



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA**

**TEMA: "PROTOTIPADO DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA DE
FILAMENTO PLÁSTICO PET, PARA UNA IMPRESORA 3D"**

AUTOR: LÓPEZ ACURIO JEFFERSON ALEXANDER

DIRECTOR: ING. DIEGO BUSTILLOS

LATACUNGA

2018

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, " **PROTOTIPADO DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA DE FILAMENTO PLASTICO PET, PARA UNA IMPRESORA 3D**" realizado por el señor **LÓPEZ ACURIO JEFFERSON ALEXANDER**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto, me permito acreditarlo y autorizar al señor **LÓPEZ ACURIO JEFFERSON ALEXANDER** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, Octubre del 2018

Ing. Diego Bustillos

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRONICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **LÓPEZ ACURIO JEFFERSON ALEXANDER**, con cédula de identidad N° 1723646129, declaro que este trabajo de titulación "**PROTOTIPADO DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA DE FILAMENTO PLASTICO PET, PARA UNA IMPRESORA 3D**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, Octubre del 2018

López Acurio Jefferson Alexander

CI: 1723646129

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **LÓPEZ ACURIO JEFFERSON ALEXANDER**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación "**PROTOTIPADO DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA DE FILAMENTO PLASTICO PET, PARA UNA IMPRESORA 3D**" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

López Acurio Jefferson Alexander

CI: 1723646129

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado a mis padres, hermanos y tíos que con la ayuda de ellos se ha hecho posible que logre a ver alcanzado un día más en mis metas y por a ver aportado en mi sus conocimientos y enseñanzas que han hecho de mí una persona con anhelos y luchadora y con sus consejos para ser una persona de bien y lograr poder aportar a la sociedad.

López A. Jefferson A.

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradeceré a mi Dios por haberme dado otro día de vida, a mis padres y familiares que hicieron todo lo posible para poder culminar mis estudios y brindándome ese apoyo incondicional para la realización de este trabajo de titulación, a la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE - LATACUNGA Y UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS por haberme permitido cumplir este objetivo.

López A. Jefferson A.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN	II
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
Antecedentes	1
Planteamiento del problema.....	2
Justificación.....	4
Objetivos	4
General.....	4
Específicos.....	4
Alcance.....	5
CAPÍTULO II	6
ESTADO DEL ARTE	6
POLÍMEROS	6
Se pueden clasificar según diversos criterios.....	6
LA CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS	6
TIPOS DE PLÁSTICOS.....	7

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET).....	9
Densidad.....	9
Solubilidad en líquidos orgánicos.....	9
Comportamiento durante la fusión.....	9
EL RECICLAJE DE BOTELLAS PET	9
El proceso de reciclado de una botella de pet.....	10
EXTRUSORA	10
ESQUEMA DE EXTRUSOR.....	11
Tolva.....	11
Cilindro.....	12
Husillo.....	12
El Motor	13
El Cabezal	13
Plato rompedor y filtros.....	13
Boquilla.....	14
FUNCIONES DE UN EQUIPO DE EXTRUSIÓN.	14
TÉCNICAS DE EXTRUSIÓN	15
TIPOS DE EXTRUSORAS	15
Extrusoras de un sólo husillo.....	16
Extrusoras de doble husillo.	17
CAPITULO III	18
SELECCION Y DISEÑO DE LOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA.....	18
INTRODUCCIÓN.	18
ESPECIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES	18
Base	18
Tolva.....	18

Cilindro.....	19
Husillo.....	19
Boquilla.....	19
Sistema eléctrico y electrónico.....	19
DISEÑO DE LA EXTRUSORA.....	19
Cilindro.....	19
Calculo del husillo.....	20
Producción del tornillo.....	23
Flujo de arrastre o de fricción (α).....	25
Flujo de presión (β).....	25
Flujo de filtración (γ).....	26
Constante total de la cabeza (K).....	26
Intervalos de velocidad de cortadura.....	27
Viscosidad efectiva.....	28
Relación de longitud del husillo.....	29
Tolerancias del tornillo/cilindro.....	30
Zonas del husillo.....	31
Calculo de números de filetes del husillo.....	32
Calculo de revoluciones del husillo.....	32
Relación de compresión (β).....	32
Calculo de la potencia requerida.....	33
Presiones en la máquina extrusora.....	34
Calculo de fuerzas del husillo.....	34
Selección de material para el husillo.....	36
Selección para el mezclador.....	36
SISTEMA ELECTRICO Y ELECTRONICO.....	37

Selección del motor reductor.....	38
Resistencias tipo abrazadera	38
Variador de frecuencia	39
Controlador de temperatura	39
Relé en estado sólido.....	40
DISEÑO DE LA TOLVA.....	42
Dimensiones de la tolva.	42
IMPRESIÓN 3D.....	43
CAPITULO IV.....	44
MODELADO COMPUTACIONAL DE LA MÁQUINA Y ANÁLISIS ELEMENTOS FINITOS (AEF).....	44
MODELADO COMPUTACIONAL DE LA MÁQUINA.....	44
ANÁLISIS ESTÁTICO DEL HUSILLO Y CILINDRO.....	47
CAPITULO V.....	50
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
Conclusiones.....	50
Recomendaciones.....	51
BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXOS	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Polímeros	6
Figura 2	Tipos de plásticos.....	8
Figura 3	Reciclaje de botellas pet.....	10
Figura 4	Esquema de extrusor	11
Figura 5	Tolva.....	11
Figura 6	Cilindro	12
Figura 7	Husillo o tornillo	13
Figura 8	Motor reductor eléctrico.....	13
Figura 9	Filtro	14
Figura 10	Boquilla.....	14
Figura 11	Extrusora de un husillo.....	16
Figura 12	Extrusora de doble husillo.	17
Figura 13	Sistema del cilindro	20
Figura 14	Estructura del cilindro	20
Figura 15	Sección de un cilindro con husillo de un canal	20
Figura 16	Diagrama de velocidades de flujo.....	24
Figura 17	Intervalos de velocidad de cortadura.....	28
Figura 18	Intervalos de viscosidad	29
Figura 19	Zonas del husillo	31
Figura 20	Diagrama de fuerzas de un husillo	35
Figura 21	Mezclador Axón Mixing Ring	37
Figura 22	Motor reductor	38
Figura 23	Resistencia tipo abrazadera	39
Figura 24	Variador de frecuencia.	39
Figura 25	Especificación del relé seleccionado.....	41
Figura 26	Esquema eléctrico de la extrusora de plástico... ..	41

Figura 27	Dimensiones de la tolva	42
Figura 28	Barril	44
Figura 29	Base del barril	44
Figura 30	Tolva.....	45
Figura 31	Tornillo sin fin	45
Figura 32	Boquilla.....	45
Figura 33	Mesa de soporte.....	46
Figura 34	Caja metálica.....	46
Figura 35	Ensamblado de la máquina	47
Figura 36	Tensión de Von Mises	48
Figura 37	Factor de seguridad.....	48
Figura 38	Tensión de Von Mises	49
Figura 39	Factor de seguridad.....	49

RESUMEN

La presente investigación, tiene el objetivo de crear un prototipo de una máquina extrusora con el fin de utilizar materia prima pellet PET reciclado e implementar un proceso de termo formación para la fabricación del filamento.

Para la selección de los componentes críticos de la maquina se optó en estudiar de forma teórica cada componente, este estudio va a estar acompañado de un diseño tridimensional mediante un Software CAD para poder tener un análisis computacional y así poder elegir los elementos mecánicos críticos mediante el uso de método de elementos finitos.

También se seleccionó el sistema eléctrico y electrónico ya que estos cumplen la función de dar el movimiento a la máquina y el control de temperatura para el proceso de termoplástico.

PALABRAS CLAVE:

- **MÁQUINA EXTRUSORA**
- **TERMOPLÁSTICO**
- **SOFTWARE CAD**

ABSTRACT

The present investigation has the objective of creating a prototype of an extruder machine in order to use recycled PET pellet raw material and to implement a thermoforming process for the manufacture of the filament.

For the selection of the critical components of the machine we opted to study each component theoretically, this study will be accompanied by a three-dimensional design using a CAD Software to be able to have a computational analysis and thus be able to choose the critical mechanical elements through the use of finite element method.

The electrical and electronic system was also selected since they fulfill the function of giving the movement to the machine and the temperature control for the thermoplastic process.

KEYWORDS:

- **EXTRUDE MACHINE**
- **THERMOPLASTIC**
- **SOFTWARE CAD**

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

"PROTOTIPADO DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA DE PLASTICO PET PARA UNA IMPRESORA 3D"

Antecedentes

La población consume una gran variedad de productos plásticos, generando con ello materiales no aprovechables. Hace unos años la generación de residuos sólidos como los plásticos, no representaban una preocupación, pues el consumo de estos materiales no era un volumen alarmante. Al incrementarse el número de habitantes, los residuos aumentaron también, generando con ello un problema de salud.

Posteriormente se implementaron lugares para depositar los residuos, o se incineraban a cielo abierto. Actualmente, los gobiernos locales disponen de los medios para asegurar la salud y bienestar de sus habitantes e impulsar sistemas para el reciclado de los diferentes residuos que pudiesen ser reutilizados en otras aplicaciones.

En la Unidad de Gestión de Tecnologías ESPE, no se encontró información de un proyecto de reutilización de material plástico, por lo que se recopila información de proyectos creados en otras instituciones de educación como punto de partida.

Con relación al tema planteado se ha encontrado trabajos similares presentados a continuación con los siguientes temas:

Según Jimmy Gómez y Jorge Gutiérrez estudiantes de Tecnología mecánica de la Universidad tecnológica de Pereira, realizo el siguiente proyecto "Diseño de una extrusora para plásticos" Este trabajo se encarga de estudiar en forma teórica los conceptos relacionados con la extrusión y diseñar una máquina que nos permita la extrusión termoplásticos, en este caso el

polipropileno (PP). (Gomez&Gutierrez, 2008)

Según Diego Armando Pilatasig Lasluisa y Freddy Rodolfo Pozo Correa, estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, realizaron el proyecto “Diseño y construcción de una máquina para moler plástico PET para la microempresa de reciclaje Santa Anita ubicada en el cantón Salcedo provincia de Cotopaxi”, De acuerdo a los resultados de la investigación se ha priorizado la construcción de una máquina para moler plásticos PET para la microempresa de reciclaje. (Pilatasig&Rodolfo, 2015)

Con la información adquirida se ha determinado realizar el proyecto de prototipo de una máquina extrusora de plástico, con la ayuda de un diseño y análisis estructural del prototipo mediante la utilización de software computacional por medio de elementos finitos.

Planteamiento del problema

La existencia del plástico no es hace mucho, este existe solo unos 60 a 70 años, pero con la elaboración de este vinieron varios cambios, desde la cocina, ropa y diseño de productos como en este caso vamos a hablar de las botellas la principal función de esta solo es el transporte de líquidos.

Hasta la fecha de hoy se calcula que se producen 8300 millones de toneladas de plástico

Esto hasta el 2015, se generaron 6300 millones de toneladas de residuos de plásticos los cuales solo el 9% era reciclado, el 12% incinerado y el 79% restante era solo acumulado en vertederos o en los entornos naturales

Y así hasta el día de hoy la producción de plástico ha aumentado considerablemente donde las consecuencias ya se pueden ver en los ríos o mares donde es más frecuente encontrar este tipo de residuos.

La demanda de las botellas plásticas ha traído varias consecuencias donde nosotros podemos apreciar mejor son en nuestro entorno ya que estos pueden tardar en degradarse hasta en 1000 años.

Para elaborar una botella de plástico que se use como envase para agua se emplea polietileno tereftalato (PET) procedente de hidrocarburos. Esa resina,

tras pasar procesos de estirado y soplado, se convierte en el envase de plástico. A lo largo del proceso se liberan gases de efecto invernadero y se gastan hasta 3 litros de agua en la fabricación y producción de una botella que solo contendrá un litro del mismo líquido.

Si a la gran cantidad de botellas usadas en el día a día le añadimos la lenta degradación de este material, se entiende que cada año se tiran 280 millones de toneladas de plástico "a la basura". De esa monstruosa cantidad, una gran parte acaba en el mar, que según diversos estudios acumula un 80% de basura marina con origen terrestre y/o humano.

Si no se controlaría esta gran cantidad varias especies marinas se verían gravemente afectadas.

En este trabajo se realizara un prototipado de una máquina de extrusión de plástico, ya que no es muy común ver este tipo de máquinas en la parte de las industrias a nivel del Ecuador para poder fomentar el reciclaje.

Se realizara un proceso industrial que se utiliza en máquinas extrusoras para procesar materia prima y de reciclaje. El flujo continuo del material, la presión, temperatura y empuje permiten hacer pasar el material fundido por medio de un molde para darle la forma deseada.

La materia prima que se encuentra en forma de gránulos para a través de un embudo que abastece constantemente al cilindro calentado en cuyo interior se encuentra un husillo que empuja el material a lo largo del cilindro y a la vez genera presión y aumenta la temperatura aún más para fundir y homogenizar la materia prima.

El plástico fundido posteriormente pasa por un cabezal o boquilla por donde fluye fuera del cilindro. El cabezal puede tener un perfil especial para la fabricación de láminas, tubos y filamentos de complicadas formas.

Por lo tanto, es necesario construir un prototipo de una máquina extrusora de plástico granulado de botellas plásticas PET para procesos de materia prima

Justificación

El motivo por el cual se crea este proyecto es porque en nuestro país no se ha dado mucha importancia al tratamiento de desechos sólidos que puedan generar nuevos productos disminuyendo la contaminación.

El reciclaje de las botellas de plásticos nos traen efectos positivos, los cuales son como primer fundamento tenemos el compromiso ambiental ya que el plástico es derivado del petróleo que como se sabrá este no es un recurso renovable, por el mismo motivo que se tardaría en la degradación natural, el segundo fundamento está en la ayuda social pues se puede generar con la venta de materiales reciclables y así poder tener una financiación y poder ayudar en si al ambiente y generando trabajo y como el ultimo fundamento son las fuentes de trabajo ya que en el Ecuador se ha empezado a trabajar con lo que son los desechos reciclables.

Los beneficiarios de este proyecto será la población ya que al validar el prototipo luego se lo puede implementar a nivel industrial y aminorar la contaminación ambiental dando un nuevo uso al plástico, para eso es que utilizaremos una serie de herramientas aprendidas en el transcurso de esta carrera como: dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos, mecanismos con los que funcionan, incrementando así el índice de aprendizaje obtenido durante la carrera.

Con la ayuda de la extrusora de plástico se podrán fabricar nuevos productos pues se pueden utilizar materiales variados y así poder tener un mejor uso transformándolos en objetos con usos completamente nuevos y así poder preservar el medio ambiente en sí.

Objetivos

General

Prototipar una máquina extrusora de filamento plástico PET para una impresora 3D, a través de una herramienta de diseño y simulación (CAD).

Específicos

- Recopilar información acerca de un prototipo de una máquina extrusora de plástico granulado PET.
- Diseñar la estructura mecánica mediante un software CAD.
- Elegir los elementos mecánicos críticos mediante el uso de método de elementos finitos.
- Seleccionar y dimensionar correctamente todos los elementos que intervienen en la máquina extrusora.
- Construir el prototipo de la máquina siguiendo los diagramas establecidos en el diseño.
- Seleccionar e implementar el sistema de control de temperatura para el extrusor.

Alcance

Prototipado de una máquina extrusora de plástico granulado PET para la creación de filamento plástico en un carrete para materia prima de una impresora 3D, analizando la extrusora mecánica del prototipo mediante la utilización de un software computacional CAD, también la selección e implementación del sistema de control de temperatura del extrusor.

CAPÍTULO II

ESTADO DEL ARTE

2.1 POLIMEROS

Son moléculas muy grandes, con una masa molecular que puede alcanzar millones de UMAs que se obtienen por la repeticiones de una o más unidades simples llamadas “monómeros” unidas entre sí mediante enlaces covalentes. (Rodríguez, 2007)

2.1.1 Se pueden clasificar según diversos criterios:

Según su origen.

- **Naturales:** Caucho, polisacáridos (celulosa, almidón), proteínas, ácidos nucleicos...
- **Artificiales:** Plásticos, fibras textiles sintéticas, poliuretano, baquelita...

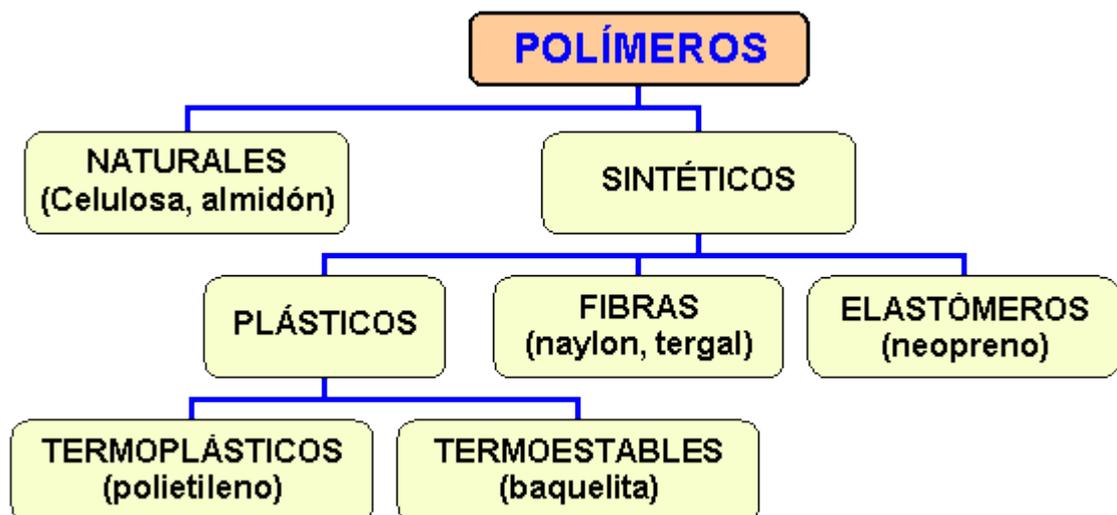


Figura 1 Polímeros.

Fuente: (Rodríguez, 2007)

2.2 LA CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS.

Los plásticos están diferenciados según un Código de Identificación de

Plásticos, que es un sistema utilizado internacionalmente en el sector industrial para distinguir la composición de resinas en los envases y otros productos plásticos. Esto fue realizado por la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI) en el año 1988, con el fin de propiciar y dar más eficiencia al reciclaje. (SL, 2015)

Los diferentes tipos de plástico se identifican con un número del 1 al 7 ubicado en el interior del clásico signo de reciclado (triángulo de flechas en seguimiento). Veamos qué denominación tiene cada uno de ellos y cuáles son sus características. (SL, 2015)

2.3 TIPOS DE PLÁSTICOS:

1. PET (Polietileno tereftalato). El PET se utiliza principalmente en la producción de botellas para bebidas. A través de su reciclado se obtiene principalmente fibras para relleno de bolsas de dormir, alfombras, cuerdas y almohadas. (SL, 2015)

2. HDPE (Polietileno de alta densidad). El HDPE normalmente se utiliza en envases de leche, detergente, aceite para motor, etc. El HDPE tras reciclarse se utiliza para macetas, contenedores de basura y botellas de detergente. (SL, 2015)

3. PVC (Cloruro de polivinilo). El PVC es utilizado en botellas de champú, envases de aceite de cocina, artículos de servicio para casas de comida rápida, etc. El PVC puede ser reciclado como tubos de drenaje e irrigación. (SL, 2015)

4. LDPE (Polietileno de baja densidad). El LDPE se encuentra en bolsas de supermercado, de pan, plástico para envolver. El LDPE puede ser reciclado como bolsas de supermercado nuevamente. (SL, 2015)

5. PP (Polipropileno). El PP se utiliza en la mayoría de recipientes para yogurt, sorbetes, tapas de botella, etc. El PP tras el reciclado se utiliza como viguetas de plástico, peldaños para registros de drenaje, cajas de baterías para autos. (SL, 2015)

6. PS (Poliestireno). El PS se encuentra en tazas desechables de bebidas calientes y bandejas de carne. El PS puede reciclarse en viguetas de plástico,

cajas de cintas para casetes y macetas. (SL, 2015)

7. Otros. Generalmente indica que es una mezcla de varios plásticos. Algunos de los productos de este tipo de plástico son: botellas de ketchup para exprimir, platos para hornos de microondas, etc. Estos plásticos no se reciclan porque no se sabe con certeza qué tipo de resinas contienen. (SL, 2015)



Figura 2 Tipos de plásticos.

Fuente: (SL, 2015)

2.4 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)

Para el procesamiento de materiales plásticos se deben conocer algunas características básicas de las materias primas utilizadas. En el Anexo 1 se presenta la caracterización general del polipropileno. La importancia de cada uno de los datos de caracterización del material se presenta a continuación. (Angulo, 1995)

2.4.1 Densidad

Los plásticos tienen diferentes densidades. Una manera sencilla de clasificar los materiales sintéticos dependiendo del tipo o familia, es mediante su inmersión en agua. El Tereftalato de polietileno (PET) tiene menor densidad que el agua y por lo tanto flota en dicho medio. (Angulo, 1995)

2.4.2 Solubilidad en líquidos orgánicos

Los plásticos en contacto con compuestos orgánicos pueden disolverse, hincharse o permanecer inertes. A partir de este comportamiento es posible su reconocimiento mediante pruebas rápidas con diferentes disolventes. (Angulo, 1995)

2.4.3 Comportamiento durante la fusión

Si se descomponen los plásticos por fusión, se generan vapores que pueden ser ácidos o alcalinos. Mediante pruebas de fusión de los plásticos se puede tener un acercamiento a su clasificación como sigue:

- Fusión sin descomposición: no hay cambios de color.
- Fusión con descomposición: la masa fundida toma coloración negra o marrón.
- Descomposición sin fusión: la muestra cambia de color, sin perder la forma. (Angulo, 1995)

2.5 EL RECICLAJE DE BOTELLAS PET

El proceso de reciclaje comienza en los centros de clasificación, que aceptan botellas usadas de diferentes sistemas de recogida y las clasifican en balas de botellas que se entregan a las empresas recicladoras. Estos paquetes

se clasifican según el material en un centro de clasificación o en una etapa previa del proceso de la recicladora. (Packaging, 2016)

2.5.1 El proceso de reciclado de una botella de (PET)

1. Recogida: el proceso de recogida comienza con la recogida de botellas de PET en balas.
2. Desembalado: las balas empaquetadas con botellas comprimidas se separan en botellas individuales.
3. Clasificación: la clasificación de botellas se puede llevar a cabo a mano o mediante clasificación automática.
4. Triturado: las botellas de PET clasificadas por colores se trituran en copos gruesos.
5. Primer proceso de limpieza en seco/lavado: los copos se limpian con agua/vapor.
6. Molido: los copos más grandes se muelen en copos más pequeños.



Figura 3 Reciclaje de botellas PET.

Fuente: (Packaging, 2016)

2.6 EXTRUSORA

La extrusión consiste en hacer pasar bajo la acción de la presión un material termoplástico a través de un orificio con forma más o menos compleja (hiler), de manera tal, y continua, que el material adquiera una sección transversal igual a la del orificio. En la extrusión de termoplásticos el proceso no es tan simple, ya que durante el mismo, el polímero se funde dentro de un cilindro y posteriormente, enfriado en una calandria, Este proceso de extrusión tiene por objetivos, proceso que es normalmente continuo, usarse para la

producción de perfiles, tubos, películas plásticas, hojas plásticas, etc. (Mariano, 2011)

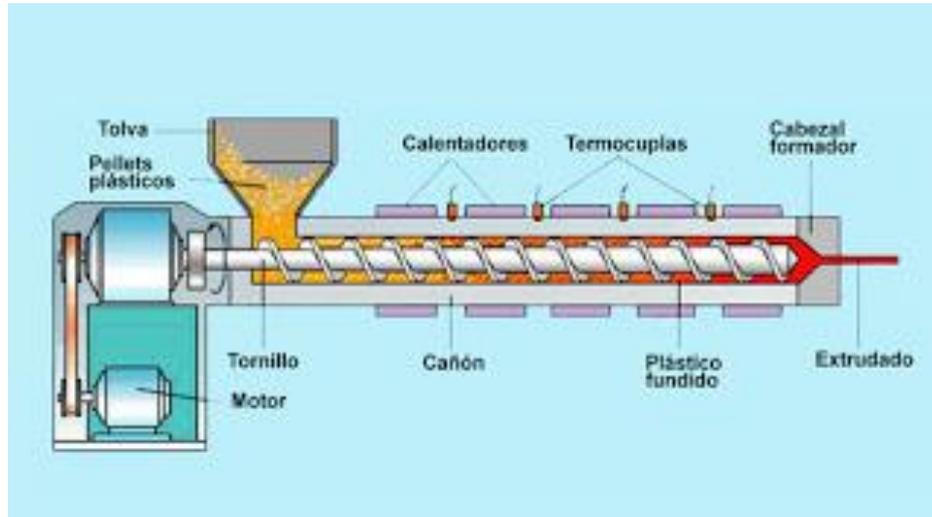


Figura 4 Esquema de extrusor.

Fuente: (Mariano, 2011)

2.7 ESQUEMA DE EXTRUSOR

2.7.1 Tolva: La tolva es el depósito de materia prima en donde se colocan los pellets de material plástico para la alimentación continua del extrusor. (Mariano, 2011)

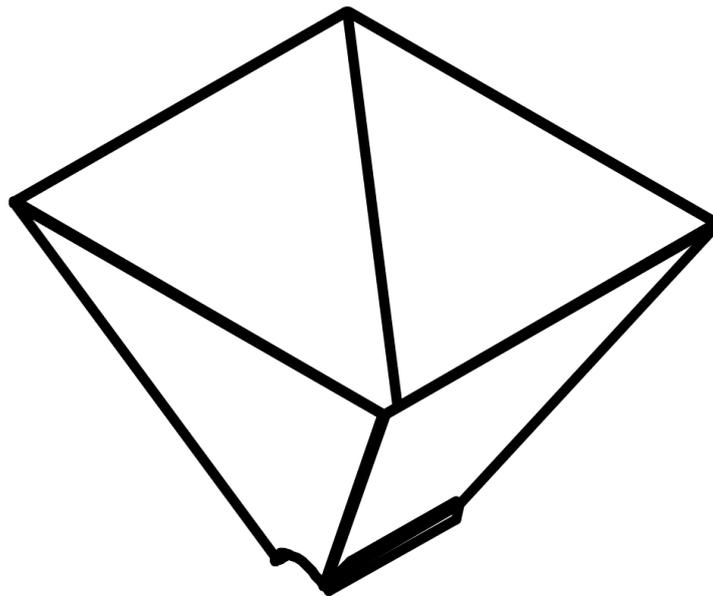


Figura 5 Tolva

2.7.2 Cilindro: Es un cilindro metálico que aloja al husillo y constituye el

cuerpo principal de una máquina de extrusión, conforma, junto con el tornillo de extrusión, la cámara de fusión y bombeo de la extrusora. En pocas palabras es la carcasa que envuelve al tornillo. El barril debe tener una compatibilidad y resistencia al material que esté procesando, es decir, ser de un metal con la dureza necesaria para reducir al mínimo cualquier desgaste. (Mariano, 2011)

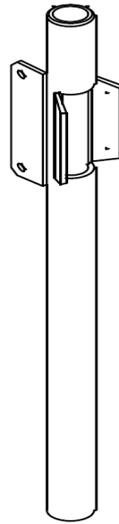


Figura 6 Cilindro.

2.7.3 Husillo: Gracias a los intensos estudios del comportamiento del flujo de los polímeros, el husillo ha evolucionado ampliamente desde el auge de la industria plástica hasta el grado de convertirse en la parte que contiene la mayor tecnología dentro de una máquina de extrusión. (Mariano, 2011)

Por esto, es la pieza que en el alto grado determina el éxito de una operación de extrusión. Con base al diagrama, se describen a continuación las dimensiones fundamentales para un husillo y que, en los diferentes diseños, varían en función de las propiedades de flujo de polímero fundido que se espera de la extrusora. (Mariano, 2011)

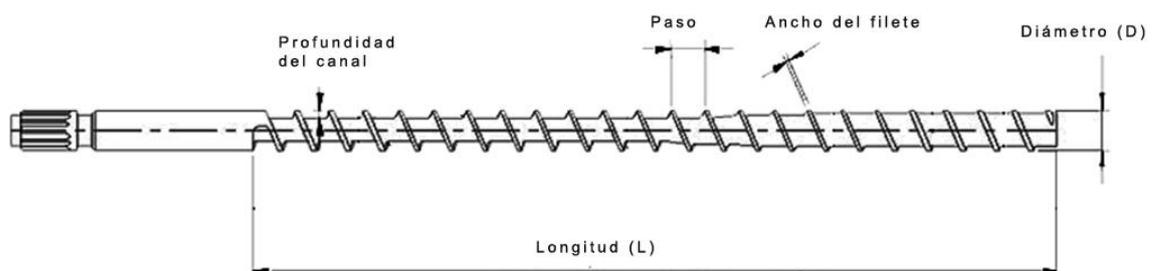


Figura 7 Husillo o tornillo

Fuente: (Mariano, 2011)

2.7.4 El Motor Reductor: El motor reductor de la extrusora es el componente del equipo responsable de suministrar la energía necesaria para producir: el movimiento del husillo, el transporte del material y el bombeo a través del cabezal y la boquilla. (Mariano, 2011)



Figura 8 Motor reductor eléctrico.

Fuente: (Mariano, 2011)

2.7.5 El Cabezal: El componente de la línea denominado cabezal, es el responsable de conformar o proporcionar la forma del extrusado. (Mariano, 2011)

De forma detallada, los principales componentes de un cabezal para la extrusión son:

2.7.5.1 Plato rompedor y filtros: Constituyen el punto de transición entre la extrusora y el cabezal. A estos componentes les corresponde una parte importante de la calidad del material extrusado. El plato rompedor es el primer elemento del cabezal destinado a romper con el patrón de flujo en espiral que el tornillo imparte; mientras que la función de los filtros es la de eliminar del extrusado partículas y/o grumos provenientes de impurezas, carbonización, pigmentos y/o aditivos, etc. (Mariano, 2011)

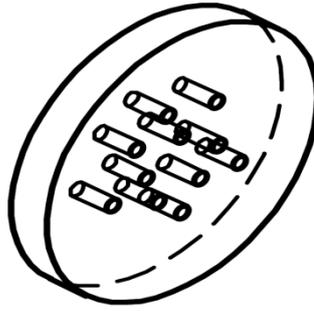


Figura 9 Filtro.

2.7.5.2 **Boquilla:** La boquilla de extrusión es el componente del cabezal encargado de la conformación final del extrusado. Se debe velar por que el polímero fluya, con volumen y velocidad de flujo uniforme, alrededor de toda la circunferencia de la boquilla, de manera de lograr espesores uniformes. (Mariano, 2011)

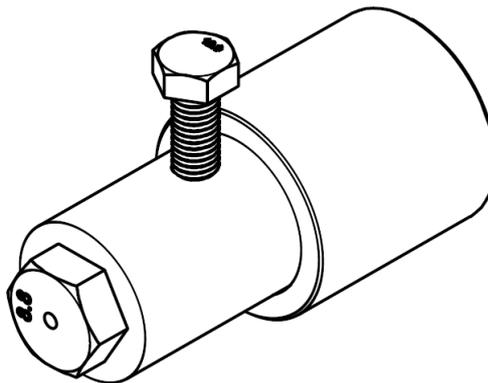


Figura 10 Boquilla.

2.8 FUNCIONES DE UN EQUIPO DE EXTRUSIÓN

Los equipos de extrusión cumplen diferentes funciones, dependiendo del fin especificado para su operación. En general, 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 semi-elaborado

2.9 TÉCNICAS DE EXTRUSIÓN

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

- Extrusión con un sólo husillo
 - Extrusores convencionales o típicos
 - Extrusores con ventilación (o venteo) o desgasificación
 - Extrusores co-mezcladores
- Extrusores sin husillo
 - Bombas
 - Extrusores de discos
- 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 (Ramos, 1994)

2.10 TIPOS DE EXTRUSORAS

Las extrusoras más comunes utilizan un sólo husillo en el cañón. Este husillo tiene comúnmente una cuerda, pero puede tener también dos y 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. (Ramos, 1994)

2.10.1 Extrusoras de un sólo husillo

La división más común para extrusoras de un sólo husillo consiste en cuatro 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 polímero. (Ramos, 1994)

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 en igual proporción en la muestra.
- Dispersión: Logra que los componentes no se aglomeren sino que formen partículas del menor tamaño posible. (Ramos, 1994)

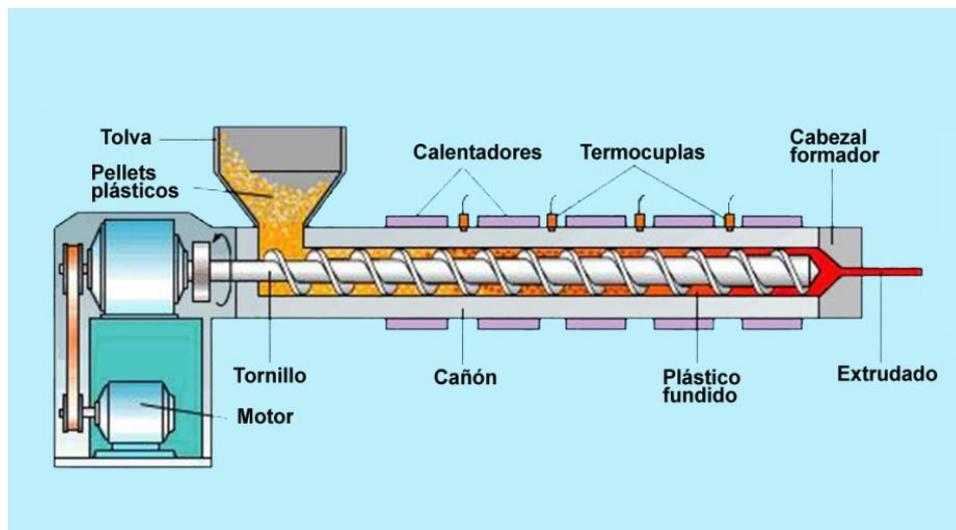


Figura 11 Extrusora de un husillo

Fuente: (Paredes Sarabia, 2014)

2.10.2 Extrusoras de doble husillo

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. (Ramos, 1994)

Para algunos materiales este proceso es demasiado agresivo, por lo cual resulta inadecuado, existe la creencia de que los concentrados de color se realizan por lo general en este tipo de extrusores, sin embargo, la mayoría de los pigmentos sufren degradación debido a las condiciones tan agresivas del proceso, por ello, muchos fabricantes de concentrados utilizan un cañón largo de un solo husillo. En la figura 4 se presenta un esquema de este dispositivo. (Ramos, 1994)

Existen dos tipos de extrusoras doble husillo: las que engranan y las que no engranan. De las primeras existen dos tipos, los co-rotativos y el contra-rotativos, según la dirección de giro. (Ramos, 1994)

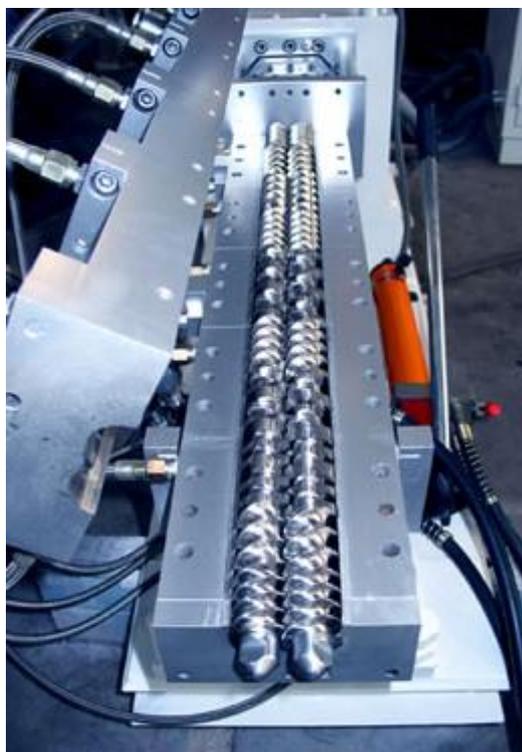


Figura 12 Extrusora de doble husillo.

Fuente: (Paredes Sarabia, 2014)

CAPITULO III

SELECCION Y DISEÑO DE LOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA

3.1 INTRODUCCIÓN

La máquina extrusora que se estudia en este proyecto es exclusivamente con el diseño de una máquina extrusora de solo un husillo.

Una máquina extrusora de plástico pide de un estudio a partir de varios puntos de vista los cuales son: el material con el que vamos a trabajar, el proceso a manejar y la forma del producto final.

Un aspecto necesario es indicar que la máquina va a ser un prototipo por lo que es una máquina de producción reducida, aunque con los posibles cálculos podemos hacer que la máquina puede ser capaz de incrementar la producción en comparación con la máquina de estudio.

3.2 ESPECIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES

Se va a tener en cuenta que los componentes que se especificaran serán los elementos más importantes, pero sin dejar de recalcar que los componentes de menor tamaño no sean de menor importancia en el diseño de la máquina.

3.2.1 Base.

La base es aquella que soporta todo el peso de la máquina, por lo que este debe ser elaborado de un material resistente y que su estructura este bien elaborada para no tener ningún inconveniente en el momento de funcionamiento.

3.2.2 Tolva.

La tolva es la encargada del almacenamiento y apilamiento del material, pues este tiene que estar afinadamente con el cilindro para que suministre un paso constante del material al husillo.

3.2.3 Cilindro.

En el cilindro va a estar acoplado en su interior el husillo, su superficie debe ser muy rugosa para soportar la fuerza de corte del material para que fluya a lo largo de la extrusora y en su exterior las resistencias eléctricas ya en este caso serían circulares que se le pondrían en toda su longitud para que la transferencia de calor sea la indicada para la fundición del plástico.

3.2.4 Husillo.

Para la creación del husillo se tiene que tener en cuenta varios factores como son su longitud (L), diámetro (D), el ángulo del filete (ϕ) y el paso de rosca (w).

3.2.5 Boquilla.

La boquilla está ubicada en el final del cilindro, esta es la encargada de moldear el plástico para el uso que queramos. Por lo general esta va atornillada al cilindro para que este no tenga problemas en el momento del funcionamiento, también se encuentra un filtro ubicada en la boquilla.

3.2.6 Sistema eléctrico y electrónico.

El sistema eléctrico y electrónico es el que se va a encargar de la temperatura de las resistencias y la velocidad del motor eléctrico, pues en si todo su proceso.

3.3 DISEÑO DE LA EXTRUSORA

Una máquina extrusora de plástico demanda de un estudio a partir de varios puntos de vista los cuales son: el material con el que vamos a trabajar, el proceso a manejar y la forma del producto final.

3.3.1 Cilindro.

El cilindro es el encargado de contener al husillo, este debe ser elaborado de aceros que sean resistentes, para que en la elaboración del plástico este no tenga ningún problema al calentarse con las resistencias o cuando entre en función con el husillo, también está anclado con unas resistencias eléctricas circulares puesto en toda su longitud como se indica en la Figura 13.

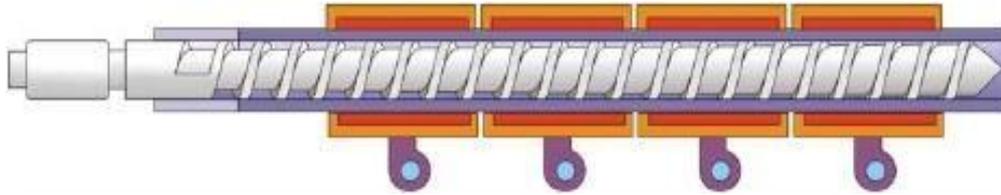


Figura 13 Sistema del cilindro.

Fuente: (Packaging, 2016)

Las resistencias están divididas en tres partes a lo largo de su longitud, cada una de ellas con su respectivo control independiente, esto nos permite tener un control mejorado de calefacción.

Se muestra el respectivo esquema del cilindro que se va a utilizar, y en base a este se dimensionaran los diferentes elementos.

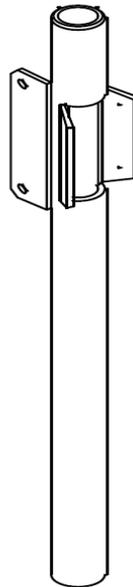


Figura 14 Estructura del cilindro.

3.3.2 Cálculo del husillo.

Para tener en cuenta como se diseña un husillo se puede hacer referencia en los anexos 2,3 y 4. Ahí se encuentra la composición molecular del material a procesar, se va a utilizar el Tereftalato de polietileno (PET), Igualmente se indican los factores de la temperatura de fusión y punto de transición traslúcida del material a usar como materia prima.

En términos matemáticos una extrusora trabaja simultáneamente con las leyes de conservación de la energía, número de movimientos y masa, por lo que se le dice que es el estado físico de un líquido a presión.

A continuación se muestra un cilindro con husillo de un canal, pues en la mayoría de extrusoras se los realizan con el husillo giratorio y el cilindro fijo.

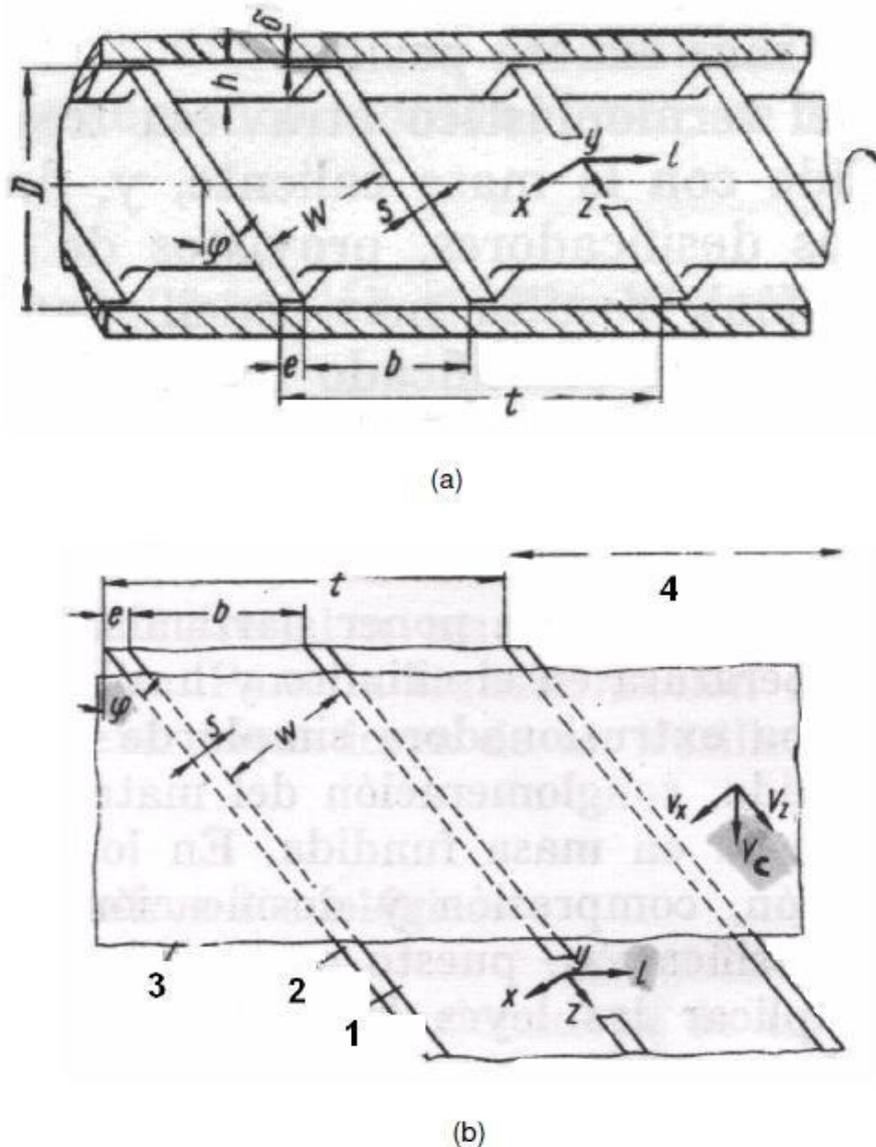


Figura 15 Sección de un cilindro con husillo de un canal.
(a) Vista general, (b) Esquema del desarrollo.

Fuente: (Mariano, 2011)

En el husillo se obtienen unas direcciones positivas en los ejes X, Y, Z del sistema de coordenadas fijas y los ejes auxiliares (L) vienen indicadas con flechas. El eje (Y) es perpendicular al plano seccionado, (Z) va dirigido en sentido longitudinal y (X) es transversal al canal helicoidal; (L) va dirigido longitudinalmente al husillo. El ángulo de hélice del canal helicoidal aumenta desde su valor mínimo, en el diámetro exterior, hasta el máximo, en el núcleo del husillo. Este ángulo se determina a partir de:

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{t}{\pi \times D} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

D = Es el diámetro de la variable del canal

t = El paso del husillo

φ = Angulo de hélice de canal

Teniendo en cuenta que t = D tenemos:

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{1}{\pi} \quad \varphi = 17.65^\circ \quad \text{Ecuación 1}$$

En conclusión podemos decir que para husillos no muy especializados (en cuanto al tipo de material a procesar) siempre se utilizara el ángulo $\varphi = 17.65^\circ$

Para cualquier tipo de diámetro cumpliéndose que t = D.

En la figura 14, se muestra el ángulo de inclinación de la hélice se presenta las siguientes variables:

h = Profundidad del canal;

V = Velocidad de cualquier partícula de la masa del canal en el punto X y Y;

W = Anchura del canal;

V2 = Componente de la velocidad tangencial o circunferencial a lo largo del canal;

Vc = Velocidad circunferencial del cilindro con relación al husillo

$$Vc = \pi \times d \times \eta \quad \text{Ecuación 2}$$

L = Distancia en la dirección del eje en el punto considerado;

e = Anchura de la cresta del filete.

Para facilitar los cálculos, solo se tendrá en cuenta el valor mínimo del Angulo de la hélice, que pertenece al diámetro exterior del husillo, ya que cuando el canal del husillo tiene poca profundidad el ángulo no varía mucho.

Repudiando de la curvatura del canal, éste puede ser desarrollado en un plano, tal como se ve en la figura 14(b).

En este caso el cilindro se muestra en forma de un plano infinito 3 que se mueve frente a los canales 1 y filetes desarrollados 2 del husillo, en la dirección perpendicular al eje 4. La velocidad circunferencial del cilindro V_c se puede descomponer en dos componentes perpendiculares entre si V_z y V_x , dirigida longitudinal y transversalmente respecto al canal del husillo. La velocidad de la masa fundida en cualquier punto del canal se caracteriza por las componentes análogas V_z y V_x

La velocidad V_x , manteniendo el flujo continuo, provoca el movimiento de la masa fundida en la dirección Y a una velocidad V_y . Esta velocidad es mayor en las paredes delanteras y traseras del canal, donde la masa fundida que circula en dirección transversal cambia el sentido de la corriente.

Puesto que la componente V_y surge simplemente a efecto del cambio de la velocidad V_x correspondiente a la corriente transversal, el efecto de V_x en la producción se puede despreciar. Por esta razón en lo sucesivo se considera que $V_y = 0$.

3.3.2.1 Producción del tornillo.

El flujo volumétrico (Q), tiene como resultado de tres tipos diferentes de flujo.

El flujo de arrastre (α), es el componente mayor provocado por el giro del tornillo.

El flujo de presión (β), es el componente que se opone al flujo en el sistema y el flujo de filtración (γ), el cual reduce las pérdidas producidas del material entre los espacios del torillo-barril.

Por lo tanto, la producción en la zona de dosificación es equivalente a la producción total del tornillo. Como se muestra en la figura 16 un esquema del diagrama de velocidades de flujo.

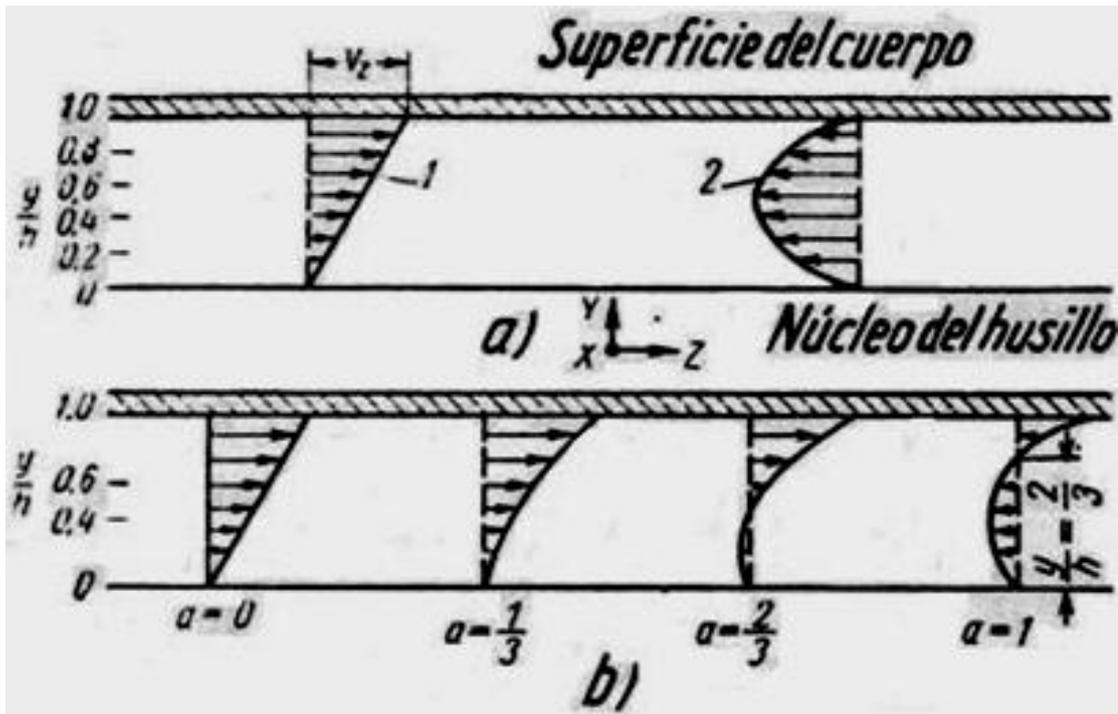


Figura 16 Diagrama de velocidades de flujo.

Fuente: (Packaging, 2016)

Según el investigador soviético Savgorodny, el flujo volumétrico Q se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$Q = \left(\frac{\alpha \times \kappa}{\kappa + \beta + \gamma} \right) \eta \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

α = Flujo de arrastre;

β = Flujo de presión;

γ = Flujo de filtración;

K = Constante total de la forma geométrica de la cabeza perfiladora.

Cada uno de estos flujos está definido por una ecuación, que relaciona las dimensiones del husillo con algunas variables de la máquina. Todas las correlaciones utilizadas para estos cálculos se tomaron a partir del trabajo de Savgorodny. En los siguientes subcapítulos se presenta la aplicación de cada una de ellas.

3.3.2.2 Flujo de arrastre o de fricción (α).

$$\alpha = \left(\frac{\pi \times m \times D \times h \left(\frac{t}{m} - e \right) \cos^2 \varphi}{2} \right) \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

D = Diámetro del tornillo,

h = Profundidad del canal en la zona de bombeo;

φ = Angulo de la hélice;

Cos φ = Función trigonométrica coseno del ángulo;

m = Número de canales del husillo;

e = Anchura de la cresta del filete.

Reemplazamos los valores m = 1 y e = 3.8 mm, en la ecuación 4 se tiene:

$$\alpha = \left(\frac{3.1416 \times 1 \times 3 \text{ cm} \times 0,3 \text{ cm} \times 2.8 \text{ cm} \times \cos^2(17,65)}{2} \right)$$

$$\alpha = 3.4932 \text{ cm}^3$$

3.3.2.3 Flujo de presión (β)

$$\beta = \left(\frac{m \times h^3 \left(\frac{t}{m} - e \right) \sin \varphi \times \cos \varphi}{12 \times L} \right) \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

L = longitud del husillo

$$\beta = \left(\frac{1 \times 0.3^3 \times 2.8 \text{ cm} \times \sin(17.65) \times \cos(17.65)}{12 \times 53 \text{ cm}} \right)$$

$$\beta = 8.46282 \times 10^{-5} \text{ cm}^3$$

3.3.2.3 Flujo de filtración (γ).

$$\gamma = \left(\frac{\pi^2 \times D^2 \times \delta^3 \times \tan \varphi}{10 \times e \times L} \right) \text{ Ecuación 6}$$

Dónde:

δ = Holgura del filete;

$\tan \varphi$ = Función trigonométrica tangente del ángulo.

$$\gamma = \left(\frac{3.1416^2 \times 3\text{cm}^2 \times 0.0064^3\text{cm} \times \tan(17.65)}{10 \times 0.38\text{cm} \times 53\text{cm}} \right)$$

$$\gamma = 3.6787 \times 10^{-8}\text{cm}^3$$

Por lo general la ecuación 6, tiene interés para observar el desgaste de los filetes pero no se lo toma en cuenta en los cálculos, pero así podemos tener en cuenta el control de las pérdidas en la producción.

Podemos observar que en la figura 15 nos da a conocer los diagramas de velocidad de estos flujos.

Como la figura 15 (a) la velocidad varia en forma lineal con la profundidad del canal helicoidal; en la figura 15 (b) la velocidad varía según una ley parabólica. Sumando ambos diagramas se logra la velocidad real en cualquier punto cuando sale libremente el material $a = 0$; y cuando está cerrada la salida $a = 1$.

3.3.2.4 Constante total de la cabeza (K).

Según el investigador soviético Savgorodny, para determinar la constante K (coeficiente de la forma geométrica) el cabezal se divide convencionalmente en sucesivas zonas de diferente configuración, estableciendo para cada una de estas zonas la constante K. (Savgorodny, 1978)

-Para un canal cilíndrico.

$$k = \frac{\pi \times d^4}{128 \times L} \text{ Ecuación 7}$$

Dónde:

d = Diámetro del canal del dado $d=21\text{mm}$

L = Longitud del canal.

$$k = \frac{3.1416 \times 2.1^4 \text{cm}}{128 \times 2.2 \text{cm}}$$

$$k = 2.1696 \times 10^{-2}$$

Para obtener el flujo volumétrico resulta oportuno emplear la ecuación 3 para los cálculos prácticos.

$$Q = \left(\frac{3.4932 \text{ cm}^3 \times 2.1696 \times 10^{-2}}{2.1696 \times 10^{-2} + 8.46282 \times 10^{-5} \text{ cm}^3 + 3.6787 \times 10^{-8} \text{ cm}^3} \right) 6 \text{rpm}$$

$$Q = 20.88 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

De la ecuación 3 obtenemos la producción del tornillo, pero la consistencia dimensional exige que los datos se presenten en kg / Hr Siendo la densidad específica del polietileno tereftalato $0.0013 \text{ Kg} / \text{cm}^3$ (ver anexo 1) se tiene que:

$$\text{PRODUCCION} = 0.0013 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3} \times 20.88 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ Hr}} = 1.63 \frac{\text{Kg}}{\text{Hr}} \text{ Ecuación 8}$$

3.3.3 Intervalos de velocidad de cortadura.

Prácticamente, se ha encontrado que la generalidad de los plásticos fundidos posee un comportamiento reológico razonablemente pseudoplástico. Se dice que el intervalo de la velocidad de cortadura “ $\log \gamma$ ”, para el cual aplica el proceso de extrusión, se encuentra limitado según lo presentado en la figura 16, ya que cuando este intervalo es mayor, se obtienen curvas con pendientes decrecientes.

En dicha figura los intervalos de velocidad de corte accesibles dependen de los diferentes tipos de reómetros. Para el plastómetro de extrusión con diferentes tipos de procesamiento, se opera entre 100 y 1000 s^{-1}

Es Necesario mencionar que la reología es la parte de la física que estudia la viscosidad, la plasticidad, la elasticidad y el derrame del material. Una parte de la mecánica de fluidos es estudiar la reología. Una de las metas más importantes en reología es encontrar ecuaciones constitutivas para modelar el

comportamiento de los materiales.

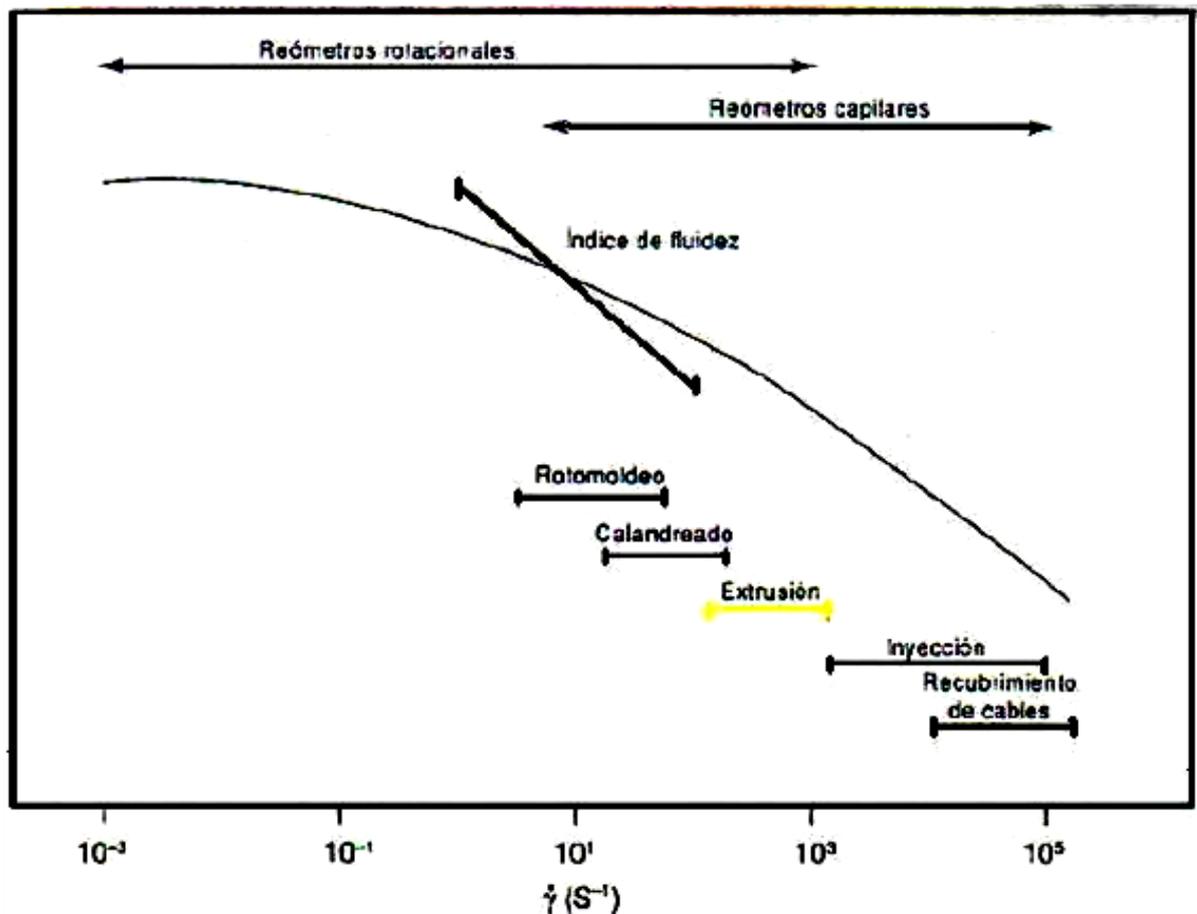


Figura 17 Intervalos de velocidad de cortadura.

Fuente: (Ramos, 1994)

3.3.4 Viscosidad efectiva.

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

Se toman los datos correspondientes a una velocidad de cortadura ($\dot{\gamma}$) de 100 s^{-1} y viscosidad efectiva (η) y con una temperatura de trabajo allegada de 180°C . Con esto se obtiene un valor de viscosidad efectiva de $700 \text{ pa}\cdot\text{s}$

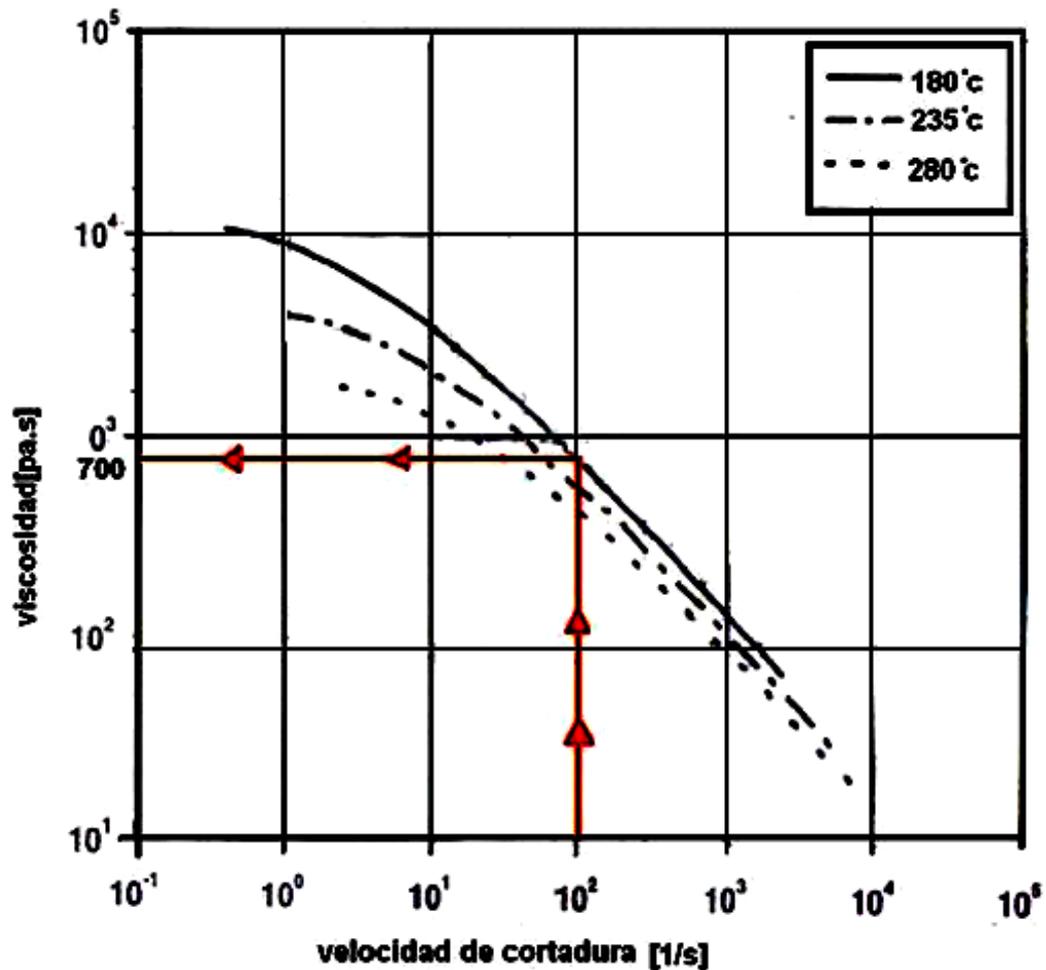


Figura 18 Intervalos de viscosidad.

Fuente: (Mariano, 2011).

3.3.5 Relación de longitud del husillo.

Al husillo se le considera la parte más esencial para la creación de la máquina extrusora. El rendimiento como la manufactura de la extrusora es dependiente del diámetro del husillo del cual se va a elaborar, la velocidad de giro, la relación de longitud al diámetro ($L: D$), y de los rasgos geométricos del canal helicoidal, etc.

Por lo general, el diámetro que se emplea en el husillo para la transformación del plástico en extrusoras parte de 9 a 500 mm y relaciones ($L: D$) = (6÷40):1. Es más corriente sin embargo una reacción ($L: D$) = (20÷25):1.

Depende de que material se vaya transformar y viendo también la forma y cómo van a quedar los elementos a fabricar, como en este caso se fabricara solo un prototipo, por lo cual solo va a ser una extrusora de un solo husillo.

Para poder hacer la transformación del tereftalato de polietileno (PET) se pide husillos que coincidan con los parámetros experimentales expuestos en el Anexo 3.

Vamos a tomar el diámetro 32 como medida, ya que esta pertenece al diámetro interno de una camisa ya que este sería la condición de rendimiento que estaríamos buscando. Para la presentación de forma tabulada de los parámetros geométricos del husillo podemos encontrar en el Anexo 3, Pero a continuación se pueden comprobar estos valores por las ecuaciones 9 y 10, presentadas por **(Savgorodny, 1978)**.

- Paso del husillo (t)

$$t = \pi \times D \times \tan \varphi \quad \text{Ecuación 9}$$

$$t = 3,1416 \times 32mm \times \tan(17,6)$$

$$t = 32mm$$

- Ancho del filete (e)

$$e = 0,12 \times D \quad \text{Ecuación 10}$$

$$e = 0,12 \times 32mm$$

$$e = 3,8mm$$

Con estos resultados podemos darnos cuenta que son los valores correspondientes con lo presentado en el Anexo 3.

3.3.6 Tolerancias del tornillo/cilindro.

La medida del espacio entre el pico del filete del husillo, la superficie interna del cilindro tiene una gran importancia en la elaboración de una máquina extrusora, Pues si el espacio es mayor la mezcla del material tendrá una mejor efectividad, pero el avance disminuye del mismo por agrandar el flujo inverso del material. Por lo general se emplea un husillo con diámetro constante, manteniendo un espacio entre el cilindro y el husillo de $0,002D$.

Podemos observar estos parámetros en el Anexo 4.

Las ecuaciones presentadas por Savgorodny para la determinación de estas

tolerancias son: (Savgorodny, 1978)

$$\delta = 0,002 \times D \quad \text{Ecuación 11}$$

$$\delta = 0,002 \times 32mm$$

$$\delta = 0,064mm$$

Por lo general las holguras del radio de filete se toman, o solo que se especifique, el radio de raíz. Esta holgura no tiene que ser menor de $\frac{1}{2}$ " de la profundidad del filete hasta 1".

Si se especifica, debemos tener en cuenta las siguientes tolerancias: $\pm 0,030$ " $\pm 0,75mm$.

3.3.7 Zonas del husillo.

Conociendo el material a transformar podemos realizar la configuración geométrica del husillo, en nuestro caso va a ser el Tereftalato de polietileno (PET). El husillo está conformado por tres zonas especificadas en la figura 19 cuales longitudes corresponden a: alimentación 10D, compresión 6D y dosificación 4D. Para poder transformar el Tereftalato de polietileno (PET) es recomendado un husillo de 20D para que pueda cumplir con las tres zonas indicadas.

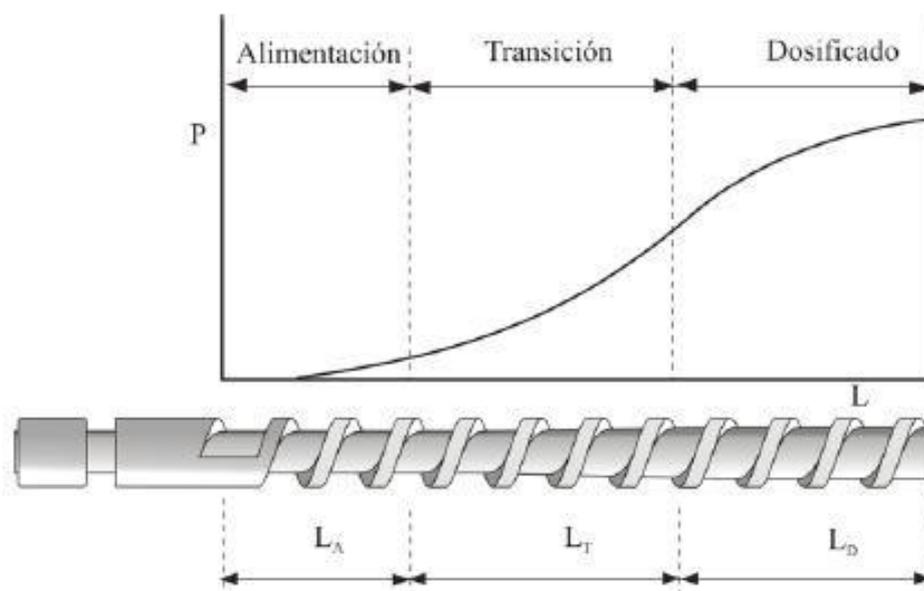


Figura 19 Zonas del husillo

Fuente: (Mariano, 2011).

3.3.8 Calculo de números de filetes del husillo.

Para el cálculo de número de filetes se lo hace por medio de la relación de longitud diametral que está comprendido por el diámetro del husillo y el número de filetes. Pues para extrusoras que trabajan con tereftalato de polietileno (PET) se lo siguiere hacer.

$\frac{L}{D}$ = Relación longitud/ diámetro para determinación de numero de filetes

Ecuación 12

Debido a que: L= 530mm y D=32mm

$$\frac{530mm}{32mm} = 16.5 \text{ filetes}$$

3.3.9 Calculo de revoluciones del husillo.

Teniendo en cuanta que ya sabemos la velocidad de cortadura (γ), la profundidad del canal y el diámetro del husillo podemos ya hacer los cálculos respectivos para calcular las revoluciones que vamos a necesitar para el husillo. Con la ecuación 13 vamos a poder resolver fácilmente.

$$\gamma = \frac{\pi \times D \times \eta}{h_2 \times 1s} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$100 \frac{1}{s} = \frac{3,1416 \times 32mm \times \eta}{1,9mm \times 1s}$$

$$\eta = \frac{100 \frac{1}{s} \times 1,9mm \times s}{3,1416 \times 32mm \times 2mm}$$

$$\eta = 0.94498 \frac{rev}{s} \times \frac{60s}{1min}$$

$$\eta = 56 \text{ rpm}$$

3.3.10 Relación de compresión (β).

Para el diseño de tornillos el término que más se usa es la relación de compresión, Pues con este cálculo podemos calcular la degradación que se encuentra asociado con la profundidad del canal o a la alta velocidad de

rotación.

La siguiente ecuación nos ayuda a encontrar la relación de compresión.

$$\beta = \frac{h_1}{h_2} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$\beta = \frac{6mm}{1,9mm}$$

$$\beta = 3$$

La relación de compresión (β) que se calculó se encuentra en 3 y está coincide con la que se recomienda por los expertos para el procesamiento del plástico.

3.3.11 Cálculo de la potencia requerida.

La rapidez para hacer un trabajo se lo determina por la potencia, como se lo podría expresar que el trabajo por unidad de tiempo (Potencia = Trabajo/ tiempo). Sabiendo los conceptos básicos de física sabemos que Trabajo = fuerza X distancia, que esta representa igual a las unidades del torque. También tenemos en cuenta que la velocidad de un motor se mide en rpm (revoluciones por minuto) (cuyas unidades son 1/min). Sin embargo si se multiplica el torque por las rpm del motor tenemos F X D / 60 seg que es exactamente la potencia.

Ya teniendo en cuenta cual es el diámetro del husillo, el factor de proporcionalidad ($K= 66,7$) y el número de revoluciones podemos conseguir la potencia dada por (Savgorodny, 1978):

$$\eta = \frac{K^2 \times N}{\pi \times D^3} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde

η = Numero de revolucione;

K =Factor de proporcionalidad;

D =Diámetro del husillo;

N =Potencia.

$$N = \frac{\eta \times \pi \times D^3}{K^2}$$

$$N = \frac{60 \text{ rpm} \times 3,1416 \times 32^3 \text{ mm}}{66,7^2}$$

$$N = 1.38 \text{ Kw}$$

3.3.12 Presiones en la máquina extrusora.

La presión que se va a generar siempre va a ser en la parte delantera pues el cual cumple una función importante en el proceso y el acabado del material, pues de aquí se derivan algunos cálculos para la construcción de dicha máquina.

- **Presión máxima** (Savgorodny, 1978)

Pues por efectos de cálculo no hay flujo de arrastre así que se toma a $Q = 0$.

$$P_{MAX} = \frac{6 \times \pi \times D \times L \times N \times \mu}{h^2 \times \tan \varphi} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde

D= Diámetro del husillo;

L=Longitud del husillo;

N=Potencia;

μ =Viscosidad efectiva.

$$P_{MAX} = \frac{6 \times 3,1416 \times 0,032 \text{ m} \times 0,128 \text{ m} \times 0,94498 \frac{\text{rev}}{\text{s}} \times 700 \text{ Pa.s}}{0,0019^2 \times \tan(17,65)}$$

$$P_{MAX} = 44.4634 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

3.3.13 Calculo de fuerzas del husillo.

El cometido en hacer un cálculo de resistencias es para demostrar las dimensiones previas del husillo y determinar el máximo de la flecha admisible.

En el husillo nosotros tenemos la fuerza axial (P), el momento de giro (Mg) y la carga uniformemente repartida (q), que se origina por el mismo peso del husillo. La flecha (f) del husillo es provocada por la fuerza (P) y (q) como se muestra en la figura 20.

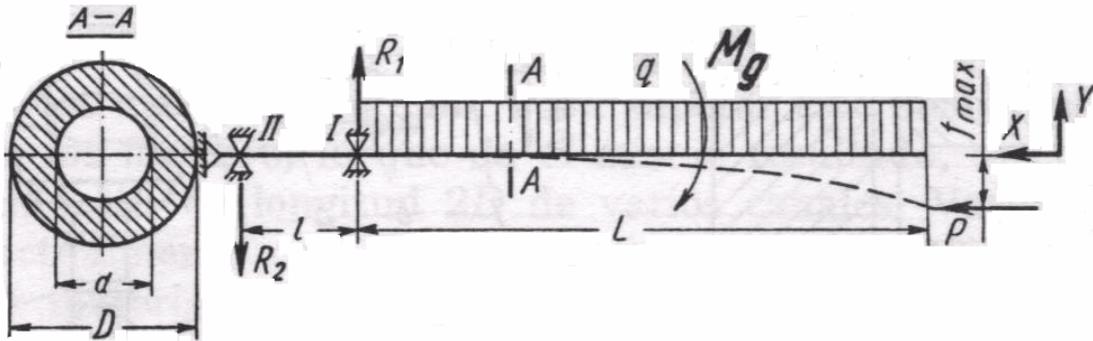


Figura 20 Diagrama de fuerzas de un husillo

Fuente: (Savgorodny, 1978)

Primero se va a calcular el torque para poder calcular las fuerzas del husillo por lo que este indica la fuerza que se va a aplicar en una palanca para poder lograr la rotación de un elemento sobre un eje determinado. Cuando aplicamos una fuerza en un lado de una llave se designa un torque que este hace al husillo girar. Se podría decir que el torque es la fuerza aplicada multiplicada por la distancia (Torque= $F \times D$) y su unidad de medida es en Newton. Metro.

Para la realización del cálculo este involucra una constante (K), cuyo valor el sistema internacional es $K = 9550$ Newton. Metro y en el sistema inglés es. Dicho por (Savgorodny, 1978)

$$Mg = 9550 \frac{N}{\eta} \quad \text{Ecuación 17}$$

Dónde:

N= Potencia del motor en KW;

η =Numero de revoluciones del husillo;

$$Mg = 9550 \frac{1,38Kw}{60}$$

$$Mg = 219.65 [N.m]$$

Procedemos a calcular el segundo factor que es u que es la relación que existe entre los diámetros del husillo.

$$u = \frac{d}{D} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$u = \frac{0.020m}{0.0282m}$$

$$u = 0.7092$$

3.3.14 Selección de material para el husillo.

Para la selección del material del husillo tenemos que tomar en cuenta cuales van a ser las operaciones a trabajar, con que químicos se va a tratar y los factores mecánicos que tendrá a afectar con la pieza, ya que este soportara una temperatura entre 100°C a 200°C y factores mecánicos por lo que este va a ser el que transporta el material.

Pues para esto se ha optado en elegir un acero 4140, ya que teniendo en cuenta con los factores que este se va a exponer. El acero 4140 tiene un alto soporte sobre la corrosión por lo que contiene Cromo, por lo tanto tiene un buen valor de dureza, otra característica fundamental de este es que puede soportar hasta temperaturas de 540°C (1000°F) que sería ideal para la máquina ya que este puede trabajar a un ritmo enorme de trabajo con altas temperaturas sin perder sus propiedades.

Pues en la industria este material se lo utiliza para tornillo, perforadoras, válvulas, ruedas dentadas, etc.

- Máquinabilidad

Para poder saber cuál es la maquinabilidad de este acero nos basamos en el acero AISI 1213.

Existen varios tipos de acero como podemos observar en el Anexo 5, estos serían algunos tipos para la fabricación del husillo. Por la mejor característica que se mencionó anteriormente se lo va a elaborar con el acero 4140.

3.3.15 Selección para el mezclador.

Existen varios factores importantes para observar el desempeño de una máquina extrusora de un solo husillo, pues en estas incluyen la presión y la transferencia del polímero fundido dentro del barril. Cuando a la extrusora se lo sustenta con pellet de plástico (gránulos), se lo denomina una extrusora de

plastificación, teniendo este criterio, podemos decir que tiene dos funciones añadidas: transporte de pellet de plástico y plastificación.

Para poder hacer esta mezcla nosotros vamos a tener en cuenta que la mayoría de polímeros son mezclas de uno o más polímeros con algunas variedades de aditivos, para que este pueda tener un producto de calidad.

Para el diseño que vamos a emplear es recomendado un mezclador tipo AXON como se muestra en la figura 21, pero este igual puede ser opcional por lo que solo se va a manejar con tereftalato de polietileno (PET), pero sin dejar de recalcar que este tipo de mezclador es el que tiene las mejores características para aditivos o pigmentos. (Ver Anexo 6)

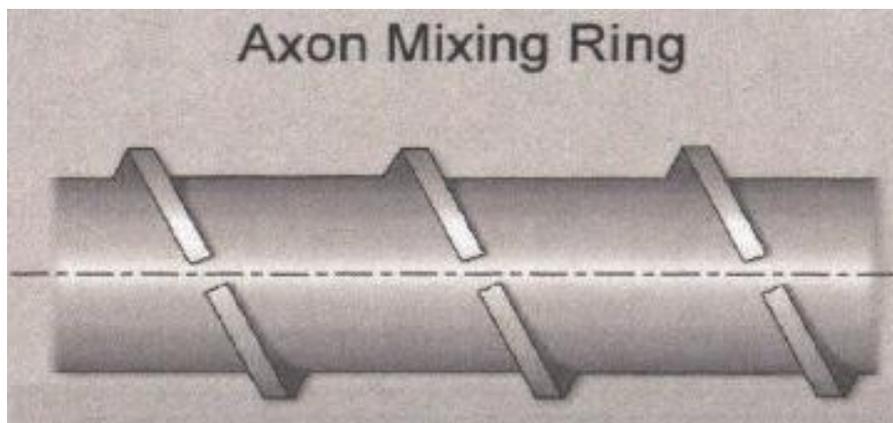


Figura 21 Mezclador Axón Mixing Ring

Fuente: (Savgorodny, 1978)

3.4 SISTEMA ELECTRICO Y ELECTRONICO

Los instrumentos eléctricos tienen una gran importancia en el funcionamiento de alguna máquina, ya que gracias a estos instrumentos podemos indicar magnitudes eléctricas, como resistencias, capacitancias, inductancias, corriente, potencia y carga...etc., toda instalación eléctrica no es tan visible como los aparatos mecánicos.

Existen igual instrumentos para poder controlar la temperatura, ya que con este vamos a utilizar para el proceso de fundición de los materiales poliméricos, para poder hacer esto existen diferentes instrumentos como: resistencias tipo abrazadera, termocupla tipo j, controlador de temperatura. Otra parte fundamental es el motor reductor que con este se da el movimiento a la máquina.

3.4.1 Selección del motor reductor.

Gracias a la Ecuación 15, podemos obtener la potencia necesaria para la selección del motor, salió un valor de $0.7457\text{Kw} = 1\text{hp}$. Con la ayuda de estos datos se optó para adquirir un motor reductor VARVEL TYPE: MS80B4. Un motor reductor tiene rodamientos axiales y radiales estos soportan la fuerza con la que el husillo va a trabajar, pues este tiene incluido la tornillería de anclaje para la brida y el soporte de la máquina.

Para más especificaciones técnicas se presentan en el Anexo 7

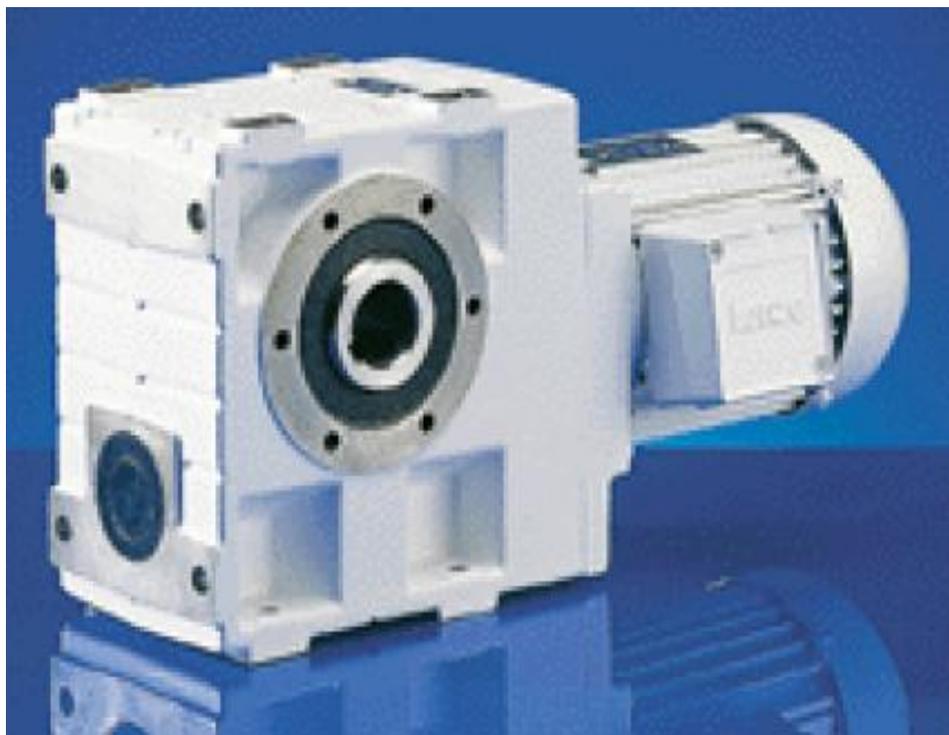


Figura 22 Motor reductor

Fuente: (Savgorodny, 1978)

3.4.2 Resistencias tipo abrazadera.

Es el que se encarga de transferir el calor para la fundición del plástico, por medio de energía térmica. Este dispositivo va colocado en el barril para producir la fundición correcta del tereftalato de polietileno (PET). Para poder tener más especificaciones básicas podemos verlos en el Anexo 8 y como representación gráfica podemos observar en la figura 23.



Figura 23 Resistencias tipo abrazadera.

3.4.3 Variador de frecuencia.

Un variador de frecuencia se encarga en controlar la velocidad de un motor eléctrico a velocidades constantes y variables, además de poder hacer que su alimentación trifásica del motor solo sea bifásica ya que en Ecuador no se maneja muy bien las redes trifásicas en 220v en lugares domésticos.

Teniendo la información técnica, se ha optado por utilizar un dispositivo con las siguientes características:

ACS150

(0,37 a 4 kW, 0,5 a 5 cv)



Figura 24 Variador de frecuencia.

3.4.4 Controlador de temperatura.

El controlador de temperatura es el encargado de medir la temperatura de

una sustancia dependiente de que este esté conectado, Se lo considera así cuando estos son capaces de medir temperaturas que superan los 300° Celsius, Teniendo en cuenta estas características se seleccionó un controlador de temperatura marca RAINBOW TS-320SR. Para poder entender mejor su característica se los presenta a continuación:

- Dual 0° a 320° C)
- Escala de la caratula sencilla 0° a 320° C)
- Alcance de la caratula: 100°
- Bisel: acero inoxidable
- Cuerpo: PVC.

3.4.5 Relé en estado sólido.

Es un elemento que funciona para poder controlar el paso de energía como un interruptor, por el cual está controlado por un circuito eléctrico. Se le considera un dispositivo electromecánico, ya que este contiene un electroimán, que accionan contactos que permiten abrir o cerrar circuitos eléctricos.

Los relés tienen contactos Normalmente abiertos (NO), Normalmente cerrados (NC) o en algunos casos de conmutación.

- Los contactos normalmente abiertos (NA) dejan pasar el flujo de corriente solo cuando está activado el relé, para poder desconectarlo el relé debe estar desactivado. Este tipo de contactos nos sirven para accionar fuentes de poder de alta intensidad.
- Los contactos normalmente cerrados (NO) elimina el flujo de corriente cuando este está activado, para poder activarlo el relé debe estar desactivado. Este tipo de contacto se utiliza cuando se quiere que un circuito permanezca activo hasta la activación del relé.
- Los contactos de conmutación pueden controlar ambos contactos: los contactos normalmente abiertos (NA) y el normalmente cerrado (NC) con su terminal en común.

Para la selección del relé se ha optado el relé en estado sólido R100.20, que se lo especificara en la figura 25.

Type	Rated control supply voltage U_s	Rated operational current I_o	Order code	Pack. unit pieces	Price 1 piece	Weight 1 piece kg/lb
Zero voltage switching, width: 22.5 mm						
R100.20	4-32 V DC	20 A	1SAR 111 020 R8607	1		0.25/0.55

Figura 25 Especificación del relé seleccionado.

Fuente: (Savgorodny, 1978)

A continuación se presenta el sistema eléctrico general de la máquina extrusora.

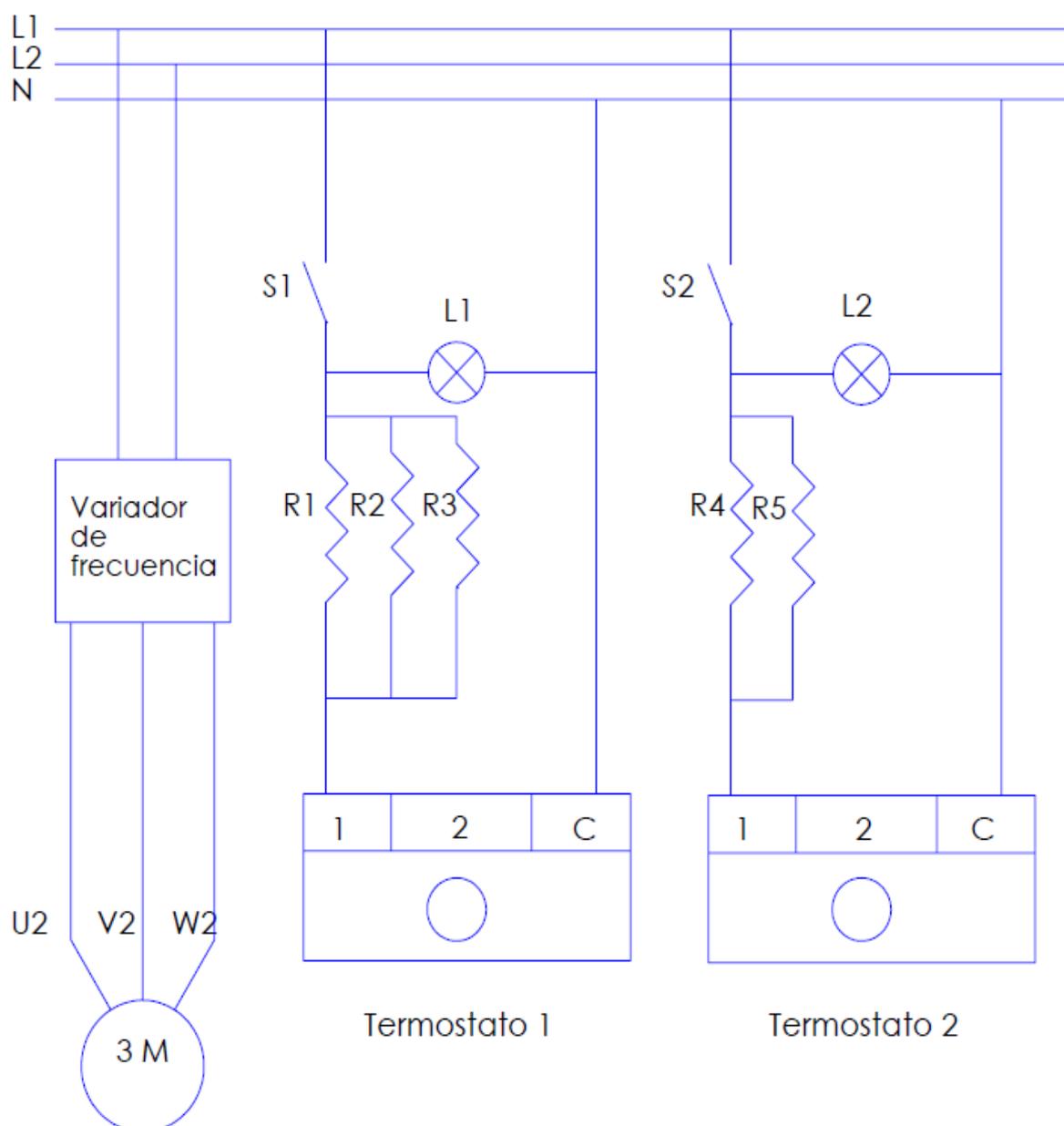


Figura 26 Esquema eléctrico de la extrusora de plástico.

3.5 DISEÑO DE LA TOLVA

La tolva es la parte de la máquina que tiene el propósito de proporcionar adecuadamente el material al husillo, pues aquí se deposita el material granulado o pellet de plástico para la alimentación de la máquina.

Para la elaboración de la tolva se ha optado hacerlo de forma rectangular con las paredes inclinadas para que la descarga se lo haga por la abertura inferior, la tolva se encarga de la alimentación y esta se le coloca en la entrada, ya que es muy importante para los procesos de tecnología de plástico, ya que este permite que el material tenga una toma homogénea del material y así sacar piezas de mejor calidad.

Para el diseño de una tolva no se requiere de muchas especificaciones, pues este varía dependiendo del trabajo que se va a realizar o por la cantidad que se va a producir, teniendo en cuenta que la máquina extrusora que se va a realizar solo es un prototipado se realizara una tolva de pequeñas dimensiones.

3.5.1 Dimensiones de la tolva.

Se ha optado en elaborar una tolva con un diámetro superior de 263 mm y con su diámetro inferior de 32 mm como se lo puede observar en la figura 27.

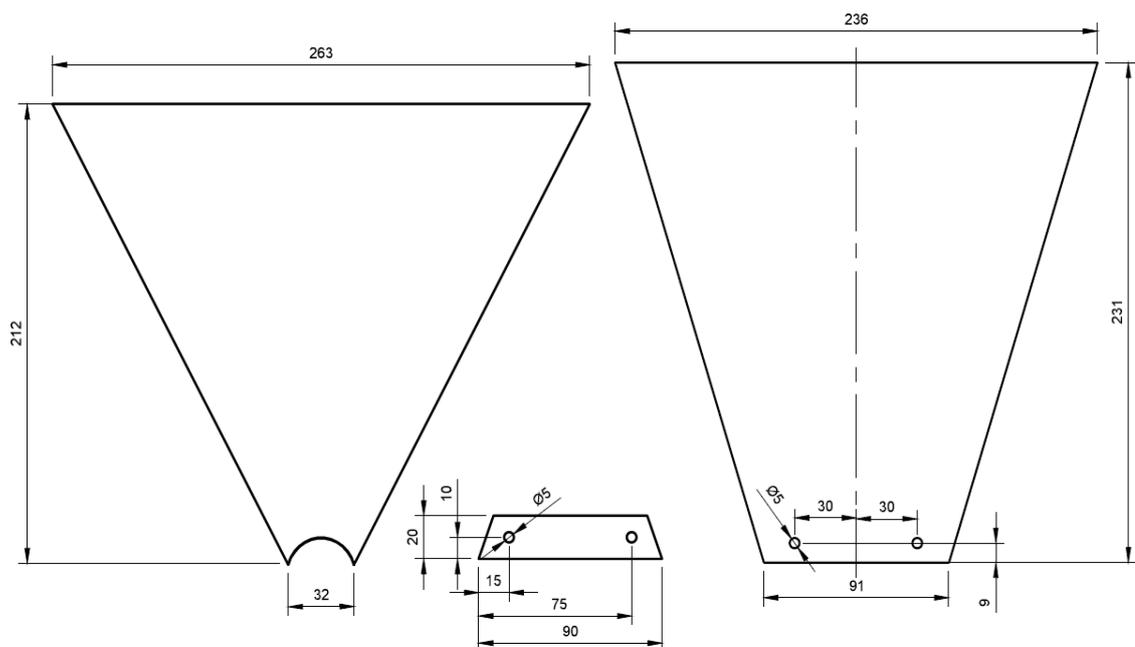


Figura 27 Dimensiones de la tolva

Fuente: (Savgorodny, 1978)

3.6 IMPRESIÓN 3D

Para que el material sea factible utilizar en la impresora 3D, se tendrá en cuenta algunos aspectos, como son la temperatura del plástico al momento que se pueda lograr una unión correcta entre cada capa de filamento depositado.

Tomando en cuenta la temperatura del ambiente de la sala donde se va a maniobrar la máquina, tiene un papel importante, por lo que si la temperatura es baja con la comparación del filamento este producirá fallos donde los filamentos saldrán sin sus tolerancias dimensionales respectivas debido a las conmociones producidas en el plástico.

Siempre se debe calibrar la máquina ya que con este podemos tener una mejor manejabilidad, igualmente la impresora tiene que estar bien calibrada para que la boquilla se encuentre en perfectas condiciones para su operación, No deben existir grumos porque estos pueden impedir que la extrusión en el cabezal de impresión del filamento, funcione correctamente. Igualmente se debe realizar el calibrado de la bandeja de la impresora, es de igual importancia, Si esta se encuentra desalineada, si no se corrige puede producir que se deposite el plástico en zonas no deseadas, ya que el plástico se solidifica después de enfriarse, haciendo que el funcionamiento no sea el correcto.

CAPITULO IV

MODELADO COMPUTACIONAL DE LA MÁQUINA Y ANALISIS ELEMENTOS FINITOS

2.8 MODELADO COMPUTACIONAL DE LA MÁQUINA

Para el modelado de la máquina se optó por un Software CAD en el cual se va a elaborar un modelado tridimensional de cada elemento mecánico que conforma la maquina extrusora de plástico como se representa en las siguientes figuras.

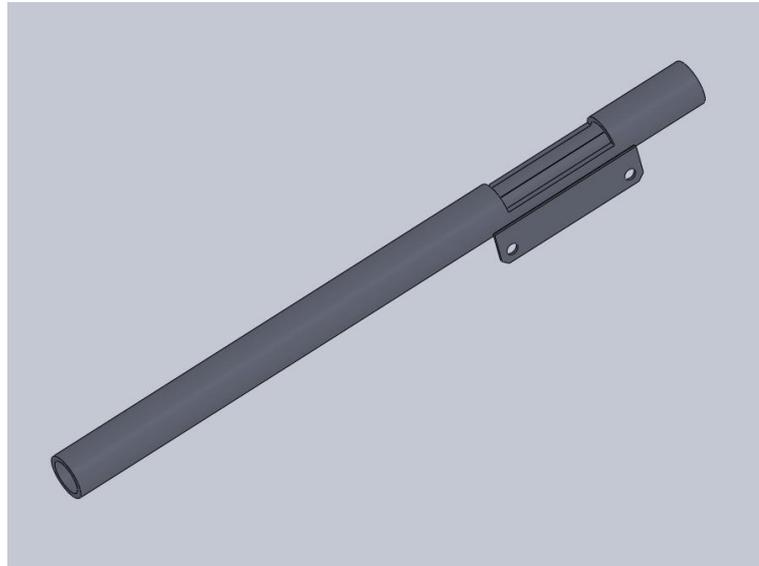


Figura 28 Barril

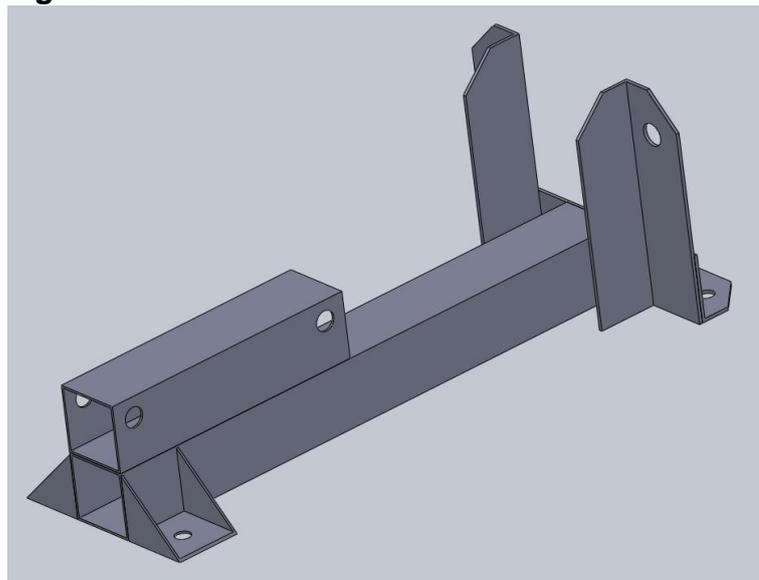


Figura 29 Base del barril

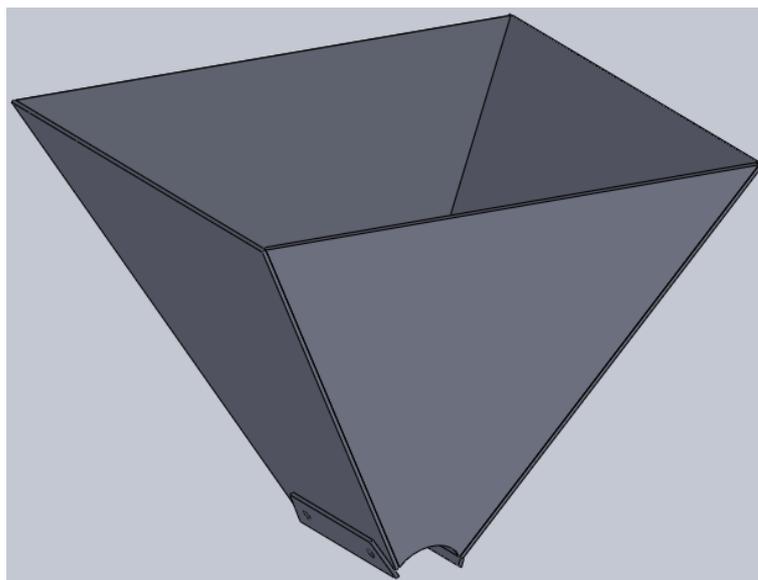


Figura 30 Tolva

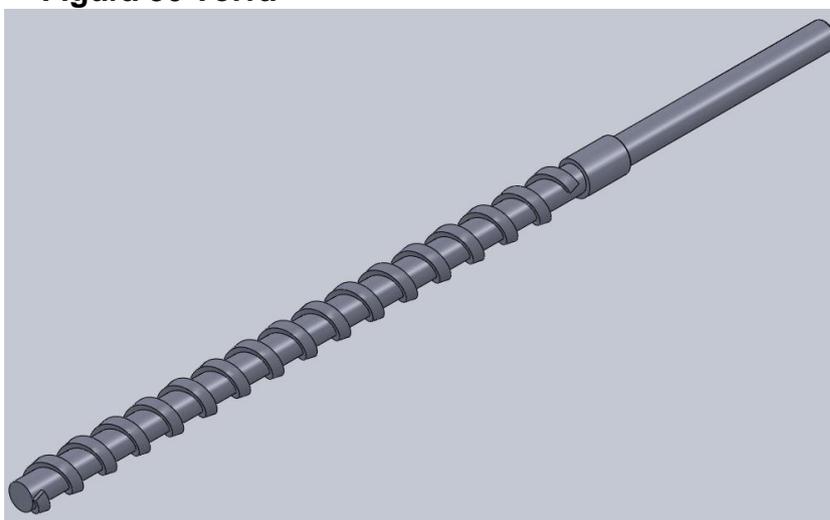


Figura 31 Tornillo sin fin

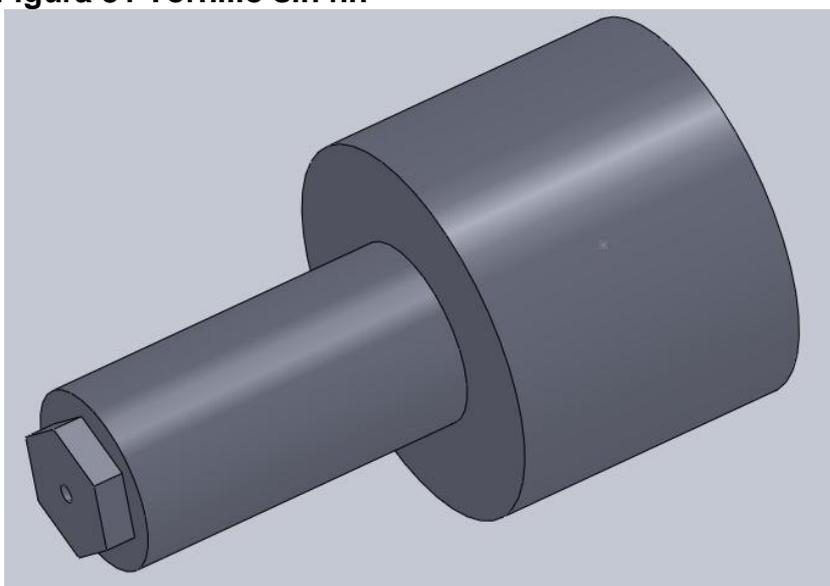


Figura 32 Boquilla



Figura 33 Mesa de soporte

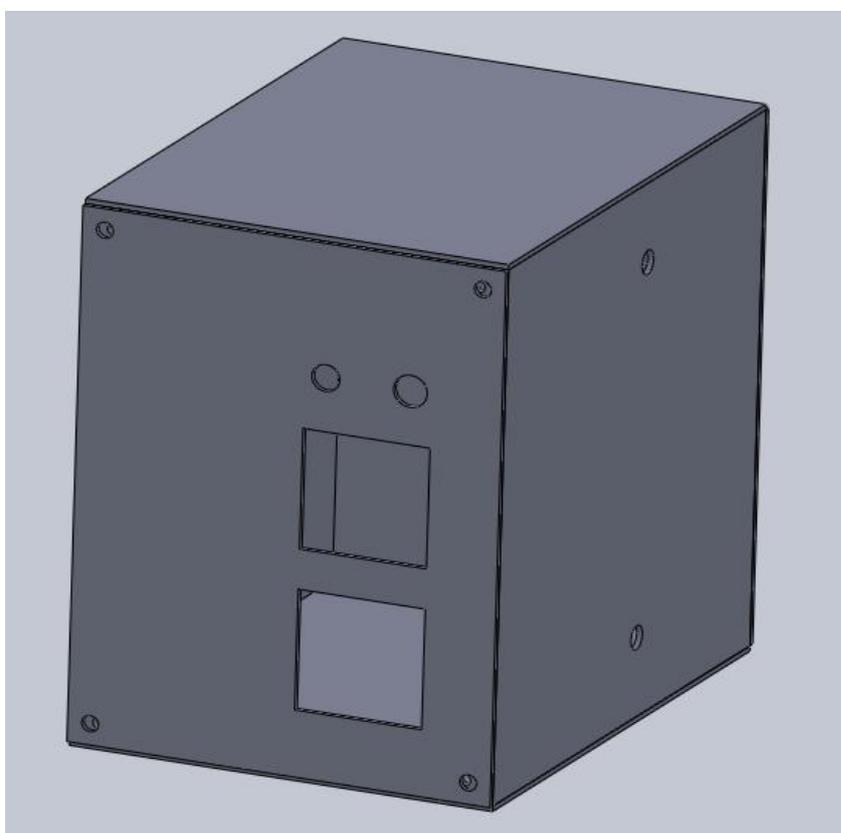


Figura 34 Caja metálica

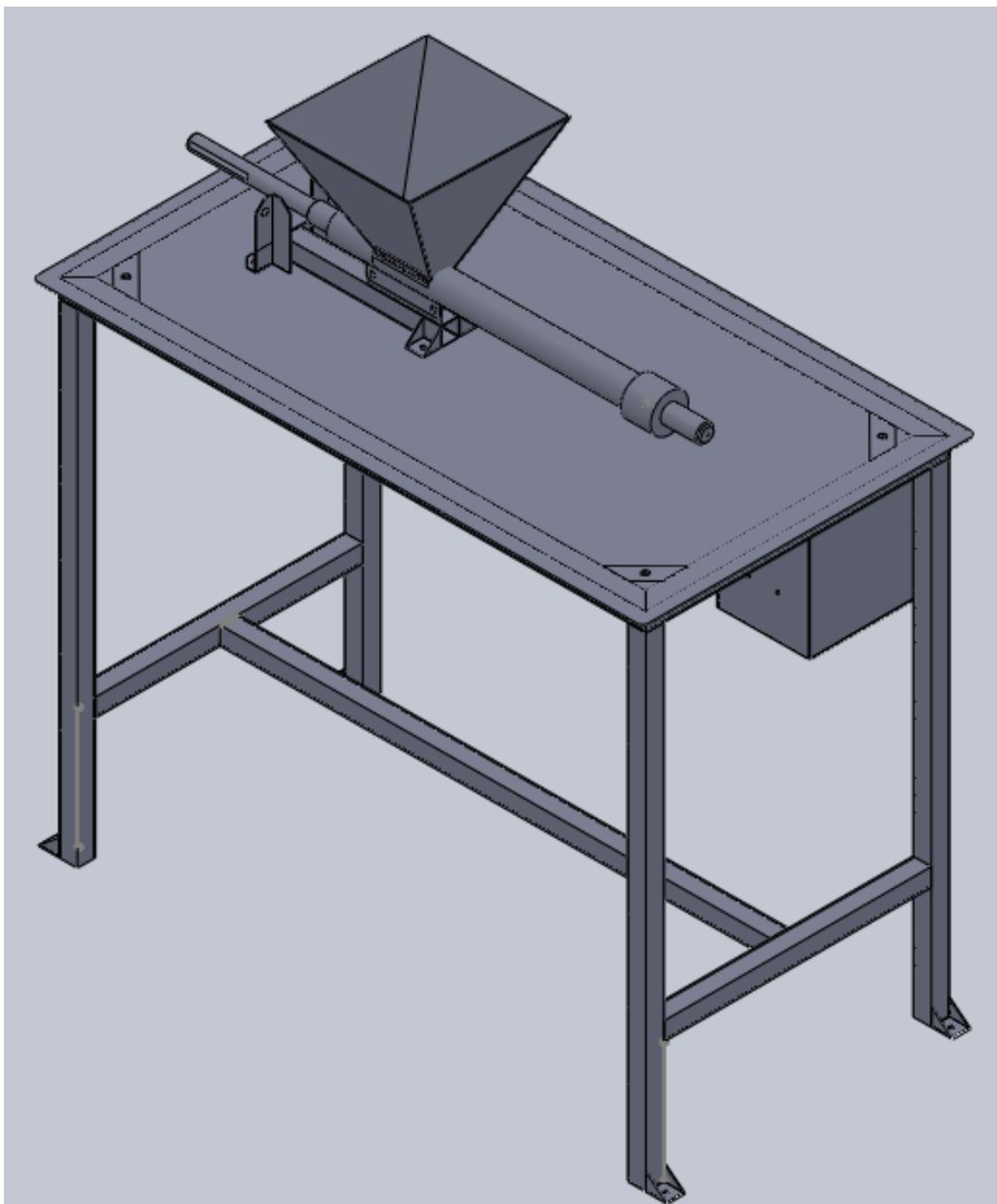


Figura 35 Ensamblaje de la máquina

4.2 ANÁLISIS ESTÁTICO DEL HUSILLO Y CILINDRO

Considerando la carga que se genera en el husillo de 80 N. se realizó el análisis de elementos finitos obteniendo la tensión de Von Mises como se observa en la figura 36.

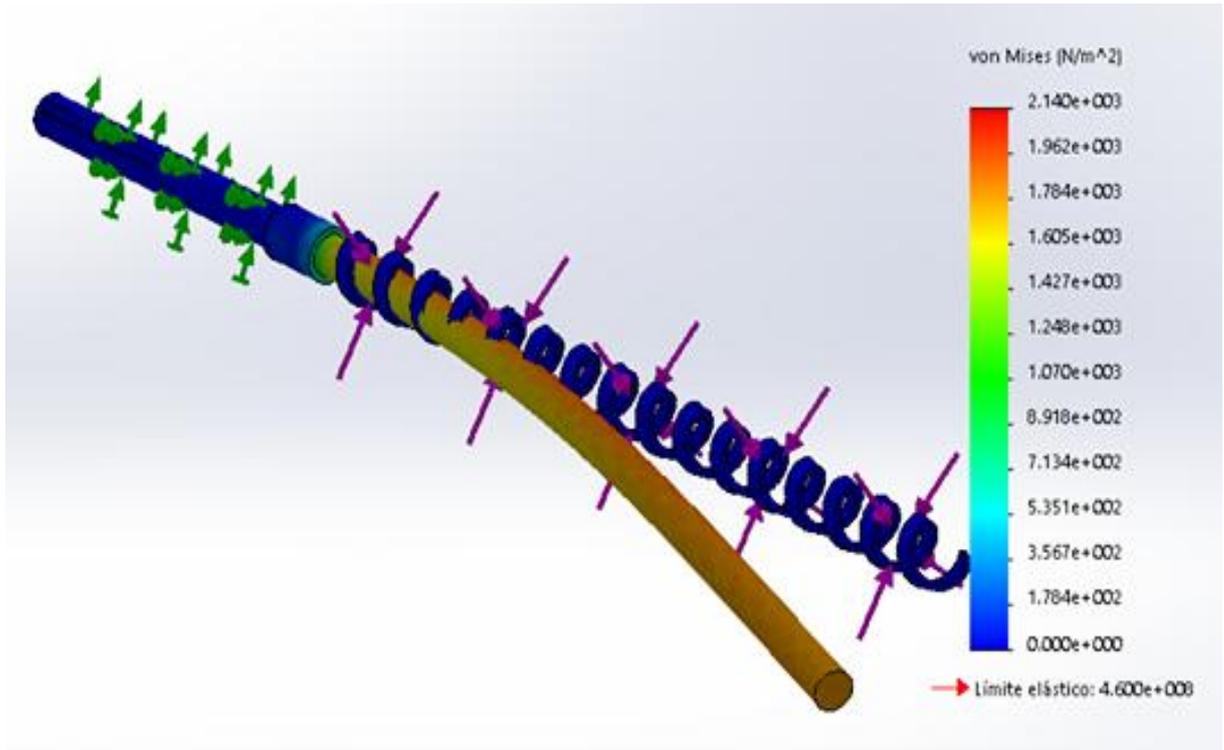


Figura 36 Tensión de Von Mises

Y el factor de seguridad de **2,1** como se observa en la figura 37.

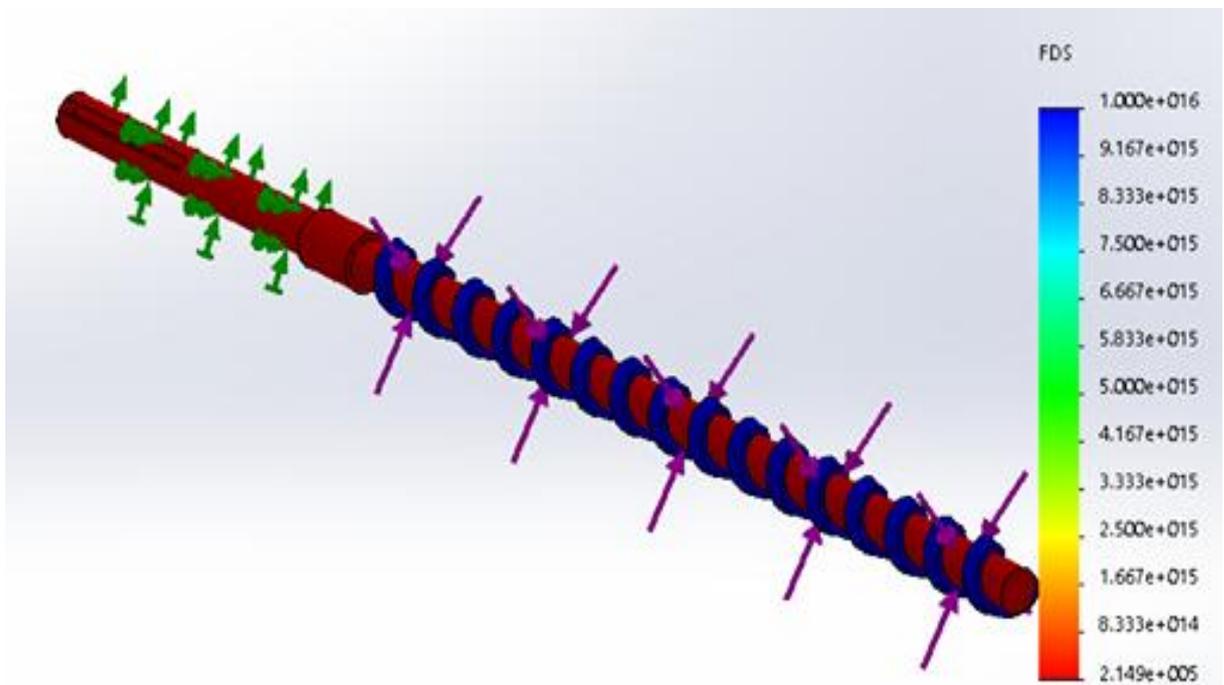


Figura 37 Factor de seguridad

Considerando la carga que se genera en el cilindro de 80 N. se realizó el análisis de elementos finitos obteniendo la tensión de Von Mises como se observa en la figura 38.

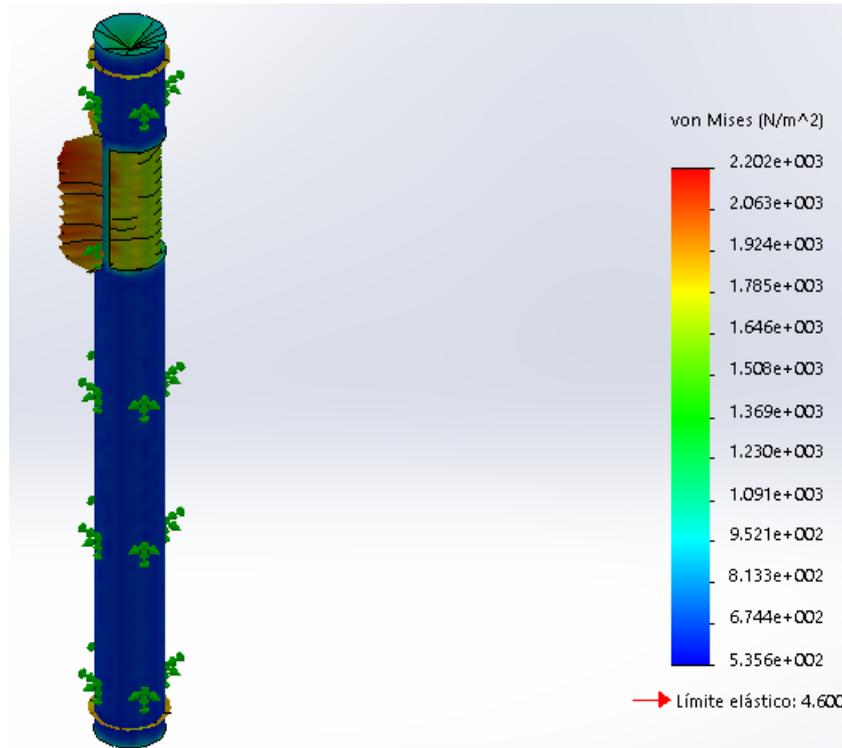


Figura 38 Tensión de Von Mises

Y el factor de seguridad de **2,1** como se observa en la figura 39.

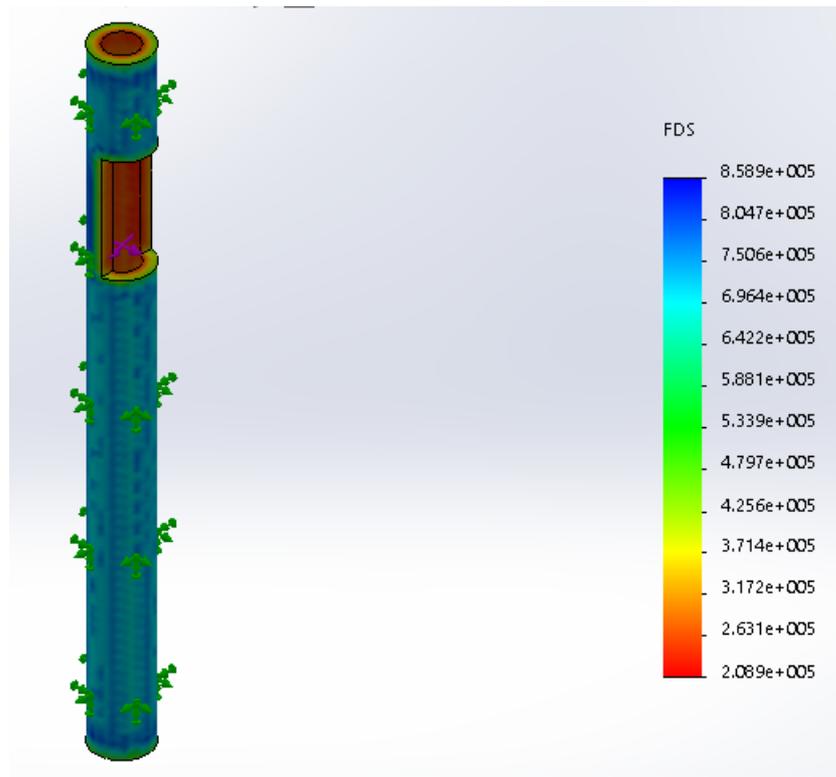


Figura 39 Factor de seguridad

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.

- Se examinó teóricamente todos los componentes que conforman una máquina extrusora, para poder comprender la función de cada uno de ellos y así poder elaborar una máquina de extrusión sin dificultad.
- Se realizó el diseño de la estructura mecánica mediante un software CAD, para poder tener los planos respectivos para la elaboración física de la máquina y poder así llevar un análisis de elementos finitos.
- Se elaboró el estudio de las partes críticas que componen una máquina extrusora, para la elaboración del husillo se obtuvo varios cálculos por lo que este es el que va a soportar el mayor trabajo sin dejar aparte el sistema eléctrico y electrónico.
- Para las conexiones eléctricas se optó en la elaboración del circuito eléctrico mediante un software CAD, ya que cuando se proceda a hacer las conexiones sea más fácil para el operador y así no tener ningún fallo en su conexión.

Recomendaciones.

- Para poder manipular la máquina deberán tener un conocimiento técnico básico, saber para qué sirven cada uno de sus componentes, ya que este contendrá un sistema mecánico, eléctrico y electrónico.
- Verificar que no haya quedado ningún residuo de material o calentar previamente el cilindro para que se derrita, ya que si prenden el motor y existe residuo sólido dentro del husillo puede ser muy perjudicial para la máquina.
- Tener mucho cuidado cuando esté funcionando la máquina ya que este trabaja con un motor eléctrico y resistencias eléctricas que operaran grandes temperaturas.
- La utilización de la máquina debe ser correctamente, para evitar daños de la misma y del operador, y mantenerla en un correcto estado de uso.

BIBLIOGRAFÍA

- Angulo, J. L. (1995). *Caracterización fisicoquímica del polímero*. México: D.F.
- Gomez&Gutierrez. (2008). Diseño de una extrusora para plasticos.
- Mariano. (15 de 03 de 2011). *Tecnología de los Plásticos*. Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>
- Packaging, F. (2016). *Frapak Packaging*. Obtenido de Frapak Packaging: <https://www.frapak.com/es/botellas-de-rpet/>
- Pilatasig&Rodolfo. (2015). Diseño y construcción de una máquina para moler plástico PET para la microempresa de reciclaje Santa Anita ubicada en el cantn Salcedo provincia de Cotopaxi.
- Ramos, L. F. (1994). *Extrusion de plasticos*. Mexico: LIMUSA.
- Richard, B., & Keith, N. (1990). *Diseño de máquinas*. Bogota: McGraw-Hill.
- Rodríguez, J. G. (17 de 09 de 2007). *I.E.S. "Clara Campoamor" (Getafe)*. Obtenido de I.E.S. "Clara Campoamor" (Getafe): http://fresno.pntic.mec.es/~fgutie6/quimica2/ArchivosHTML/Teo_10_princ.htm#Inicio
- SL, T. M. (23 de 3 de 2015). *Gestores del residuo*. Obtenido de <https://gestoresderesiduos.org/noticias/la-clasificacion-de-los-plasticos>

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A.- PROPIEDADES FÍSICAS POLIETILENO TEREFALATO (PET)

ANEXO B.- GUIA PARA EL DISEÑO DE EL HUSILLO

ANEXO C.- PARAMETROS GEOMETRICOS DEL HUSILLO EN mm

ANEXO D.- PARAMETROS GEOMETRICOS DE HUSILLO /CILINDRO

ANEXO E.- MATERIALES CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES PARA EL HUSILLO

ANEXO F.- TABLA DE SELECCIÓN DE MEZCLADORES

ANEXO G.- CARACATERISTICAS DEL MOTOR REDUCTOR

ANEXO H.- ESPECIFICACIONES BASICAS DE LAS RESISTENCIAS TIPO ABRAZADERA

ANEXO A

PROPIEDADES FÍSICAS POLIETILENO TEREFALATO (PET)

PROPIEDADES	Metodos de ensayo ISO/(IEC)	Unidades	Valores
Color		Natural	BL/Ne
Densidad	1183	g/cm ³	1,39
Absorcion de agua:			
despues de estar 24/96 h sumergido en agua a 23°C	62	mg	jun-13
	62	%	0,07/0,16
hasta la saturacion en aire a 23°C / 50% HR		%	0,25
hasta la saturacion en aire a 23°C		%	0,5
PROPIEDADES TERMICAS			
Temperatura de Fusion		°C	255
Conductividad termica a 23°C		W/(K-m)	0,29
Coefficiente de dilatacion termica lineal:			
-Valor medio entre 23 y 60 °C		m/(m-K)	60-10 ⁻⁶
-Valor medio entre 23 y 100°C		m/(m-K)	80-10 ⁻⁶
Temperatura por deformacion por carga:			
-por metodo A: 1,8MPa	75	°C	75
Temperatura maxima de servicio en aire:			
-en periodos cortos		°C	160
-en continuo: durante 5.000/20.000 h		°C	115/100
Temperatura minima de servicio			-20
Inflamabilidad			
-Indice de oxigeno	4589	%	25
-con respecto a la clasificacion UL 94 (para 3/6 mm de espeso)			HB/HB
PROPIEDADES MECANICAS A 23°C			
Ensayo de tracción			
-esfuerzo de tension para fluencia	527	MPa	90
-elongacion a la rotura			15
-modulo de elasticidad			3.700
Ensayo de compresion			
-esfuerzo al 1/2/5% de deformación	604	MPa	26/51/103
Ensayo de fluencia a traccion			
-esfuerzo necesario para producir un 1% de deformación las 1.000h	899	Mpa	26
Resistencia al impacto Charpy-sin entalla	179/1eU	kJ/m2	≥50
Resistencia al impacto Charpy-con entalla	179/1eU	kJ/m2	2
Resistencia al impacto Izod- con entalla	180/2A	kJ/m2	2
Dureza con bola	2039-1	N/mm2	170
Dureza Rockwell	2039-2		M96
PROPIEDADES ELECTRICAS A 23°C			
Resistencia dielectrica	60243	KV/mm	22
Resistividad volumetrica	60093	Ω-cm	>10 ¹⁵
Resistividad superficial		Ω	>10 ¹⁵
Permeabilidad relativa			
-a 100 Hz	60250		3,4
-a 1 Hz	60250		3,2
Factor de perdidas dielectricas a			
-a 100 Hz	60250		0,001
-a 1 MHz	60250		0,014
Indice comparativo de la resistencia a la descarga superficial (CTI)	60112		600

ANEXO B
GUIA PARA EL DISEÑO DE EL HUSILLO

RESINA	TIPO MOLECULAR	TEMP. CRITICA °F (a)	DENSIDAD g/cm ³		DISEÑO DL HUSILLO BASADO EN			NOMBRES COMERCIALES RELACIONADOS
			SÓLIDO	FUNDIDO	PROF. DEL CANAL (b)	LONG. DE TRANSICION (c)	RELACION DE COMPRESION (d)	
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, Vydine
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, Petion, Rynite

ANEXO C
PARAMETROS GEOMETRICOS DEL HUSILLO EN mm

Diámetro D (mm)	Paso t	Profundidad del canal en la zona de alimentación, h1	Profundidad del canal en la zona de extrusión, h2	Anchura de la cresta, e
32	32	6	1,9	3,8
45	45	8	2,1	5
63	63	9,6	2,4	6,3
90	90	11,2	2,8	9
125	125	13,5	3,2	12
160	160	15	3,7	15

ANEXO D

PARAMETROS GEOMETRICOS DE HUSILLO /CILINDRO

Diámetro nominal (mm)	Diámetro del cilindro L/D	Diámetro del husillo	Tolerancia diametral cilindro/husillo
30	30.00+.02/-0.00	29.93/29.92	0.06/0.10
35	35.00+.02/-0.00	34.93/34.91	0.08/0.11
38	38.00+.02/-0.00	37.92/37.90	0.08/0.13
40	40.01+.02/-0.00	39.93/39.90	0.08/0.13
50	50.01+.02/-0.00	49.91/49.89	0.10/0.13
60	59.99+.02/-0.00	59.87/59.84	0.13/0.18
65	65.00+.02/-0.00	64.87/64.85	0.13/0.18
70	70.00+.02/-0.00	69.88/69.85	0.13/0.18
75	75.01+.02/-0.00	74.85/74.83	0.15/0.20
80	80.01+.02/-0.00	79.84/79.82	0.17/0.20
90	89.99+.05/-0.00	89.81/89.79	0.18/0.25
100	100.00+.05/-0.00	99.80/99.77	0.20/0.28
105	105.00+.05/-0.00	104.80/104.78	0.20/0.28
115	115.01+.05/-0.00	114.78/114.76	0.23/0.30
120	119.99+.05/-0.00	119.76/119.74	0.23/0.30
135	135.00+.05/-0.00	134.75/134.70	0.25/0.36
150	150.01+.05/-0.00	149.71/149.66	0.30/0.41

TOLERANCIAS DEL HUSILLO

DESCRIPCION DE LA DIMENSION	UNIDADES METRICAS RANGO TOLERANCIAS (mm)	
	RANGO	TOLERANCIA
Principales dimensiones lineales	Hasta 300	±0,25
	300-1500	±0,75
	1500-3000	±1,00
	3000-5000	±1,50
	Sobre 5000	±2,25
Ancho del filete	Hasta 12	±0,38
	12,25	±0,50
	Sobre 25	±0,75
Profundidad del canal	Hasta 2,5	±0,08
	2,5-13,0	±0,18
	Sobre 13,0	±0,30
Chavetero	Profundidad	±0,13
Agujeros	Longitud	±0,76
Macho centrador roscado	Longitud	±0,4

ANEXO F

TABLA DE SELECCIÓN DE MEZCLADORES

TABLA DE EVALUACIÓN DE UNIDADES DE MEZCLA DISTRIBUTIVA (5- BUENO, 1- MUY POBRE)

Tipos	Caida de presión	Lineamiento del flujo	Limpieza del cilindro	Fácil manejo	Maquinado	Esfuerzo de cizalladura	Reorientación del flujo	Puntaje
Saxton	4	4	5	4	4	4	5	30
Axon	4	4	4	4	5	4	3	28
Dulmage	4	4	2	4	4	4	5	27
Stat-Dyn	2	4	4	4	3	4	5	26
Romboides	2	4	3	4	4	4	5	26
Onda doble	4	4	4	4	2	4	2	24
Pulsar	4	4	4	4	3	3	2	24
Strata-blend	4	3	4	4	3	3	2	23
Pines	2	2	3	4	5	2	4	22

ANEXO G

CARACTERISTICAS DEL MOTOR REDUCTOR

Model	Output		Voltage (V)	Current (A)	Speed (r.p.m)	Eff (%)	Power Factor	Start torque	Start current	Max. torque	Noise (dBA)	Weight kGS
	KW	HP						Rated torque	Rated current	Rated torque		
4-Pole Synchronous 1500RPM 50Hz												
MS56A4	0.06	0.08	220/380	0.49/0.28	1400	56	0.58	2.2	5.5	2.3	50	2.9
MS56B4	0.09	0.12	220/380	0.67/0.39	1400	58	0.61	2.2	5.5	2.3	50	3.2
MS63A4	0.12	0.16	220/380	0.84/0.48	1400	60	0.63	2.2	5.5	2.3	52	3.7
MS63B4	0.18	0.24	220/380	1.12/0.65	1400	64	0.66	2.2	5.5	2.3	52	4.2
MS71A4	0.25	0.33	220/380	1.44/0.83	1400	67	0.68	2.2	5.5	2.3	55	5.0
MS71B4	0.37	0.50	220/380	1.95/1.12	1400	70	0.72	2.2	5.5	2.3	55	5.8
MS80A4	0.55	0.75	220/380	2.70/1.56	1400	74	0.73	2.3	6.0	2.4	58	8.1
MS80B4	0.75	1.0	220/380	3.49/2.01	1400	76	0.75	2.3	6.0	2.4	58	9.1
MS90S4	1.1	1.5	220/380	4.76/2.75	1400	78	0.78	2.3	6.0	2.4	61	11.7
MS90L4	1.5	2.0	220/380	6.32/3.65	1400	79	0.79	2.3	6.0	2.4	61	14.4
MS100LA4	2.2	3.0	220/380	8.94/5.16	1430	79	0.82	2.3	7.0	2.4	64	19.2
MS100LB4	3	4.0	220/380	12.0/6.95	1430	81	0.81	2.3	7.0	2.4	64	22.5
MS112M4	4	5.5	380/660	8.98/5.19	1400	83	0.82	2.3	7.0	2.4	65	29.0
MS132S4	5.5	7.5	380/660	11.8/6.80	1400	85	0.84	2.3	7.0	2.4	71	39.0
MS132M4	7.5	10	380/660	15.7/9.05	1400	86	0.85	2.3	7.0	2.4	71	48.6
MS160M4	11	15	380/660	22.3/12.9	1460	88	0.85	2.0	7.0	2.2	75	73.0
MS160L4	15	20	380/660	30.1/17.4	1460	89	0.85	2.0	7.0	2.2	75	88.5
MS180M4	18.5	25	380/660	36.5/21.1	1470	91	0.85	2.2	7.0	2.2	80	118.0
MS180L4	22	30	380/660	43.2/25.0	1470	91	0.85	2.2	7.0	2.2	80	128.0

Input data

System of measurement	Metric
Input type	Gear motor
Input speed	[rpm] 1680
Output speed	[rpm] 60
Ratio (i=)	28
Frequency	[Hz] 60
Input options	IEC
Requested input power	[KW] 0.75
Service factor	1
Rated Power P1	[KW] 0.63

ANEXO H

ESPECIFICACIONES BASICAS DE LAS RESISTENCIAS TIPO ABRAZADERA

Ø Int. x ancho mm <i>Inside Ø x wide</i>	W - 230V
25 x 30	100
30 x 20	85
30 x 25	100
30 x 30	125
35 x 30	150
35 x 35	175
35 x 40	175
35 x 45	240
40 x 20	100
40 x 25	150