.3. Tratamiento térmico

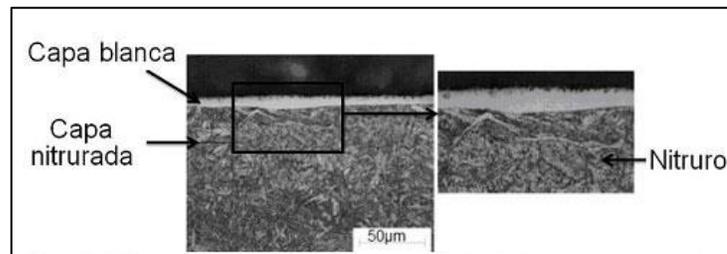


Figura 41. Esquema de Nitrurado de una pieza.

Nota fuente: (Corazza, Sacchelli, & Marangoni, 2012)

Para el cilindro se recomienda realizar un Nitrurado superficial ya que este es un tratamiento termoquímico de endurecimiento superficial por el cual se incorpora Nitrógeno a la superficie del acero, compuesto principalmente por fase ferrítica, mediante el calentamiento en una atmósfera de amoníaco y como resultado se da un incremento de la dureza superficial de las piezas y un aumento de la resistencia a la corrosión y a la fatiga, lo cual es ideal para la cara interior del cilindro (Malishev, 1989).

4.7. Seleccionar el motor adecuado basado en los cálculos realizados.

4.7.1. Condiciones.

Para la selección del motor de la máquina extrusora se manejarán dos opciones, una que es elegir un moto-reductor a la velocidad calculada, y la otra elegir un motor sin sistema de reducción y acoplar un sistema de reducción más económico.

Las condiciones necesarias para seleccionar el motor son:

4.7.1.1. Potencia.

La potencia que será el criterio para seleccionar el motor, será aquella que sea mayor en este caso será $N = 2,74 \text{ hp}$ ($2044,04 \text{ Kw}$), la cual se debe producir a la velocidad de mayor producción, la cual se maneja a revoluciones más elevada, y es la usada para la producción de mangueras de diámetros menor, las cuales pueden ser producidas a mayor velocidad por razones de la velocidad de enfriamiento.

4.7.1.2. Velocidad.

Dado que la caja mecánica de cambios tiene una reducción máxima de $6,74:1$ y la velocidad mínima a la que se quiere llegar es de 52 rpm , entonces $\text{Vel Mot} = (6,74 \times 52 \text{ rpm}) = 350 \text{ rpm}$, y esta es la velocidad requerida para el moto-reductor o bien a la entrada de la caja de cambios, dependiendo la opción que se seleccione, ya sea que se escoja el motor reductor o el sistema mecánico alternativo de reducción a un motor eléctrico trifásico si reducción respectivamente.

4.7.1.3. Alimentación eléctrica.

Dado que se quiere un bajo consumo energético lo ideal sería que el motor trabaje a un voltaje elevado, para que el consumo energético sea menor, además que la población a la que es dirigido este diseño, son personas que comúnmente tienen en sus instalaciones con circuito eléctrico de 220 v , por lo cual el voltaje ideal es de 220 v y trifásico.

4.7.2. Selección

4.7.2.1. Opción 1: la selección de un moto-reductor.

Para la selección del motor-reductor se utilizó el catalogo NORD de reductores de sinfín serie universal en la página 57 del mismo, tomando en cuenta que se trabaje a una velocidad de 350 rpm a la salida del motor y entrada de la caja de cambios, además de una potencia de una potencia más que suficiente de 4 Kw (5,36 hp).

4.7.2.2. Opción 2: la selección de un motor sin reducción para acoplar un sistema de reducción económico (Transmisión por cadena).

Para selección el motor sin reducción se tendrá en cuenta que el valor mínimo de potencia que debe ofrecer es de 3 hp y para dejar la relación de velocidades lo más baja posible en el sistema de cadenas, este tendrá una velocidad de 1140 rpm y que trabaje al a 220v a 60 Hz, el motor que se selecciono es el modelo IEC 100L del catálogo WEG línea W21, con peso aproximado de 34 kg y que cumple con todo lo anteriormente expuesto, en el Apéndice 5 se encuentra las especificaciones técnicas del mismo (WEG, 2010).

4.8. Seleccionar las resistencias eléctricas adecuadas para el sistema de calefacción de la máquina.

4.8.1. Potencia requerida.

Para el cálculo de la potencia requerida en los calefactores o resistencias eléctrica se deberá tener en cuenta que dicha potencia está en función del calor necesario que se produce en el estado transitorio en un tiempo t , y se debe considerar así puesto que el cilindro no se calienta de

manera abrupta, sino que este lo hace manera gradual, conforme las resistencias transfieren el calor al cilindro y al husillo (Rosero, 2013, págs. 84-91).

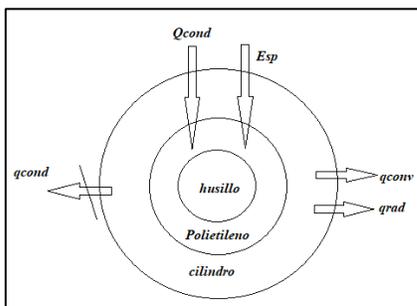


Figura 42. Flujos de calor en el sistema cilindro-husillo.

Nota fuente: Autor del proyecto.

Para calcular la potencia requerida necesitamos el coeficiente de transferencia de calor.

4.8.1.1. Coeficiente de transferencia de calor

Este coeficiente es el resultante de la suma del coeficiente por convección y el coeficiente por radiación. (Rosero, 2013, págs. 84-91)

$$h = hc + hr$$

Donde:

$$hc = \text{coeficiente de transferencia de calor por conveccion} \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right)$$

$$hr = \text{coeficiente de transferencia de calor por radiacion} \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right)$$

Ahora se procede a hallar dichos valores:

- **Coefficiente de transferencia de calor por convección.**

La transferencia de calor por este medio se presenta siempre que un cuerpo sólido es colocado cerca de un fluido que está a diferente temperatura que dicho cuerpo. Para determinar este coeficiente se proceda hallando primero la temperatura media de película:

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

Donde:

$T_s =$ temperatura del sólido ($T_s = 180^\circ\text{C}$, que es la temperatura de fusión del PET.)

$T_\alpha =$ temperatura ambiente (21°C)

Remplazando obtenemos:

$$T_f = \frac{180^\circ\text{C} + 21^\circ\text{C}}{2}$$

$$T_f = 100,5^\circ\text{C} = 373,65\text{ K}$$

Propiedades del aire a $373,65\text{ K}$ siempre deben ser evaluadas a la temperatura T_f .

$$Pr = 0,695 \text{ (Numero de Prandtl)}$$

$$\gamma = 2,3665 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \text{ (Viscosidad cinemática)}$$

$$K = 0,0319 \frac{\text{W}}{\text{m K}} \text{ (Conductividad térmica)}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{373,65 \text{ K}} = 2,676 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Como la geometría es un cilindro horizontal grande, su longitud característica, es su diámetro, por lo tanto (Rosero, 2013, págs. 84-91):

$$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot \Delta T \cdot D^3}{\gamma^2}$$

Donde:

$$g = \text{Gravedad} \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$D = \text{Diametro exterior del cilindro} (0,0501 \text{ m})$$

$$\Delta T = \text{Variacion de temperatura} (180 \text{ }^\circ\text{C} - 21 \text{ }^\circ\text{C}) = 159 \text{ }^\circ\text{C} = 159 \text{ K}$$

Remplazando:

$$Gr = \frac{(2,676 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}) \cdot \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \cdot (159 \text{ K}) \cdot (0,0501 \text{ m})^3}{\left(2,3665 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)^2}$$

$$Gr = 9,363 \times 10^5$$

Con estos valores podemos determinar el número de Nusselt, para un cilindro horizontal, el cual está determinado por:

$$Nu = \left(0,6 + 0,387 \left(\frac{Pr * Gr}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{16}{9}}} \right)^{\frac{1}{6}} \right)^2$$

Remplazando:

$$Nu = \left(0,6 + 0,387 \left(\frac{(0,695) * (9,363 \times 10^5)}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{0,695} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{16}{9}}} \right)^{\frac{1}{6}} \right)^2$$

$$Nu = 12,86$$

Dado esto y la ecuación de convección libre del Número de Nusselt:

$$Nu = \frac{hc * D}{K}$$

Despejando obtenemos:

$$hc = \frac{Nu * K}{D}$$

$$hc = \frac{(12,86) * (0,0319 \frac{W}{mK})}{0,0501m}$$

$$hc = 8,19 \frac{W}{m^2K}$$

- **Coficiente de transferencia de calor por convección.**

Las áreas metálicas por su característica inherentes son buenos radiadores de calor, las perdidas por este fenómeno dependen siempre de la temperatura absoluta, el área superficial y la emisividad del material (Rosero, 2013, págs. 84-91).

$$q = A \cdot \epsilon_1 \cdot \sigma (Ts^4 - T\alpha^4)$$

Donde:

$A =$ Area de transferencia de calor

$\epsilon_1 =$ Emisividad de la superficie

$\sigma =$ Constante de Stefan – Boltzmann = $5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2K}$

$Ts =$ Temperatura absoluta de la superficie.

$T\alpha =$ Temperatura absoluta del ambiente

También las pérdidas por radiación se pueden determinar por:

$$q = A \cdot hr (Ts - T\alpha)$$

Igualando las ecuaciones obtenemos:

$$A \cdot \epsilon_1 \cdot \sigma (Ts^4 - T\alpha^4) = A \cdot hr (Ts - T\alpha)$$

Despejando hr resulta:

$$hr = \frac{\epsilon_1 \cdot \sigma (Ts^4 - T\alpha^4)}{(Ts - T\alpha)}$$

Y sabemos que:

$$T_s = 180 \text{ }^\circ\text{C} = 453,15 \text{ K}$$

$$T_\alpha = 21^\circ\text{C} = 294,15 \text{ K}$$

$$\epsilon_1 = 0,865 \text{ (Emisividad del acero)}$$

Reemplazando:

$$hr = \frac{(0,865) \cdot (5,67 \times 10^{-8} \frac{w}{m^2K}) ((453,15 \text{ K})^4 - (294,15 \text{ K})^4)}{(453,15 \text{ K} - 294,15 \text{ K})}$$

$$hr = 10,698 \frac{w}{m^2K}$$

Con esto el coeficiente de transferencia de calor total es:

$$h = hc + hr$$

$$h = 8,19 \frac{w}{m^2K} + 10,698 \frac{w}{m^2K}$$

$$h = 18,9 \frac{w}{m^2K}$$

4.8.1.2. Estimación de pérdidas.

- **Perdidas por Conducción**

El cilindro pierde calor por los puntos de contacto como soporte, tolvas, husillo, etc.; pero para este diseño los contactos con el cilindro se redujeron al mínimo, por lo cual se despreciarán dichas pérdidas por conducción (Rosero, 2013, págs. 84-91).

- **Perdidas por Radiación**

Estas se tendrán en cuenta y se determinan por:

$$q = A \cdot hr (Ts - T\alpha)$$

$$A = \text{Area de transferencia de calor } (\pi * D * L = \pi * (0,0501m) * (0,6 m) = 0,09443 m^2)$$

$$hr = \text{Coeficiente de transferencia de calor por radiacion } \left(10,698 \frac{W}{m^2K}\right)$$

$$Ts = \text{Temperatura absoluta de la superficie } (453,15 K)$$

$$T\alpha = \text{Temperatura absoluta del ambiente } (294,15 K)$$

Remplazando valores tenemos:

$$qr = (0,09443 m^2) \cdot \left(10,698 \frac{W}{m^2K}\right) \cdot (453,15 K - 294,15 K)$$

$$qr = 160,62 W \text{ (Teniendo en cuenta una temperatura promedio de } 180 \text{ } ^\circ\text{C)}$$

- **Perdidas por Convección.**

Por la elevada temperatura que adquiere el aire alrededor del cilindro, y los flujos de refrigeración, este tiende a elevarse hacia arriba y perderse, debido a su baja densidad, lo cual hace que se genere perdida de calor desde el cilindro (Rosero, 2013, págs. 84-91).

$$qc = hc * \Delta T * A$$

Donde:

$hc = \text{Coeficiente de transferencia de calor por conveccion} \left(8,19 \frac{W}{m^2 K} \right)$

$A = \text{Area de transferencia de calor} (0,09443 m^2)$

$\Delta T = \text{diferencia de temperatura} (180^\circ\text{C} - 21^\circ\text{C} = 159^\circ\text{C} = 159 K)$

Entonces:

$$q_c = \left(8,19 \frac{W}{m^2 K} \right) (159 K) (0,09443 m^2) = 112,96 W$$

4.8.1.3. Incremento de la energía interna del polímero

Es la cantidad de potencia necesaria para poder elevar la temperatura de la materia prima a su temperatura de trabajo y moldeo (Rosero, 2013, págs. 84-91). Y está definida por:

$$Esp = \dot{m} * C_p * (T_s - T_a)$$

Donde:

$Esp = \text{Cantidad de calor agregado al polimero} (W)$

$\dot{m} = \text{Flujo masico de la extrusor} \left(35,26 \frac{kg}{h} \right)$

$C_p = \text{Calor especifico del polietileno} \left(0,45 \frac{Kcal}{kg K} \right)$

$T_s = \text{Temperatura absoluta de la superficie} (453,15 K)$

$T\alpha =$ Temperatura absoluta del ambiente (294,15 K)

$$Esp = \left(35,26 \frac{kg}{h}\right) * \left(0,45 \frac{Kcal}{kg K}\right) * (453,15 K - 294,15 K)$$

$$Esp = 2522 \frac{Kcal}{h} = 2931,2 W$$

4.8.1.4. Calor necesario para calentar el cilindro.

Este es el calor que se necesita para poder lograr llevar el cilindro a la temperatura en la cual la masa fundida puede fundirse, esta se define median el calor a través de un cilindro hueco, (Rosero, 2013, págs. 84-91) la cual está definida por:

$$Qc = \frac{Ts - T\alpha}{\frac{\ln\left(\frac{R_{ext-cil}}{R_{int-cil}}\right)}{2\pi * K * L}}$$

Donde:

$Q_{cond} =$ Calor necesario por conduccion (W).

$T_s =$ Temperatura absoluta de la superficie (453,15 K).

$T\alpha =$ Temperatura absoluta del ambiente (294,15 K).

$R_{ext - cil} =$ Radio exterior del cilindro de extrusion (0,02505 m).

$R_{int - cil} =$ Radio interior del cilindro de extrusion (0,012525 m).

$L =$ Espesor del cilindro (0,025 m).

$K = \text{Conductividad termica del acero} \left(50,2 \frac{W}{m K} \right).$

$$Q_{cond} = \frac{453,15 K - 294,15 K}{\frac{\ln\left(\frac{0,02505 m}{0,012525 m}\right)}{2\pi * \left(50,2 \frac{W}{m K}\right) * (0,025 m)}}$$

$$Q_{cond} = 1814,04 W$$

4.8.1.5. Potencia requerida

Esta es equivalente a todos los calores necesarios y a las perdidas en el sistema (Rosero, 2013, págs. 84-91):

$$P_{req} = Q_{cond} + E_{sp} + q_c + q_r$$

$$P_{req} = (1814,04 W) + (2931,2 W) + (112,96 W) + (160,62 W)$$

$$P_{req} = 5018,82 W$$

4.8.2. Selección de resistencias eléctricas.

Conociendo la potencia total que necesitamos en los calefactores, esta se dividirá en 5 resistencias calefactoras de abrazadera, dado que el comportamiento de la temperatura a lo largo del cilindro es en forma de joroba, por estos las cinco resistencias que se seleccionaran son las estipuladas en la tabla 12.

4.9. Realizar los cálculos necesarios para el sistema de Ventilación y circuito eléctrico del sistema.

4.9.1. Sistema de Ventilación.

Para diseñar el sistema de ventilación debemos saber cuánto es calor que se debe disipar para con el calcular el caudal necesario para disminuir la temperatura (Garcia, 2009, págs. 34-40).

4.9.1.1. Flujo de aire requerido.

Para determinar el flujo de aire o caudal requerido, se debe calcular de acuerdo a la cantidad de calor a disipar, que es equivalente al calor que el cilindro genera por conducción, convección y radiación (Garcia, 2009, págs. 34-40).

$$F_{nec} = \frac{Q_{cond} + q_r + q_c}{\rho_{aire} * C_{p_{aire}} * (T_s - T_a)}$$

Donde:

F_{nec} = Flujo necesario para disipar el calor generado en el interior.

Q_{cond} = Calor en el cilindro $\left(1814,43 \frac{J}{s}\right)$

q_r = Calor generado por radiacion $\left(160,62 \frac{J}{s}\right)$

q_c = Calor generado por conveccion $\left(112,96 \frac{J}{s}\right)$

T_s = Temperatura promedio del interior de la camisa (453,15 K)

T_a = Temperatura promedio del exterior (293,15 K).

$C_{p_{aire}}$ = Calor especifico del aire $\left(1010 \frac{J}{kg K}\right)$

$$\rho_{\text{aire}} = \text{Densidad del aire} \left(1,13 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

Las propiedades del aire se encuentran en el Apéndice 4.

$$F_{\text{nec}} = \frac{\left(1814,43 \frac{\text{J}}{\text{s}} \right) + \left(160,62 \frac{\text{J}}{\text{s}} \right) + \left(112,96 \frac{\text{J}}{\text{s}} \right)}{\left(1,13 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * \left(1010 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \right) * (453,15 \text{ K} - 293,15 \text{ K})}$$

$$F_{\text{nec}} = 0,011 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 42 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

4.9.1.2. Selección del Blower.

Con el caudal calculado podemos selección en ventilado o soplador que necesitamos, en este caso, se selección un ventilador centrifugo portátil CAD-201 del catálogo S&P (soler y palau) con las siguientes características. Las demás características se encuentran en el Apéndice 6.

Tabla 9.

Características del Blower seleccionado.

Modelo	Velocidad (Rpm)	Potencia (w)	Tension (V)	Intensidad (A)	Caudal (m3/h)	Peso (kg)
CAD-201	3312	258	220	1,8	270	4
CAD-211	3353	367	220	3,1	420	4
CAD-241	3407	1019	220	7	77	7

Nota fuente: (Palau, Soler y)

4.9.2. Sistema eléctrico.

Para diseñar el sistema eléctrico se seleccionará el tipo de cable y protección para cada elemento eléctrico importante del sistema. Los elementos de protección y los cables se encuentran en el Apéndice 8 y en el Apéndice 7.

4.9.2.1. Elementos del motor eléctrico

Las características principales del motor son:

Tabla 10.

Características del motor eléctrico.

Carateristica	Valor
Potencia	4 hp
Voltaje	220 / 330 V
Fases	3
Corriente	42/25 A

Nota fuente: Autor del proyecto.

Con esto podemos seleccionar el cable y la protección del sistema.

Tabla 11.

Selección de los elementos eléctricos para el motor.

Elemento	Selección
Cable	Cable numero 8 tripolar (45 A).
Disyuntor	Disyuntor BKN 2P B40A (40 A)

Nota fuente: Autor del proyecto.

4.9.2.2. Elementos del sistema de calefacción.

Para las resistencias calefactoras se determinaron las siguientes potencias de trabaja, para lo cual a cada una se le calculo la resistencia en ohmios para posteriormente calcular la corriente total, para que las resistencias trabajen a la potencia de fábrica, se debe hacer un arreglo de conexión en paralelo para que el voltaje se igual en todas las resistencias. Para calcular la resistencia se usa la siguiente expresión, sabiendo que el sistema trabaja a 220 v:

$$R = \frac{\text{Voltaje}^2}{\text{Potencia resistencia}}$$

Para la resistencia de 550,56 watts tendremos: Ω

$$R = \frac{(220 \text{ v})^2}{550,56 \text{ W}}$$

$$R = 87,91 \Omega$$

Las demás se calcularon de manera tabulada obteniendo:

Tabla 12.

Potencias y resistencias de los calefactores.

Elemento	Selección	Resistencia Ω
Calefactor 1	550,56	87,9
Calefactor 2	787,95	61,4
Calefactor 3	1085,07	44,6
Calefactor 4	1234,63	39,2
Calefactor 5	1360,1	35,6

Nota fuente: Autor del proyecto

Dado que se conectan en paralelo debemos calcular la corriente que va a circular por el cable, entonces debemos sumar las resistencias en paralelo.

$$Req = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}}$$

$$Req = \frac{1}{\frac{1}{87,9} + \frac{1}{61,4} + \frac{1}{44,6} + \frac{1}{39,2} + \frac{1}{35,6}}$$

$$Req = 9,645 \Omega$$

Con esta resistencia global podemos determinar la corriente que consume el sistema.

$$I = \sqrt{3} \frac{V}{Req}$$

$$I = \sqrt{3} \frac{220 \text{ v}}{9,64 \Omega}$$

$$I = 39,53 \text{ A}$$

Con esto seleccionamos el cable y sistema de protección.

Tabla 13.

Selección de los elementos eléctricos para los calefactores.

Elemento	Selección
Cable	Cable numero 8 tripolar (45 A).
Disyuntor	Disyuntor BKN 2P B40A (40 A)

Nota fuente: Autor del proyecto.

4.9.2.3. Elementos del sistema de ventilación.

Para el sistema de ventilación sus especificaciones eléctricas principales son;

Corriente = 1,80 A.

Voltaje = 220 V.

Con esto podemos seleccionar el cable y la protección.

Tabla 14.

Selección de los elementos eléctricos para el Blower.

Elemento	Selección
Cable	Cable numero 22 tripolar (2 A).
Disyuntor	Disyuntor BKN 2P B2A (2A)

Nota fuente: Autor del proyecto.

4.10. Calcular y seleccionar el sistema de ajuste de velocidad y potencia del motor.

4.10.1. Definición de los requerimientos de ajuste para la transmisión.

Los requerimientos principales de sistema de transmisión por cadenas son:

- Se requiere una reducción desde 1141 rpm a 350 rpm (3.25:1).
- Debe soportar una potencia de 3 hp.
- Las condiciones de trabajo en la extrusora, es un trabajo uniforme, es decir un factor de servicio (Fs.=1)
- Por cuestiones de espacio la distancia entre centro no debe exceder 1,2 metros

4.10.2. Selección del sistema de cadenas.

Para la selección de sistema de cadenas, se definirá la reducción y el número de dientes de las catarinas conociendo que $Hd = 3hp$ (Budynas & Nisbett, 2008, págs. 876-881).

Por recomendación $Z1=17$ dientes, entonces calculamos $Z2$.

$$Mg = \frac{3,235}{1},$$

$$Z2 = Mg * Z1 = 3,235 * 17dientes = 55 \text{ dientes (ok cumple el requerimiento)}$$

Seleccionamos una cadena N° 40, y verificamos en el Apéndice 10 si se construyen Catarina con los números de dientes calculados. En la tabla se verifica que sí. (Budynas & Nisbett, 2008, págs. 876-881).

Datos de la cadena N° 40.

$$Hc \text{ (para } \cong 1200 \text{ rpm)} = 6,45hp \text{ (Anexo 12)}$$

$$P = 0,5 \text{ " (Anexo 11)}$$

$$Cmax = 80P = 80(0,5) = 40$$

Conociendo esto podemos calcular la longitud de la cadena en paso.

$$\frac{Lc}{P} = 2 \frac{C}{P} + \frac{Z1 + Z2}{2} + \frac{(Z2 - Z1)^2}{4\pi^2 \frac{C}{P}}$$

$$\frac{Lc}{P} = 2 \frac{40}{0,5} + \frac{17 + 55}{2} + \frac{(55 - 17)^2}{4\pi^2 \frac{40}{0,5}}$$

$$\frac{Lc}{P} = 196,45$$

Con este dato podemos calcular el Creal (distancia entre centros del sistema)

$$Creal = \frac{P}{4} \left[-A + \sqrt{A^2 - 8 \left(\frac{Z2 - Z1}{2\pi} \right)^2} \right]$$

$$A = \frac{Z1 + Z2}{2} - \frac{Lc}{P}$$

$$A = \frac{17 + 55}{2} - 196,45$$

$$A = -160,45$$

Remplazando obtenemos:

$$C_{real} = \frac{0,5''}{4} \left[-(-160,45) + \sqrt{(-160,45)^2 - 8 \left(\frac{55 - 17}{2\pi} \right)^2} \right]$$

$$C_{real} = 40'' = 1,016 \text{ metros (Ok, cumple el requerimiento)}$$

Determinamos si cumple con las condiciones de potencia (Budynas & Nisbett, 2008, págs. 876-881).

$$H_a \geq H_d$$

$$k_1 * k_2 * H_c \geq H_d$$

Factor de corrección de dientes k_1 . (Apéndice 13)

$$k_1 = 1 \text{ (para 17 dientes)}$$

Factor de hileras múltiples k_2 .

$$k_2 = \frac{H_d}{k_1 * H_c}$$

$$k_2 = \frac{3hp}{(1) * (6,45hp)}$$

$$k_2 = 0,47 \cong 1$$

La cadena será de una hilera. (Apéndice 14)

Con todo esto se selección la cadena con las siguientes características:

Designación 1 N° 40 196 (1 hilera, número 40, y de longitud de 196”), Lubricación tipo B, por baño o disco (Budynas & Nisbett, 2008, págs. 876-881).

4.11. Seleccionar de la estructura de soporte elementos de sujeción.

4.11.1. Material de la estructura.

Dado que el peso del husillo y el cilindro no son tan elevado la selección de los materiales para la estructura son más sencillo, para seleccionarlo se hace mediante el peso por unidad de longitud y el Apéndice 21 donde se seleccionó el ángulo. Y dado que el peso máximo lo obtendremos en el motor eléctrico, con este seleccionaremos el perfil adecuando.

Peso del motor = 37 kg que se divide en 4 ángulos que lo apoya.

Longitud del motor = 0,5 m

Peso por unidad de longitud = 18,5 kg/m

En este caso se selección un ángulo de acero A36 de dimensiones 4 x 1/2”. Los otros ángulos pueden ser de menor dimensión de acuerdo al peso que se apoya sobre el elemento estructural.

4.11.2. Bridas de acople.

Ahora se seleccionará la brida que va en la parte posterior de la máquina extrusora, la que conecta el cañón con la base para lograr sostener el cañón en una posición estática y firme para evitar las vibraciones del movimiento del husillo, en esta parte se selecciona la brida de tipo Somet-Weld del Manual en línea de la empresa Valtech (Gomez & Gutierrez, 2007).

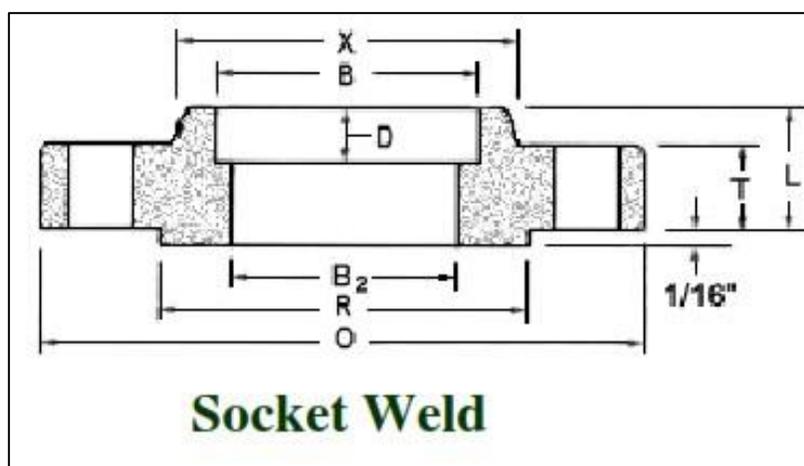


Figura 43. Brida para el cilindro de extrusión.

Nota fuente: (Rjsales, 2017)

Ya que esta permite que se introduzca y soldé el cañón en el diámetro (B) de la brida y el husillo salga por el diámetro (B2), los sujetadores aseguran la brida, el cañón y todo a su vez a la base para darle estabilidad al equipo, con 4 tornillos barrenos colocados en el plato; las especificaciones de la selección se muestran en el Apéndice 15 y en el Apéndice 16.

4.11.3. Tornillos y pernos.



Figura 44. Pernos y tornillos de trabajo pesado.

Nota fuente: (Kamax)

Los tornillos que se utilizarán para asegurar los elementos de la máquina son tornillos fabricados en acero de medio carbono templado y revenido, ya que necesitamos alta resistencia a la tracción y al corte (Gomez & Gutierrez, 2007).

La selección de los tornillos se obtuvo mediante el Manual de Línea Pernería de American Screw, en la sección de Pernos hexagonales estructurales ASTM A-325. Con esto se puede asegurar el correcto funcionamiento y ajuste de la máquina, para eliminar al máximo las vibraciones, Sus características se muestran en el Apéndice 17.

4.11.4. Selección de rodamientos.



Figura 45. Rodamiento SKF.

Nota fuente: (SKF, 2015, pág. 120)

Los rodamientos son necesarios para reducir la deflexión en el husillo y eliminar cargas axiales y radiales, generadas por la rotación del husillo y el empuje que produce el material al llegar al cabezal. Algo que es muy importante para evitar el contacto entre el cilindro y husillo (Gomez & Gutierrez, 2007).

Los rodamientos seleccionados son del catálogo SKF los cuales se indican a continuación:

- **Rodamiento de rodillos cilíndricos**

El rodamiento de rodillos cilíndricos seleccionado posee las características principales siguientes:

Tabla 15.

Características principales del rodamiento de rodillos cilíndricos.

Diámetro interior	25mm
Diámetro exterior	47mm
Ancho rodamiento	12mm

Nota fuente: (SKF, 2015, págs. 456,457)

Además de otras características enumeradas, además de su esquema se encuentra en el Apéndice 18 y en el Apéndice 19.

- **Rodamiento de rodillos cónicos**

El rodamiento cónico seleccionado posee las siguientes características principales:

Tabla 16.

Características principales del rodamiento de rodillos cónicos.

Diámetro interior	25mm
Diámetro exterior	47mm
Ancho rodamiento	12mm

Nota fuente: (SKF, 2015, pág. 540)

Las demás características se encuentran enumerada y mostrada en el Apéndice 20.

4.12. Realizar los análisis de elementos finitos correspondientes para el husillo y el cilindro de extrusión.

4.12.1. Husillo de extrusión.

Este elemento a nivel estático será solo sometido a la carga de la masa misma del husillo, ya que este es muy importante por la holgura que existe entre el Husillo y el cilindro; en cuanto a lo térmico este será sometido al calor que se transfiere a él desde el polímero fundido al Husillo estos en un estado transitorio.

Tabla 17.

Características del Material del husillo.

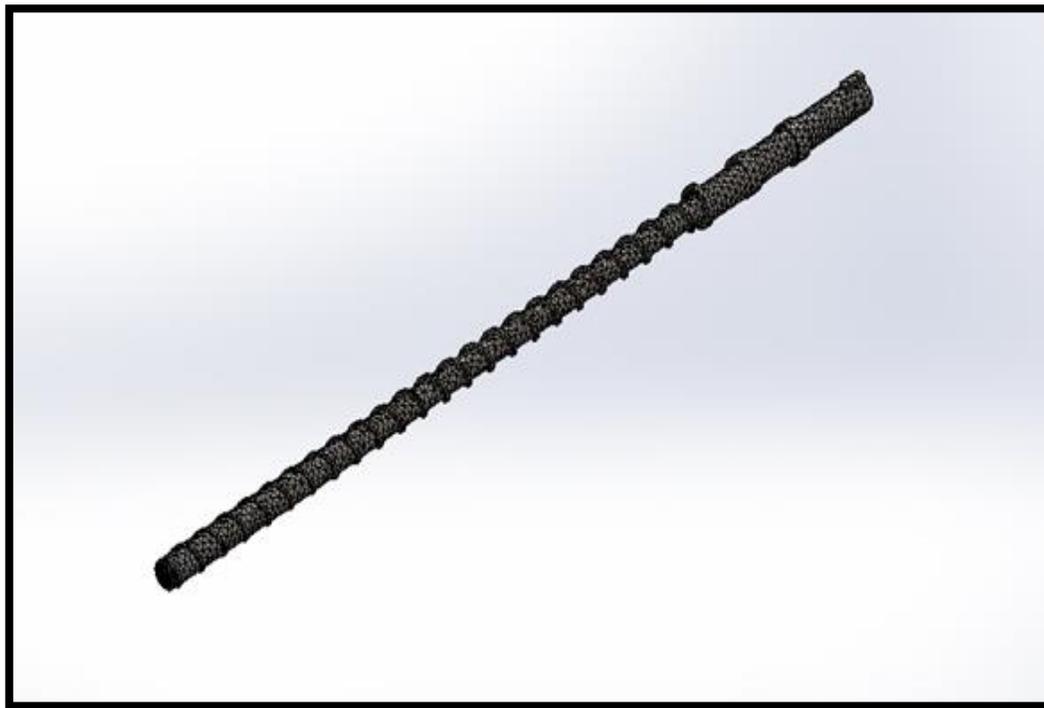
Nombre	Husillo de extrusion
Tipo de modelo	Isotrópico elástico lineal
Material	Acero AISI 4140
Peso	1,87 kg
Límite elástico	4.7e+008 N/m ²
Límite de tracción	7.45e+008 N/m ²
Módulo elástico	2.05e+011 N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.285
Densidad	7850 kg/m ³
Módulo cortante	8e+010 N/m ²
Coefficiente de dilatación térmica	1.23e-005 /Kelvin

Nota fuente: Autor del proyecto.

Tabla 18.*Características de la malla del husillo.*

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	6.73324 mm
Tolerancia	0.336662 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	24054
Número total de elementos	14146
Cociente máximo de aspecto	10.295
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	93.3
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.00707
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0

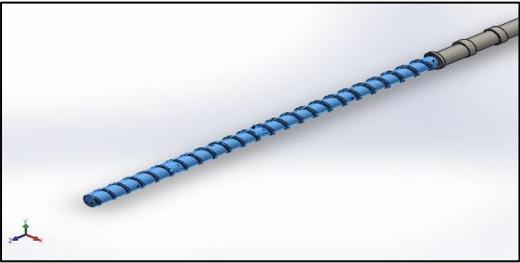
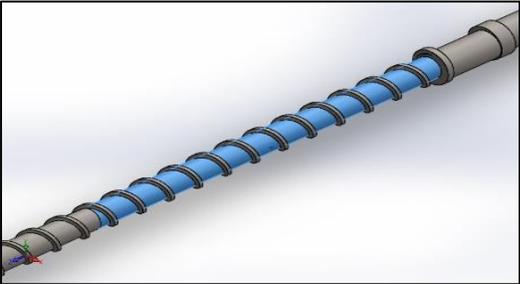
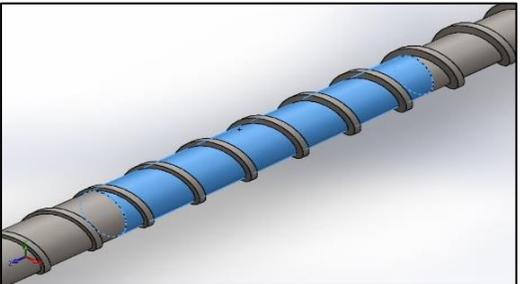
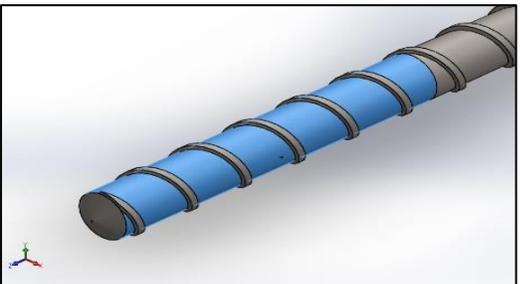
Nota fuente: Autor del proyecto.

**Figura 46.** Malla del husillo de extrusión.

Nota fuente: Autor del proyecto.

- **Cargas térmicas.**

Tabla 19.*Cargas térmicas aplicadas al husillo.*

Nombre de carga	Imagen
Temperatura inicial. T= 21°C	
Potencia calorífica 1. P= 1590 W	
Potencia calorífica 2 P= 1410 W	
Potencia calorífica 3 P= 1410 W	

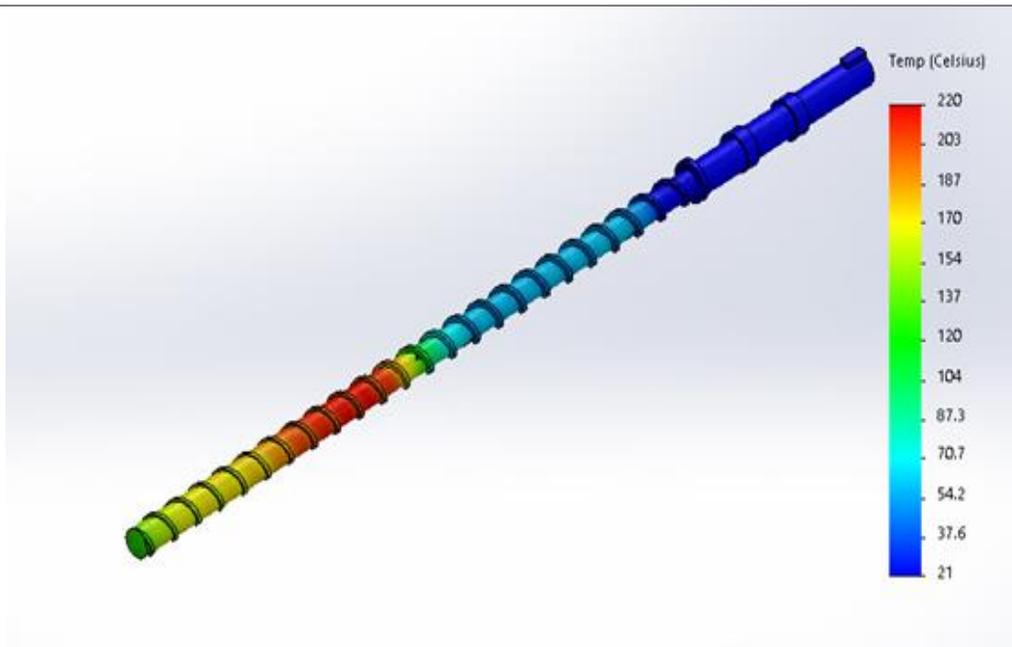
Nota fuente: Autor del proyecto.

- **Temperatura del tornillo en t=60 s.**

Tabla 20.

Resultado de la temperatura del husillo.

Nombre	Tipo	Maxima Temperatura
Husillo de extrusion	Temperatura en 60 S.	219.995 Celsius; Nodo: 1961



Nota fuente: Autor del proyecto.

Habiendo realizado la simulación nos percatamos que se cumple con lo previsto ya que la temperatura máxima registrada se da en el área esperada y con un valor cercano al esperado, ya que esa temperatura es cercana a los 180 ° C que es donde el polietileno se funde, además en el área en que se presenta es el área indicada, ya que la temperatura debe tener un comportamiento de joroba a lo largo del tornillo en la extrusora.

- Cargas estáticas.

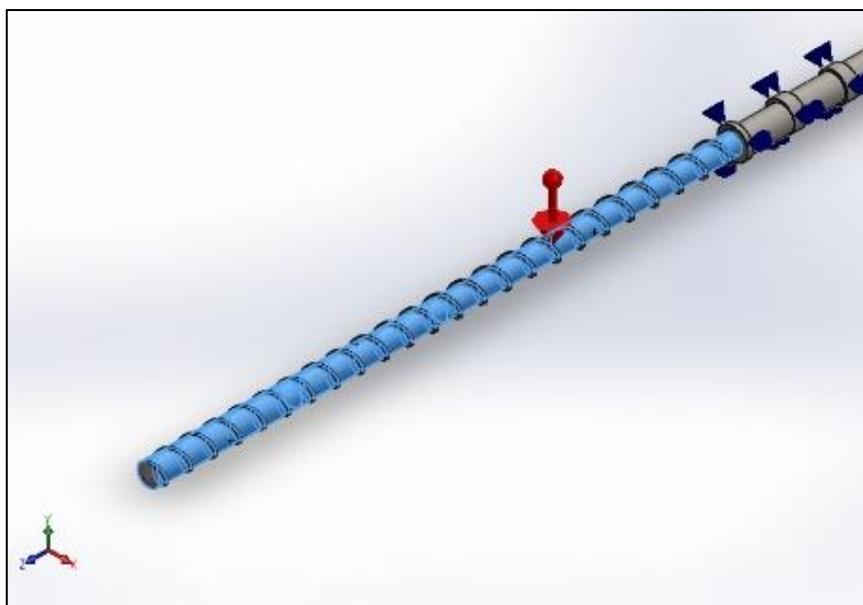


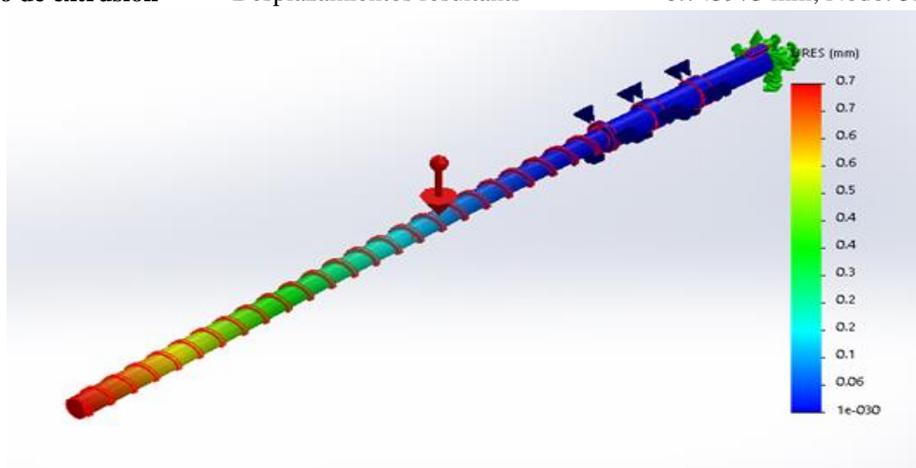
Figura 47. Cargas estáticas en el husillo de extrusión.

Nota fuente: Autor del proyecto.

Tabla 21.

Resultado del desplazamiento del husillo.

Nombre	Tipo	Máx.
Husillo de extrusion	Desplazamientos resultants	0.743973 mm; Nodo: 52



Nota fuente: Autor del proyecto.

Como a manera de conclusión la presente simulación se ajusta a lo esperado ya que la deformación no alcanza si quiera el milímetro, por lo que, con ayuda de los rodamientos y la rotación del husillo, esta se reducirá y se ajustara a la holgura existente entre el husillo y cilindro de extrusión, y hace que el diseño se optimo. Además, el fluido entre los dos elementos actuara como barrera entre ambos componentes.

4.12.2. Cilindro de extrusión.

Este elemento a nivel estático será solo sometido a la presión que se ejerce desde dentro del cilindro a causas del alza de la temperatura y la compresión del fluido, ya que con este se sabrá si se selección el espesor de cilindro adecuado; en cuanto a lo térmico este será sometido al calor que se transfiere a él desde las resistencias calefactora directamente y el calor que se transfieres del aire que se circula para ventila el aire caliente todo esto en un estado transitorio.

Tabla 22.

Características del material del cilindro de extrusión.

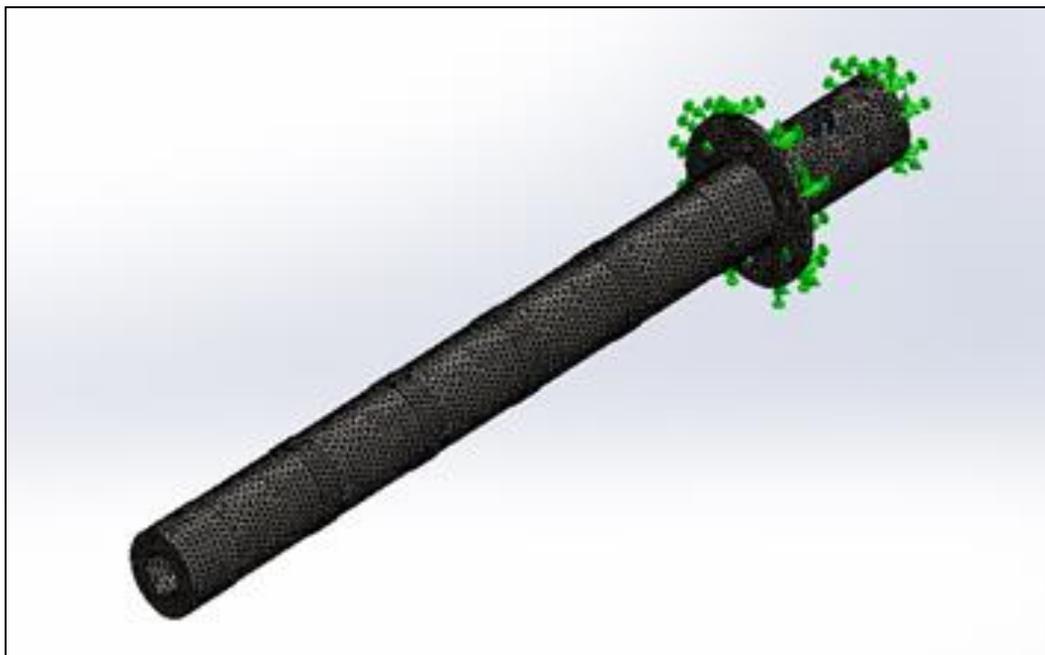
Nombre:	Cilindro de extrusión
Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado:	Tensión de von Mises máx.
Límite elástico:	3.51571e+008 N/m ²
Límite de tracción:	4.20507e+008 N/m ²
Módulo elástico:	2e+011 N/m ²
Coefficiente de Poisson:	0.29
Densidad:	7900 kg/m ³
Módulo cortante:	7.7e+010 N/m ²
Coefficiente de dilatación térmica:	1.5e-005 /Kelvin

Nota fuente: Autor del proyecto.

Tabla 23.*Características de la malla del cilindro.*

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	19.3752 mm
Tolerancia	3.87503 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	124043
Número total de elementos	79612
Cociente máximo de aspecto	10.093
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98.1
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.00251
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0

Nota fuente: Autor del proyecto.

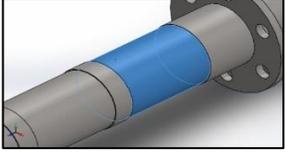
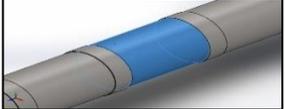
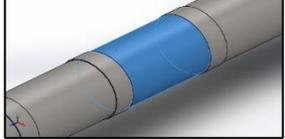
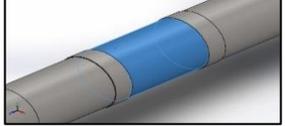
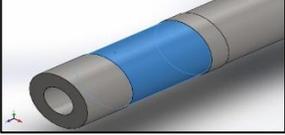
**Figura 48.** Malla del cilindro de extrusión.

Nota fuente: Autor del proyecto.

- Cargas térmicas.

Tabla 24.

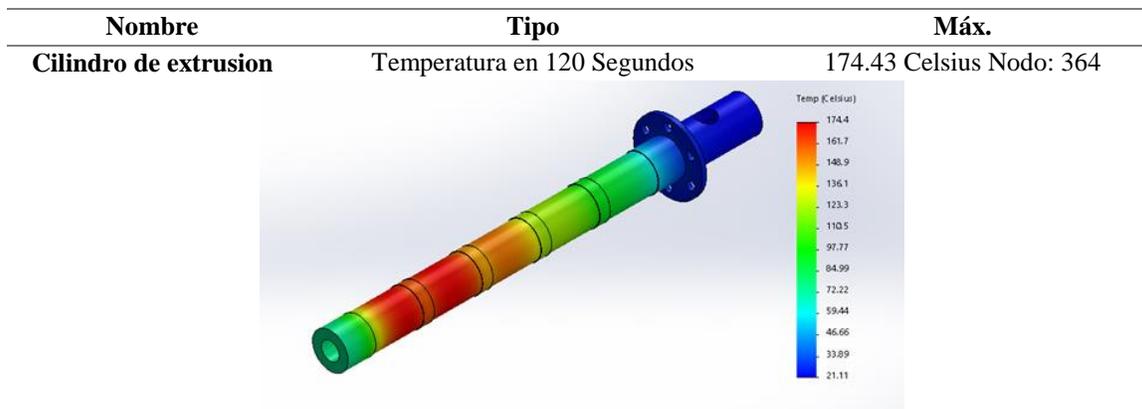
Cargas térmicas en el cilindro de extrusión.

Nombre de carga	Imagen
Temperatura inicial 21 °C	
Potencia calorífica P= 229,22 W	
Potencia calorífica P= 327, 76 W	
Potencia calorífica P= 451.34 W	
Potencia calorífica P= 513.76 W	
Potencia calorífica P = 565.54 W	
Convección Coefficiente de convección: 20 W/(m ² .K) Temperatura ambiente: 287.15 Kelvin	

Nota fuente: Autor del proyecto.

Tabla 25.

Resultado de la temperatura del cilindro de extrusión.



Nota fuente: Autor del proyecto.

Como se puede notar el cilindro de extrusión tiene el mismo comportamiento del husillo y se ajusta también a comportamiento en forma de joroba o campana de gauss característico de estas máquinas de termo moldeo, y además la temperatura es cercana a la temperatura de calentamiento del polímero, es un poco menor a causa del aire que circula alrededor del cilindro.

- **Cargas estáticas.**

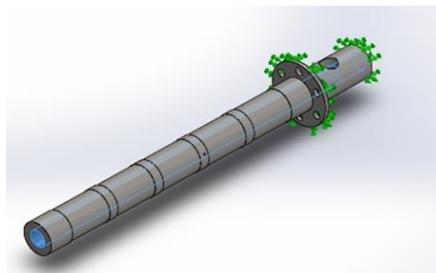


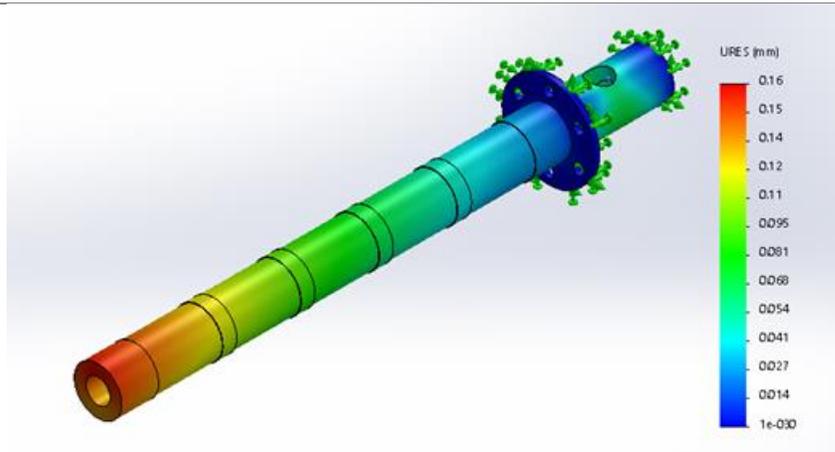
Figura 49. Presión en el cilindro de extrusión.

Nota fuente: Autor del proyecto.

Tabla 26.

Resultado del desplazamiento en el cilindro de extrusión.

Nombre	Tipo	Máx.
Cilindro de extrusion	Desplazamientos resultantes	0.162772 mm; Nodo: 17817



Nota fuente: Autor del proyecto.

En la simulación se confirmó algo que se había hablado en el momento de hallar la presión máxima, y es que esta se presenta en la punta del cilindro de extrusión, ya que es donde el polímero se comprime y la temperatura promedio de esa última sección es más elevado que las otras, y la deformación que se presente es apenas medible alrededor de 1/10 de un milímetro lo cual hace concluir que el material y el espesor seleccionado para el cilindro de extrusión fue el adecuado y perfecto.

4.13. Generar los planos de las piezas de la máquina extrusora.

4.13.1. Apariencia y vista técnica de la máquina extrusora.

4.13.1.1. Apariencia de la máquina extrusora.

A continuación, se muestra una imagen renderizada de lo que podría llegar a ser la maquina en cuanto a la apariencia visual.



Figura 50. Render de la máquina extrusora de plástico.

Nota fuente: Autor del proyecto.

4.13.1.2. Vista técnica de la máquina extrusora.

En la siguiente vista técnica se muestra una visión más detallada de lo que conforma la máquina en cuestión y muestra la distribución de la pieza sobre la misma.

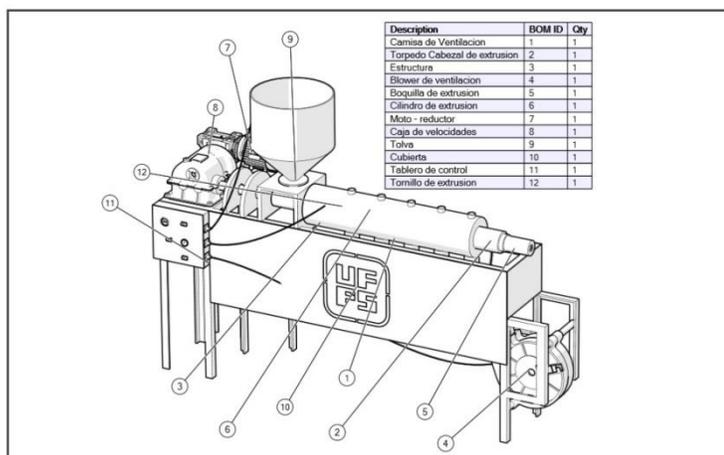


Figura 51. Vista técnica de la máquina extrusora de plástico con sus partes.

Nota fuente: Autor del proyecto.

A continuación, se muestra también parte del dimensionamiento de la máquina ya ensamblada lo que ayuda al momento de seleccionar el lugar de instalación de la misma.

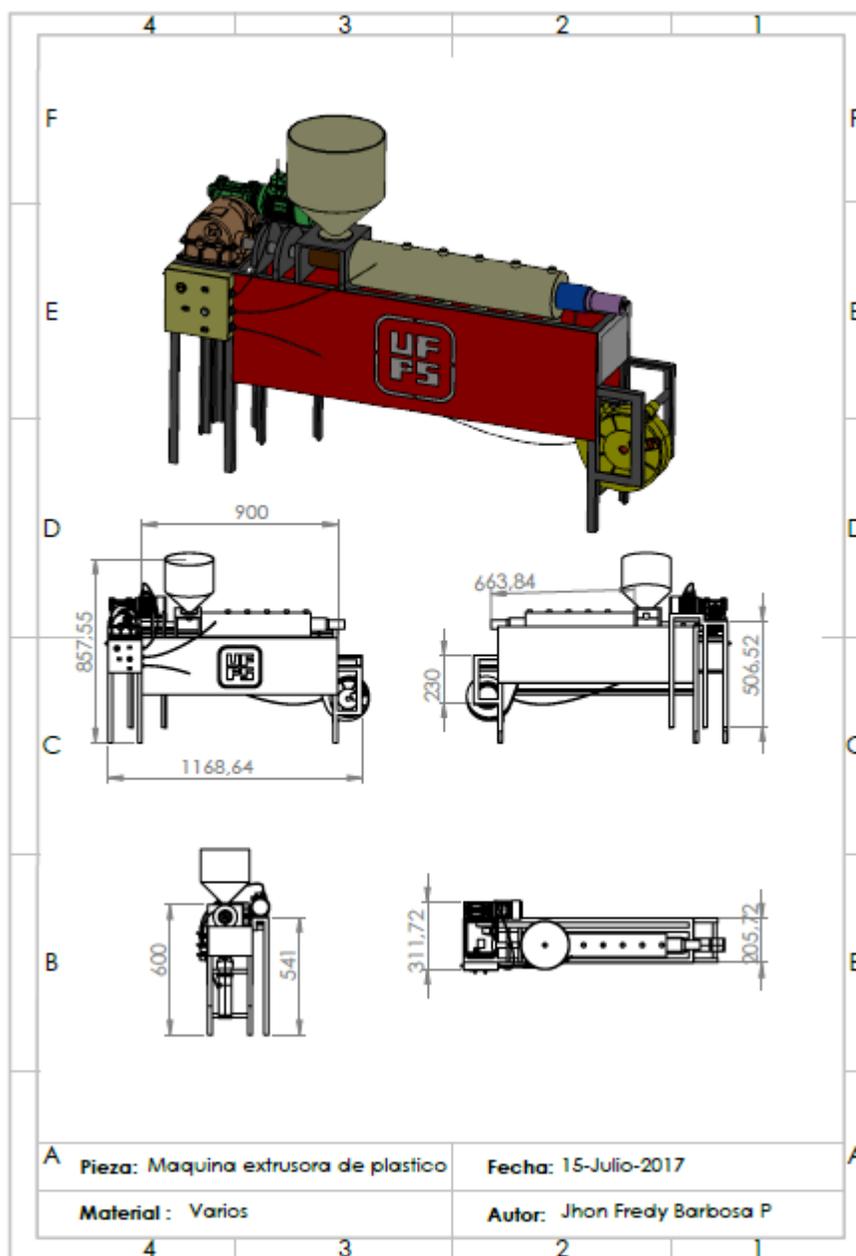


Figura 52. Plano general de la máquina extrusora de plástico.

Nota fuente: Autor del proyecto.

4.13.2. Partes de la máquina.

A continuación, se muestran los planos de las piezas que se deben fabricar, en lo plano siguientes no están las partes de la máquina que se pueden adquirir comercialmente, solo a las que se les debe realizar algún proceso de manufactura. Las medidas se encuentran en milímetros en todas las piezas.

4.13.1.1. Tolva.

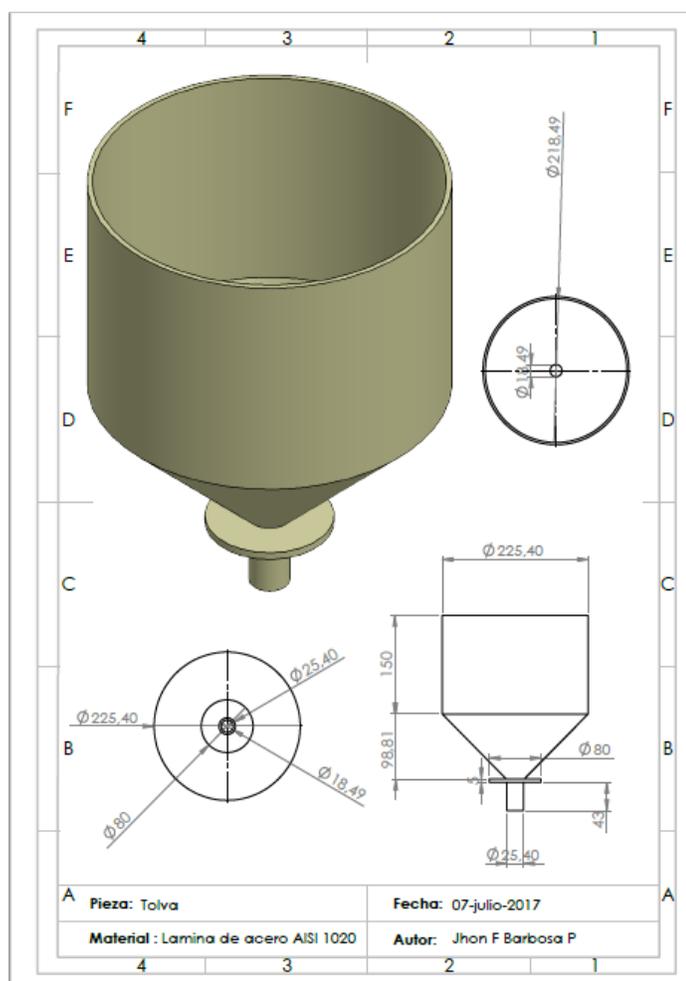


Figura 53. Plano de la tolva

Nota fuente: Autor del proyecto.

4.13.1.2. Husillo de extrusión.

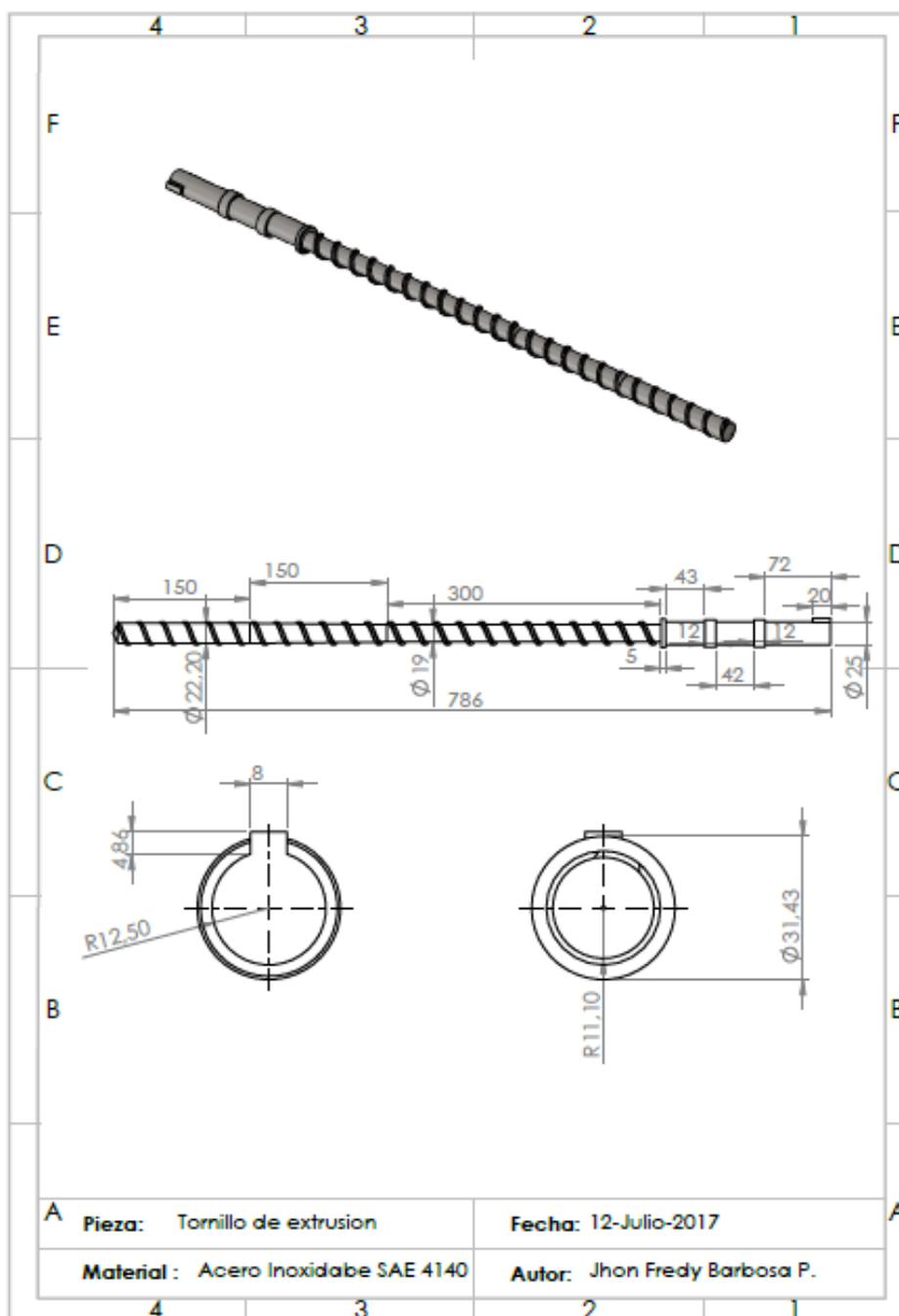


Figura 54. Plano del husillo de extrusión.

Nota fuente: Autor del proyecto.

4.13.1.3. Cilindro de extrusión

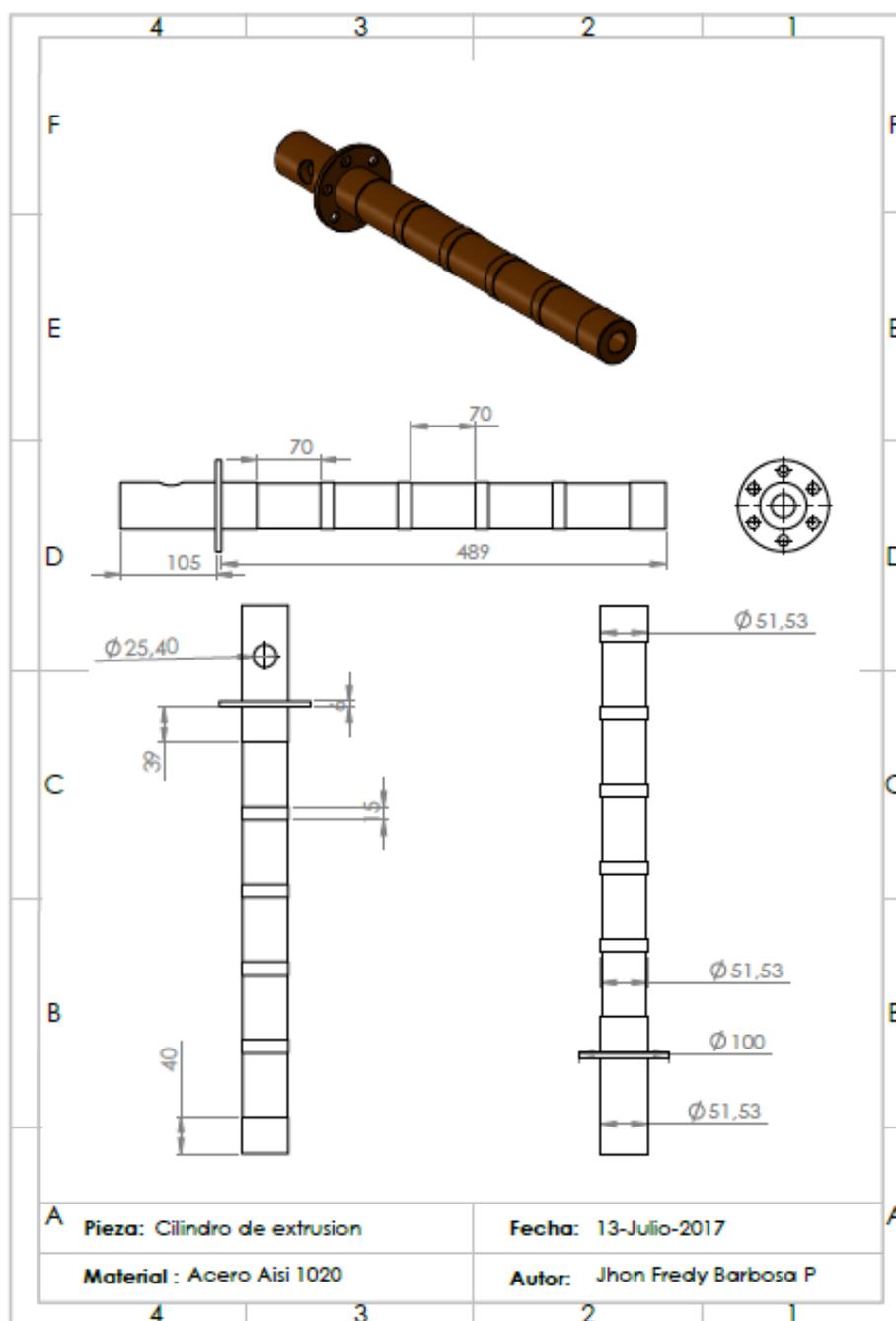


Figura 55. Plano del cilindro de extrusión.

Nota fuente: Autor del proyecto.

4.13.1.4. Camisa de ventilación.

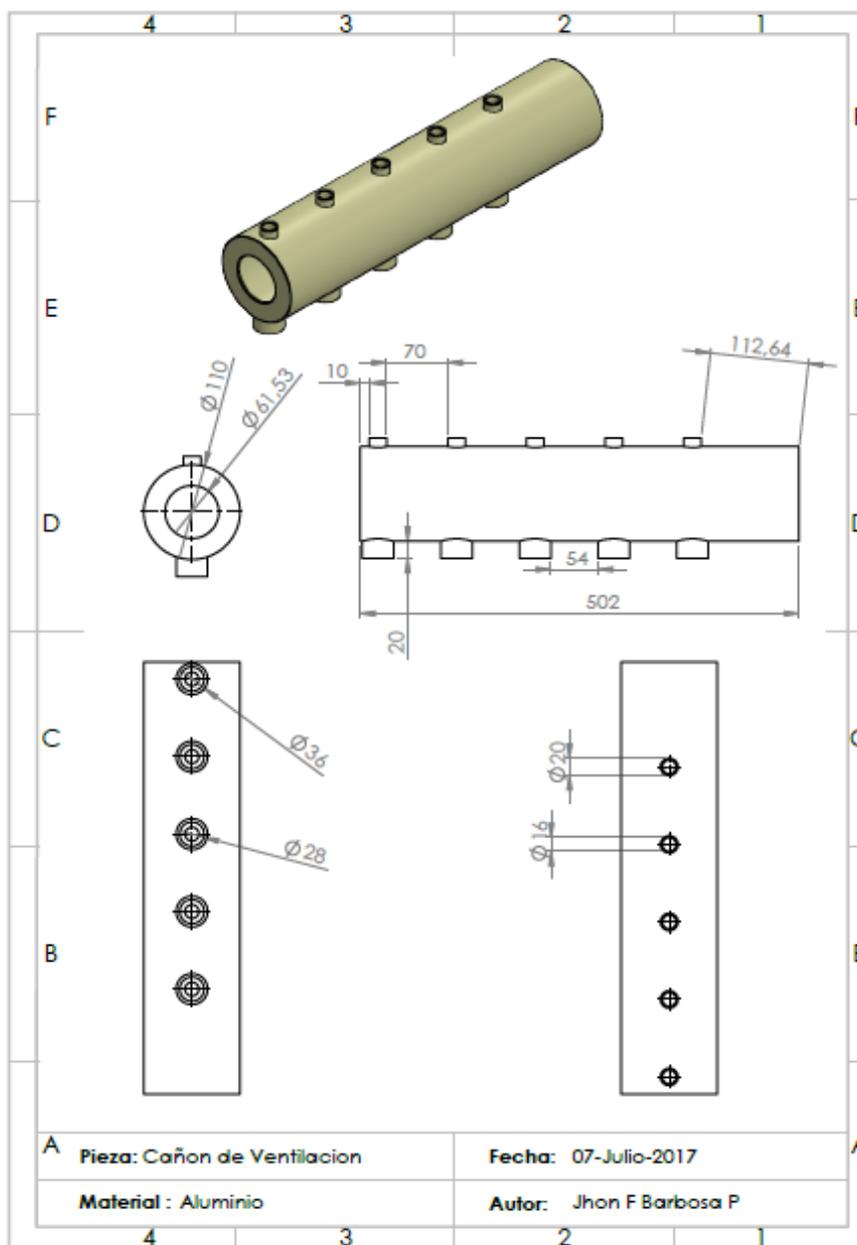


Figura 56. Plano de la camisa de ventilación.

Nota fuente: Autor del proyecto.

4.13.1.5. Cabezal de extrusión.

- **Cuerpo del cabezal**

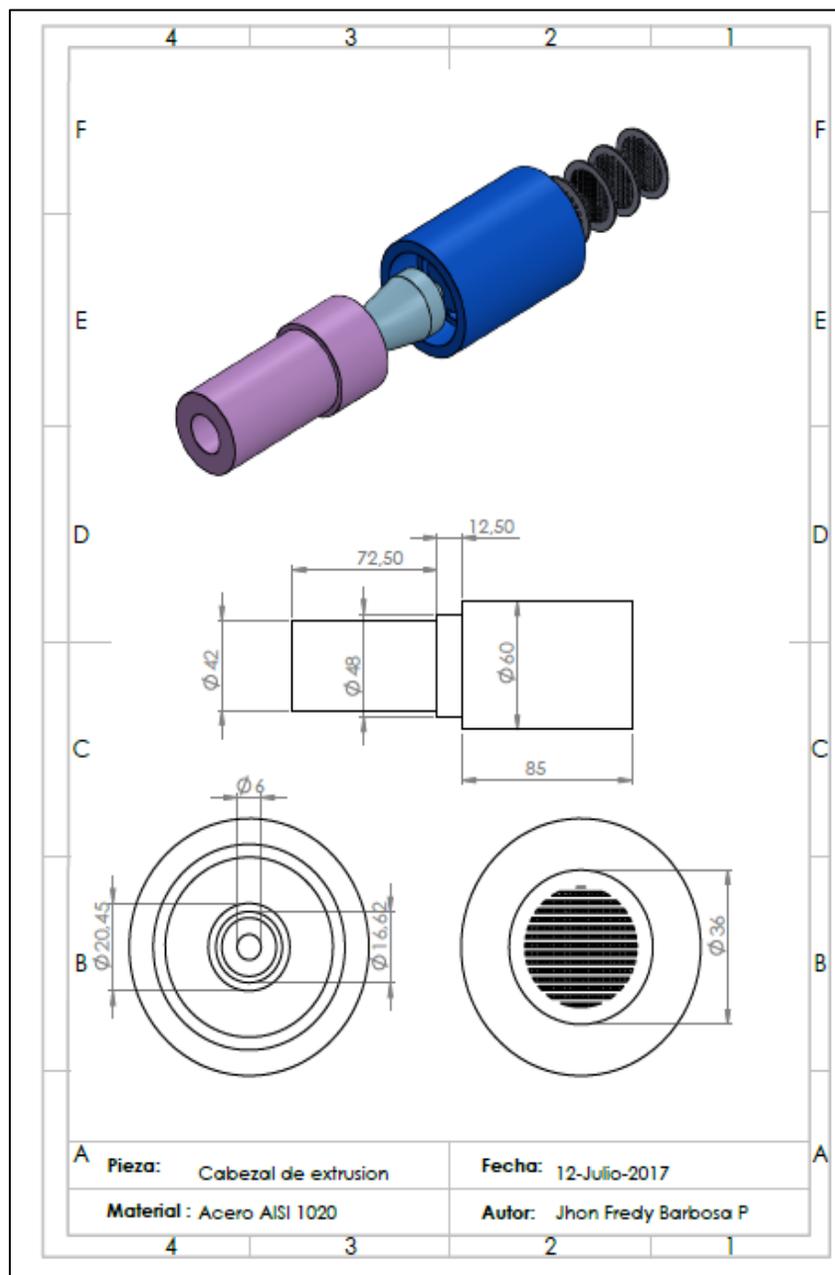


Figura 57. Plano del cabezal de extrusión.

Nota fuente: Autor del proyecto.

- Torpedo

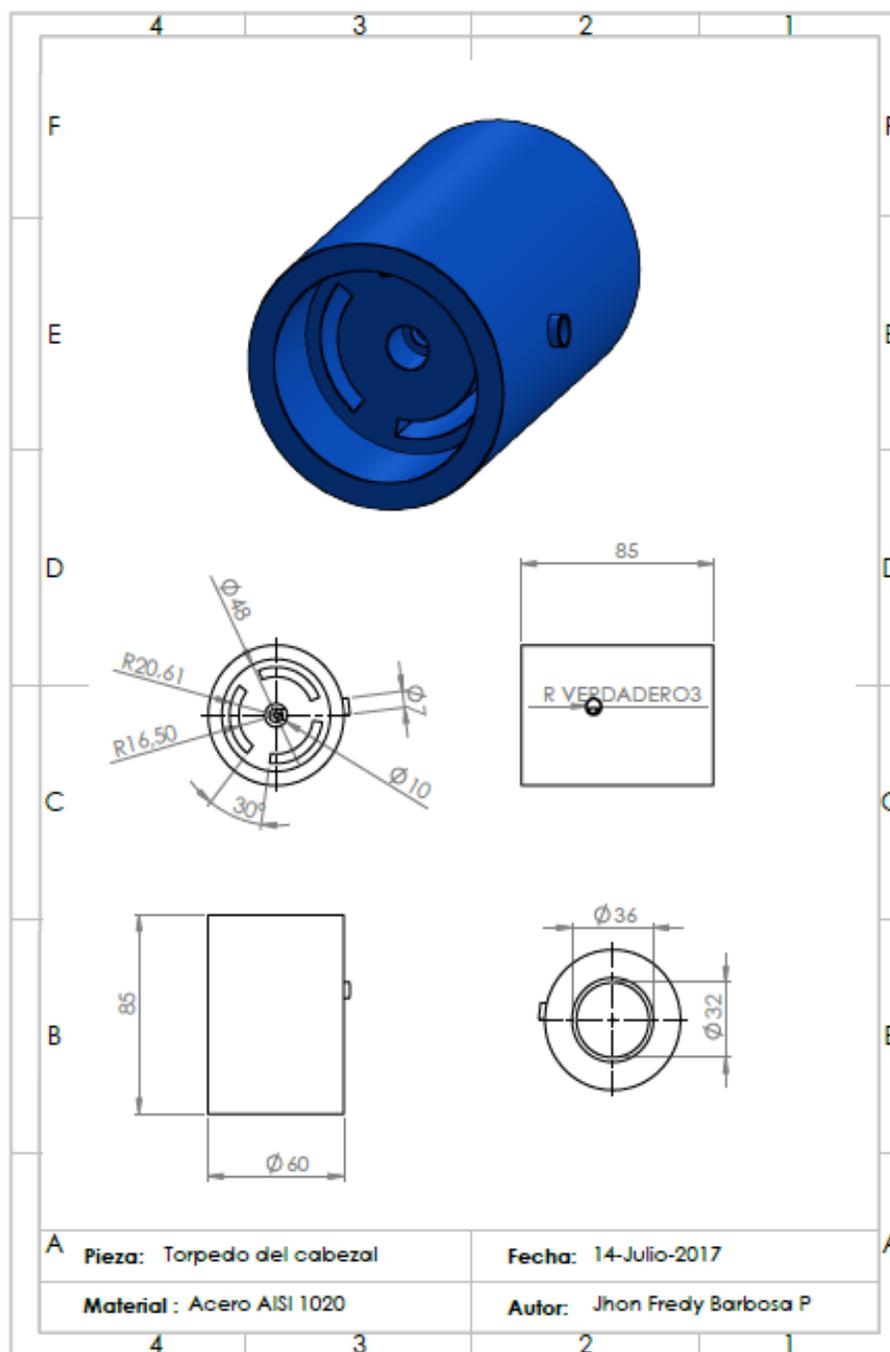


Figura 58. Plano del torpedo del cabezal de extrusión.

Nota fuente: Autor del proyecto.

- Boquilla-1.

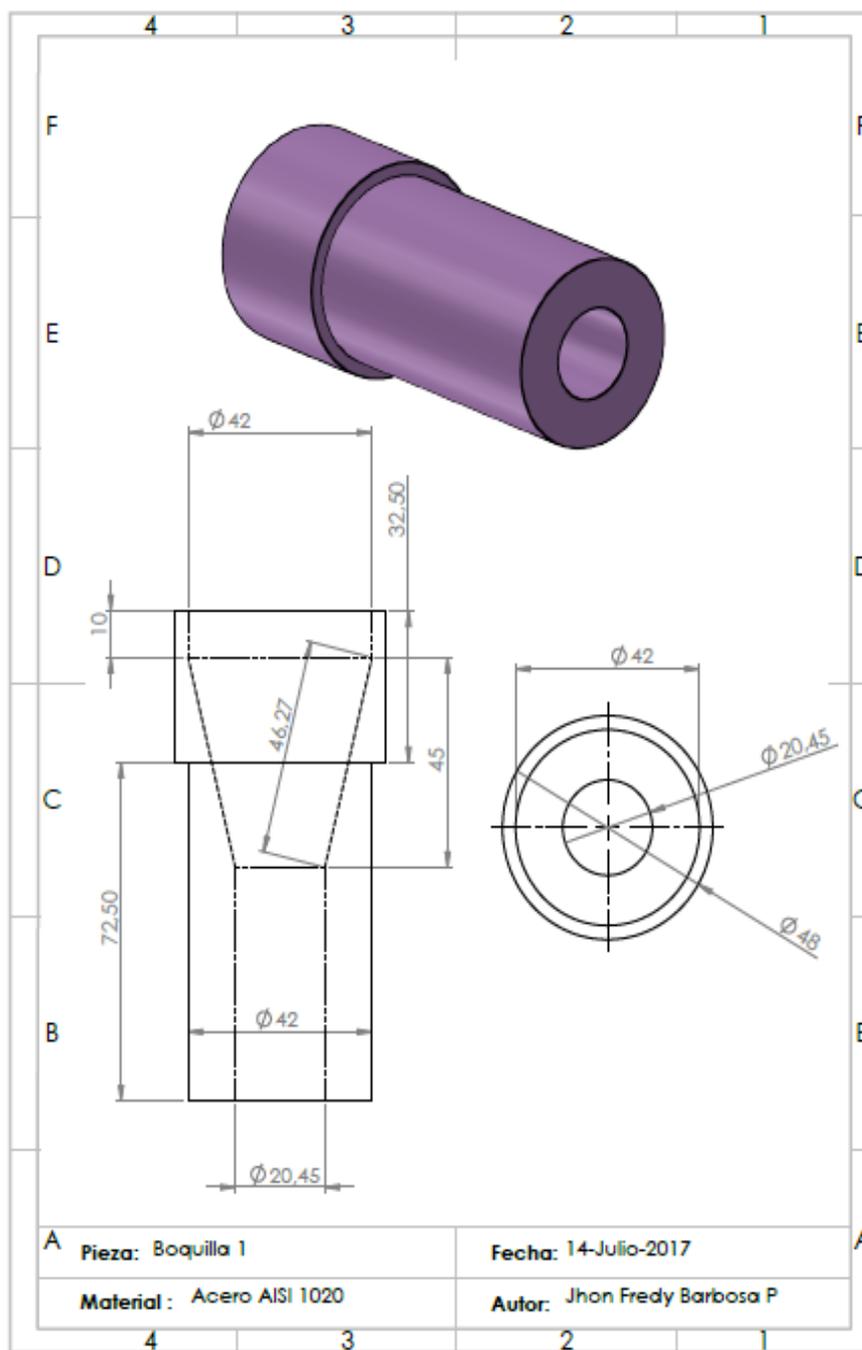


Figura 59. Plano de la parte 1 de la boquilla de extrusión.

Nota fuente: Autor del proyecto.

- **Boquilla-2.**

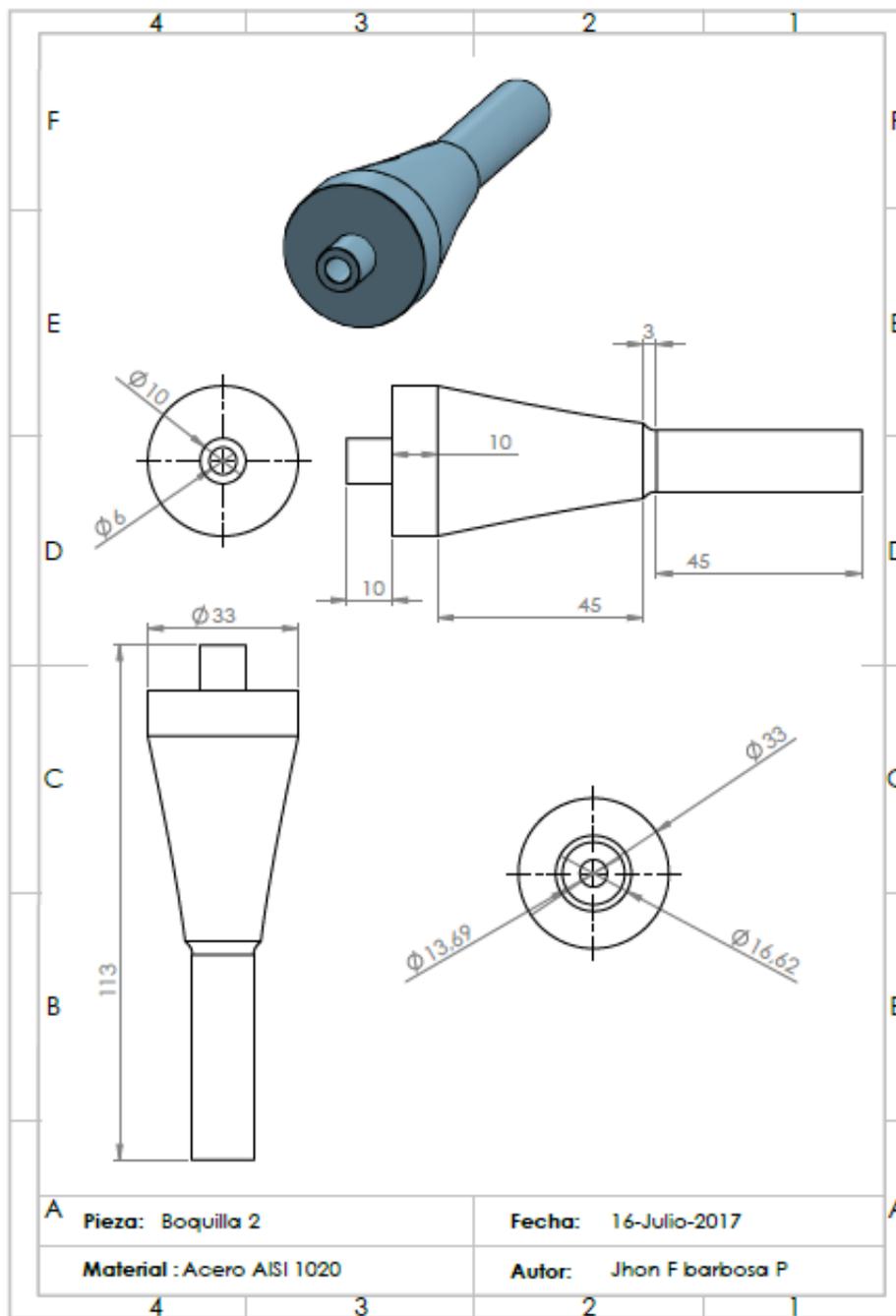


Figura 60. Plano de parte 2 de la boquilla de extrusión.

Nota fuente: Autor del proyecto.

4.13.1.6. Estructura de soporte.

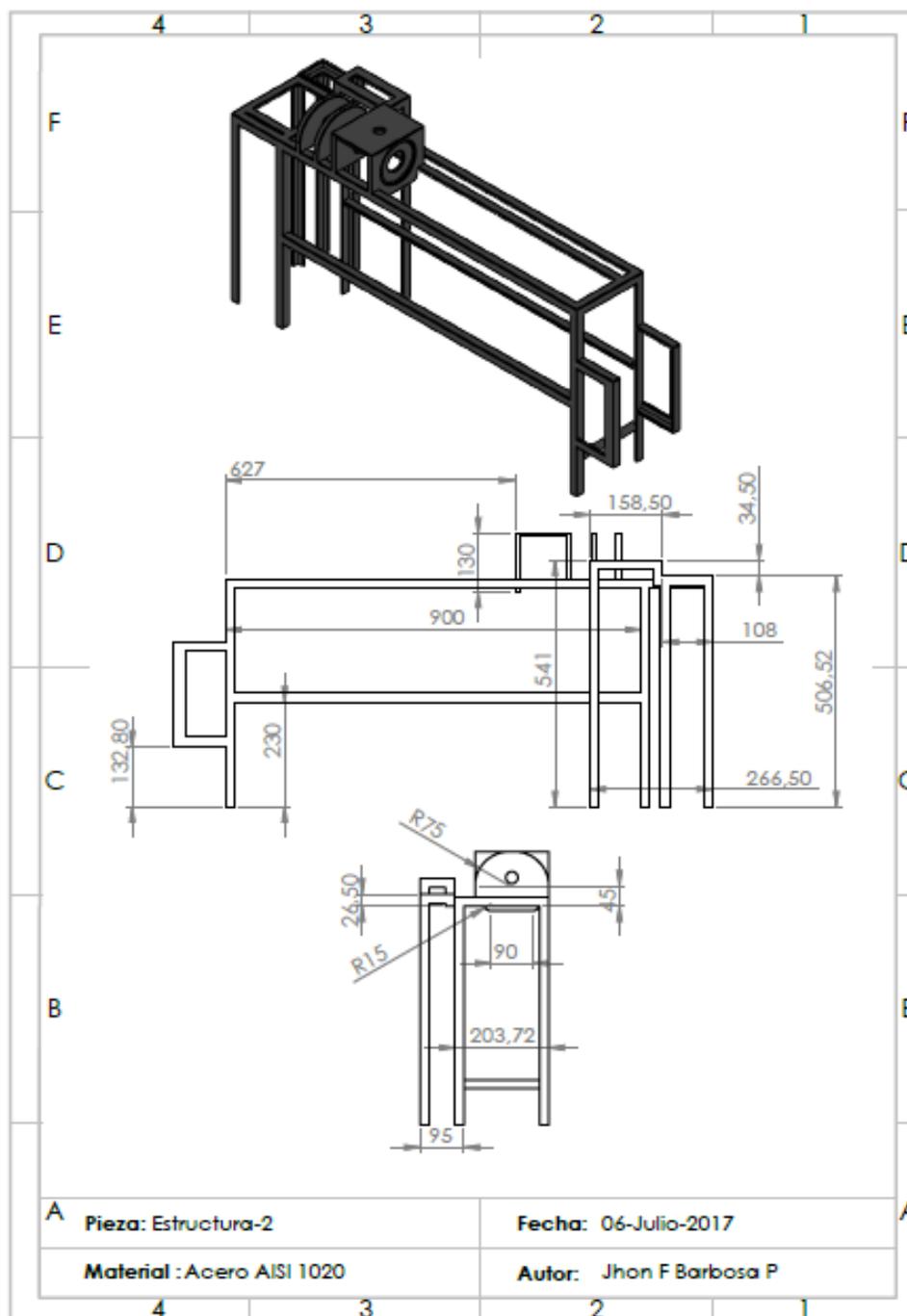


Figura 61. Plano 1 de la estructura de la máquina extrusora.

Nota fuente: Autor del proyecto.

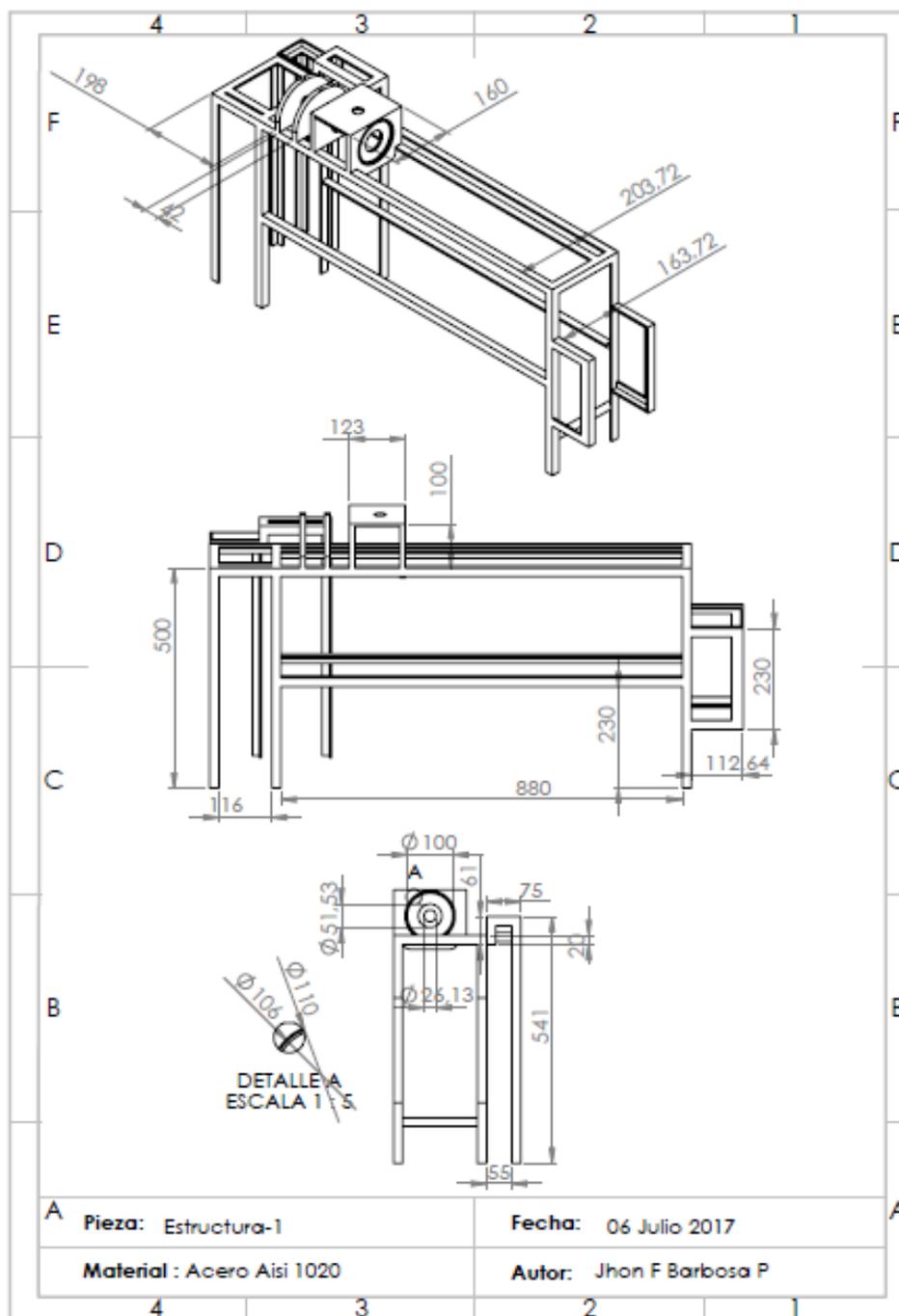


Figura 62. Plano 2 de la estructura de la máquina extrusora

Nota fuente: Autor del proyecto.

4.14. Determinar el presupuesto para la construcción de la máquina.

4.14.1. Gastos de ejecución del proyecto.

Para realizar el cálculo de los gastos de ejecución del proyecto, se deben tener en cuenta que esto incluirán lo pertinente a materiales y mano de obra para el proceso mismo de construcción de la máquina, es de recalcar que en este ítem no se tendrá en cuenta los gastos de instalación y operación de la máquina, que serán analizados más adelante en el ítem de flujos.

En cuanto en lo que se refiere a este aparte, con el ánimo de lograr una evaluación más seria y objetiva, cada pieza o material se sometió a una cotización en al menos dos lugares diferentes, para mediante un medio matemática determinar la opción más favorable al proyecto. Además, se dio prioridad cuando fue posible a los productos que se pueden conseguir en la ciudad de Ocaña para evitar sobrecostos por concepto de transporte de los materiales, aunque para ciertos materiales o piezas de la máquina, se debió indagar o consultar cotizaciones en ciudades diferentes a Ocaña (Sanchez & Ospina, 2017, págs. 136-138).

Tabla 27.

Cotizaciones de los materiales de la extrusora.

Material	Cotizacion 1	Cotizacion 2	Cotizacion 3
Barra de acero 4140 1 metro	\$ 60.000	\$ 75.000	\$ 50.000
Eje perforado de acero AISI 1020 (80 cm)	\$ 120.000	\$ 135.000	\$ 127.000
Lamina de acero ASTM A924 calibre 6 (1mx1m)	\$ 12.000	\$ 15.000	\$ 13.000
Platina acero 1020 espesor 8 mm (40x40)	\$ 20.000	\$ 32.000	\$ 25.000
Filtros Mesh (80x80) (100x100) y (120x120)	\$ 5.820	\$ 6.456	\$ 5.469
Barra de acero 1020 40 cm Di= 2 "	\$ 40.000	\$ 35.000	\$ 41.000
Resistencias eléctricas 500 W a 1400 W	\$ 64.000	\$ 72.000	\$ 68.700
Termocuplas tipo J (0-400 grados centígrados)	\$ 29.900	\$ 34.999	\$ 30.000
Caja de cambio usada 4 velocidades	\$ 50.000	\$ 58.000	\$ 45.000
Motor 1140 rpm 3 hp 220 v	\$ 450.000	\$ 520.000	\$ 500.000
Motor-reductor 4 hp 350 rpm 220 v	\$ 1.115.000	\$ 1.300.000	\$ 1.235.000
Kit de transmisión por cadena N° 40	\$ 66.000	\$ 80.000	\$ 78.500
Rodamientos de bolas	\$ 5.700	\$ 7.000	\$ 6.000
Ventilador soplador o Blower	\$ 180.000	\$ 196.000	\$ 187.000
Cables	\$ 20.000	\$ 30.770	\$ 26.000
Protecciones eléctricas	\$ 33.999	\$ 45.843	\$ 42.403
Ductos de aluminio 3 metros 1,5"	\$ 36.700	\$ 45.765	\$ 40.000
Pirómetro análogo con control de temperatura	\$ 108.000	\$ 123.438	\$ 120.000
Ángulos de acero AISI 1020 x 6m	\$ 46.789	\$ 52.087	\$ 51.000
Bridas de acople	\$ 14.000	\$ 17.000	\$ 15.000
Husillos y pernos	\$ 47.999	\$ 55.489	\$ 50.000
Nitrurado cara interna cilindro	\$ 18.000	\$ 21.000	\$ 20.560
Mano de obra soldadura	\$ 198.000	\$ 220.000	\$ 200.000
Maquinado del husillo	\$ 315.643	\$ 339.700	\$ 320.000
Maquinado del cabezal	\$ 105.000	\$ 130.000	\$ 115.000
Opción 1			
Opción 2			

Nota fuente: Autor del proyecto.

Para desarrollar el presupuesto correctamente se debe realizar una estimación de costos para cada material seleccionado de acuerdo a las cotizaciones realizadas en el mercado y estimar un costo para cada uno de ellos y realizar el estudio de factibilidad correspondiente (Sanchez & Ospina, 2017, págs. 136-138).

Estimación de costos.

A continuación, se realizará el cálculo de uno de los materiales seleccionados (Sanchez & Ospina, 2017, págs. 136-138), los otros se tabularán de a continuación:

$$\text{Costo estimado} = \frac{Cm + 4Cme + CM}{6}$$

Donde:

Cm = El costo menor en la cotizaciones o el denominado costo optimo.

Cme = El costo intermedio de las cotizaciones

CM = El costo mayor, el que puede ofrecer mejores rendimientos.

- Para la barra de acero 4140 (1 metro)

$$\text{Costo estimado} = \frac{Cm + 4Cme + CM}{6}$$

Donde:

$$Cm = 50000$$

$$Cme = 60000$$

$$CM = 75000$$

$$\text{Costo estimado} = \frac{50000 + 4(60000) + 75000}{6}$$

Costo estimado = 60833 Cop.

Tabla 28.

Estimacion de costo óptima para cada material.

Material	Estimacion de costo
Barra de acero 4140 1 metro	\$ 60.833
Eje perforado de acero AISI 1020 (80 cm)	\$ 127.167
Lamina de acero ASTM A924 calibre 6 (1mx1m)	\$ 13.167
Platina acero 1020 espesor 8 mm (40x40)	\$ 25.333
Filtros Mesh (80x80) (100x100) y (120x120)	\$ 5.868
Barra de acero 1020 40 cm Di= 2 "	\$ 39.333
Resistencias eléctricas 500 W a 1400 W	\$ 68.467
Termocuplas tipo J (0-400 grados centígrados)	\$ 30.817
Caja de cambio usada 4 velocidades	\$ 48.000
Motor 1140 rpm 3 hp 220 v	\$ 495.000
Moto-reductor 4 hp 350 rpm 220 v	\$ 1.225.833
Kit de transmisión por cadena N° 40	\$ 76.667
Rodamientos de bolas	\$ 6.117
Ventilador soplador o Blower	\$ 187.333
Cables	\$ 25.795
Protecciones eléctricas	\$ 41.576
Ductos de aluminio 3 metros 1,5"	\$ 40.411
Pirómetro análogo con control de temperatura	\$ 118.573
Ángulos de acero AISI 1020 x 6m	\$ 50.479
Bridas de acople	\$ 15.167
Husillos y pernos	\$ 50.581
Nitrurado cara interna cilindro	\$ 20.207
Mano de obra soldadura	\$ 203.000
Maquinado del husillo	\$ 322.557
Maquinado del cabezal	\$ 115.833
Opción 1	
Opción 2	

Nota fuente: Autor del proyecto.

Presupuesto.

Para realizar el presupuesto definitivo, se analizarán las dos opciones por separado, para ofrecer al interesado dos alternativas con sus pros y contras.

Opción 1

En esta opción se selección un motor sin reducción de 3 hp y un sistema de transmisión por cadena acoplado a la caja de velocidades.

Tabla 29.

Presupuesto para la opción 1

Opción 1				
Descripción	Pieza	Cant	Vlr Unitario	Vlr total
Barra de acero 4140 1 metro	Husillo	1	\$ 60.833	\$ 60.833
Eje perforado de acero AISI 1020 (80 cm)	Cilindro de extrusión	1	\$ 127.167	\$ 127.167
Lamina de acero ASTM A924 calibre 6 (1mx1m)	Tolva	1	\$ 13.167	\$ 13.167
Platina acero 1020 espesor 8 mm (40x40)	Plato rompedor y Estructura	1	\$ 25.333	\$ 25.333
Filtros Mesh (80x80) (100x100) y (120x120)	Cabezal de extrusión	12	\$ 5.868	\$ 70.410
Barra de acero 1020 40 cm Di= 2 "	Cabezal de extrusión	1	\$ 39.333	\$ 39.333
Resistencias eléctricas 500 W a 1400 W	Cilindro de extrusión	5	\$ 68.467	\$ 342.333
Termocuplas tipo J (0-400 grados)	Sistema de control	5	\$ 30.817	\$ 154.083
Caja de cambio usada 4 velocidades	Sistema de transmisión	1	\$ 48.000	\$ 48.000
Motor 1140 rpm 3 hp 220 v	Sistema de potencia	1	\$ 495.000	\$ 495.000
Kit de transmisión por cadena N° 40	Sistema de transmisión	1	\$ 76.667	\$ 76.667
Rodamientos de bolas	Husillo	3	\$ 6.117	\$ 18.350
Ventilador soplador o Blower	Sistema de ventilación	1	\$ 187.333	\$ 187.333
Cables x 6 metros	Sistema eléctrico	1	\$ 25.795	\$ 25.795
Protecciones electricas	Sistema eléctrico	3	\$ 41.576	\$ 124.727
Ductos de aluminio 3 metros 1,5"	Sistema de ventilación	1	\$ 40.411	\$ 40.411
Pirómetro análogo y control de temperatura	Sistema de control	1	\$ 118.573	\$ 118.573
Angulos de acero AISI 1020 x 6m	Estructura	2	\$ 50.479	\$ 100.958
Bridas de acople	Cilindro de extrusion	2	\$ 15.167	\$ 30.334
Husillos y pernos	Elementos de sujeción	1	\$ 50.581	\$ 50.581
Nitrurado cara interna cilindro	Cilindro de extrusion	1	\$ 20.207	\$ 20.207
Mano de obra soldadura	Tolva, Estructura	1	\$ 203.000	\$ 203.000
Maquinado del husillo	Husillo	1	\$ 322.557	\$ 322.557
Maquinado del cabezal	Cabezal de extrusion	1	\$ 115.833	\$ 115.833
Costo del diseño	-	-	\$ 300.000	\$ 300.000
Total costos directo del proyecto				\$ 3.110.985
Costos indirectos				
Imprevistos (7%)				\$ 217.769
Costo total del proyecto				\$ 3.328.754

Nota fuente: Autor del proyecto.

Opción 2

En esta opción se selección un moto-reductor de 4 hp y un sistema acoplado a la caja de velocidades.

Tabla 30.

Presupuesto para la opción 2.

Opción 2					
Descripcion	Pieza	Cant	Vlr Unitario	Vlr total	
Barra de acero 4140 1 metro	Husillo	1	\$ 60.833	\$ 60.833	
Eje perforado de acero AISI 1020 (80 cm)	Cilindro de extrusion	1	\$ 127.167	\$ 127.167	
Lamina de acero ASTM A924 calibre 6 (1mx1m)	Tolva	1	\$ 13.167	\$ 13.167	
Platina acero 1020 espesor 8 mm (40x40)	Plato rompedor y Estructura	1	\$ 25.333	\$ 25.333	
Filtros Mesh (80x80) (100x100) y (120x120)	Cabezal de extrusión	12	\$ 5.868	\$ 70.410	
Barra de acero 1020 40 cm Di= 2 "	Cabezal de extrusión	1	\$ 39.333	\$ 39.333	
Resistencias electricas 500 W a 1400 W	Cilindro de extrusión	5	\$ 68.467	\$ 342.333	
Termocuplas tipo J (0-400 grados centígrados)	Sistema de control	5	\$ 30.817	\$ 154.083	
Caja de cambio usada 4 velocidades	Sistema de transmisión	1	\$ 48.000	\$ 48.000	
Moto reductor 4 hp 350 rpm 220 v	Sistema de potencia	1	\$ 1.225.833	\$ 1.225.833	
Rodamientos de bolas	Husillo	3	\$ 6.117	\$ 18.350	
Ventilador soplador o Blower	Sistema de ventilación	1	\$ 187.333	\$ 187.333	
Cables x 6 metros	Sistema eléctrico	1	\$ 25.795	\$ 25.795	
Protecciones electricas	Sistema eléctrico	3	\$ 41.576	\$ 124.727	
Ductos de aluminio 3 metros 1,5"	Sistema de ventilación	1	\$ 40.411	\$ 40.411	
Pirómetro análogo con control de temperatura	Sistema de control	1	\$ 118.573	\$ 118.573	
Angulos de acero AISI 1020 x 6m	Estructura	2	\$ 50.479	\$ 100.958	
Bridas de acople	Cilindro de extrusion	2	\$ 15.167	\$ 30.334	
Husillos y pernos	Elementos de sujeción	1	\$ 50.581	\$ 50.581	
Nitrurado cara interna cilindro	Cilindro de extrusion	1	\$ 20.207	\$ 20.207	
Mano de obra soldadura	Tolva, Estructura	1	\$ 203.000	\$ 203.000	
Maquinado del husillo	Husillo	1	\$ 322.557	\$ 322.557	
Maquinado del cabezal	Cabezal de extrusion	1	\$ 115.833	\$ 115.833	
Costo del diseño	-	-	\$ 300.000	\$ 300.000	
Total costos directo del proyecto				\$ 3.765.152	
Costos indirectos					
Imprevistos (7%)				\$ 263.561	
Costo total del proyecto				\$ 4.028.712	

Nota fuente: Autor del proyecto.

4.15. Calcular los indicadores de factibilidad para la construcción y puesta en funcionamiento de la maquina

Los flujos de caja son necesarios para poder determinar la tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR), además de la tasa de recuperación contable (TRC) y el periodo de recuperación de la inversión, que es algo muy significativo a la hora de decidir si se invierte o no en un proyecto como el presente. Para calcular dichos flujos se deben tener en cuenta los diferentes factores de implementar el proyecto e iniciar la producción, como son mantenimiento, sueldo del operario, horas de trabajo, producción en un periodo determinado, entre otros (Sanchez & Ospina, 2017, págs. 136-138).

Conociendo esto lo primero a lo que se procederá es a calcular los ingresos que se tendrán por la venta de mangueras producidas, para lo que se hace una estimación cercana de la producción semestral de las empresas de producción de manguera, ya que las microempresas consultadas no cuentan con un número exacto de producción; además se debió indagar a cerca del precio en el mercado local de las mangueras que puede producir la extrusora.

Adicional a lo anterior se debe tener en cuenta el número de operarios que requiere la máquina, que en el caso que nos concierne es de un solo operario, ya que no complicada su operación, es más de vigilancia y recarga del material. Sabiendo esto podemos determinar los gastos por operación de la máquina, ya que la demanda actual es moderada, no se requiere trabajar muchos días solo 2 días semanales, los cuales se pagan a 30000 pesos el día, con esto podemos calcular la mano de obra semestral.

$$\text{Mano de obra} = (\text{sueldo diario})(\text{días semestrales laborados})$$

$$\text{Mano de obra} = (30000 \text{ pesos/diarios}) \left(2 \frac{\text{días}}{\text{semana}} * \text{semana semestre} \right)$$

$$\text{Mano de obra} = \left(30000 \frac{\text{pesos}}{\text{diarios}} \right) \left(2 \frac{\text{días}}{\text{semana}} * 20 \text{ semanas} \right)$$

$$\text{Mano de obra} = 1200000 \text{ pesos semestrales.}$$

El promedio de manguera por diámetro producido semestralmente según los diferentes productores consultados en la región es:

$$\text{Manguera } \frac{1}{2}'' = 38 \text{ rollos de 200 metros semestralmente.}$$

$$\text{Manguera } \frac{3}{4}'' = 19 \text{ rollos de 100 metros semestralmente.}$$

$$\text{Manguera } 1'' = 19 \text{ rollos de 100 metros semestralmente.}$$

Según lo consultados a los diferentes productores el precio de las mangueras tienen un valor promedio por rollo de manguera igual a:

$$\text{Manguera } \frac{1}{2}'' = 45000 \text{ pesos.}$$

$$\text{Manguera } \frac{3}{4}'' = 80000 \text{ pesos.}$$

$$\text{Manguera } 1'' = 110000 \text{ pesos.}$$

Con los datos anteriores podemos calcular las ganancias por producción semestralmente.

$$\text{Ganacias por producción} = \text{Producción semestral} * \text{precio}$$

$$\text{Manguera } \frac{1}{2}'' = (38 \text{ rollos}) * (45000 \text{ pesos/rollo}) = 1710000 \text{ pesos.}$$

$$\text{Manguera } \frac{3}{4}'' = (19 \text{ rollos}) * (80000 \text{ pesos/rollo}) = 1520000 \text{ pesos.}$$

$$\text{Manguera } 1'' = (19 \text{ rollos}) * (110000 \text{ pesos/rollo}) = 2090000 \text{ pesos.}$$

$$\text{Ganacia total por producción} = 5320000 \text{ pesos semestrales}$$

Por último, se determinará la inversión inicial total, esta incluye todo lo pertinente al presupuesto establecido anteriormente y adicionalmente el salario mínimo de una persona que se encargue del ensamble y montaje de la máquina en el sitio definitivo.

$$\text{Inversión inicial} = \text{Presupuesto máquina} + \text{mano de obra construcción y demás}$$

$$\text{Inversión inicial opción 1} = 3328754 + 734000 = 4062754$$

$$\text{Inversión inicial opción 2} = 4028712 + 734000 = 4762712$$

Además de esta inversión también habrá que tener en cuenta la inversión en mantenimiento de la máquina, la cual se estipula a continuación:

Tabla 31.*Costos por mantenimiento.*

Mantenimiento		
Concepto	Periodicidad	Costo
Cambio kit de malla	Anual	\$ 70.410
Cambio de rodamientos	Dos años	\$ 18.350
Limpieza del husillo	Mensual	\$ 15.000
Aceitado de piezas móviles	Bimestral	\$ 25.000
Total	Semestral	\$ 200.205

Nota fuente: Autor del proyecto.

Dado que el cambio de rodamientos es alrededor de los dos años este se tendrá en cuenta cuando se llegue a ese tiempo estipulado por los fabricantes de los rodamientos.

Hay que anotar que la razón por la cual los flujos se calculan semestralmente, es porque mensualmente y trimestralmente, los ingresos generados no se consideraron suficiente como para suponer que ese tiempo se presente el equilibrio para el proyecto o en otras palabras se recupere la inversión inicial totalmente (Sanchez & Ospina, 2017, págs. 136-138).

A continuación, se muestran los flujos resultantes para cada opción:

Tabla 32.*Flujo neto opción 1.*

Descripción	Flujo total opción 1				
	0	1	2	3	4
Inversión inicial	-\$ 4.062.754				
Mano de obra		-\$ 1.200.000	-\$ 1.200.000	-\$ 1.200.000	-\$ 1.200.000
Ventas producción		\$ 5.320.000	\$ 5.320.000	\$ 5.320.000	\$ 5.320.000
Mantenimiento		-\$ 202.205	-\$ 202.205	-\$ 202.205	-\$ 220.555
Flujo Neto	-\$ 4.062.754	\$ 3.917.795	\$ 3.917.795	\$ 3.917.795	\$ 3.899.445

Nota fuente: Autor del proyecto.

Tabla 33.*Flujo neto opción 2.*

Descripción	Flujo total opción 2				
	0	1	Semestral 2	3	4
Inversión inicial	-\$ 4.762.712				
Mano de obra		-\$ 1.200.000	-\$ 1.200.000	-\$ 1.200.000	-\$ 1.200.000
Ventas producción		\$ 5.320.000	\$ 5.320.000	\$ 5.320.000	\$ 5.320.000
Mantenimiento		-\$ 202.205	-\$ 202.205	-\$ 202.205	-\$ 220.555
Flujo Neto	-\$ 4.762.712	\$ 3.917.795	\$ 3.917.795	\$ 3.917.795	\$ 3.899.445

Nota fuente: Autor del proyecto.

Conociendo los flujos podemos determinar la tasa interna de retorno para cada opción propuesta y mediante la tasa de retorno contables y el periodo de recuperación de la inversión poder determinar cuál opción es más rentable y dar mejores bases numéricas a las personas que quieran construir la máquina (Sanchez & Ospina, 2017).

Para calcular la tasa interna de retorno se debe hacer mediante la ecuación de valor presente neto, ya que la inversión se comienza a recuperar cuando el valor presente de los flujos es igual a la inversión inicial, es decir, $VPN = 0$.

$$VPN = -Inv\ inicial + \frac{F_1}{(1+i)} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n}$$

Entonces para calcular la tasa interna de retorno tendríamos que para $VPN = 0$.

$$0 = -Inv\ inicial + \frac{F_1}{(1+i)} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n}$$

Ahora bien, para nuestro caso evaluaremos las dos opciones presentadas:

- **Tir (opción 1).**

$$0 = -\$ 4.062.754 + \frac{\$ 3.917.795}{(1+i)} + \frac{\$ 3.917.795}{(1+i)^2} + \frac{\$ 3.917.795}{(1+i)^3} + \frac{\$ 3.899.445}{(1+i)^4}$$

$$i = 0,89 = 89\%$$

- **Tir (opción 2).**

$$0 = -\$ 4.762.712 + \frac{\$ 3.917.795}{(1+i)} + \frac{\$ 3.917.795}{(1+i)^2} + \frac{\$ 3.917.795}{(1+i)^3} + \frac{\$ 3.899.445}{(1+i)^4}$$

$$i = 0,73 = 73\%$$

Mediante el cálculo de la tasa interna de retorno podemos determinar que la opción que ofrece mejores réditos o rendimiento es la opción 1.

Aunque la tasa interna de retorno es una muy buena medida para saber que opción es más rentable, es posible que sea un poco ambigua y subjetiva, por esto entonces se procede a probar cual es más rentable mediante otra medida como es el periodo de recuperación de la inversión. (Trujillo, 2014).

- **PRI (opción 1).**

$$PRI = a + \frac{b - c}{d}$$

Donde:

a = Periodo anterior donde se recupera la inversion.

$b =$ Inversión inicial

$c =$ Flujo en el periodo anterior donde recupera la inversión

$d =$ Flujo del periodo donde se recupera la inversión

$$PRI = a + \frac{b - c}{d}$$

Donde:

$$a = 1$$

$$b = \$ 4.062.754$$

$$c = \$ 3.917.795$$

$$d = \$ 3.917.795$$

$$PRI = 1 + \frac{(\$ 4.062.754) - (\$ 3.917.795)}{\$ 3.917.795}$$

$$PRI = 1,037 \text{ semestres} = 6 \text{ meses y } 7 \text{ días.}$$

- **PRI (opción 2).**

$$PRI = a + \frac{b - c}{d}$$

Donde:

$$a = 1$$

$$b = \$ 4.762.712$$

$$c = \$ 3.917.795$$

$$d = \$ 3.917.795$$

$$PRI = 1 + \frac{(\$ 4.762.712) - (\$ 3.917.795)}{\$ 3.917.795}$$

$$PRI = 1,215 \text{ semestres} = 7 \text{ meses y } 9 \text{ dias.}$$

Conclusiones

Fundamentándose en la información recolectada para el diseño conceptual de máquina extrusora de plástico y de los requerimientos de funcionamiento y entorno operacional, se seleccionaron los elementos más idóneos para el cumplimiento de dichos requerimientos.

Mediante las simulaciones realizadas a los elementos más críticos del diseño se determinó que los materiales y geometría seleccionados garantizan un correcto funcionamiento de la máquina, ya que se obtuvieron los comportamientos de temperatura y desplazamiento esperados y óptimos para el diseño del mismo.

Mediante el estudio de factibilidad y los cálculos de los respectivos indicadores se pudo determinar que cualquier de las dos opciones son lo suficientemente viables, por lo que lo invertido en la construcción del prototipo podrán ser recuperados de una manera rápida, y posteriormente se pueden comenzar a percibir grandes réditos económicos. En cuanto a la elección entre la opción del moto-reductor y la opción del sistema de transmisión y un motor trifásico común más económico, se recomienda que se seleccione la opción del moto-reductor ya que ofrecer mejores garantías en cuanto al funcionamiento, y solo se debe esperar un mes más para recuperar la inversión.

Recomendaciones

El diseño de la presente máquina abarca lo concerniente a la producción de mangueras de $\frac{1}{2}$ " , $\frac{3}{4}$ " y 1" , por lo que si se desea extruir otro tipo de productos se deben realizar los ajustes pertinentes al diseño, ya que la producción y el rendimiento de la máquina se pueden llegar a ver afecta, además de que se deben diseñar las respectivas boquillas de extrusión.

La tolva no debe superar la capacidad estipulada para evitar problemas de atascamiento en el sistema de alimentación y que cause así daños mayores en los demás sistemas de la máquina, y produzca gastos mayores, ya que el sistema cilindro-husillo es muy delicado y costoso.

Para llevar un mejor control de la producción de la máquina extrusora, se recomienda contemplar la posibilidad de agregar un manómetro en el cabezal de extrusión y controlar así la presión en el cabezal, ya que con esta se puede determinar el momento adecuado para cambiar los filtros del cabezal, ya que una caída o un alza de la misma indicaría un deterioro excesivo del filtro del cabezal.

Referencias

AENOR. (s.f.). *Tuberías de polietileno*. Obtenido de

<http://www.fundicionductilmolina.com/CFEC/tuberiadepolietileno.htm>

American Screw. (s.f.). *Catálogo de pernos*. Obtenido de

http://www.americanscrew.cl/admin/images_prod/14474156385645cf5691PERNO%20HEXAGONAL%20METRICO%208.8.pdf

Aristegui Maquinaria. (s.f.). *Aristegui Maquinaria*. Obtenido de

<https://www.aristegui.info/triextrusion-obtener-productos-extruidos-de-varios-materiales/>

ASME. (2015). Especificación para aceros de baja aleación. *ASME*.

Beltrán, M., & Marcilla, A. (s.f.). *Tecnología de polímeros*. Obtenido de

<http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería Mecánica*. Mc Graw Hill.

Collado. (2016). *Catálogo de ángulos*. Obtenido de

<http://www.collado.com.mx/productos/angulo-comercial-y-a-36.html>

Como funciona que. (s.f.). Obtenido de <http://comofuncionaque.com/como-funciona-el-motor-electrico/>

Constitución Política de Colombia. (1991). Artículo 79, Artículo 80.

Corazza, E. J., Sacchelli, C. M., & Marangoni, C. (2012). *Scielo*. Obtenido de

http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642012000300007

Cruz, D. K. (s.f.). *Inyeccion proceso de fundicion*. Obtenido de

<http://procesodeinyeccion.weebly.com/>

Desarrollo sustentable ITP. (2010). Obtenido de

<http://desarrollosustentableitp.blogspot.com.co/2010/11/2-moldeo-por-extrusion-en-el-moldeo-por.html>

Echeverry, E. (2011). *Calibres Cables*. Obtenido de

<https://es.scribd.com/doc/51508573/Calibres-de-cables>

Electrifor. (s.f.). *Electrifor*. Obtenido de [http://www.electricfor.es/es/333535/Calentamiento-](http://www.electricfor.es/es/333535/Calentamiento-aire-solidos-/Resistencias-aire-solidos/Resistencias-tipo-abrazadera-lapas/Resistencias-abrazadera/Resistencias-abrazadera.htm)

[aire-solidos-/Resistencias-aire-solidos/Resistencias-tipo-abrazadera-lapas/Resistencias-abrazadera/Resistencias-abrazadera.htm](http://www.electricfor.es/es/333535/Calentamiento-aire-solidos-/Resistencias-aire-solidos/Resistencias-tipo-abrazadera-lapas/Resistencias-abrazadera/Resistencias-abrazadera.htm)

Escuela de Ingeniera "Julio Garavito". (2007). Descripción Máquina Extrusora. *Escuela de Ingeniería "Julio Garavito"*, 21.

Física de once. (28 de 02 de 2012). *Física de once*. Obtenido de

http://fisicadeonce.blogspot.com.co/2012/02/dilatacion-termica_28.html

Garcia, A. t. (2009). Diseño y calculo del sistema de ventilacion de la camara de maquinas de un buque. *Universidad de cadiz*, 34-40.

Gomez, J. J., & Gutierrez, J. E. (2007). Diseño de una maquina extrusora de plastico.

Universidad Tecnologica de Pereira, 93.

Guia de la industria. (s.f.). Obtenido de <http://www.guiadelaindustria.com/producto/extrusora-de-metales-rolop-re/43734/1011>

GUNT Hamburg. (s.f.). *GUNT Hamburg*. Obtenido de

<http://www.gunt.de/es/productos/analisis-de-tensiones-en-un-recipiente-de-pared-gruesa/021.14000/fl140/glct-1:pa-150:pr-335>

ICONTEC. (1996). codigo electrico. *Norma tecnica colombiana*.

Kamax. (s.f.). *Kamax*. Obtenido de <http://www.kamax.com/es/productos/tornillos-de-chasis/>

Ls industrias. (s.f.). *Direct Industry*. Obtenido de <http://pdf.directindustry.es/pdf/ls-industrial-systems-19851.html>

Maquilob. (s.f.). *Maquinaria para ladrilleras*. Obtenido de <http://maquilob.net/extrusora/>

Mariano. (31 de Mayo de 2011). *Tecnologia De Los Plasticos*. Recuperado el 1 de Noviembre de 2016, de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/05/extrusion-de-materiales-plasticos-ii.html>

Palau, Soler y. (s.f.). Obtenido de E-ventilation: https://www.e-ventilation.com.mx/archivos/FichasTecnicas/CAD_FichaTecnica.pdf

Plasticbages industrial. (s.f.). *Plasticbages industrial*. Obtenido de

<http://www.plasticbages.com/caracteristicaspoli-etileno.htm>

Rjsales. (2017). *Robert James Sales*. Obtenido de

http://www.rjsales.com/products/ansi_asme_flanges/b165/150.html

Romero, J. D. (2015). Norma legal extrusora. *ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA*.

Roosvelt, C. (2011). Diseño de una maquina extrusora de plastico para la empresa Plastik de occidente. *Universidad del valle*.

Rosero, A. R. (2013). Maquina Extrusora Con Soplado Continuo Para la fabricacion de manguera de 1/2" con plastico reciclado. *Universidad Tecnica del Norte*, 84-91.

Roxana, R. (2016). *Slideshare*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/roxanarojas12/curso-de-extrusion-ii>

Sanchez, C., & Ospina, H. (2017). Diseño de un prototipo de sembradora mecánica de semillas de maíz y frijol para la granja de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. *Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña*, 136-138.

Sargent. (s.f.). *Catalogo motores electricos*. Obtenido de

http://www.sargent.biz/centralDescargas/20130809/1329/1329_adj_CatálogoMotores.pdf

Savgorodny, V. K. (1978). *Transformacion de plasticos*. Barcelona: GILI, S. A.

Sfr tooling. (s.f.). *Sfr tooling*. Obtenido de <http://www.sfrtooling.com/stdholepatternspecs.htm>

SKF. (2015). *Catalogo de rodamientos*. Obtenido de [http://www.skf.com/binary/89-](http://www.skf.com/binary/89-121486/10000_2-ES---Rolling-bearings.pdf)

[121486/10000_2-ES---Rolling-bearings.pdf](http://www.skf.com/binary/89-121486/10000_2-ES---Rolling-bearings.pdf)

Solimpex. (s.f.). *Archi expo*. Obtenido de <http://www.archiexpo.es/prod/solimpeks-energy/product-74376-1095581.html>

Trujillo, E. (2014). *Slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/eveliatrujillo/periodo-de-recuperacin-de-la-inversin-van>

Universidad de salamanca. (s.f.). *Open course ware*. Obtenido de <http://ocw.usal.es/eduCommons/enseanzas-tecnicas/materiales-ii/contenidos/PLASTICOS.pdf>

Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. (1996). Estatuto Estudiantil (Acuerdo 065).
En U. F. Ocaña, *Estatuto Estudiantil*. Ocaña.

Universidad politecnica de Valencia. (s.f.). *Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales*.
Obtenido de https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_4.html

UTN-FRBA. (2010). *Hidraulica General y aplicada*. Obtenido de http://www.civil.frba.utn.edu.ar/Materias/hidraulica/archivos/tablas_graficos.pdf

Valtech Industry. (s.f.). *Catalogo de bridas*. Obtenido de <http://www.valtechengineering.com/>

Villegas, A. A. (2011). reconstruccion y reconstruccion de una maquina de extrusion por soplado. *Universidad nacional autonoma de mexico*, 3-26.

XYZ. (s.f.). *XYZ Control de moviento lineal CNC*. Obtenido de <http://www.xyzcnc.com.mx/componentes-cnc/husillo-embalado/>

Apéndices

Apéndice 1. Propiedades térmicas y físicas del polietileno.

PROPIEDAD	UNIDAD	NORMA	POLIETILENO (PE)
Alargamiento a la rotura	%	DIN 53455	800
Conductividad térmica	W/Km	DIN 52612	0,43
Coeficiente de dilatación térmica de 20°C a 50°C	m/m K		200·10-6
Coeficiente de Fricción			0,2
Densidad	g/cm ²	DIN 53479	0,95
Dureza a la bola	N/mm ²	DIN 53456	
Dureza "Shore"		DIN 53505	D65
Módulo de elasticidad	N/mm ²	DIN 53457	900
Punto de fusión	°C	ASTM D789	138
Resistencia Superficial		DIN 53482	1·1013
Resistencia al impacto	KJ/m ²	DIN 53453	No es trenca
Resistencia a la tracción	N/mm ²	DIN 53455	28
Temperatura máxima de uso	°C	NORMAL	80
	°C	CON PUNTAS	110
Temperatura mínima de uso	°C		-100

Nota fuente: (Plasticbages industrial)

Apéndice 2. Principales materiales para los husillos de extrusión.

MATERIALES BASE PARA EL HUSILLO				ACEPTABILIDAD A CONDICIONES DE DESGASTE DE LA RESINA				
DESIGNACION DEL MATERIAL	TRATAMIENTO (1)	Rc (2)	FH (3)	ABRASIVO			CORROSIVO (7)	
				NORMAL (4)	PROMEDIO (5)	SEVERA (6)	MODERADA	SEVERA
Aceros aleados 4140	Endurecido con llama	48 55	no	Aceptable	Mala	No aceptable	No aceptable	No aceptable
4140	Cromado	60 65	si	Buena	Aceptable	No aceptable	Buena	No aceptable
Nitralloy 135-M	Nitrurado	63 70	si	Buena	Aceptable	No aceptable	Mala	No aceptable
Micromelt 9 (b)	Tratado con calor	54 58	no	Excelente	Excelente	Buena	Aceptable	No aceptable
CPMM4(a)	Tratado con calor	62 64	no	Excelente	Buena	Aceptable	Mala	No aceptable
CPM 420 (a)	Tratado con calor	52 56	no	Aceptable	Buena	No aceptable	Buena	Mala
Elmax (c)	Tratado con calor	57 59	no	Buena	Aceptable	No aceptable	Buena	Mala
Custom 450 (b)	Endurecido por tiempo	41 42	si	Aceptable	No aceptable	No aceptable	Buena	No aceptable
Aleaciones especiales Monel K-500 (d)	Endurecido por tiempo	37 39	opt'l	Aceptable	No aceptable	No aceptable	Excelente	Buena

Nota fuente: (Gomez & Gutierrez, 2007)

Apéndice 3. Características Acero AISI 4140

Características del material del husillo y eje (AISI 4140)

1. Descripción: Es un acero medio carbono aleado con cromo y molibdeno de alta templabilidad y buena resistencia a la fatiga, abrasión e impacto. Este acero puede ser nitrado para darle mayor resistencia a la abrasión. Es susceptible al endurecimiento por tratamiento térmico

2. Normas involucradas: ASTM 322

3. Propiedades mecánicas:

Dureza 275 - 320 HB (29 - 34 HRc)
 Esfuerzo a la fluencia: 690 MPa (100 KSI)
 Esfuerzo máximo: 900 - 1050 MPa (130 - 152 KSI)
 Elongación mínima 12%
 Reducción de área mínima 50%

4. Propiedades físicas: Densidad 7.85 g/cm³ (0.284 lb/in³)

5. Propiedades químicas:

0.38 - 0.43% C
 0.75 - 1.00 % Mn
 0.80 - 1.10 % Cr
 0.15 - 0.25 % Mo
 0.15 - 0.35 % Si
 0.04 % P máx
 0.05 % S máx

6. Usos: Se usa para piñones pequeños, tijeras, tornillo de alta resistencia, espárragos, guías, seguidores de leva, ejes reductores, cinceles.

7. Tratamientos térmicos:

Se trata a temperatura entre 830 - 850 °C y se da temple en aceite.

El revenido se da por dos horas a 200°C para obtener dureza de 57 HRc y si se da a 315°C la dureza será de 50 HRc. Para recocido se calienta entre 680 - 720°C con dos horas de mantenimiento, luego se enfría a 15°C por hora hasta 600°C y se termina enfriando al aire tranquilo.

Para el alivio de tensiones se calienta entre 450 - 650°C y se mantiene entre ½ y 2 horas. Se enfría en el horno hasta 450°C y luego se deja enfriar al aire tranquilo.

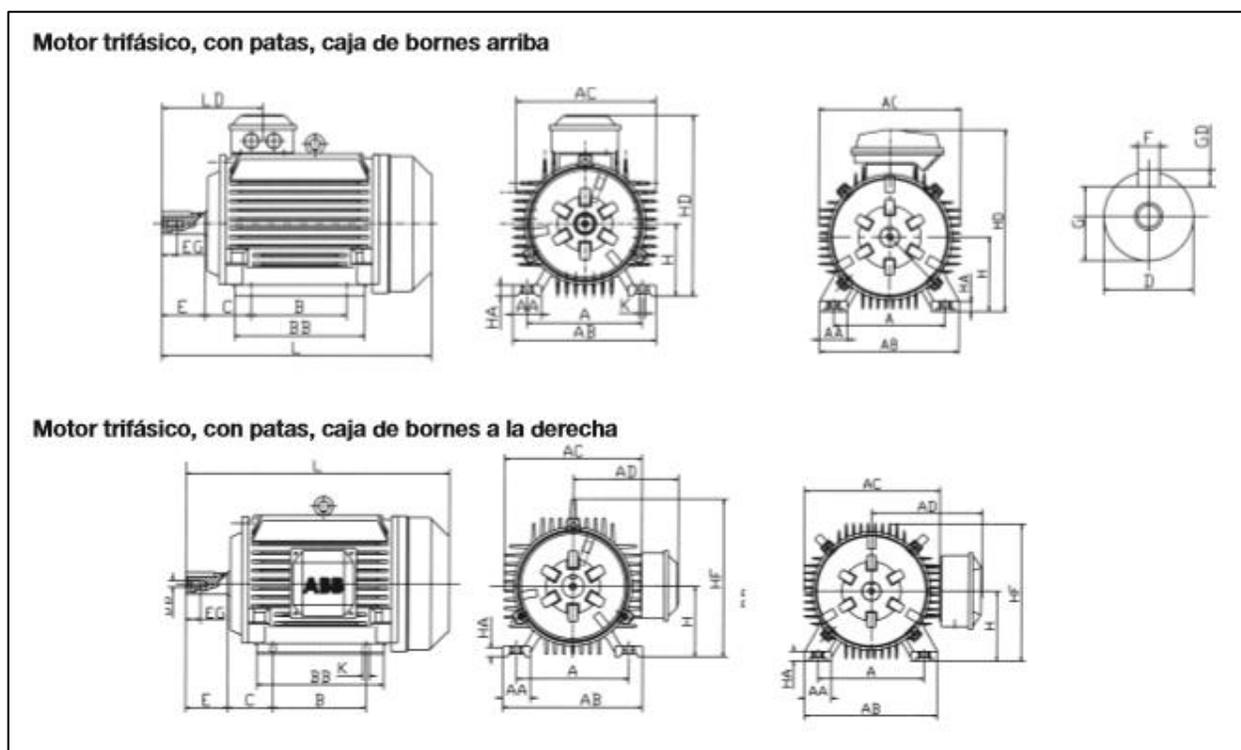
Nota fuente: (Gomez & Gutierrez, 2007)

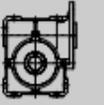
Apéndice 4. Propiedades del aire.

<i>Temperatura</i>	<i>Densidad</i>	<i>Viscosidad dinámica</i>	<i>Viscosidad cinemática</i>	<i>Velocidad del sonido</i>
ρ	μ	ν	c	
$^{\circ}\text{C}$	kg/m^3	$\text{N.s/m}^2 \cdot 10^{-5}$	$\text{m}^2/\text{s} \cdot 10^{-5}$	m/s
-30	1,452	1,56	1,08	312
-20	1,394	1,61	1,16	319
-10	1,342	1,67	1,24	325
0	1,292	1,72	1,33	331
10	1,247	1,76	1,42	337
20	1,204	1,81	1,51	343
30	1,164	1,86	1,60	349
40	1,127	1,91	1,69	355
50	1,092	1,95	1,79	360
60	1,060	2,00	1,89	366
70	1,030	2,05	1,99	371
80	1,000	2,09	2,09	377
90	0,973	2,13	2,19	382
100	0,946	2,17	2,30	387
200	0,746	2,57	3,45	436
300	0,616	2,93	4,75	480

Nota fuente: (UTN-FRBA, 2010)

Apéndice 5. Ficha técnica motor.



Modelo	i_{ges}	i_{sch}	i_{vor}	$n_1 = 1750 \text{ min}^{-1}$			$n_1 = 1150 \text{ min}^{-1}$			$n_1 = 850 \text{ min}^{-1}$			$n_1 = 100 \text{ min}^{-1}$			Módulos del reductor	
				n_2 [min ⁻¹]	M_{2max} [Nm]	P_{emax} [kW]											
SK 1SI 75-IEC 71-112	5	5		350	183	4	230	209	2,64	170	231	2	20	324	0,72	Números de pedido de los módulos	
	7,5	7,5		233	219	4	153	251	2,64	113	276	2	13	387	0,72		
	10	10		175	212	4	115	243	2,64	85	267	2	10	375	0,72		
	12,5	12,5		140	204	3,36	92	233	2,58	68	257	2,13	8	360	0,41		
	15	15		117	247	3,56	77	282	2,74	57	311	2,26	6,7	436	0,45		
	20	20		88	229	2,54	58	262	1,97	42	288	1,61	5	405	0,33		
	25	25		70	215	1,95	46	246	1,52	34	271	1,27	4	380	0,27		
	30	30		58	204	1,57	38	234	1,22	28	257	1,03	3,3	361	0,22		
	40	40		44	234	1,54	29	267	1,21	21	294	1,01	2,5	413	0,24		
	50	50		35	218	1,19	23	250	0,95	17	275	0,82	2	386	0,19		
	60	60		29	206	0,98	19	236	0,78	14	260	0,67	1,7	364	0,17		
80	80		22	188	0,74	14	215	0,57	11	237	0,54	1,2	333	0,13			
100	100		18	175	0,61	12	200	0,5	8,5	221	0,43	1	310	0,12			

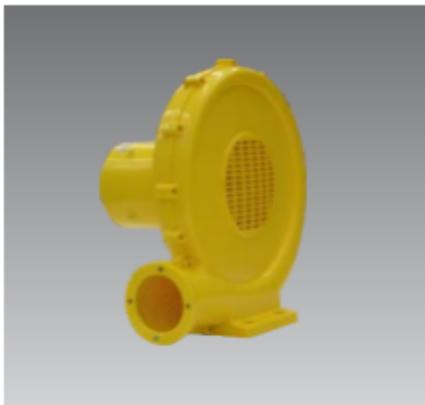
Nota fuente: (Sargent)

Apéndice 6. Ficha técnica del Blower de ventilación.



VENTILADORES CENTRÍFUGOS PORTÁTILES
201, 211 y 241

CAD



Serie compuesta por equipos centrifugos para presurización media, con rodete de álabes rectas atrasadas; con excelente desempeño caudal-presión. La serie se presenta en tres tamaños: 201, 211 y 241 mm de diámetro. Además posee diseño ergonómico y debido a su peso reducido, facilita su traslado e instalación, con accesorios que le dan seguridad al usuario.

Características Principales:

- Carcasa fabricada en inyección de plástico, para uso intemperie.
- Motores con protector térmico integrado, protección IP X4, con protección de plástico.
- Rodete alabes atrasados, con altos estándares en balanceo.

Accesorios Integrados:

- Brida en descarga.
- Malla de protección en succión y descarga.
- Interruptor para encendido, con aplicación intemperie.
- Cable de conexión reforzado.

Aplicaciones:

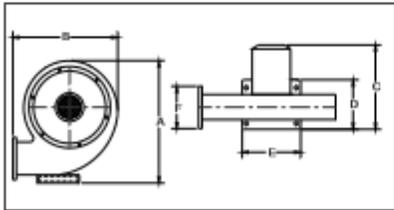
- Inyección de aire para presurizaciones medias.
- Inyección de aire en inflables y replicas, para publicidad o entretenimiento.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Modelo	Velocidad RPM	Potencia W	Tensión Volts	Intensidad A	Caudal a descarga libre m³/hr / CFM	Presión sonora dB(A)*	Peso apróx. Kg
CAD-201	3312	258	127	1.80	270 / 159	76	4
CAD-211	3353	367	127	3.10	420 / 247	80	4
CAD-241	3407	1019	127	7.00	770 / 453	84	7

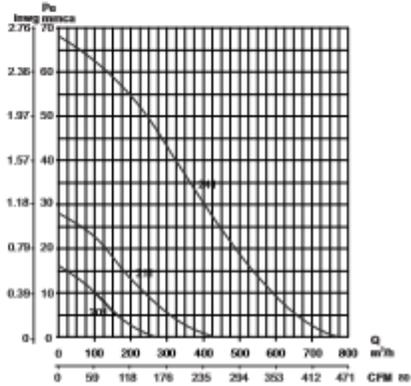
*Nivel sonoro medido de acuerdo a las normas AMCA 300/05 y 301/05

DIMENSIONES Y CURVAS CARACTERÍSTICAS



MODELO	A	B	C	D	E	F
CAD 201	306	318	205	144	109	97
CAD 211	364	350	216	164	117	97
CAD 241	406	405	242	183	149	110

*Dimensiones mm.



Nota fuente: (Palau, Soler y)

Apéndice 7. Cables para instalaciones eléctricas.

INSTALACIONES EN TUBO				INSTALACIONES AL AIRE LIBRE		
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

Nota fuente: (Echeverry, 2011)

Apéndice 8. Disyuntores trifásicos.



BKN 3P

No.de Catálog
6kA en 400VAC

In	Modelo (1polo)	No.de Catálog	Paq. Unid. (Pza.)	Precio
1A	BKN 3P B1A	06130066RO	40	
2A	BKN 3P B2A	06130067RO	40	
3A	BKN 3P B3A	06130068RO	40	
4A	BKN 3P B4A	06130069RO	40	
6A	BKN 3P B6A	06130070RO	40	
10A	BKN 3P B10A	06130071RO	40	
16A	BKN 3P B16A	06130072RO	40	
20A	BKN 3P B20A	06130073RO	40	
25A	BKN 3P B25A	06130074RO	40	
32A	BKN 3P B32A	06130075RO	40	
40A	BKN 3P B40A	06130076RO	40	
50A	BKN 3P B50A	06130077RO	40	
63A	BKN 3P B63A	06130078RO	40	

Nota fuente: (Ls industrias)

Apéndice 9. Propiedades mecánicas de los aceros.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesa- miento	a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Nota fuente: (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 1004)

Apéndice 10. Numero de dientes de Catarina disponibles.

Núm.	Números de dientes de catarina disponibles
25	8-30, 32, 34, 35, 36, 40, 42, 45, 48, 54, 60, 64, 65, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
35	4-45, 48, 52, 54, 60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
41	6-60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
40	8-60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
50	8-60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
60	8-60, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
80	8-60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 78, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
100	8-60, 64, 65, 67, 68, 70, 72, 74, 76, 80, 84, 90, 95, 96, 102, 112, 120
120	9-45, 46, 48, 50, 52, 54, 55, 57, 60, 64, 65, 67, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 90, 96, 102, 112, 120
140	9-28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 42, 43, 45, 48, 54, 60, 64, 65, 68, 70, 72, 76, 80, 84, 96
160	8-30, 32-36, 38, 40, 45, 46, 50, 52, 53, 54, 56, 57, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 68, 70, 72, 73, 80, 84, 96
180	13-25, 28, 35, 39, 40, 45, 54, 60
200	9-30, 32, 33, 35, 36, 39, 40, 42, 44, 45, 48, 50, 51, 54, 56, 58, 59, 60, 63, 64, 65, 68, 70, 72
240	9-30, 32, 35, 36, 40, 44, 45, 48, 52, 54, 60

Nota fuente: (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 879)

Apéndice 11. Características geométricas de las cadenas.

Número de cadena ANSI	Paso, pulg (mm)	Ancho, pulg (mm)	Resistencia mínima a la tensión, lbf (N)	Peso promedio, lbf/pie (N/m)	Diámetro del rodillo, pulg (mm)	Espaciamiento de torones múltiples, pulg (mm)
25	0.250 (6.35)	0.125 (3.18)	780 (3 470)	0.09 (1.31)	0.130 (3.30)	0.252 (6.40)
35	0.375 (9.52)	0.188 (4.76)	1 760 (7 830)	0.21 (3.06)	0.200 (5.08)	0.399 (10.13)
41	0.500 (12.70)	0.25 (6.35)	1 500 (6 670)	0.25 (3.65)	0.306 (7.77)	— —
40	0.500 (12.70)	0.312 (7.94)	3 130 (13 920)	0.42 (6.13)	0.312 (7.92)	0.566 (14.38)
50	0.625 (15.88)	0.375 (9.52)	4 880 (21 700)	0.69 (10.1)	0.400 (10.16)	0.713 (18.11)
60	0.750 (19.05)	0.500 (12.7)	7 030 (31 300)	1.00 (14.6)	0.469 (11.91)	0.897 (22.78)
80	1.000 (25.40)	0.625 (15.88)	12 500 (55 600)	1.71 (25.0)	0.625 (15.87)	1.153 (29.29)
100	1.250 (31.75)	0.750 (19.05)	19 500 (86 700)	2.58 (37.7)	0.750 (19.05)	1.409 (35.76)
120	1.500 (38.10)	1.000 (25.40)	28 000 (124 500)	3.87 (56.5)	0.875 (22.22)	1.789 (45.44)
140	1.750 (44.45)	1.000 (25.40)	38 000 (169 000)	4.95 (72.2)	1.000 (25.40)	1.924 (48.87)
160	2.000 (50.80)	1.250 (31.75)	50 000 (222 000)	6.61 (96.5)	1.125 (28.57)	2.305 (58.55)
180	2.250 (57.15)	1.406 (35.71)	63 000 (280 000)	9.06 (132.2)	1.406 (35.71)	2.592 (65.84)
200	2.500 (63.50)	1.500 (38.10)	78 000 (347 000)	10.96 (159.9)	1.562 (39.67)	2.817 (71.55)
240	3.00 (76.70)	1.875 (47.63)	112 000 (498 000)	16.4 (239)	1.875 (47.62)	3.458 (87.83)

Nota fuente: (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 875)

Apéndice 12. Potencia nominal para los sistemas de cadena.

Velocidad de la catarina, rpm	Número ANSI de cadena					
	25	35	40	41	50	60
50	0.05	0.16	0.37	0.20	0.72	1.24
100	0.09	0.29	0.69	0.38	1.34	2.31
150	0.13*	0.41*	0.99*	0.55*	1.92*	3.32
200	0.16*	0.54*	1.29	0.71	2.50	4.30
300	0.23	0.78	1.85	1.02	3.61	6.20
400	0.30*	1.01*	2.40	1.32	4.67	8.03
500	0.37	1.24	2.93	1.61	5.71	9.81
600	0.44*	1.46*	3.45*	1.90*	6.72*	11.6
700	0.50	1.68	3.97	2.18	7.73	13.3
800	0.56*	1.89*	4.48*	2.46*	8.71*	15.0
900	0.62	2.10	4.98	2.74	9.69	16.7
1 000	0.68*	2.31*	5.48	3.01	10.7	18.3
1 200	0.81	2.73	6.45	3.29	12.6	21.6
1 400	0.93*	3.13*	7.41	2.61	14.4	18.1
1 600	1.05*	3.53*	8.36	2.14	12.8	14.8
1 800	1.16	3.93	8.96	1.79	10.7	12.4
2 000	1.27*	4.32*	7.72*	1.52*	9.23*	10.6
2 500	1.56	5.28	5.51*	1.10*	6.58*	7.57
3 000	1.84	5.64	4.17	0.83	4.98	5.76
Tipo A	Tipo B			Tipo C		

Nota fuente: (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 878)

Apéndice 13. Factor de corrección del diente.

Número de dientes en catarina impulsora	Potencia preextremo, K_1	Potencia posextremo, K_1
11	0.62	0.52
12	0.69	0.59
13	0.75	0.67
14	0.81	0.75
15	0.87	0.83
16	0.94	0.91
17	1.00	1.00
18	1.06	1.09
19	1.13	1.18
20	1.19	1.28
N	$(N_1/17)^{1.08}$	$(N_1/17)^{1.5}$

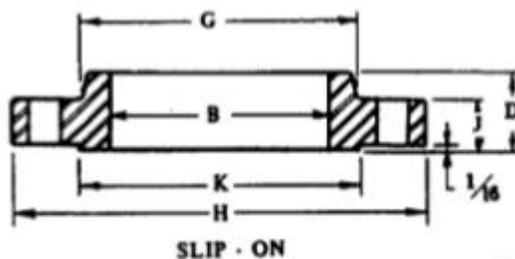
Nota fuente: (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 880)

Apéndice 14. Factor de torones múltiples.

Número de torones	K_2
1	1.0
2	1.7
3	2.5
4	3.3
5	3.9
6	4.6
8	6.0

Nota fuente: (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 880)

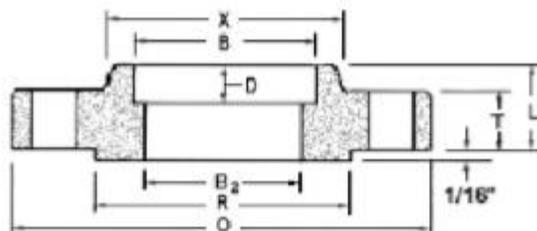
Apéndice 15. Ficha brida delantera.



Nominal Pipe Size	Diameter of Bore		Length Through Hub		Diameter of Hub at Point of Welding	Diameter of Hub at Base	Outside Diameter of Flange	Thickness of Flange
	A	B	C	D				
1/2	.62	.88	1 3/8	5/8	.84	1 3/8	3 1/2	3/8
3/4	.82	1.09	2 1/8	3/4	1.05	1 1/2	3 3/8	1/2
1	1.05	1.36	2 3/8	1 1/8	1.32	1 5/8	4 1/4	5/8
1 1/4	1.38	1.70	2 1/4	1 3/8	1.66	2 3/8	4 5/8	5/8
1 1/2	1.61	1.95	2 3/8	3/4	1.90	2 3/8	5	1 1/8
2	2.07	2.44	2 1/2	1	2.38	3 1/8	6	3/4
2 1/2	2.47	2.94	2 3/4	1 1/8	2.88	3 3/8	7	3/4
3	3.07	3.57	2 3/4	1 3/8	3.50	4 1/4	7 1/2	1 3/8
3 1/2	3.55	4.07	2 13/16	1 1/4	4.00	4 13/16	8 1/2	1 3/8
4	4.03	4.57	3	1 3/8	4.50	5 3/8	9	1 3/8
5	5.05	5.66	3 1/2	1 7/8	5.56	6 7/8	10	1 3/8
6	6.07	6.72	3 1/2	1 3/8	6.63	7 3/8	11	1
8	7.98	8.72	4	1 3/4	8.63	9 1/4	13 1/2	1 3/8
10	10.02	10.88	4	1 13/16	10.75	12	16	1 3/8
12	12.00	12.88	4 1/2	2 3/8	12.75	14 3/8	19	1 3/8

Nota fuente: (Valtech Industry)

Apéndice 16. Ficha brida trasera.

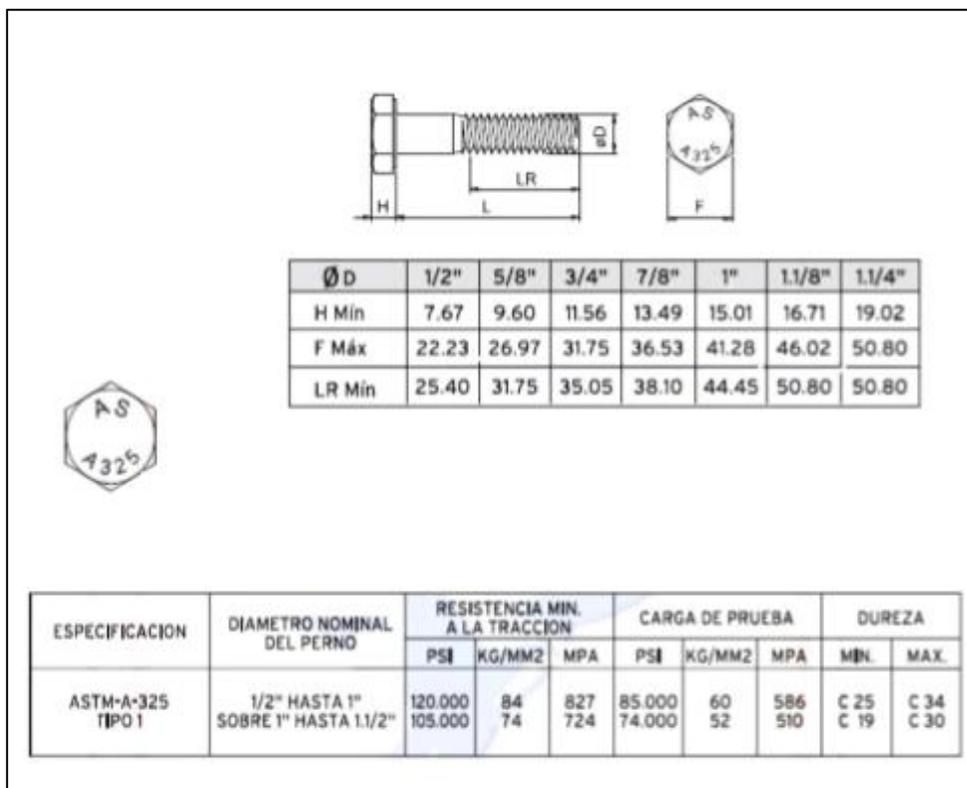


Socket Weld

Nom. Pipe Size	O	T	T _J	R	X	#/Dia of Holes ^a	Bolt Circle Dia	B	B ₂ ^b	B ₁	H	L	L ₂	L ₁ ^c	r	D	Thr
1/2	3.50	0.38	0.44	1.38	1.19	4-0.62	2.38	0.88	0.62	0.90	0.84	0.56	1.81	0.62	0.12	0.38	0.62
3/4	3.88	0.44	0.50	1.69	1.50	4-0.62	2.75	1.09	0.82	1.11	1.05	0.56	2.00	0.62	0.12	0.44	0.62
1	4.25	0.50	0.56	2.00	1.94	4-0.62	3.12	1.36	1.05	1.38	1.32	0.62	2.12	0.69	0.12	0.50	0.69
1 1/4	4.62	0.56	0.62	2.50	2.31	4-0.62	3.50	1.70	1.38	1.72	1.66	0.75	2.19	0.81	0.19	0.56	0.81
1 1/2	5.00	0.62	0.69	2.88	2.56	4-0.62	3.88	1.95	1.61	1.97	1.90	0.81	2.38	0.88	0.25	0.62	0.88
2	6.00	0.69	0.75	3.62	3.06	4-0.75	4.75	2.44	2.07	2.46	2.38	0.94	2.44	1.00	0.31	0.69	1.00
2 1/2	7.00	0.81	0.88	4.12	3.56	4-0.75	5.50	2.94	2.47	2.97	2.88	1.06	2.69	1.12	0.31	0.75	1.12
3	7.50	0.88	0.94	5.00	4.25	4-0.75	6.00	3.57	3.07	3.60	3.50	1.12	2.69	1.19	0.38	0.81	1.19
3 1/2	8.50	0.88	0.94	5.50	4.81	8-0.75	7.00	4.07	3.55	4.10	4.00	1.19	2.75	1.25	0.38	0.88	1.25
4	9.00	0.88	0.94	6.19	5.31	8-0.75	7.50	4.57	4.03	4.60	4.50	1.25	2.94	1.31	0.44	0.94	1.31
5	10.00	0.88	0.94	7.31	6.44	8-0.88	8.50	5.66	5.05	5.69	5.56	1.38	3.44	1.44	0.44	0.94	1.44
6	11.00	0.94	1.00	8.50	7.56	8-0.88	9.50	6.72	6.07	6.75	6.63	1.50	3.44	1.56	0.50	1.06	1.56
8	13.50	1.06	1.12	10.62	9.69	8-0.88	11.75	8.72	7.98	8.75	8.63	1.69	3.94	1.75	0.50	1.25	1.75

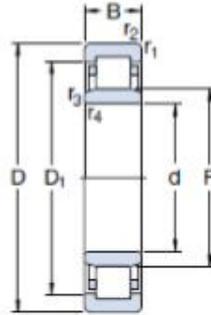
Nota fuente: (Valtech Industry)

Apéndice 17. Características tornillos de sujeción.



Nota fuente: (American Screw)

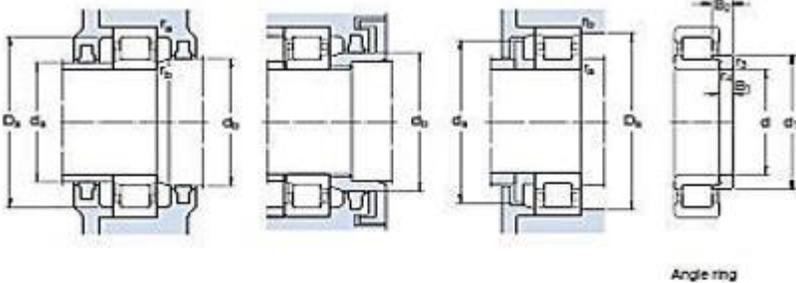
Apéndice 18. Características rodamiento de rodillo cilíndrico-1



Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings		Mass	Designations	Alternative
d	D	B	dynamic C	static C ₀	P ₀	Reference speed	Limiting speed	Bearing with standard cage	Bearing with standard cage	standard cage designs ¹⁾
mm			kN		kN	r/min		kg	-	
15	35	11	12,5	10,2	1,22	22 000	26 000	0,047	NU 202 ECP	-
	35	11	12,5	10,2	1,22	22 000	26 000	0,049	NJ 202 ECP	-
17	40	12	17,2	14,3	1,73	19 000	22 000	0,068	NU 203 ECP	ML
	40	12	17,2	14,3	1,73	19 000	22 000	0,070	NJ 203 ECP	ML
	40	12	17,2	14,3	1,73	19 000	22 000	0,073	NUP 203 ECP	ML
	40	12	17,2	14,3	1,73	19 000	22 000	0,068	N 203 ECP	-
40	16	23,8	21,6	2,65	19 000	22 000	0,092	NU 2203 ECP	-	
	16	23,8	21,6	2,65	19 000	22 000	0,095	NJ 2203 ECP	-	
	16	23,8	21,6	2,65	19 000	22 000	0,097	NUP 2203 ECP	-	
47	14	24,6	20,4	2,55	15 000	20 000	0,12	NU 303 ECP	-	
	14	24,6	20,4	2,55	15 000	20 000	0,12	NJ 303 ECP	-	
	14	24,6	20,4	2,55	15 000	20 000	0,12	N 303 ECP	-	
20	47	14	25,1	25,2	2,75	16 000	19 000	0,11	NU 204 ECP	ML
	47	14	25,1	25,2	2,75	16 000	19 000	0,11	NJ 204 ECP	ML
	47	14	25,1	25,2	2,75	16 000	19 000	0,12	NUP 204 ECP	ML
	47	14	25,1	25,2	2,75	16 000	19 000	0,11	N 204 ECP	-
47	18	29,7	27,5	3,45	16 000	19 000	0,14	NU 2204 ECP	-	
	18	29,7	27,5	3,45	16 000	19 000	0,14	NJ 2204 ECP	-	
52	15	35,5	26	3,25	15 000	18 000	0,17	* NU 304 ECP	-	
	15	35,5	26	3,25	15 000	18 000	0,17	* NJ 304 ECP	-	
	15	35,5	26	3,25	15 000	18 000	0,16	* NUP 304 ECP	-	
	15	35,5	26	3,25	15 000	18 000	0,15	* N 304 ECP	-	
52	21	47,5	38	4,6	14 000	16 000	0,21	* NU 2304 ECP	-	
	21	47,5	38	4,6	14 000	16 000	0,22	* NJ 2304 ECP	-	
	21	47,5	38	4,6	14 000	16 000	0,22	* NUP 2304 ECP	-	
25	47	12	14,2	13,2	1,4	18 000	18 000	0,084	NU 1005	-
52	15	28,6	27	3,35	14 000	16 000	0,14	NU 205 ECP	J, ML	
	15	28,6	27	3,35	14 000	16 000	0,15	NJ 205 ECP	J, ML	
	15	28,6	27	3,35	14 000	16 000	0,14	NUP 205 ECP	ML	
	15	28,6	27	3,35	14 000	16 000	0,13	N 205 ECP	-	

Nota fuente: (SKF, 2015, pág. 456)

Apéndice 19. Características rodamiento de rodillo cilíndrico-2

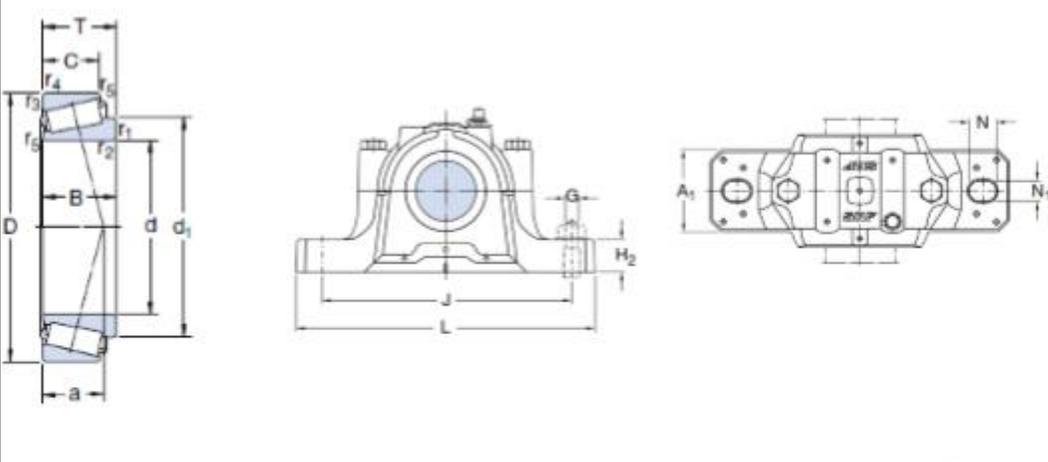


Angle ring

Dimensions							Abutment and fillet dimensions						Calculation factor K_f	Angle ring Designation	Mass kg	Dimensions B_1 B_2 mm	
d	d_1	D_1	F, E	$r_{1,2}$ min	$r_{2,4}$ min	s^1	d_a min	d_a max	d_b min	D_2 max	D_3 max	r_a max					r_b max
15	-	27,9	19,3	0,6	0,3	1	17,4	18	21	30,8	0,6	0,3	0,15	-	-	-	
	21,9	27,9	19,3	0,6	0,3	1	19,2	18	23	30,8	0,6	0,3	0,15	-	-	-	
17	-	32,4	22,1	0,6	0,3	1	19,4	21	24	35,8	0,6	0,3	0,15	-	-	-	
	25	32,4	22,1	0,6	0,3	1	21	21	27	35,8	0,6	0,3	0,15	-	-	-	
	25	32,4	22,1	0,6	0,3	1	21,2	21	27	35,8	0,6	0,3	0,15	-	-	-	
	25	35,1	25,1	0,6	0,3	1	21,2	33	37	37,6	0,6	0,3	0,15	-	-	-	
19	-	37	24,2	1	0,6	1	19,4	21	24	35,8	0,6	0,3	0,20	-	-	-	
	25	37	24,2	1	0,6	1	21	21	27	35,8	0,6	0,3	0,20	-	-	-	
	25	37	24,2	1	0,6	1	21,2	23	26	35,8	0,6	0,3	0,20	-	-	-	
	27,7	37	24,2	1	0,6	1	22,6	23	29	41,4	1	0,6	0,15	-	-	-	
	27,7	-	40,2	1	0,6	1	22,6	38	42	42,8	1	0,6	0,15	-	-	-	
20	-	38,8	26,5	1	0,6	1	24,2	25	28	41,4	1	0,6	0,15	-	-	-	
	29,7	38,8	26,5	1	0,6	1	25	25	31	41,4	1	0,6	0,15	-	-	-	
	29,7	38,8	26,5	1	0,6	1	25,6	40	43	41,4	1	0,6	0,15	-	-	-	
	29,7	-	41,5	1	0,6	1	25,6	45	49	42,8	1	0,6	0,15	-	-	-	
22	-	38,8	26,5	1	0,6	2	24,2	25	28	41,4	1	0,6	0,20	-	-	-	
	29,7	38,8	26,5	1	0,6	2	25	25	31	41,4	1	0,6	0,20	-	-	-	
24	31,2	42,4	27,5	1,1	0,6	0,6	24,2	25	28	43	1	0,6	0,15	HJ304 EC	0,017	4	6
	31,2	42,4	27,5	1,1	0,6	0,6	27	27	33	43	1	0,6	0,15	HJ304 EC	0,017	4	6
	31,2	42,4	27,5	1,1	0,6	0,6	27	44	47	47,8	1	0,6	0,15	-	-	-	
	31,2	-	45,5	1,1	0,6	0,9	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26	-	42,4	27,5	1,1	0,6	1,9	24,2	25	28	43	1	0,6	0,29	-	-	-	
	31,2	42,4	27,5	1,1	0,6	1,9	26	26	33	43	1	0,6	0,29	-	-	-	
	31,2	42,4	27,5	1,1	0,6	1,9	27	27	33	43	1	0,6	0,29	-	-	-	
25	-	38,8	30,5	0,6	0,3	2	27	29	32	43,8	0,6	0,3	0,1	-	-	-	
28	34,7	43,8	31,5	1	0,6	1,3	29,2	30	33	46,4	1	0,6	0,15	HJ205 EC	0,014	3	6
	34,7	43,8	31,5	1	0,6	1,3	30	30	36	46,4	1	0,6	0,15	HJ205 EC	0,014	3	6
	34,7	43,8	31,5	1	0,6	1,3	30,6	30	36	46,4	1	0,6	0,15	-	-	-	
	34,7	-	46,5	1	0,6	1,3	30,6	45	48	47,8	1	0,6	0,15	-	-	-	

Nota fuente: (SKF, 2015, pág. 457)

Apéndice 20. Características rodamiento de rodillo cónico.



Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit P_u	Speed ratings		Mass	Designation	Dimension Series to ISO 355 (ABMA)
d	D	T	dynamic	static		Reference speed	Limiting speed			
mm			kN		kN	r/min	kg	-	-	
15	42	14,25	22,4	20	2,08	13 000	18 000	0,095	30302 J2	2FB
17	40	13,25	19	18,6	1,83	13 000	18 000	0,075	30203 J2	2DB
	47	15,25	28,1	25	2,75	12 000	16 000	0,13	30303 J2	2FB
	47	20,25	40	33,5	3,85	12 000	16 000	0,17	* 32303 J2/Q	2FD
20	42	15	28	27	2,7	13 000	16 000	0,097	* 32004 X/Q	3CC
	47	15,25	32	28	3	12 000	15 000	0,12	* 30204 J2/Q	2DB
	52	16,25	39	32,5	3,8	12 000	14 000	0,17	* 30304 J2/Q	2FB
	52	22,25	51	45,5	5	12 000	14 000	0,23	* 32304 J2/Q	2FD
22	44	15	25,1	29	2,85	11 000	15 000	0,10	320/22 X	3CC
25	47	15	31	32,5	3,25	12 000	14 000	0,11	* 32005 X/Q	4CC
	52	16,25	35,5	33,5	3,45	11 000	13 000	0,15	* 30205 J2/Q	3CC
	52	19,25	41,5	44	4,85	10 000	13 000	0,19	* 32205 BJ2/Q	5CD
	52	22	54	56	6	10 000	13 000	0,23	* 33205/Q	2DE
	62	18,25	44,6	43	4,75	9 000	12 000	0,26	30305 J2	2FB
	62	18,25	38	40	4,4	7 500	11 000	0,26	31305 J2	7FB
	62	25,25	60,5	63	7,1	8 000	12 000	0,36	32305 J2	2FD

Nota fuente: (SKF, 2015, pág. 540)

Apéndice 21. Ángulos comerciales.

DIMENSIONES		PESO		ÁREA	PROPIEDADES				
					EJE X-X y EJE Y-Y			EJE Z-Z	
Pulg	mm	Kg/m	Lb/Pie	cm ²	cm ⁴	cm	cm ²	cm	r.min
1 1/2 x 1/4	38.1 x 6.3	3.48	2.34	4.47	5.83	1.14	2.20	1.19	0.74
1 1/2 x 5/16	38.1 x 7.9	4.26	2.86	5.40	6.66	1.12	2.62	1.24	0.74
1 1/2 x 3/8	38.1 x 9.5	5.01	3.36	6.34	7.91	1.12	3.11	1.30	0.74
2 x 1/8	50.8 x 3.2	2.46	1.65	3.15	7.91	1.60	2.13	1.40	1.02
2 x 3/16	50.8 x 4.8	3.63	2.44	4.65	11.45	1.57	3.11	1.45	1.02
2 x 1/4	50.8 x 6.3	4.75	3.19	6.09	14.57	1.55	4.10	1.50	0.99
2 x 5/16	50.8 x 7.9	5.83	3.92	7.40	17.46	1.52	4.92	1.55	0.99
2 x 3/8	50.8 x 9.5	6.99	4.70	8.75	19.98	1.50	5.74	1.63	0.99
2 1/2 x 3/16	63.5 x 4.8	4.61	3.09	5.87	22.89	1.98	4.92	1.75	1.24
2 1/2 x 1/4	63.5 x 6.3	6.10	4.10	7.72	29.14	1.96	6.39	1.83	1.24
2 1/2 x 5/16	63.5 x 7.9	7.44	5.00	9.41	35.38	1.93	7.87	1.88	1.22
2 1/2 x 3/8	63.5 x 9.5	8.78	5.90	11.16	40.79	1.91	9.34	1.93	1.22
3 x 1/4	76.2 x 6.3	7.29	4.90	9.34	51.60	2.36	9.50	2.13	1.59
3 x 5/16	76.2 x 7.9	9.08	6.10	11.42	62.90	2.34	11.60	2.21	1.50
3 x 3/8	76.2 x 9.5	10.72	7.20	13.58	73.30	2.31	13.60	2.26	1.47
3 x 1/2	76.2 x 12.7	13.99	9.40	17.74	92.40	2.29	17.50	2.36	1.47
4 x 1/4	101.6 x 6.3	9.82	6.60	12.60	124.90	3.18	17.20	2.77	2.01
4 x 5/16	101.6 x 7.9	12.20	8.20	15.43	154.40	3.15	21.10	2.84	2.01
4 x 3/8	101.6 x 9.5	14.58	9.80	18.40	181.50	3.12	24.90	2.89	2.01
4 x 1/2	101.6 x 12.7	19.05	12.80	24.19	231.40	3.10	32.30	2.99	1.98
6 x 3/8	152.4 x 9.5	22.17	14.90	28.05	640.60	4.78	57.80	4.16	3.02
6 x 1/2	152.4 x 12.7	29.17	19.60	37.10	828.70	4.72	75.50	4.27	3.00
6 x 5/8	152.4 x 15.9	36.01	24.20	45.94	1,005.60	4.67	92.80	4.39	3.00

Nota fuente: (Collado, 2016)

Apéndice 22. Recomendaciones para el mantenimiento de la máquina extrusora.

Cambio de malla

El juego de mallas o filtros debe ser cambiado periódicamente, la obstrucción aumenta en la operación continua de la extrusora y puede llegar a interrumpir el paso del material.

Normalmente las mallas o filtros se dañan al retirarlas por medio de un cuchillo o espátula; por eso no es recomendable limpiarlas. La experiencia del operador determinará el mejor intervalo entre los cambios, dependiendo del tipo de material plástico usado. Para realizar el cambio de mallas o filtros, la extrusora debe estar parada y preferentemente con el cilindro de extrusión vacío; se debe usar mallas con los diámetros y combinaciones adecuadas y recomendadas.

Limpieza de la extrusora

Para realizar la limpieza de la extrusora se debe seguir los siguientes pasos:

- Encender la máquina con materia prima, evitando la alimentación hasta que quede vacío el canal helicoidal del tornillo debajo de la tolva.
- Desconectar las mangueras de aire.
- Retirar el cabezal y el filtro en conjunto, aflojando los pernos que fijan la brida del cabezal al soporte del porta mallas.
- Retirar el tornillo del cilindro por medio y colocarlo sobre un caballete de madera.

- Usar una lámina de cobre o latón para retirar la mayor parte de plástico adherido al tornillo.
- Completar la limpieza con una esponja de cobre o latón, pulverizar con silicona para ayudar a retirar las partes más adheridas de resina, luego se debe proteger el tornillo con una capa fina de silicona.

Limpieza del cilindro de extrusion

Usar una varilla larga con un cepillo o esponja de latón atada en su extremo, para retirar la resina restante adherida a las paredes inferiores de la camisa; con una herramienta similar lubricar el interior de la camisa con grasa de silicona.

Limpieza de las cavidades del porta mallas

Retirar el juego de mallas o filtro; el plástico que no está alojado en los orificios del porta malla se retira con una lámina de latón. El plástico que obstruye las cavidades del porta malla, debe ser quemado con un quemador.

Limpieza del cabezal o matriz.

La matriz y el cabezal están constituidos por piezas de alta precisión; no pueden ser golpeadas, rayadas o dañadas y se deberá tomar especial cuidado en su limpieza. Los componentes del cabezal deben ser sometidos al siguiente proceso de limpieza:

- Retirar el plástico adherida a la pieza usando guantes aislantes.

- Raspar el plástico restante usando una lámina de cobre o latón con la ayuda de grasa de silicona.
- Usar esponja o cepillo de cobre o latón para terminar limpieza.
- Finalmente usar grasa de silicona para lubricar las partes.

Limpieza del sistema de aire.

El intervalo entre limpiezas del sistema de aire depende de la contaminación del ambiente donde está instalada la extrusora, porque puede existir polvo, partículas suspendidas en el aire, etc. Una de las formas de identificar la suciedad de este, es cuando los espesores de los productos varían demasiado. Siempre se debe esperar a que el sistema de aire se enfríe para poder desmontarlo; los componentes sucios deberán limpiarse con un cepillo o con aire comprimido.

Nota fuente: Autor del proyecto.

Apéndice 23. Actividades de mantenimiento.

EQUIPO	ELEMENTO	PERIODO DE MANTENIMIENTO				OBSERVACION
		DIARIO	SEMANTAL	MENSUAL	SEMESTRAL	
Tablero de control	Termorregulador		x			Ajustes
	Disyuntores		x			Ajustes
	Terminales de conexión		x			Ajustes
	Limpieza general		x			Limpieza
Caja de velocidades	Bomba de lubricación		x			Revisión general
	Aceite			x		Limpieza y cambio
	Rodamientos		x			Revisión general
	Piñones		x			Chequeo
	Sistema de enfriamiento				x	Revisión general
	Retenedores		x			Chequeo
Cilindro y husillo de extrusión	Limpieza general		x			Limpieza
	Cilindro de extrusión			x		Alineación y nivelación
	Terminales de conexión		x			Ajustes
	Bandas calentadoras		x			Reajuste
	Asiento termocuplas			x		Limpieza
Cabezal	Cabezal			x		Alineación y nivelación
	Boquilla		x			Estado
	Pernos de ajuste			x		Estado
Blower	Mangueras y abrazaderas	x				Revisión
	Diafragma y filtros	x				Estado
	Motor del Blower			x		Estado
	Turbina del Blower		x			Limpieza
	Blower		x			Vibración

Nota fuente: Autor del proyecto.

Apéndice 24. Instrucciones de operación.

1. Uno de los pasos más importantes en la extrusión de polímeros es la selección de la mezcla correcta; Sino se equilibran los componentes antes de la operación, existirán problemas en la composición del producto final.
2. Se debe revisar todo el conjunto, para verificar que no existan problemas que puedan interrumpir el procesamiento; en caso de existir alguno se debe tomar las medidas necesarias para su solución inmediata.
3. Se deben encender las termocupas para iniciar el precalentamiento de la máquina el cual debe durar como mínimo una hora y media, dependiendo de la temperatura de operación, la cual en este caso es de 180 °C.
4. Antes de comenzar el suministro de la materia prima se debe verificar que esta este almacenada de forma correcta, libre de impurezas y ubicada por tipos; de esta forma se mantendrá un orden al momento de seleccionar el producto.
5. Luego que pase el tiempo de calentamiento se debe enciender el motor del tornillo extrusor, claro esta cuando el cilindro o camisa esten cargadas de material, ya que si se omite esto podría causar daños severos a la parte interna del cilindro y al mismo tornillo; sumando una para indeseada, y se debe encender el sistema de enfriamiento del cilindro de extrusion, tambien se debe colocar la velocidad del tornillo dependiendo del diametro de manguera que se quiera; asi, 2 velocidad para 1", 3 velocidad para ¾" y 4 velocidad para ½".

6. Cuando se comienza la producción se debe calibrar la salida del producto, debido a esto se debe estar pendiente del proceso de elaboración; revisando cada parte de la máquina, verificando la estabilidad del producto, espesor y diámetro deseado, entre otros parámetros que son de suma importancia en la composición del producto.
7. Luego de terminar la producción se debe verificar que el total del producto salga del sistema cilindro husillo y posterior a esto realizar la parada del motor, apagar las bandas calefactoras y permitir que el sistema de enfriamiento realice su trabajo complementario de enfriamiento.
8. Posterior a la parada y enfriamiento del sistema se debe limpiar el dado de extrusión con una malla de cobre o bronce y aplicar grasa de silicón a las superficies para evitar que el polímero se adhiera a las paredes del mismo; esto se hace cada dos semanas y en algunos casos depende de la calidad del producto final.

Nota fuente: Autor del proyecto.

Apéndice 25. Reglas de seguridad.

Algunas de las reglas de seguridad que deben seguirse se propondrán a continuación.

- Leer y comprender el manual antes de intentar poner en servicio y operar la máquina.
- Familiarizarse con las reglas de seguridad y practicarlas.
- En caso de un accidente ocurrido mientras la máquina este funcionando, presionar el botón de parada de emergencia para detener la máquina en su totalidad.
- Advertir a otras personas sobre alguna acción que pueda ponerlos en peligro.
- Realizar la lubricación y el engrase en la máquina solamente cuando esta, este totalmente parada.
- Verificar que todas las protecciones han sido instaladas antes de poner en operación la extrusora.
- Cuando se trabaje sobre equipo eléctrico, la fuente de poder debe estar apagada para dejar a todos los circuitos sin alimentación, antes de que cualquier tipo de trabajo se realice sobre ellos. Cada interruptor debe ser probado por separado para verificar la ausencia de alimentación en ellos.
- Mantener limpio el piso alrededor de la máquina.
- Colocar las herramientas en sus lugares respectivos luego de ser utilizadas.

- No retirar los dispositivos de seguridad, incluyendo los usados en la parte eléctrica.
- No encender la máquina a menos que esté totalmente seguro que no existe peligro para usted y sus compañeros de trabajo.
- No limpie o lubrique partes en movimiento de la extrusora.
- Personas no autorizadas no pueden operar la máquina.
- No usar joyas, corbatas o ropa suelta cerca del equipo en movimiento.
- No coloque herramientas sobre la máquina cuando esté funcionando.
- No introduzca las manos dentro de la máquina para realizar ajustes mientras esté operando.
- No se suba a partes de la máquina que están en movimiento constante.
- No permitir juegos en el área de trabajo.

Nota fuente: Autor del proyecto.