

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MAQUINA EXTRUSORA PARA LA
FABRICACIÓN DE FILAMENTOS TERMOPLÁSTICOS PARA IMPRESORA 3D

GEIBER HERNANDO ACUÑA FONSECA

MIGUEL EDREY SALAMANCA VANEGAS

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS TUNJA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD SANTO TOMAS TUNJA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

TUNJA
2016

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MAQUINA EXTRUSORA PARA LA
FABRICACIÓN DE FILAMENTOS TERMOPLÁSTICOS PARA IMPRESORA 3D

GEIBER HERNANDO ACUÑA FONSECA

MIGUEL EDREY SALAMANCA VANEGAS

Tesis presentada para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO

Director ING. CARLOS ALBERTO LEÓN MEDINA

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS TUNJA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD SANTO TOMAS TUNJA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
TUNJA
2016

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

AGRADECIMIENTOS

Primero agradecemos a DIOS por permitirnos vivir esta experiencia tan maravillosa e incomparable y por darnos fuerza cada día que pasamos como estudiantes de INGENIERÍA MECÁNICA, a nuestros padres que con esfuerzo lograron sacarnos adelante y por ser los promotores de este logro alcanzado. A nuestros hermanos por el apoyo brindado el cual nos sirvió para ser las personas que somos hoy en día.

Segundo agradecemos a la Universidad SANTO TOMAS TUNJA por permitirnos ser parte de la familia tomasina durante nuestra estadía como estudiantes, convirtiéndose en nuestro segundo hogar. Al Ing. Carlos L. Medina y a la Ing. Yenny M. González, quienes fueron los encargados de guiarnos con esmero para culminar este proyecto así como a todos los ingenieros con los que tuvimos la oportunidad de compartir aula, los cuales con gran sabiduría nos brindaron sus conocimientos los cuales con gran agrado adquirimos.

A la facultad de INGENIERÍA MECÁNICA, por permitirnos capacitarnos en esta rama tan hermosa y hacer que nos sintiéramos orgullosos de los que estudiamos.

Por ultimo queremos agradecer a nuestros amigos, los cuales se convirtieron en hermanos, durante todo el proceso de estadía en la universidad lo cual condujo a que esta etapa que estamos culminando fuera de mucha alegría.

SIMBOLOGÍA

L: Longitud
D: Diametro
 θ : Angulo de elice
 e : Ancho del filete.
t: Paso del husillo
H: Profundiad del canal
W: Paso de la rosca
 η : Revoluciones del husillo
 y : Velocidad de cortadura
 β_1 : Relacion de compresion
P: Potencia
 α : flujo de arrastre
 β : flujo de presion
 γ : flujo de filtrado
 η : constante de la cabeza del perfil
Q: Flujo volumetrico
k: Constante total del cabezal

CONTENIDO

GLOSARIO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO	3
1.1 MARCO CONCEPTUAL	3
1.1.1 Extrusión	3
1.1.2 Extrusora de tornillo simple	5
1.1.3 Componentes de la extrusora	6
1.1.4 Características principales de la extrusora de tornillos	11
1.2 ESPECIFICACIONES DE UNA MAQUINA EXTRUSORA	14
1.2.1 Diámetro del cilindro	14
1.2.2 Relación longitud/diámetro	14
1.2.3 Relación de compresión	15
1.2.4 Número de filetes	15
1.2.5 Configuración del tornillo	15
1.2.6 Angulo de hélice	16
1.2.7 Tolerancia tornillo/cilindro	16
1.2.8 Ancho del filete	17
1.2.9 Paso del husillo	17
1.2.10 Longitudes de las zonas del husillo	17
1.2.11 Profundidad del canal	17
1.2.12 Paso de la rosca	18
1.2.13 Revoluciones del husillo	18
1.2.14 Relación de compresión	18
1.2.15 Potencia requerida	19
1.2.16 Flujo de arrastre	19
1.2.17 Flujo volumetrico	19
1.2.18 Flujo de presion	20
1.2.19 Flujo de filtracion	20
1.2.20 Constante total del cabezal	20
1.3 FUNCIONES DE UNA MAQUINA EXTRUSORA	20
1.4 TÉCNICAS DE EXTRUSIÓN	21
1.4.1 Extrusión con un sólo husillo	21

1.4.2 Extrusores sin husillo	21
1.4.3 Extrusores de husillo múltiple	21
1.5 EL ABS	21
1.5.1 Componentes del ABS	22
1.5.2 Estructura del ABS	24
1.5.3 Propiedades del abs	25
1.6 ESTADO DE LA TÉCNICA	26
1.6.1 Tipos de extrusora	26
1.6.1.1 Extrusores de un solo husillo	26
1.6.1.2 Extrusores de husillo doble	27
1.6.1.3 Otros tipos de extrusoras	28
2. METODOLOGÍA	29
2.1 ETAPA 1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	29
2.2 ETAPA 2. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO	29
2.2.1 Parámetros y selección de alternativas	29
2.2.1.1 Selección de la alternativa	29
2.2.1.2 Parámetros de selección	30
2.2.3 Ventajas y desventajas de alternativas	30
2.2.4 Evaluación de alternativas de solución mediante el método ordinal corregido de criterios ponderados	31
2.2.5 Los criterios de valoración más relevantes de consideración	32
2.2.6 Evaluación del peso específico de cada criterio de evaluación	32
2.2.7 Evaluación del peso específico de cada criterio de evaluación	35
2.3 ETAPA 3. CÁLCULOS DE DISEÑO Y MODELACIÓN	36
2.4 ETAPA 4. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	36
2.5 ETAPA 5. PRUEBAS	36
3 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	36
3.1 DISEÑO PRELIMINAR	36
3.1.2 DIVISIÓN DE LOS SUBSISTEMAS QUE LO COMPONEN	36
3.2 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO	37
3.2.1 ÁRBOL DE OBJETIVOS	37
3.3 CÁLCULOS DE DISEÑO	38
3.4 SELECCIÓN DEL MATERIAL DEL HUSILLO	43
3.5 DISEÑO DE LA TOLVA	45
3.5.1 Cálculo de altura h	45
3.5.2 Diseño del cono circular recto	46
3.6 MODELAMIENTO CAD	47
3.7 CONSTRUCCIÓN	49

4 CONCLUSIONES	52
5 RECOMENDACIONES	53
REFERENCIAS	54

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. TIPOS DE EXTRUSORAS	29
TABLA 2: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS	30
TABLA 3: PESO ESPECÍFICO DE CADA CRITERIO DE EVALUACIÓN	32
TABLA 4: EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO “COSTO DE MANUFACTURA “	33
TABLA 5. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO “FACILIDAD DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN”	33
TABLA 6. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO “OBTENCIÓN DE FILAMENTOS DE 3MM Y 1.7MM DE DIÁMETRO DE MATERIAL ABS	34
TABLA 7. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO “VIDA ÚTIL DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS”	34
TABLA 8. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO “CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN”	35
TABLA 9. CONCLUSIONES DE CADA CRITERIO DE EVALUACIÓN	35
TABLA 10. TABLA DE SELECCIÓN DE MATERIAL	44

LISTA DE FIGURAS.

	Pág.
FIGURA 1. MÁQUINA DE EXTRUSIÓN	4
FIGURA 2. CARACTERÍSTICAS DEL HUSILLO	4
FIGURA 3. DISEÑO GENÉRICO DE UNA MAQUINA EXTRUSORA.	5
FIGURA 4. TORNILLO EXTRUSOR.	6
FIGURA 5. CILINDRO DE LA EXTRUSORA	7
FIGURA 6. TIPOS DE TOLVAS	8
FIGURA 7. PLATO ROMPEDOR.	9
FIGURA 8. BOQUILLA Y CABEZAL.	10
FIGURA 9. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LOS ESTADOS FÍSICOS QUE ATRAVIESA EL POLÍMERO.	12
FIGURA 10. ETAPAS DEL TORNILLO EXTRUSOR.	14
FIGURA 11. TIPOS DE TORNILLOS	16
FIGURA 12. MOLÉCULA DE POLIACRILONITRILO	22
FIGURA 13. MOLÉCULA DE POLIBUTADIENO	23
FIGURA 14. MOLÉCULA DE POLIESTIRENO.	24
FIGURA 15. IDENTIFICACIÓN DEL ABS.	25
FIGURA 16. ÁRBOL DE OBJETIVOS	38
FIGURA 17. DISEÑO DE LA TOLVA	45
FIGURA 18. DESARROLLO DE LA TOLVA	46
FIGURA 19. PLANO DE EXTRUSORA COMPLETA	47
FIGURA 20. PARTES DE LA MAQUINA EXTRUSORA	48

LISTAS DE ANEXOS

	Pág.
ANEXOS 1. ALTERNATIVA 1: Extrusora de un solo husillo	56
ANEXO 2. ALTERNATIVA 2: Extrusora de doble husillo engranado	58
ANEXO 3. ALTERNATIVA 3: Extrusora de doble husillo no engranado	60
ANEXO 4. PROPIEDADES DEL ABS	62
ANEXO 5. TABLA PARA SELECCION DE MATERIAL DEL HUSILLO	64
ANEXO 6. TABLA DE PROPIEDADES DE LOS ACEROS SAE 1212	66
ANEXO 7. PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DEL HUSILLO	68
ANEXO 8. PLANOS TORNILLO EXTRUSOR	70
ANEXO 9. PLANOS BOQUILLAS	72
ANEXO 10. PLANOS CAMISA	74
ANEXO 11. PLANOS MALLA	76
ANEXO 12. PLANOS TOLVA CÓNICA	78
ANEXO 13. PLANOS ABRAZADERA	80
ANEXO 14. PLANOS MOTOR ELÉCTRICO	82
ANEXO 15. PLANOS RESISTENCIAS TÉRMICAS	84
ANEXO 16. PLANOS TABLERO DE CONTROL	86
ANEXO 17. PLANOS SOPORTE O BASE	88
ANEXO 18. PLANOS DESPIECE DE LA MAQUINA EXTRUSORA	90
ANEXO 19. MANUAL DE OPERACIÓN	92
ANEXO 20 COSTOS DE FABRICACIÓN	94
ANEXO 21 ITEMS PARA LA SEGURIDAD DEL OPERARIO	96
ANEXO 22 MANTENIMIENTO DE LA MAQUINA	98

RESUMEN

Este proyecto se realizó con el fin de fabricar filamentos de material termoplástico, ya que en la actualidad la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Santo Tomas Tunja cuenta con un proyecto de investigación que busca fabricar una impresora 3D, para producir objetos en plástico, por lo tanto es necesario tener una maquina extrusora, que elabore el material de aporte para la impresión de los mismos.

Ya que el costo de estos filamentos es muy alto, una máquina extrusora de este tipo permite a la Universidad minimizar costos de experimentación y producción de objetos plásticos impresos, que facilite tareas como la obtención de filamentos de plástico para la impresora 3D, así como también se pueden obtener piezas de este material directamente de esta máquina según se requiera.

La investigación se realizó con el fin de desarrollar una máquina extrusora que logre producir filamentos de plástico de diferentes diámetros, y pueda solucionar los problemas que tiene la Universidad al momento de adquirir este tipo de material. Por esta razón se diseñó y construyó una extrusora con el fin de ser implementada en el laboratorio de Ingeniería Mecánica para la práctica de extrusión de materiales así como la obtención de dichos filamentos.

La máquina se diseñó para extruir materiales termoplásticos que tengan propiedades químicas y físicas definidas. La máquina cumple con todos los requerimientos propuestos, como lo son la producción de material a una razón de 10 kilos/hora, su fácil manejo, la fabricación de filamentos de 1.75mm y 3 mm de diámetro, temperatura de trabajo y las dimensiones de la máquina.

INTRODUCCIÓN

La extrusión es un proceso industrial continuo, su fin es el de realizar productos extruidos forzando al material plástico a través de boquillas de conformado, la extrusora de plastificación tiene 3 funciones comprimir el material, fundir el material en una mezcla homogénea, desarrollar presión que supere la resistencia al flujo del material.

Existen extrusoras de tornillos simples (un solo husillo), de tornillos dobles y triples pero en este caso se enfocó en una extrusora de tornillo simple la cual es la más adecuada para extruir material termoplástico.

En la extrusora de tornillo simple el material pasa por 3 zonas las cuales son necesarias para que el material pueda ser extruido eficazmente, las 3 zonas por las que pasa el material son zona de alimentación, compresión, y fundido.

En zona de alimentación el material es introducido por medio de un canal de alimentación hacia la camisa de la extrusora para comenzar así su posterior compresión y fundido.

En la zona de compresión la profundidad del canal del tornillo disminuye logrando así la compresión del material y por ende una mayor presión, para así después pasar al proceso de fundido, la cual es la última etapa por la que el material pasa antes de ser totalmente extruido.

El material para la fabricación de husillo o tornillo debe ser un acero para herramientas con el cual se pueda trabajar en caliente para esto existen varios aceros como el SAE 1212 (referencia autores, ver anexo 6), en sus diferentes clasificaciones el cual es el más conveniente para este tipo de trabajo.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA PARA LA FABRICACIÓN DE FILAMENTOS TERMOPLÁSTICOS PARA IMPRESORA 3D

1. MARCO TEÓRICO

1.1 MARCO CONCEPTUAL

1.1.1 Extrusión. La extrusión de polímeros es un proceso industrial, basado en el mismo principio de la extrusión general, sin embargo la ingeniería de polímeros ha desarrollado parámetros específicos para el plástico, de manera que se estudia este proceso aparte de la extrusión de metales u otros materiales.

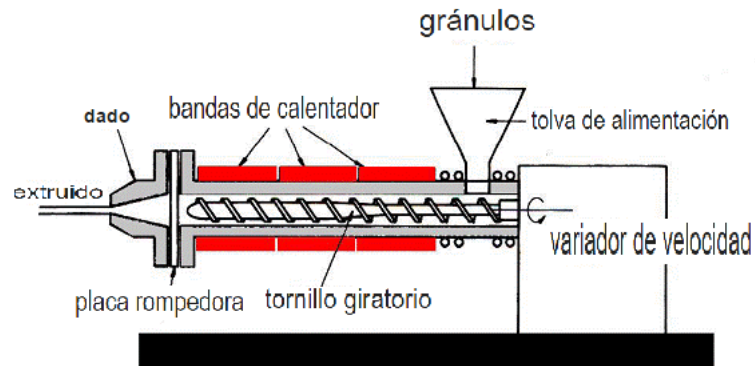
El polímero fundido es forzado a pasar a través de un dado también llamado boquilla, por medio del empuje generado por la acción giratoria de un husillo (tornillo de Arquímedes) que gira concéntricamente en una cámara a temperaturas controladas llamada camisa, con una separación milimétrica entre ambos elementos. El material polimérico es alimentado por medio de una tolva en un extremo de la máquina y debido a la acción de empuje se funde, fluye y mezcla en el cañón y se obtiene por el otro lado con un perfil geométrico preestablecido.¹

En la extrusión el material plastificado fluye por una boquilla que lo conforma y el enfriamiento se efectúa a la salida de la misma, en contacto con el aire, agua o una superficie fría. El método es continuo y proporciona perfiles macizos o huecos de sección transversal constante, que se cortan en largos estandarizados. La función de la máquina de extrusión (Figura 1), es fundir y mezclar la alimentación (pellets) y bombearla o empujarla hacia fuera a través de una boquilla o dado a velocidad uniforme. El producto debe ser enfriado tan rápidamente como sea posible, por lo general en un baño de agua.²

¹ GÓMEZ, GÓMEZ, Jimmy: diseño de una extrusora para plásticos. Pereira, 2007, pág. 16. Trabajo de grado (Tecnólogo Mecánico). Universidad tecnológica de Pereira. facultad de tecnologías escuela de tecnología mecánica. Disponible en http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/1048/1/digital_18515.pdf.

² UNIVERSIDAD DE OVIEDO. Métodos de procesado. extrusión [en línea en] <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/AP.T7.1MPyC.Tema7.MetodosProcesado.Extrusion.pdf> [citado en 19 de octubre de 2015].

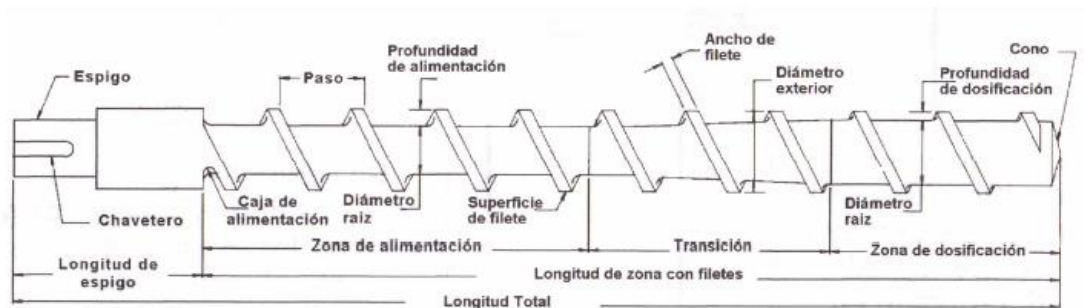
Figura 1. Máquina de extrusión



Fuente. <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/AP.T7.1-MPyC.Tema7.MetodosProcesado.Extrusion.pdf>

La máquina está constituida principalmente por un tornillo de Arquímedes que se ajusta con precisión dentro de la camisa cilíndrica, apenas con el espacio suficiente para rotar. El polímero sólido se alimenta en un extremo y en el otro sale el material sometido a extrusión ya perfilado. Dentro de la máquina el polímero se funde y homogeniza.³

Figura 2. Características del husillo



Fuente. http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/1048/1/digital_18515.pdf.

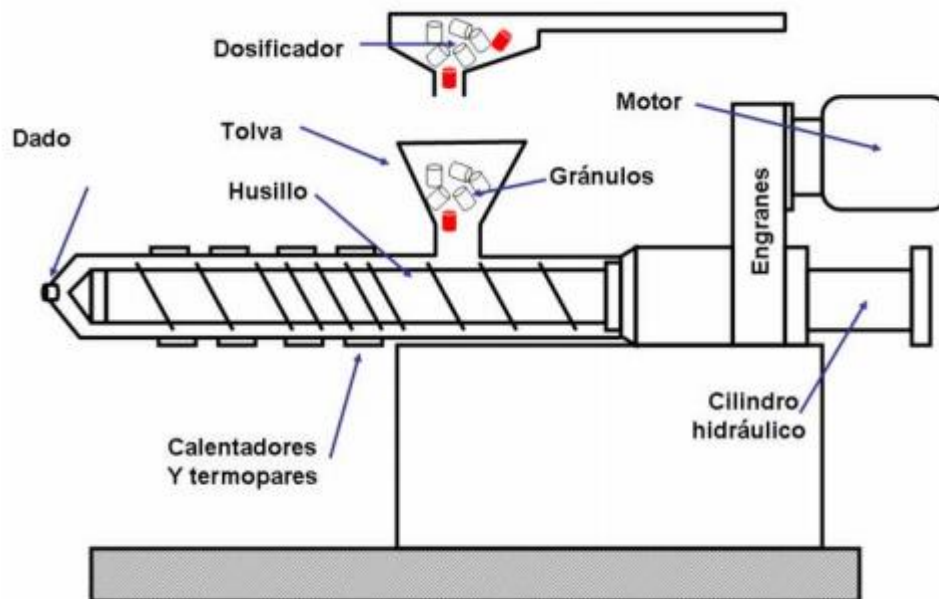
³ GÓMEZ GÓMEZ, Jimmy: diseño de una extrusora para plásticos. Pereira, 2007, pág. 16. Trabajo de grado (Tecnólogo Mecánico). Universidad tecnológica de Pereira. facultad de tecnologías escuela de tecnología mecánica. Disponible en http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/1048/1/digital_18515.pdf.

1.1.2 Extrusora de tornillo simple. Estas máquinas constan de un motor y un variador de velocidad para adecuar el giro del expulsor. El expulsor comprende un tornillo que rota dentro de una camisa que por medio de transferencia de calor producidas por las resistencias eléctricas eleva su temperatura.

El plástico en forma de gránulos, polvo o tiras, es alimentado constantemente desde una tolva situada sobre el cuerpo, el material pasa por un embudo al cilindro y a medida que avanza es calentado, mezclado y comprimido; y, cuando ha conseguido una consistencia moldeable, pasa a través de las boquillas u orificio formador. La posición del cilindro y del tornillo es independiente en el proceso de extrusión. Por ello se utilizan las extrusoras verticales cuando se tienen espacios reducidos o cuando se requieren acoplar varias máquinas para elaborar productos constituidos por varios componentes.

Cuando se requiere una gran producción se utilizan extrusoras de varios husillos. La disposición y el número de dichos husillos es variada. En la mayoría de los casos los tornillos se encuentran mutuamente engranados, entrando las espiras de uno en el canal del otro, con lo que se logra el movimiento obligado del material y el auto limpieza de los husillos.⁴

Figura 3. Diseño genérico de una maquina extrusora.



⁴ MARIANO. Tecnología de los plásticos II [en línea en] <http://tecnologiadelosplasticos.com.co/2011/06/abs.html> [citado en 19 de octubre de 2015].

Fuente.

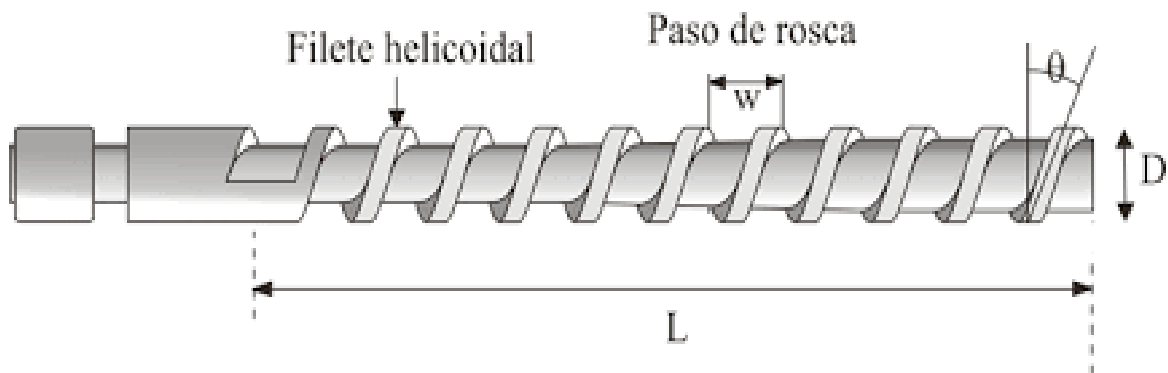
http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/1048/1/digital_18515.pdf

1.1.3 Componentes de la extrusora.

Tornillo de extrusión. El tornillo o husillo consiste en un cilindro largo rodeado por un filete helicoidal (figura 4), el tornillo es una de las partes más importantes puesto que es el encargado de realizar funciones de transporte, calentar, fundir y mezclar el material. La estabilidad del proceso y la calidad del producto a realizar dependen en gran parte al diseño del tornillo. Los parámetros más importantes al diseñar el tornillo son su longitud, diámetro, ángulo del filete y el paso de rosca.

El material se va presurizando a medida que avanza por el tornillo, comenzando con presión atmosférica en la tolva y aumentando hasta la salida por la boquilla. La sección de paso por la boquilla no es constante, si no que va aumentando en la zona de alimentación (mayor profundidad del canal).

Figura 4. Tornillo extrusor.



Fuente: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1110/1/668413G633d.pdf>

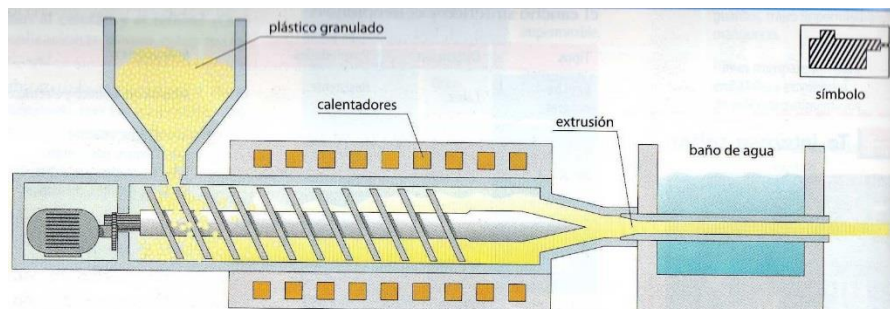
El material se va presurizando a medida que avanza por el tornillo, comenzando con presión atmosférica en la tolva y aumentando hasta la salida por la boquilla. La sección de paso por la boquilla no es constante, si no que va aumentando en la zona de alimentación (mayor profundidad del canal).

Los materiales termoplásticos que se utilizan en el proceso de extrusión difieren radicalmente entre sí. La elasticidad, calor específico, coeficiente de fricción, temperatura de fusión, viscosidad del fundido, entre otras propiedades físicas,

cumplen un amplio rango de valores y puesto que cada una de estas propiedades tienen una gran importancia al momento de diseñar un tornillo, es necesario utilizar diferentes tipos de tornillos para trabajar adecuadamente cada tipo de material. En la práctica es muy raro que un tornillo sea adecuado para trabajar distintos materiales, por lo tanto cada tornillo se diseña o elige para trabajar con una relación entre boquilla/material.⁵

Cilindro. El cilindro de calefacción alberga en su interior el tornillo como se muestra en figura 5. La superficie del cilindro debe ser rugosa para aumentar las fuerzas de cizalla que soporta el material y permitir que este fluya a lo largo de la extrusora. Para evitar la corrosión y el desgaste mecánico, el cilindro suele construirse de aceros muy resistentes a altas temperaturas como los aceros austeníticos y en algunos casos viene equipado con revestimiento bimetálico que le confiere una elevada resistencia a la corrosión.

Figura 5. Cilindro de calefacción de la extrusora



Fuente. <http://www.plastico.com/temas/Nuevos-conceptos-y-disenos-de-extrusoras-monohusillo-impactan-el-area-de-extrusion+3010239>

El cilindro posee sistemas de transferencia de calor. El calentamiento se puede realizar mediante resistencias eléctricas situadas en toda su longitud, y también aunque es menos usual, mediante radiación o encamisado con fluidos refrigerantes o calefactores. El cilindro se divide en varias zonas, al menos 3, con control independiente de temperatura en cada una de ellas que permite conseguir un gradiente de temperatura razonable desde la tolva hasta la boquilla.

⁵ M. Beltrán y A. Marcilla. Tecnología de polímeros. Tema 4. Extrusión. Pág. 8 [en línea en] <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf> [citado en 14 de enero de 2016].

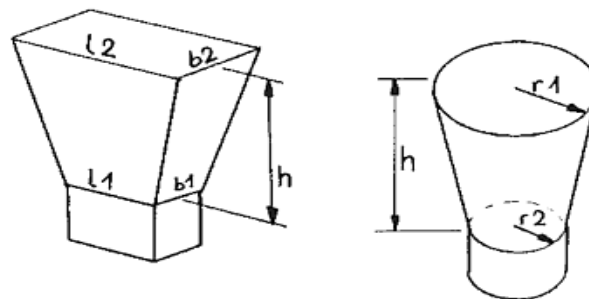
El cilindro debe enfriarse si como consecuencia de la generación interna de calor originada por la cizalla a la que se somete el plástico rebasa la temperatura ideal del proceso (esto ocurre generalmente). El enfriamiento se puede realizar con líquidos, estos tienen una mayor capacidad de eliminar calor que el aire, pero la temperatura es más difícil de controlar. Normalmente se usan soplantes, hay que tener en cuenta que los sensores de temperatura están localizados en la superficie del cilindro, por lo que la temperatura del material va a hacer siempre superior a la que indican los sensores.⁶

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 del plástico, 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 (ver figura 5), y suele estar desplazada del eje del tornillo para facilitar la caída del material a la máquina.⁷

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 (figura 6). Se diseñan con un volumen que permita albergar material para 2 horas de trabajo.

Figura 6. Tipos de tolvas



Fuente. <http://www.sci.unal.edu.co/scielo.php/proceso-de-fabricacion-de-metales-por.html>

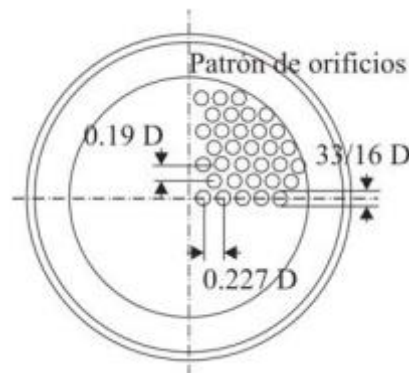
⁶ Ibíd. pág. 9

⁷ Ibíd. pág. 10

Plato rompedor y filtros. El plato rompedor se encuentra al final del cilindro. Se trata de un disco delgado de metal con agujeros, como se muestra en la figura 7. 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.

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.⁸

Figura 7. Plato rompedor.



Fuente. <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

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. En la figura 8 se muestra un sistema cabezal-boquilla de forma anular. En la figura 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

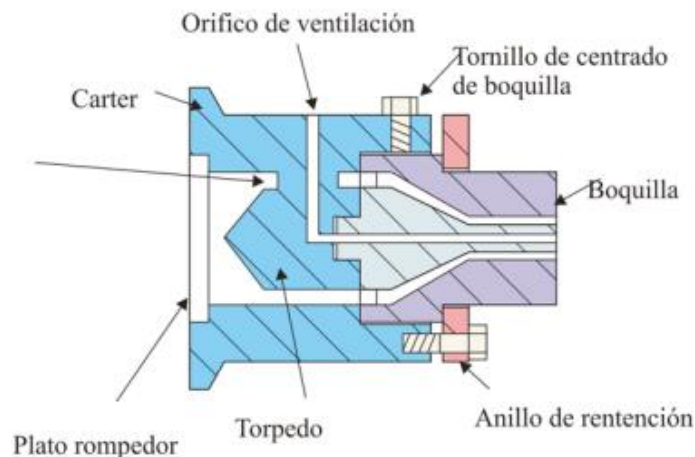
⁸ M. Beltrán y A. Marcilla. Tecnología de polímeros. Tema 4. Extrusión. Pág. 12 [en línea en] <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf> [citado en 18 de enero de 2016].

constante. La función de la boquilla es la de moldear el plástico. Las boquillas se pueden clasificar por la forma del producto, teniendo así:

- ✓ **Boquillas anulares:** se utiliza para la fabricación de tuberías o recubrimientos de materiales cilíndricos.
- ✓ **Boquillas planas:** son utilizadas para obtener planchas y láminas.
- ✓ **Boquillas circulares:** con las que se obtienen fibras y productos de forma cilíndrica.⁹

Las dimensiones de la boquilla no son exactamente las mismas que las del producto extruido. Hay varias razones para ello: la forma en que se recibe el material, el enfriamiento y el fenómeno de relajación contribuyen a que el material cambie de tamaño e incluso de forma; todas ellas serán discutidas posteriormente.

Figura 8. Boquilla y Cabezal.



Fuente. <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

Excepto para las boquillas circulares es prácticamente imposible fabricar una boquilla en la que la geometría del canal sea tal que la boquilla puede ser empleada para un número amplio de materiales y de condiciones de operación. En cualquier caso el diseño de la boquilla debería tener en cuenta en la medida de lo posible una

⁹ Ibid. pág. 13

serie de consideraciones como son emplear radios amplios en todas las esquinas, evitar canales pequeños y partes profundas.¹⁰

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

El movimiento del tornillo genera sobre el fluido la presión necesaria para hacerle salir por la boquilla, en donde toma la forma deseada. Al salir de la boquilla el perfil extruido es enfriado, cortado o enrollado y almacenado.

A los extrusores alimentados con polímeros sólidos se los llama “extrusores plastificadores”, los cuales realizan las tres operaciones siguientes: transporte de sólidos, fusión o plastificación del polímero y, finalmente, el bombeo o dosificación del polímero fundido.

En extrusores de husillo simple, el polímero atraviesa 3 estados físicos: sólido, mezcla de material sólido con masa caliente y en el extremo del cabezal se transforma en material fundido.¹¹

La finalidad del conjunto tornillo-cilindro es:

- Presurizar el material
- Fundir o plastificar el polímero (calentar),
- Asegurar una mezcla adecuada (homogeneización),
- Actuar como medio de transporte del polímero fundido hacia el dado (Bombear).

Para hacer cada función más eficiente es práctica normal dividir esta parte del extrusor en tres zonas: alimentación, compresión y dosificación. La zona de dosificación va seguida por el cabezal y el dado.

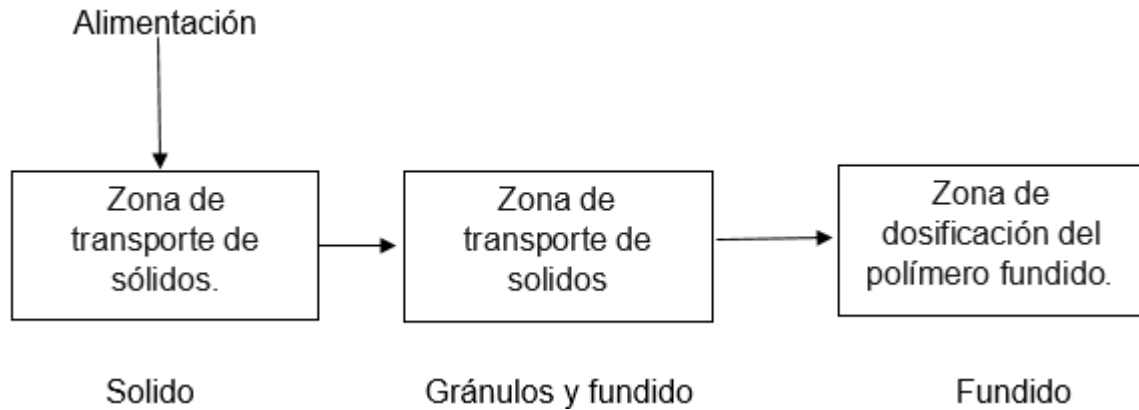
El tornillo de una extrusora tiene uno o dos hilos en espiral a lo largo de su eje que configuran un canal helicoidal de anchura constante, el diámetro medido hasta la parte externa del hilo es el mismo en toda la longitud para permitir un ajuste preciso en la camisa cilíndrica, con una distancia entre ellas apenas suficiente para rotar. El

¹⁰ M. Beltrán y A. Marcilla. Tecnología de polímeros. Tema 4. Extrusión. Pág. 14 [en línea en] <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf> [citado en 18 de enero de 2016].

¹¹ MARIANO. Tecnología de los plásticos II [en línea en] <http://tecnologiadelosplasticos.com.co/2011/06/abs.html> [citado en 19 de octubre de 2015].

núcleo es de diámetro variable, de manera que el canal en espiral varía en profundidad.

Figura 9. Diagrama de bloques de los estados físicos que atraviesa el polímero.



Fuente. Extrusión de plásticos: principios básicos. Luis Francisco Ramos de Valle

En general, la profundidad del canal disminuye desde el extremo de alimentación hasta el extremo del dado aunque existen modificaciones con fines especiales.¹²

Una extrusora de tornillo simple cuenta con las siguientes zonas:

Zona de alimentación: La función de la zona de alimentación es recoger los gránulos de la tolva y transportarlos hacia adelante en el canal del husillo. Al mismo tiempo, los gránulos empiezan a calentarse y a comprimirse a medida que avanzan por el canal del husillo. La profundidad del tornillo es constante y la longitud de esta zona es tal que se produzca una alimentación correcta, ni deficiente ni excesiva, hacia las zonas de delante del tornillo. Esta alimentación varía un poco para los diferentes tipos de polímeros con el fin de obtener una eficiencia óptima.

Zona de transición: Esta zona tiene una profundidad de canal decreciente y tiene diferentes funciones. Primero, se expulsa el aire atrapado entre los gránulos originales (compactación) forzándola a ir hacia atrás (en dirección a la tolva), en segundo lugar, se mejora la transferencia de calor desde las paredes de la camisa

¹² MÉTODOS DE PROCESADO. EXTRUCCION. Materiales, Polímeros y Compuestos [en línea en] <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/AP.T7.1-MPyC.Tema7.MetodosProcesado.Extrusion.pdf> pág. 8-9 [citado en 19 de octubre de 2015].

conforme disminuye el espesor de la capa de material y en tercer lugar, se da el cambio de densidad que ocurre durante la fusión.¹³

Para fundir los gránulos se genera calor internamente por fricción o se aplica calor del exterior por medio de calentadores eléctricos (colocados alrededor del barril), que lo transmiten por conducción, a lo que ayuda la reducción del espesor del material. Se necesita un buen control de la cantidad de calor que se aplica, porque si el material se calienta demasiado se puede degradar o hacer demasiado fluido por otro lado, si el material se enfría demasiado la plastificación será insuficiente además las variaciones en temperatura producen variaciones en el flujo de salida., para aumentar la eficiencia del conjunto cilindro-tornillo en sus diversas funciones, es práctica normal variar la temperatura a lo largo del barril teniendo de dos a seis zonas de calentamiento a lo largo del cilindro y el dado. La fusión de los gránulos debe ocurrir en la zona de compresión para consolidar el plástico u otra posibilidad para incorporar una zona de compresión podría ser un husillo con una longitud de paso decreciente.

Zona de dosificación: Una vez más se encuentra una profundidad de tornillo constante. Su función es la de homogeneizar el material fundido (mezcla distributiva) y con ello suministrar a la región del dado un material de calidad homogénea a temperatura y presión constantes. Así, la función de la zona de dosificación es hacer que la masa de plástico fundido alcance la consistencia y presión requeridas para extrusión. En la zona de dosificación se requiere de una presión relativamente alta para obtener un mejor mezclado del material. Este incremento en la presión se obtiene al imponer restricciones al flujo del plástico fundido, ya sea en la zona de dosificación del husillo o en el cabezal. Esto también se logra al aumentar la viscosidad del plástico (por ejemplo al disminuir la temperatura en ese punto).

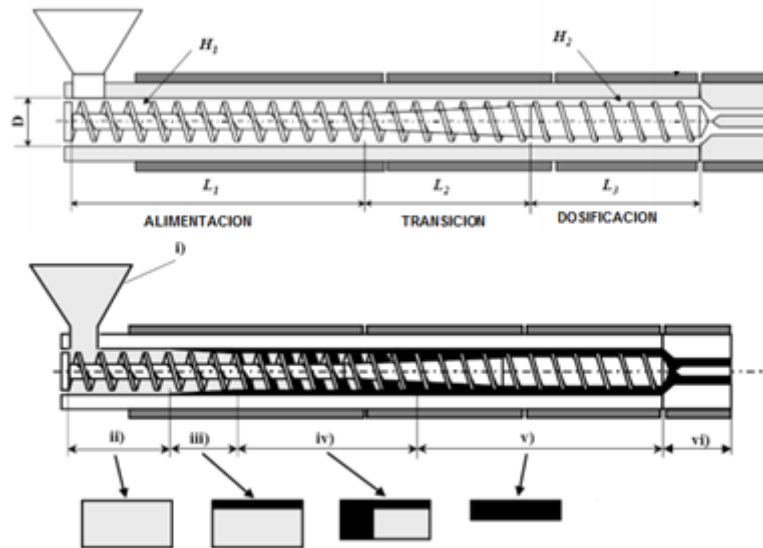
Algunas maneras de imponer restricciones para el flujo del plástico fundido en la zona de dosificación serían:

- Disminución de la profundidad del canal.
- Reemplazar la última parte del husillo por una cabeza restrictiva, que pasa a formar parte del husillo.
- Disminución del ancho del canal.

¹³ Ibid, pág. 12.

- Agua de enfriamiento para el husillo. El enfriamiento del husillo es efectivo por el hecho de enfriar y solidificar la capa de plástico adyacente al husillo, reduciendo así la profundidad efectiva del canal.¹⁴

Figura 10. Etapas del tornillo extrusor.



Fuente. <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/AP.T7.1-MPyC.Tema7.MetodosProcesado.Extrusion.pdf>

1.2 ESPECIFICACIONES DE UNA MAQUINA EXTRUSORA.

1.2.1 Diámetro del cilindro (D): Es representativo del tamaño de la extrusora y afecta en gran medida a la velocidad de flujo. Como se deducirá más adelante, el caudal del material es proporcional al cuadrado del diámetro del tornillo. La mayoría de las extrusoras tiene diámetros comprendidos entre 2 y 90 cm. Para calcular el diámetro del husillo se usa la siguiente ecuación.

Según recomendaciones de "BLOW MOLDING HANDBOOK" la relación entre longitud y diámetro debe ser 20:1. Con la ecuación 1 podemos determinar esta relación.

¹⁴ Ibid, pág. 13

$$D = \text{relacion} = \frac{L}{d} \quad (1)$$

1.2.2 Relación longitud/diámetro (L/D): Para un diámetro de tornillo dado, la capacidad para fundir, mezclar y homogeneizar a una velocidad de giro del husillo determinada, se vuelve creciente al aumentar la longitud del tornillo, y por tanto la relación L/D. Sin embargo tornillos excesivamente largos son difíciles de construir y alinear dentro del cilindro, de modo que no resultan operativos. La relación L/D típica para la extrusión de polímeros termoplásticos varía generalmente entre 20:1 y 30:1.

1.2.3 Relación de compresión: Una definición exacta de este parámetro es “la relación volumétrica de las vueltas del filete en las zonas de alimentación y de dosificado”. Se suele expresar, sin embargo, en términos de la relación de profundidades del canal en ambas zonas, una aproximación que es únicamente válida si el ángulo de los filetes y la anchura del canal se mantienen constantes. Las relaciones de compresión típicas oscilan entre 2.0 y 4.0. Una zona de dosificado de pequeña profundidad (alta relación de compresión) impone mayor velocidad de cizalla sobre el fundido (para una velocidad de tornillo dada), y se asocia también con un gradiente de presión mayor.¹⁵

1.2.4 Numero de filetes. Los filetes, que recorren el husillo de un extremo al otro, son los impulsores del material a través del extrusor. Las dimensiones y formas que éstos tengan, determinará el tipo de material que se pueda procesar y la calidad de mezclado de la masa al salir del equipo.¹⁶ Con la ecuación 2 podemos determinar la cantidad de filetes que debe llevar el tornillo es la siguiente.

$$\text{Numero de filetes} = \frac{L}{D} \quad (2)$$

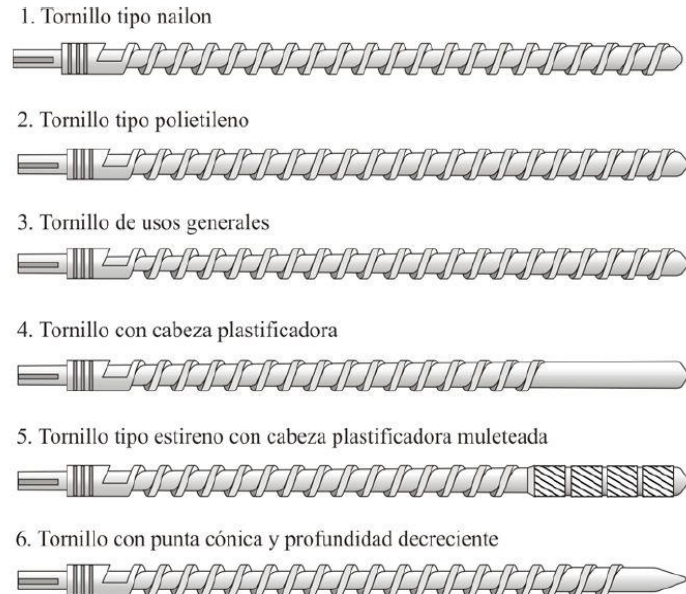
1.2.5 Configuración del tornillo: es un aspecto de gran importancia. La elección definitiva del número y del diseño geométrico de las zonas del tornillo es un proceso complejo. Esta decisión depende no solo del diseño de la boquilla y de las velocidades de flujo esperadas, sino también de las características de fusión del polímero, de su comportamiento reológico y de la velocidad del tornillo. Un tornillo simple, de tres zonas, se define usualmente según el número de vueltas de hélice

¹⁵ M. Beltrán y A. Marcilla. Tecnología de polímeros. Tema 4. Extrusión. Pág. 16 [en línea en] <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf> [citado en 19 de enero de 2016].

¹⁶ MARIANO. Tecnología de los plásticos II [en línea en] <http://tecnologiadelosplasticos.com.co/2011/06/abs.html> [citado en 19 de octubre de 2015].

en las zonas de alimentación, compresión y dosificado. Un ejemplo de diferentes configuraciones de tornillo se muestra en la figura 9.¹⁷

Figura 11. Tipos de tornillos



Fuente <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

1.2.6 Angulo de hélice. Es el ángulo de los filetes respecto al eje del tornillo, el cual es el que permite que el tornillo pueda arrastrar el material, entre mayor sea el ángulo del filete mayor va a ser su capacidad de arrastre. Con la ecuación 3 se va a calcular este ángulo.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{1}{\pi} \quad (3)$$

1.2.7 Tolerancia tornillo/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 $0,002D$.¹⁸

¹⁷ Ibid pág. 16

¹⁸ GÓMEZ, GÓMEZ, Jimmy: diseño de una extrusora para plásticos. Pereira, 2007, pág. 16. Trabajo de grado (Tecnólogo Mecánico). Universidad tecnológica de

Según el soviético SAUGORONDY, para usillos de diámetro constante se usa la ecuación 4 para hallar dicha tolerancia.

$$\delta = 0.002 \times D \quad (4)$$

1.2.8 Ancho del filete. Para SAUGORONDY el ancho del filete se puede calcular por medio de la ecuación 5 la cual es la que permite determinar el grosor del filete.

$$e = 0.12 \times D \text{ (Ecuacion de SAUGORONDY)} \quad (5)$$

1.2.9 Paso del husillo. El paso de la hélice del husillo es la distancia que hay entre punta o cresta de la hélice, con la de la siguiente hélice. Con la ecuación 6 podemos calcular dicha distancia.

$$t = \pi \times D \times \tan \theta \quad (6)$$

1.2.10 Longitudes de las zonas del husillo. El tornillo de extrusión tiene diferentes zonas, en las cuales las longitudes no son iguales puesto que en cada una el material sufre un cambio de estado físico. Según SAUGORONDY, las ecuaciones 7,8 y 9 son las indicadas para calcular las longitudes de las zonas del husillo son:

- **Zona de alimentación:**

$$l_1 = \frac{L}{2} \quad (7)$$

- **Zona de compresión:**

$$l_2 = \frac{L}{4} \quad (8)$$

- **Zona de dosificación:**

$$l_3 = \frac{L}{4} \quad (9)$$

Pereira. facultad de tecnologías escuela de tecnología mecánica. Disponible en http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/1048/1/digital_18515.pdf.

1.2.11 Profundidad del canal. La profundidad del canal es la longitud que tiene la hélice desde su cresta hasta el pie, es muy importante porque con esta podemos determinar la cantidad de material que el tornillo puede extruir.

Si en la zona de alimentación el diámetro es mayor a 0.03 m, la profundidad del canal se define por la ecuación 10.

$$H = 0.15 \times D \quad (10)$$

1.2.12 Paso de la rosca. El poso de la rosca es la distancia que hay entre cresta y cresta de las hélices, es muy importante porque a menor paso más número de hélices vamos a tener en el husillo y por lo tanto mayor capacidad de arrastre.

Con la ecuación 11 podemos determinar el paso de la rosca según SAUGORONDY y fabricantes de este tipo de extrusoras.

$$W = \pi \times D \times \tan\theta \quad (11)$$

1.2.13 Revoluciones del husillo. Ya que sabemos que la velocidad de cortadura “ y ” es de 100 (Hz, 1/s), la cual es la más recomendada puesto que a esta velocidad las propiedades físicas y químicas del material a extruir aún se conservan, podemos determinar las revoluciones del tornillo por las ecuaciones 12 y 13.

$$y = \frac{\pi \times D \times \eta}{h_2 \times 1s} \quad (12)$$

Despejando η de la anterior ecuación tenemos que:

$$\eta = \frac{y \times h^2 \times 1s}{\pi \times D} \quad (13)$$

Como necesitamos que las unidades queden en rpm para efectos de cálculos del motor, realizamos el siguiente cálculo.

$$\eta = \frac{rev}{s} \times \frac{60s}{1 min} \quad (14)$$

1.2.14 Relación de compresión. Al diseñar un tornillo extrusor, es importante conocer la relación de compresión ya que con esta podemos determinar los problemas de degeneración, debidos a la profundidad del canal o a la velocidad de giro del tornillo, estos nos muestra la fuerza que tienen que soportar los alabes y se podrá evitar trabajo sobre esfuerzo.

La relación de compresión se determina por la ecuación 15.

$$\beta_1 = \frac{h_1}{h_2} \quad (15)$$

1.2.15 Potencia requerida. La potencia es la rapidez con la que se realiza un trabajo, según el soviético SAUGORONDY podemos hallar la potencia con la ecuación 16 y 17.

$$\eta = \frac{k^2 \times P}{\pi \times D^3} \quad (16)$$

Donde k es el factor de proporcionalidad según SAUGORONDY, del cual se tomó para k un valor de 66.7.

Despejando la potencia “P” tenemos lo siguiente.

$$P = \frac{\eta \times \pi \times D^3}{k^2} \quad (17)$$

1.2.16 Flujo de arrastre. El flujo de arrastre es la capacidad que tiene el tornillo de arrastras material hacia la boquilla. Según los fabricantes las ecuaciones 18 y 19 sirve para determinar este flujo.

$$\alpha = \frac{\left(\pi \times m \times D \times h \left(\frac{t}{m} - e \right) \times \cos^2 \varphi \right)}{2} \quad (18)$$

Como el número de canales “ m ” que va a tener el husillo es 1 tenemos que:

$$\alpha = \frac{(\pi \times D \times h (t - e) \times \cos^2 \varphi)}{2} \quad (19)$$

1.2.17 Flujo volumetrico. El flujo volumetrico reúne los tres flujos presentes en este tipo de extrusoras de tornillo simple flujo de arrastre, flujo de presión, flujo de filtrado con el fin de determinar la cantidad de material extruido en un determinado lapso de tiempo. La ecuación 20 nos ayudara a determinar dicho flujo.

$$Q = \left(\frac{\alpha \times k}{k \times \beta \times \gamma} \right) \times \eta \quad (20)$$

α : flujo de arrastre

β : flujo de presión

γ : flujo de filtrado

η : constante de la cabeza del perfil

1.2.18 Flujo de presión. Con las ecuaciones 21 y 22 hallaremos el valor para este tipo de flujo.

$$\beta_2 = \frac{m \times h^3 \left(\frac{t}{m} - e \right) \times \sin \varphi \times \cos \varphi}{12 \times L} \quad (21)$$

L: longitud del husillo.

Como $m = 1$ entonces.

$$\beta_2 = \frac{h^3 (t - e) \times \sin \varphi \times \cos \varphi}{12 \times L} \quad (22)$$

1.2.19 Flujo de filtración. La ecuación 23 se utiliza para hallar dicho valor.

$$\gamma = \frac{\pi^2 \times D^2 \times \delta^2 \times \tan \varphi}{(10 \times e \times L)} \quad (23)$$

1.2.20 Constante total del cabezal. Para una extrusora de este tipo para poder determinarla constante total del cabezal “k” se dividen las zonas con distintas configuraciones según el soviético SAUGORONDY.

Las ecuaciones 24 y 25 determinarán el valor de la constante total del cabezal.

- **Para boquilla circular sencilla.**

$$k = \frac{\pi \times \left(\frac{d}{2} \right)^4}{8 \times L} \quad (24)$$

- **Boquilla de diámetros d_0 y d_1 para obtención de varillas.**

$$k = \frac{3 \times \pi \times d_0^3 \times d_1^3}{180 \times L \times (d_0^2 + (d_0 \times d_1) + d_1^2)} \quad (25)$$

1.3 FUNCIONES DE UNA MAQUINA EXTRUSORA.

Las principales funciones de una extrusora son:

- Recibir y almacenar el polímero.
- Transportar el material sólido.
- Calentar y comprimir el polímero
- Homogenizar.
- Generar la presión necesaria para la obtención del producto final.
- Extruir el semielaborado.

1.4 TÉCNICAS DE EXTRUSIÓN

La clasificación general de las distintas técnicas para extrusión de polímeros son las siguientes:

1.4.1 Extrusión con un sólo husillo: Extrusores convencionales o típicos, extrusores con ventilación (o venteo) o desgasificación extrusores co-mezcladores.

1.4.2 Extrusores sin husillo: Bombas, extrusores de discos.

1.4.3 Extrusores de husillo múltiple: Extrusores de doble husillo, husillos que no engranan, husillos que engranan, rotación en el mismo sentido, rotación en sentido inverso, extrusores con más de dos husillos, rodillos planetarios, de 4 husillos (construcción particular para cada máquina).¹⁹

1.5 EL ABS

Es el nombre dado a una familia de termoplásticos. Se le llama plástico de ingeniería, debido a que es un plástico cuya elaboración y procesamiento es más complejo que los plásticos comunes, como son las polioleofinas (polietileno, polipropileno). El acrónimo deriva de los tres monómeros utilizados para producirlo: acrilonitrilo, butadieno y estireno. Por estar constituido por tres monómeros diferentes se lo denomina terpolímero (copolímero compuesto de tres bloques).

Los bloques de acrilonitrilo proporcionan rigidez, resistencia a ataques químicos y estabilidad a alta temperatura así como dureza. Los bloques de butadieno, que es un elastómero, proporcionan tenacidad a cualquier temperatura. Esto es especialmente interesante para ambientes fríos, en los cuales otros plásticos se vuelven quebradizos. El bloque de estireno aporta resistencia mecánica y rigidez.

¹⁹ Ibid pág. 35

Esta mezcla de propiedades, llamada sinergia, indica que el producto final contiene mejores propiedades que la suma de ellos.

Las primeras formulaciones se fabricaban a través de la mezcla mecánica de, o los ingredientes secos, o la mezcla del látex de un caucho basado en butadieno y la resina del copolímero acrilonitrilo-estireno (SAN), estas mezclas tenían varias deficiencias entre las que se puede contar una mala capacidad para ser procesado así como también una falta de homogeneidad.

Para mejorar sus propiedades se fueron incorporando modificaciones en el proceso. El más exitoso de estos consistió en la polimerización del acrilonitrilo-estireno en presencia del caucho. El caucho en un principio tenía un alto contenido en acrilonitrilo y fueron reemplazados por otros con bajo contenido como el polibutadieno, el caucho natural, el caucho estireno butadieno y elastómeros acrílicos. En la actualidad el ABS se produce, preponderantemente, por medio de la polimerización del estireno y el acrilonitrilo en presencia de polibutadieno, quedando como producto una estructura de polibutadieno, conteniendo cadenas de SAN (estireno acrilonitrilo) injertados en él.²⁰

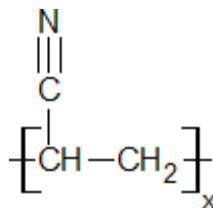
1.5.1 Componentes del ABS. Es un polímero utilizado en la fabricación de fibras sintéticas, se utiliza, por ejemplo, para hacer suéteres y para fabricar telas para carpas.

El poliacrilonitrilo es un polímero vinílico, y un derivado de la familia de los acrilatos poliméricos. Se hace a partir del monómero acrilonitrilo, por medio de una polimerización vinílica por radicales libres.²¹

Figura 12. Molécula de Poliacrilonitrilo

²⁰ MARIANO. Tecnología de los plásticos [en línea en] <http://tecnologiadelosplasticos.com.co/2011/06/abs.html> [citado en 19 de enero de 2016].

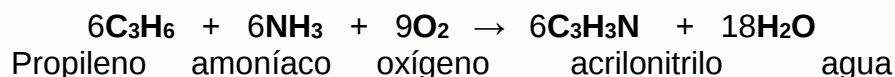
²¹ PARDO CÓRDOBA, Jesús José Mauricio, et al. Modelo de logística inversa para la recuperación y aprovechamiento de residuos plásticos ABS en Cali. [citado en 19 de enero de 2016].



Fuente. <http://http://iq.ua.es/TPO/Tema2.pdf>

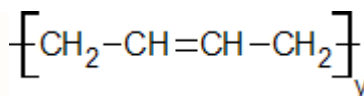
El acrilonitrilo es producido por un método desarrollado en fase vapor en el que se produce la oxidación del propileno y amoníaco con catalizadores.

Catalizador



Polibutadieno. Fue uno de los primeros tipos de cauchos sintético, en ser inventados, es muy similar al caucho natural. Es adecuado para las aplicaciones que requieren exposición a bajas temperaturas. Los neumáticos se hacen a menudo con mezclas de polibutadieno y de otras clases de caucho. El butadieno es un polímero hecho a partir de un monómero que contiene dos dobles enlaces carbono-carbono.

Figura 13. Molécula de Polibutadieno



Fuente. <http://http://iq.ua.es/TPO/Tema2.pdf>

El polibutadieno es el polímero más importante para el procesamiento del caucho sintético. Éste posee propiedades muy semejantes a las del caucho natural y se vende como sustituto de este último. Su importancia surge de la gran disponibilidad de butadieno, su fácil polimerización y copolimerización con otros monómeros y polímeros.

Además, el polibutadieno se mezcla fácilmente con SBR y con el hule natural, lo que amplía más sus aplicaciones. Es la industria de las cubiertas (neumáticos) la que emplea más polibutadieno; sólo el 23% de la producción mundial se utiliza en otros productos.

Especialmente en la banda de rodadura, el polibutadieno tiene un lugar importante, ya que provee alta resistencia al desgaste y menos resistencia a la rodadura que cualquier otro elastómero.

Su principal inconveniente se presenta cuando el piso está mojado. Para eliminar este obstáculo, se suele mezclar con SBR o con caucho natural en cantidades variables según la aplicación.

Así por ejemplo, las cubiertas de los automóviles de pasajeros se fabrican con una mezcla de butadieno con SBR, mientras que las de los camiones por lo general están constituidas por mezclas de polibutadieno con caucho natural.²²

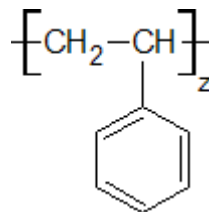
Poliestireno. El poliestireno (PS) es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno. Existen cuatro tipos principales: el PS cristal, que es transparente, rígido y quebradizo; el poliestireno de alto impacto, resistente y opaco, el poliestireno expandido, muy ligero, y el poliestireno extruido, similar al expandido pero más denso e impermeable.

Las aplicaciones principales del PS choque y el PS cristal son la fabricación de envases mediante extrusión-termo formado, y de objetos diversos mediante moldeo por inyección. Las formas expandidas y extruidas se emplean principalmente como aislantes térmicos en construcción y para formar coquillas de protección en los embalajes de objetos frágiles.²³

Figura 14. Molécula de Poliestireno.

²² Caucho polibutadieno. [en línea en] <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/automovil/paginas/polibutadieno.htm> [citado en 19 de enero de 2016].

²³ Poliestireno. [En línea en] <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso13-14/poliestireno/principal.html> [citado en 19 de enero de 2016].



Fuente. <http://iq.ua.es/TPO/Tema2.pdf>

1.5.2 Estructura del ABS. La estructura del ABS es una mezcla de un copolímero vítreo (estireno- acrilonitrilo) y un compuesto elástico principalmente el polímero de butadieno. La estructura con la fase elastómera del polibutadieno (forma de burbujas) inmersa en una dura y rígida matriz SAN.

El ABS es un plástico más fuerte, por ejemplo, que el poliestireno debido a los grupos nitrilo. Estos son polares, así que se atraen mutuamente permitiendo que las cargas opuestas de los grupos nitrilo puedan estabilizarse. Esta fuerte atracción sostiene firmemente las cadenas de ABS, haciendo el material más fuerte. También el polibutadieno, con su apariencia de caucho, hace al ABS más resistente que el poliestireno.

Identificación del ABS. Las partes que están fabricadas del material ABS deben estar marcadas de acuerdo con la norma ISO 11469 (DIN 58840)²⁴

Figura 15. Identificación del ABS.



²⁴ MARIANO. Tecnología de los plásticos [en línea en] <http://tecnologiadelosplasticos.com.co/2011/06/abs.html> [citado en 19 de enero de 2016].

Fuente. <http://http://iq.ua.es/TPO/Tema2.pdf>

1.5.3 Propiedades físicas y mecánicas del ABS.

Los materiales de ABS tienen importantes propiedades en la ingeniería, dada su buena resistencia mecánica combinada con cierta facilidad para el procesado.

La resistencia al impacto de los plásticos ABS se ve incrementada al aumentar el porcentaje de contenido en butadieno pero sin embargo disminuyen las propiedades de resistencia a la tensión y disminuye también la temperatura de deformación por calor. Las grandes propiedades que tiene el ABS son resultado de la aportación de sus tres componentes:

- El acrilonitrilo proporciona: Resistencia térmica, resistencia química, resistencia a la fatiga y dureza y rigidez.
 - El butadieno proporciona: Ductilidad a baja temperatura, resistencia al impacto y resistencia a la fusión.
 - El estireno proporciona: Facilidad de procesado (fluidez), brillo, dureza y rigidez.
-
- **Propiedades:**
 - Densidad: 1,03 a 1,38 g/cm³
 - Módulo de elasticidad (Young): 1.7 a 2.8 GPa
 - Elongación a la rotura: 3% al 75%
 - Módulo de flexión: 2.1 a 7.6 GPa
 - Resistencia a la flexión: 69 a 97 MPa
 - Temperatura de transición vítrea: 100°C
 - Temperatura de deflexión del calor (a 455 kPa): 84 a 118°C
 - Capacidad calorífica específica: 1080 a 1400 J/kg-K
 - Relación fuerza-peso: 31 a 80 kN-m/kg
 - Resistencia a la tracción (UTS): 33 a 110 MPa
 - Expansión térmica: 83 a 95 µm/m-K ²⁵

²⁵ HXX. Materiales de impresión 3D (II): ABS (acrilonitrilo butadieno estireno). [en línea en] <http://hxx.es/2015/03/23/materiales-de-impresion-3d-ii-abs-acrilonitrilo-butadieno-estireno/> [citado en 19 de enero de 2016].

1.6 ESTADO DE LA TÉCNICA

1.6.1 Tipos de extrusora. Existen varios tipos las cuales permiten extruir diferentes tipos de material, como son las extrusoras de un solo husillo, de husillo doble, de dislocamiento positivo etc. Las cuales señalaremos brevemente a continuación.

1.6.1.1 Extrusores de un solo husillo. Los extrusores más comunes utilizan un solo husillo en el cañón. Este husillo tiene comúnmente una cuerda, pero puede tener también 2 y este forma canales en los huecos entre los hilos y el centro del husillo, manteniendo el mismo diámetro desde la parte externa del hilo en toda la longitud del husillo en el cañón.

La división más común para extrusores de un sólo husillo consiste en 4 zonas, desde la alimentación hasta la salida por el dado del material.

- **Zona de alimentación:** En esta parte ocurre el transporte de gránulos sólidos y comienza la elevación de temperatura del material.
- **Zona de compresión:** En esta zona, los gránulos de polímero son comprimidos y están sujetos a fricción y esfuerzos cortantes, se logra una fusión efectiva
- **Zona de distribución:** Aquí se homogeniza el material fundido y ocurren las mezclas.
- **Zona de mezcla:** En esta parte que es opcional ocurre un mezclado intensivo de material, en muchos casos no se aconseja porque puede causar degradación del material.

Los husillos pueden tener también dentro de algunas de sus zonas principales elementos dispersivos y elementos distributivos.

- **Distribución:** Logra que todos los materiales se encuentren igual proporción en la muestra.
- **Dispersión:** Logra que los componentes no se aglomeren sino que formen partículas del menor tamaño posible.²⁶

²⁶ TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS. Extrusión de materiales plásticos II [en línea en] <http://tecnologiadelosplasticos.com.co/2011/05/extrusion-de-materiales-plasticos-ii.html> pág. 1 [citado en 18 de enero de 2016].

1.6.1.2 Extrusores de husillo doble. Los extrusores de doble husillo proporcionan un empuje mucho mayor que el de un sólo husillo, aceleraciones de material mucho mayores, esfuerzos cortantes relativamente altos y mezclado intensivo. Para algunos materiales este proceso es demasiado agresivo, por lo cual resulta inadecuado, existe la creencia de que los concentrados de color se realizan en su mayoría en este tipo de extrusores, sin embargo, la mayoría de los pigmentos sufren degradación debida a las condiciones tan agresivas del proceso, por ello, la mayoría de los fabricantes de concentrados utilizan un cañón largo de un solo husillo.

Existen 2 tipos de doble husillo: los que engranan y los que no engranan, de los que engranan existen dos posibilidades, los co-rotativos y los contra rotativos, según las direcciones en las que estos giran.

El flujo generado en un doble husillo que engrana y es contra rotativo genera un flujo en forma de C el cual tiene las características de un bombeo positivo, disminuyendo drásticamente la influencia de la viscosidad del material para su transporte y generando un bombeo muy eficiente. Las desventajas de este proceso es que los husillos son empujados por el material hacia las paredes del cañón, lo que evita el uso de altas velocidades; también existe el problema del mezclado ineficiente, mientras más rápido se transporta el material, menos eficiente es el mezclado.

En los husillos que si engranan y son co-rotativos, el flujo tiene mayor dependencia en la viscosidad del material, aunque mucho menor que en los extrusores de un solo husillo. En este tipo de arreglo los husillos no son empujados hacia la pared del cañón, por ello se permiten altas velocidades, además el material pasa de un husillo a otro logrando un flujo alternante que ayuda a una mezcla más homogénea.²⁷

Para que sea realizado el proceso de extrusión, es necesario aplicar presión al material fundido, forzándolo a pasar de modo uniforme y constante a través de la matriz. Atendiendo a estos requisitos, las máquinas extrusoras se clasifican en: extrusoras de desplazamiento positivo y extrusoras de fricción.

1.6.1.3 Otros tipos de extrusoras.

Extrusoras de desplazamiento positivo. Se obtiene la acción de transporte mediante el desplazamiento de un elemento de la propia extrusora. En la matriz la reología del polímero tiene mayor influencia sobre el proceso.

Extrusora de pistón (inyectora). Un pistón, cuyo accionamiento puede ser hidráulico o mecánico, fuerza al material a pasar a través de la matriz. Es utilizada para la extrusión de polímeros termofijos, poli tetrafluoretileno, Polietileno de Alta

²⁷ Ibid, pág. 1.

Densidad de Ultra Alto Peso Molecular (PEAD -UAPM), metales y materiales cerámicos.

Extrusoras de fricción. La acción del transporte, conseguida aprovechándose las características físicas del polímero y la fricción de éste con las paredes metálicas transportadoras de la máquina, donde ocurre la transformación de energía mecánica en calor que ayuda a la fusión del polímero. La reología del polímero tiene influencia sobre todo el proceso. Los tipos son: extrusora de cilindros y extrusora de rosca.

Extrusora de cilindros. Consiste, básicamente, en dos cilindros próximamente dispuestos. El material a ser procesado pasa entre estos cilindros y es forzado a pasar por una matriz. Este proceso es utilizado para algunos elastómeros y termoplásticos.²⁸

2. METODOLOGÍA.

En este capítulo se describe paso a paso la metodología empleada para el desarrollo del proyecto.

2.1 ETAPA 1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.

En esta etapa se recopiló información sobre proyectos de investigación relacionados con la extrusión, en libros, web, artículos así como proyectos de otras universidades a nivel nacional como internacional.

2.2 ETAPA 2. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO.

Para garantizar el buen funcionamiento de la maquina se tuvo en cuenta diferentes alternativas de diseño, por lo que se utilizó bocetos y análisis DOFA para determinar así el mejor diseño posible, y cumplir con los requerimientos propuestos.

2.2.1 Parámetros y selección de alternativas.

Tabla 1. Tipos de extrusoras.

EXTRUSORAS	DE UN SOLO HUSILLO
------------	--------------------

²⁸ M. Beltrán y A. Marcilla. Tecnología de polímeros. Tema 4. Extrusión. Pág. 16 [en línea en] <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf> [citado en 19 de enero de 2016].

	DE DOBLE HUSILLO ENGRANADO
	DE DOBLE HUSILLO NO ENGRANADO

Fuente. Autores

Existen varios tipos de extrusoras, que permiten efectuar el trabajo de mezclar y procesar los polímeros, las que se consideran las más importantes o relevantes para este trabajo se detallan en la tabla 1:

2.2.1.1 Selección de la alternativa

Para determinar que el diseño cumpla la mayoría de los requerimientos del material final, se realizaron la selección más conveniente para el diseño planteado de manera que se valorara mediante las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas mencionadas anteriormente.

2.2.1.2 Parámetros de selección

Los principales factores que se deben considerar para la selección de la alternativa más conveniente para el diseño y la fabricación de la máquina extrusora de plástico ABS es:

- Bajo costo de manufactura.
- Facilidad de mantenimiento y operación.
- Obtención de filamentos de 3mm y 1.7mm de diámetro de material ABS.
- Vida útil de los elementos constitutivos.
- Bajo costo de mantenimiento.

2.2.3 Ventajas y desventajas de alternativas. En la tabla número 2 de ventajas y desventajas se analizó cuales son pro y contra de cada alternativa.

Tabla 2: Ventajas y desventajas de las alternativas seleccionadas

ALTERNATIVA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Extrusora de un solo husillo	• Bajo costo de mantenimiento • Construcción sencilla • Las tareas de operación y mantenimiento muy sencillas. • Bajo costo de construcción. • Ideal para el material ABS • Notable capacidad de mezcla	• El torneado es dificultoso, debido a los diferentes diámetros a lo largo del alma. • Material avanza acorde a la extrusora. • No permite una salida uniforme de material por su boquilla.
Extrusor de Doble Husillo Engranado.	• Mayor transporte de material • Notable capacidad de mezcla • Alto nivel de flexibilidad de los procesos • Mejor control de los parámetros de los procesos • Mayor productividad de los procesos	• Costo de fabricación elevado • Costo de producción alto • Precisión en la construcción de los dos husillos para que engranen perfectamente • Estructura poco compacta

ALTERNATIVA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Extrusor de Doble Husillo no Engranado.	• Mayor producción de material extruido. • Extrusión total del material. • Poco material pegado a los husillos y al barril.	• Costo de fabricación elevado • Costo de producción alto • Precisión en la construcción de los dos husillos para que engranen sus filetes perfecto para una buena rotación. • Estructura poco compacta.

Fuente. Autores

2.2.4 Evaluación de alternativas de solución mediante el método ordinal corregido de criterios ponderados. A continuación se realizara un análisis de cada una de las alternativas expuestas anteriormente mediante el método ordinal corregido de criterios ponderados, teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de cada una de estas, damos un valor a cada una de la siguiente forma:

1 = Si el criterio o solución de las filas es superior (o mejor; >) que el de las columnas.

0.5 = Si el criterio o solución de las filas es equivalente (=) al de las columnas.

0 = Si el criterio o solución de las filas es inferior (o peor; <) que le de las columnas.

• **ALTERNATIVAS:**

ALTERNATIVA 1: Extrusora de un solo husillo.

ALTERNATIVA 2: Extrusora de doble husillo engranado.

ALTERNATIVA 3: Extrusora de doble husillo no engranado.

2.2.5 Los criterios de valoración más relevantes de consideración.

- Bajo costo de manufactura.
- Facilidad de mantenimiento y operación.

- Obtención de filamentos de 3mm y 1.7mm de diámetro de material ABS.
- Vida útil de los elementos constitutivos.
- Capacidad de producción.

A partir de estos datos iniciales se procede a través de los siguientes pasos:

2.2.6 Evaluación del peso específico de cada criterio de evaluación. En las tablas 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 le damos valor a cada ítem teniendo en cuenta los siguientes valores.

Obtención de filamentos de 3mm y 1.7mm > Bajo costo de manufactura> Vida útil
> Capacidad de producción> Facilidad de mantenimiento y operación.

Tabla 3: Peso específico de cada criterio de evaluación

criterio	filamentos de 3mm y 1.7mm	Costo de manufactura	Vida útil	Costo de mantenimiento	Facilidad de mantenimiento y operación	$\Sigma + 1$	Ponderación
filamentos de 3mm y 1.7mm	XXX	1	1	1	1	5	0.33
Costo de manufactura	0	XXX	1	1	1	4	0.27
Vida útil	0	0	XXX	1	1	3	0.20
Costo de mantenimiento	0	0	0	XXX	1	2	0.13
Facilidad de mantenimiento y operación	0	0	0	0	XXX	1	0.07
					SUMA	15	1.00

Fuente. Autores

Tabla 4: Evaluación del peso específico del criterio “costo de manufactura “

ALTERNATIVA 1> ALTERNATIVA 2= ALTERNATIVA 3					
CRITERIO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	$\Sigma + 1$	Ponderación

ALTERNATIVA 1	XXX	1	1	3	0,5
ALTERNATIVA 2	0	XXX	0.5	1.5	0,25
ALTERNATIVA 3	0	0.5	XXX	1.5	0,25
			Suma	6	1.00

Fuente. Autores

Tabla 5. Evaluación del peso específico del criterio “Facilidad de mantenimiento y operación”

ALTERNATIVA 1 > ALTERNATIVA 2 > ALTERNATIVA 3					
CRITERIO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
ALTERNATIVA 1	XXX	1	1	3	0,5
ALTERNATIVA 2	0	XXX	1	2	0,333
ALTERNATIVA 3	0	0	XXX	1	0,166
			Suma	6	1.00

Fuente. Autores

Tabla 6. Evaluación del peso específico del criterio “Obtención de filamentos de 3mm y 1.7mm de diámetro de material ABS”

ALTERNATIVA 1 = ALTERNATIVA 2 = ALTERNATIVA 3					
---	--	--	--	--	--

CRITERIO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
ALTERNATIVA 1	XXX	0.5	0.5	2	0,333
ALTERNATIVA 2	0.5	XXX	0.5	2	0,333
ALTERNATIVA 3	0.5	0.5	XXX	2	0,333
			Suma	6	1.00

Fuente. Autores

Tabla 7. Evaluación del peso específico del criterio “Vida útil de los elementos Constitutivos”

ALTERNATIVA 1 = ALTERNATIVA 2 = ALTERNATIVA 3

CRITERIO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
ALTERNATIVA 1	XXX	0.5	0.5	2	0,333
ALTERNATIVA 2	0.5	XXX	0.5	2	0,333
ALTERNATIVA 3	0.5	0.5	XXX	2	0,333
			Suma	6	1.00

Fuente. Autores

Tabla 8. Evaluación del peso específico del criterio “Capacidad de producción”

ALTERNATIVA 1 < ALTERNATIVA 2 = ALTERNATIVA 3

CRITERIO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
ALTERNATIVA 1	XXX	0	0	1	0,166
ALTERNATIVA 2	1	XXX	0.5	2,5	0,416
ALTERNATIVA 3	1	0.5	XXX	2,5	0,416

Fuente. Autores

2.2.7 Evaluación del peso específico de cada criterio de evaluación.

Tabla 9. Conclusiones de cada criterio de evaluación.

ALTERNATIVAS	Bajo costo de manufactura		Obtención de filamentos		Vida útil de los elementos constitutivos		Capacidad de producción		Facilidad de mantenimiento y operación		Σ	Prioridad
	pond	peso	Pond	peso	pond	Peso	pond	peso	pond	peso		
1	0,5	0,33	0,333	0,27	0,333	0,20	0,166	0,13	0,5	0,07	0,378	1
2	0,25	0,33	0,333	0,27	0,333	0,20	0,416	0,13	0,333	0,07	0,316	2
3	0,25	0,33	0,333	0,27	0,333	0,20	0,416	0,13	0,166	0,07	0,305	3

Fuente: Autores

Según la evaluación de criterios ponderados existe una muy pequeña diferencia entre la alternativa 2 y 3, siendo la alternativa 1 (Extrusora de un solo husillo.) la mejor solución para efectuar la operación de extrusión del material ABS. Siendo esta alternativa que suple mejor las necesidades de diseño, ya que en la práctica son los equipos más recomendados para la extrusión de este tipo de polímero, porque con un funcionamiento sencillo y menor costo de fabricación, pueden cumplir con los requerimientos de producción que se necesitan.

NOTA: Se elaboró bocetos de diseño de alternativas, ver anexos 1,2 y 3.

2.3 ETAPA 3. CÁLCULOS DE DISEÑO Y MODELAMIENTO.

En esta parte de la metodología se realizan modelamientos en un software CAD y cálculos mecánicos del diseño seleccionado en la anterior etapa, teniendo en cuenta las especificaciones que se establecieron para la elaboración de la maquina extrusora.

2.4 ETAPA 4. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.

Se fabricaron los diferentes componentes de la extrusora tales como:

El tornillo extrusor, tolva, boquillas, camisa del tornillo extrusor, y se adquirieron en el mercado elementos como: resistencia eléctricas, sensores de temperatura, motor eléctrico, y demás partes las cuales fueron ensambladas posteriormente a una base de ángulos de lámina, garantizando así la seguridad y bienestar de la maquina como del personal que la esté operando.

2.5 ETAPA 5. PRUEBAS.

Se realizaron pruebas de funcionamiento, producción, las cuales arrojaron resultados, que posteriormente se analizaron para encontrar puntos críticos de funcionamiento de la extrusora de plástico.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

3.1 DISEÑO PRELIMINAR

3.1.2 DIVISIÓN DE LOS SUBSISTEMAS QUE LO COMPONEN

Sistema estructural. Este sistema comprende el sistema extrusor como es el tornillo extrusor, la camisa el tornillo, tolva, motor y demás partes que integran el ciclo extrusor así como la base en donde ira sujeto este sistema, proporcionado la mayor comodidad y seguridad a la persona que esté operando la máquina.

Sistema extrusor. Es el principal sistema de la maquina extrusora, el cual está compuesto por el tornillo extrusor, el que hace la tarea de empujar el material hacia la boquilla, también encontramos la camisa del tornillo, en donde va acoplado el sistema térmico. La boquilla que permite darle forma al material y la tolva, que cumple la función de alimentar la maquina con el material a extruir.

Sistema térmico. Es un muy importante subsistema de la máquina, ya que es el que nos permite calentar la camisa del tornillo extrusor por medio de resistencias térmicas graduables, logrando que el material se derrita y fluya fácilmente para una mejor extrusión.

Sistema potencia. Es generado por un motor de corriente continua, que transforma la energía eléctrica en energía mecánica, y nos permite que mediante un sistema de transmisión de potencia, girar el tornillo extrusor.

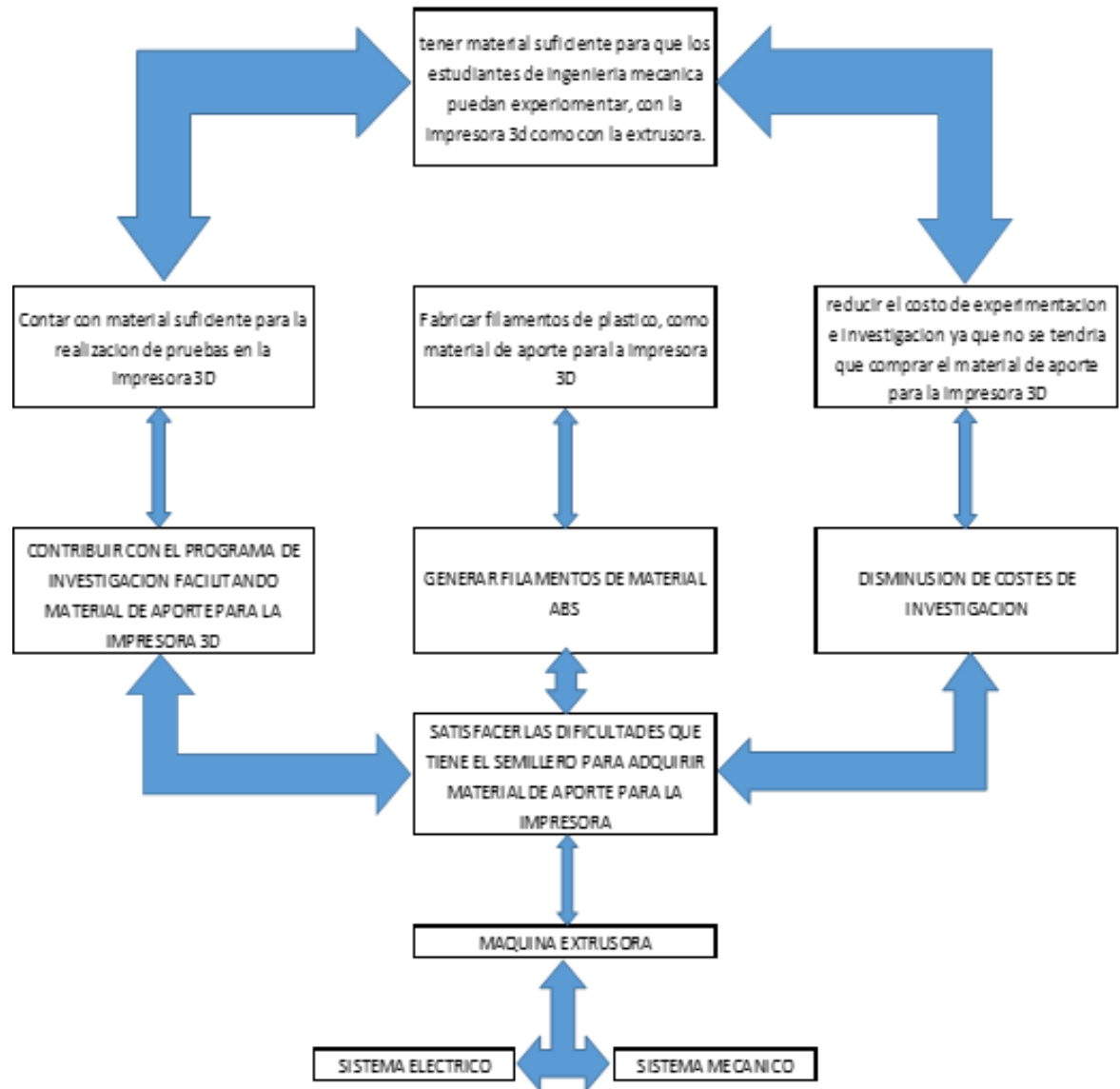
3.2 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO.

- Que permita extruir materiales parecidos al ABS.
- Que sea fácil de operar.
- Que ofrezca seguridad a la persona que lo esté operando.
- Que produzca material a una razón de 2 kilos/hora.
- Que el material extruido tenga diámetros de 1.75 y 3 mm.
- Que la velocidad del motor sea la justa para que el material permanezca en la extrusora lo suficiente para que se derrita.
- Que las resistencias tengan la temperatura justa para que no se queme el material dentro de la máquina.
- Que tenga un accionamiento ON-OFF que permita paradas de emergencia en caso de necesitarlo.

3.2.1 ÁRBOL DE OBJETIVOS.

En el siguiente árbol de objetivos, se explican las áreas a intervenir, que plantea el proyecto para solucionar los problemas propuestos y así tener una visión más clara de lo que se quiere realizar.

Figura 16. Árbol de objetivos



Fuente. Autores.

3.3 CÁLCULOS DE DISEÑO.

Los cálculos desarrollados se realizaron a la alternativa seleccionada según parámetros de diseño convenidos.

- **LONGITUD DEL HUSILLO.**

Por recomendaciones de fabricantes como “BLOW MOLDING HANDBOOK” la mínima longitud para este tipo de husillos debe estar en el intervalo de 1 a 1.4 metros, por lo que decidimos tomar una longitud de:

$$L = 1.2 \text{ m}$$

- **DIÁMETRO.** Utilizando la ecuación 1 podemos determinar el diámetro del husillo.

$$D = \frac{1.2m}{20} = 0.06m$$

- **NUMERO DE FILETES.** Con la ecuación 2 calculamos el número de filetes

$$Numero \text{ de filetes} = \frac{L}{D} = \frac{1.2}{0.06} = 20 \text{ filetes}$$

- **ANGULO DE HÉLICE.** Utilizando la ecuación 3 podemos determinar el diámetro del husillo.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{1}{\pi} = 17.6$$

- **TOLERANCIA TORNILLO/CILINDRO.** Con la ecuación 4 calculamos la tolerancia tornillo/cilindro.

$$\delta = 0.002 \times 0.06m = 0.0012 \text{ m}$$

- **ANCHO DEL FILETE.** Tomando la ecuación 5 podemos hallar el ancho de filete.

$$e = 0.12 \times 0.06 \text{ m}$$

$$e = 0.0072 \text{ m}$$

- **PASO DEL HUSILLO.** Utilizando la ecuación 6 podemos determinar el paso del husillo.

$$t = \pi \times 0.06 \text{ m} \times \tan(17.6)$$

$$t = 0.06$$

- **LONGITUDES DE LAS ZONAS DEL HUSILLO.** Con las ecuaciones 7, 8 y 9 podemos determinar las longitudes de las 3 zonas.

✓ **Zona de alimentación:**

$$l_1 = \frac{1.2 \text{ m}}{2} = 0.6 \text{ m}$$

✓ **Zona de compresión:**

$$l_2 = \frac{1.2 \text{ m}}{4} = 0.3 \text{ m}$$

✓ **Zona de dosificación:**

$$l_3 = \frac{1.2 \text{ m}}{4} = 0.3 \text{ m}$$

- **PROFUNDIDAD DEL CANAL.** Para realizar este cálculo tomamos la ecuación 10 y así podremos hallar dicha profundidad.

$$H = 0.15 \times 0.06 \text{ m}$$

$$H = 0.009 \text{ m}$$

- **PASO DE LA ROSCA.** Tomando la ecuación 11 podemos hallar el paso de la rosca.

$$W = \pi \times 0.06 \text{ m} \times \tan(17.6)$$

$$W = 0.0597 \text{ m} \approx 0.06 \text{ m}$$

- **REVOLUCIONES DEL HUSILLO.** Para este cálculo resolvemos las ecuaciones 12, 13 y 14.

$$\eta = \frac{100 \frac{1}{s} \times 3 \text{ mm} \times 1 \text{ s}}{\pi \times 60 \text{ mm}}$$

$$\eta = 1.59 \frac{\text{rev}}{\text{s}}$$

Como necesitamos que las unidades queden en rpm para efectos de cálculos del motor, realizamos el siguiente cálculo.

$$\eta = 1.59 \frac{\text{rev}}{\text{s}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$\eta = 55$$

- **RELACIÓN DE COMPRESIÓN.** Utilizando la ecuación 15 podemos determinar esta relación de compresión.

$$\beta_1 = \frac{0.009 \text{ m}}{0.003 \text{ m}} = 3$$

- **POTENCIA REQUERIDA.** Tomando la ecuación 16 y 17 podemos hallar la potencia necesaria para extruir el material.

$$P = \frac{96 \text{ rpm} \times \pi \times (60 \text{ mm})^3}{66.7^2}$$

$$P = 14.64 \text{ kw}$$

- **FLUJO DE ARRASTRE.** Con la ecuación 18 y 19 calculamos este tipo de flujo.

$$\alpha = \frac{\pi \times 0.06 \text{ m} \times 0.009 \text{ m} \times (0.06 \text{ m} - 0.0072 \text{ m}) \times \cos(17.6)^2}{2}$$

$$\alpha = 0.00040775 \text{ m}^3 = 40.6918 \text{ cm}^3$$

- **FLUJO VOLUMETRICO.** Para realizar este cálculo tomamos la ecuación 20.

$$Q_1 = \left(\frac{40.6918 \text{ cm}^3 \times 6 \times 10^{-4}}{6 \times 10^{-4} \times 0.0007704 \text{ cm}^3 \times 1.8784 \times 10^{-5} \text{ cm}^3} \right) \times 96$$

$$Q_1 = 2.286 \text{ m}^3$$

$$Q_2 = \left(\frac{40.6918 \text{ cm}^3 \times 1.266794 \times 10^{-4}}{1.266794 \times 10^{-4} \times 0.0007704 \text{ cm}^3 \times 1.8784 \times 10^{-5} \text{ cm}^3} \right) \times 96$$

$$Q_2 = 1.143 \text{ m}^3$$

- **FLUJO DE PRESION.** Con la ecuación 21 y 22 calculamos el flujo de presión.

$$\beta_2 = \frac{(0.009 \text{ m})^3 \times 0.0528 \text{ m} \times \text{sen}(17.6) \times \cos(17.6)}{12 \times 1.2 \text{ m}}$$

$$\beta_2 = 0.0000000007704 \text{ m}^3 = 0.0007704 \text{ cm}^3$$

- **FLUJO DE FILTRACION.** . Para realizar este cálculo tomamos la ecuación 23.

$$\gamma = \frac{\pi^2 \times (0.06\text{m})^2 \times (0.00012)^2 \times \tan(17.6)}{10 \times 0.0072\text{m} \times 1.2\text{m}}$$

$$\gamma = 1.87849 \times 10^{-9} \text{ m}^3 = 1.8784 \times 10^{-5} \text{ cm}^3$$

- **CONSTANTE TOTAL DEL CABEZAL.** Para este cálculo resolvemos las ecuaciones 24 y 25.

- ✓ **Para boquilla circular sencilla.**

$$k = \frac{\pi \times \left(\frac{2.1\text{cm}}{2}\right)^4}{8 \times 6\text{cm}}$$

$$k = 0.079554$$

- ✓ **Boquilla de diámetros d₀ y d₁ para obtención de varillas.**

d₀: 2.1 cm

d₁: 3mm

$$k = \frac{3 \times \pi \times 2.1^3 \times 0.3^3}{128 \times 6 \times (2.1^2 + (2.1 \times 0.3) + 0.3^2)}$$

$$k = 6 \times 10^{-4}$$

d₀ = 1.75 mm

$$k = \frac{3 \times \pi \times 2.1^3 \times 0.175^3}{128 \times 6 \times (2.1^2 + (2.1 \times 0.175) + 0.175^2)}$$

$$k = 1.266794 \times 10^{-4}$$

- **PRODUCCIÓN DEL TORNILLO.** Utilizando la ecuación 15 podemos determinar la producción de material cada hora.

Densidad del " ρ " ABS: $9 \frac{g}{cm^3}$ ver anexo 4 propiedades del ABS.

$$\begin{aligned} \text{produccion del tornillo} &= \rho_{ABS} \times Q \\ \text{produccion 1 del tornillo} &= 0.0009 \frac{Kg}{cm^3} \times Q_1 \end{aligned}$$

$$\text{Produccion 1 de la boquilla con diametro de 3mm} = 9.6kg/h$$

$$\text{produccion 2 del tornillo} = 0.0009 \frac{Kg}{cm^3} \times Q_2$$

$$\text{Produccion 2 de la boquilla con diametro de 1.7mm} = 5.6kg/h$$

3.4 SELECCIÓN DEL MATERIAL DEL HUSILLO.

Para seleccionar el material del husillo se deben de tener en cuenta las condiciones de trabajo a las que está expuesto, al igual que los factores externos e internos, tales factores químicos y mecánicos que puedan afectar el husillo, ya que este será sometido a una elevada temperatura de trabajo y a elementos corrosivos.

El material seleccionado debe cumplir una serie de características químicas y físicas como son:

- Resistencia al desgaste.
- Rigidez.
- Tenacidad.
- Dureza en caliente.
- Resistencia al choque térmico.

Según estos criterios se encontró en la tabla 10 el grupo de aceros utilizados para herramientas para trabajo en caliente es el más utilizado.

Tabla 10. Tabla de selección de material.

POR COMPOSICIÓN QUÍMICA	PARA CONSTRUCCIONES MECÁNICAS	AL CARBONO: • Bajo carbono menos 0.25% • Medio carbono 0.25- 0.60% • Alto carbono más 0.60% ALEADOS: • Baja aleación menos de 2% de aleantes. • Media aleación menos de 2-5 % de aleantes. • Alta aleación más de 5% de aleantes. MICROALEADOS: • Menos de 0.25 de C menos de 2% aleantes Nb, V, Ti
	PARA HERRAMIENTAS	• AL CARBONO • ALEADOS • RÁPIDOS • PARA TRABAJO EN CALIENTE • PARA TRABAJO EN FRÍO
	INOXIDABLES Y RESISTENTES AL CALOR	• MARTENSITICOS • FERRITICOS • AUSTENITICOS
POR CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	ESTRUCTURALES	• BAJA RESISTENCIA • ALTA RESISTENCIA • ALTO LIMITE ELÁSTICO

Fuente. Autores

Por lo anterior se concluyó que el material a utilizar es un acero SAE 1212 C₃, C₄ o un acero SAE 1212 H₁₁, H₂₁. Ver anexos 6 y 7. Ver anexos 5 y 6.

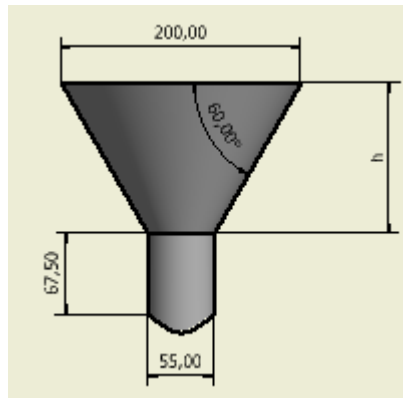
Nota. Ya que el material seleccionado es muy costoso se hizo una comparación con un acero 1020 y se encontró que estos aceros poseen similares características, por esta razón se decidió utilizar este tipo de acero.

3.5 DISEÑO DE LA TOLVA

Para la alimentación de la extrusora se escogió una tolva de forma circular, ya que es más fácil de manufacturar y estéticamente es más vistosa. La tolva tendrá un diámetro superior de 20cm y un diámetro inferior de 5.5 cm.²⁹

3.5.1 Cálculo de altura h.

Figura 17. Diseño de la tolva



Fuente. Autores

$$\tan 60 = \frac{h}{8.5cm}$$

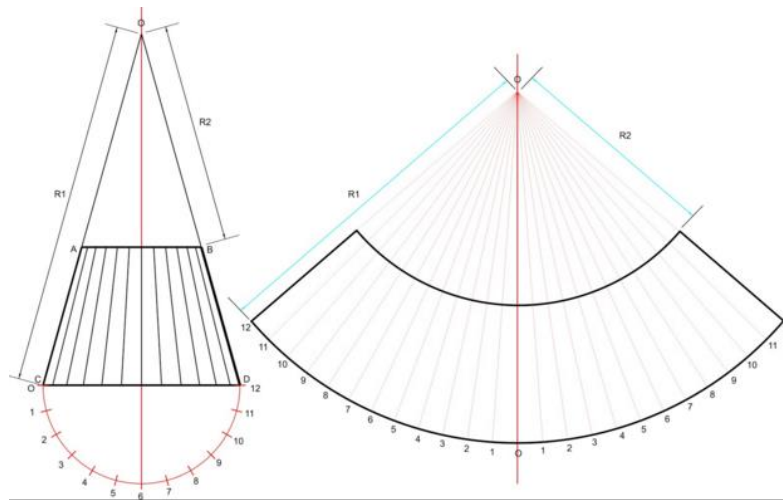
$$h = 14.72cm$$

²⁹ GÓMEZ, GÓMEZ, Jimmy: diseño de una extrusora para plásticos. Pereira, 2007, pág. 16. Trabajo de grado (Tecnólogo Mecánico). Universidad tecnológica de Pereira. facultad de tecnologías escuela de tecnología mecánica. Disponible en http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/1048/1/digital_18515.pdf.

3.5.2 Diseño de la tolva.

Para el diseño se dividió la base del círculo en veinticuatro partes iguales, estableciendo así veinticuatro espacios numerados del 0 al 23. Los mismos elementos se trazan en la proyección vertical. El elemento extremo V tiene su longitud verdadera que es la de la altura real o generatriz R del cono, por lo tanto haciendo centro en V y con el radio R se traza un arco de círculos que será lo longitud por donde va el desarrollo de la base del cono.³⁰

Figura 18. Desarrollo de la tolva

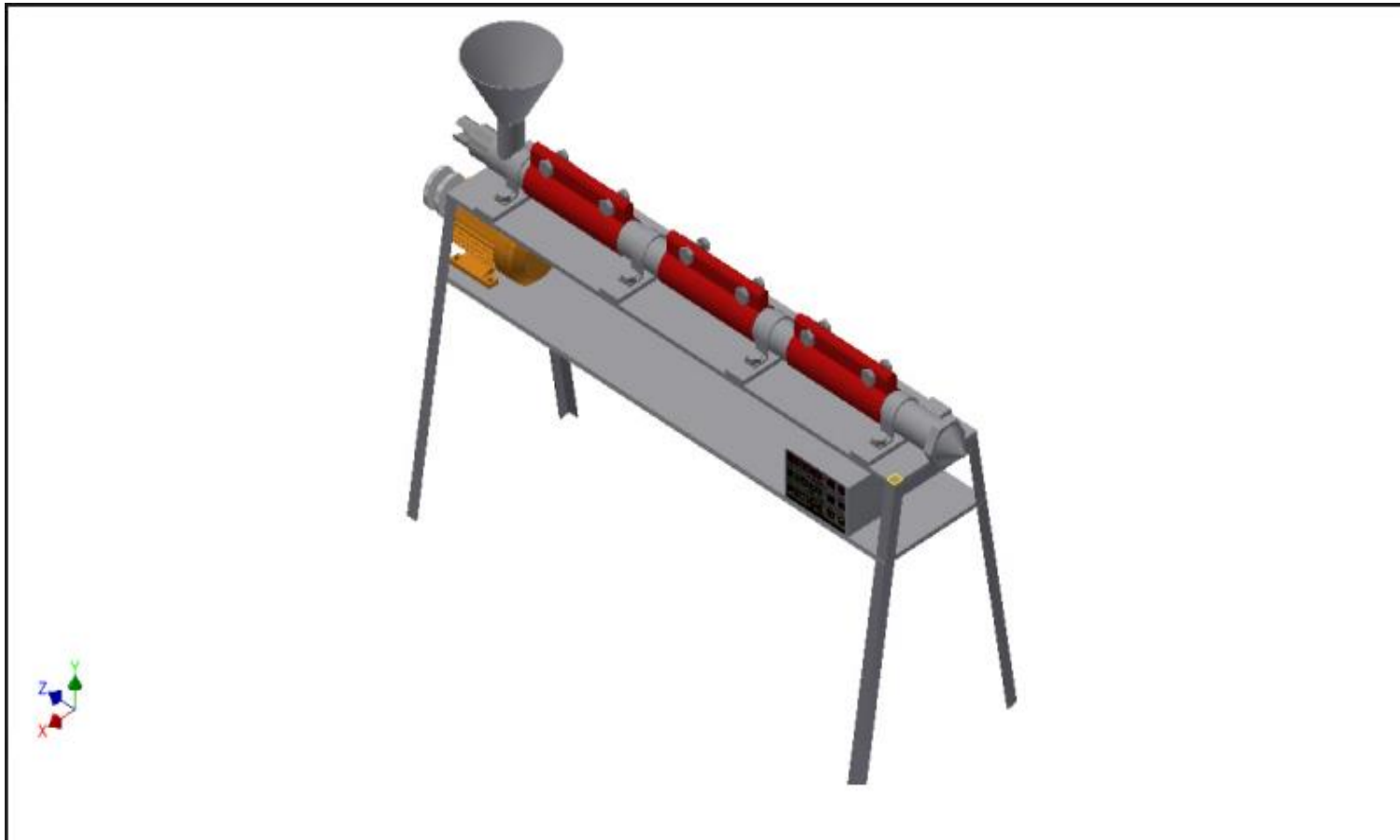


Fuente: <http://savidjara.jimdo.com/apuntes/trazado-de-caldereria-2/piramides-y-tolvas/>

³⁰ MARIANO. Diseño de la tolva [en línea en] http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8287/1/tema5_extrusi%C3%B3n.pdf [citado en 9 de mayo de 2016].

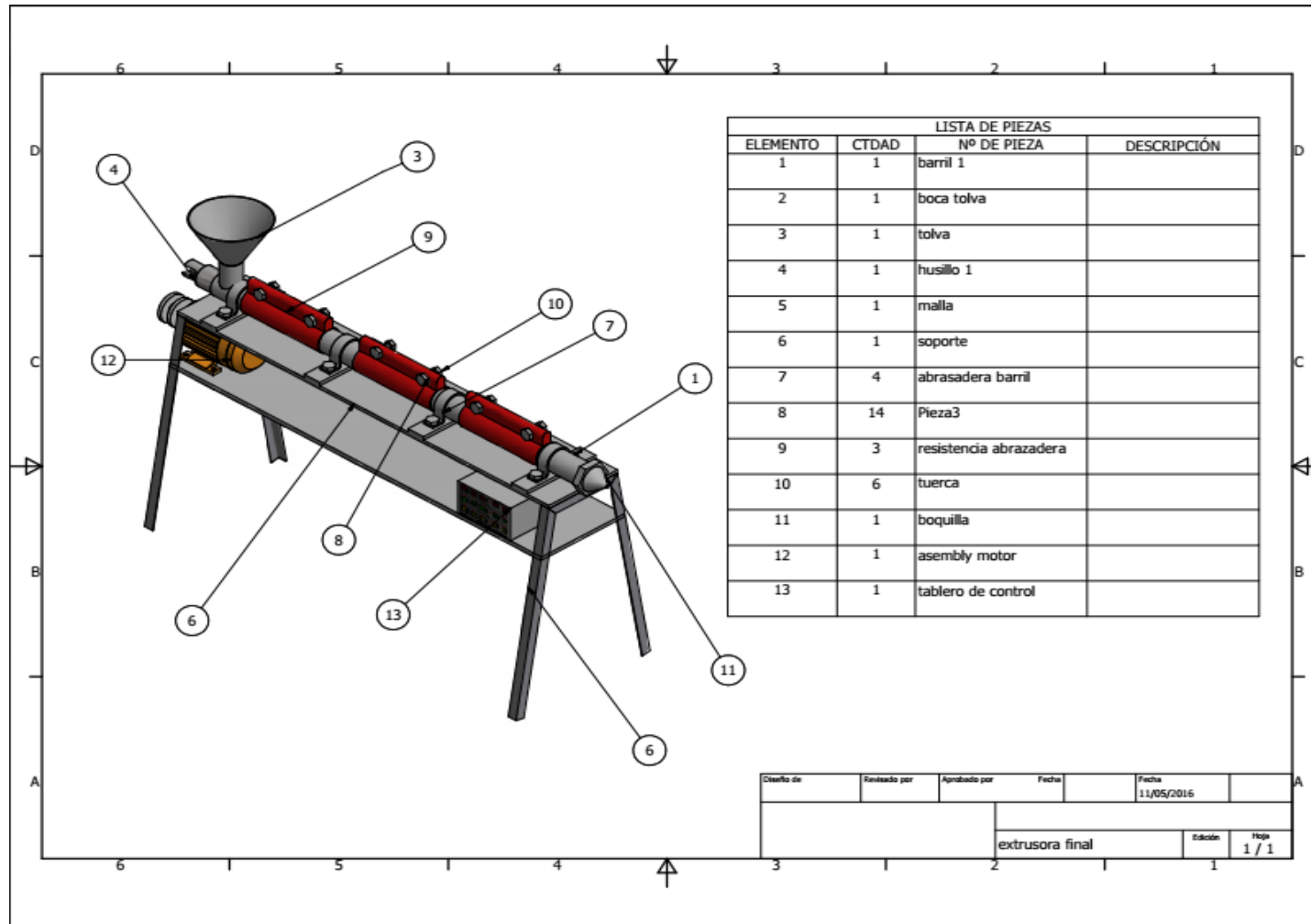
3.6 MODELAMIENTO CAD

Figura 19. PLANO DE EXTRUSORA COMPLETA



Fuente. Autores

Figura 20. Partes de la maquina extrusora.



Fuente: Autores.

3.7 CONSTRUCCIÓN.

PIEZA	CARACTERISTICAS
	El husillo extrusor fue fabricado en dos etapas, al eje se le realizo un proceso de mecanizado, dandole forma cilindrica y conica terminado en punta. Luego se mecanizaron arandelas para posteriormente unir las con soldadura y asi conformar los alabes del husillo.
	La estructura donde se soportada el husillo, fue fabricada con angulo de 2 in x 3/16 in, con dimensiones aptas para ser operada de manera hergonomica por parte del operario.
	La camisa fue comprada con medidas establecidas logrando que recubriera en su totalidad el tornillo extrusor con los materiales seleccionados en la etapa de diseño.

PIEZA	CARACTERISTICAS
	El sistema de potencia es realizado por un motoreductor de corriente alterna de 1700 rpm de entrada y 90 rpm de salida.
	El sistema de control fue fabricado por la empresa RESISTENCIAS INDUSTRIALES, y es el encargado de controlar las temperaturas en cada una de las etapas del husillo.
	Las resistencias son las encargadas de aumentar la temperatura en la maquina extrusora, son controladas por un sistema de control.

PIEZA	CARACTERISTICAS
	La tolva es la pieza mas importante en el sistema de alimentacion de la maquina, ya que en ella se deposita el material a extruir, fue fabricada con lamina de calibre 18 anti-oxidante.



4. CONCLUSIONES

Se logró diseñar una maquina extrusora para material ABS, que extruye el material de un diámetro de 1.75mm y 3 mm de diámetro, el cual será utilizado para alimentar la impresora 3D.

El proyecto de la extrusora plástica cumplió con las especificaciones de construcción, dimensiones y producción, logrando la mayor efectividad de la máquina.

En la extrusora se puede trabajar materiales termoplásticos que tengan similares composiciones químicas y físicas al ABS, teniendo en cuenta las temperaturas de fusión de los otros materiales.

El proyecto se pudo realizar con materiales de bajo costo, alta resistencia al choque térmico y resistencia mecánica, gracias a los cálculos realizados se logró cumplir con los objetivos propuestos inicialmente.

La capacidad de la máquina para extruir el material es de 10 kilos hora, para el ABS, mayor a la propuesta en el anteproyecto, ya que se diseñó y calculo el equipo con recomendaciones de fabricantes expertos en este tipo de unidades industriales.

El proyecto presenta una alternativa de manejo a los plásticos reciclables para la zona y una oportunidad de negocio para el aprovechamiento de ese material.

5. RECOMENDACIONES

El movimiento del tornillo o husillo extrusor se debe accionar cuando los sensores de temperatura de las resistencias indiquen la temperatura adecuada de trabajo.

Para extruir otros materiales se deben tener en cuenta su composición química y físicas, las cuales deben ser similares a las del ABS, así como la temperatura que debe tener en cada zona del husillo para evitar que el material se queme.

Para la manipulación de esta máquina se deben cumplir condiciones de seguridad, ya que la temperatura de trabajo es muy alta y pueden ocasionar quemaduras graves a la persona que la esté operando o a externos.

Para el mantenimiento de la maquina ver en los anexos el plan de mantenimiento realizado para esta máquina.

REFERENCIAS.

Caucho polibutadieno. [En línea en] <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/automovil/paginas/polibutadieno.htm> [citado en 19 de enero de 2016].

GÓMEZ, GÓMEZ, Jimmy: diseño de una extrusora para plásticos. Pereira, 2007, pág. 16. Trabajo de grado (Tecnólogo Mecánico). Universidad tecnológica de Pereira. Facultad de tecnologías escuela de tecnología mecánica. Disponible en http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/1048/1/digital_18515.pdf.

HXX. Materiales de impresión 3D (II): ABS (acrilonitrilo butadieno estireno). [En línea en] <http://hxx.es/2015/03/23/materiales-de-impresion-3d-ii-abs-acrilonitrilo-butadieno-estireno/> [citado en 19 de enero de 2016].

MARIANO. Diseño de la tolva [en línea en] http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8287/1/tema5_extrusi%C3%B3n.pdf [citado en 9 de mayo de 2016].

MARIANO. Tecnología de los plásticos II [en línea en] <http://tecnologiadelosplasticos.com.co/2011/06/abs.html> [citado en 19 de octubre de 2015].

M. Beltrán y A. Marcilla. Tecnología de polímeros. Tema 4. Extrusión. Pág. 8 [en línea en] <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf> [citado en 14 de enero de 2016].

MÉTODOS DE PROCESADO. EXTRUCCION. Materiales, Polímeros y Compuestos [en línea en] <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/AP.T7.1-MPyC.Tema7.MetodosProcesado.Extrusion.pdf> pág. 8-9 [citado en 19 de octubre de 2015].

PARDO CÓRDOBA, Jesús José Mauricio, et al. Modelo de logística inversa para la recuperación y aprovechamiento de residuos plásticos ABS en Cali. [Citado en 19 de enero de 2016].

Poliestireno. [En línea en] <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso1314/poliestireno/principal.html> [citado en 19 de enero de 2016].

TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS. Extrusión de materiales plásticos II [en línea en] <http://tecnologiadelosplasticos.com.co/2011/05/extrusion-de-materiales-plasticos-ii.html> pág. 1 [citado en 18 de enero de 2016].

UNIVERSIDAD DE OVIEDO. Métodos de procesado. Extrusión [en línea en]
<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/AP.T7.1MPyC.Tema7.MetodosProcesado.Extrusion.pdf> [citado en 19 de octubre de 2015].

ANEXOS

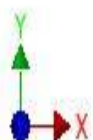
ANEXOS 1

ALTERNATIVA 1: Boceto de un solo husillo.



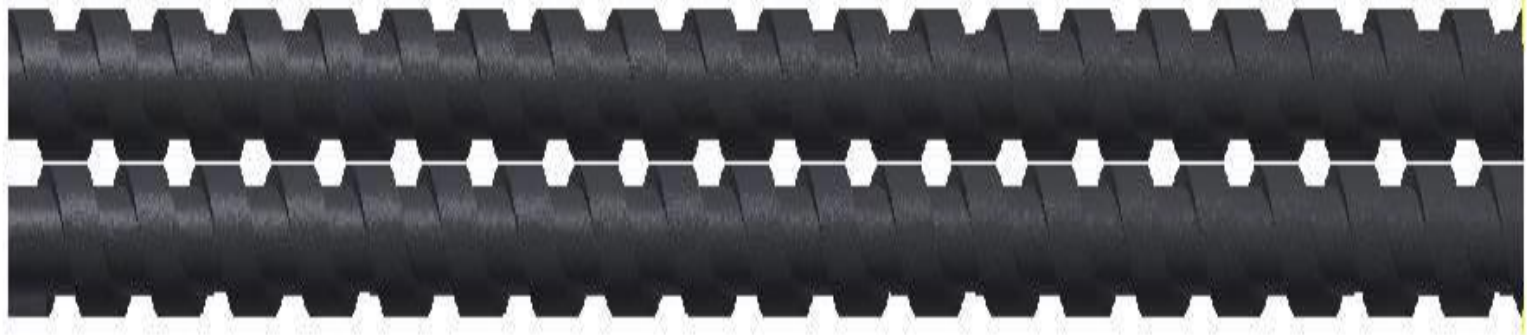
ANEXO 2

ALTERNATIVA 2: Boceto de doble husillo engranado.



ANEXO 3.

ALTERNATIVA 3: Extrusora de doble husillo no engranado.



ANEXO 4.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ABS

ABS – POLIACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO

ABS Polyacrylonitrile butadiene styrene

Propiedades Físico – Mecánicas Physical & Mechanical Properties

Alargamiento a la Rotura (%) <i>Elongation at break (%)</i>	45
Coefficient de Fricción <i>Coefficient of friction</i>	0,5
Módulo de Tracción (GPa) <i>Tensile modulus (GPa)</i>	2,1-2,4
Resistencia a la Tracción (MPa) <i>Tensile strength (MPa)</i>	41-45
Resistencia al Impacto Izod (J m ⁻¹) <i>Izod impact strength (J m⁻¹)</i>	200-400
Absorción de Agua - en 24 horas (%) <i>Water absorption - over 24 hours (%)</i>	0.3-0.7
Densidad (g cm ⁻³) <i>Density (g cm⁻³)</i>	1,05
Resistencia a la Radiación <i>Radiation resistance</i>	Acceptable <i>Fair</i>
Resistencia a los Ultra-violetas <i>Resistance to Ultra-violet</i>	Mala <i>Poor</i>

ANEXO 5

TABLA PARA SELECCION DE MATERIAL DEL HUSILLO.

Corte por cizalla- miento del material	Resistencia al desgaste Tenacidad	Indeformabilidad Resistencia al choque térmico (en el temple)	Material de espesor fino pequeñas series (corte en frío)	3-6	1-7	-	$\frac{W210}{F112} \cdot \frac{01}{A2} \cdot (A2) \cdot \frac{L7}{F112}$
			Material de espesor fino pequeñas series (corte en caliente)	3-6	1-7	4	$C4 \cdot (H13)$
			Material de espesor fino grandes series (corte en frío)	4-9	1-7	-	$(01) \cdot A2 \cdot D2 \cdot (D3) \cdot$ $(D6) \cdot M2 \cdot M7$
			Material de espesor fino grandes series (corte en caliente)	4-9	1-7	4-6	$(C4) \cdot H13$
			Material de espesor grueso (corte en frío)	2-4	7-9	-	$(W210) \cdot S1 \cdot S4 \cdot F112$
			Material de espesor grueso (corte en caliente)	3-5	7-9	6-8	$H13 \cdot (H21)$
Forjado en caliente	Resistencia al desgaste Dureza en caliente	Tenacidad Maquinabilidad Resistencia al choque térmico	Pequeñas series	3-6	6-9	4-7	$(C2) \cdot (C3) \cdot C4 \cdot (H11) \cdot H13$
			Grandes series	4-6	6-9	7-9	$(C4) \cdot H13 \cdot H21$
Estampado en frío	Resistencia al desgaste	Maquinabilidad	Pequeñas series	4-6	1-7	-	$\frac{W210}{F112} \cdot \frac{01}{A2} \cdot (A2)$
		Tenacidad Indeformabilidad	Grandes series	7-9	1-4	-	$D2 \cdot D3 \cdot D6 \cdot M2 \cdot M7$
Embutido profundo	Resistencia al desgaste	Indeformabilidad	Pequeñas series	4-6	1-7	-	$(W210)' \cdot (F112) \cdot \frac{01}{A2} \cdot A2$
			Grandes series	7-9	1-4	-	$D2 \cdot D3 \cdot D6 \cdot M2 \cdot M7$
Extrusión	Resistencia al desgaste Tenacidad		En frío	4-9	1-7	-	$\frac{L7}{M2} \cdot \frac{01}{M2} \cdot A2 \cdot D2 \cdot D3 \cdot D6$
	Dureza en caliente Tenacidad	Resistencia al desgaste	En caliente	3-6	6-9	5-7	$(C3) \cdot (C4) \cdot (H11) \cdot H13$ $H21$

ANEXO 6

TABLA DE PROPIEDADES DE LOS ACEROS SAE 1212

DESIGNACION IRAM	Resist. al Desgaste	Tenaci- dad	Dureza en Caliente	Indeformabi- lidad	Templa- bilidad	Resist. al cho- que ter- mico	Suscepti- bilidad a la de- carbura- ción
W 210	4	6-7	1	1-7 ⁽¹⁾	1	2	3
F 112	6	7	3	6	3	2	3
O1	4	3	3	7	5	6	6
A2	6	4	5	8	8	8	7
D2	8	2	6	9	9	8	8
D3	9	1	6	9	9	8	8
D6	9	1	6	9	8	8	8
S1	4	8	5	6	6	6	6
S4	2	8	2-3	2	3	2	9
P20	1-3 ⁽²⁾	8	2	6	5	7	6
L7	3	4	2	2	3	3	6
H11	3	9	6	8	9	9	8
H13	3	9	6	8	9	9	8
H21	4	6	8	6	7	7	6
C2	2	7	3	4	7	5	6
C3	1	7	3	4	6	4	6
C4	2	7	4	5	7	5	6
M2	7	3	8	6	9	4	9
M3	8	3	8	6	9	4	9
M7	8	3	8	6	9	4	9
M35	7	3	9	6	9	4	9
M36	7	1	9	6	9	4	9
T5	7	1	9	6	9	4	9
R1	10	1	10	6	9	4	9

(1) Piezas chicas: 1 - Piezas gruesas: 7 (2) En estado cementado

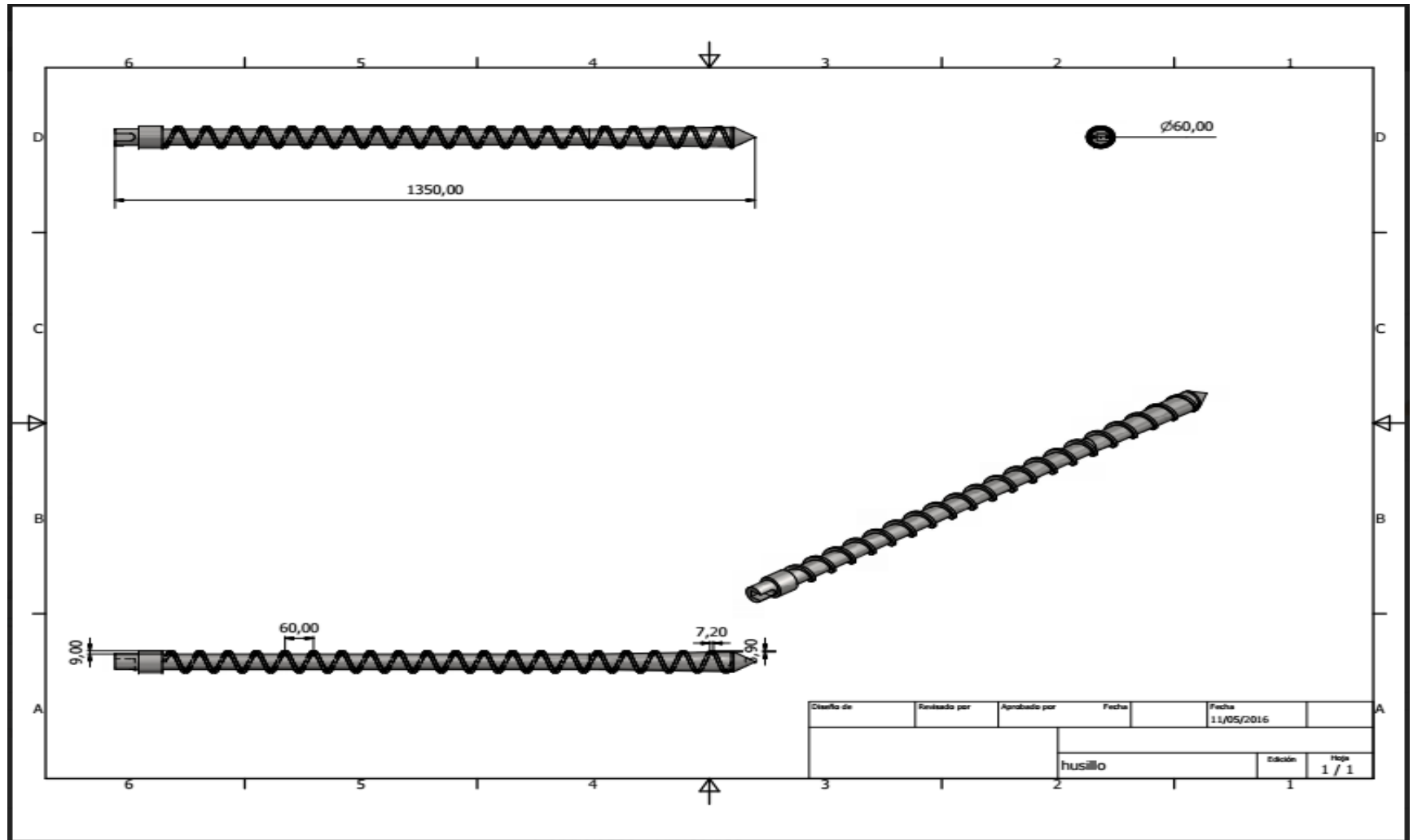
ANEXO 7

PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DEL HUSILLO

RESINA	TIPO MOLECULAR	TEMP. CRITICA °F (a)	DENSIDAD g/cm³		DISEÑO DL HUSILLO BASADO EN			NOMBRES COMERCIALES RELACIONADOS
			SÓLIDO	FUNDIDO	PROF. DEL CANAL (b)	LONG. DE TRANSICION (c)	RELACION DE COMPRESION (d)	
PP	C-	48 Tm	0,9	0,75	Media	Media	Media	Marlex, Hifax, Escorene, Nortuff
ABS	A	228 Tg	1,08	0,97	Profunda	Larga	Baja	Cyclocac, Magnum, Lustran
CA	C*	NA	1,22	1,14	Profunda	Media	Baja	Tenite
CAB	C*	NA	1,15	0,08	Profunda	Media	Baja	Tenite
CAP	C*	NA	1,17	1,1	Profunda	Media	Baja	Tenite
FEP	C	527 Tm	2,12	1,49	Media	Corta	Media	Teflon
HDPE	C	278 Tm	0,95	0,73	Media	Media	Media	Dowlex, Marlex, Pethrotene, Alathon
HIPS	A	210 Tg	1,05	0,97	Profunda	Larga	Baja	Styron, Lustrex, RTP
LCP	C	525 Tm	1,35	Unk	Superficial	Media	Media	Vectra, Xydar, Ekkcel
LDPE	C	221 Tm	0,92	0,76	Media	Media	Media	Petrothene, Tenite, Escorene
LLDPE	C	250 Tm	0,93	0,7	Media	Media	Media	Petrothene, Dowlex, Escorene, Atlane
PA6/6	C	500 Tm	1,14	0,97	Superficial	Media	Alta	Zytel, Ultramid, wellamid, Vydyn
PBT	C*	470 Tm	1,34	1,11	Media	Media	Baja	Valox, Celanex
PC	A	302 Tg	1,2	1,02	Profunda	Larga	Baja	Lexan, Nacrolon
PEI	A	420 Tg	1,27	0,08	Media	Media	Media	Ultrem
PET	C**	460 Tm	1,4	1,1	Media	Media	Media	Kodapak, Petlon, Rynite

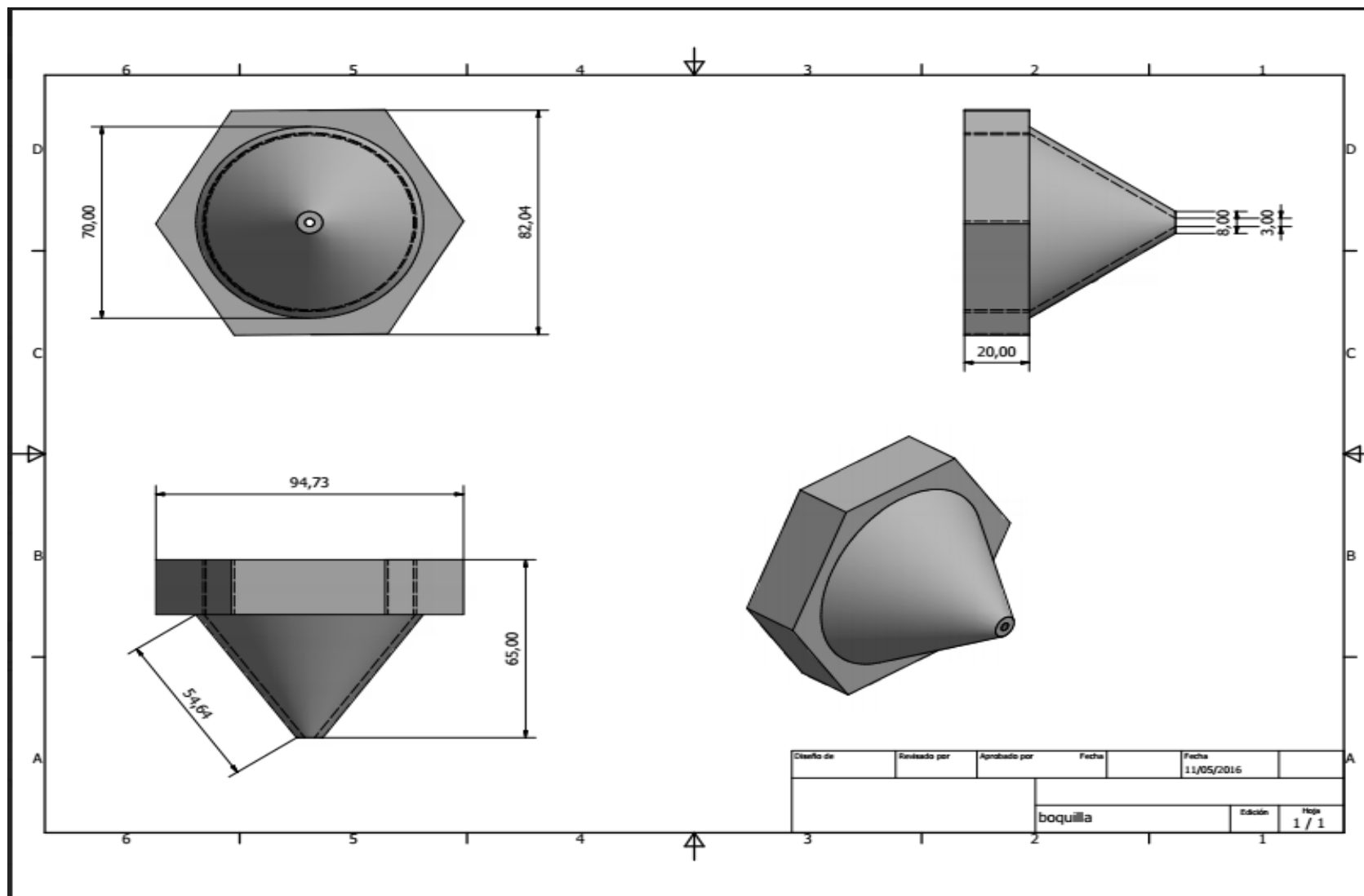
ANEXO 8

PLANOS TORNILLO EXTRUSOR



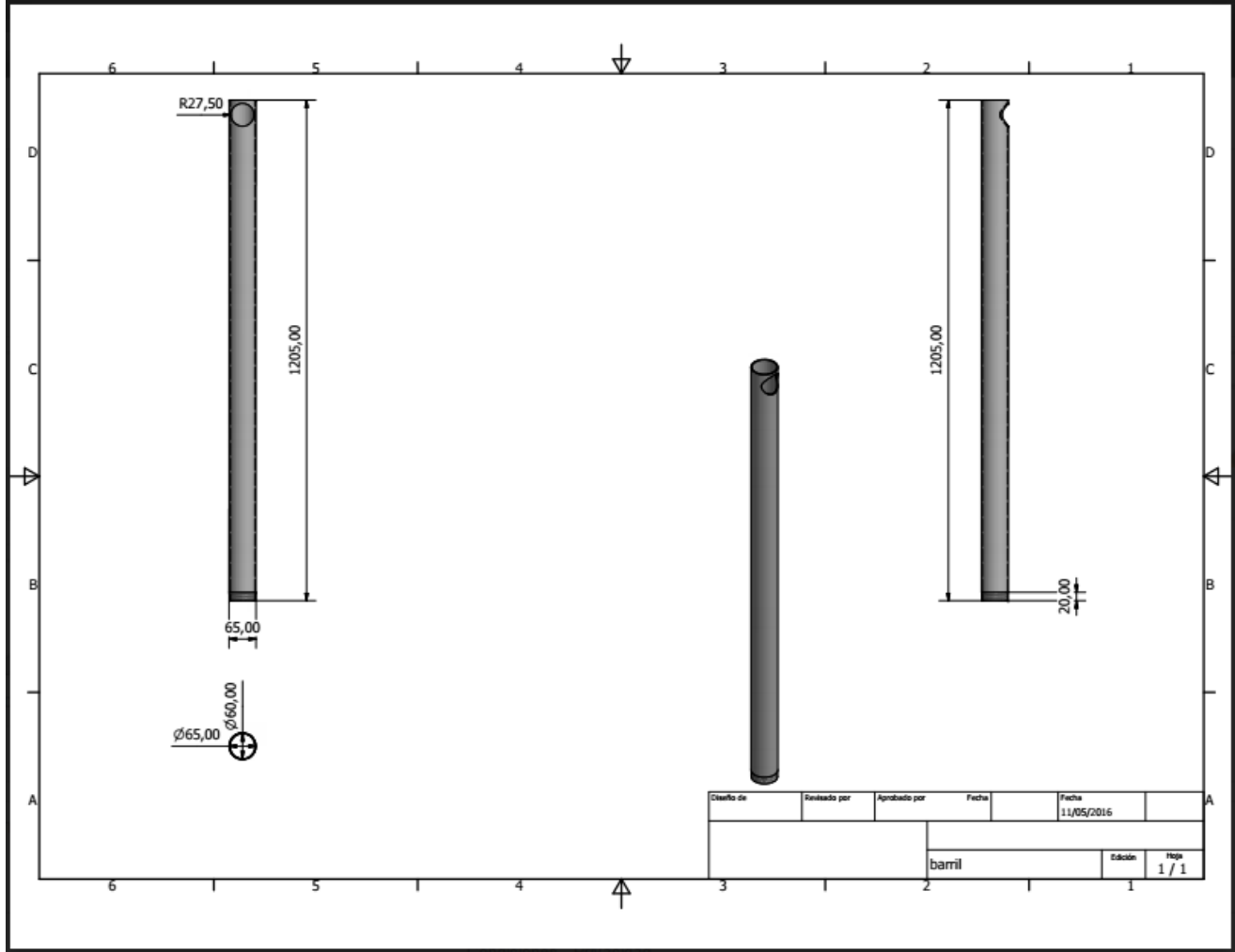
ANEXO 9

PLANOS BOQUILLAS



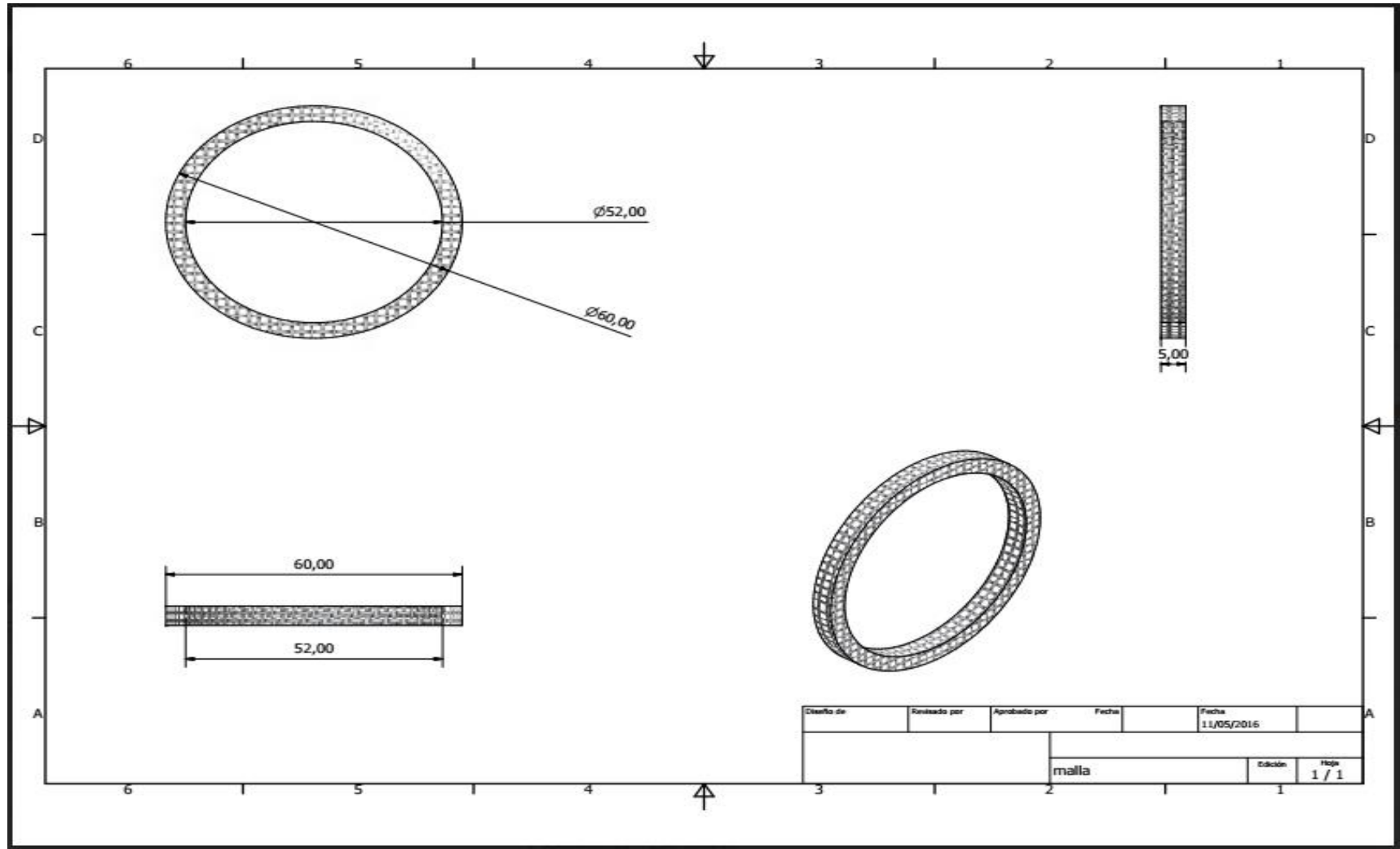
ANEXO 10

PLANOS CAMISA



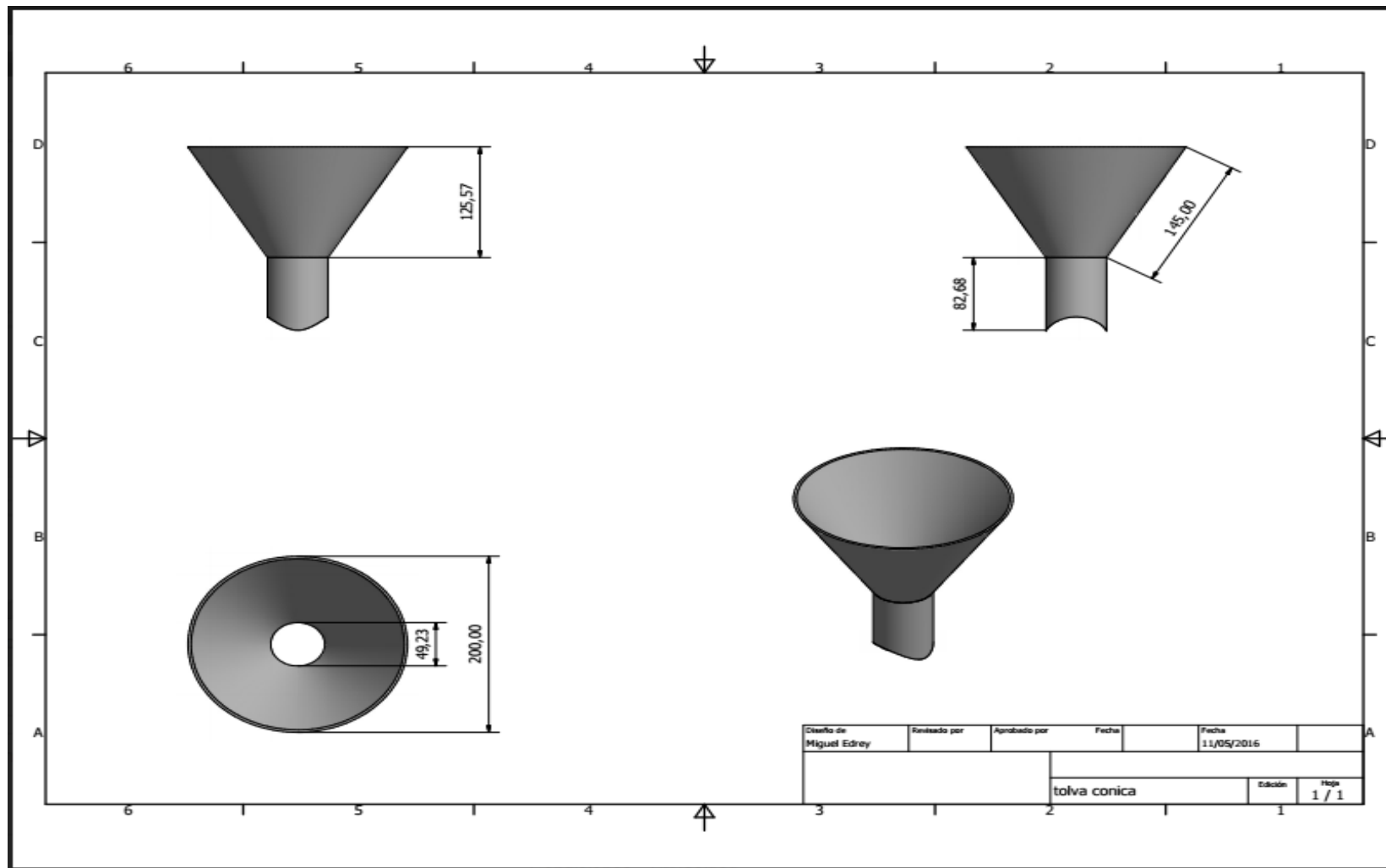
ANEXO 11

PLANOS MALLA



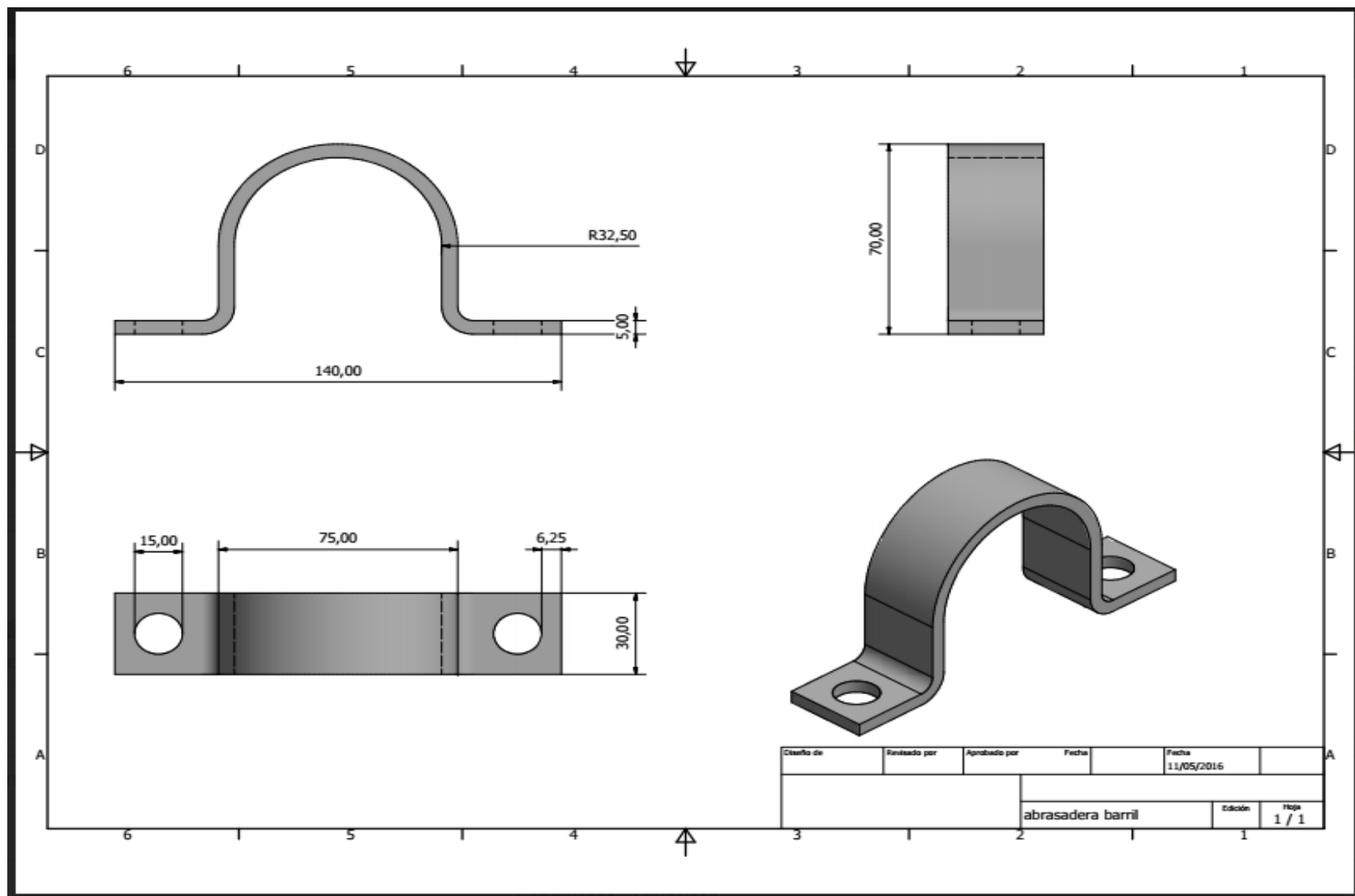
Diseño de	Elaborado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
				11/05/2016	
			mallá	Edición	Página
					1 / 1

ANEXO 12
PLANOS TOLVA CÓNICA



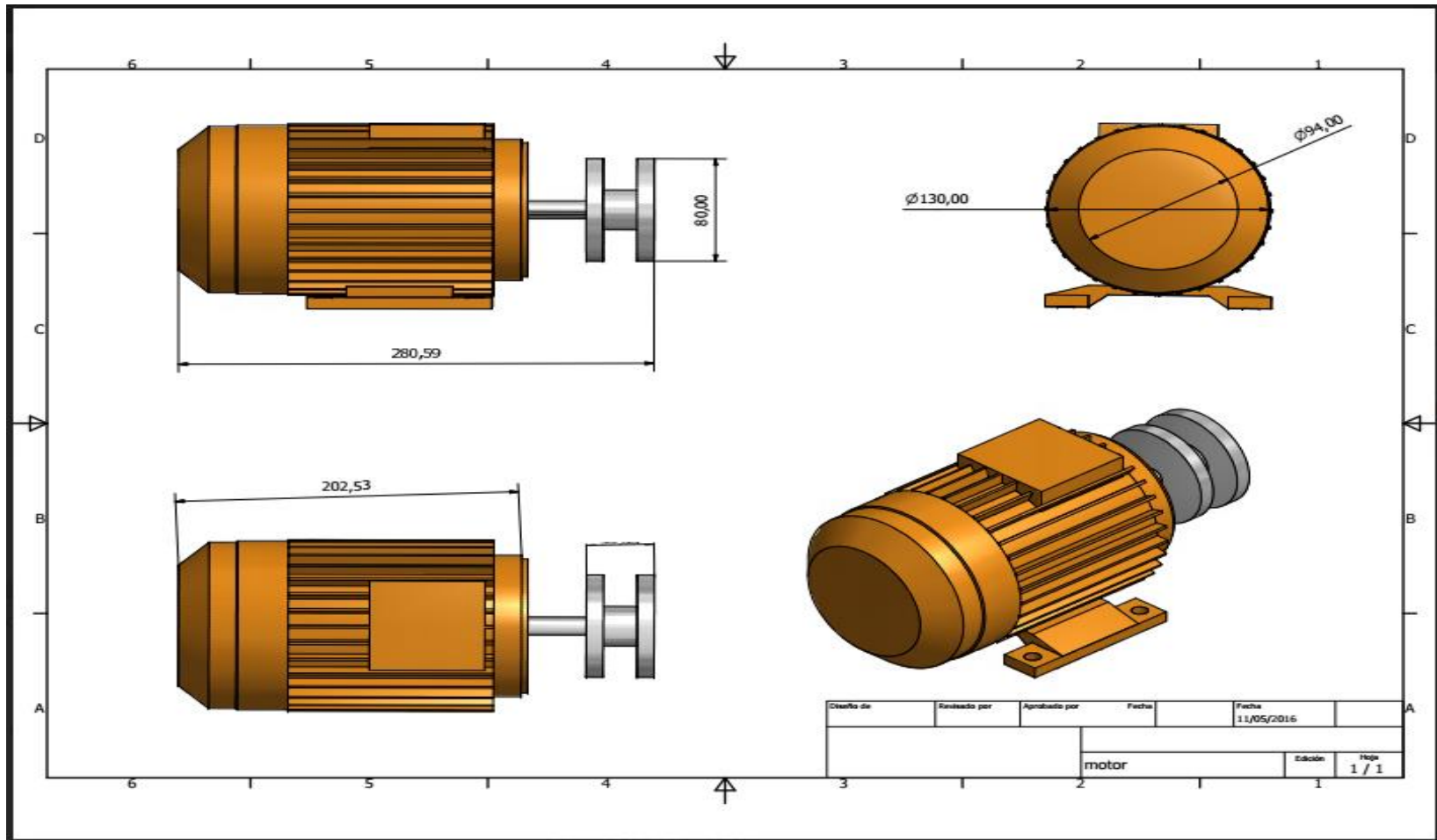
ANEXO 13

PLANOS ABRAZADERA



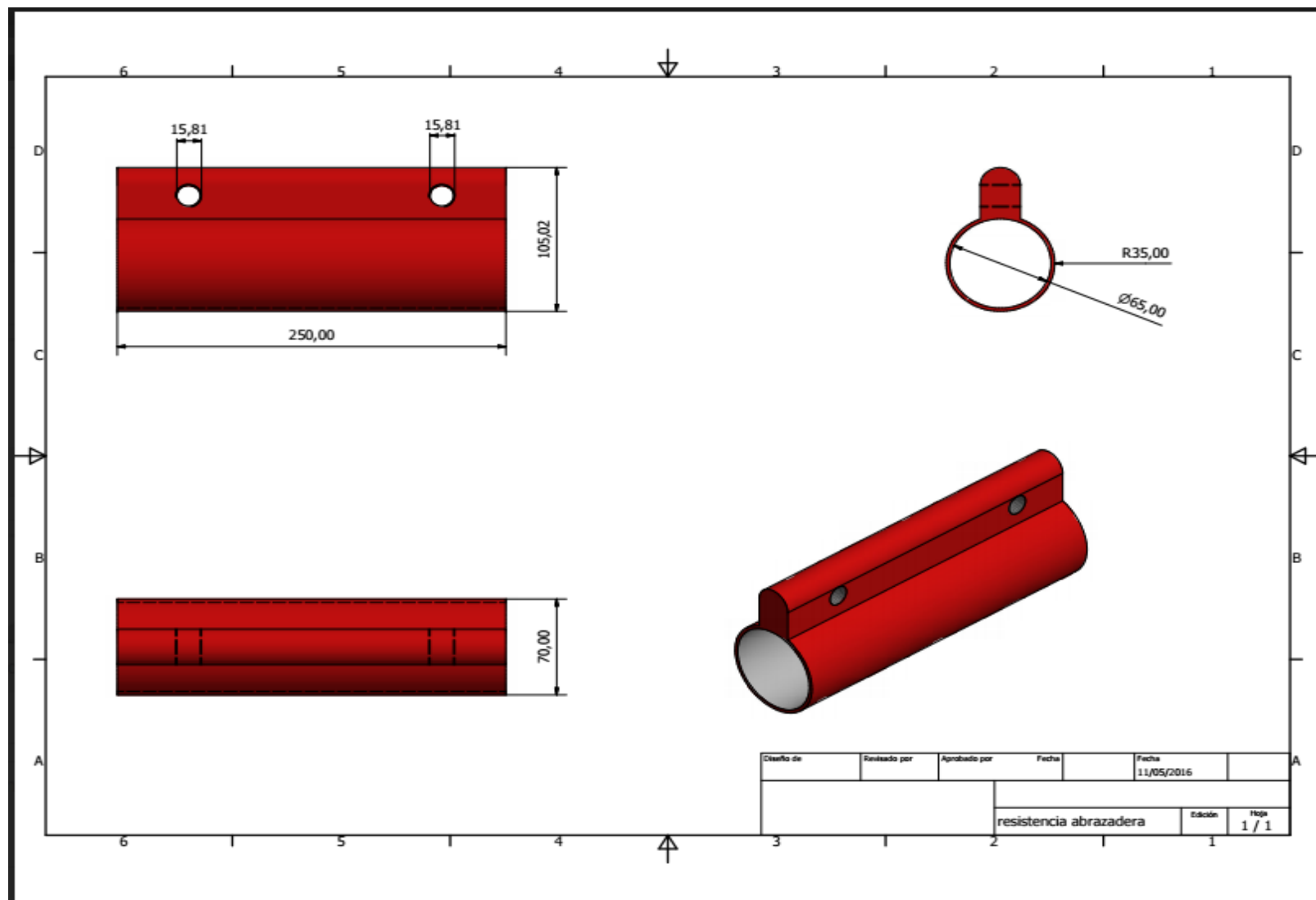
ANEXO 14

PLANOS MOTOR ELÉCTRICO



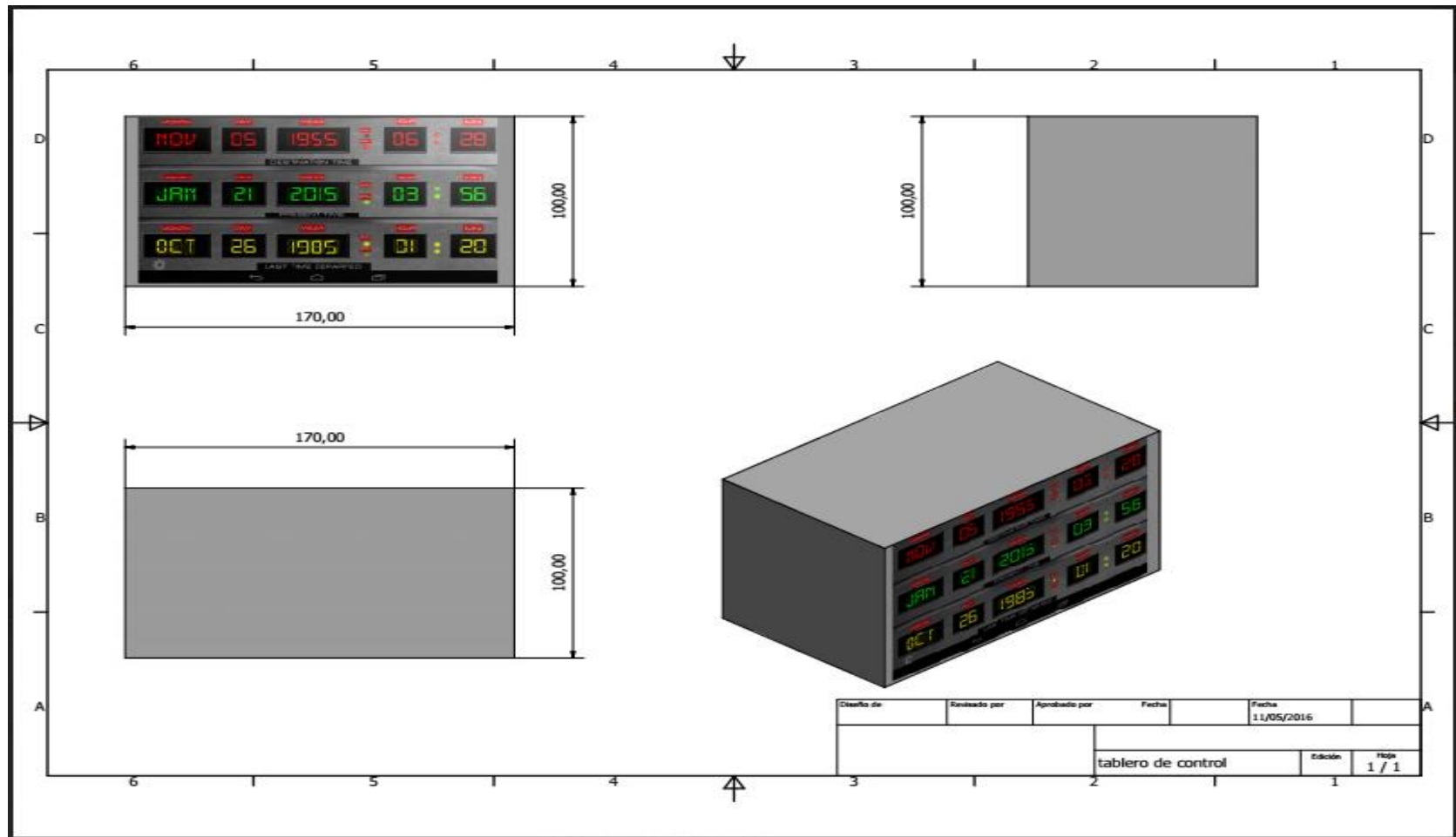
ANEXO 15

PLANOS RESISTENCIAS TÉRMICAS



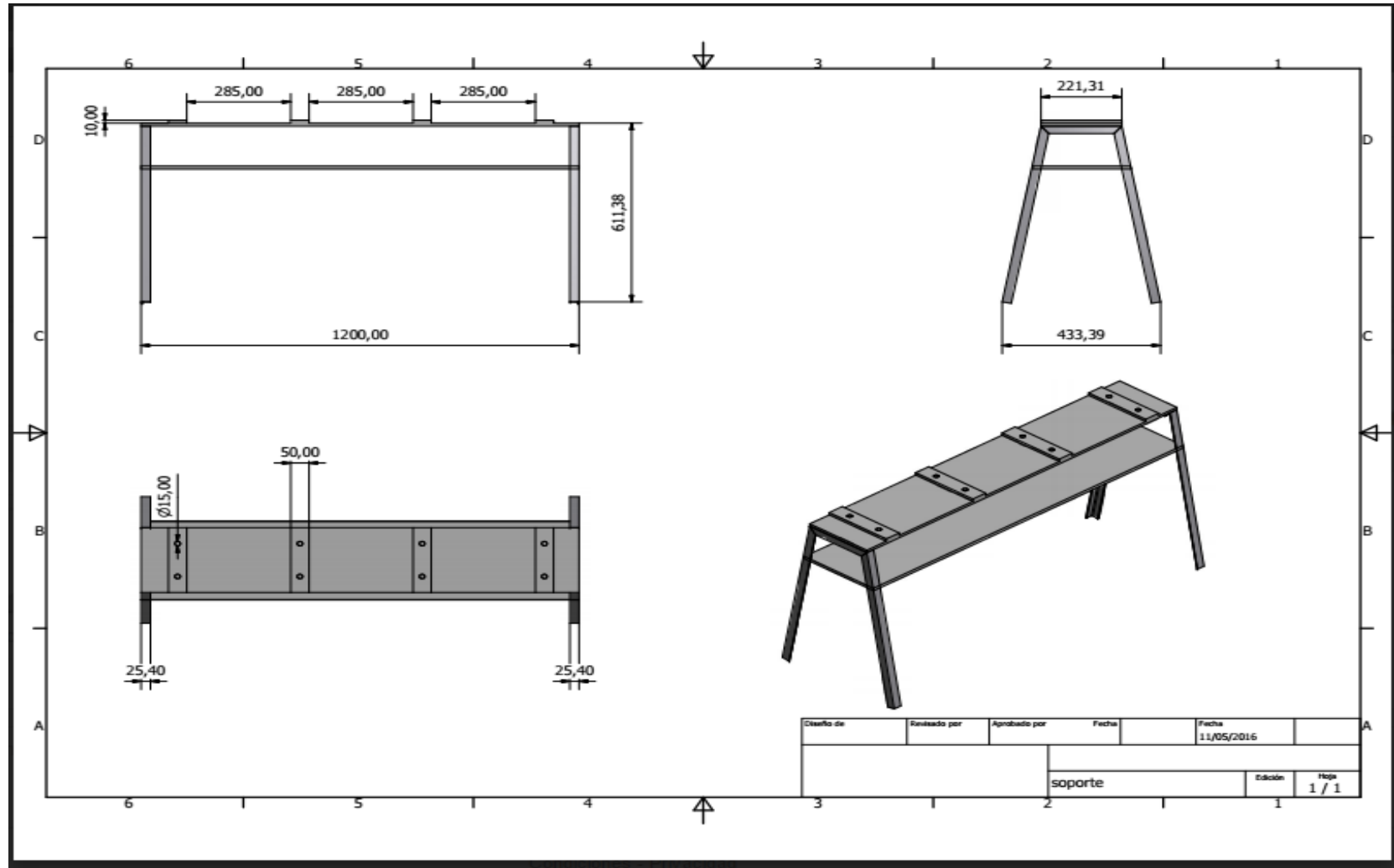
ANEXO 16

PLANOS TABLERO DE CONTROL



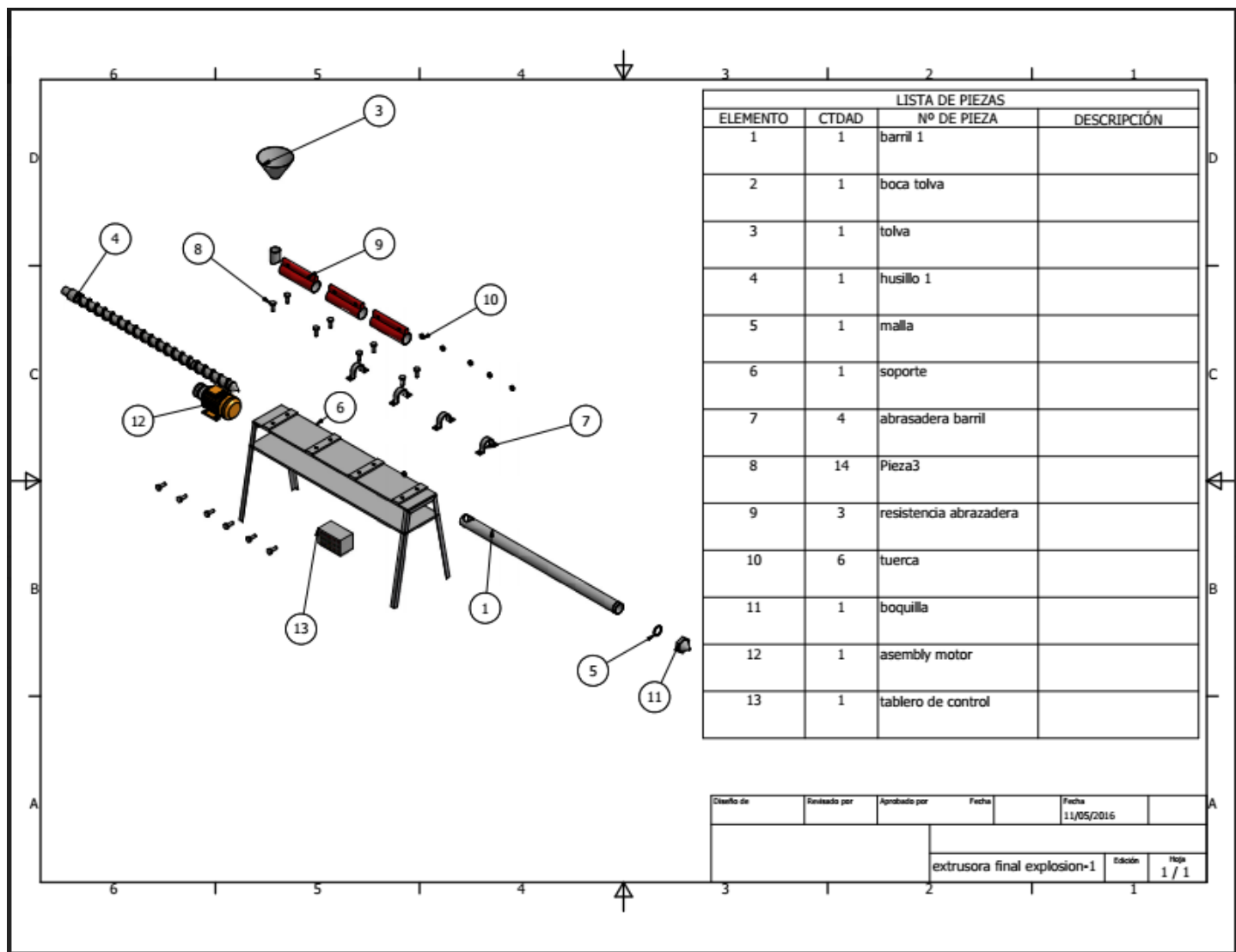
ANEXO 17

PLANOS SOPORTE O BASE



ANEXO 18

PLANOS DESPIECE DE LA MAQUINA EXTRUSORA



ANEXO 19
MANUAL DE OPERACIÓN

	UNIVERSIDAD SANTO TOMAS TUNA		PAG.
	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		1
	MABUAL DE OPERACIÓN DE EXTRUSORA DE PASTICO		
OPERARIO			
N	ACTIVIDAD	DESCRIPCION	REV
1	ENERGISAR MAQUINA	Conectar la maquina extrusora a una fuente de corriente electrica de 220 v para su puesta a funcionamiento.	
2	ENCENDER CONTROLADOR DE TEMPERATURA	El controlador de temperatura debe encenderse para que las resistencias electricas se calienten y transmitan el calor al husillo extrusor, se debe tener en cuenta que en el tablero de control aparece la temperatura en que se esta trabajando.	
3	ENERGIZACION DEL MOTOR	Cuando la temperatura que indica el tablero es la deseada para trabajar se energisa el motor, el cual consta de un sistema on/off, el cual permite encender o apagar el motor cuando se requiera.	
4	SUMINISTRAR MATERIAL A EXTRUIR	Cuando el motor ya se encuentre en funcionamiento, se debe agregar el material a extruir en la parte de la tolva de la maquina.	
5	APAGADO DE LA MAQUINA	debe detener la maquina pero se debe de tener en cuenta que no quede material en el husillo,se debe apagar el motor, y el controlador de temperatura.	
6	DESENERGISAR LA MAQUINA	Se deben desenchufar todos los puntos de la maquina para evitar accidentes y recoger conexiones electricos que hacen parte de la maquina.	

ANEXO 20

COSTOS DE FABRICACIÓN.

ÍTEM	RUBRO	CANTIDAD	VALOR UNIDAD	TOTAL
1	TORNILLO EXTRUSOR	1	1'350.000	1'350.000
2	MOTO REDUCTOR	1	700.000	700.000
3	RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	5	60.000	300.000
4	PANEL DE CONTROL DE TEMPERATURA	1	600.000	600.000
5	MATERIAL ABS EN PELLETS (BULTO)	1	30.000	30.000
6	TOLVA DE ALUMINIO	1	95.000	95.000
7	ESTRUCTURA	1	260.000	260.000
8	CUBIERTA DE SEGURIDAD EN LAMINA	1	160.000	160.000
9	CAMISA	1	160.000	160.000
10	PIÑONES RELACIÓN DE VELOCIDAD	2	55.000	110.000
11	CADENA CONDUCTORA	1	40.000	40.000
12	BOQUILLAS	2	62.000	124.000
13	CHUMACERAS	2	65.000	130.000
14	RUEDAS ESTRUCTURA	4	12.000	48.000
			TOTAL PRESUPUESTO:	\$ 4'107.000

ANEXO 21

ÍTEMS PARA LA SEGURIDAD DEL OPERARIO

SEGURIDAD / PERSONAL

- Usar el equipo de protección personal como protectores auditivos, gafas de protección, calzado de seguridad, guantes y ropa de trabajo.
- El personal encargado puede realizar trabajos en la maquina siempre y cuando haya leído el manual antes de empezar con su trabajo.
- El personal no debe usar ropa suelta, pelo largo ya que existe peligro de sufrir daños como quedar enganchado o atrapado en la máquina.
- La máquina extrusora deberá tener medidas de protección contra los riesgos de contacto térmico y eléctrico por los usuarios.
- La cubierta de seguridad de la maquina deberá permanecer cerrada en todo momento, abriéndose únicamente cuando la maquina este completamente desenergizada, lo que se realizará utilizando los equipos de protección personal necesarios.
- Para el trabajo en la maquina extrusora se dispondrá del correspondiente manual de operación y manual de mantenimiento, facilitado por los fabricantes.
- Las operaciones de limpieza y mantenimiento de la máquina extrusora, se llevarán a cabo siempre con el equipo desconectado y frío.
- En caso necesario, los usuarios de estos equipos deberán usar ropa de trabajo resistente al calor por convección y radiación, de acuerdo con lo dispuesto en la norma ISO 11612.

Cuando estos equipos generen unas condiciones de descompensación térmica en el ambiente de trabajo, las precauciones que deben tenerse en cuenta han de orientarse hacia la reducción del riesgo de tensión térmica, lo que puede lograrse actuando, bien por separado o simultáneamente, sobre dos factores:

- La agresividad térmica del ambiente
- La actividad física del trabajador

No existe una norma general de actuación, por lo que es preciso analizar cada situación concreta para conocer la contribución al riesgo de cada uno de los elementos citados y proceder en consecuencia.

ANEXO 22

MANTENIMIENTO DE LA MAQUINA

MANTENIMIENTO DE LA MAQUINA EXTRUSORA.

Para el correcto funcionamiento de la máquina, se recomienda realizar una inspección periódica, ya que las averías de funcionamiento que se puedan causar por un mal mantenimiento ocasionaran altos costos de reparación así como pérdidas de tiempo y producción.

Se debe iniciar el mantenimiento con los parámetros especificados a continuación:

- **Inspección:** Se recomienda una inspección diaria de toda la máquina para encontrar piezas dañadas, fallas leves o imperfecciones en la máquina. La máquina debe ser monitoreada durante su operación para identificar anomalías durante su proceso y estas sean corregidas.
- **Limpieza:** Se deben mantener todos los elementos de la máquina totalmente limpios, libres de grasa y residuos de plásticos que no se encuentren dentro de la camisa y la tolva, que pueden hacer que la máquina se desajuste o se dañe.
- **Ajuste:** Es recomendable verificar todos los tornillos de la máquina ya que se pueden desajustar debido a las vibraciones.
- **Lubricación:** Dentro de los componente a lubrica en la máquina se encuentran las chumaceras estos deben ser suministrados de grasa y hacer un chequeo semanalmente para tener en óptimas condiciones la máquina.

RECOMENDACIONES ANTES DE REALIZAR EL MANTENIMIENTO.

- Cuando la maquina este en proceso de mantenimiento se debe indicar con un aviso de fácil visualización.
- La limpieza permanente de la maquina facilita la inspección y el mantenimiento de igual forma se pueden prevenir fallas por tiempo de uso.
- Mantenga limpio y ordenado su sitio de trabajo de tal manera que pueda efectuar el trabajo de mantenimiento de forma segura y eficiente.
- Use herramientas de trabajo de buena calidad, herramientas en malas condiciones o de mala calidad pueden ocasionar lesiones personales.

DATOS Y RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MÁQUINA EXTRUSORA.

- Proteger la extrusora de la intemperie y de los efectos corrosivos de algunos productos.
- Lubricar todos los puntos que requiera la máquina para su correcto funcionamiento.
- Limpiar todos los residuos de plástico que permanecieron fuera de la camisa y la tolva después de cada jornada de trabajo.
- Mantener la extrusora en un lugar protegido del sol y de la lluvia.
- Al final de cada jornada de trabajo se debe realizar una limpieza a la maquina utilizando una aspiradora o sopladores evitando utilizar agua con el fin de no oxidar algún componente de la máquina.

PROCESOS DE MANTENIMIENTO.

- Se recomienda lubricar las chumaceras o rodamientos después de cada jornada de trabajo.
- Comprobar el apriete de tuercas, tornillos y el estado de los componentes en general cada 48 horas de funcionamiento.
- Inspeccionar y limpiar la cubierta de protección después de cada jornada de trabajo.
- Se recomienda comprobar el nivel del ruido y el calentamiento de las chumaceras mensualmente.
- Verificar que todos los contactos eléctricos se encuentre bien hechos, aislados y ajustados.
- Después de usar la maquina se debe dejar funcionando un tiempo prudente de 10 minutos para dejar en vacío la máquina y evitar gran cantidad de material adherido al tornillo extrusor.