



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

Sede Santo Domingo

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA Y
AUTOMATIZACIÓN**

Informe del proyecto técnico para obtener el título de:

**INGENIERO ELECTROMECÁNICO, MENCIÓN EN AUTOMATIZACIÓN
INDUSTRIAL.**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE EXTRUSORA PARA
PLÁSTICOS; ESTUDIO Y SUS APLICACIONES.**

Autor:

EDWIN DAVID AYAVACA TUMBACO

Director:

LCDO. REMBERTO RODRÍGUEZ, MsC.

Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador

JULIO - 2017

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE EXTRUSORA PARA
PLÁSTICOS; ESTUDIO Y SUS APLICACIONES.

Lcdo. Remberto Rodríguez, *MsC.*

DIRECTOR

APROBADO

Ing. Nilo Ortega Soliz, *MsC.*

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Carlos Centeno Lara, *MsC.*

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Gabriel Obregón Veloz, *MsC.*

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Santo Domingo, de de 2017

Autor: EDWIN DAVID AYAVACA TUMBACO

**Institución: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
SEDE SANTO DOMINGO**

**Título: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO
DE EXTRUSORA PARA PLÁSTICOS; ESTUDIO Y
SUS APLICACIONES.**

Fecha: JULIO 2017

El contenido del presente trabajo está bajo la responsabilidad del autor y no ha sido plagiado.



Ayavaca Tumbaco Edwin David

Ci: 1723236921

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
Sede Santo Domingo

INFORME DEL DIRECTOR

Santo Domingo, 21 de julio del 2017

Señor Ingeniero
Nilo Ortega Solíz
**COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA Y
AUTOMATIZACIÓN**

Presente.

Señor coordinador:

Mediante la presente tengo a bien informar que el trabajo escrito de titulación realizado por el señor *Ayavaca Tumbaco Edwin David*, cuyo título es: *“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE EXTRUSORA PARA PLÁSTICOS; ESTUDIO Y SUS APLICACIONES”*, ha sido elaborado bajo mi supervisión y revisado en todas sus partes, *el mismo que no ha sido plagiado*, por lo cual autorizo su respectiva presentación.

Particular que informo para fines pertinentes.

Cordialmente



Lcdo. Remberto Rodríguez. MsC
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Dedicatoria

A mis padres: David y Norma porque son el apoyo incondicional para alcanzar mis metas como persona y formarme como profesional, gracias a su amor y confianza, quienes siempre creyeron en la educación como un medio para la superación.

A mi hermana María José por brindarme ese cariño tan inocente que tiene los niños y por permitirme ser su ejemplo a seguir.

A mi familia en general, por brindarme ánimos y alicientes, en especial a mi abuelita Isolina por sus bendiciones y apoyo en los buenos y malos momentos.

Agradecimiento

Agradezco a mis padres porque sin el apoyo brindado no lograría este objetivo.

Al MSc. Remberto Rodríguez por su dirección en el presente proyecto de titulación.

A todos los docentes que me brindaron sus conocimientos y guiaron en mi proceso de aprendizaje.

A mis amigos y compañeros de clases por compartir su camaradería en las aulas de la universidad.

A todas las personas que me brindaron su ayuda para culminar el proyecto de titulación.

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1723236921
APELLIDO Y NOMBRES:	Ayavaca Tumbaco Edwin David
DIRECCIÓN:	Coop. Gran Mariscal Sucre
EMAIL:	ated503846@ute.edu.ec
TELÉFONO FIJO:	02 2752214
TELÉFONO MÓVIL:	0996929169 0939123439

DATOS DE LA OBRA						
TÍTULO:	Diseño y construcción de un prototipo de extrusora para plásticos; estudio y sus aplicaciones					
AUTOR O AUTORES:	David Ayavaca Tumbaco					
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	julio, 2017					
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Remberto Rodríguez, MsC.					
PROGRAMA	<table border="1" style="width: 100%;"><tr><td style="width: 33%;">PREGRADO</td><td style="width: 10%; text-align: center;">X</td><td style="width: 33%;">POSGRADO</td><td style="width: 10%;"></td><td style="width: 14%;"></td></tr></table>	PREGRADO	X	POSGRADO		
PREGRADO	X	POSGRADO				
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Electromecánico, Mención en Automatización Industrial.					

RESUMEN:	-El proyecto técnico tiene como objetivo diseñar componentes de maquinaria que puedan ser implementados en un prototipo de extrusor para plásticos. Dentro del análisis teórico se tomarán en cuenta los aspectos térmicos como la temperatura a la que está expuesto el material plástico constituido principalmente de polímeros como el polietileno (PET) o el poli cloruro de vinilo (PVC), estos materiales forman una red molecular sólida a
-----------------	--

	<p>temperatura ambiente y consecuentemente dilatándose a elevada temperatura; este proceso de calentamiento, toma de forma y enfriamiento puede repetirse, proporcionándoles la característica de ser reciclados. Los esfuerzos mecánicos que se producen en la maqueta y los componentes eléctricos que pueden influir en la construcción, funcionamiento y posterior mantenimiento del equipo se analizarán teniendo en cuenta los distintos factores de seguridad industrial. El prototipo de extrusor de plásticos como una herramienta físicamente real pretende promover la capacidad creativa de los estudiantes de ingeniería mediante del desarrollo de maquinaria que les permitirían emular el control de procesos industriales como la producción de elementos plásticos, manipulando directamente las variables del proceso de transformación.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>Extrusora, polímeros termoplásticos, extrusión directa, husillo simple, auto térmico.</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>The aim of the present technical project is to design machine components that can be implemented in a prototype of an extruder for plastic. Within the theoretical analysis, thermic aspects have been considered, like the temperature to which the plastic is exposed. It mainly consists of polymers like polyethylene (PET) and polyvinyl chloride (PVC). These materials form a molecular web that is solid in ambient air temperature, but consequently, it expands with higher temperatures. This heating process, shape-taking and cooling can be repeated, which shows characteristics of recycling. The</p>

	mechanic stress that is produced in the model and the electric components that can influence the construction, functioning and the later maintenance of the equipment will be analyzed, taking into account the different factors of industrial safety. The prototype of the plastic extruder as a physically real tool is intended to promote the creative capacity of the engineering students through the development of machines that enable them to emulate the control of industrial processes such as the production of a plastic element, interfering directly with the variables of the transformation process.
KEYWORDS	Extruder, thermoplastic polymer, direct extrusion, single screw spindle, self-screw.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



Ayavaca Tumbaco Edwin David

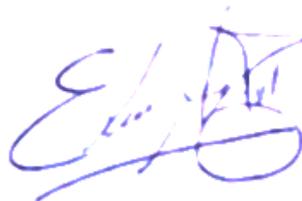
CI: 1723236921

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **AYAVACA TUMBACO EDWIN DAVID**, CI. 1723236921 autor del proyecto titulado: **“Diseño y construcción de un prototipo de extrusora para plásticos; estudio y sus aplicaciones”** previo a la obtención del título de **INGENIERO ELECTROMECAÁNICO, MENCIÓN EN AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Santo Domingo, 26 de julio del 2017



AYAVACA TUMBACO EDWIN DAVID

CI: 1723236921

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Pág.
Portada.....	I
Sustentación y aprobación de los integrantes del tribunal.....	II
Responsabilidad del autor.....	III
Aprobación del director.....	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimiento.....	VI
Formulario de biblioteca.....	VII
Declaración y Autorización.....	X
Índice de contenido.....	XI
Índice de tablas.....	XII
Índice de figuras.....	XII
I INTRODUCCIÓN.....	1
II MARCO REFERENCIAL.....	5
III METODOLOGÍA.....	17
IV ANÁLISIS DE RESULTADOS	54
V PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO,.....	55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
REFERENCIAS.....	66
ANEXOS.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación internacional plásticos.....	6
Tabla 2. Características de los termoplásticos.....	7
Tabla 3. Costo del proyecto.....	51
Tabla 4. Gastos de la investigación.....	51
Tabla 5. Costos de implementación.....	52
Tabla 6. Costos de operación.....	53
Tabla 7. Costos de mantenimiento.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Diagrama volumen contra temperatura.....	8
Figura 2. Diagrama esfuerzo cortante contra temperatura.....	9
Figura 3. Extrusor de tornillo simple.....	16
Figura 4. Esquema cuerpo libre.....	29
Figura 5. Cilindro del extrusor.....	34
Figura 6. Husillo del extrusor.....	35
Figura 7. Troquel del extrusor.....	39
Figura 8. Molde probeta.....	40
Figura 9. Esquema cinemático reductor velocidad.....	42
Figura 10. Estructura soporte.....	43
Figura 11. Sistema de propulsión mecánico.....	56
Figura 12. Sistema térmico.....	57
Figura 13. Molde y probeta.....	58
Figura 14. Tablero y panel de control.....	59
Figura 15. Base estructura.....	60
Figura 16. Prototipo extrusor.....	61

I. INTRODUCCIÓN

En la vida moderna los plásticos se han constituido como elementos de indudable trascendencia, hoy en día las personas vivimos rodeados de objetos plásticos que en siglos anteriores no eran necesarios para la vida cotidiana. Los plásticos se han fabricado para satisfacer las demandas de una gran variedad de usos, dando lugar a una amplia industria dedicada a la producción de estos elementos. Los plásticos derivados industriales del petróleo, se constituyen en un material válido para la elaboración de piezas de ingeniería, se utiliza en prácticamente todos los sectores de la industria, en electrodomésticos, en el sector de construcción de maquinaria, en electrónica y en robótica, también en la industria automotriz sustituyendo al metal por plástico. Actualmente la recuperación de plásticos post-consumidor es esencial, parte de los plásticos utilizados por la industria se usan directamente en forma de grano, frecuentemente existen varias formas de procesado de plásticos, una de ellas es la extrusión de perfiles o hilos, la cual permite generar un producto extenso y continuo, además de la elaboración de botellas por soplado y moldeo.

El término plástico como significado general, se aplica a sustancias de similares características, constituidos con moléculas sintéticas, denominadas polímeros, cuyo componente principal es el carbono. Sin embargo, en sentido concreto, nombra ciertos tipos de materiales obtenidos mediante fenómenos de polimerización de los átomos de carbono en las largas cadenas moleculares, que bajo efectos de altas temperaturas se debilitan y se dilatan dando lugar a una deformación estructural.

Se tiene conocimiento que para cambiar el comportamiento estructural de un elemento plástico se necesita someter al material a un incremento en su temperatura interna lo que requiere la implementación de un elemento térmico capaz de elevar la temperatura del material plástico de prueba, es así que el diseñador necesita conocer las propiedades térmicas de los materiales plásticos, inicialmente se pretende determinar ¿cuál es la temperatura que se necesita aplicar al material plástico para provocar un cambio en su estructura? Y poder debilitar la rigidez de la estructura molecular.

Las técnicas de investigación científica en la universidad guían al diseñador en su interés por comprender los efectos que ocurren dentro de un elemento cuando se aplica una determinada carga o se expone a un incremento en la temperatura, así es posible prepararse para una posible situación que ponga en riesgo el funcionamiento del equipo y la integridad del operador del prototipo. Uno de los requerimientos técnicos que se analiza de forma rigurosa es el margen de seguridad del prototipo de ante mano el estudiante sabe por su preparación que este margen de seguridad tiene varias enfoques dentro del diseño mecánico y estructural. Es así que se requiere dimensionar un factor de seguridad para el prototipo de extrusor, adelante dentro del desarrollo del estudio se pondrá de manifiesto que dicho factor es muy utilizado para el análisis de la resistencia específica de una sección de material sometido a un esfuerzo de tracción o compresión.

En problema técnico: consiste en realizar un diseño funcional de un prototipo de extrusora a escala de laboratorio, ¿es posible implementar el diseño del prototipo en un equipo compacto y funcional? es común en la industria productora de plásticos utilizar un método de extrusión empleando el sistema de husillo giratorio con cilindro auto térmico, maquinaria utilizada en la fabricación y perfilado de tuberías, en la práctica los equipos de extrusión industriales son físicamente enormes y robustos lo que implica el desafío del tamaño. Los extrusores pueden trabajar de varias formas y realizar varias funciones al mismo tiempo mientras están en funcionamiento, como mezclar el material granulado, transportar y dosificar el material hacia el troquel o incrementar la temperatura del cilindro, debido a esto la elección de componentes y equipos de medición, deben realizarse de forma acertada. Generalmente se plantea determinar ¿Cuál es la fuente de energía? Para el calentamiento del material de prueba. Además ¿podría ser adecuada una propulsión de potencia por tracción? La elección y configuración adecuada de mecanismos del extrusor es crítica para la implementación del prototipo y lograr con éxito la extrusión del material fundido.

La justificación del prototipo de extrusora para plásticos, se basa en un sistema cuyo comportamiento se investiga mediante una maqueta de menor escala. El diseñador en primer lugar debe adquirir un conocimiento científico claro y preciso del material de estudio, para realizar la implementación del equipo, además debe cumplir con todos los requerimientos necesarios, como determinar las variables del proceso y la selección de los métodos de construcción. Además de contar con los suficientes recursos humanos y económicos para los respectivos análisis y pruebas de funcionamiento.

Objetivos de la investigación.

- ✚ Diseñar y construir un prototipo de extrusora para plásticos.
- ✚ Analizar información sobre métodos y procesos para la extrusión de elementos plásticos.
- ✚ Determinar las propiedades térmicas y mecánicas del material plástico de estudio.
- ✚ Establecer los límites funcionales, térmicos y estructurales.
- ✚ Diseñar el sistema mecánico del prototipo, y un sistema de control eléctrico para protección de equipos.
- ✚ Construir el prototipo de extrusor e implementar el sistema de control.
- ✚ Comprobar el funcionamiento del prototipo.
- ✚ Elaborar un manual de operaciones y mantenimiento.

Los materiales plásticos poseen características particulares, a temperatura ambiente generalmente treinta grados Celsius, se presentan como sólidos, son rígidos en algunos casos, y en otros muy flexibles, como consecuencia de una exposición a elevadas temperaturas cambia de estado sólido a líquido o fluido viscoso. Entonces se debe considerar que la temperatura es el factor determinante en el proceso de extrusión, prácticamente se encuentra en relación inversamente proporcional con la rigidez del material, el prototipo de extrusora facilitaría estudiar las propiedades de los materiales plásticos y sus aplicaciones, influyendo directamente en la temperatura.

En este proyecto se aplicara la metodología analítica experimental, modelo que se basa en la experimentación y la lógica empírica, que junto a la observación de fenómenos, es el más usado en el diseño de prototipos. Los datos empíricos son sacados de las pruebas acertadas y los errores, su aporte al proceso de investigación es resultado fundamental de la experiencia. Estos métodos posibilitan revelar las relaciones esenciales y las características fundamentales del objeto de estudio, accesibles a la detección de causa y efecto, a través de procedimientos prácticos y diversos medios de estudio. Su utilidad destaca la entrada en campos inexplorados o en aquellos en los que destaca el estudio descriptivo.

La trascendencia del prototipo está en promover la capacidad creativa de los estudiantes de ingeniería mediante del desarrollo de equipos que les permitan emular el control de procesos industriales como la producción de elementos plásticos, manipulando directamente las variables del proceso de transformación.

En el presente trabajo se plantea implementar un prototipo de extrusora para materiales plásticos en la UTE, se propone crear una herramienta que permita estudiar las propiedades de los materiales plásticos post consumidor es decir de material reciclado, ya que los plásticos pueden reutilizarse es posible emplearlos nuevamente para otras aplicaciones. Es notable la capacidad de reciclado de los plásticos y una de sus mayores cualidades, al final de los ensayos y funcionamiento del prototipo se obtendrá una probeta elaborada con esta materia prima reciclada.

II. MARCO REFERENCIAL.

Esta sección presenta las ideas y conceptos que permiten asimilar de forma introductora sobre los métodos científicos de investigación que se pretende emplear en el estudio, se hará una revisión de conceptos sustentados en distintos textos científicos enfocados en diseño de maquinaria.

Los plásticos.

Los materiales plásticos están constituidos principalmente de polímeros termoplásticos, unidos por enlaces covalentes, forman una red molecular sólida a temperatura ambiente.

La estructura de los plásticos tiene como base un bloque de moléculas naturales o artificiales que son derivados del carbón y el petróleo, bajo condiciones favorables se puede obtener materiales como el PET, el PVC, los diferentes tipos de plásticos de uso industrial, etc.

Pueden cambiar de estado sólido a fluido mediante la exposición a temperaturas elevadas y retornar a estado sólido por enfriamiento, este proceso de calentamiento, toma de forma y enfriamiento puede repetirse en principio indefinidamente. Su baja densidad da como resultado elementos ligeros y resistentes a la corrosión. Además poseen propiedades dieléctricas que son empleadas para recubrimientos de cables y conductores eléctricos. El material de análisis los polímeros termoplásticos, pueden exhibir un comportamiento frágil y puramente elástico, hasta un comportamiento dúctil, con mucha deformación irreversible (plasticidad) y alargamientos del 100% o superior.

Clasificación de los materiales plásticos.

Para clasificar los materiales plásticos se emplea el sistema de codificación internacional que se observa en la figura 1. Se aplica a los productos elaborados con polímeros termoplásticos, consiste en una insignia con el código y el acrónimo del polímero base del que está hecho, la marca consiste en el símbolo internacional de reciclado. En general, se tiene un concepto básico sobre la clasificación de los materiales plásticos, información que es útil en los procesos de reciclaje.

Tabla 1. Clasificación materiales plásticos.

Tipo de plástico	Acrónimo	Código.
Polietileno Tereftalato.	PET	1
Polietileno de alta densidad.	PEAD/HDPE	2
Poli cloruro de vinilo	PVC	3
Polietileno de baja densidad.	PEBD/LDPE	4
Polipropileno.	PP	5
Poliestireno.	PS	6
Otros.	otros	7

Fuente <http://wikipedia.com/plásticos>.

Características de los plásticos.

Una de las características muy importante en los plásticos es el ablandamiento por efecto del calor, ya que muchos son fabricados con polímeros lineales o termoplásticos, estos pueden ablandarse por efecto del calor. Además la expansión térmica lineal propia del material, se caracteriza por enlaces débiles en sus moléculas. Un material plástico, expuesto a un esfuerzo cortante, está sujeto a un comportamiento elástico como a uno viscoso, esto significa que la deformación no es instantánea. Esta característica de flujo o viscosidad, es típica en muchos termoplásticos, ya que son líquidos sobre enfriados que se encuentran entre la temperatura vítrea y la temperatura de fusión, en la tabla 2 se detallan valores

característicos de varios plásticos como: la temperatura vítrea, la temperatura de fusión y degradación, la viscosidad y otros que resultan de utilidad para el proyecto.

Tabla 2. Características de los termoplásticos.

Tipo material	TV °C	TF °C	TD °C	Visco sidad. PaS	Mod.El ástico MPa	Densid ad Kg/cm 3	Coef. Transferenci a Calor W/m°C
PET	75	260	280	700	2800	0,93	0,24
PEAD	80	140	280	800	3100	0,9	0,22
PVC	60	110	240	600	3000	1,4	0,20
PEBD	60	135	220	400	3000	0,96	0,22
PP	100	160	220	600	1300	0,91	0,22
PS	60	135	190	300	2200	1,27	0,21

Fuente: <http://wikipedia.com/plásticos>.

Marco teórico.

La recopilación de propiedades térmicas y mecánicas que se realiza a continuación no es exhaustiva pero pretende dar cobertura a los principales factores relacionados con la selección de un material duradero para aplicaciones estructurales bajo una variedad de condiciones de servicio. Además se incorporan términos que se utilizaran dentro del análisis del material en primera instancia las de interés térmico como el calor específico o la conductividad térmica, empezaremos planteando conceptos básicos sobre la temperatura:

Temperatura de transición vítrea.

Shackelford (2009), la temperatura de transición vítrea T_v , determina la frontera de temperatura que permite el cambio de estado sólido a fluido en los polímeros

termoplásticos. se puede observar en la figura 1 como una representación del cambio de volumen debido al incremento de temperatura.

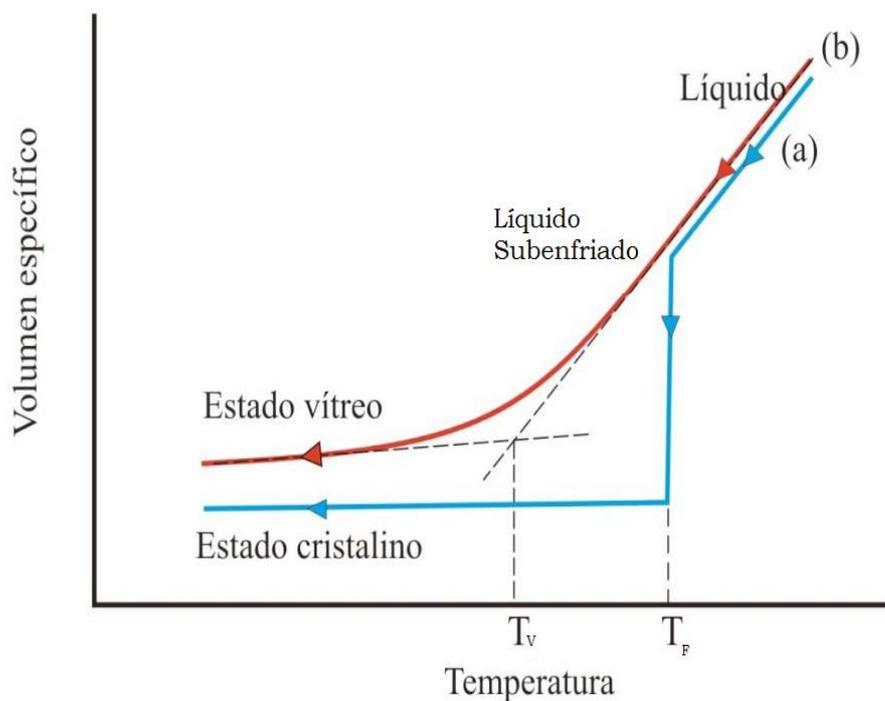


Figura 1. Volumen contra temperatura

Fuente Shackelford James F. 2009.

Temperatura de Fusión.

Shackelford (2009), la temperatura de fusión T_f , es mayor a la temperatura de transición vítrea, aquí ocurre la disgregación total de cristal polimérico. Los termoplásticos por lo general tienen un rango de temperaturas en las que se puede dar la fusión. La resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad cambian notoriamente y decrecen como se puede observar en la figura 1.2 en la curva esfuerzo-temperatura.

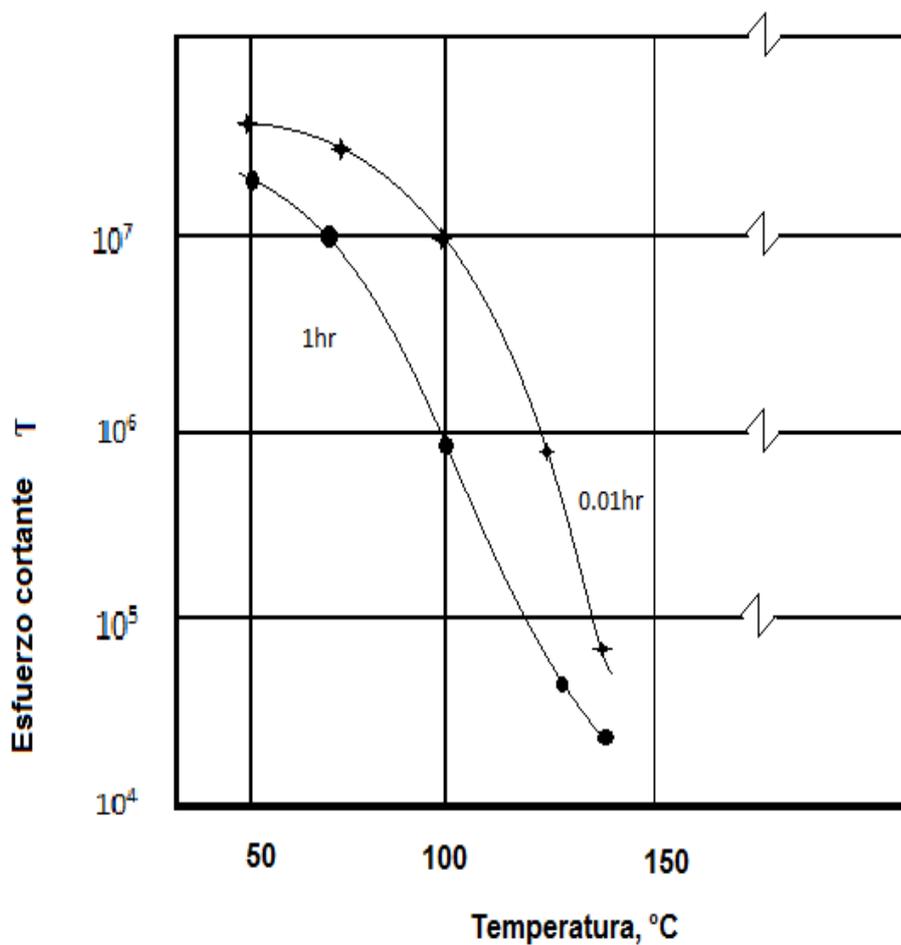


Figura 2. Curva de Esfuerzo cortante-Temperatura.

Fuente. Shackelford James F. 2009.

Temperatura de degradación.

La temperatura de degradación T_d , representa el límite de temperatura que pueden soportar los polímeros termoplásticos antes de degradarse irreversiblemente provocando una ruptura de los enlaces covalentes primarios y la carbonización de las moléculas.

Conductividad térmica.

Para el estudio térmico del prototipo se empleara la ley de conducción de calor de Fourier, Holman (1986), establece q , como la rapidez de transferencia de calor:

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1-1)$$

Donde k , es la conductividad térmica del material y $\partial T/\partial x$, es el gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor. En un sistema típico el flujo de calor es expresado en watts.

Transferencia de calor por convección.

La calidad de la transmisión de calor en un extrusor depende de la transmisión de calor por convección entre el material y el cilindro, la potencia transmitida es proporcional al coeficiente de transmisión de cada material.

Dentro del estudio de transferencia de calor se revisara la ley de enfriamiento de Newton:

$$q = hA(T_f - T_p) \quad (1-2)$$

Donde h , es el coeficiente de transferencia de calor por convección, aquí la rapidez de transferencia de calor se relaciona con la diferencia de temperatura entre la pared y el fluido, y el área de la superficie en contacto.

Disipación viscosa

Robín (2001), la potencia térmica de origen mecánico es un factor significativo en los cambios térmicos en el material. Estos son generados por un gradiente de velocidad, conocido como velocidad de deformación, dentro de un volumen de

material, determina una velocidad de deformación media de un volumen y calcula las disipaciones viscosas o energía de cizallamiento del modo:

$$qc = \mu\gamma A \quad (1-3)$$

Dónde:

qc: energía de cizalla.

μ : viscosidad.

γ : velocidad de cizalla.

A: área de sección.

Deformación.

La deformación, ε , puede interpretarse como el cambio en la longitud de una sección, resultante a la carga aplicada en el material de ensayo:

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (1-4)$$

Dilatación lineal y volumétrica.

Holman (1986), nos dice que el incremento en la longitud de una probeta, $(\Delta l/l)$, es proporcional al cambio de temperatura, como una aproximación se tiene:

$$\frac{\Delta l}{l} = \alpha_l \Delta T \quad (1-5)$$

Donde α_l representa el coeficiente de dilatación lineal dato proporcionado en la tabla 1.1 propiedades de los polímeros, además el coeficiente de dilatación volumétrica, (α_v) se puede determinar en forma práctica como $(3\alpha_l)$, si la dilatación es uniforme en todas sus direcciones.

$$\alpha_v = 3\alpha_l \quad (1-6)$$

Esfuerzo.

Shigley (2012), El esfuerzo normal; σ , es el resultado de aplicar una fuerza perpendicular a una unidad de área:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (1-7)$$

El módulo elástico.

También conocido como módulo de Young, representa la rigidez del material, su resistencia a la deformación elástica:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1-8)$$

Sistemas radiales de conducción de calor.

Holman (1986), asegura que varias formas físicas diferentes pueden entrar en la categoría de sistemas unidimensionales como la pared plana, los sistemas cilíndricos y esféricos son unidimensionales cuando la temperatura en el cuerpo es sólo una función de la distancia radial y es independiente del ángulo acimutal o de la distancia axial.

En algunos problemas bidimensionales el efecto de una segunda coordenada espacial puede ser tan pequeño que justifique su desprecio, y el problema de flujo de calor multidimensional puede aproximarse por medio de un análisis unidimensional. En estos casos se simplifican las ecuaciones diferenciales, y como resultado de esta simplificación se nos conduce a resoluciones mucho más sencillas.

La pared plana.

Se puede hacer una aplicación directa de la ley de Fourier para comprender la transferencia de calor en una placa, integrando se obtiene:

Donde el espesor de la pared es Δx , y T_1 y T_2 son las temperaturas de la cara de la pared.

$$q = -\frac{kA}{\Delta x} (T_2 - T_1) \quad (1-9)$$

Sistemas radiales cilíndricos.

Holman (1986), el calor fluye en dirección radial en una tubería, de manera que el radio es la única coordenada espacial necesaria para especificar el sistema. Una vez más se aplica la ley de Fourier introduciendo la relación de área adecuada. El área para el flujo de calor en el sistema cilíndrico es:

$$A_r = 2\pi rL \quad (1-10a)$$

Así la ley de Fourier se escribe:

$$q_r = -kA_r \frac{\partial T}{\partial r}$$

$$q_r = -2\pi krL \frac{\partial T}{\partial r} \quad (1-10)$$

En condiciones de frontera, la ecuación es:

$$q_r = -\frac{2\pi kL(T_i - T_o)}{\ln(r_o/r_i)} \quad (1-11)$$

Y en este caso la resistencia térmica es:

$$R_t = \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi kL} \quad (1-11a)$$

Transferencia de calor como Flujo eléctrico.

Holman (1986), introduce un punto de vista diferente a la ley de Fourier dice que la ley de transferencia de calor puede considerarse como un flujo y la combinación entre conductividad térmica, espesor del material y área, como una resistencia a este flujo. La temperatura está en función de potencial motriz para el flujo de calor, una relación igual a la ley de Ohm en la teoría de circuitos eléctricos:

$$\text{Flujo de Calor: } \frac{\text{Diferencia de Potencial Térmico}}{\text{Resistencia Térmica}} \quad (1-12)$$

La temperatura generada puede producirse debido a la corriente que circula a través del sistema, entonces la potencia disipada es igual al flujo de calor:

$$P = I^2 \times R = \text{Flujo de Calor} = q \quad (1-12a)$$

Extrusión de plásticos.

La presente sección hace referencia a los orígenes del proceso de extrusión. Vázquez (2015), dice que los procesos de extrusión por parte del hombre es relativamente reciente, data de hace 200 años. Se desarrolló para la construcción de aceros para herramientas de trabajo en caliente.

El proceso de extrusión consiste en aplicar presión elevada a un volumen de material contenido en un cilindro, para que fluya en dirección de la presión hacia el orificio del troquel o molde. Por extrusión se fabrican productos largos, rectos, como barras, secciones de tubería, alambres y cintas, etc.

Los métodos de extrusión se clasifican de acuerdo a diferentes criterios, destacando los procesos de extrusión directa donde el producto extruido emerge de la cámara por el extremo opuesto a la entrada de un ariete de presión. Los procesos modernos de extrusión utilizan tornillos para hacer fluir el material termoplástico, transportándolo por medio del movimiento rotacional a lo largo de la camisa del extrusor. El tipo de sistema normalmente utilizado es el de tornillo simple, aunque también existen sistemas de tornillos gemelos según sea la aplicación o la cantidad de material a extruir.

Extrusor de tornillo simple.

En la figura se muestra esquemáticamente una extrusora de husillo simple, se puede apreciar que el sistema consta de un motor eléctrico montado en la parte posterior de la máquina, transmite el movimiento de giro por medio del reductor de velocidad al eje del husillo, este recoge el material de la tolva de carga en forma de gránulos y lo mezcla, plastifica, comprime y lo desplaza por el canal helicoidal a lo largo del cilindro auto térmico el husillo facilita la homogenización del termoplástico fundido y la extrusión a través del troquel.

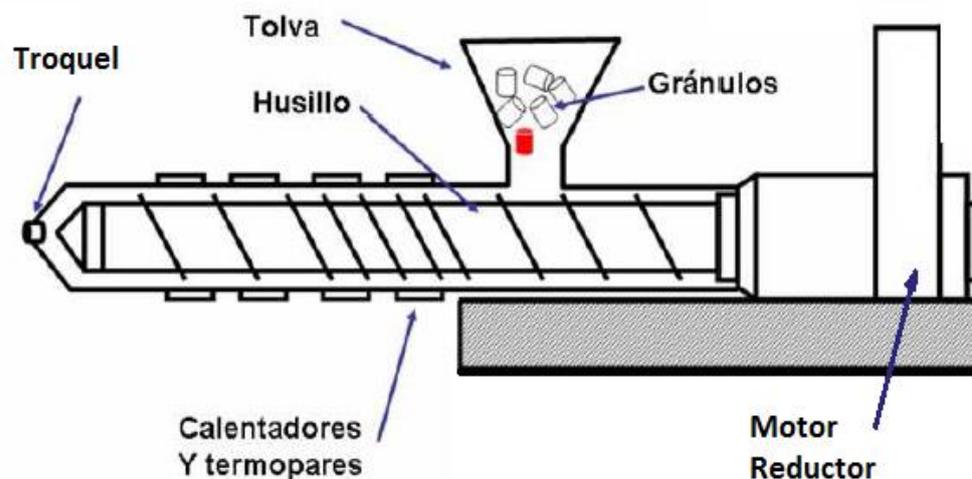


Fig..3 Extrusor de tornillo simple.

Fuente Savgorodny (1989). Transformación de plásticos.

El producto final elaborado generalmente son perfiles tubulares y secciones angulares rectas, este se encuentra en función del molde alojado en la sección final en el troquel, lo que le confiere la forma final.

Savgorodny (1989), expone que una extrusora simple de husillo el termoplástico atraviesa los tres estados físicos; sólido, conglomeración del material sólido con la masa caliente, y, finalmente se transforma en masa fundida. Los husillos se componen de tres zonas básicas, alimentación, compresión y dosificación.

Cuando la extrusora está en funcionamiento en la zona de dosificación se presentan tres flujos del material, el directo y el inverso, a lo largo del canal helicoidal del husillo, y el correspondiente a la fugas de masa, que tienen lugar a través del huelgo radial existente entre los vértices de los filetes del husillo y la superficie interior del cilindro.

Este último flujo comparado con los otros dos resulta en ocasiones no significativo en la mayoría de los casos su puede prescindir de el al efectuar los cálculos de producción. La producción y el caudal de la zona dosificadora es igual a la diferencia entre el flujo directo e inverso, sumado a este último las fugas.

El flujo directo comúnmente se denomina flujo forzado, constituye un movimiento de arrastre, originado por el deslizamiento relativo del husillo respecto al cilindro. El material acumulado en el espacio anular formado por el núcleo del husillo y la superficie interior del cilindro, es sometida a deformaciones de cizallamiento que las paredes del canal helicoidal transforma en movimiento de avance, es decir en flujo directo. El consumo caudal volumétrico del flujo directo viene determinada fundamentalmente por la profundidad y anchura del canal, diámetro del husillo y su velocidad de giro.

El flujo inverso surge como resultado de la presión sobrante acumulada en la cabeza de la extrusora, que obliga a fluir a la masa en dirección contraria. Sin embargo, como el flujo directo es considerablemente mayor se observara solo la reducción de este en una magnitud correspondiente al flujo inverso sin evidenciarse, como es lógico, la corriente del material en sentido contrario.

La magnitud del flujo inverso depende de la profundidad del canal helicoidal, diámetro del husillo, longitud de la zona de extrusión, presión ejercida por la masa sobre la cabeza del troquel y de la viscosidad de la masa.

III. METODOLOGIA

Sitio de estudio.

La UTE se ha consolidado en la región como una institución educativa de excelencia, se propone capacitar a sus alumnos en la técnica y en la experiencia. En la universidad uno de los métodos de aprendizaje son las prácticas de laboratorio en donde el estudiante tiene la oportunidad de operar los dispositivos de control de procesos, así también, pueden tratar de forma directa las probetas de ensayo para generar sus criterios de estudio.

Localización geográfica.

La UTE campus Santo Domingo está ubicada en la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas, las coordenadas de la universidad son; latitud -0.236871; longitud -79.207820999; con una altitud de 492 metros sobre el nivel del mar, en la región costa.

Ubicación en el tiempo.

El desarrollo del proyecto de titulación para el diseño del prototipo de extrusor empieza desde marzo y continúa hasta su presentación el mes de julio del 2017. Donde se expondrá el prototipo final.

Equipos de medición.

Los diferentes equipos de medición son herramientas útiles en el proceso de implementación y operación del prototipo ya que permiten observar de manera directa las magnitudes físicas, eléctricas o térmicas que influyen en el funcionamiento del extrusor, a continuación algunos de los instrumentos:

-Pirómetro digital; permite observar la temperatura del extrusor mediante un transductor tipo K.

- Multímetro; se emplea para constatar el nivel de voltaje que se suministra al equipo, además de otras funciones con medida de resistencia eléctrica, continuidad, etc.

- Pinza Amperimétrica; esencialmente se utiliza para medir el flujo de corriente en un circuito.

- Termómetro; su función es medir la temperatura externa de una superficie.

Materia prima.

La materia prima que se empleara para el estudio son los siguientes polímeros termoplásticos:

- PET: es un tipo de plástico lineal empleado en procesos de extrusión, inyección y soplado, de botellas
- HDPE: se utiliza generalmente como base para recipientes y vasos.
- LDPE: utilizado en cintas y carcasas, para recubrimiento externo.
- PVC: plástico empleado a escala industrial, se emplea principalmente para tubería, sus propiedades mecánicas lo hacen apto para absorber golpes sin causar roturas.
- PP: empleado en la fabricación de fundas y cintas.

Porque son los que mayoritariamente emplea la producción industrial, y resulta interesante observar que características poseen los plásticos post consumidor.

Se puede emplear la materia prima en forma de pellets, (partículas del material de diámetro no mayor a 3mm) reciclado, para alimentar el husillo del extrusor, partículas que serán transportadas por el cilindro térmico, además es conveniente emplearlos para las pruebas del prototipo debido a que su temperatura vítrea es relativamente baja en comparación con los metales, la madera o los cerámicos.

Factores y variables de estudio.

El desarrollo de nuevos productos y la optimización de las aplicaciones existentes requieren de la comprensión de los fenómenos involucrados en el proceso de estudio, estos son esencialmente la temperatura y presión de trabajo; de origen térmico donde se utilizan sistemas de calentamiento y enfriamiento del cilindro, como de origen mecánico generado a medida que el material es cizallado por el movimiento del tornillo. Los parámetros principales que son importantes controlar son; la temperatura del material y el cilindro, la presión y los niveles de potencia mecánica y térmica aplicados.

El propósito de este capítulo es mostrar la importancia de la transmisión de calor en el proceso de extrusión, como se puede medir y aplicar en el diseño preliminar.

Variable independiente.

La temperatura de exposición a la que es sometido el material termoplástico constituye la variable independiente del sistema, ya que esta afecta directamente la estructura del elemento de prueba, se sabe que superando la temperatura de transición vítrea el material cambia de estado sólido a fluido.

Variable dependiente o respuesta.

Cuando el material de prueba experimenta un incremento de temperatura afecta directamente a la estructura como se había mencionado, en efecto ocurre una dilación térmica, cambia el volumen en el sólido y disminuye el módulo elástico.

Análisis experimental.

La primera acción a realizar sería aplicar los principios descritos en el marco teórico, las ecuaciones descritas se ilustraran utilizando los resultados numéricos de la investigación para la comprensión y análisis del rendimiento térmico de un extrusor. El análisis experimental hace posible medir los parámetros necesarios para el control

de proceso, para deducir la magnitud de los esfuerzos aplicados, y proporcionar los datos esenciales para el diseño final de prototipo.

La siguiente sección describe un enfoque experimental original aplicado a un extrusor de tornillo simple. Es importante conocer y controlar la transmisión de calor en el proceso de extrusión de modo que se pueda utilizar el tratamiento térmico adecuado para conferirle las cualidades necesarias el producto final, Robín (2001), La transmisión de calor en la extrusión debe ser abordada en dos niveles:

- ✓ El primer enfoque, considerando al extrusor como un entero, es global. Ello supone la cuantificación de los niveles de energía mecánica y térmica, implicadas en todo el extrusor: calentamiento, enfriamiento, pérdidas y cambios en la energía interna del material.
- El segundo enfoque aborda solamente el cilindro, de este modo es más local. La conversión del material a medida que pasa a través del extrusor implica fenómenos de transferencia que varían a lo largo de la trayectoria. Por tanto las transmisiones de calor se pueden analizar en cada zona funcional del extrusor. El concepto de balance de energía implica parámetros relacionados con el extrusor su geometría y con el material de ensayo sus propiedades térmicas y mecánicas.

Balance energético global.

Robín (2001), sugiere un análisis global del extrusor, se puede utilizar para correlacionar la extensión de la conversión del material con los valores de potencia implicados. El propósito de este enfoque es determinar el consumo de energía en el proceso y cuantificar la energía transmitida al material. Los valores de potencia a considerar en un extrusor son:

- La energía mecánica suministrada por el motor: $E_{\text{mecánica}}$.
- La energía térmica, sistema de calentamiento: $E_{\text{calentamiento}}$.
- La energía absorbida por el circuito de enfriamiento: $E_{\text{enfriamiento}}$.

- Las pérdidas térmicas al ambiente: $E_{perdidas}$.
- La energía absorbida por el material: $E_{material}$

La ecuación del balance conteniendo estos valores de potencia se escribe en Watts, como:

$$E_{total} = E_{mecánica} + E_{calentamiento} \quad (2-1)$$

La ecuación del balance muestra que la energía transmitida al material es tanto de origen térmico y mecánico.

La potencia absorbida por el material se deduce de los otros niveles de energía medidos. Esto representa la cantidad de calor necesario para transformar el material, que es equivalente al cambio en su entalpia energía interna del material dependiendo del estado de la materia y del cambio de fase, a medida que pasa a través del extrusor calor sensible y entalpia de fusión.

$$P_{total} = 88.5W + 566W$$

$$P_{total} = 655W$$

$$P_{total} = 0.87HP$$

Energía de calentamiento

Si aplicamos la ley de Fourier para determinar la cantidad de calor que se necesita teóricamente para incrementar la temperatura del material termoplástico hasta alcanzar la temperatura de transición vítrea, se tiene:

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2-2)$$

$$q = -k(\pi dL) \left(\frac{T_i - T_o}{\ln\left(\frac{40mm}{37mm}\right)} \right)$$

$$q = \left(0.24 \frac{W}{m^{\circ}C} \right) (\pi \times 40mm \times 220mm) \left(\frac{140^{\circ}C - 25^{\circ}C}{\ln\left(\frac{40mm}{37mm}\right)} \right)$$

$$q = 566 W \text{ (para el PET)}$$

De acuerdo con el tabla 2.La conductividad térmica para el PET k: 0.24W/m°C.

Energía mecánica.

La potencia térmica de origen mecánico es un factor significativo en los cambios térmicos en el material. Estos son generados por un gradiente de velocidad, conocido como velocidad de deformación, dentro de un volumen del material. Robín (2001). Determina la velocidad de deformación media de un volumen y calcula las disipaciones viscosas, energía de cizallamiento del modo siguiente:

$$q_{\text{cizallamiento}}: \mu\gamma Q \quad (2-3)$$

Dónde: μ =viscosidad

γ = velocidad de cizalla

Q= caudal volumétrico

$$q_{\text{cizalla}} = \text{viscosidad} \times (\text{velocidad formacion}) \times \text{caudal volumetrico}$$

$$q_{\text{cizalla}} = 700PaS \times \left(\frac{11.5rad}{s} \right) \times 0.011m^3/s$$

$$q_{\text{cizallamiento}} = 88.5W$$

Balance térmico local.

La conversión termo mecánica satisfactoria del material necesita una comprensión del fenómeno de transmisión de calor que tiene lugar dentro del material y entre el material y el cilindro. Para este propósito, se deben identificar los modos locales de transmisión. Los cambios térmicos en el material a medida que pasa a lo largo de los tornillos se determinan resolviendo una ecuación de balance basada en el modelo general mono dimensional de los nodos de transmisión. Esto debe cubrir la transmisión de calor por convección entre el material y el cilindro, la transmisión de calor por convección entre el material y el tornillo y una fuente de calor dentro del material. La ecuación del balance se formula como sigue.

$$dH = dq + hmc \cdot dS_{mc} \cdot (T_c - T_m) + hmt \cdot dS_{mt} (T_t - T_m) \quad (2-4)$$

Donde T_m , T_c y T_t son, respectivamente, la temperatura del material, cilindro y tornillo en grados °C. Esta función se adapta a la zona funcional particular en cuestión. El término $dH(W)$, en la ecuación es el cambio en la energía interna del material. Esta se expresa de forma distinta según sea el estado del material: polvo o estado sólido, y fluido derretido o estado líquido.

El segundo término $dq(W)$, representa fuentes de calor. En la extrusión por lo general el material cambia su disipación viscosa, particularmente con su viscosidad. Los demás términos tienen que ver con la transmisión de calor entre el material y el cilindro, y entre el material y el tornillo. Se introducen los conceptos de coeficiente de transmisión de calor por convección y el área de transmisión, dS_{mc} y $dS_{mt}(m^2)$.

Presión máxima

La presión máxima que puede llegar a experimentar el prototipo se relaciona con la viscosidad de la materia trasladada hasta la punta del troquel, en donde es sometida a compresión por el giro del husillo, la presión máxima se puede calcular de la siguiente manera:

$$P_{max} = 6\pi D L n \mu / h 2 \tan \theta \quad (2-5)$$

Dónde:

D: es diámetro exterior del husillo.

L: longitud del husillo.

n: velocidad de giro.

u: viscosidad del material.

h: altura del diente.

Para este análisis se toman en cuenta las dimensiones preliminares para el diseño final, la presión máxima puede darse por los siguientes motivos, como es el llenado total del molde, cuando el material es sometido a la máxima compresión, también puede generarse por atascamiento del husillo y del sistema de transmisión de movimiento, o debido a que el material no cambia de estado sólido a líquido, porque no supera la temperatura de transición vítrea.

$$P_{max} = [6\pi(0.04m)(0.22m)3.3revs(700Pas)]/(0.004)2\tan\theta$$

$$P_{max} = 134MPa$$

Presión de operación.

La presión de operación se deduce con la noción de que el husillo presenta las condiciones necesarias para extruir el material, es decir que se alcanzó la temperatura vítrea y que el material está listo para fluir por el cilindro hasta ser depositado en el molde base, bajo condiciones estables la presión de operación se puede calcular de la siguiente manera.

$$P_{op} = 2\pi\mu D^2 n h \sin\theta \cos\theta / \left(\frac{R^4}{2L}\right) + \left(\frac{Dh^3 \sin\theta}{3L}\right) \quad (2-6)$$

$$P_{op} = 2\pi(700Pas)(0,038m)^2(3revs)0,004m \sin\theta \cos\theta / \left(\frac{0.0015m^4}{2(0,0022m)}\right)$$

$$+(0,00386m * 0,004m^3)/(3 * 0,220m)$$

$$P_{op} = 16.5MPa$$

La presión de operación se presenta cuando el husillo gira y traslada el material como flujo constante, a lo largo del cilindro.

Momento flector en el husillo.

El torque aplicado al husillo está determinado por la potencia del motor generalmente los motores eléctricos tienen estándares que establecen la potencia y la fuerza que dicho elemento puede proporcionar al sistema tomando en cuenta lo analizado en la sección anterior sobre energía mecánica del extrusor; se requieren 0.83HP para accionar el sistema, pero este valor no es estándar así que se debe seleccionar un valor de potencia estandarizado, en este caso se implementara un motor de 2HP a 1700rpm. Savgorodny (1989), el torque del husillo se calcula de la siguiente manera, también llamado momento flector y que representa la cantidad de trabajo que se ejerce sobre el material fundido.

$$Mg = k\left(\frac{N}{n}\right) \quad (2-7)$$

$$Mg = 9550 \left(\frac{1.5Kw}{1.8revs} \right) = 7958.3Nm = 7,9KJ$$

Fuerza ejercida en el husillo.

La fuerza ejercida en el husillo del extrusor está relacionada con la velocidad de giro en el eje del motor, la siguiente relación represente un análisis esencial:

$$F = Potencia/Velocidad \quad (2-8)$$

$$F = 1500W / \left(\frac{0,2m}{s} \right)$$

$$F = 7500N$$

Tensión tangencial y esfuerzos en el husillo.

Se produce a causa de la fuerza aplicada por el motor, se determina de la siguiente manera:

$$\tau = 16 \frac{Mg}{\pi D^3 (1-u^4)} \quad (2-9)$$

$$\tau = 16 \frac{7958Nm}{\pi (0,04m^3) (1 - 0,9^4)}$$

$$\tau = 25MPa$$

Dónde:

$u =$ es la relacion entre diametros

$$u = \frac{\text{diametro husillo}}{\text{Diametro cilindro}} \quad (2-9a)$$

Tensión normal.

Está relacionada con la fuerza aplicada sobre el usillo y el área de la sección transversal del eje más el esfuerzo provocado por el peso del tornillo como carga repartida, se tiene:

$$\sigma = \frac{F}{Area} + \frac{Mf}{Wo} \quad (2-10)$$

$$\sigma = \frac{7500N}{0,0055m^2} + \frac{0,13kgm}{1,8e - 6m^3}$$

$$\sigma = 1,34MPa + 0,72MPa$$

$$\sigma = 2,06MPa$$

Solidez del husillo.

De acuerdo a la tercera ley de resistencia se tiene:

$$\sigma_{total} = \sqrt{(\sigma^2 + 4\tau^2)} \quad (2-11)$$

$$\sigma_{total} = \sqrt{(2,06MPa)^2 + 4(25MPa)^2}$$

$$\sigma_{total} = \sqrt{(4,24MPa^2 + 2500MPa^2)}$$

$$\sigma_{total} = 50,04MPa$$

$$\sigma_{total} = 7251 \text{ lb/in}^2$$

Flecha máxima en el husillo.

La flecha obtenida deberá ser menor que la holgura radial entre la cresta del filete del husillo y el cilindro.

$$f_{max} = \frac{qL^4}{8EJ} \quad (2-12)$$

Dónde:

E: módulo de elástico polipropileno 1300MPa

J: el momento de inercia de la sección transversal.

q: peso del husillo

$$f_{max} = \frac{(6.36kg/m)(220mm)^4}{8(1,3GPa)1,4mm^4} = 0,0089mm$$

Diagramas de cuerpo libre.

Se utilizarán los diagramas de cuerpo libre para analizar las fuerzas que actúan sobre el husillo. De cierta manera la fuerza del motor es lo que ocasiona la mayor cantidad de esfuerzos, también es posible considerar el peso del husillo y las reacciones en los apoyos RA y RD:

Diagrama cuerpo libre del husillo:

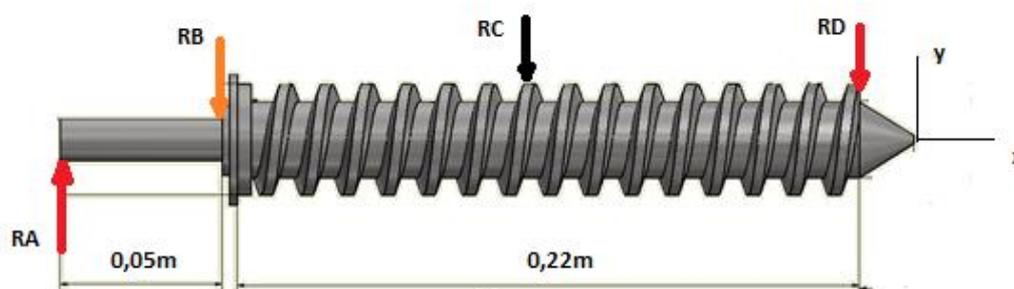


Figura4. Esquema cuerpo libre.

Datos:

La fuerza ejercida por el motor $RA = 7500N$

El peso del husillo equivalente a $RC = 7N$

Se calcularán las reacciones en los apoyos en donde se concentran los esfuerzos a tensión para el plano XY:

$$\sum MD = 0 \quad (2-13)$$

$$RA(0.27m) - RB(0.22m) + RC(0.11m) = 0$$

$$RB = \frac{7.5kN(0.27m) - 7KN(0.11m)}{(0.22m)}$$

$$RB = 12.7KN$$

$$\sum Fy = 0 \downarrow \quad (2-14)$$

$$RA - RB + RC - RD = 0$$

$$RA - RB + RC = RD$$

$$RD = 7.5KN - 12.7KN + 7KN$$

$$RD = 1.8KN$$

El momento flector en cada tramo del husillo:

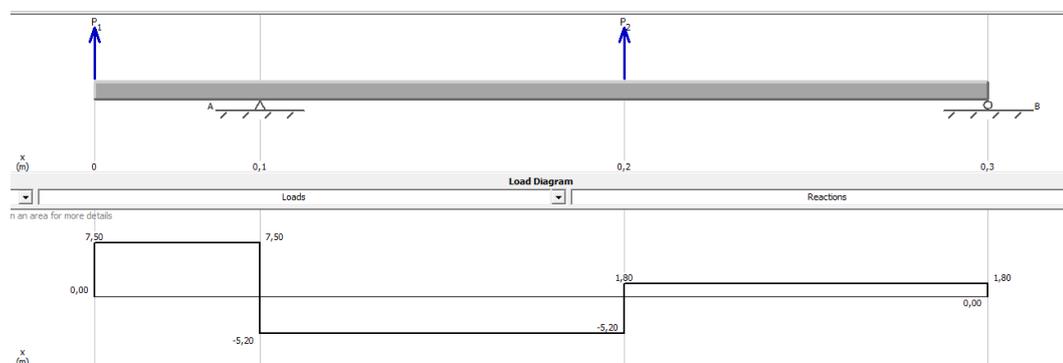
$$MA = 0 \quad (2-15)$$

$$MB = 7.5KN(0.05m) = 0.375KNm$$

$$MC = 1.8K(0.11m) = 0.198KNm$$

$$MD = 0$$

Esfuerzo Cortante XY.



Momento Flector.

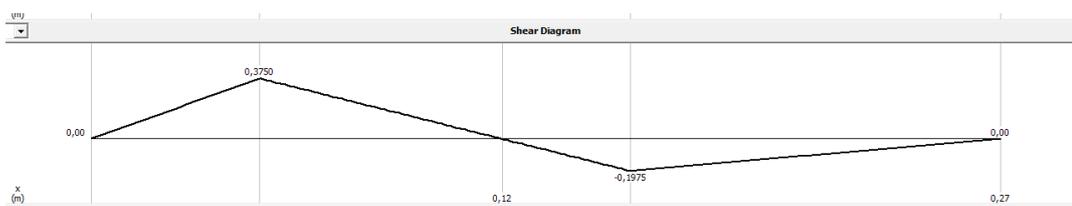


Figura4. Esquema cuerpo libre.

Se calcularan las reacciones en los apoyos en donde se concentran los esfuerzos a tensión. El momento flector en el husillo para los planos XZ:

$$\sum MA = 0 \cup \quad (2-16)$$

$$RB(0.05m) - RC(0.16m) = 0$$

$$RC = \frac{12.7kN(0.05m)}{(0.16m)} = 4KN$$

$$\sum MC = 0 \cup \quad (2-17)$$

$$RA(0.16m) - RB(0.11m) = 0$$

$$RA = 8.7KN$$

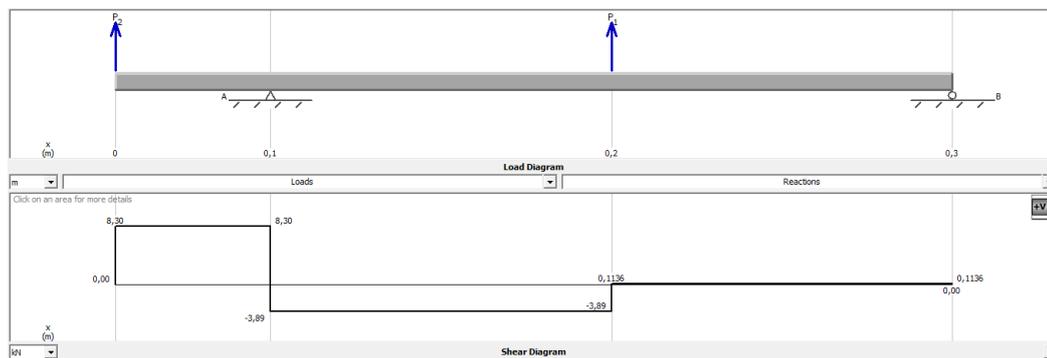
El momento flector en cada tramo del husillo:

$$MA = 0 \quad (2-18)$$

$$MB = 8.7KN(0.05m) = 0.43KNm$$

$$MC = 0$$

Esfuerzo Cortante XZ



Momento Flector

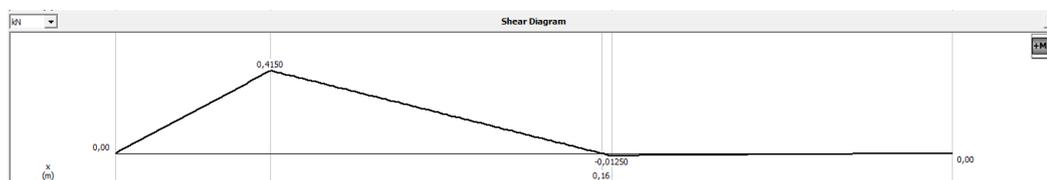


Figura4. Esquema cuerpo libre.

Después del análisis de tensión y momento flector se calcula el momento equivalente, tomando los dos valores de mayor esfuerzo, de acuerdo a la fórmula para la resistencia equivalente se tiene:

$$Meq = \sqrt{(375Nm)^2 + (430Nm)^2} \quad (2-19)$$

$$Meq = 570Nm$$

Diámetro de diseño eje husillo.

Calero (1999), emplea la siguiente relación para dimensionar el diámetro mínimo de diseño para el eje del husillo:

$$d = \sqrt[3]{\frac{Meq}{0.1(Sadm)}} \quad (2-20)$$

Dónde:

S_{adm} : Esfuerzo admisible

S_y : Esfuerzo de fractura

n : Factor de seguridad

$$S_{adm} = \frac{S_y}{n} = \frac{370MPa}{2} = 185MPa \quad (2-21)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{570Nm}{0.1(185MPa)}} = 0.014m$$

Se puede deducir que el diámetro del eje calculado es pequeño ya que no está sometido a esfuerzos excesivos, es posible implementar el eje con un acero de transmisión AISI 1018 que es utilizado para la elaboración de piezas pequeñas exigidas al desgaste.

Factor de seguridad del prototipo.

Shigley (2008), el método determinístico establece un factor de diseño basado en las incertidumbres absolutas de un parámetro de pérdida de función y un parámetro máximo permisible. En ciertos casos el parámetro puede ser la carga, el esfuerzo, la deflexión, etc.

$$nd = \frac{S}{\tau} \quad (3-1)$$

Por lo tanto, el factor de diseño se define como la relación entre la resistencia mecánica del material del husillo y el esfuerzo permisible como efecto de la presión máxima, dónde: $S = \text{resistencia a la cedencia Acero (AISI 1018)}$

$$n_d = \frac{\text{resistencia pérdida de función}}{\text{esfuerzo permisible}} = \frac{S}{\tau}$$

$$n_d = \frac{410MPa}{134MPa} = 3$$

Diseño del cilindro del extrusor.

Por razones constructivas algunos de los datos y medidas se pueden tomar como información invariable tal es el caso del cilindro que se empleara como camisa térmica del extrusor, sus medidas están normalizadas para una sección de un cilindro de acero A53 de 1 1/2 pulgadas de diámetro, medidas base para el diseño.

El cilindro consta de una tobera de entrada de material sólido granulado, de 1 pulgada de diámetro interior, la contraparte es la sección de salida del material fundido (zona de descarga), se puede notar que el diámetro interior es constante en todo el cilindro. El cilindro debe soportar los esfuerzos inducidos debido al torque del motor, para el diseño seleccionamos un perfil con buenas propiedades a la tracción- compresión.



Figura 5. Cilindro del extrusor.

Diseño del husillo.

El diseño del husillo empieza con el diámetro del eje aproximadamente de 40mm y su longitud 220mm, estas son las características esenciales, después se puede relacionar estos valores para obtener el paso o el número de dientes. Su puede tomar en cuenta para el diseño el material a transformar, la velocidad de giro del eje y particularidades geométricas del canal helicoidal, el perfil de vértices del diente y del cabezal, en este caso se diseñara un husillo de un solo canal. Examinando el cálculo del grado de inclinación de la hélice se puede decir que aplica en husillos de diámetro constante siempre cumpliéndose que $t = D$.

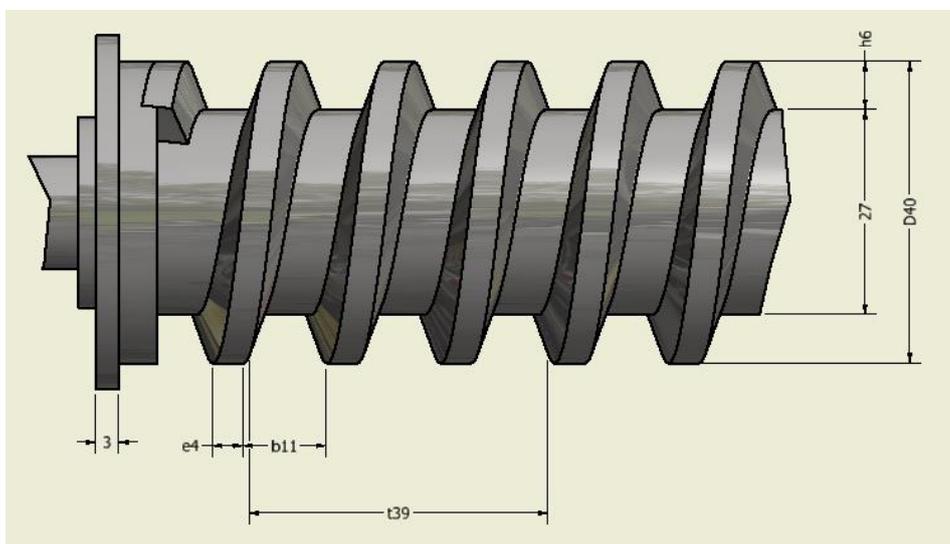


Figura 6. Husillo del extrusor.

Dónde:

- D: diámetro exterior.
- h: profundidad del canal.
- b: anchura del canal.
- e: espesor del diente.
- t: el paso del husillo.
- θ : ángulo de hélice del canal.
- δ : holgura cilindro-husillo.

Paso del husillo.

Savgorodny (1989), recomienda emplear las siguientes relaciones empíricas para el diseño del husillo:

$$t = (0,8 \div 1,2)D \quad (3-2)$$

$$t = \pi D \tan \theta$$

$$t = \pi (40mm) \tan(17,6)$$

$$t = 39,86mm$$

Ancho del filete.

También se puede considerar como espesor del diente:

$$e = (0,06 \div 0,1)D \quad (3-3)$$

$$e = 0,1 (40mm)$$

$$e = 4mm$$

Profundidad del diente.

Es la profundidad del canal helicoidal en el husillo, sirve para captar el material y transportarlo a la zona del troquel:

$$h = (0,12 \div 0,16)D \quad (3-4)$$

$$h = 0,12 (40mm)$$

$$h = 4,8mm$$

Numero de dientes del husillo.

Shigley (2008), el número de dientes del husillo se puede encontrar mediante la relación entre el diámetro y el paso del tornillo, se tiene:

$$N = Dt \tag{3-5}$$

$$N = 4cm \left(\frac{4dts}{cm} \right)$$

$$N = 16 dts.$$

Tolerancia tornillo-cilindro

Savgorodny (1989), representa la holgura radial entre el husillo y el cilindro del extrusor, un tipo de ajuste rotativo que permita el movimiento deslizante entre las secciones en contacto, se puede aplicar la siguiente relación:

$$\delta = (0,002 \div 0,003)D \tag{3-6}$$

$$\delta = 0,002(40mm)$$

$$\delta = 0,08mm$$

Revoluciones del husillo.

Robín (2001), la velocidad a la que gira el eje del husillo se puede encontrar con la siguiente relación:

$$n = \gamma h / \pi D \tag{3-7}$$

$$n = \frac{\left(\frac{100l}{s} \right) 4mm}{\pi(40mm)}$$

$$n = 3,2 rev/sg$$

Dónde:

γ : es la velocidad de cortadura.

h: la profundidad del canal del husillo.

Diseño del troquel

El troquel elemento que se ubica al final del cilindro térmico conduce el material hasta la tobera de salida, aquí el material llega fundido y es donde se inserta el primer sensor de temperatura, el sensor tipo se alojara en la recamara cónica del troquel, el diámetro que se toma como referencia es el diámetro exterior del cilindro 47mm, este se ajusta por medio de compresión. El diámetro de salida es de 10mm, por donde sale el material extruido.

El tipo de acero seleccionado para el troquel soporta eficazmente los esfuerzos que se provocaran en servicio, además la presión interna es admisible a lo largo de toda la sección.

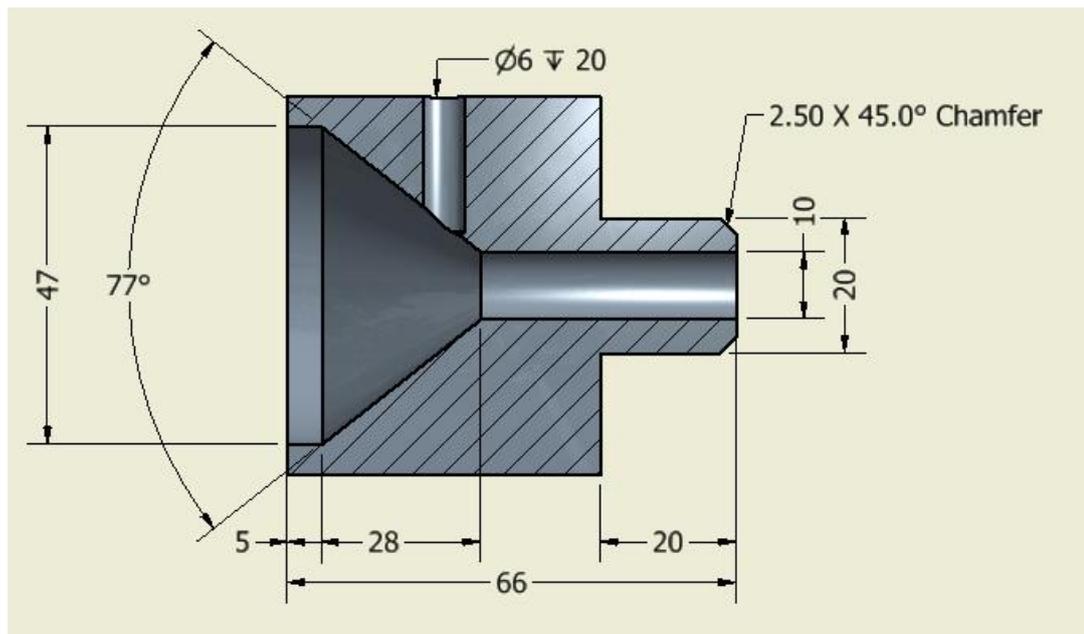


Figura 7. Troquel del extrusor.

Diseño del molde.

El molde consiste en dos probetas de prueba con forma I, el material llega desde el troquel y llena la cavidad central distribuyendo el plástico por dos canales, se planea ubicar el segundo sensor de temperatura en esta sección, resulta útil para el estudio conocer la temperatura del molde después de ser llenado, para elaborarlo se necesita una sección de lámina metálica con buenas propiedades de conductividad térmica y resistencia a la deformación. Todas las organizaciones y sociedades presentan especificaciones para normas y códigos de diseño o seguridad. Las probetas se fabrican habitualmente por inyección. Para ello, se utiliza la probeta definida en la norma ISO 527-2.

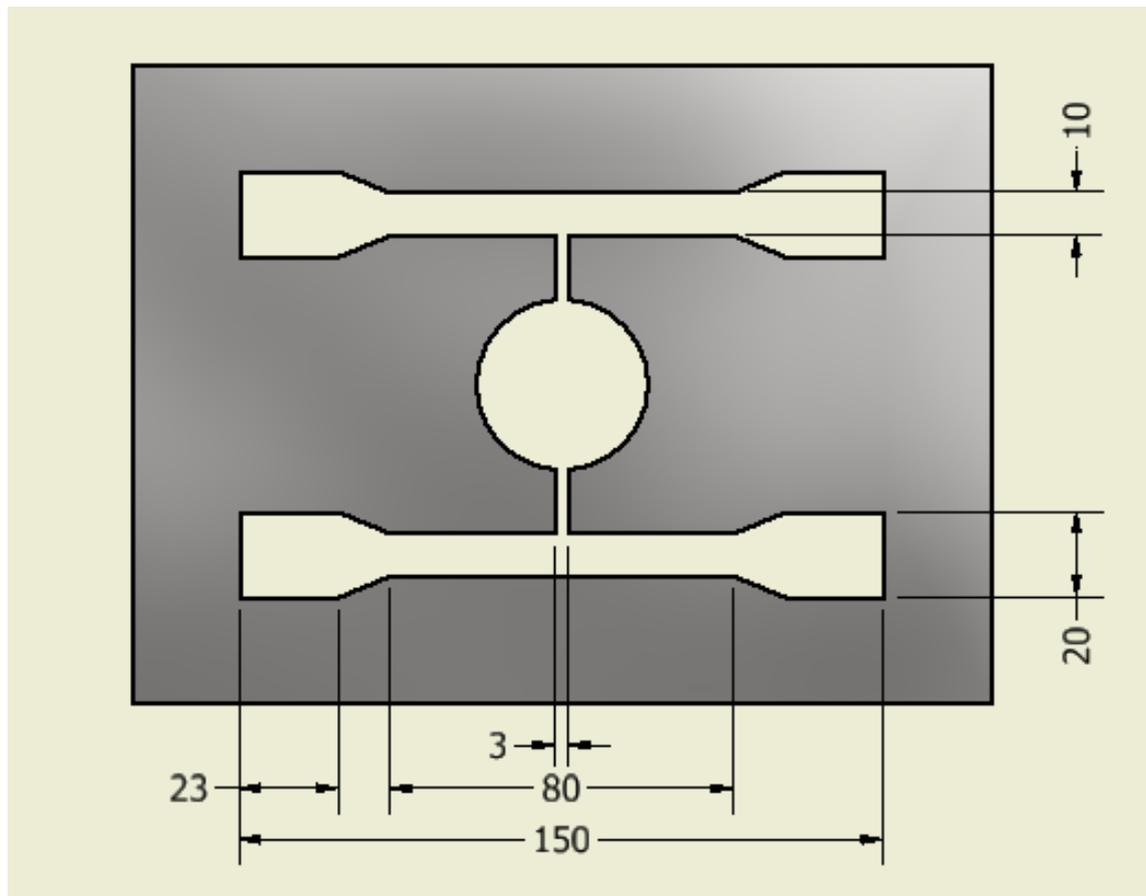


Figura 8. Molde probeta.

Fuente norma ISO 527-2.

Diseño del sistema mecánico de velocidad.

El sistema de velocidad consta de un arreglo de poleas en serie y paralelo, el objetivo del sistema es reducir los $n=1700$ rpm que entrega el motor de 2HP y obtener una velocidad de giro aceptable para el husillo, este debe girar a 3,2 revs para conducir efectivamente el material fundido. Shigley (2012), utiliza la relación de diámetros que determina la capacidad de reducción de velocidad del conjunto de poleas, se puede aplicar la relación:

$$i = \frac{D}{d} \quad (3-8)$$

$$i = \frac{150mm}{60mm} = 2,5$$

Lo que significa que en cada eje adicional la velocidad se reduce prácticamente a la mitad, si la velocidad en el motor es proporcional a la del eje conducido:

$$d1n1 = D2n2$$

$$(d1n1)/D2 = n2$$

$$n2 = (60mm)(1700rpm)/150mm$$

$$n2 = 680rpm$$

Velocidad de giro en el eje 1.

$$d_2 n_2 = D_3 n_3$$

$$n_2 = (D_3 n_3) / d_2$$

$$n_2 = i n_3$$

$$(n_2) / i = n_3$$

$$\frac{680 \text{rpm}}{2.5} = n_3 = 272 \text{rpm}$$

Velocidad de giro en el eje 2.

$$\frac{n_3}{i} = n_4 = 108.8 \text{rpm}$$

Velocidad de giro en el husillo.

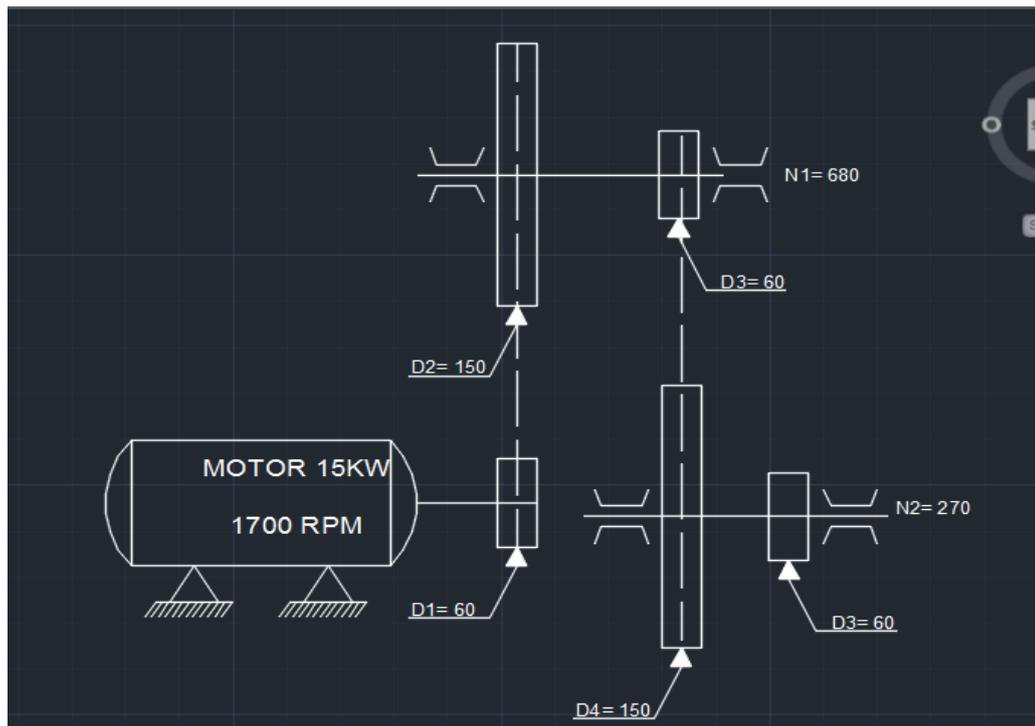


Figura 9. Esquema cinemático reductor velocidad.

El análisis demuestra que se necesitan tres ejes adicionales para reducir la velocidad en el eje final en los valores medios de 4,5 rpm. Este sistema se acopla a los requerimientos de diseño y se propone implementarlo en el diseño del extrusor.

Estructura del prototipo.

Para ensamblar todos los elementos del extrusor se requiere de una mesa de trabajo, estructura que aloja los sistemas anteriormente diseñados, en la parte superior se fijara el cilindro y el husillo. El sistema de potencia se alojara en el interior de la estructura al igual que el tablero de control eléctrico. La estructura es de 0,9m de alto por 1m de longitud y 0,5m de ancho. Para la estructura se propone emplear secciones de perfil angular fijados por medio de soldadura.

La estructura debe soportar el peso de todos los equipos, y evitar deformaciones a causa de tensiones provocadas por movimiento del motor y el sistema de transmisión de potencia.

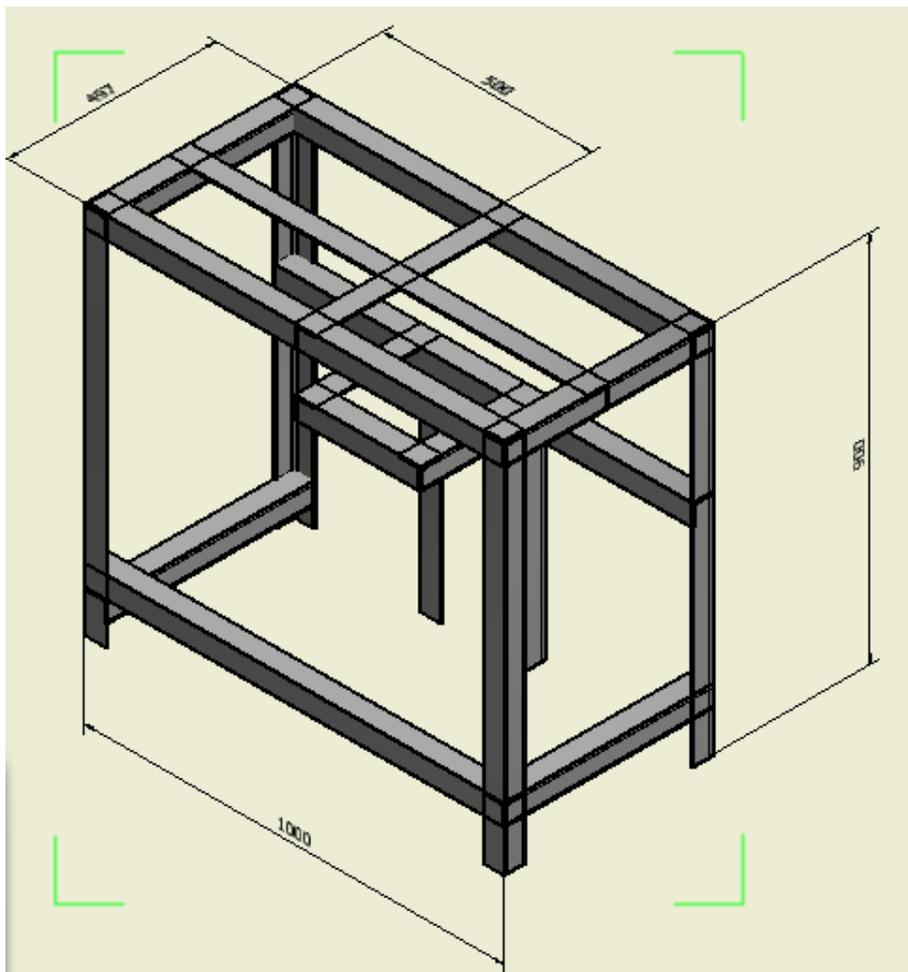


Figura 10. Estructura soporte de trabajo.

Diseño del sistema eléctrico de control.

Para el sistema de control eléctrico se ponen a consideración lo siguiente: la energía que necesitan las cintas térmicas para calentar el material, la energía que consume el motor eléctrico, la fuente de alimentación para el pirómetro y los dispositivos de mando. La red suministra 220v CA con lo que se dimensionaran todos los equipos para funcionar con este sistema

Intensidad de corriente en el sistema térmico.

La intensidad de corriente en el circuito térmico se produce por la acción de las cintas de calentamiento, de carácter resistivo constan de un filamento de nicrón arrollado en el perfil cilindro de la abrazadera, la intensidad se calcula de la siguiente manera.

$$P = I^2 R = Et \quad (3-9)$$

$$P = 560w$$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

(3-9a)

$$I = \sqrt{\frac{560W}{75\Omega}}$$

$$I = 2,72A$$

$$R = \rho \frac{L}{A} = \mu\Omega cm \frac{cm}{cm^2} = \Omega$$

Intensidad de corriente requerida por el motor.

El motor encargado de proporcionar el movimiento al husillo, requiere un sistema eléctrico para su funcionamiento y puesta en marcha, en primera instancia se calculara la intensidad de corriente para el funcionamiento, luego se agregaran funciones como la inversión de giro y paro de emergencia.

$$P_{motor} = V I_{sen\theta} \quad (3-10)$$

$$(P_{motor}/V_{sen\theta}) = I$$

$$\left(\frac{1500W}{220V_{sen\theta}} \right) = 6,9A = I_{nominal}$$

$$I_{nominal} = 7A$$

Intensidad de arranque, la fuerza que el motor necesita para ese primer impulso en ocasiones es superior a la nominal debida que se requiere el máximo torque para iniciar un proceso con carga, la intensidad de arranque es equivalente a:

$$I_{arranque} = 3I_{nominal} \quad (3-10a)$$

$$I_a = 3I_n$$

$$I_a = 3(7A)$$

$$I_a = 21A$$

Control eléctrico del prototipo.

El prototipo se pone en funcionamiento accionando el selector P1, lo que energizará el sistema de control de temperatura y acciona el pirómetro CT, para censar la temperatura, el extrusor cuenta con dos sensores de temperatura, uno ubicado en el troquel y otro en el molde a la salida del material, para seleccionar de entre estos sensores se requiere de un selector de dos posiciones P4.

El pirómetro CT controla las bandas de calentamiento, encendiéndola si detecta un valor bajo de temperatura en el cilindro del extrusor y desconectado el sistema al llegar al valor de referencia (temperatura máxima para el termoplástico fundido), el sensor además evalúa periódicamente el proceso de transmisión de temperatura, activando una alarma en casos de valores extremos en el troquel.

El husillo se pondrá en marcha al activar P2 girando en sentido horario y generando el flujo de arrastre y traslado del material, se agrega un pulsador P3 en caso de que se requiera invertir el sentido de rotación.

Panel y tablero de control.

El tablero de control eléctrico está constituido por equipos electromagnéticos, como relés, temporizadores, contactores, actuadores y todo aquello que se necesite para el funcionamiento del prototipo. Su función es albergar los diferentes dispositivos que gobiernan el accionamiento y energizan cargas como motores, generadores térmicos, actuadores y sensores del extrusor. El control eléctrico debe efectuar las siguientes acciones:

- Energizar el prototipo.
- Poner en marcha el husillo.
- Activar el control de temperatura.
- Proteger los equipos contra sobrecargas eléctricas.
- Visualizar señales de alerta y operación.
- Activar sistema de paro de emergencia.

Los sistemas de control del prototipo, se dividen en sistemas de mando y sistema de fuerza, para controlar y energizar el motor, además de los sistemas térmicos específicamente, se realiza el análisis y diseño tomando en cuenta las consideraciones anteriores. Esencialmente el control estará conformado por:

Pulsadores

Po: paro de emergencia.

P1: energización.

P2: puesta marcha husillo(horario)

P3: puesta marcha husillo(anti horario)

P4: selector temperatura

Actuadores

Ko: relé energización.

Km: relé auxiliar motor

Km1: relé auxiliar giro+

Km2: relé auxiliar giro-

KT: relé auxiliar circuito térmico

Kt1: relé auxiliar bandas térmicas

Kt2: relé auxiliar bandas térmicas

Señalización.

Ho: iluminación paro emergencia.

H1: puesta en marcha.

H2: avance del husillo

H3: retorno del husillo.

H4: alarma temperatura



Manual de Operación.

El siguiente manual describe los diferentes pasos que se deben seguir para la operación del prototipo de extrusor para plásticos.

Paso 1. Obtención de los datos de la máquina, identificativos de la máquina, nombre del equipo, tipo de husillo, material de prueba.

Paso 2. Especificación de los datos de operación, como el nombre del técnico de mantenimiento, la fecha de operación, hora de comienzo y finalización.

Paso 3. Condiciones de operación y puesta en marcha, en esta etapa se examina la máquina y su entorno con el fin de asegurar que las condiciones son suficientes para la activación y funcionamiento del prototipo.

Se recomienda seguir los siguientes puntos para la operación del prototipo:

- a) Verificar los niveles de voltaje para funcionamiento del prototipo, el que requiere un suministro de 220v CA.
- b) Activación del panel de control, para iniciar el encendido del prototipo se requiere accionar el pulsador S1 normalmente abierto, este se encuentra en serie con un pulsador paro de emergencia So, una vez activado se encenderá el pirómetro PM1, dispositivo transductor de temperatura del extrusor y del molde, además se activarán el sistema de movimiento del husillo.
- c) Establecer la temperatura de operación, mediante el pirómetro CAMSCO Serie 750, se puede regular la temperatura del cilindro, previamente se debe establecer los valores máximos de temperatura.

- d) Accionamiento del husillo, el eje del husillo se acciona mediante dos pulsadores, esto debido a que puede girar el sentido del arrastre y transporte (giro horario) con el pulsador S2 y en sentido de contraflujo (giro anti horario) con pulsador S3.
- e) Cierre del molde, para realizar el llenado de la pieza base se debe cerrar el molde, el que consta de una palanquilla de ajuste, y un sensor de temperatura tipo K.
- f) Ana vez llenado el molde, se procede a extraerlo esto se consigue accionado un pulsador S4 que activa un actuador de cilindro neumático que separa la pieza del molde.
- g) Se incluye un sistema de calentamiento y enfriamiento del molde, para uso en debidas aplicaciones, el molde se precalentara si se activa el pulsador S5 y enfriara el molde por medio de un flujo de aire inducido por S6.

Manual de mantenimiento.

Sánchez (2007), menciona que el mantenimiento industrial consiste en la realización de las reparaciones necesarias en la maquinaria de producción de forma rápida y económica. Esto incluye la anticipación a los fallos y el empleo de técnicas de mantenimiento correctivo. La mayor parte de los sistemas de mantenimiento se basan en la explotación de información histórica, consiste en realizar una gestión, de la información obtenida en todas las intervenciones, con el fin de disponer de un historial de casos y soluciones que permitan en el futuro afrontar los problemas que surjan de la forma más eficiente posible.

Procedimiento para el mantenimiento y puesta a punto del prototipo.

Consiste en evaluar las condiciones en que se encuentra el equipo y ejecutar una serie de acciones para lograr el correcto funcionamiento del equipo, previo a la revisión se debe asegurar que se cuenta con las herramientas y materiales necesarios para el mantenimiento, que cuenta con los pasos que se describen a continuación:

Paso 1. Obtención de los datos de la máquina, identificativos de la máquina, nombre del equipo, tipo de husillo, material de prueba consideraciones detalladas en la tabla de mantenimiento.

Paso 2. Especificación de los datos de operación, como el nombre del técnico de mantenimiento, la fecha de mantenimiento, hora de comienzo y finalización.

Paso 3. Verificación del estado de la máquina y condiciones de operación, en esta etapa se examina la máquina y su entorno con el fin de asegurar que las condiciones son suficientes para el trabajo de mantenimiento. Si en algún aspecto el estado de la máquina no es adecuado se recomienda seguir los siguientes puntos de análisis en el prototipo:

- a) Energización del equipo. Se ha de comprobar si el prototipo se encuentra energizado o se encuentra desconectado de la red de energía, si el equipo necesita ser encendido la acometida deberá proporcionar 220v AC.
- b) Estructura de la máquina, se debe comprobar que la estructura no contiene daños ni deterioro.
- c) Inspeccionar el sistema de transmisión de potencia, el estado de las bandas, detectar desgaste o roturas, además si el rotor se encuentra bloqueado o no produce movimiento, comprobar el ajuste de los pernos y piezas de sujeción, lubricar rodamientos y chumaceras.
- d) Inspeccionar el husillo y el cilindro verificando si existen residuos de material y si existen grietas o deterioro.
- e) Inspección general de tablero de control y el tablero de mando, verificar el funcionamiento de iluminación de componentes eléctricos.

Paso4. Dimensiones de alineación del sistema de reducción de velocidad, se detallan las cotas que se deben verificar al momento de realizar el montaje del motor y el juego de poleas.

Costo del proyecto.

A continuación se muestra el formato de la tabla 4 en la que se indicará cada partida de gasto y los costos asociados a la ejecución del proyecto técnico.

Tabla 4. Costo del proyecto.

Detalle	Valor (\$)
Gastos de la investigación	280,00
Costos de implementación (Instalación)	2460,00
Costos de Operación (Si procede)	69,50
Costos de Mantenimiento (Si procede)	50,00
Total	2859,50

Gastos de la investigación.

Tabla 5. Costos de la investigación.

Descripción.	Valor(\$)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recursos Bibliográficos: copias, impresiones, planos, catálogos. 	50,00
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recursos Tecnológicos: computador, software CAD 	200,00
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Transporte: 	30,00
Total	280,00

Costos de implementación.

Tabla 6. Costos de implementación.

Descripción.	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
▪ Husillo maquinado, Acero 1018	1	250,00	250,00
▪ Cilindro térmico, Acero A53	1	150,00	150,00
▪ Soportes	4	50,00	200,00
▪ Boquilla troquel	1	60,00	60,00
▪ Molde base	1	150,00	150,00
▪ Motor sistema reductor velocidad	1	400,00	400,00
▪ Cintas Térmicas/Sensores Temperatura tipo K	2	100,00	200,00
▪ Tablero y Panel Control	1	800,00	800,00
▪ Estructura Base	1	250,00	250,00
Total			2460,00

Costos de Operación.

Tabla 7. Costos de operación.

Descripción.	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
▪ Material Prueba.	1	30,00	30,00
▪ Consumo Eléctrico	1h	9,50	9,50
▪ Equipo protección personal.	1	30,00	30,00
Total			69,50

Costos de Mantenimiento.

Tabla 8. Costos de mantenimiento.

Descripción.	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
▪ Lubricantes: rodamientos	1	10,00	10,00
▪ Cepillos y lijas	2	5,00	10,00
▪ Mano obra mantenimiento.	1	30,00	30,00
Total			50,00

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- El prototipo desarrollado permite representar un sistema industrial de procesamiento y extrusión de material plástico post consumidor, lo que demostró que es viable construir un prototipo a escala para estudio de materiales plásticos y sus aplicaciones.
- La investigación y el análisis de diseño está basada en medios limitados y determinados solamente la temperatura en un modo localizado, en el troquel del extrusor y el molde. Se miden específicamente la temperatura del material en la salida del troquel y la temperatura de la probeta en el molde.
- Los resultados alcanzados demuestran que la temperatura es un factor importante para el funcionamiento del prototipo. El diseño térmico implementado por dos cintas térmicas en conexión paralelo, generan la cantidad de calor necesario para poder influir en el material un cambio de estado y facilitar el proceso de extrusión de plástico reciclado cuya temperatura vítrea se encuentre entre los 140 °C hasta los 260°C, temperatura que es suficiente para generar una dilatación en el material sólido.
- En el campo relacionado a la implementación del prototipo, se estudiaron opciones como; determinar la energía necesaria para hacer girar el husillo y como seleccionar la potencia del motor. La aplicación de técnicas CAD/CAE en el diseño y simulación del comportamiento de los componentes mecánicos, además del sistema de control eléctrico, complementaron el desarrollo del prototipo y fueron puestas a prueba en las prácticas de funcionamiento
- El prototipo es capaz de procesar el material plástico y generar una probeta para posteriores análisis de tensión o dureza.

V. PRESENTACIÓN DEL PROTOTIPO

La importancia de resolver el planteamiento del problema técnico tendrá efecto una vez construido el prototipo, a continuación se realiza una descripción del funcionamiento y la estructura del equipo.

Implementación del sistema.

El extrusor es una máquina que tiene la capacidad de fundir el plástico a medida que lo traslada desde la tolva de entrada de material sólido hasta el molde, donde llega fundido y compactado.

El prototipo se divide en tres secciones importantes:

- a) El sistema mecánico de movimiento y reducción de velocidad.
- b) El sistema térmico.
- c) El sistema de tablero eléctrico y panel de control.
- d) Base para anclaje de los equipos.

Textualmente la presentación del prototipo se realizara a modo de ensamble dinámico por medio del AutoCad Inventor, software que se empleó para el diseño de los componentes del prototipo.

Sistema Mecánico.

El sistema mecánico se encuentra alojado en el interior de la mesa, dispuesto de un arreglo de poleas para reducir la velocidad de giro del motor de 1700rpm a 110 rpm en el eje del husillo, acoplado a un sistemas reductor con de poleas, de 2 ½ pulgadas para el eje del motor y 6 pulgadas para el eje impulsado, proporcionado la velocidad de cizalla necesaria. El sistema consta de un tren de potencia por poleas con relación transmisión entre diámetros de $i=2.5$ lo que reduce la velocidad de giro de entrada a un valor aceptable para el husillo.



Figura 11. Sistema propulsión mecánico.

Fuente: Diseño y fabricación de prototipo extrusora para plásticos. Ayavaca D. (2017).

Sistema térmico.

El sistema generador de calor consta de dos cintas térmicas con filamentos de Nicrón capaz de generar 300w de energía cada uno, el arreglo será en un circuito en paralelo energizado por la red de 220v. Se colocaron sobre el cilindro y la punta del troquel para proporcionar la transferencia de calor en forma radial hasta el material depositado en el canal del husillo, para registrar la temperatura se implementaron dos sensores tipo k el cual censara la temperatura a la salida.

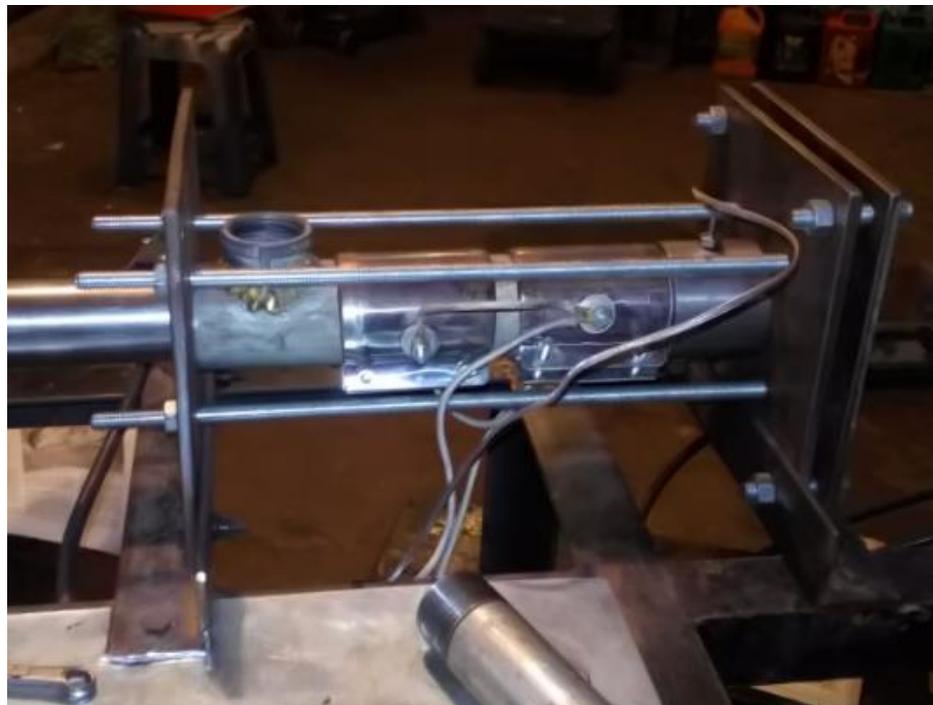


Figura 12. Sistema térmico.

Fuente: Diseño y fabricación de prototipo extrusora para plásticos. Ayavaca D. (2017).

Molde.

En el molde se deposita el material extruido conformando la pieza de prueba, en su interior, el prototipo dispone de un molde para probeta tipo A1 según la norma ISO 527-2. Esta sección cuenta con un sensor tipo k para evaluar la temperatura en el molde.



Figura 13. Molde y probeta.

Fuente: Diseño y fabricación de prototipo extrusora para plásticos. Ayavaca D. (2017).

Tablero eléctrico y panel de control.

El sistema eléctrico se alimenta de una red a 220v CA con acometida industrial. En el tablero se alojan los dispositivos de energización para las cintas térmicas y el sistema de arranque del motor. Los esquemas de conexión y circuitos de fuerza se detallan en los anexos.

El panel de control se encuentra en la sección superior de la mesa, el sistema cuenta con un pulsador de paro/emergencia, en caso que se requiera des energizar el prototipo de manera instantánea y detener su funcionamiento. También dispone de un selector para inicio y encendido. La temperatura se visualiza por medio de un pirómetro, permitiendo visualizar la temperatura del troquel y del molde.



Figura 14. Tablero y panel de control.

Fuente: Diseño y fabricación de prototipo extrusora para plásticos. Ayavaca D. (2017).

Base para anclaje de equipos.

La base está construida por la unión de perfiles angulares soldados formando una mesa de trabajo donde se alojarán los demás sistemas, la altura de la bancada de alojamiento para el cilindro del extrusor será de 0.9m por 0.5m de ancho, sujetos por dos pares de pernos al perfil angular y por cuatro ejes con roscado para sujeción de las placas laterales del cilindro. El sistema de propulsión se incorporará en el interior de la estructura, aquí se alojan el motor y el sistema de reducción de velocidad.



Figura 15. Base estructura.

Fuente: Diseño y fabricación de prototipo extrusora para plásticos. Ayavaca D. (2017).

Ensamble del prototipo de extrusora.

El prototipo final consta de todos equipos implementados sobre la mesa de trabajo, el tablero de control TAC se sitúa en la parte inferior derecha, en el interior de la estructura se alojan el motor y el sistema de poleas, para suministrar la velocidad al husillo, el mismo que se encuentra en la esquina superior izquierda. En panel se encuentran los selectores y pulsadores de accionamiento, además de la respectiva iluminación del proceso de funcionamiento y las correspondientes alarmas.



Figura 16. Prototipo extrusor.

Fuente: Diseño y fabricación de prototipo extrusora para plásticos. Ayavaca D. (2017).

Informe del trabajo de mantenimiento y puesta a punto del prototipo

1.-DATOS DEL PROTOTIPO.	2. DATOS DE LA OPERACIÓN:
Clase de extrusora: Husillo giratorio	Operador: Ayavaca D.
Sistema propulsión: Moto reductor	Fecha:17/07/2017
Velocidad de giro:	Hora del ensayo: 14:00
Motor:1700rpm	Supervisión:
Husillo: 3 rev/seg	MsC. Remberto Rodríguez.
Sistema control eléctrico:	
Fuente Alimentación: 220v AC	

3.- Estado de la extrusora y condiciones para la operación.

Estructura de la maquina:
Presencia de daños estructurales:
Existencia de grietas:
Deterioro superficial:
Estado de los pernos de sujeción:
Buena rigidez en general:

Cojinetes del husillo:	Cojinetes sistema reductor de velocidad.
Tipo de acoplamiento:	Tipo de acoplamiento:
Sujeción lateral:	Sujeción inferior.
Tolerancia de ajuste:	Tolerancia de ajuste:
H6/j5; adherente	H6; rotativo.

Instalaciones del prototipo:

Sistema térmico:

Nivel de voltaje alimentación: 220 v AC

Resistencia de las cintas térmicas: 150Ω

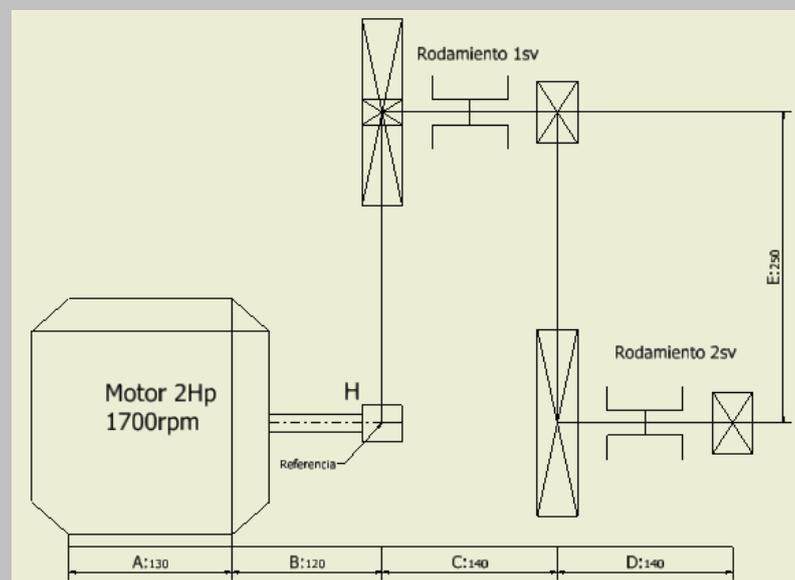
Flujo de corriente: 2.5 A

Sensores de temperatura:

Tipo K 280°C

Tablero y panel de control: operativo.

4.- Dimensiones para alineación:



A: 130mm distancia entre pernos de sujeción motor.

B: 120mm motor y punto referencia.

C: 140mm centro axial poleas 1-2.

D: 140mm centro axial poleas 3-4

E: 250mm centro radial R1-R2

H: punto referencia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones.

- Se realizó el diseño y construcción del prototipo de extrusora para plásticos de acuerdo a los criterios establecidos en las normas técnicas, asegurando el funcionamiento de todos los componentes, lo que permitió extruir material plástico reciclado y obtener probetas A1 para estudios de tensión.
- El análisis determina un factor de seguridad satisfactorio, lo que indica que el diseño del prototipo de extrusor para plásticos es confiable. La resistencia mecánica a los distintos esfuerzos aplicados son tolerables por el cilindro y el husillo de tal forma que no provocará una ruptura o deformación excesiva.
- El prototipo diseñado en este trabajo minimiza las dimensiones y su tamaño final, ya que se pretende implementar como una máquina para laboratorio, es así que la cantidad de material plástico extruido es considerablemente pequeña, lo que representaría a una probeta por unidad de producción.
- El sistema de control térmico es implementado con sensores de buena precisión como lo son: el pirómetro y las termocuplas tipo K, que permiten el registro de temperaturas, además dos cintas térmicas con filamento de Nicrón proporcionando 600w de energía térmica. Se dispuso acoplar un motor eléctrico con un sistema reductor de velocidad con bandas, que hace girar el husillo a 110rpm, proporcionando 1.5Kw de potencia mecánica. Como resultado la maquina puede aportar al sistema 2.1Kw de potencia neta, necesaria para extruir el material plástico.
- Los materiales para la construcción de la maquina extrusora para plásticos se encuentran en su totalidad en el mercado local, lo que hace que su fabricación sea posible, con este proyecto se pretende aportar con una guía metodológica para el diseño de un extrusor con husillo giratorio.

Recomendaciones.

- El prototipo de extrusor para plásticos fue implementado, con los dispositivos de control seleccionados adecuadamente en base a la disponibilidad del sector industrial en la ciudad. Para el control de temperatura se utiliza un pirómetro lo que permite registrar la temperatura en el troquel y el molde, con los sensores tipo k, estos transductores se pueden remplazar fácilmente en caso de un desperfecto o avería. Por lo tanto se recomienda en el futuro la posibilidad de incrementar la cantidad de instrumentación, si se cuenta con los recursos económicos suficientes para su adquisición, se puede agregar una serie de termopares a largo del cilindro y en el molde.

- El sistema es ampliable, es posible cambiar el producto final de la extrusión ya que eso depende del molde, la figura base del proyecto contempla la producción de probetas IPN A1 de plástico, pero el molde puede ser reemplazado y es posible acoplar otra base para un producto diferente.

- Normalmente el husillo se construye a partir de una sección de eje de acero de transmisión AISI 1018, con el que se hace el maquinado de los filetes en un torno, esto puede cambiar ya que depende del tipo de material a extruir, para aplicaciones especiales se emplean aceros inoxidables, además de aleaciones metálicas con buenas propiedades ante la deformación.

REFERENCIAS

- Askeland, D.R. (1998). *Ciencia e ingeniería de los materiales. Cuarta edición.*
- Bedford, F. (2000) *Estática mecánica para ingeniería.*
- Calero Pérez y Carta Gonzales, (1999). *Fundamentos de Mecanismos y Máquinas para Ingenieros.* Madrid: McGrawHill.
- Cengel. Y. (2004) *Transferencia de Calor.*
- Dipac. (2016). *Catalogo Ejes de Acero de Transmisión.* Especificaciones generales.
Extraído de www.dipacmanta.com
- Ferdinand, B.J. (1998) *Mecánica Vectorial para Ingenieros.*
- Holman, J.P. (1986) *Transferencia de Calor.*
- INEN. (2014). Norma Técnica Ecuatoriana 470:2008. Tubos de acero al carbono Serie A53.
Extraído de www.normalizacion.gob.ec
- Norton, L.R. (2004) *Diseño de maquinaria.* Síntesis y Análisis de Máquinas y Mecanismos.
Tercera edición.
- Richard .G. (2012) *Diseño en Ingeniería Mecánica.* Octava edición.
- Robín, G. (2001), *Extrusión de los alimentos.* Tecnología y Aplicaciones.
- Sánchez. T.F. (2007), *Mantenimiento Mecánico de Maquinas.* Segunda edición.
Funciones del mantenimiento Industrial.
- Savgorodny, V.K. (1989), *Transformación de plásticos,* Editorial Gustavo Gili.
- Servicio ecuatoriano de normalización. (2014), *Tubería plástica Tubos de PVC rígidos unión por rosca, para conducción de agua potable a presión.* Cedula 80. Obtenido en www.normalizacion.gob.ec
- Shackelford. J.F. (2009), *Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros.*
Séptima edición.
- Shigley J. (2012), *Diseño en Ingeniería Mecánica.*
- Vázquez, B.L. (2015), *Formado de Metales.* Extrusión. Segunda edición.

ANEXOS

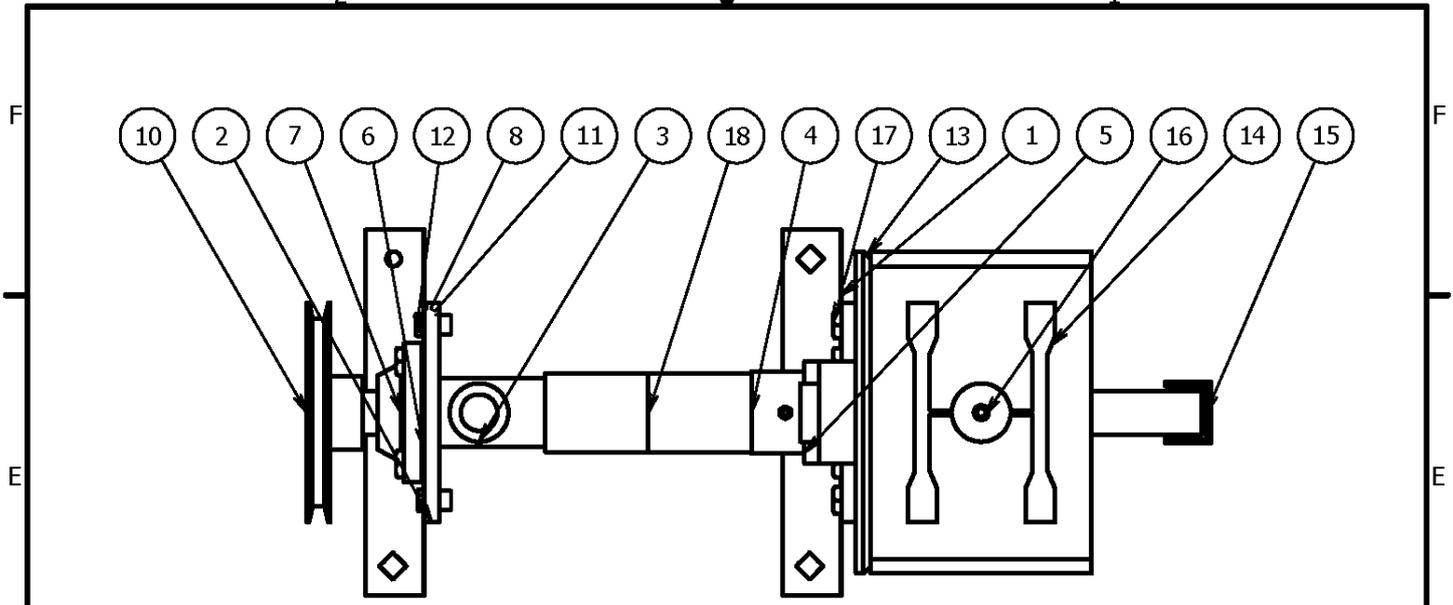
Los esquemas y planos de esta sección facilitan una observación detallada del prototipo, para un adecuado comprensión se dividen en dos anexos como se indica a continuación:

Contenido del anexo 1

- ✓ Proyección ensamble extrusor 1
- ✓ Proyección ensamble extrusor 2
- ✓ Esquema cinemático reductor velocidad
- ✓ Sistema de poleas
- ✓ Husillo.
- ✓ Cilindro.
- ✓ Troquel.
- ✓ Base molde A1
- ✓ Base angular.

Contenido del anexo 2

- ✓ Circuito eléctrico de control
- ✓ Circuito eléctrico de fuerza
- ✓ Circuito eléctrico control temperatura



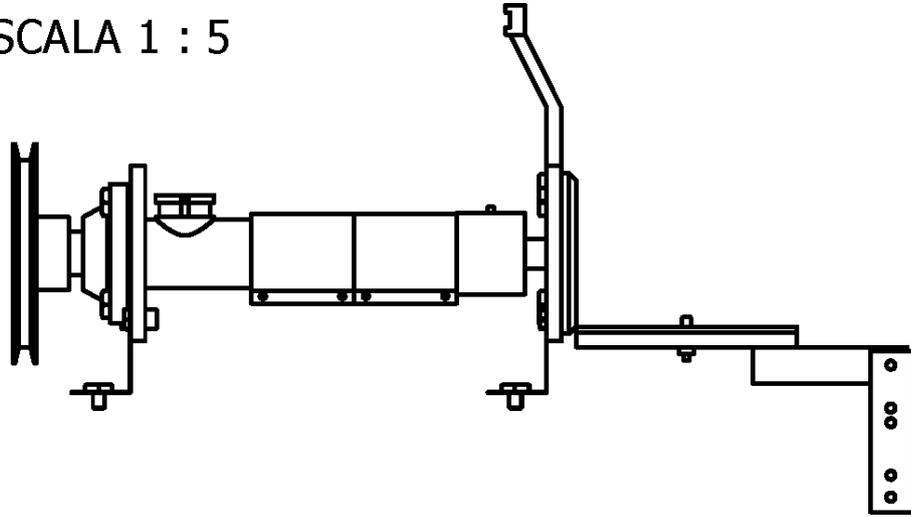
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	COMENTARIOS
1	2	baseds	
2	1	tapa 1	
3	1	cilindro22	
4	1	cañon1	
5	1	tapa2	
6	1	tsf1	
7	1	rod1	
8	5	ASME B18.21.2M - 8	
9	1	chav1	
10	1	A1	
11	4	ANSI B18.3.1M - M8x1,25 x 12	
12	4	ANSI B18.2.4.5M - M8 x 1.25	
13	1	CONTRATAPAPROBET A	
14	1	basemoldeA1	
15	1	CONTRATAPAMOLDE2	
16	2	K	
17	13	JIS B 1182 - M8x11	
18	2	resistenciacaalentmient o1	

		Tolerancia.	Peso.			
		Nombre	Fecha	COMPONENTES EXTRUSORA		
		Dib.	AYAVACA			22/07/2017
		Revisado				
		Aprov.				
				UTE		
					1 / 1	
Edic.	Modificación	Dib.	Fecha.	Firma.	A4	

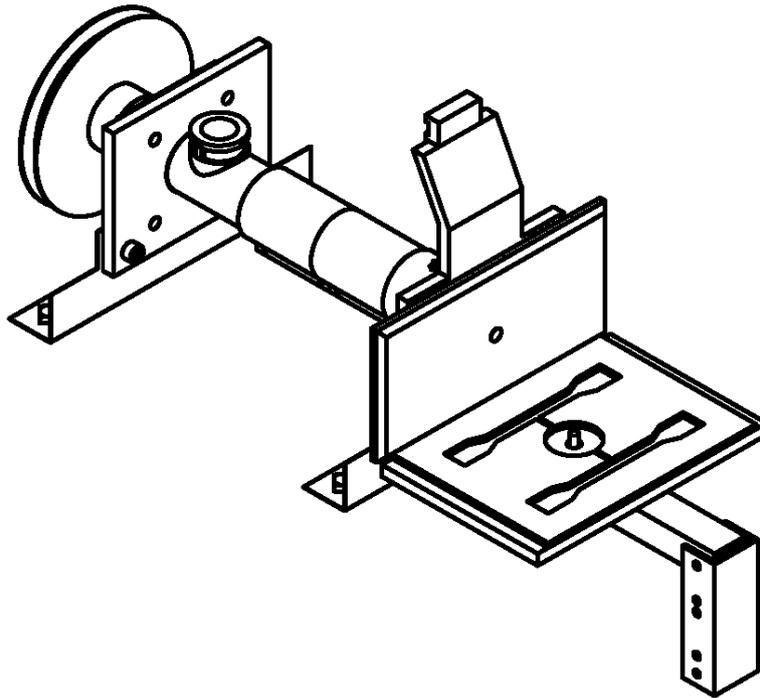
F
E
D
C
B
A

VISTA FRONTAL

VISTA1
ESCALA 1 : 5



VISTA ISOMETRICA



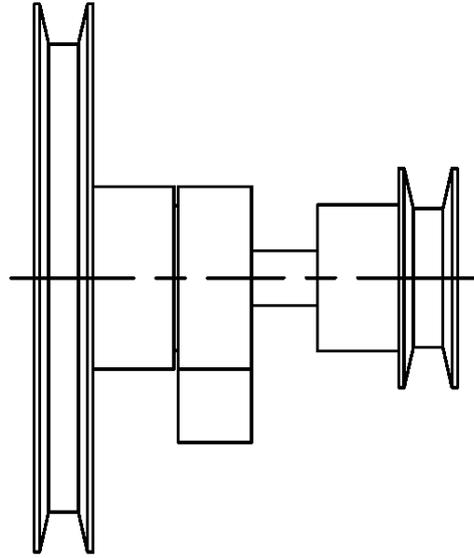
				Tolerancia.	Peso.	
				Nombre	Fecha	EXTRUSORA PARA PLÁSTICOS
				Dib.	AYAVACA 23/07/2017	
				Revisado		
				Aprov.		
						UTE
						1 / 1
Edic.	Modificación	Dib.	Fecha.	Firma.		A4

F
E
D
C
B
A

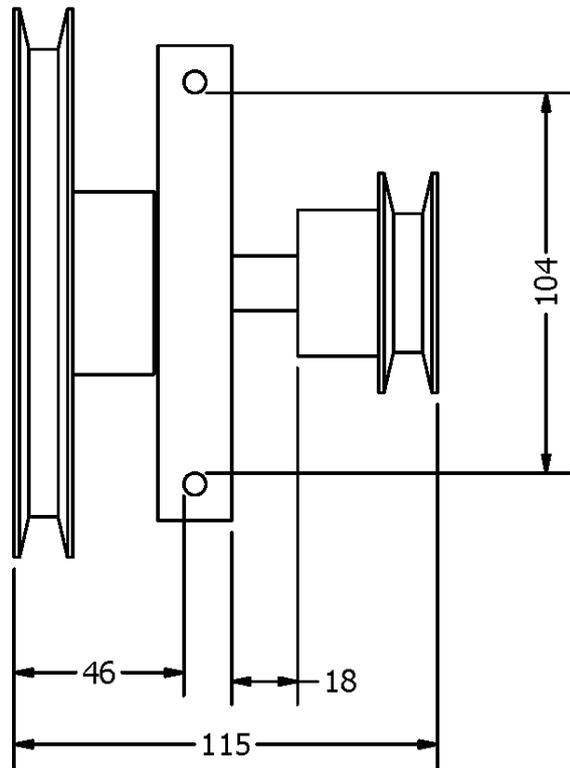
F
E
D
C
B
A

VISTA FRONTAL

VISTA1
ESCALA 1 / 2



VISTA SUPERIOR



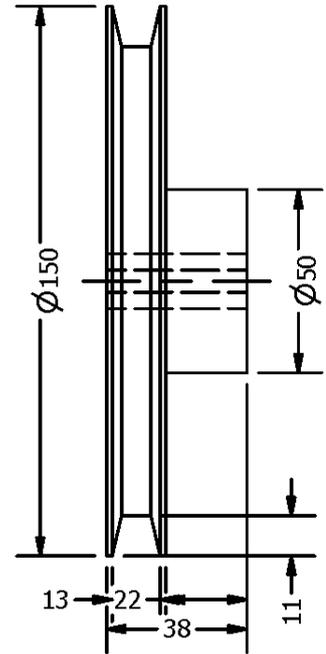
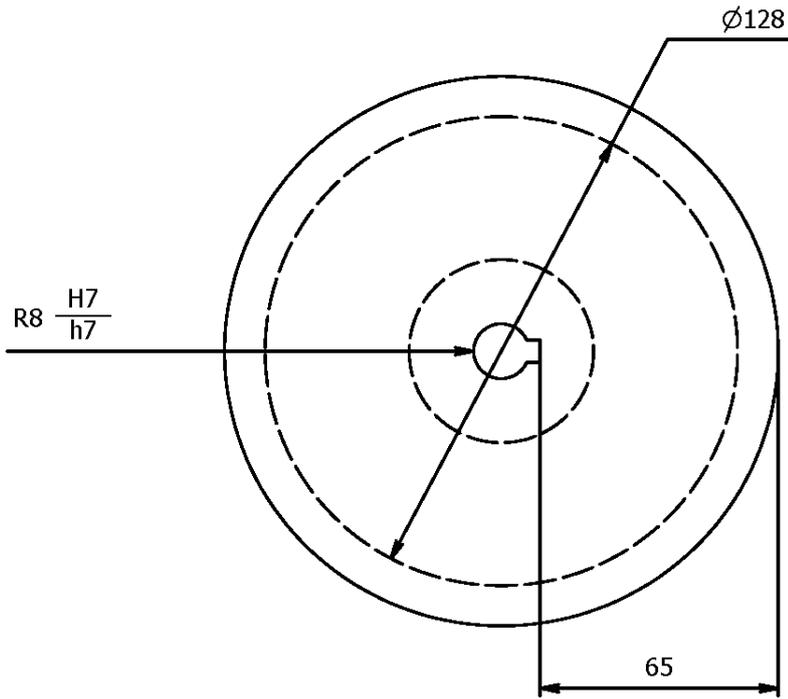
				Tolerancia.	Peso.	SISTEMA DE POLEAS TIPO A	
				Nombre	Fecha	SISTEMA REDUCTOR VELOCIDAD	
				Dib.	AYAVACA	23/07/2017	
				Revisado			
				Aprov.			
						UTE	
						1 / 1	
Edic.	Modificación	Dib.	Fecha.	Firma.			A4

F
E
D
C
B
A

VISTA FRONTAL

VISTA SUPERIOR

VISTA1
ESCALA 1 : 2

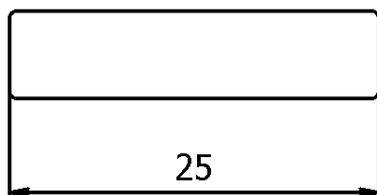


				Tolerancia.	Peso.	MATERIAL: ALUMINIO		
				Nombre	Fecha	POLEA A		
				Dib.	AYAVACA			23/07/2017
				Revisado				
				Aprov.				
						UTE	1 / 1	
Edic.	Modificación	Dib.	Fecha.	Firma.			A4	

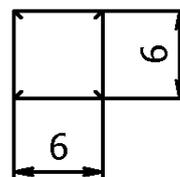
F
E
D
C
B
A

F
E
D
C
B
A

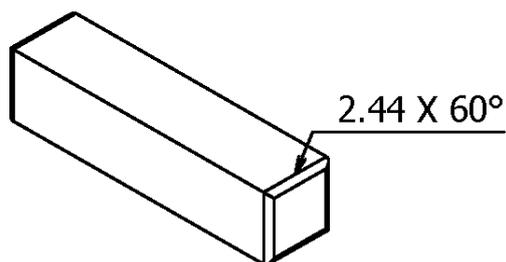
VISTA SUPERIOR



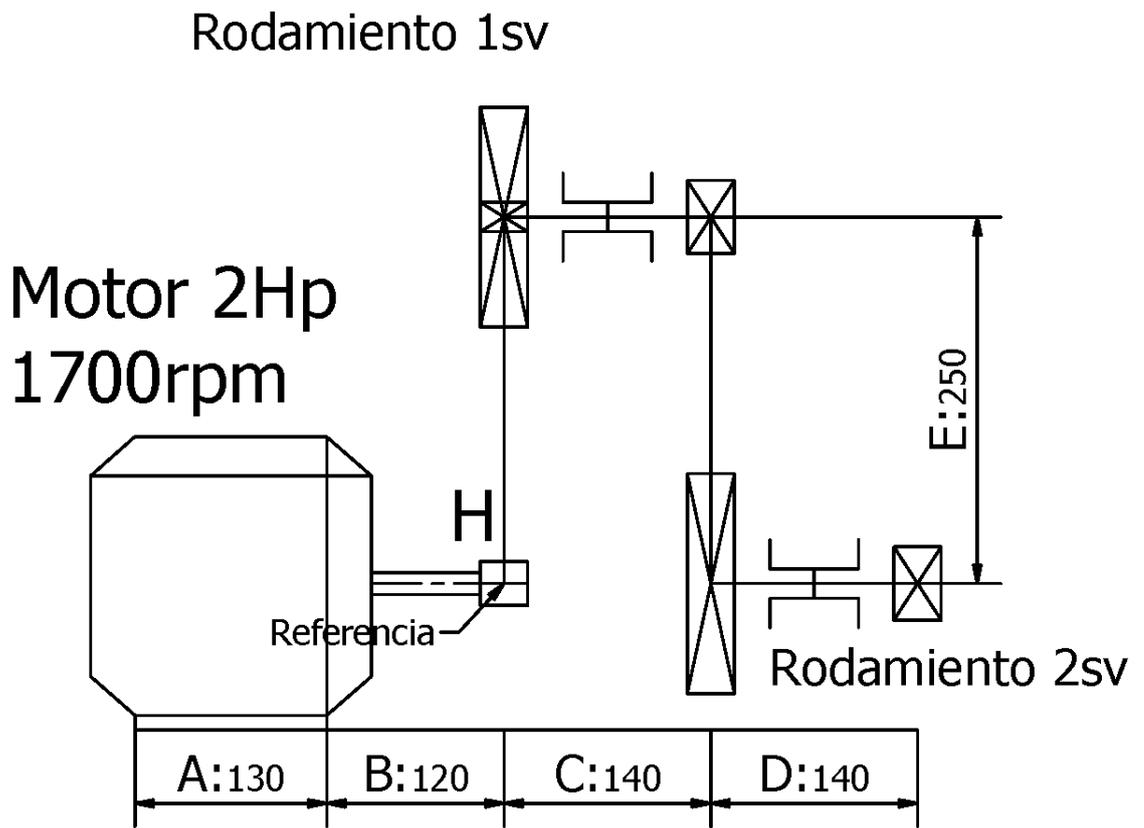
VISTA FRONTAL



VISTA ISOMETRICA



				Tolerancia.	Peso.	MATERIAL ACERO AISI 5120
				Nombre	Fecha	CHAVETA1
				Dib.	AYAVACA 23/07/2017	
				Revisado		
				Aprov.		
						UTE
						1 / 1
Edic.	Modificación	Dib.	Fecha.	Firma.		
						A4

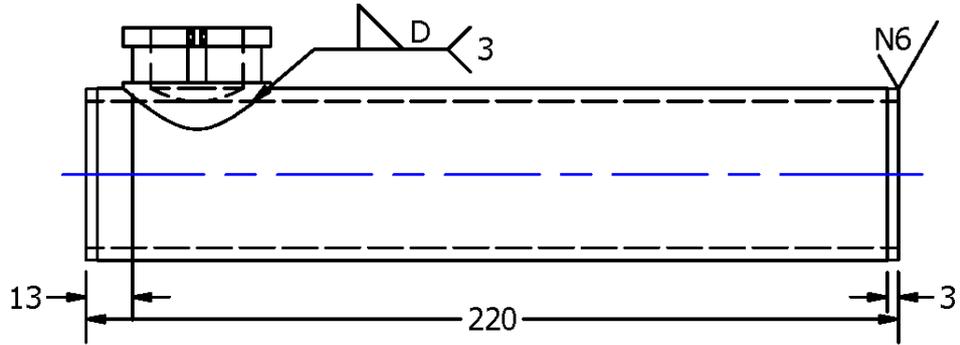


				Tolerancia.	Peso.	SISTEMA MOTO REDUCTOR		
				Nombre	Fecha	ESQUEMA CINEMATICO		
				Dib.	AYAVACA			23/07/2017
				Revisado				
				Aprov.				
						UTE		
						1 / 1		
Edic.	Modificación	Dib.	Fecha.	Firma.			A4	

F

F

VISTA FRONTAL



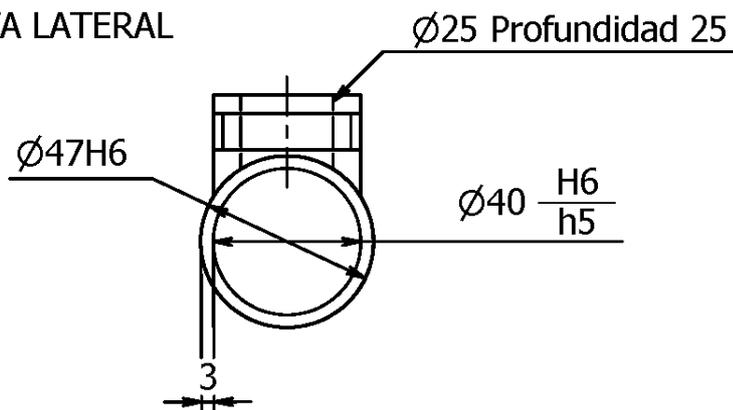
E

E

D

D

VISTA LATERAL



C

C

B

B

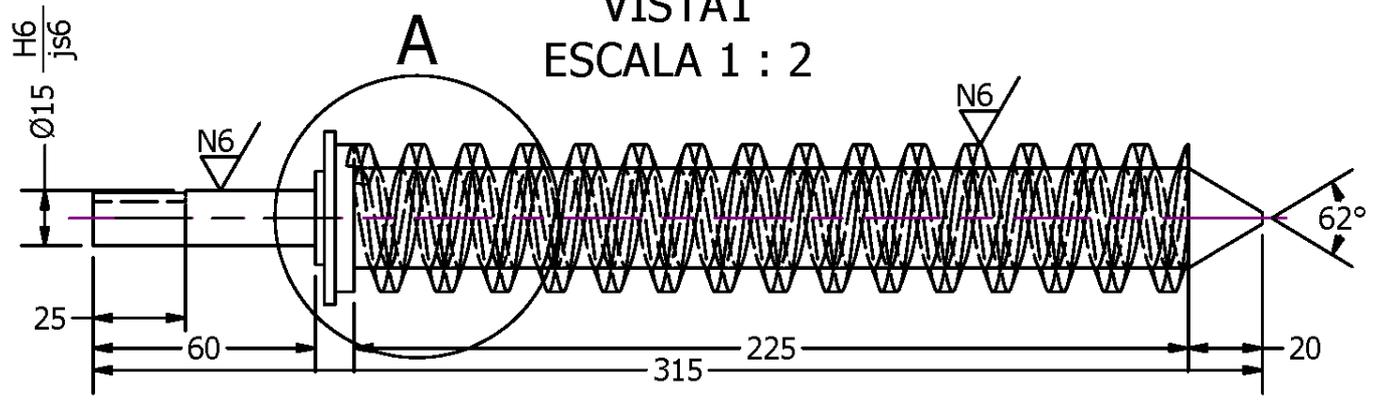
A

A

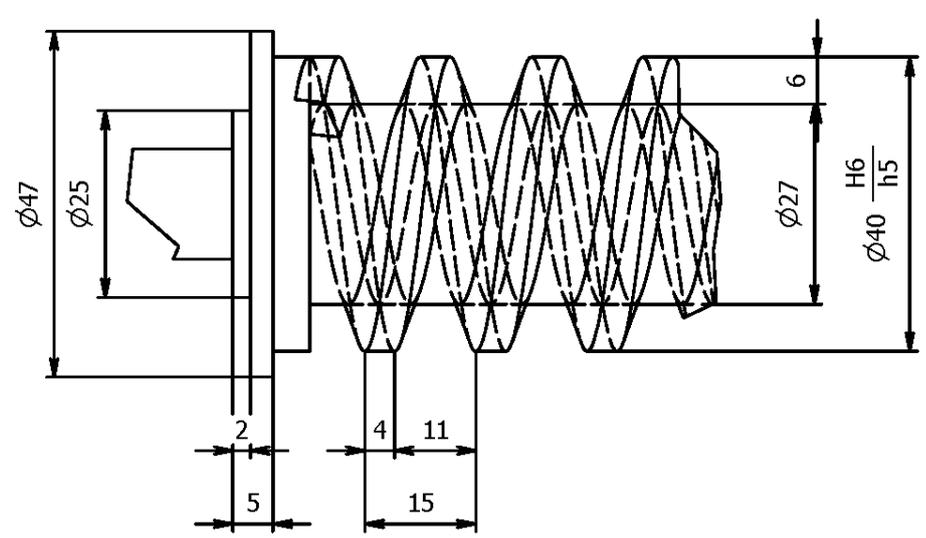
				Tolerancia.	Peso.	MATERIAL:ASTM A53		
				Nombre	Fecha	CILINDRO DEL EXTRUSOR		
				Dib.	AYAVACA			23/07/2017
				Revisado				
				Aprov.				
							UTE	
							1 / 1	
Edic.	Modificación	Dib.	Fecha.	Firma.			A4	

VISTA FRONTAL

VISTA1
ESCALA 1 : 2

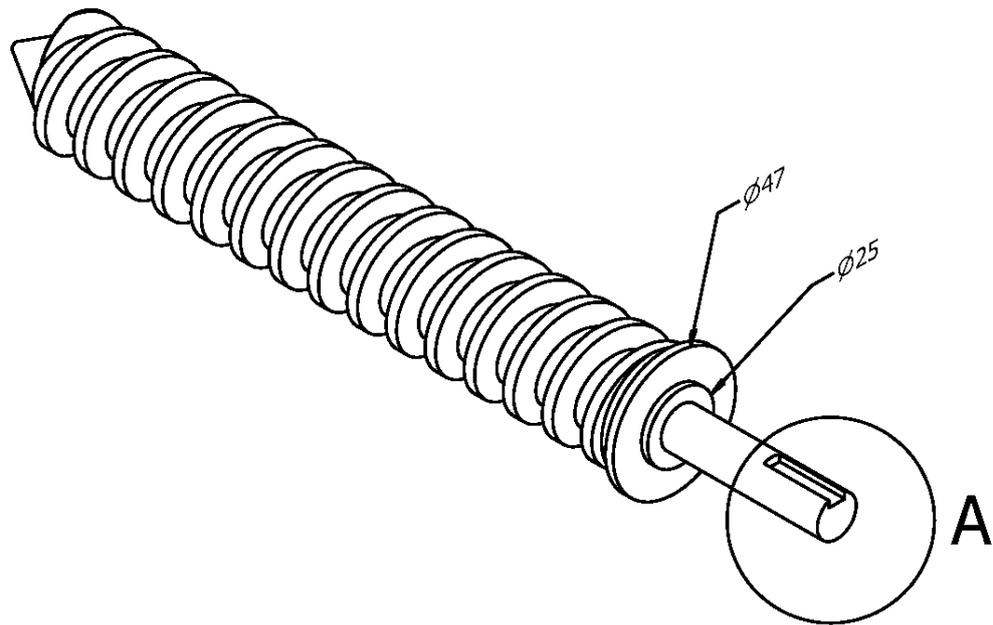


A (1 : 1)

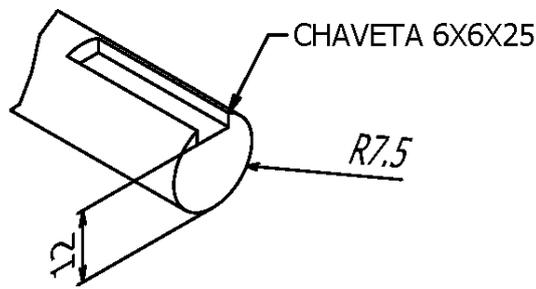


		Tolerancia.	Peso.	MATERIAL: ACERO AISI 1018		
			Nombre	Fecha	HUSILLO 1	
		Dib.	AYAVACA	23/07/2017		
		Revisado				
		Aprov.				
					UTE	1 / 1
Edic.	Modificación	Dib.	Fecha.	Firma.		
					A4	

VISTA ISOMETRICA

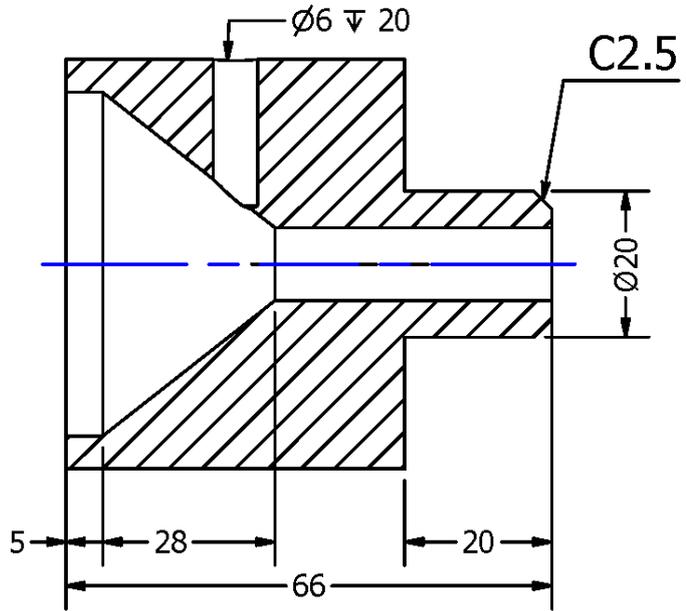
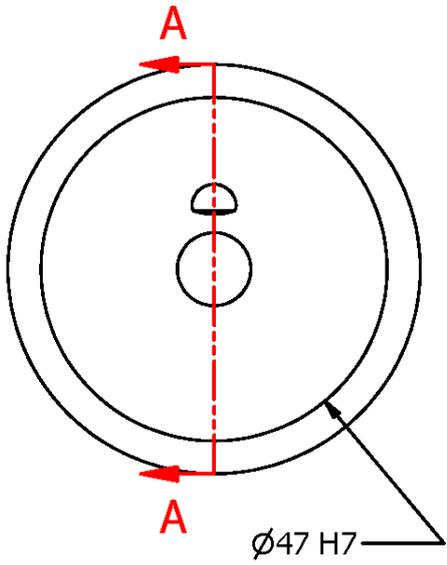


A (1:1)

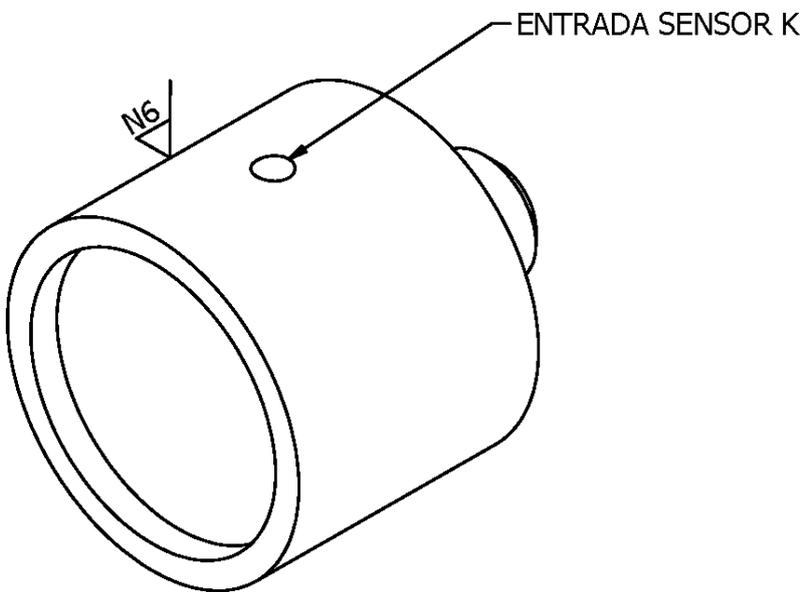


				Tolerancia.	Peso.	MATERIAL: ACERO AISI 1018		
				Nombre	Fecha	HUSILLO Y CHAVETERO		
				Dib.	AYAVACA			23/07/2017
				Revisado				
				Aprov.				
						UTE		
						1 / 1		
Edic.	Modificación	D.b.	Fecha.	Firma.			A4	

VISTA LATERAL

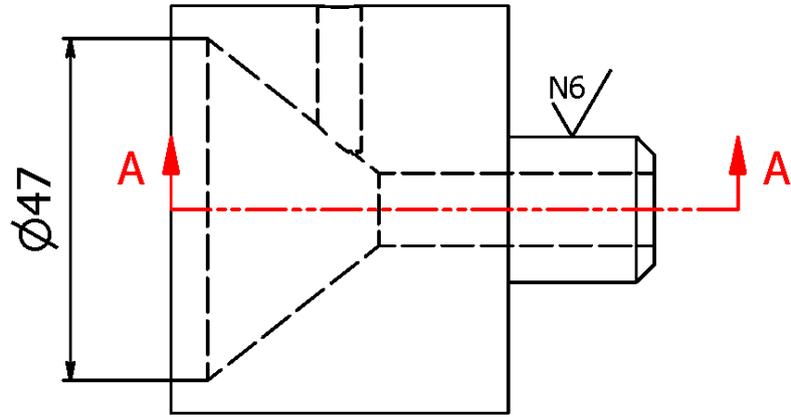


A-A
1 : 1

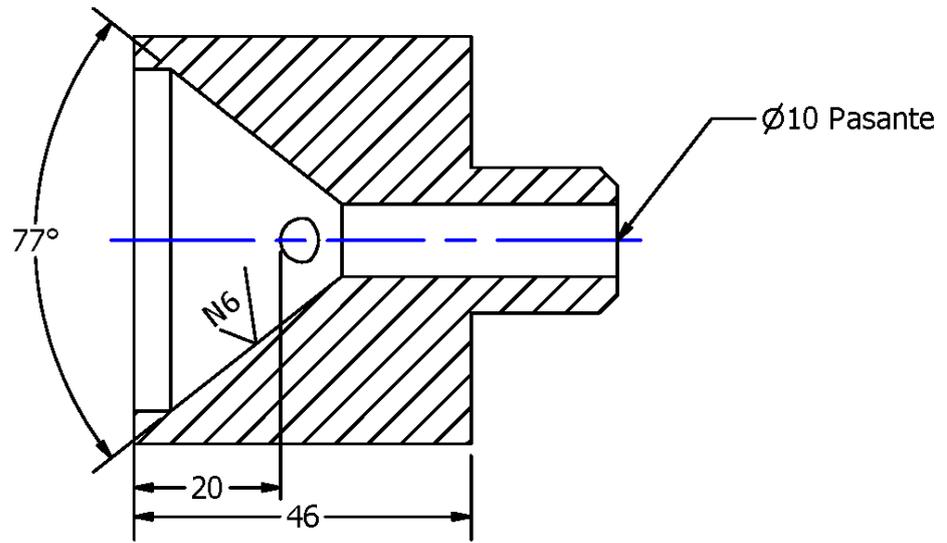


				Tolerancia.	Peso.	MATERIAL: ACERO AISI 1018		
				Nombre	Fecha	TROQUEL		
				Dib.	AYAVACA			23/07/2017
				Revisado				
				Aprov.				
						UTE	1 / 1	
Edic.	Modificación	Dib.	Fecha.	Firma.			A4	

VISTA SUPERIOR



A-A
1 : 1

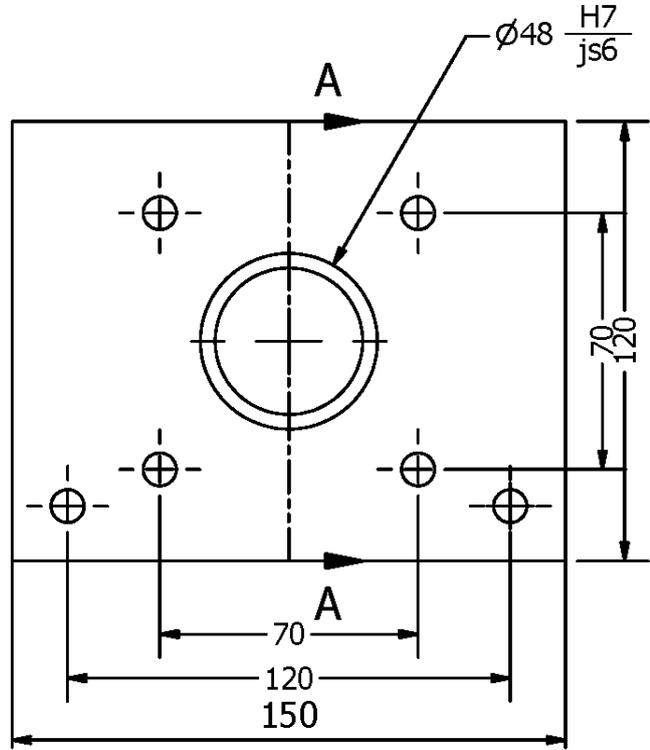
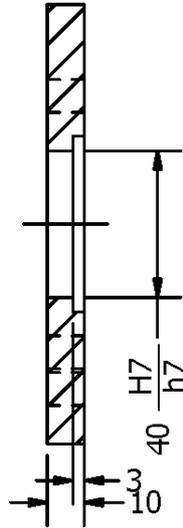


				Tolerancia.	Peso.	MATERIAL: ACER AISI 1018		
				Nombre	Fecha	TROQUEL11		
				Dib.	AYAVACA			23/07/2017
				Revisado				
				Aprov.				
						UTE	1 / 1	
Edic.	Modificación	Dib.	Fecha.	Firma.			A4	

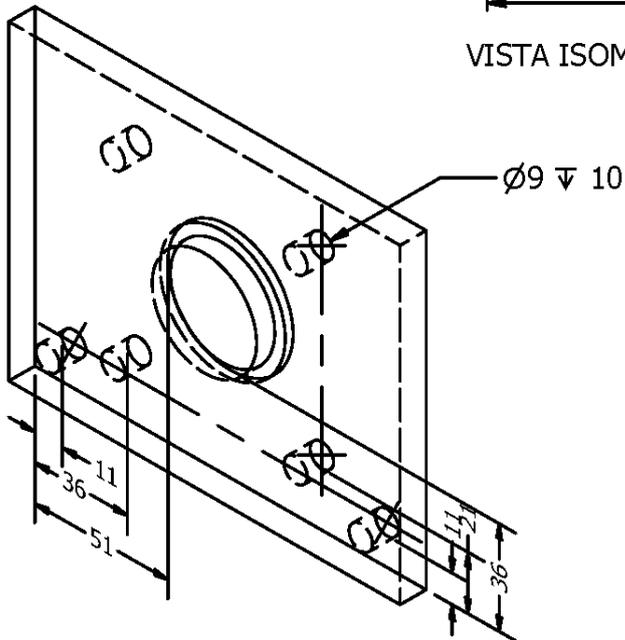
VISTA LATERAL

VISTA FRONTAL

A-A
1 : 2



VISTA ISOMÉTRICA

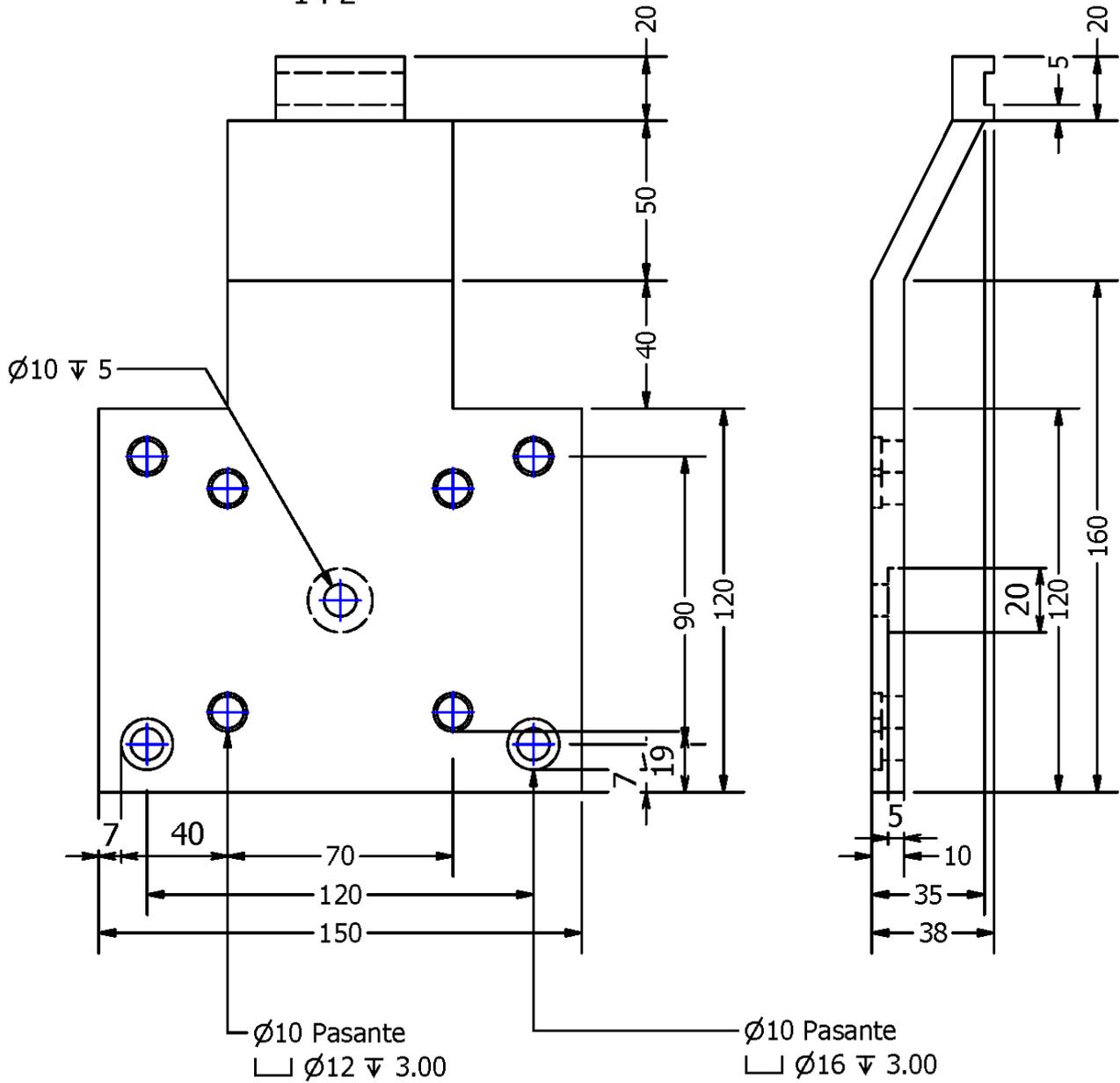


		Tolerancia.	Peso.	MATERIAL: ACERO SAE 1012
		Nombre	Fecha	TAPA CILINDRO1
		Dib.	AYAVACA 23/07/2017	
		Revisado		
		Aprov.		
				UTE
				1 / 1
Edic.	Modificación	Dib.	Fecha.	Firma.

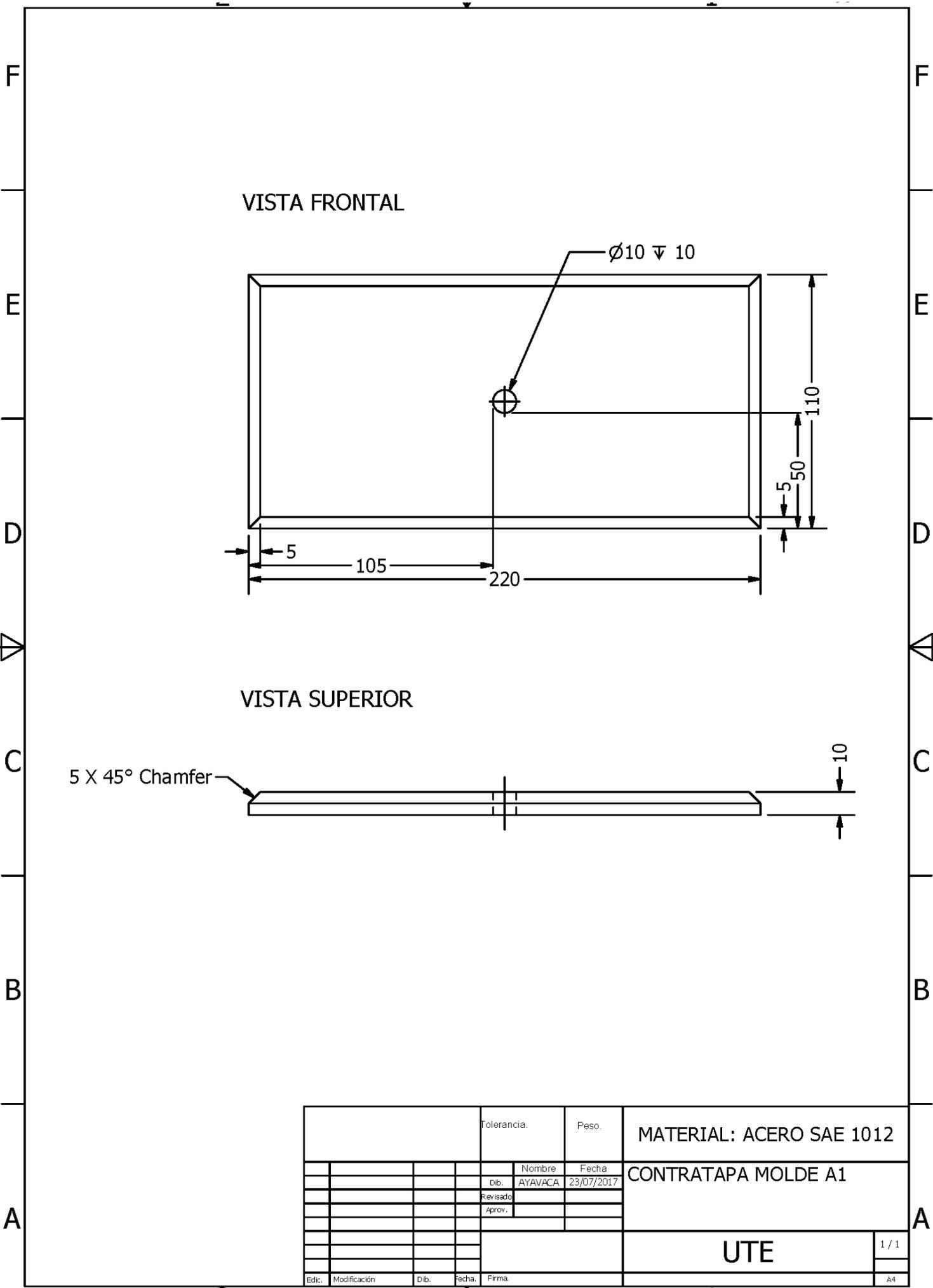
VISTA FRONTAL

VISTA1
1 : 2

VISTAS LATERAL



		Tolerancia.	Peso.	MATERIAL ACERO SAE 1012		
		Nombre	Fecha	TAPA 2		
		Dib.	AYAVACA			23/07/2017
		Revisado				
		Aprov.				
					UTE	
					1 / 1	
Edic.	Modificación	Dib.	Fecha.	Firma.	A4	

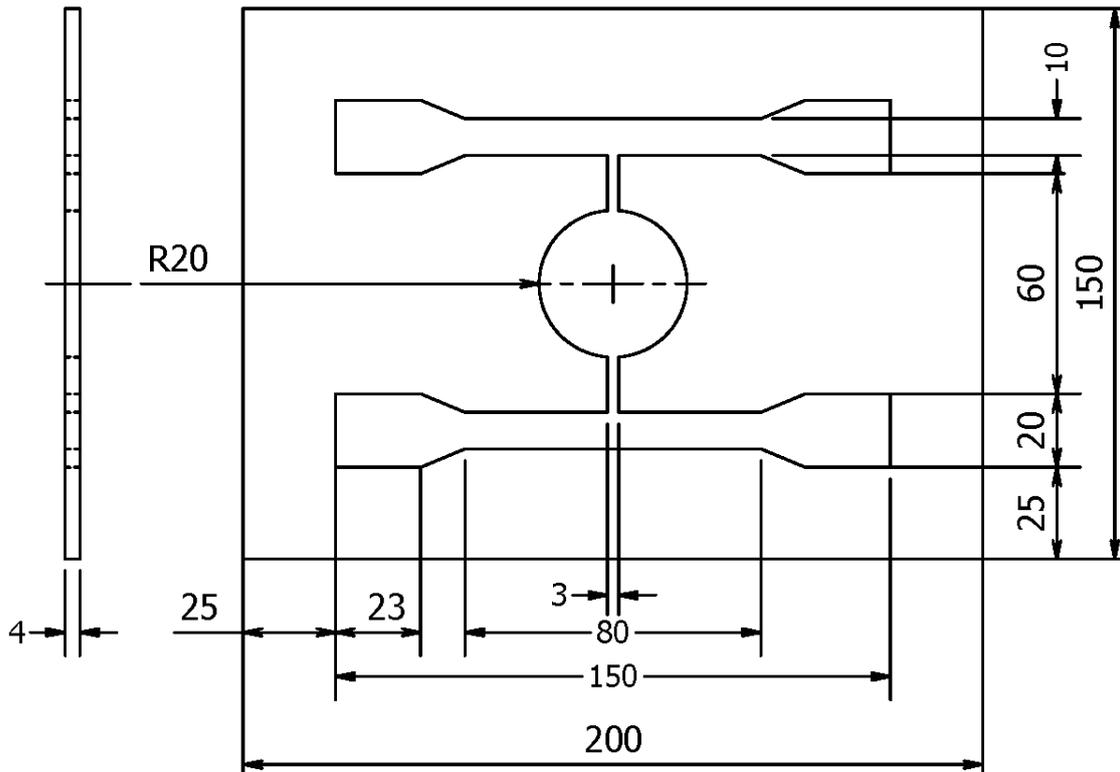


				Tolerancia.	Peso.	MATERIAL: ACERO SAE 1012	
				Dib.	Nombre	Fecha	
				AYAVACA	23/07/2017	CONTRATAPA MOLDE A1	
				Revisado			
				Aprov.			
						UTE	
						1 / 1	
Edic.	Modificación	Dib.	Fecha.	Firma.			A4

VISTA LATERAL

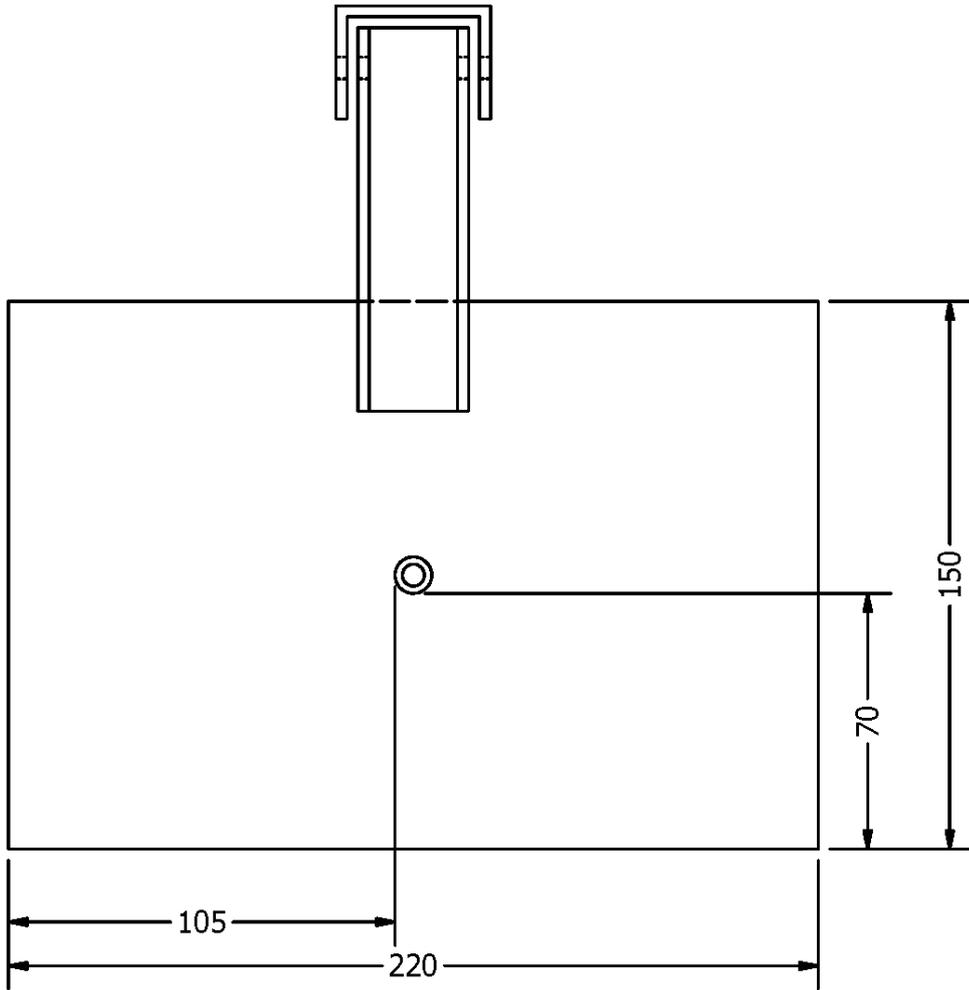
VISTA1
1 : 2

VISTA FRONTAL



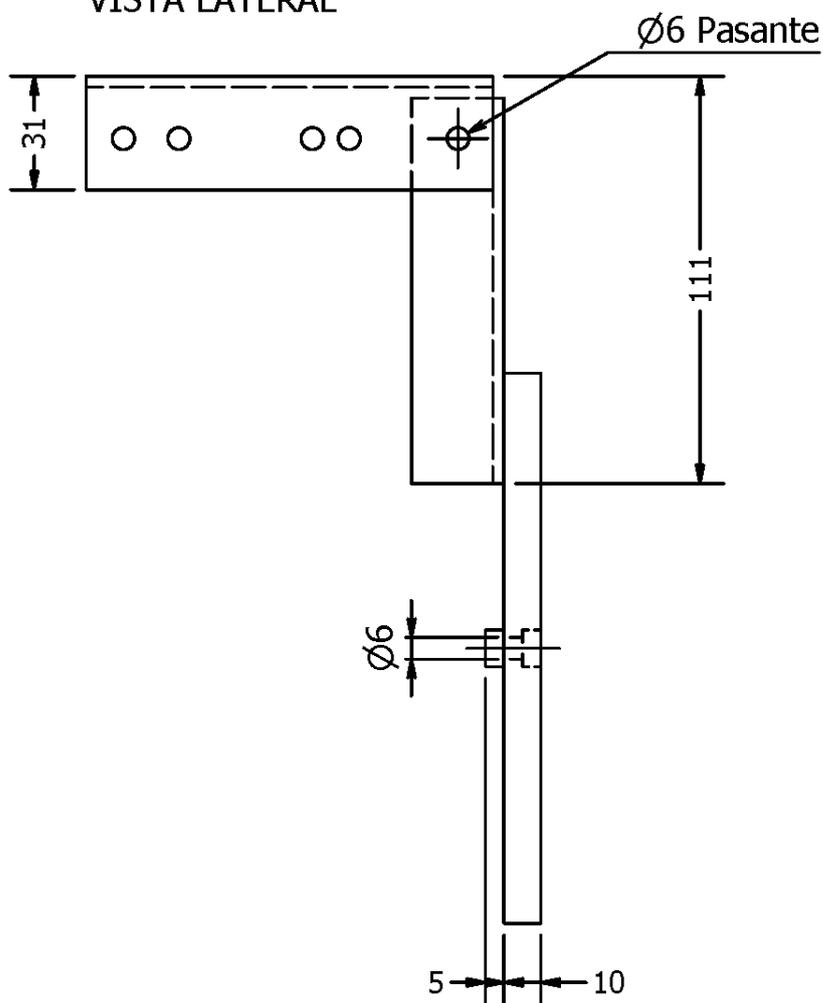
				Tolerancia.	Peso.	MATERIAL: ACERO SAE 1012
				Nombre	Fecha	
				Dib.	AYAVACA	MOLDE PROBETA A1
				Revisado		
				Aprov.		
						UTE
Edic.	Modificación	Dib.	Fecha.	Firma.		
						1 / 1
						A4

VISTA FRONTAL



				Tolerancia.	Peso.	MATERIAL:ACER SAE 1012	
				Nombre	Fecha	CONTRATAPA PALANQUILLA	
				Dib.	AYAVACA 23/07/2017		
				Revisado			
				Aprov.			
						UTE	
						1 / 1	
Edic.	Modificación	Dib.	Fecha.	Firma.			A4

VISTA LATERAL



				Tolerancia.	Peso.	MATERIAL: ACERO SAE 1012
				Nombre	Fecha	
				Dib.	AYAVACA	CONTRATAPA PALANQUILLA
				Revisado		
				Aprov.		
						UTE
						1 / 1
Edic.	Modificación	Dib.	Fecha.	Firma.		
						A4

F

E

D

C

B

A

F

E

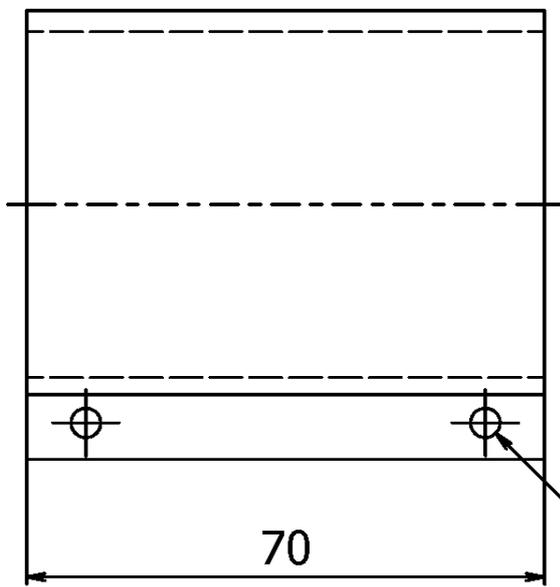
D

C

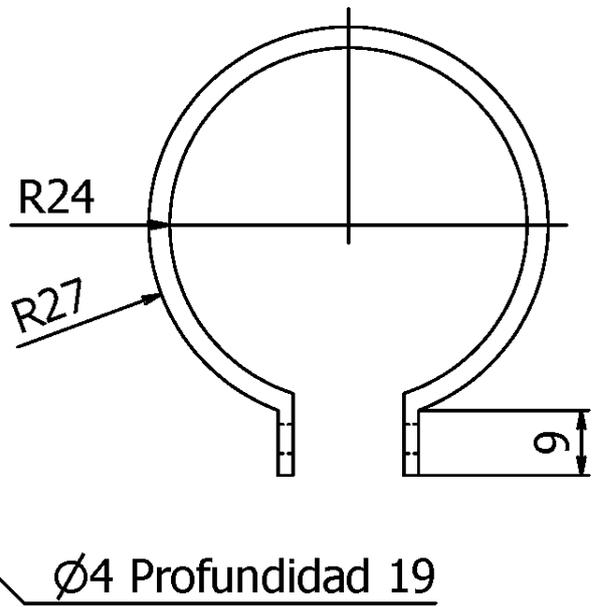
B

A

VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL

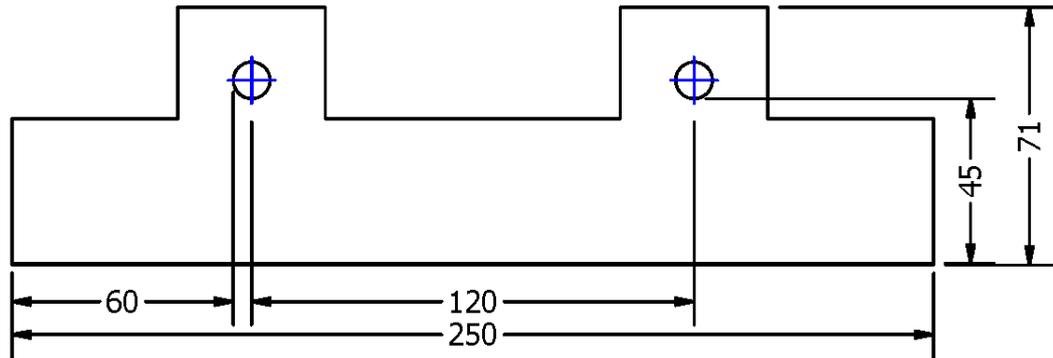


				Tolerancia.	Peso.	MATERIAL: LAMINA ACERO INOXIDABLE		
				Nombre	Fecha	RESISTENCIA TERMICA		
				Dib.	AYAVACA			23/07/2017
				Revisado				
				Aprov.				
						UTE		
						1 / 1		
Edic.	Modificación	Dib.	Fecha.	Firma.			A4	

F

F

VISTA FRONTAL



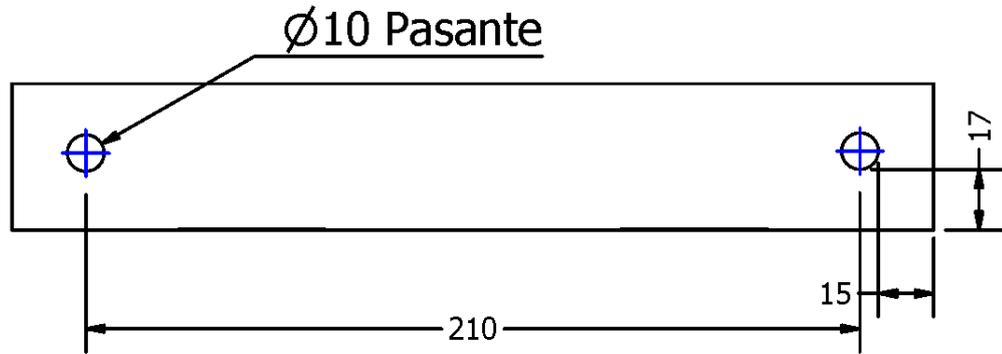
E

E

D

D

VISTA INFERIOR



C

C

B

B

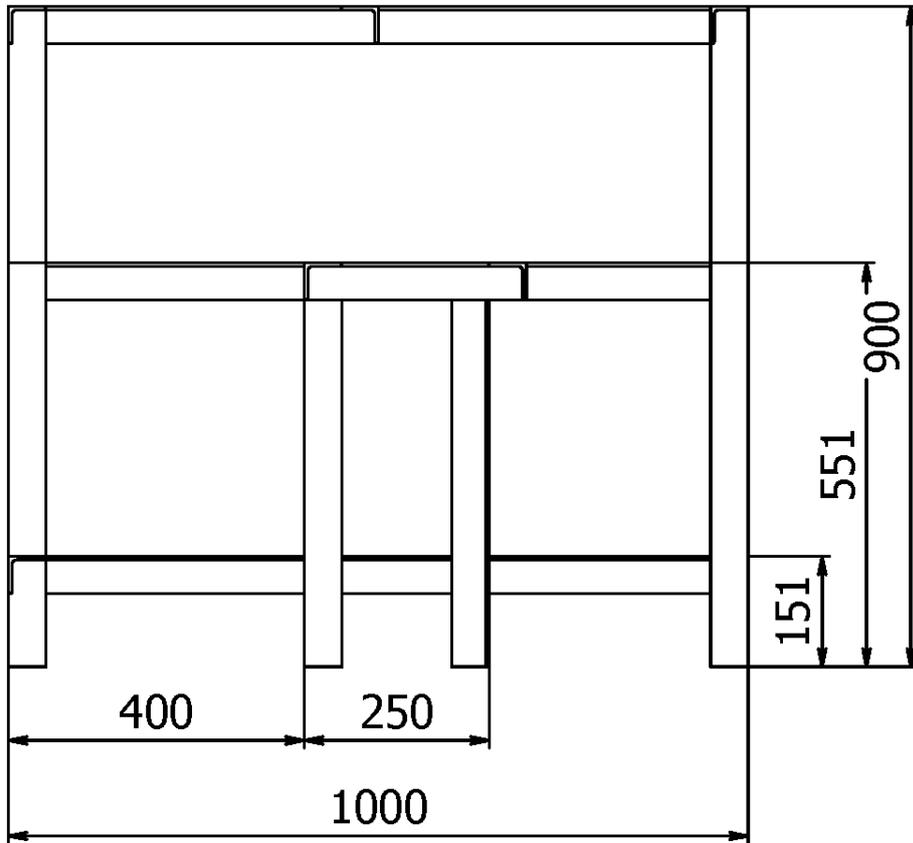
A

A

		Tolerancia.	Peso.	MATERIAL: ANGULO ANSI L1,5 x 1,5 x 3/16		
			Nombre	Fecha	BASE ANGULAR	
			Dib.	AYAVACA		23/07/2017
			Revisado			
			Aprov.			
					UTE	
					1 / 1	
Edic.	Modificación	Dib.	Fecha.	Firma.	A4	

F

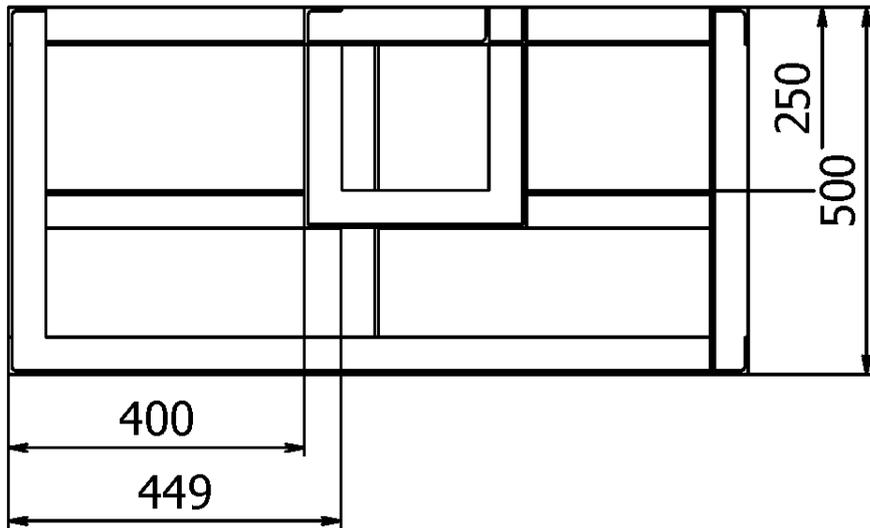
VISTA FRONTAL



E

D

VISTA SUPERIOR



C

B

A

		Tolerancia.	Peso.	PERFIL ANGULAR ANSI L1,5 x 1,5 x 3/16
		Nombre	Fecha	ESTRUCTURA
		Dib.	AYAVACA 23/07/2017	
		Revisado		
		Aprov.		
				UTE
				1 / 1
Edic.	Modificación	Dib.	Fecha.	Firma.
				A4

F

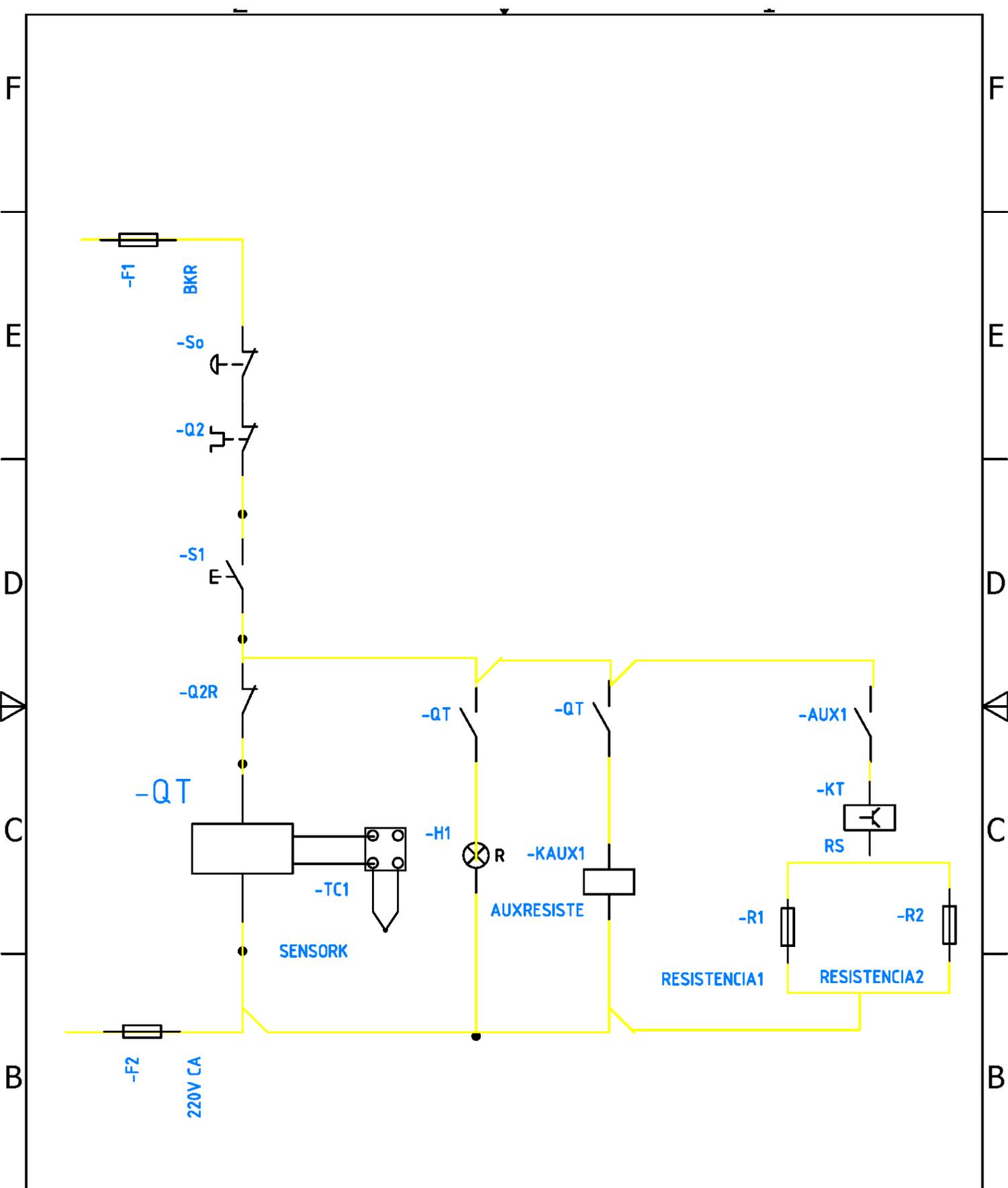
E

D

C

B

A



				Tolerancia.	Peso.	SISTEMA DE CONTROL AUTOTERMICO	
				Nombre	Fecha	ESQUEMA CONTROL TEMPERATURA	
				Dib.	AYAVACA	24/07/2017	
				Revisado			
				Aprov.			
						UTE	
						1 / 1	
Edic.	Modificación	Dib.	Fecha.	Firma.			A4