

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Diseño y prototipado de un equipo para la medición del índice de fluidez en
pellets de polietileno

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

José Gabriel Burbano Flores

Diego Andrés Sánchez Véliz

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

El presente proyecto es dedicado para mis padres, Milton y Fátima, y mis hermanos, Eduardo y Josué. Por apoyarme y estar conmigo durante toda mi vida estudiantil. Especial dedicatoria para mi abuelita Julia que siempre creyó en mí. Este trabajo es por y para ustedes.

Diego Sánchez.

Este presente trabajo quiero dedicárselo con mucho amor a mis padres y abuelos por ser un una guía y un pilar fundamental durante todo este proceso de crecimiento profesional y personal, por estar siempre presente alentándome para que pueda alcanzar todo lo que proponga.

A mis abuelos Nelson, Julio y Lucero que desde el cielo sé que estuvieron apoyándome y dándome fuerzas para continuar en los momentos difíciles. Sé que estarían muy orgullosos.

José Burbano F.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento al Ing. José Bernal por su gran apoyo durante el proceso de mecanización del equipo, facilitándonos las maquinarias y herramientas necesarias para la construcción del equipo. Quiero agradecer a lana Cruz por su apoyo incondicional en todos mis años de estudios.

Diego Sánchez

Agradezco a Dios principalmente por brindarme salud, conocimiento y ser una luz fundamental en mi vida.

Al Ing. Tonny Toscano por brindarme su tiempo siendo un guía fundamental para la elaboración de la programación del proyecto.

A toda mi familia y amigos por brindarme ese todo su apoyo a lo largo de estos años, especialmente a mi mejor amiga de toda la vida Bianca Pulley por estar siempre presente de manera incondicional a lo largo de todos estos años.

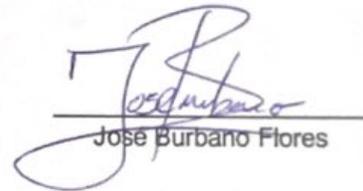
José Burbano F.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Diego Andrés Sánchez Véliz* y *José Gabriel Burbano Flores* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Diego Sánchez Véliz



José Burbano Flores

EVALUADORES



Francis Loayza Paredes PhD.

PROFESOR DE LA MATERIA



Livingston Castro Valladares MSc.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En términos generales, el índice de fluidez de un polímero indica la habilidad de este para fluir teniendo una vital importancia en la industria plástica ya que este valor se relaciona con el peso molecular, densidad, porcentaje de humedad y propiedades mecánicas del polímero. En la actualidad, una empresa de plásticos no cuenta con un equipo medidor de índice de fluidez que le permita establecer un indicador de calidad a su materia prima. Por tal motivo, el presente proyecto tiene como objetivo diseñar y construir un prototipo funcional de un medidor de índice de fluidez a bajo costo. Para esto se hizo una correcta selección de materiales a base de requerimientos y cálculos ingenieriles, donde el acero AISI P20 fue usado para el cilindro, dado y bushing, mientras que AISI 4340 fue destinado al pistón. El sistema de control de temperatura e interfaz con el usuario fue una adaptación del sistema existente en las impresoras 3D a nuestros requerimientos. Los resultados obtenidos fueron favorables, llegando un tiempo de vida útil estimada del pistón de 4 años 5 meses y gracias al método de calentamiento, se descarta la presencia de fatiga térmica en el equipo antes de los 2.15×10^5 ciclos de uso. Según los resultados obtenidos la densidad utilizada para calcular el MFI de los pellets reciclados de polietileno es 0.750 ± 0.003 [g/cm³]. Finalmente, al realizar los ensayos se obtuvo una tolerancia de ± 0.08 [g/10min], por lo que se concluye que el equipo es funcional y está apto para implementar un indicador de calidad con un alto grado de confiabilidad. Se recomienda llevar un estricto control de medición a la cabeza del pistón, ya que es el componente con mayor afectación por el desgaste adhesivo.

Palabras Clave: *MFI, polietileno, fluidez, pistón, pellets.*

ABSTRACT

Melt flow index shows polymer ability to flow having a vital importance in the plastics industry since this value is related to the molecular weight, density, moisture percentage and mechanical properties of the polymer. Nowadays, a plastic company. does not have a flow rate measuring device that allows to establish a quality indicator for raw material. therefore, this project aims to design and build a functional prototype of low-cost plastometer. Hence, a correct selection of materials was made based on requirements and engineering calculations, AISI P20 steel was used for cylinder, die and bushing, while AISI 4340 was for piston. The temperature control system and user interface were an adaptation of 3D printer's system to our requirements. The results were favorable, reaching an uncertainty of 0.03%, estimated piston life around 4 years 5 months and according heating method, could avoid thermal fatigue in the equipment before 2.15×10^5 cycles of use. According results, the density used for MFI recycled polyethylene pellets is 0.750 ± 0.003 [g / (cm³)]. A tolerance ± 0.08 [g / 10min] was obtained, so it is concluded that the equipment is functional and can be implemented as a quality indicator with a high degree of reliability. As a recommendation, because the piston head is the component that suffers the greatest adhesive wear, it is important to carry a strict measurement control of this piece.

Keywords: *MFI, polyethylene, fluidity, piston, pellets*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE PLANOS	XI
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Justificación del problema.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Proceso de producción pellets de polietileno	3
1.4.2 Índice de fluidez	6
1.4.3 Métodos de medición de índice de fluidez	8
CAPÍTULO 2.....	11
2. Metodología	11
2.1 Métodos de ensayo.....	14
2.1.1 Selección de alternativa de método de ensayo	15
2.2 Proceso de ensayo de índice de fluidez	16
2.3 Alternativas de diseño.....	16
2.3.1 Alternativa A	16

2.3.2	Alternativa B	17
2.3.3	Alternativa C	18
2.4	Selección de alternativas de diseño conceptuales.....	18
2.5	Arquitectura de diseño	20
2.5.1	Selección de material	21
2.5.2	Análisis mecánico.....	22
2.5.3	Análisis térmico	26
2.5.4	Diseño del resorte en el soporte del encoder	27
2.5.5	Determinación de la densidad del polímero para el ensayo	28
2.5.6	Sistema de control.....	29
2.6	Simulación	34
2.7	Propagación de incertidumbre	34
2.8	Criterios de selección de componentes para fabricación del prototipo	34
2.9	Proceso de mecanizado	36
2.10	Análisis económico	41
CAPÍTULO 3.....		41
3.	Resultados y análisis.....	41
3.1	Selección del material.....	41
3.1.1	Análisis de desgaste.....	42
3.2	Análisis Térmico.....	43
3.2.1	Tiempo de calentamiento con controlador PID.....	43
3.2.2	Fatiga térmica.....	47
3.3	Análisis mecánico	49
3.3.1	Presión interna del fluido	49
3.3.2	Análisis de pandeo de pistón.....	52
3.3.3	Diseño del resorte de torsión.....	52
3.4	Determinación de la densidad del polietileno de ensayo	53

3.5	Sistema de adquisición de datos	54
3.6	Propagación de incertidumbre	56
3.7	Ensamble y prototipo final del equipo	58
3.8	Sistema de limpieza.....	61
3.9	Sistema de mantenimiento.....	62
3.10	Análisis económico	62
CAPÍTULO 4		63
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	63
4.1	Conclusiones	63
4.2	Recomendaciones	64
BIBLIOGRAFÍA		66
APÉNDICES		70

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
AISI	American Iron and Steel Institute
SAE	Society of Automotive Engineers
S.A.	Sociedad Anónima
ISO	International Organization for Standardization
DIN	Deutsches Institut für Normung
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
HDPE	High-density polyethylene
LDPE	Low-density polyethylene
LLDPE	Linear low-density polyethylene
MFI	Melt Flow Index
HB	Brinell Hardness
HRC	Rockwell Hardness
PDF	Portable Document Format
RPM	Revoluciones por minuto
LCD	Liquid Crystal Display
RSS	solid state relays
PID	Proporcional Integral Derivativo
PLA	Poly lactide
ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene
PRI	Periodo de Recuperación de Inversión
TIR	Tasa Interna de Retorno
VAN	Valor Actual Neto

SIMBOLOGÍA

g	Miligramo
MPa	Megapascal
Cm	Centímetros
Kg	Kilogramos
K	Grados Kelvin
W	Watts
$^{\circ}C$	Grados centígrados
T	Temperatura
ρ	Densidad
H	Dureza
σ	Esfuerzo tensión
τ	Esfuerzo cortante
γ	Velocidad de corte
E	Módulo de Young
FS	Factor de seguridad
C_c	Relación de esbletez
C_p	Calor específico
α	Coefficiente Expansión térmica
θ	Desplazamiento angular
f	Avance
S_y	Esfuerzo de fluencia
S_{ut}	Esfuerzo último de tensión
v	Volumen específico
Pfd	profundidad de desgaste
Q	Calor
ε	deformación
$M4$	Perno diámetro 4
$M8$	Perno diámetro 8

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Estructura del polímero	3
Figura 1.2: Tipos de cadenas	4
Figura 1.3: Estructura química del polietileno.....	4
Figura 1.4: Curva de viscosidad vs velocidad de corte para HDPE.....	7
Figura 1.5: Curva de viscosidad vs velocidad de corte para LDPE	7
Figura 2.1: Etapas para el desarrollo del proyecto.	12
Figura 2.2: Casa de la calidad	13
Figura 2.3: Alternativa para método A.	14
Figura 2.4: Alternativa para método B	14
Figura 2.5: Alternativa para método C	15
Figura 2.6: Proceso de ensayo de índice de fluidez.	16
Figura 2.7: Alternativa de diseño conceptual A.	17
Figura 2.8: Alternativa de diseño conceptual B.	17
Figura 2.9: Alternativa de diseño conceptual C	18
Figura 2.10: Arquitectura de diseño.....	20
Figura 2.11: Conductividad térmica vs Dureza	21
Figura 2.12: Precio x Kg Vs Dureza	21
Figura 2.13: Esfuerzo de empuje a la entrada del cilindro de acuerdo a la relación de longitud/diámetro.....	22
Figura 2.14: Volumen específico vs Temperatura.	28
Figura 2.15: Movimiento armónico simple	29
Figura 2.16: Programación de registros de los bits generados por el encoder.....	30
Figura 2.17: Programación del sistema	31
Figura 2.18: Conexión entre Encoder, Arduino Uno y Pc.....	32
Figura 2.19: Sistema de retroalimentación	32
Figura 2.20: Conexión entre Arduino Mega y tarjeta Ramps 1.4.....	33
Figura 2.21: Conexiones en tarjeta Ramps 1.4	33
Figura 2.22: Conexiones en tarjeta Ramps 1.4 2	33
Figura 2.23: Inserto de metal duro para torno.	36
Figura 2.24: Clasificación de la herramienta para material.....	36
Figura 2.25: Secuencia para realizar proceso de mecanizado del Housing	37
Figura 2.26: Secuencia para realizar proceso de mecanizado de la Tapa.	37

Figura 2.27: Secuencia para realizar proceso de mecanizado de la Base.	38
Figura 2.28: Secuencia para realizar proceso de mecanizado del Soporte base	38
Figura 2.29: Secuencia para realizar proceso de mecanizado del Cilindro	39
Figura 2.30: Secuencia para realizar proceso de mecanizado del Pistón	39
Figura 2.31: Secuencia para realizar proceso de mecanizado del Bushing	40
Figura 2.32: Secuencia para realizar proceso de mecanizado del Dado.....	40
Figura 2.33: Secuencia para realizar proceso de mecanizado de la Porta pesa	41
Figura 3.1: Grupo de materiales resultantes.....	41
Figura 3.2: Tiempo transcurrido último grado hasta estabilizar	44
Figura 3.3: Simulación tiempo de calentamiento	45
Figura 3.4: Simulación de controlador por simulink	46
Figura 3.5: Tiempo transcurrido desde 189 ⁰ C hasta 190 ⁰ C simulado por simulink ...	46
Figura 3.6: Configuración de Ansys.....	48
Figura 3.7: Deformaciones térmicas.....	48
Figura 3.8: Presión interna del fluido	50
Figura 3.9: Esfuerzo Von-Mises en el cilindro y distribución presiones en el dado ..	51
Figura 3.10: Programación en LabVIEW	55
Figura 3.11: Interfaz del programa para medición de índice de fluidez.	56
Figura 3.12: Resultados de 10 ensayos	57
Figura 3.13: Prototipo final.....	58
Figura 3.14: Todos los componentes del prototipo.....	59
Figura 3.15: Proceso de ensamble del equipo.	60
Figura 3.16: Proceso de sistema de limpieza.....	61
Figura 3.17: Sistema de mantenimiento	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Propiedades del polietileno de alta densidad	5
Tabla 1.2: Propiedades del polietileno de baja densidad	5
Tabla 2.1: Matriz de decisión de métodos de ensayo.....	15
Tabla 2.2: Tabla de criterios de selección	19
Tabla 2.3: Matriz de decisión de alternativas de diseño	19
Tabla 3.1: Tiempos de calentamiento.....	47
Tabla 3.2: Deformación teórica y simulada.....	49
Tabla 3.3: Presión teórica y simulada.....	50
Tabla 3.4: Esfuerzos tangencial, radial y entrada del dado	51
Tabla 3.7: Factibilidad del proyecto	62

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 0	Dado
PLANO 1	Bushing
PLANO 2	Porta pesa
PLANO 3	Cilindro
PLANO 4	Pesa
PLANO 5	Pistón
PLANO 6	Base
PLANO 7	Compuerta
PLANO 8	Patas
PLANO 9	Housing
PLANO 10	Tapa
PLANO 11	Ángulo
PLANO 12	Resistencia
PLANO 13	Embudo
PLANO 14	Soporte del encoder
PLANO 15	Acople del encoder
PLANO 16	Vista en explosión del equipo

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La industria de plástico en el Ecuador se encuentra en constante innovación y desarrollo. Comúnmente las industrias de este campo trabajan con termoplásticos, los cuales son polímeros que se vuelven moldeables a altas temperaturas y se solidifican por enfriamiento.

Los polietilenos son los termoplásticos más utilizadas en el Ecuador. Un 55% de las importaciones de las resinas de tipo termoplásticas, tienen una relación con polietilenos y sus derivados (Rigail-Cedeño, 2006). Por otro lado, existen muchas empresas dedicadas al procesamiento de plásticos reciclados que utilizan como materia prima polietileno post industrial. Una empresa de plásticos dedicada a la fabricación de tuberías plásticas y film, usando como materia prima pellets de polietileno de alta densidad y pellets de polietileno de baja densidad. Esta se encarga adicionalmente a la producción y venta de pellets de polietileno a partir de material reciclado.

Para obtener un producto de alta calidad se necesitan cumplir ciertos parámetros, entre ellos el valor del índice de fluidez de los pellets utilizados como materia prima. Tener un control del índice de fluidez de los lotes de materia prima, en este caso pellets de polietileno, permite asegurar que el material tiene el correcto peso molecular (Bremner, Rudin, & Cook, 1990) y, por lo tanto, su proceso de fabricación es óptimo y el material aún conserva sus propiedades mecánicas. Garantizando de esta forma la calidad del material para la manufactura.

El equipo utilizado para medir el índice de fluidez se llama plastómetro de extrusión, el cual es producido y distribuido por varias empresas como Tinius Olsen, Dynisco, Zwick, entre otras. Actualmente, debido a su amplia difusión, la construcción de estos equipos y la forma de cómo realizar los ensayos se encuentran definidos en varias normas como: ASTM D 1238, ISO 1133 y DIN 53735.

1.1 Descripción del problema

En el Ecuador existe una empresa que utiliza como materia prima pellets de material reciclado para la fabricación de tuberías y rollos film. En la actualidad la empresa no dispone de un equipo que permita medir el índice de fluidez de los pellets de polietileno provocando que estos ensayos sean realizados en laboratorios externos.

1.2 Justificación del problema

El equipo para la medición del índice de fluidez se caracteriza por tener precios alrededor de los \$1500. Por lo cual, realizar un diseño funcional de un medidor de índice de fluidez de bajo costo proporcionaría a la empresa una reducción los tiempos que conlleva realizar los ensayos en laboratorios externos como a su vez el costo de los mismo y reducir el costo en la adquisición de un equipo de medición.

Adicionalmente, este equipo contribuirá a realizar con mayor frecuencia los ensayos de índice de fluidez, llevando así un control más frecuente de la calidad del producto final. Con estos controles se definirán indicadores de calidad, que permitirán aceptar o rechazar lotes de materia prima (pellets de polietileno).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y construir un equipo para la medición de índice de fluidez en pellets de polietileno.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Crear un diseño conceptual de un equipo que permita satisfacer las necesidades del cliente.
- Diseñar y seleccionar los elementos mecánicos y electromecánicos del equipo para obtener una durabilidad cercana al de los equipos comerciales.
- Implementar un sistema de adquisición de datos que registre el índice de fluidez de los ensayos sin intervención del usuario.

- Modelar el funcionamiento del equipo usando software CAD/CAE para estimar el comportamiento del equipo en su punto de operación.
- Establecer un sistema de control que permita mantener las condiciones del ensayo constante en el tiempo.
- Desarrollar el formato para presentación de los resultados del ensayo.
- Realizar análisis de costos de la implementación del equipo considerando componentes disponibles en Ecuador.
- Construir un prototipo funcional de bajo costo del diseño del medidor de índice de fluidez con la capacidad de establecer un indicador de calidad confiable.

1.4 Marco teórico

Para un mejor desarrollo y entendimiento, se describirá a continuación fundamentos importantes.

1.4.1 Proceso de producción pellets de polietileno

Un polímero es una larga cadena unida por patrones de monómeros repetidos, estas uniones químicas pueden ser en forma de ramificación o en forma lineal tal como se observa en las figuras 1.1 y 1.2. Por otra parte, los monómeros son moléculas pequeñas que se polimerizan a través de la formación de enlaces covalentes, que consiste en la distribución de sus pares de electrones. Existen diversos tipos de polímeros como son los polímeros naturales encontrados en plantas y animales, como también los polímeros sintéticos como son el polietileno, nylon, caucho, etc.

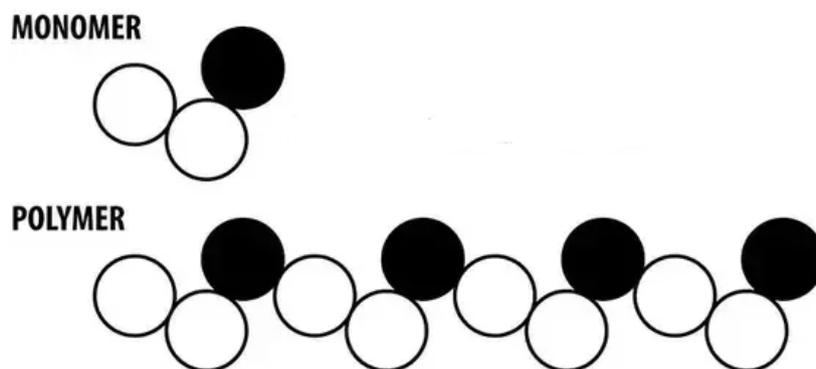


Figura 1.1: Estructura del polímero [Minhas, 2013]

El polietileno, el cual es la materia prima utilizada por la empresa, es el polímero más simple dado su estructura química compuesta de cadenas de átomos de hidrógeno y carbono como se observa en la figura 1.1. Este tipo de polímero es parcialmente cristalino, cuenta con propiedades como una superficie blanca, son muy flexibles y tenaces. En la actualidad existen cinco tipos de polietilenos a causa de las condiciones del catalizador utilizado durante la polimerización (Coutinho, Mello & Santa María, 2005). Estos tipos de polietilenos son:

- Polietileno de alta densidad (HDPE – High density polyethylene)
- Polietileno de baja densidad (LDPE - Low density polyethylene)
- Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE -Linear low density polyethylene)
- Polietileno de ultra alta peso molecular
- Polietileno de ultra baja densidad

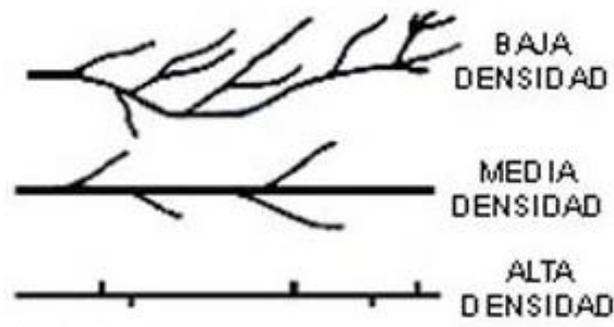


Figura 1.2: Tipos de cadenas [Kevin, 2015]

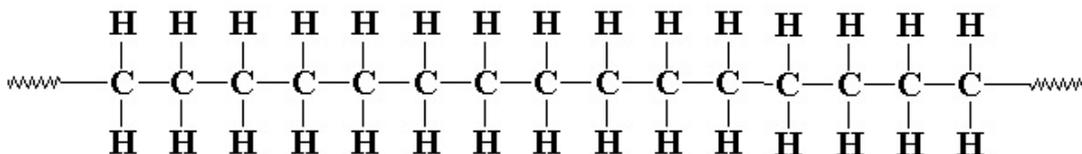


Figura 1.3: Estructura química del polietileno [Mariano, 2012].

**Tabla 1.1: Propiedades del polietileno de alta densidad
[Coutinho, Melo & Santa María].**

Propiedades	Unidad	Valor
Densidad	g/(cm ³)	0.962 – 0.968
Temperatura de fusión	°C	128 – 135
Temperatura de fragilidad	°C	(- 140) – (- 70)
Conductividad térmica	W/(m.K)	0.46 – 0.52
Dureza Brinell	MPa	60 – 70
Resistencia a la tracción	MPa	25 – 45

**Tabla 1.2: Propiedades del polietileno de baja densidad
[Coutinho, Melo & Santa María].**

Propiedades	Unidad	Valor
Densidad	g/(cm ³)	0.912 – 0.925
Temperatura de fusión	°C	102 – 112
Modulo elástico	MPa	102 – 240
Dureza Shore D	-	40 - 50
Resistencia a la tracción	MPa	6.9 - 16

Una vez presentado los conceptos más relevantes, se mencionará el proceso de producción de los pellets de polietileno a partir de material reciclado. Según el tipo de materia prima utilizado al inicio del proceso, el producto final puede ser pellets de polietileno de alta densidad o pellets de polietileno de baja densidad.

La empresa solo acepta material reciclado proveniente de bolsas de alimentos como materia prima para pellets LDPE y tapas de bebidas o recipientes para pellets HDPE. Las bolsa son manufacturadas por medio del proceso extrusión soplado que se caracteriza por usar materia prima virgen con un densidad alrededor de 0.92 [g/cm³] (Mahapram & Poompradub, 2011), mientras que las tapas y recipientes son manufacturas por proceso de inyección utilizando material virgen con densidad 0.96 [g/cm³].

El proceso inicial consiste en la clasificación y lavado de la materia prima, debido a que el material reciclado usualmente contiene materiales no deseados como basura o químicos. Una vez clasificado e identificado que materiales es HDPE y LPDE, se realizan procesos de iguales características, pero por separado.

El proceso consiste en llevar la materia prima a través de una banda transportadora a un molino para cortar el material en dimensiones muy pequeñas (tamaño no mayor a 1cm²), estos son llevado a una última estación de lavado.

El sistema de secado consiste en dos estaciones de centrifugadoras industriales conectadas entre sí mediante ductos y transportada por blowers, el sistema de secado termina en un transportado y secado de serpentín donde es almacenado en una torre de almacenamiento. Finalmente, el material es mezclado en una aglutinadora industrial y es descargado en la tolva de la extrusora, donde ocurre el proceso de extrusión, cortado de los pellets y posterior enfriado y ensacado de los pellets.

1.4.2 Índice de fluidez

MFI (Melt Flow Index) son las siglas en ingles que corresponden al índice de fluidez. La definición del MFI es básicamente el valor másico de un polímero extruido (gramos) durante 10 minutos a través de una boquilla con un diámetro y longitud específica, por lo tanto, este valor se expresa en unidades de gramos por 10 minutos [g/10 min].

El valor de MFI se lo considera como un punto de la curva de viscosidad, a condiciones relativamente bajas de velocidad de corte y temperatura constante (Shenoy & Saini, 1986). Con lo antes mencionado, se conoce que los valores de viscosidad a bajas velocidades de corte varían en muy pequeñas cantidades que se lo puede considerar constante. Esto se puede observar en las siguientes gráficas:

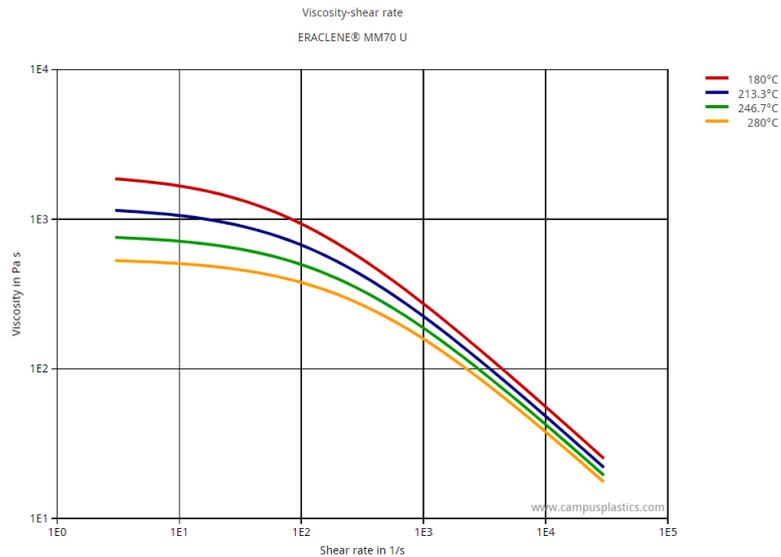


Figura 1.4: Curva de viscosidad vs velocidad de corte para HDPE [Campus plástico]
 Curva del material HDPE a 180°C @rojo / 213.3°C @azul / 246.7°C @verde / 280°C amarillo

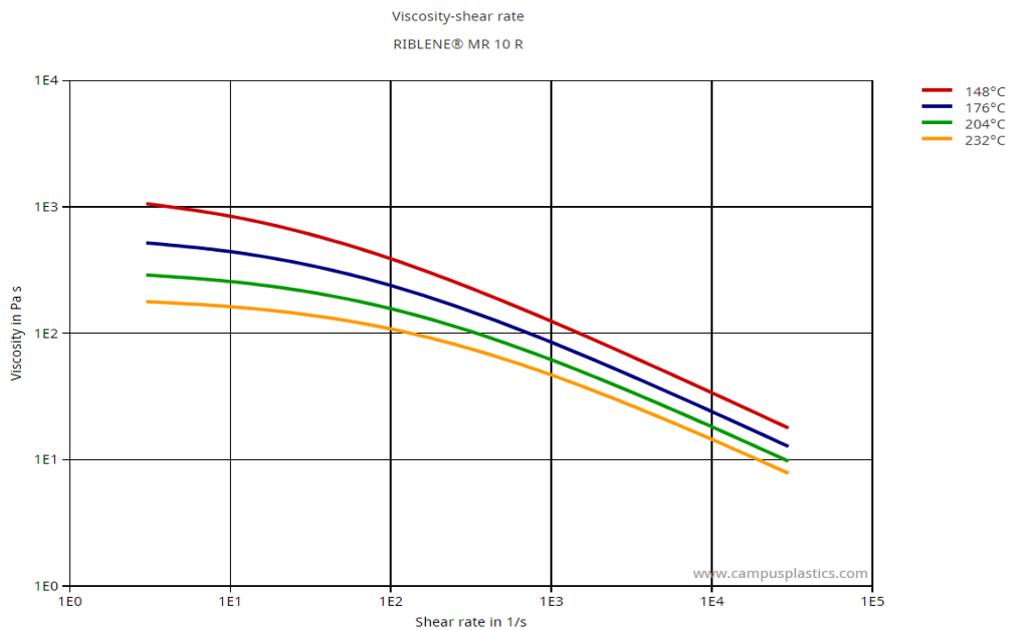


Figura 1.5: Curva de viscosidad vs velocidad de corte para LDPE [Campus plástico]
 Curva del material LDPE a 148°C @rojo / 176°C @azul / 204°C @verde / 232°C amarillo

A pesar de que el factor MFI es un parámetro empírico con ciertas limitaciones, es uno de los más usados en la industria plástica ya que da una referencia con respecto al proceso de manufactura al cual será sometido el polímero. Un polímero con alto MFI como el polietileno, es usualmente usado para la manufactura de películas flexibles. Otros aspectos que se relacionan con el MFI son la temperatura de reacción y el peso molecular promedio del polímero.

1.4.3 Métodos de medición de índice de fluidez

Para el desarrollo de los ensayos de índice de fluidez existen dos normas que son la ASTM D1238 “Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer” (ASTM, 1979) e ISO 1133 “Determination of the melt massflow rate (MFR) and melt volumeflow rate (MVR) of thermoplastics” (ISO, 1969), estas normas detallan el proceso para realizar el ensayo por distintos métodos.

Estos métodos trabajan bajo un mismo principio de funcionamiento que es el proceso de extrusión. Este proceso viene siendo de los más empleados en la industria del plástico, siendo útil para la elaboración de tuberías, mangueras, fibras, ciertos tipos de perfiles, entre otros. Por otra parte, el proceso de extrusión permite mezclar y generar compuestos de plásticos para producir materia prima, por lo general se utilizan materiales termoplásticos (Ramos, 2013).

El principio de extrusión aplicados en las normas consiste en calentar un cilindro el cual debe permanecer a la temperatura de ensayo durante 15 min. Según la norma, acto seguido se ubica una muestra plástica de un peso aproximado entre 4 gramos a 8 gramos, se coloca un pistón dentro del cilindro y se le ubica una carga entre 0.325 kg hasta 21.6 kg, esto genera una presión lo que permite extruir la muestra plástica a través de una boquilla ubicada al final del cilindro.

El proceso térmico se basa en utilizar una resistencia térmica en banda que permita calentar todo el cilindro de manera uniforme, por lo tanto, la resistencia debe abrazar toda el área del cilindro y a su vez un aislante térmico debe abrazar la superficie de la resistencia con el fin de evitar la pérdida del calor hacia el exterior. El cilindro debe calentarse en un mínimo de tiempo igual a 15 minutos y posteriormente se ingresa el pistón junto al dado para ser calentados durante 15 minutos.

Este proceso ayuda a que el interior del cilindro junto con el dado y pistón cuenten con una temperatura uniforme para que colocados los pellets plásticos pasen completamente de su estado sólido a un estado líquido. Sin embargo, una vez

colocados los pellets, deben ser molidos debido a su forma irregular para que se vayan triturando con el fin de disminuir el espacio de vacío entre ellos y provocar una mejor transferencia de calor por conducción entre las caras en contacto de los pellets y el cilindro.

Como se mencionó previamente, estas normas describen distintos métodos para realizar el ensayo de índice de fluidez, estos métodos abarcan desde un método A hasta un método C, sin embargo, los métodos A y B son los más utilizados en la industria mientras que el método C se utiliza en casos particulares. Estos métodos se describen a continuación:

El método A es considerado como un método manual, ya que su proceso consiste en realizar cortes sobre el filamento extruido adquiriendo muestras para ser pesadas y obtener su masa (M). Posteriormente se realiza el cálculo dividiéndola para el intervalo de tiempo de corte (t) transcurrido como se observa en la ecuación 1.1, logrando así medir el índice de fluidez del material por cada muestra para finalmente generar un promedio. El factor de 600 es necesario para obtener el índice en unidades sobre 10 min.

$$MFI = \frac{M}{t} * 600 \left[\frac{gr}{10 \text{ min}} \right] \quad (1.1)$$

El método B se lo considera un proceso de medición automática del índice de fluidez ya que adquiere datos a medida que el pistón desciende y se produce la extrusión del material. La variable necesaria para el cálculo es la velocidad durante la distancia recorrida (L) del pistón y el tiempo (t) con el que desciende. Adicionalmente se debe conocer el área promedio (A_{pr}) existente entre el pistón y cilindro, junto con el mismo factor de 600 tal como se muestra en la ecuación 1.2.

$$MVR = \frac{L}{t} * A_{pr} * 600 \left[\frac{cm^3}{10 \text{ min}} \right] \quad (1.2)$$

Este método no obtiene el valor directamente de índice de fluidez, se obtiene el índice MVR (Melt Volume Rate) que corresponde a taza volumétrica de fusión con unidades de [cm³/10 min]. Sin embargo, la ecuación 1.3 muestra que multiplicando la densidad (ρ) de la muestra a la temperatura de ensayo se lo puede obtener en términos de [gr/10 min] correspondiente al índice de fluidez MFI.

$$MFI = MVR * \rho \left[\frac{gr}{10 \text{ min}} \right] \quad (1.3)$$

El método C se menciona en la norma ASTM D 1238 y esta designada para casos donde los materiales cuentan con un índice de fluidez mayor a 75 gr/10 min. Este método es muy parecido al método B, con la diferencia que el dado tendrá la mitad de la altura y diámetro con respecto a las dimensiones que se indica para el método B.

Por tanto, en este trabajo se presenta el diseño y prototipado de un medidor de índice de fluidez considerando que la empresa en la actualidad no cuenta con un equipo que permita incluir este indicador a sus productos elaborados verificando la calidad de la materia prima utilizada ya que como se mencionó previamente esta empresa trabaja con polietilenos reprocessado

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

La metodología del proyecto se basó en el proceso de diseño desglosado en varias etapas que se describen en el libro de Dieter & Schmidt “Engineering Design”. Para la realización del proyecto las etapas a desarrollar se detallan en la figura 2.1. Como se puede observar luego de haber establecido la definición del problema a resolver, el siguiente proceso para obtener un diseño conceptual es realizar el proceso de benchmarking, donde se analiza:

- Características de los equipos existentes en el mercado de marcas reconocidas
- Requerimientos de los usuarios
- Requerimientos técnicos
- Restricciones y limitaciones de diseño
- Herramienta “Casa de la calidad”

Este análisis se encuentra desglosado en la sección de apéndice A Benchmarking, sin embargo, la casa de la calidad se la puede observar en la figura 2.2

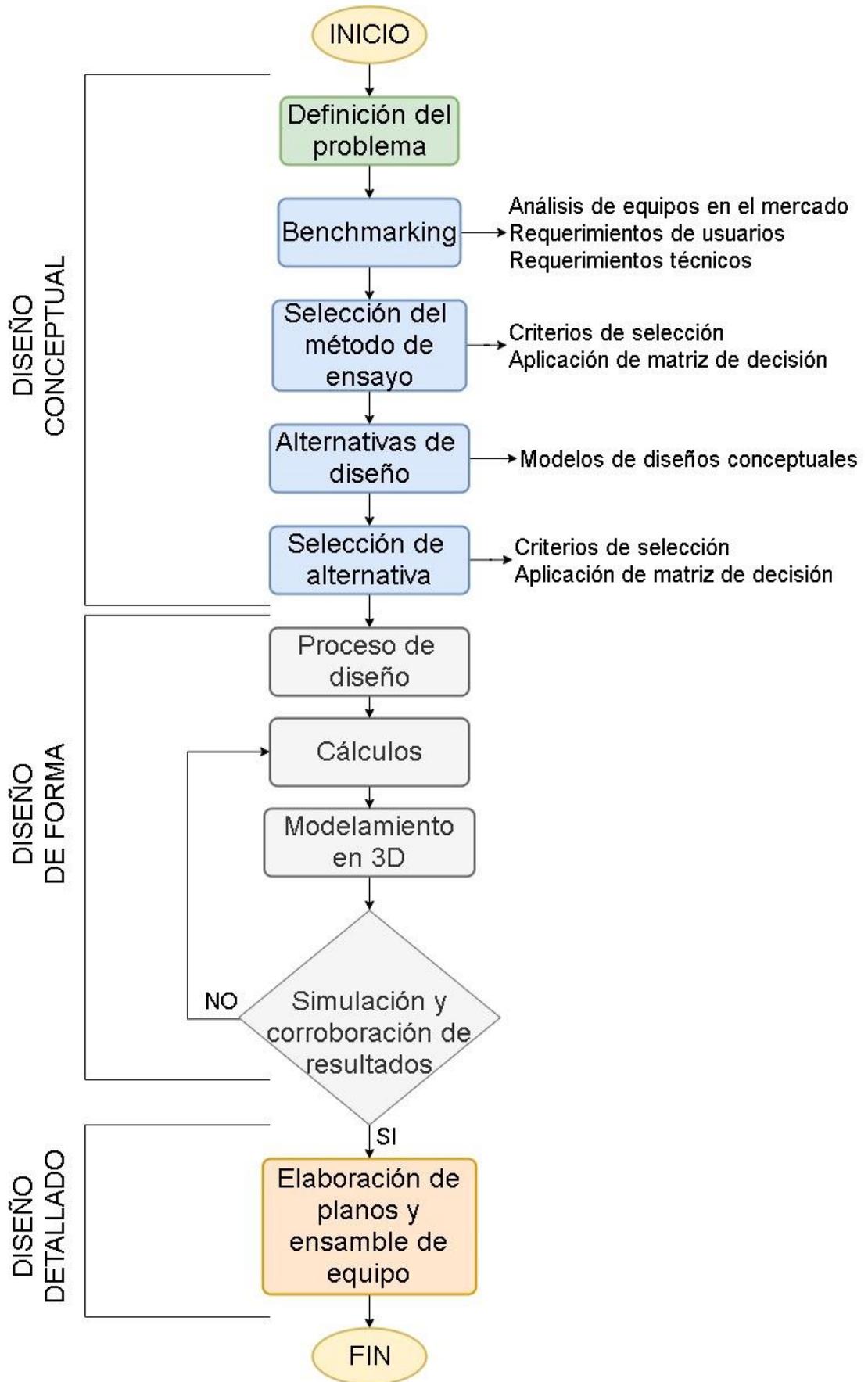


Figura 2.1: Etapas para el desarrollo del proyecto [Elaboración propia].

La casa de calidad nos permite realizar una relación entre los requerimientos de usuarios y los requerimientos técnicos, cuyos resultados se observan en la figura 2.2:

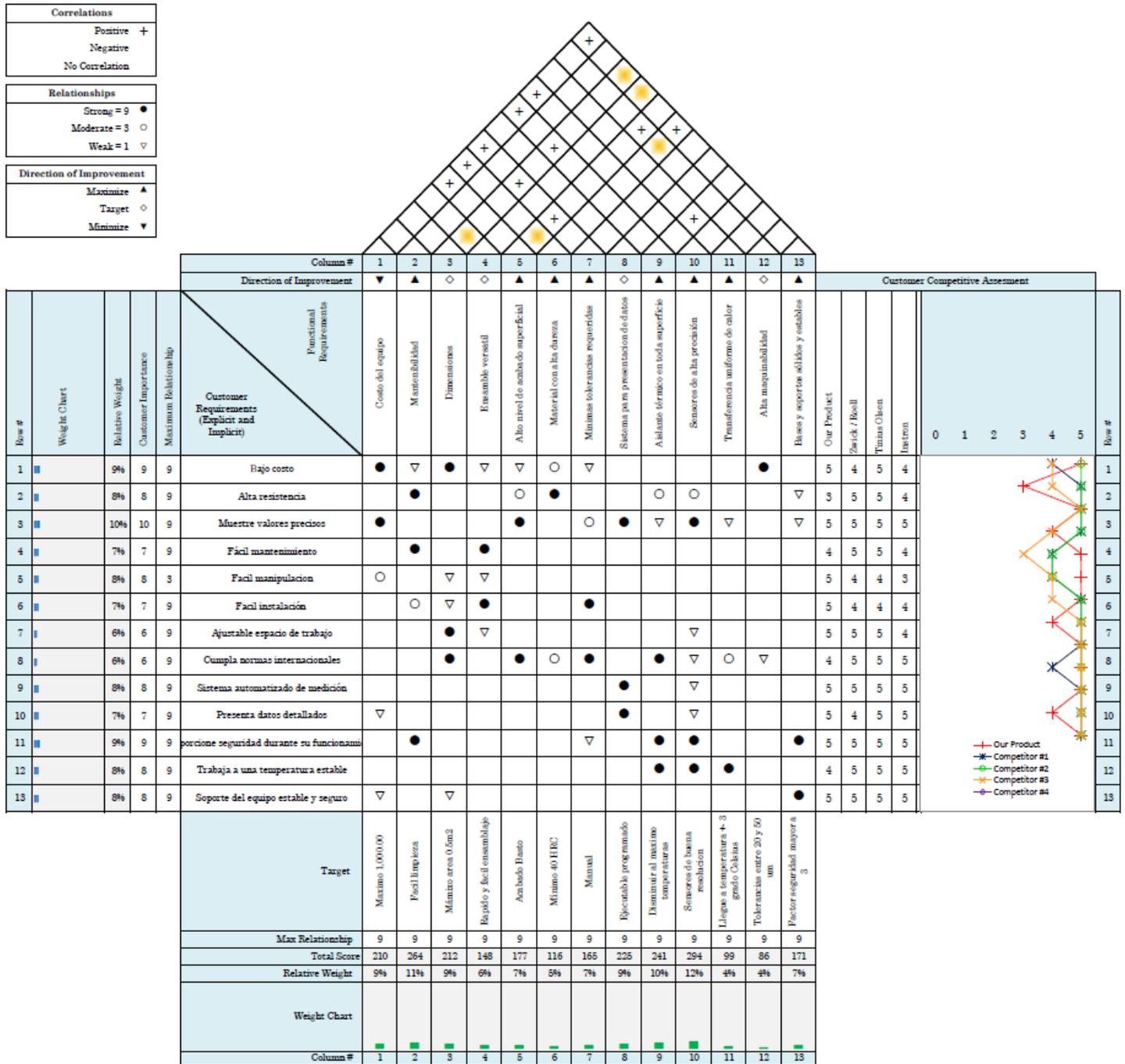


Figura 2.2: Casa de la calidad [Elaboración propia].

2.1 Métodos de ensayo

A continuación, se presentan las alternativas de métodos de ensayo. Gracias al uso de criterios de selección y una matriz de decisión se seleccionó la mejor alternativa.

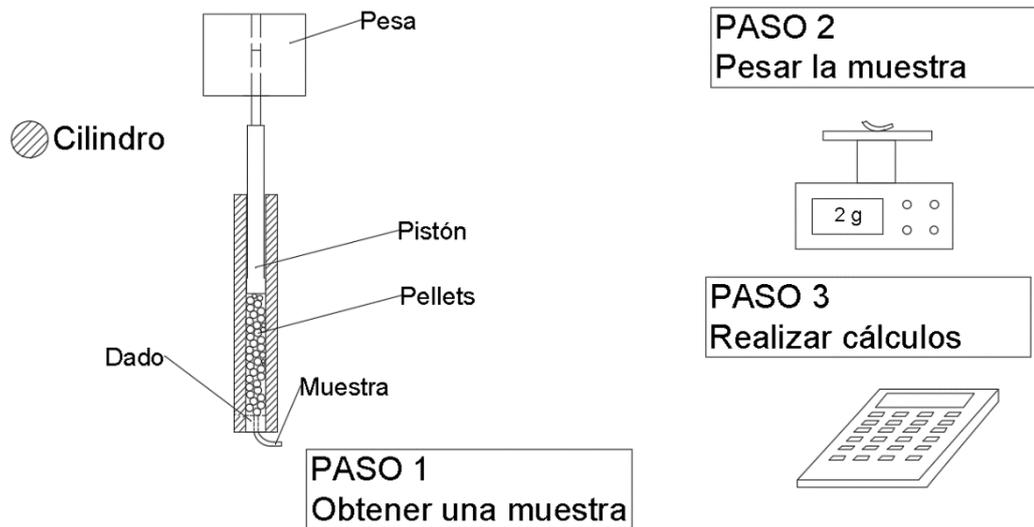


Figura 2.3: Alternativa para método A [Elaboración propia].

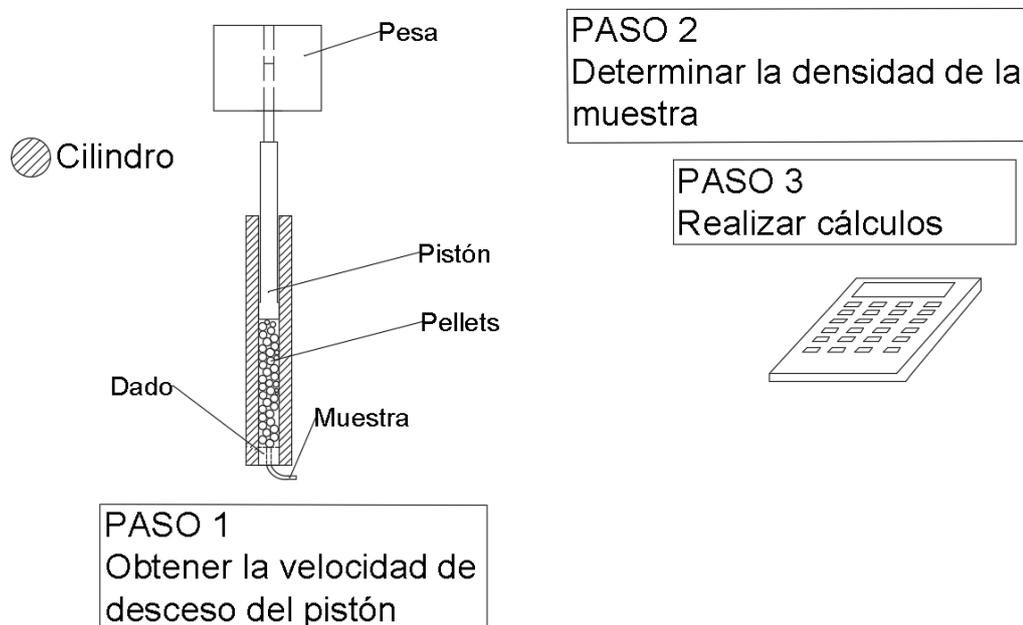


Figura 2.4: Alternativa para método B [Elaboración propia].

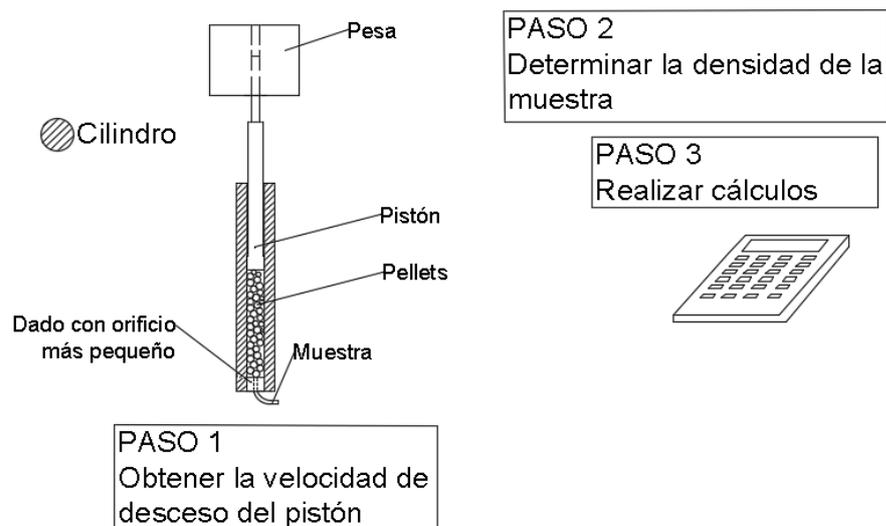


Figura 2.5: Alternativa para método C [Elaboración propia].

2.1.1 Selección de alternativa de método de ensayo

El proceso de selección de alternativa de métodos se encuentra en la sección de apéndice B, sin embargo, en la tabla 2.1 se puede observar la matriz de decisión para la selección del método de ensayo.

Tabla 2.1: Matriz de decisión de métodos de ensayo [Elaboración propia].

Matriz de decisión							
Alternativas de solución		Método A		Método B		Método C	
Variables de evaluación	peso	Puntaje	Total	Puntaje	Total	Puntaje	Total
Mínima Intervención humana	0.44	1.00	0.44	5	2.18	5	2.18
Confiabledad de resultados	0.30	4.00	1.20	5	1.50	5	1.50
Rango de aplicación	0.15	3.00	0.45	5	0.76	1	0.15
Mantenibilidad	0.08	4.00	0.31	4	0.31	2	0.16
Fácil uso	0.03	3.00	0.10	5	0.17	4	0.13
Total	1.00		2.51		4.92		4.13

Como se observa en la tabla 2.1 la alternativa con mayor puntaje es el método B.

2.2 Proceso de ensayo de índice de fluidez

El proceso para el desarrollo del ensayo de índice de fluidez del método B basado en las normas ASTM D1238 e ISO 1133 es realizado como se observa en la figura 2.6

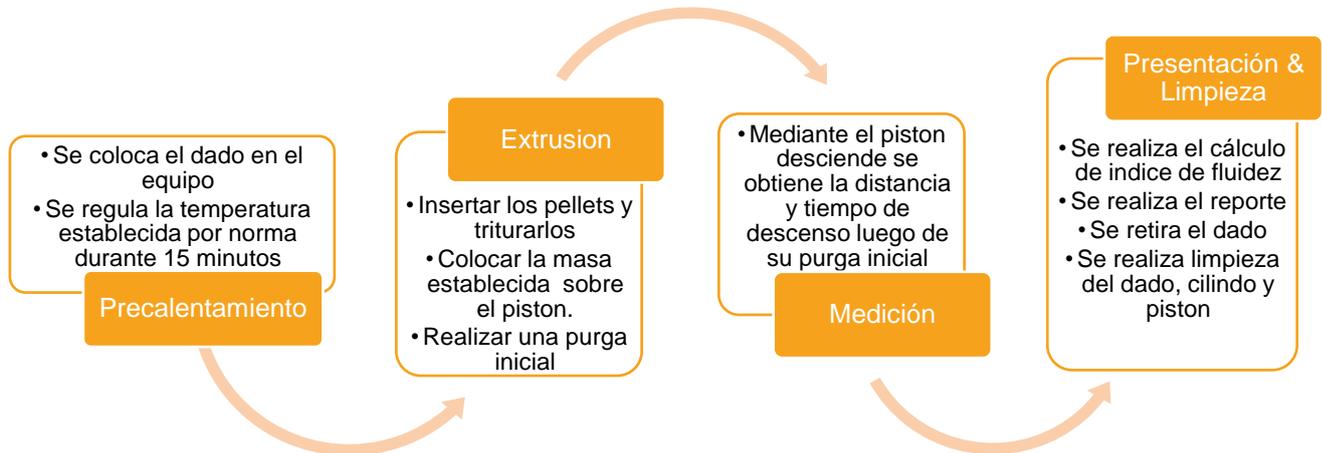


Figura 2.6: Proceso de ensayo de índice de fluidez [Elaboración propia].

2.3 Alternativas de diseño

A continuación, se muestran 3 alternativas para el diseño del equipo medidor de índice de fluidez. Cada alternativa será descrita para su posterior evaluación y mediante una matriz de decisión se seleccionará la alternativa de diseño definitiva.

2.3.1 Alternativa A

Esta alternativa (figura 2.7) tiene como instrumento de medición un encoder incremental rotacional colocado sobre una placa aislante sobre el cilindro, mediante un pequeño brazo colocado en su eje hará contacto con la pesa y realizará la toma de datos respectivos. Su sistema de calentamiento consiste en una resistencia en banda que calentará el cilindro en todo su diámetro y cuenta con una base que servirá de soporte brindando estabilidad al equipo. Su sistema guía comprende de una camisa (bushing) que se ajusta a la boca del cilindro guiando al cilindro de manera recta.

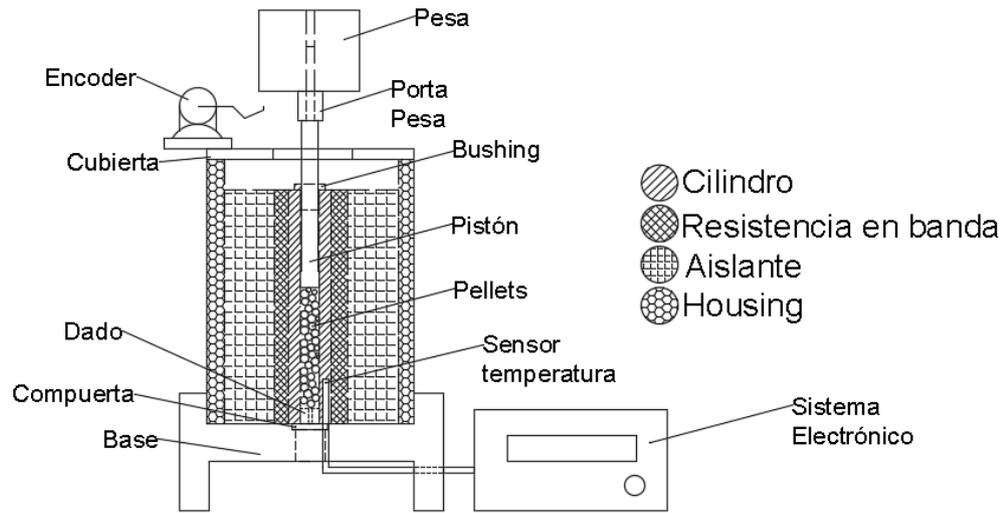


Figura 2.7: Alternativa de diseño conceptual A [Elaboración propia].

2.3.2 Alternativa B

Esta alternativa como se observa en la figura 2.8 tiene como instrumento de medición un sensor emisor receptor laser, el pistón cuenta con 2 orificios en su centro que permite el paso de este laser tomando medidas solamente cuando reciba una señal. Su sistema de calentamiento es una resistencia en espiral alrededor del cilindro y cuenta con un soporte posterior que se encuentra en todo momento empernado a la pared ajustándose al equipo mediante abrazaderas. Finalmente, su sistema guía es una pequeña argolla saliendo desde el soporte brindando un amarre al pistón.

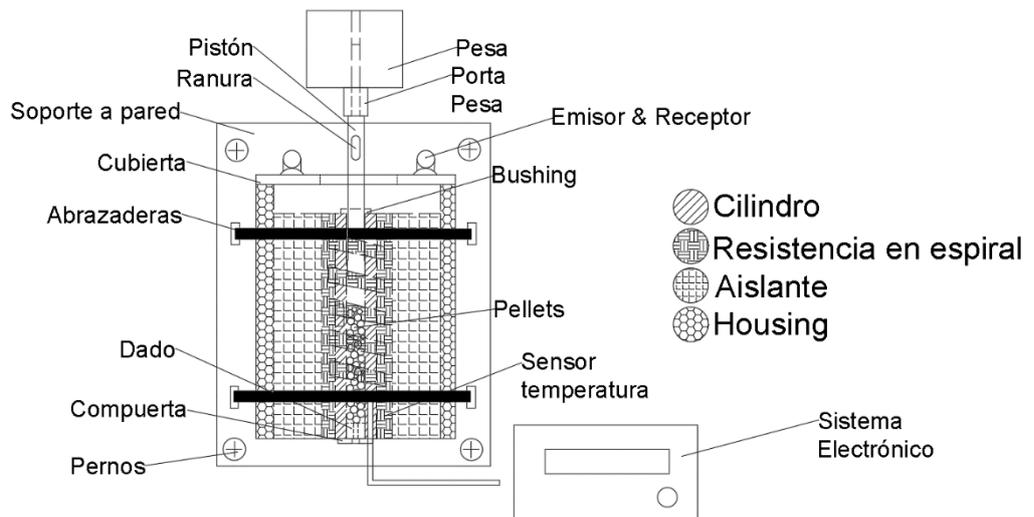


Figura 2.8: Alternativa de diseño conceptual B [Elaboración propia].

2.3.3 Alternativa C

La última alternativa como se observa en la figura 2.9 tiene como instrumento de medición un sensor ultrasónico, el cual registra el movimiento del pistón. Su sistema de calentamiento son 2 resistencias cerámicas y cuenta con un soporte a sus costados ajustado mediante 4 pernos a distintas alturas, adicionalmente cuenta con una plataforma en un soporte donde será colocado el sensor y en el otro soporte se encuentra un brazo saliente con un pequeño orificio que será de guía para el pistón.

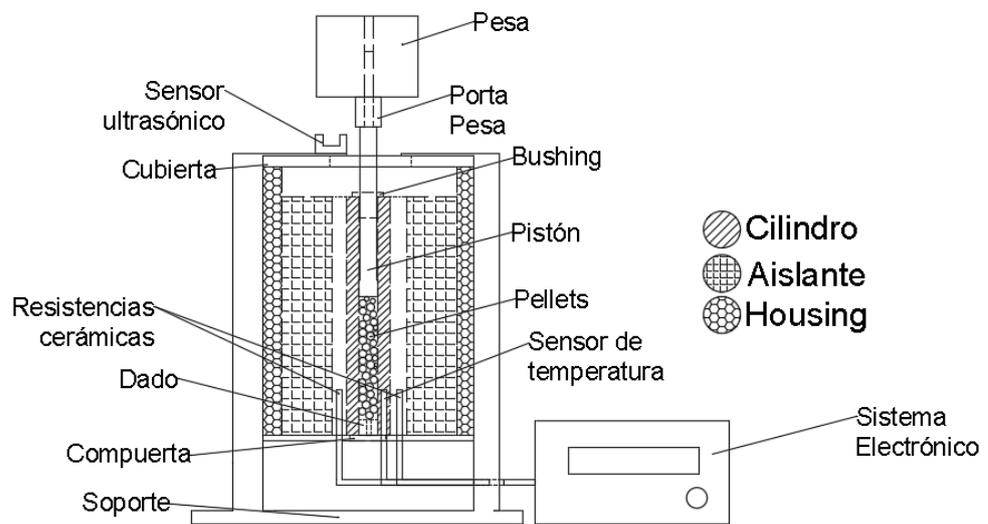


Figura 2.9: Alternativa de diseño conceptual C [Elaboración propia].

2.4 Selección de alternativas de diseño conceptuales.

De la misma manera como se realizó anteriormente se definieron criterios de selección, estos fueron considerados en base a los requerimientos de los usuarios con nuestras respectivas restricciones de diseño, la ponderación para cada criterio fue realizada del mismo modo empleado en la sección de selección del método de ensayo y se detallan en la tabla 2.2

Tabla 2.2: Tabla de criterios de selección [Elaboración propia].

Criterio de selección	Descripción	Ponderación (relativa)
Costo	Máximo costo del equipo \$1,000.00	17%
Durabilidad	Dureza mínima de cilindro y boquilla 300 HB	17%
	Dureza Pistón < Dureza cilindro	
Eficiencia	La interfaz debe ser fácil operación contando con sensores de buena resolución	21%
Seguridad	El equipo no debe presentar ningún riesgo durante su operación a los usuarios.	10%
Mantenibilidad	El equipo debe ser de fácil ensamblaje permitiendo su montaje y desmontaje con facilidad para realizar sus periodos de mantenimientos de manera correcta y sencilla.	9%
Precisión	Los valores obtenidos deberán ser los más precisos posibles, este criterio es considerado uno de los más importantes	25%

Tabla 2.3: Matriz de decisión de alternativas de diseño [Elaboración propia].

Matriz de decisión							
Alternativas de diseño		Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C	
Variables de evaluación	Peso	Puntaje	Total	Puntaje	Total	Puntaje	Total
Costo	0.17	5	0.85	4	0.68	5	0.85
Durabilidad	0.17	5	0.85	5	0.85	5	0.85
Eficiencia	0.21	5	1.05	5	1.05	3	0.63
Seguridad	0.1	4	0.4	4	0.4	4	0.4
Mantenibilidad	0.09	5	0.45	3	0.27	4	0.36
Precisión	0.25	4	1	3	0.75	3	0.75
Total	1		4.6		4		3.84

Por lo tanto, la alternativa de diseño seleccionada es la alternativa A.

2.5 Arquitectura de diseño

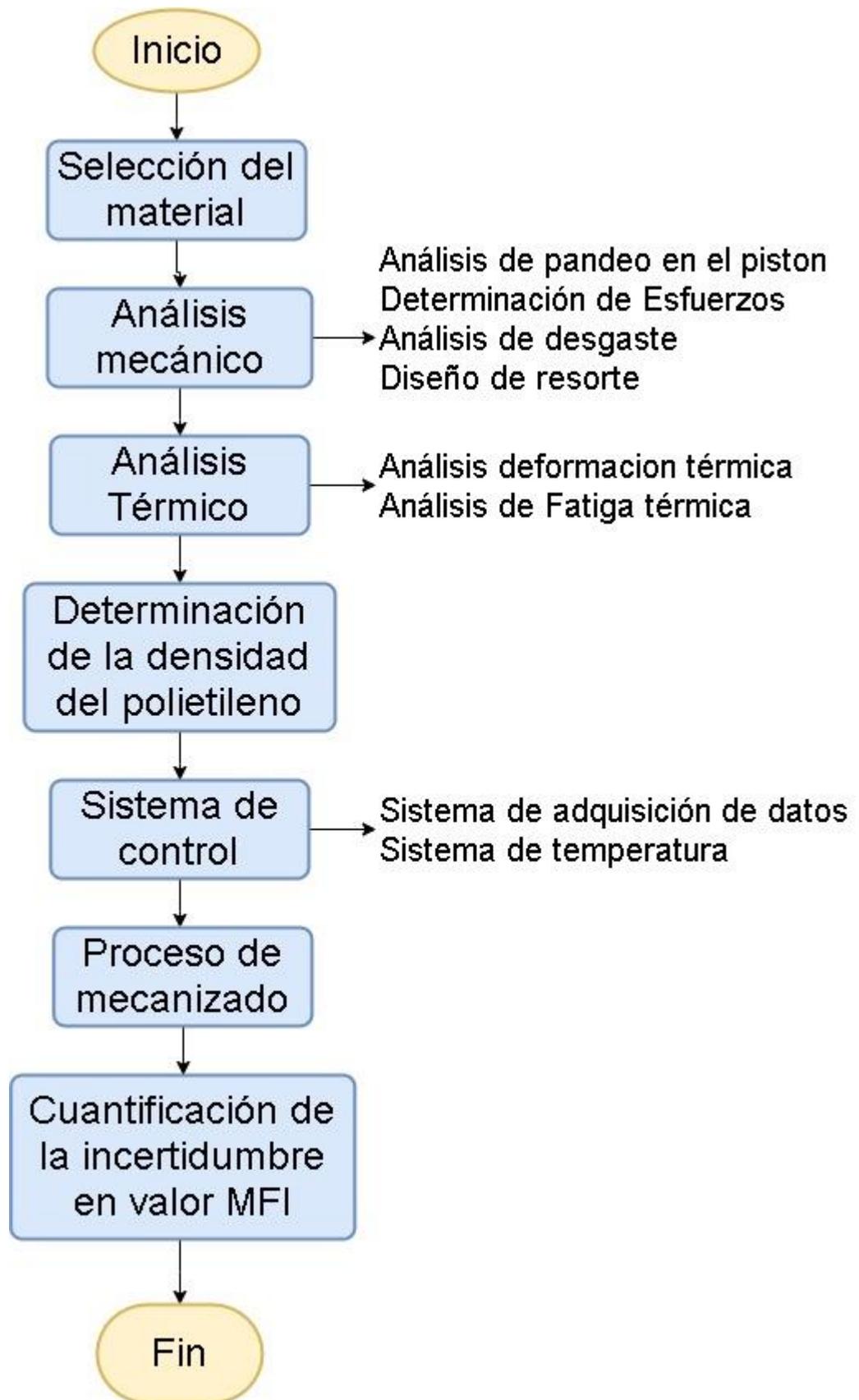


Figura 2.10: Arquitectura de diseño [Elaboración propia].

2.5.1 Selección de material

La selección del material se la realizó evaluando materiales utilizando las gráficas conocidas como “Ashby charts” proporcionadas por el software CES Edupack / Ansys, las cuales presentan propiedades del material en su eje vertical y horizontal, trazando líneas en los valores requeridos. Los parámetros utilizados para realizar la selección se relacionan con la tabla 2-A de restricciones y limitaciones de diseño del apéndice A:

- Dureza > 300 HB
- $20 < \text{Conductividad térmica} < 100$
- Precio x Kg < 20

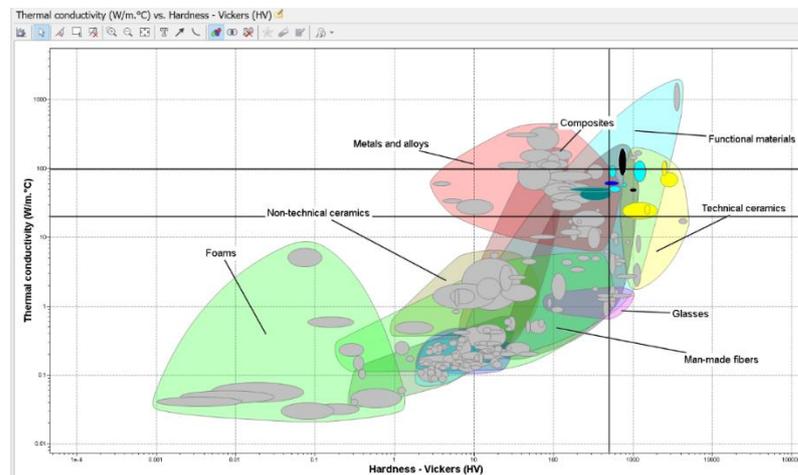


Figura 2.11: Conductividad térmica vs Dureza [Elaboración propia].

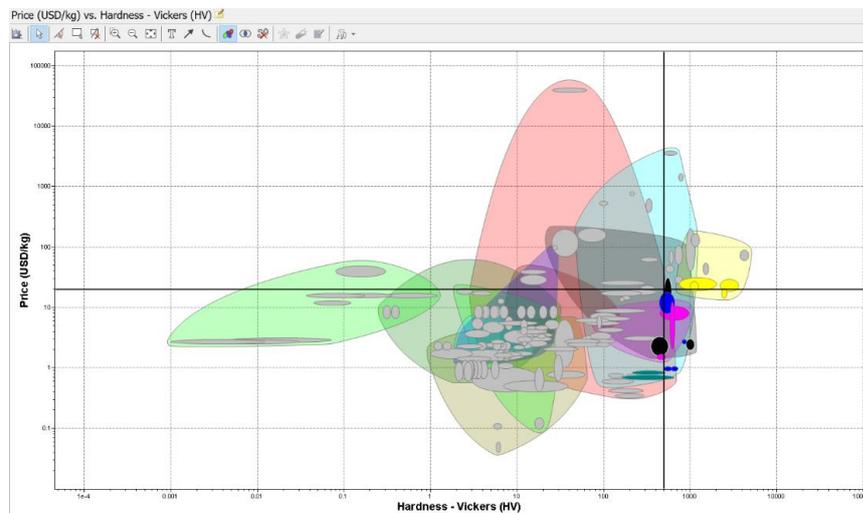


Figura 2.12: Precio x Kg Vs Dureza [Elaboración propia].

2.5.2 Análisis mecánico

2.5.2.1 Esfuerzos de presión

Para encontrar los esfuerzos presentes en las paredes del cilindro, primero se halló el valor de la presión dentro del mismo usando la siguiente ecuación:

$$P_{total} = P_{manométrica} + P_{hidrostática} \quad (2.1)$$

Cabe recalcar que los cálculos se realizaron para el caso más crítico, es decir cuando en el interior del cilindro se encuentre el máxima nivel de polietileno en estado de fusión.

Para determinar la magnitud del esfuerzo presente en el dado durante el proceso de extrusión se consideró las gráficas presentadas por Lange K., donde se relaciona el esfuerzo inicial de flujo con la relación entre la altura del material a extruirse con el diámetro interior del cilindro. (Lange, 1985)

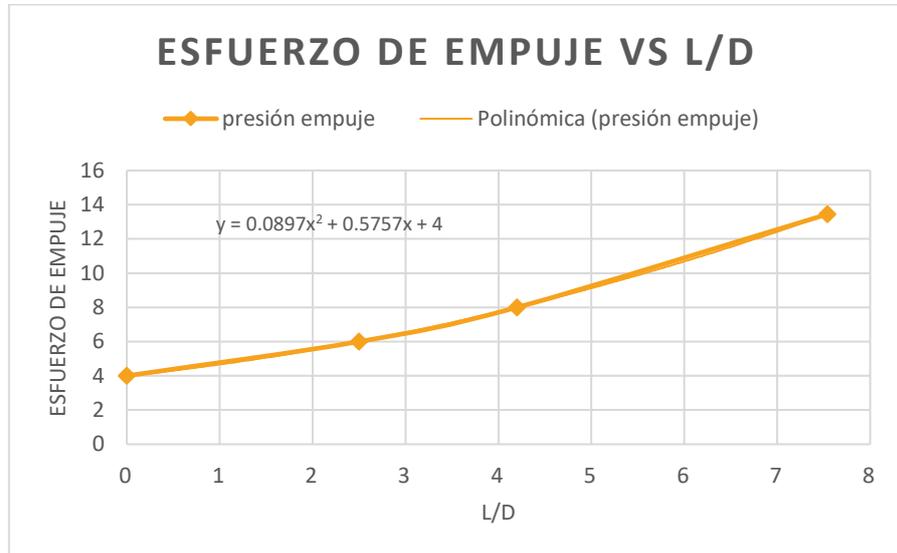


Figura 2.13: Esfuerzo de empuje a la entrada del cilindro de acuerdo a la relación de longitud/diámetro [Elaboración propia].

Los esfuerzos radiales y tangenciales máximos están presentes en las paredes interiores del cilindro, cuyas magnitudes se calcularon con las ecuaciones de cilindro de pared gruesa, considerando que la presión en el exterior es nula:

$$\sigma_{tangencial} = \frac{r_i^2 * p_i}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 + \frac{r_o^2}{r^2} \right) \quad (2.2)$$

$$\sigma_{radial} = \frac{r_i^2 * p_i}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 - \frac{r_o^2}{r^2} \right) \quad (2.3)$$

$$\sigma_{entrada_dado} = n \sigma_{fo} \quad 1 \leq n \leq 4 \quad (2.4)$$

Para obtener el factor de seguridad del diseño, se usó la ecuación bidimensional de la energía de distorsión (teoría de Von Mises), donde se usarán los esfuerzos radiales y tangenciales:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_t^2 - \sigma_r \sigma_t} \quad (2.5)$$

$$Fator\ seguridad = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (2.6)$$

2.5.2.2 Desgaste adhesivo

El desgaste debido a la adhesión entre superficies obedece el modelo de Archard. El coeficiente K está relacionada con la rugosidad del material, cuyo valor puede verse afectado por la velocidad de deslizamiento (Tabor, 2006). El desgaste adhesivo volumétrico por distancia de deslizamiento se determina por la ecuación 2.7.

$$V = K \frac{W}{3H} \left[\frac{mm^3}{mm} \right] \quad (2.7)$$

Donde:

- K = Coeficiente de desgaste adhesivo
- W = Fuerza normal aplicada al pistón [Kgf]
- H = Dureza del material [Kgf/mm²]

2.5.2.3 Desgaste abrasivo

El desgaste abrasivo entre polietileno – acero está presente en el cilindro, el dado y el pistón del equipo de medición. Para determinar la profundidad del desgaste se usó la ecuación 2.8. (Rabinowicz, 1984) .

$$pfd = \frac{k * \tau * l}{H} \quad (2.8)$$

Donde:

- K = coeficiente de desgaste
- τ = esfuerzo cortante [$N\ m^{-2}$]
- l = distancia de deslizamiento [m]
- H = dureza del material [Mpa]
- pfd = profundidad de desgaste [m]

Los esfuerzos cortantes presentes en el cilindro y pistón difieren de los esfuerzos que actúan en el dado. Por lo tanto, estos esfuerzos fueron calculados usando la viscosidad del material y la velocidad de corte aparente correspondiente para cada elemento (Alfred Rudin & Vlasschaert, 1971).

Para el dado

$$\gamma_{dado} = \frac{4 * r^2 * v}{R^3} \quad (2.9)$$

$$\tau_{dado} = \mu \gamma_{dado} \quad (2.10)$$

Donde:

- R = Radio del dado [m]
- l = longitud del dado [m]
- r = radio del cilindro [m]
- v = velocidad de extrusión dentro del cilindro [m/s]
- γ_{dado} = velocidad de corte en las paredes del dado [sg^{-1}]
- τ_{dado} = Esfuerzo cortante en las paredes del dado [Pa]

Los valores de viscosidad y velocidad de extrusión se tomaron de datos reológicos experimentales de un polímero en específico proporcionado por el laboratorio de

Lemat; los cuales fueron ingresados al software de Ansys polyflow y simulados posteriormente en Ansys fluent, para así determinar la velocidad de extrusión del polímero.

Para el cilindro y pistón

$$\gamma_{cyp} = \frac{\gamma_{dado} \left(3 + \frac{\log(\gamma_{dado})}{\log(\tau_{dado})} \right)}{4} \quad (2.11)$$

$$\tau_{cyp} = \mu \gamma_{cyp} \quad (2.12)$$

Donde:

- γ_{cyp} = Velocidad de corte en el cilindro y pistón [sg^{-1}]
- τ_{cyp} = esfuerzo cortante en el cilindro y pistón [Pa]
- μ = viscosidad dinámica [Pa * Sg]

2.5.2.4 Análisis de pandeo del pistón

Se relacionó el sistema de pistón – pesas como una columna larga sometida a carga de compresión, para así diseñar el pistón de tal forma que esté sujeto al rango de medidas determinado por la norma y no presente fallas por pandeo. Para esto primero se determinó la razón de esbeltez del pistón, asumiendo el sistema como una columna empotrada – libre.

$$S_r = \frac{l}{r} \quad (2.13)$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (2.14)$$

$$C_c = \pi \sqrt{\frac{2E}{S_{yc}}} \quad (2.15)$$

$$P_{cr} = \left[N \frac{EI\pi^2}{L^2} \right] \frac{1}{F_s} \quad (2.16)$$

$$\frac{P_{cr}}{A} = S_y - \frac{1}{E} \left(\frac{S_y * S_r}{2\pi} \right)^2 \quad (2.17)$$

- C_c : Relación de esbeltez
- r : Radio de giro
- S_r : Esbeltez
- P_{cr} : Fuerza crítica
- E : Módulo de Young
- S_y : Resistencia a la fluencia
- FS : Factor de seguridad

2.5.3 Análisis térmico

2.5.3.1 Determinación tiempo de calentamiento

Para el análisis de transferencia de calor en estado transitorio se utilizó la ecuación de energía, donde la temperatura en el cilindro dependerá del tiempo transcurrido y se tendrá un flujo de calor constante generado por la resistencia eléctrica. También se consideró las pérdidas por convección con el ambiente y el circuito de resistencias térmicas generadas por el aislante térmico y la carcasa o housing.

Para determinar la potencia de la resistencia que me permita llevar el cilindro a una temperatura de 190°C en un tiempo mayor o igual a 15 minutos se utilizó la ecuación 2.17.

$$Q_{generado} - Q_{sale} = mC_p \frac{dT}{dt} \quad (2.17)$$

2.5.3.1 Fatiga térmica

Al momento de llevar el cilindro a la temperatura de ensayo (190 °C) se generarán dilataciones térmicas en las dimensiones del cilindro provocando deformaciones tanto lineales como laterales. Dichas deformaciones serán las causantes de la fatiga térmica que fue determinada por la ecuación 2.18. El criterio de falla Mason – Coffin usa el rango de deformación elástica ($\Delta\varepsilon_{el}$) del material para así determinar los números de ciclos (N_f) a los cuales el material fallará por fatiga. La ecuación 2.19 está conformada por constantes que dependen del material y la temperatura máxima alcanzada (Halford, 1986):

$$(\Delta\varepsilon_{el}) = A (N_f)^\alpha \quad (2.18)$$

$$A = \frac{K * B^n}{E} \quad (2.19)$$

2.5.4 Diseño del resorte en el soporte del encoder

Se diseñó un resorte helicoidal de torsión con requerimientos de desplazamiento angular mayor a 30° y una resistencia a la fatiga y la fluencia que me garantice el correcto funcionamiento del equipo. Para esto se empleó las siguientes ecuaciones(Norton, 2000):

$$M = K \theta_{rev} \quad (2.24)$$

$$K = \frac{d^4 * E}{10.8 * D * N_a} \quad (2.25)$$

$$C = \frac{D}{d} \quad (2.26)$$

$$M = K \theta_{rev} \quad (2.27)$$

$$\sigma_i = K_{bi} \frac{32 M_{max}}{\pi d^3} \quad (2.28)$$

$$S_y = C * A d^b \quad (2.29)$$

$$S_e = 0.5 \frac{S_{ewb} S_{ut}}{S_{ut} - 0.5 S_{ewb}} \quad (2.30)$$

$$N_f = \frac{S_e(S_{ut} - \sigma_{omin})}{S_e(\sigma_{omedio} - \sigma_{omin}) + S_{ut}\sigma_{omax}} \quad (2.31)$$

$$N_y = \frac{S_y}{\sigma_{imáx}} \quad (2.32)$$

- K : Constante del resorte [N*m/rev]
- θ_{rev} : desplazamiento angular [Rev]
- C : Índice del resorte
- K_{bi} : Facto de flexión de Wahl
- S_{ewb} : Resistencia límite a la fatiga por flexión [Pa]
- S_e : Resistencia a la fatiga por flexión invertida [Pa]

2.5.5 Determinación de la densidad del polímero para el ensayo

La densidad de un polímero cambia respecto a su temperatura, especialmente en su cambio de fase, cuyo cambio es aproximadamente lineal a temperaturas mayores a su punto de fusión (135⁰C). Los efectos de presión no son tan significativos al momento de compararlos con los efectos de la temperatura (Woo et al., 1995):

Empleando la ecuación 2.34, Donde T [°C] es la temperatura a la cual se quiere conocer la densidad en [g/cm³] (Woo, 1995) y usando la gráfica de volumen específico vs temperatura (A. Rudin, 2007) representada por la ecuación 2.35, se determinó el valor de densidad, la cual se usó para determinar la incertidumbre del equipo.

$$\frac{1}{\rho} = 1.14 + 0.0009 * T \quad (2.34)$$

$$v = 1.282 + 9.0 \times 10^{-4}(T - 150) \quad (2.35)$$

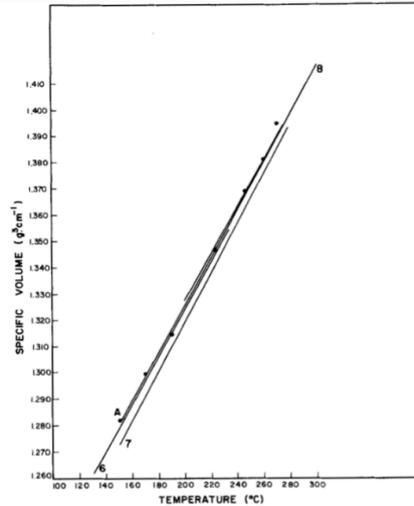


Figura 2.14: Volumen específico vs Temperatura [A. Rudin, 2007].

2.5.6 Sistema de control

2.5.6.1 Diseño de sistema de adquisición de datos

El encoder rota a medida que el pistón descienda por medio de acople donde un extremo está en contacto con la pesa del pistón y el otro extremo contiene una ranura circular la cual es concéntrica con el eje del encoder. Como se observa en la figura 2.15, para obtener el desplazamiento vertical del pistón se utilizó la ecuación 2.36, donde para conocer el ángulo de oscilación siendo el ángulo de rotación del encoder se lo obtiene de la ecuación 2.37.

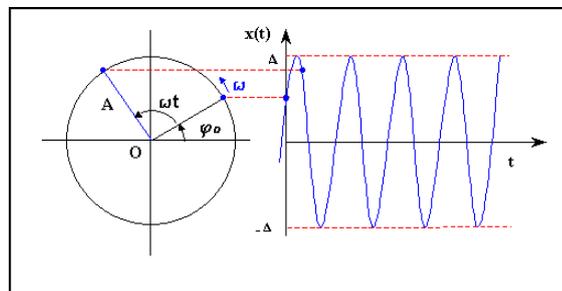


Figura 2.15: Movimiento armónico simple [Elaboración propia].

$$Y = A \sin(\theta) \quad (2.36)$$

$$\theta = \frac{360^\circ}{\text{Número Bits por revolución}} \quad (2.37)$$

Finalmente, mediante el software de LabVIEW se realizó la interfaz con el operador que permitió el cómputo de datos registrados por una tarjeta de Arduino Uno mediante la programación observada en la figura 2.16; también permitió generar el reporte del ensayo efectuado. Este proceso se lo observa en la figura 2.17 donde muestra la programación del sistema, mientras que en la figura 2.18 se muestra un esquema de las conexiones de la electrónica implementada.

Encoder

```
volatile unsigned int temp, counter = 0; //This variable will increase or decrease depending on the rotation of encoder
void setup() {
  Serial.begin (9600);

  pinMode(2, INPUT_PULLUP); // internal pullup input pin 2

  pinMode(3, INPUT_PULLUP); // internal pullup input pin 3
//Setting up interrupt
  //A rising pulse from encoder activated ai0(). AttachInterrupt 0 is DigitalPin nr 2 on most Arduino.
  attachInterrupt(0, ai0, RISING);

  //B rising pulse from encoder activated ai1(). AttachInterrupt 1 is DigitalPin nr 3 on most Arduino.
  attachInterrupt(1, ai1, RISING);
}

void loop() {
  // Send the value of counter
  if( counter != temp ){
    Serial.println (counter);
    temp = counter;
  }
}

void ai0() {
  // ai0 is activated if DigitalPin nr 2 is going from LOW to HIGH
  // Check pin 3 to determine the direction
  if(digitalRead(3)!=LOW) {

    counter++;
  }//else{
  //counter--;
  //}
}

void ai1() {
  // ai1 is activated if DigitalPin nr 3 is going from LOW to HIGH
  // Check with pin 2 to determine the direction
  if(digitalRead(2)!=LOW) {
    counter++;
  }//else{
  //counter--;
  //}
}
}
```

Figura 2.16: Programación de registros de los bits generados por el encoder [Elaboración propia].

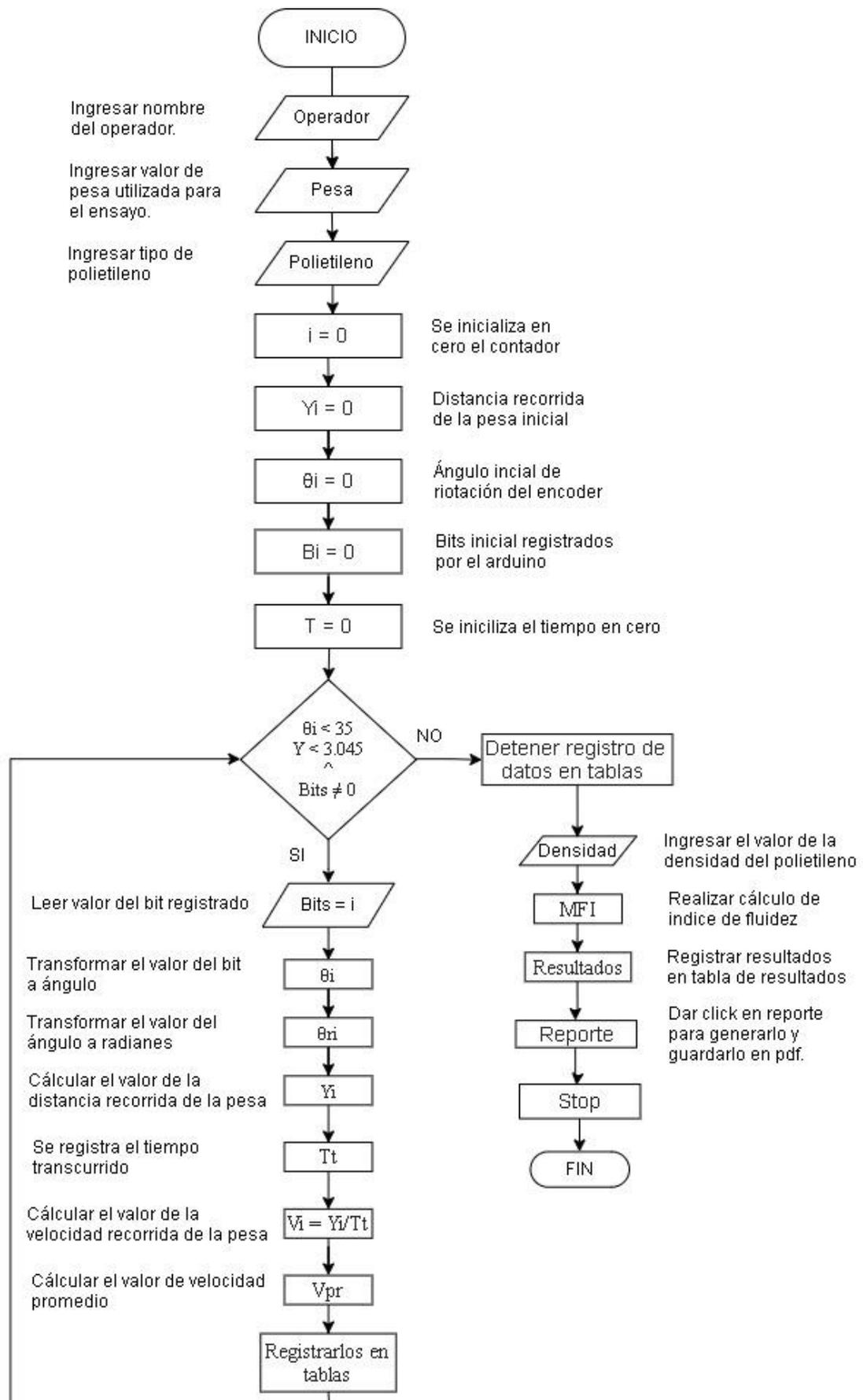


Figura 2.17: Programación del sistema [Elaboración propia].

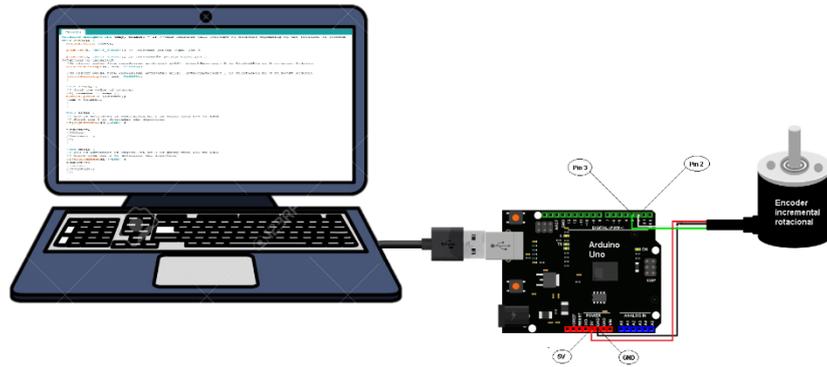


Figura 2.18: Conexión entre Encoder, Arduino Uno y Pc [Elaboración propia].

2.5.6.2 Diseño de sistema de control de temperatura

El control de temperatura se lo realizó mediante un relé de estado sólido, una tarjeta de Arduino mega, una tarjeta Ramps que cuenta con entradas para fuentes de alimentación, sensores de temperatura, conexión a la resistencia eléctrica, conexiones para pantallas Lcd y demás. Para su programación se utilizó el software de Arduino, mientras que se utilizó el software Pronterface para encontrar los parámetros fundamentales de un controlador PID como se observa en la figura 2.19.

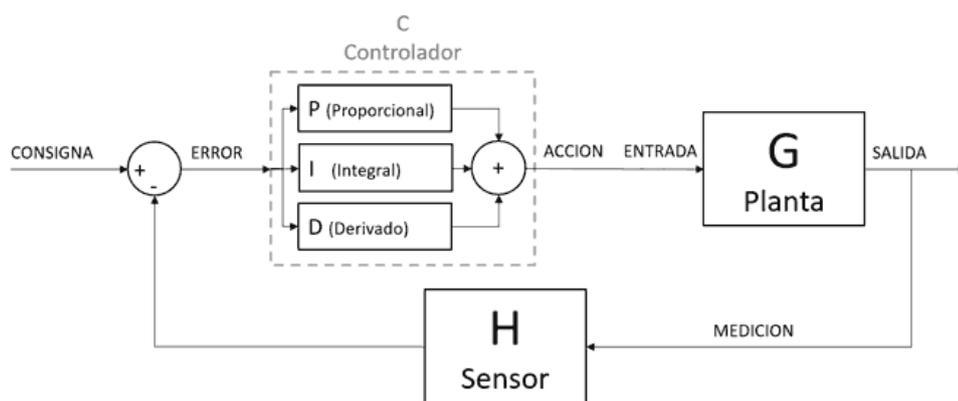


Figura 2.19: Sistema de retroalimentación [Elaboración propia].

El controlador PID a través de su lazo de retroalimentación disminuye el error de manera constante que recibe el sensor, con el fin de regular la temperatura a la requerida lo más precisa posible, para esto la tarjeta Ramps emite señales hacia

el relé para que abra y cierre la entrada de voltaje desde la fuente hacia la resistencia, logrando que se establezca de manera más precisa. Las conexiones de este sistema de control se encuentran en las figuras 2.20, 2.21 y 2.22

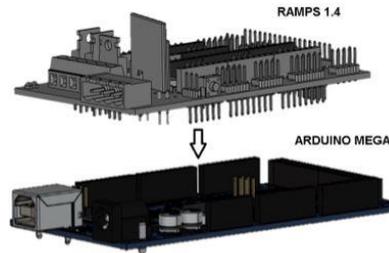


Figura 2.20: Conexión entre Arduino Mega y tarjeta Ramps 1.4 [Elaboración propia].

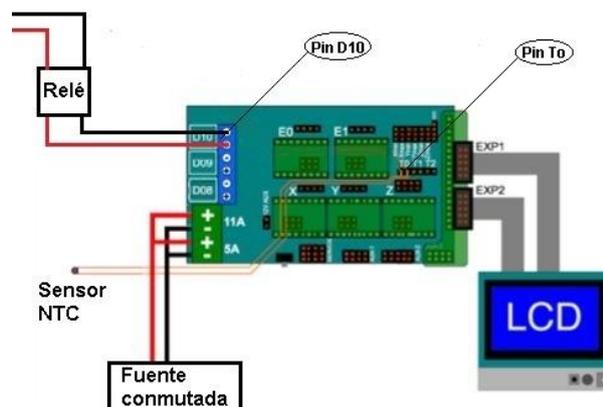


Figura 2.21: Conexiones en tarjeta Ramps 1.4 [Elaboración propia].

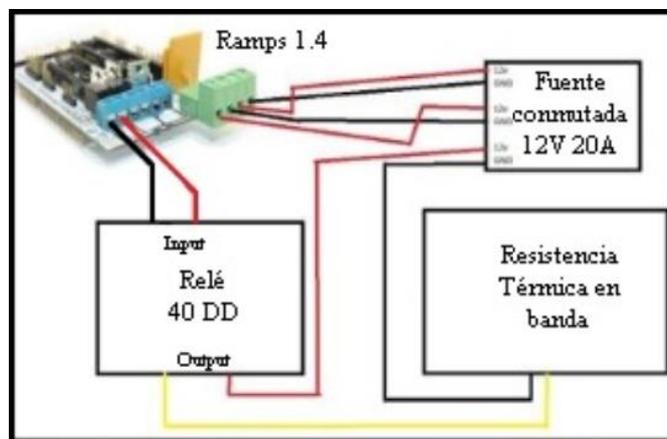


Figura 2.22: Conexiones en tarjeta Ramps 1.4 2 [Elaboración propia].

2.6 Simulación

Todo proceso de simulación para corroboración y generar resultados se lo realizó mediante el software de análisis de elementos finitos Ansys Fluents, para esto se utilizó el software de SolidWorks donde se dibujó el CAD del sistema para su análisis. También se utilizó el software Matlab para la simular el comportamiento del controlador PID.

2.7 Propagación de incertidumbre

La incertidumbre del equipo de medición es el resultado de una propagación de errores presente en los componentes electrónicos, dimensiones del equipo y en la variación de la densidad del material. Para obtener el valor de la incertidumbre en porcentaje se usó el método de derivadas parciales, empleando la ecuación 2.38.

$$\frac{\delta MFI}{MFI} = \sqrt{\left(\frac{\delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\delta \rho}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{\delta V}{V}\right)^2} \quad (2.38)$$

2.8 Criterios de selección de componentes para fabricación del prototipo

Para el proceso de fabricación del prototipo se considerarán los siguientes criterios:

- Los instrumentos de medición a utilizar fueron debidamente calibrados y encerados
- Para la selección del aislante térmico se buscó el de menor conductividad térmica disponible en el mercado, se obtuvo una fibra de cerámica con una conductividad térmica $K = 0.06 \frac{W}{mk}$ y densidad $\rho = 96 \frac{Kg}{m^3}$.
- El diseño de la resistencia fue de tal manera que cubra toda la longitud del cilindro y con un buen ajuste para obtener una transferencia de calor óptima. También se consideró la ubicación de los cables y sensor de temperatura para facilitar las conexiones al momento de ensamblarlo.
- Mediante el uso de la manufactura aditiva, se realizó el soporte del encoder y el embudo para ingresar los pellets al cilindro. El material utilizado fue PLA.

- El acople del encoder que mide el desplazamiento vertical del pistón fue impreso en 3D con material ABS, para así evitar cualquier deformación térmica del material.
- El material usado para la pesa del ensayo fue acero inoxidable debido a su alta densidad.
- Las tolerancias ISO seleccionada para los sistemas pistón-cilindro, dado-cilindro y bushing-pistón fueron de un ajuste fino giratorio, por lo tanto, se designó tolerancia g6 para eje y G7 para agujero. Los valores de dichas tolerancias se pueden observar en el apéndice E y en los planos respectivos.

Para la selección de las herramientas de corte, primero se necesitó conocer los materiales a mecanizar, los cuales fueron los siguientes:

Tabla 2.4: Materiales para cada pieza [Elaboración propia].

Pieza	Material
Housing	Acero Galvanizado
Tapa	Hierro negro
base	AISI 302
Soporte base	AISI 303
Pesa	AISI 304
Cilindro	AISI P20
Pistón	AISI 4340
bushing	AISI P20
Dado	AISI P20
portapesa	SAE 1018

Tabla 2.5: Herramienta – especificaciones – operación [Elaboración propia].

Herramientas	especificaciones	operación
Inserto de metal duro (carburo)	TNMH 11 03 08-MV	torneado interior
Inserto de metal duro (carburo)	TNMG 16 04 08-MS	torneado exterior
Broca de carburo de Tungsteno	Set de brocas diámetros :2-20 mm	taladrado
Fresa de carburo de Tungsteno	diámetro 8mm	fresado



Figura 2.23: Inserto de metal duro para torno [Elaboración propia].

Material	Vida de la herramienta	Alto rendimiento	Material
P	90min	15min	Acero carbono, acero aleado
M	90min	15min	Acero inoxidable
K	90min	15min	Fundición
S	25min	5min	Aleación de titanio Aleación a base de nickel
H	80min	10min	Acero endurecido

Figura 2.24: Clasificación de la herramienta para material [Elaboración propia].

Como se observa en las figuras 3.12 y 3.13, los insertos puede mecanizar tanto aceros al carbono como aceros inoxidables, por lo cual los insertos seleccionados son los ideales para el proceso de mecanizado.

2.9 Proceso de mecanizado

Para los cálculos de velocidad de corte y tiempos de mecanizados se usaron las siguientes ecuaciones:

$$N = \frac{V_c}{\pi * D} \quad (2.20)$$

$$Pasadas = \frac{d_i - d_f}{p} \quad (2.21)$$

$$T_f = \frac{L}{N * f} \quad (\text{Torneado y taladrado}) \quad (2.22)$$

$$T_f = \frac{L}{N * f} = \frac{L}{a_z * Z * N} \quad (\text{fresado}) \quad (2.23)$$

A continuación, se presenta un diagrama de flujo del proceso de fabricación de las piezas. Si se desea información más detallada respecto a las operaciones de mecanizado, consultar apéndice D.



Figura 2.25: Secuencia para realizar proceso de mecanizado del Housing
[Elaboración propia].



Figura 2.26: Secuencia para realizar proceso de mecanizado de la Tapa
[Elaboración propia].



Figura 2.27: Secuencia para realizar proceso de mecanizado de la Base [Elaboración propia].

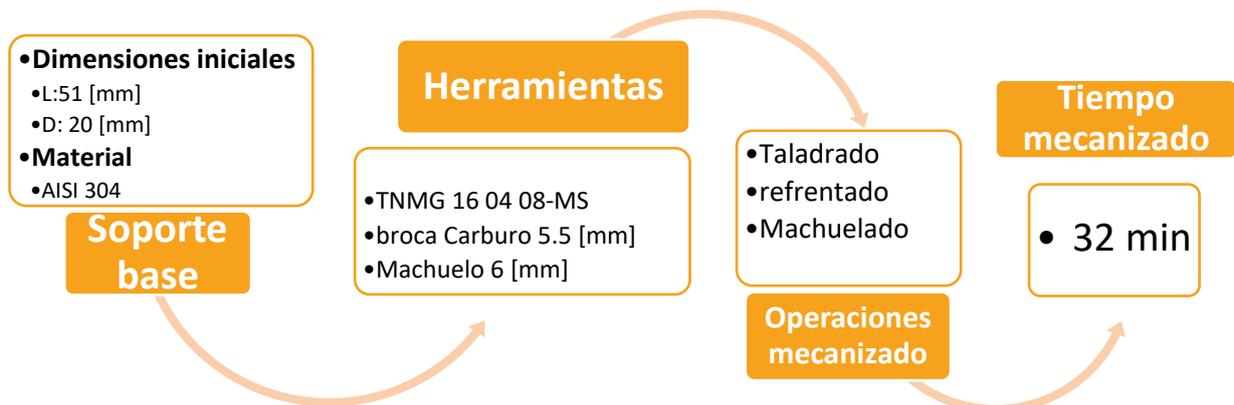


Figura 2.28: Secuencia para realizar proceso de mecanizado del Soporte base [Elaboración propia].

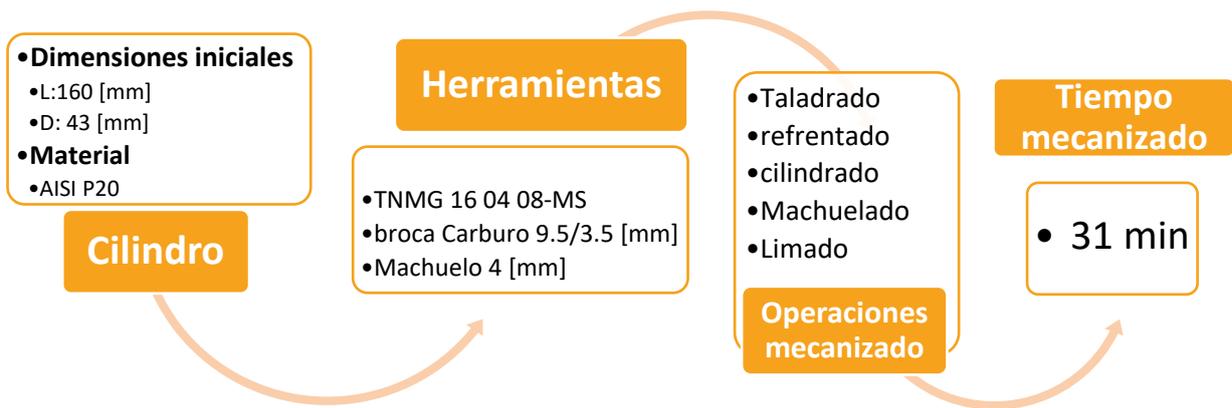


Figura 2.29: Secuencia para realizar proceso de mecanizado del Cilindro [Elaboración propia].



Figura 2.30: Secuencia para realizar proceso de mecanizado del Pistón [Elaboración propia].



Figura 2.31: Secuencia para realizar proceso de mecanizado del Bushing
[Elaboración propia].



Figura 2.32: Secuencia para realizar proceso de mecanizado del Dado
[Elaboración propia].

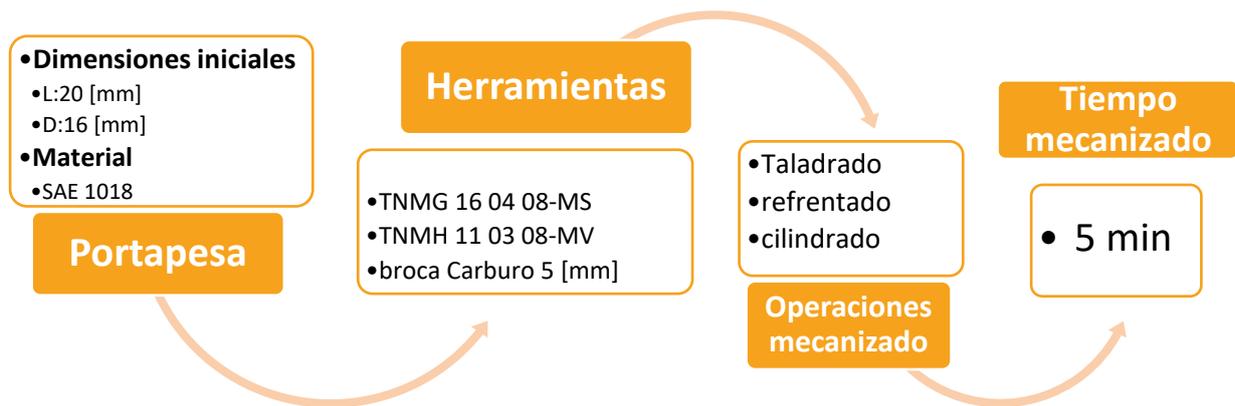


Figura 2.33: Secuencia para realizar proceso de mecanizado de la Porta pesa [Elaboración propia].

2.10 Análisis económico

Para el análisis económico se generó un precio del equipo en base a los costos de materiales, mano de obra y un margen de ganancia. Posteriormente se realizó un análisis de factibilidad donde, se obtuvo un valor de PRI, TIR y VAN, utilizando las herramientas de Microsoft Excel estableciendo supuestos como la cantidad de ventas mensuales, la adquisición de equipos, inmuebles, entre otros.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los cálculos referentes al análisis de desgaste, análisis térmico, análisis mecánico y proceso de manufactura se encuentran desglosados en el Apéndice C CÁLCULOS.

3.1 Selección del material

Mediante las gráficas Ashby se puede observar la figura 3.1 donde se obtuvo un grupo de materiales que mejor cumplen con todas las propiedades asignadas de los diagramas dado los parámetros observados en el capítulo anterior.

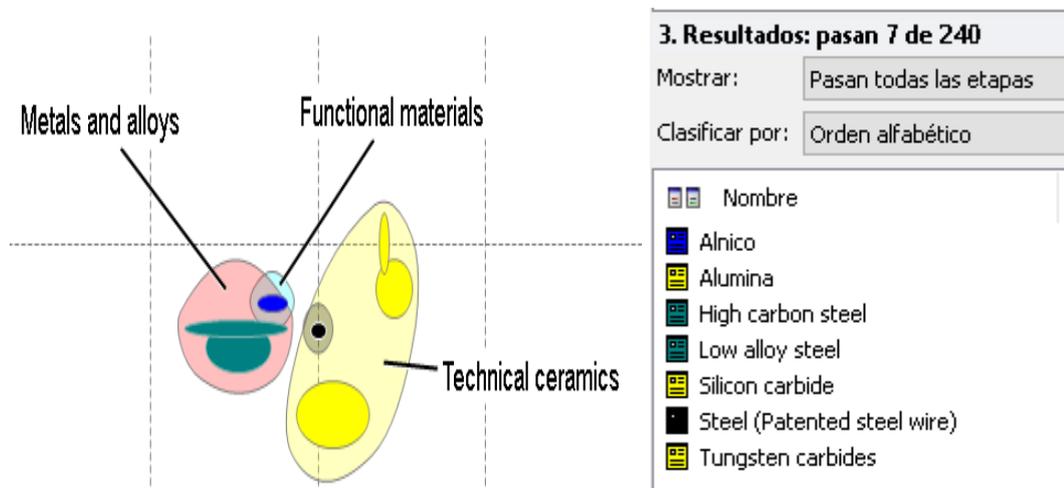


Figura 3.1: Grupo de materiales resultantes [Elaboración propia].

Los materiales asignados para el diseño del prototipo consistieron en:

- Cilindro, Dado y Bushing - AISI P20: acero aleado al cromo – níquel y molibdeno, utilizado para moldes de extrusión para termoplásticos.
Dureza: 290 – 330 HB
Conductividad térmica: 42 W/m-K
Precio x Kg: \$13 en el mercado ecuatoriano.
- Pistón – AISI 4340: acero bonificado al molibdeno más cromo y níquel, utilizado en elementos que briden gran resistencia.
Dureza: 270 – 330HB
Conductividad térmica: 44 W/m-K
Precio x Kg: \$4,80 en el mercado ecuatoriano.

3.1.1 Análisis de desgaste

3.1.1.1 Degaste adhesivo

La magnitud del desgaste adhesivo presente en la cabeza del pistón por ensayo es el siguiente:

$$Pfd_{pistón} = 3.33 * 10^{-5} [mm]$$

El tiempo estimado de vida útil del pistón se calculó considerando un comportamiento lineal a velocidades muy bajas de ensayo y un valor de rugosidad constante a lo largo del recorrido. Se estableció un desgaste máximo de 0.05 [mm] y una frecuencia de uso de 1 ensayo por día para estimar el tiempo de vida útil.

$$Tiempo\ de\ vida\ estimado = 4\ años\ 5\ meses$$

La causa de este desgaste parte desde la selección del material, ya que se seleccionó un acero con menor dureza para el pistón (305 HB) con respecto a la dureza del cilindro (330 HB). Aun considerando las finas capas de polietileno en las paredes como lubricante, el desgaste adhesivo es inevitable, o se desgastan ambos componentes o se desgasta el más blando, por tal motivo se optó por definir al pistón como el menos duro, ya que fácilmente se puede reemplazar a diferencia del cilindro, que se tiene de desmantelar todo el equipo para poder reemplazarlo.

3.1.1.2 Desgaste abrasivo

Los resultados de los esfuerzos cortantes y velocidades de corte presentes en el cilindro y en el dado son las siguientes:

$$\tau_{dado} = 14655 Pa$$

$$\dot{\gamma}_{dado} = 3.286 [seg^{-1}]$$

$$\tau_{cilindro\ y\ pistón} = 2079 Pa$$

$$\dot{\gamma}_{cilindro\ y\ pistón} = 0.11 [seg^{-1}]$$

La magnitud de la profundidad del desgaste abrasivo entre polietileno y acero generados por ensayo se los muestra a continuación:

$$Pfd_{pistón} = 1.41 * 10^{-11} \text{ [mm]}$$

$$Pfd_{cilindro} = 1.29 * 10^{-11} \text{ [mm]}$$

$$Pfd_{dado} = 9.12 * 10^{-11} \text{ [mm]}$$

Los resultados obtenidos concuerdan con la teoría, la cual indica que a bajas velocidades el desgaste adhesivo será mucho mayor al desgaste abrasivo. Esta premisa se puede corroborar con los valores asignados a las constantes de desgaste K , tanto para el desgaste adhesivo entre metales ($10^{-3} - 10^{-5}$), como para el desgaste abrasivo entre polietileno y metal (10^{-7}) (Tabor, 2006).

Con respecto al desgaste abrasivo, las velocidades de corte tanto en las paredes del cilindro como en las paredes del dado, se observa una mayor velocidad en las paredes del dado en comparación con las paredes del cilindro; cumpliéndose así el principio de continuidad. Teniendo una mayor velocidad de corte, se genera un mayor esfuerzo cortante; por tal motivo el mayor desgaste abrasivo se encuentra en las paredes del diámetro interior del dado.

3.2 Análisis Térmico

3.2.1 Tiempo de calentamiento con controlador PID

La ecuación de calor del sistema se muestra a continuación:

$$Q_{generado} = 0.0622T - 1.555 + 595.25 \frac{dT}{dt}$$

Con un proceso de integración se obtuvo el tiempo de calentamiento desde una temperatura ambiente hasta 189 grados Celsius.

$$t = -9615.38 \int_{25}^{189} \frac{1}{-2451.92 + T} dT$$

$$t = 684 \text{ sec} = 11 \text{ min } 24 \text{ seg}$$

Aplicando la transformada Laplace a la ecuación de calor del sistema se obtuvo la siguiente función de transferencia:

$$H = \frac{6.52}{592.25 * S + 0.0622}$$

A través de la herramienta Sisotool del software Matlab se obtuvo la gráfica del controlador PID teórico con un overshoot del 0.6% y un tiempo de estabilización de 216 segundos. Cabe recalcar que el punto de operación del controlador PID es a los 189°C, es decir que a partir de esa temperatura el controlador comenzará a actuar, y le tomará 216 segundos en estabilizar la temperatura a 190°C como se observa en la figura 3.2.

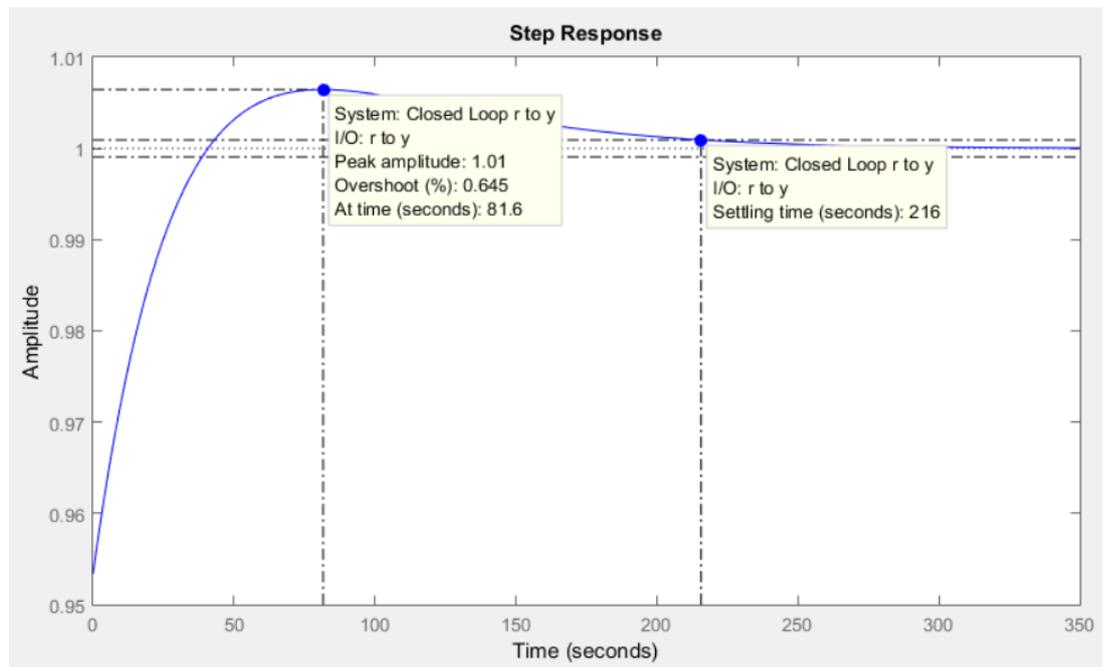


Figura 3.2: Tiempo transcurrido último grado hasta estabilizar [Elaboración propia].

Donde la función de transferencia del controlador PID teórico con sus respectivas constantes son:

$$C = \frac{1857.3 (S + 0.02655)(S + 0.02433)}{S}$$

$$K_p = 94.5$$

$$K_i = 1.2$$

$$K_d = 1.860$$

$$t_{teórico} = t_{25C-189C} + t_{controladorPID}$$

$$t_{teórico} = 684 + 216 = 900 \text{ segundos} = 15 \text{ min}$$

También se obtuvo un tiempo de calentamiento usando el software Ansys Fluents en estado transitorio, generando un tiempo total de 15 min en llevar el cilindro desde temperatura ambiente a 190°C. Donde cada frame equivale a 1 segundo hasta llegar un total de 900 frame.

$$t_{simulación} = 15 \text{ min}$$

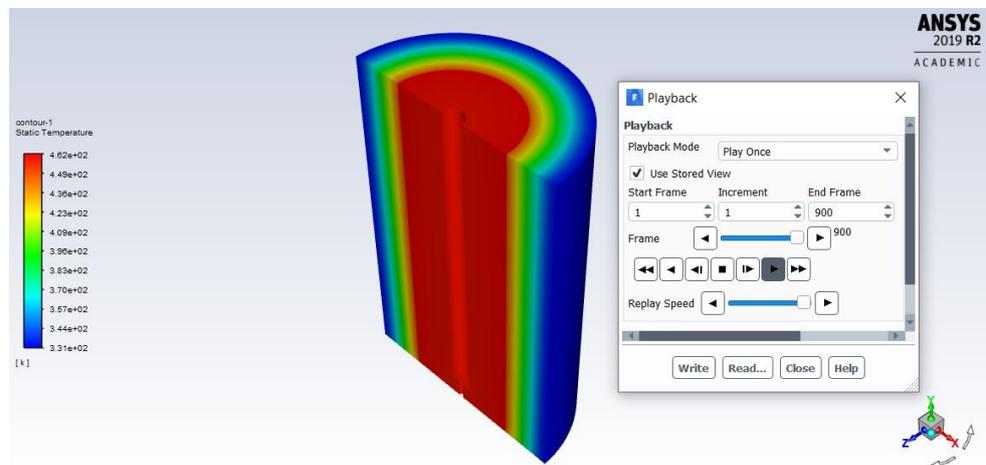


Figura 3.3: Simulación tiempo de calentamiento

Sin embargo, el tiempo experimental fue mayor a 15 minutos. Por lo tanto, se tuvo que buscar otro método para obtener las constantes del controlador PID experimental. El software Pronterface, mediante un método iterativo, y conectado directamente al sistema, pudo hallar de manera experimental y en tiempo real las constantes del controlador PID, las cuales fueron las siguientes:

$$Kp = 114.56$$

$$Ki = 1.70$$

$$Kd = 1933.33$$

Usando la herramienta simulink, se pudo determinar el comportamiento del controlador PID experimental desde los 189°C para llegar a los 190°C.

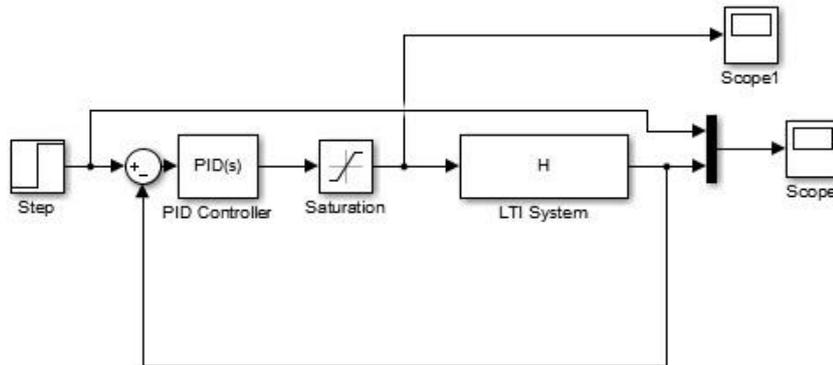


Figura 3.4: Simulación de controlador por simulink [Elaboración propia].

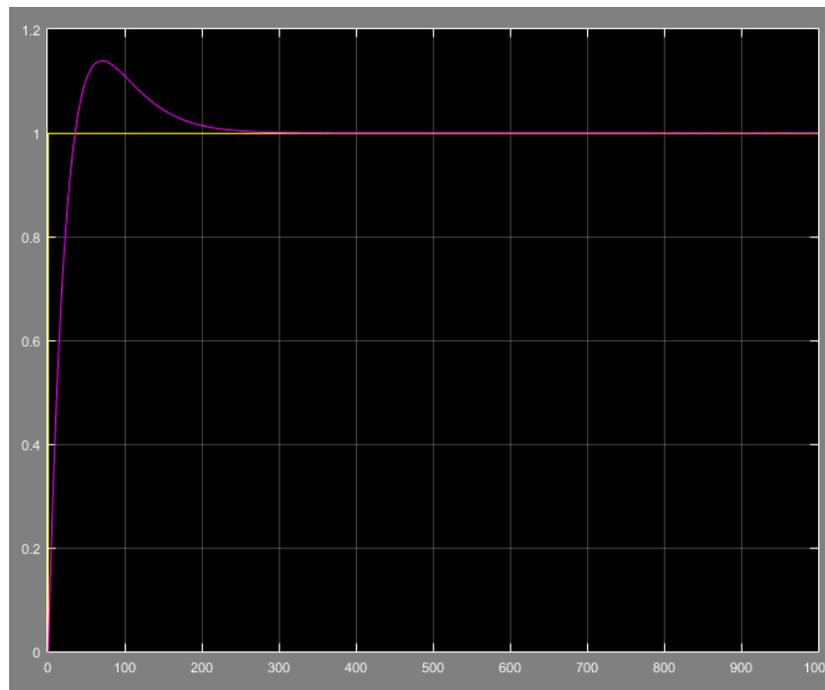


Figura 3.5: Tiempo transcurrido desde 189°C hasta 190°C simulado por simulink [Elaboración propia].

En la tabla 3.1 se presenta los tiempos de calentamientos, añadiendo a esta el tiempo experimental obtenido al realizar el ensayo.

Tabla 3.1: Tiempos de calentamiento [Elaboración propia].

$t_{teórico}$	$t_{simulación}$	$t_{experimental}$
15 minutos	15 minutos	25 minutos

En base a pruebas y mediciones efectuadas se registró que el medidor alcanzó su temperatura de operación en un tiempo aproximado igual a 25 minutos; sin embargo, en los cálculos teóricos y mediante las simulaciones se obtuvieron estos tiempos en 15 minutos. Esta diferencia de tiempo ocurrió debido a que se consideró la conductividad térmica del cilindro constante, sin embargo, en la realidad este valor disminuye respecto al aumento de temperatura, por lo tanto, a medida que la temperatura del cilindro incrementa, este aumenta su resistencia de conducción térmica impidiendo que el flujo de calor se distribuya en el material, causando así un mayor tiempo de espera para llegar a la temperatura deseada. También se consideró que la resistencia genera 150 [W] de manera constante; sin embargo, al existir un aumento de temperatura incrementa la resistencia eléctrica, por ende, la potencia entregada al sistema es menor a la inicial.

3.2.2 Fatiga térmica

El resultado de las deformaciones térmicas tanto lineales (Δl) como laterales (Δd) del cilindro fueron los siguientes:

$$\Delta l = 0.0003$$

$$\Delta d = 0.00002$$

$$\varepsilon = \frac{dV}{V} = 0.0020$$

Con el valor de la deformación térmica volumétrica a 190°C, se obtuvo el número de ciclos a los cuales el cilindro fallaría por fatiga térmica usando el criterio de falla Mason – Coffin:

$$\Delta\varepsilon_{elastica} = A(N_f)^\alpha$$

Donde las constantes A y α fueron determinadas para una temperatura de 190°C , obteniendo como resultado:

$$N_f = 215497.3 = 2.15 \times 10^5 \text{ ciclos}$$

Además del cálculo teórico, se realizó una simulación en Ansys Static Structural para el cálculo de las deformaciones térmicas, usando las temperaturas del análisis térmico de estado transitorio en Fluid Flow (Fluent), donde se obtuvieron los siguientes resultados:

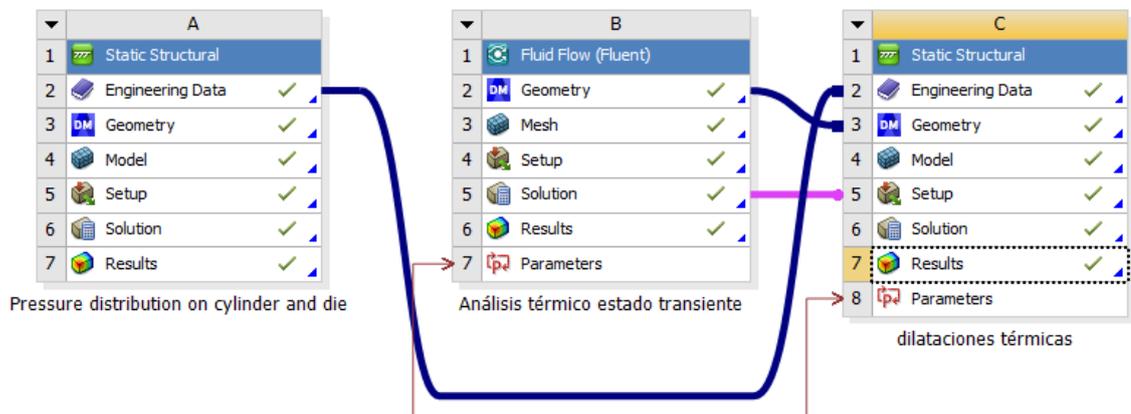


Figura 3.6: Configuración de Ansys [Elaboración propia].

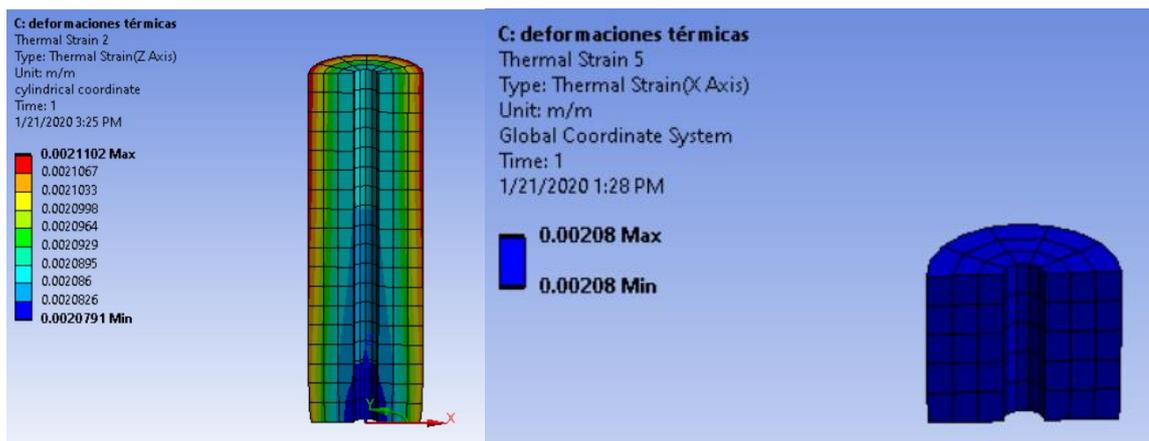


Figura 3.7: Deformaciones térmicas [Elaboración propia].

Como se observa la deformación térmica volumétrica tanto en el cilindro como en el dado son muy parecidas, debido a que ambos llegan a la temperatura de 190°C por la alta conductividad térmica del material y ambos componentes son del mismo

material (AISI P20). Por lo tanto, ambos elementos experimentan la misma fatiga térmica.

Tabla 3.2: Deformación teórica y simulada [Elaboración propia].

Deformación térmica teórica	Deformación térmica simulada
0.0020	0.00207 – 0.0021

Respecto a las deformaciones térmicas, se considera importante hablar sobre el comportamiento del cilindro con respecto a los cambios de temperatura. Debido al ajuste entre la resistencia eléctrica y la pared externa del cilindro hueco, no existirá una deformación térmica del diámetro exterior. Sin embargo, al ser un cilindro hueco se expandirá en su interior, reduciendo su diámetro interno. Considerando una expansión lineal del largo del cilindro se obtuvo una deformación volumétrica máxima $\varepsilon = 0.0020\%$. Se concluye que dichas consideraciones son correctas debido al comportamiento real del plastómetro del laboratorio de plástico de ESPOL, el cual a trabajar con temperaturas mayores a 275°C , el dado se adhiere a las paredes internas del cilindro dificultando así la extracción de este, esto se debe a la presión ejercida por el cilindro al dado en consecuencia de las expansiones térmicas. Cabe recalcar la gran cercanía entre los resultados teóricos y los resultados proporcionados por la simulación en Ansys.

3.3 Análisis mecánico

3.3.1 Presión interna del fluido

La presión total que experimenta el cilindro en su interior es el resultado de la suma entre la presión manométrica y la presión hidrostática, esta permanece constante en todo el cilindro ya que se lo considera como un volumen cerrado cuasi estático.

$$P_{total} = 3.008 \times 10^5 \text{ [Pa]}$$

Además del cálculo teórico, se utilizó la herramienta Fluid Flow (Polyflow) para simular el comportamiento del fluido a un polímero y con la ayuda de Fluid Flow (Fluent) se pudo determinar la presión que ejerce el polímero en las paredes del cilindro.

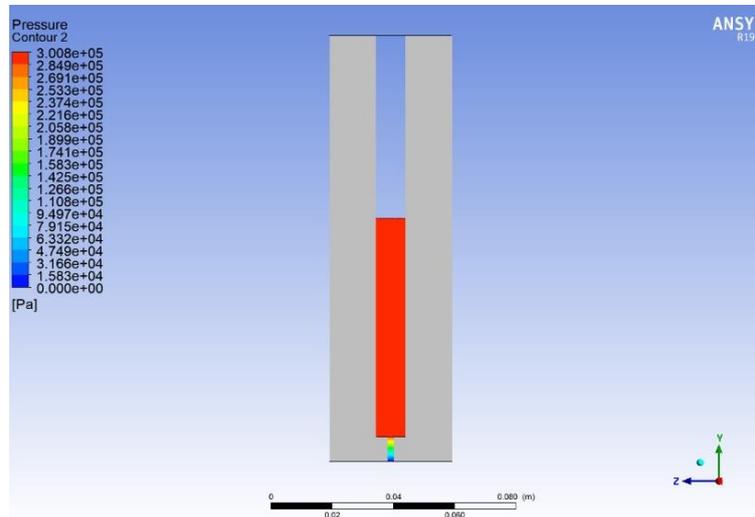


Figura 3.8: Presión interna del fluido [Elaboración propia].

Tabla 3.3: Presión teórica y simulada [Elaboración propia].

Presión teórica	Presión simulada
3.008×10^5	3.008×10^5

Los resultados de los esfuerzos tangenciales, esfuerzos radiales y los esfuerzos en la entrada del dado fueron los siguientes:

$$\sigma_{tangencial} = 337165 [Pa]$$

$$\sigma_{radial} = -300800 [Pa]$$

$$\sigma'_{VonMises} = 552793 [Pa]$$

$$22397.62 \leq \sigma_{entrada_dado} \leq 89590 [Pa]$$

$$Factor\ seguridad = 1447$$

Usando el Software Ansys Static Structural se obtuvieron los siguientes resultados mostrado en la figura 3.9.

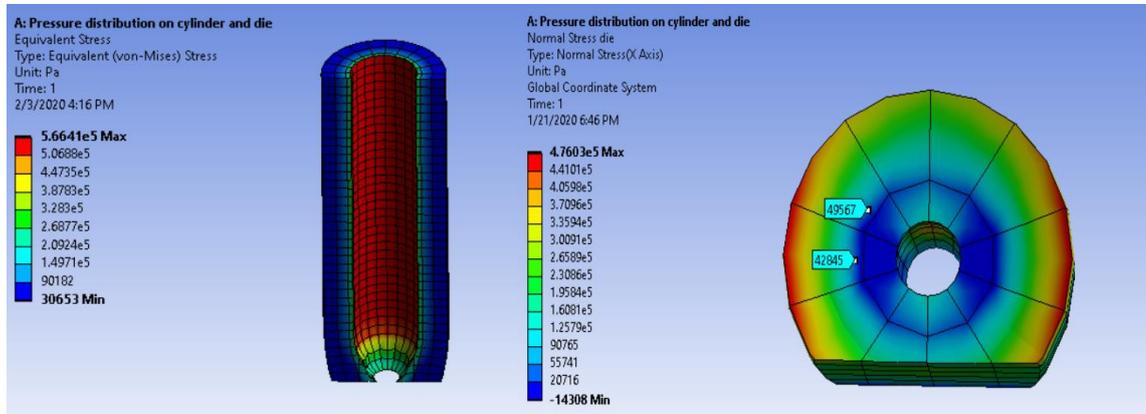


Figura 3.9: Esfuerzo Von-Mises en el cilindro y distribución presiones en el dado [Elaboración propia].

Tabla 3.4: Esfuerzos tangencial, radial y entrada del dado [Elaboración propia].

	Valor teórico [Pa]	Valor simulado [Pa]
Esfuerzo Von-Mises	5.52×10^5	5.66×10^5
Esfuerzo entrado dado	$22397.62 \leq \sigma \leq 89590$	$-14308 \leq \sigma \leq 90765$

Considerando al sistema como un cilindro de pared gruesa sometido a una presión interna conocida y presión externa nula se obtuvo 337165 [Pa] y 300800 [Pa] para los esfuerzos tangenciales y radiales respectivamente. Con la gráfica de Lange se pudo determinar un rango de los esfuerzos presentes a la salida del dado. Sin embargo, no se pudo hallar la distribución de esfuerzos presente en toda la superficie del dado de manera teórica debido a su alta complejidad y falta de información generalizada, ya que toda la información encontrada era para un tipo de específico de dado y para un específico material de extrusión.

3.3.2 Análisis de pandeo de pistón

Otro criterio de análisis para el pistón fue el modo de falla por pandeo. En donde se consideró el sistema como una columna empotrada en un extremo (entre el vástago y la cabeza del pistón) y el otro extremo libre (donde se coloca la carga). Los resultados mostraron que se trataba de una columna larga debido a su alto factor de esbeltez. Los resultados se muestran a continuación:

Factor de esbeltez

$$\frac{Le}{\Gamma} = \frac{2(200 * 10^{-3})}{1.73 * 10^{-3}} = 230$$

$$P_{cr} = \left[\left(\frac{1}{4} \right) \frac{(200 * 10^9)(1.11 * 10^{-10})\pi^2}{0.22} \right] \frac{1}{1.92} = 713.23 [N] \text{ carga crítica}$$

Factor de seguridad de diseño

P = peso para ensayo

$$n = \frac{P_{cr}}{P} = \frac{\left[N \frac{EI\pi^2}{L^2} \right]}{P} = \frac{1369.4}{21.19} = 64$$

Debido a su alto factor de seguridad en el análisis de modo de falla por pandeo, el análisis para falla por compresión no se lo consideró relevante.

3.3.3 Diseño del resorte de torsión

El material seleccionado para el diseño del resorte fue SAE 1085, también llamado alambre musical, el cual es el indicado para resortes con espiras pequeñas y cuenta con una alta resistencia a la fatiga y tensión.

$$K_{m\acute{a}x.} = 11.621 \quad K_{m\acute{i}n} = 0.00153$$

Los valores de $K_{m\acute{a}x.}$ Y $K_{m\acute{i}n}$ fueron obtenidos con el momento máximo y mínimo ejercido en el resorte respectivamente. Como se desea que el resorte regrese a su posición inicial una vez terminado el ensayo ($M_{m\acute{i}n}$) y este a su vez ceda al momento de realizar el ensayo ($M_{m\acute{a}x.}$), se llegó a la siguiente relación:

$$K_{m\acute{a}x.} < K_{resorte} < K_{min}$$

El valor de la constante de resorte fue seleccionado mediante un proceso iterativo, donde se consideraron los valores obtenidos en el factor de seguridad de fluencia y fatiga y que el número de vueltas sea una cantidad razonable para instalarlo en la base del encoder. Los resultados fueron los siguientes:

$$K_{resorte} = 0.027$$

$$N_a = 16 \text{ vueltas}$$

$$N_{fatiga} = 2.35$$

$$N_{fluencia} = 3.75$$

El diseño del resorte fue el indicado, ya que cumple con el funcionamiento de bajar en conjunto con la pesa y regresar a su posición inicial una vez retirada la pesa del ensayo. El resorte fue ubicado concéntricamente con el eje del encoder para que cumpla su funcionalidad, donde un extremo está fijo en el soporte del encoder y la otra gira en conjunto con el eje del encoder.

3.4 Determinación de la densidad del polietileno de ensayo

La densidad para pellets de polietileno virgen se la obtuvo promediando los valores obtenidos de las ecuaciones presentadas por Woo (Woo et al., 1995) y por Rudin (A. Rudin, 2007) . Observando los resultados se pudo determinar que la densidad a 190°C tiene un rango de variación muy pequeño, por lo tanto:

$$\rho_{virgen} = 0.761 \pm 0.002 \left[\frac{g}{cm^3} \right]$$

Ensayos experimentales muestran que la densidad del material reprocesado o pellets reciclados de LPDE presenta una densidad de 0.904 [g/cm³], mientras que para los pellets de HPDE su densidad es 0.940 [g/cm³] (Guajardo, 2010). Según valores experimentales proporcionado por el laboratorio de plásticos de ESPOL, la densidad del polietileno reciclados a una temperatura de 190°C oscila entre 0.753

gr/cm³ y 0.748 gr/cm³. Por lo tanto, para los ensayos con pellets de material reciclado se considerará:

$$\rho_{reciclado} = 0.750 \pm 0.003 \left[\frac{g}{cm^3} \right]$$

3.5 Sistema de adquisición de datos

La programación de LabVIEW se la realizó por íconos, terminales y cables como se observa en la figura 3.10, donde el 1 es la sección donde se encuentra la programación para la elaboración del reporte, el 2 muestra la sección para la adquisición y computo de datos y el 3 muestra la sección donde se realiza el promedio y todo el conjunto de la tabla de resultados. Por otra parte, en la figura 3.11 se observa el ejecutable diseñado para la interfaz con el operador durante el ensayo.

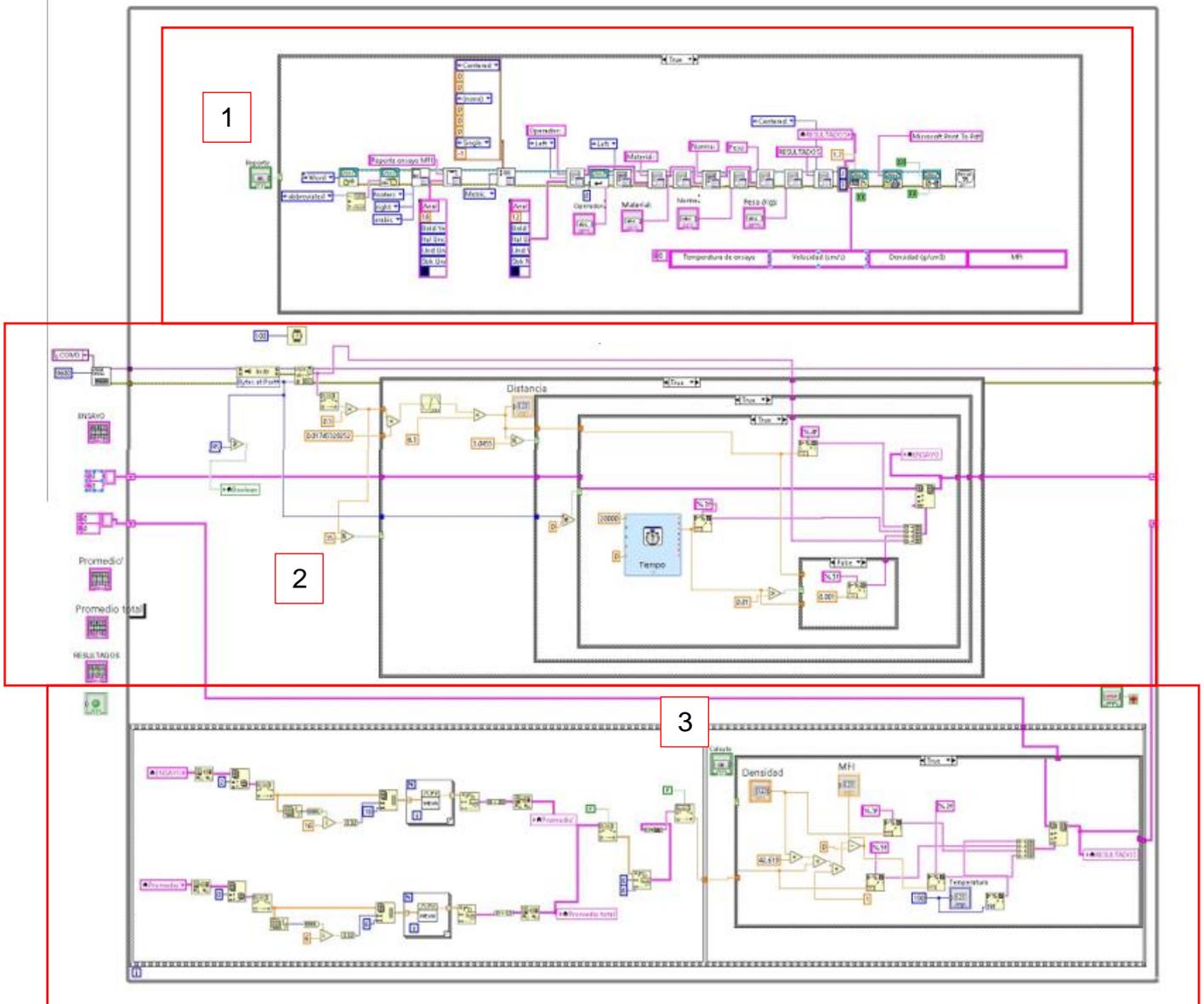


Figura 3.10: Programación en LabVIEW [Elaboración propia].

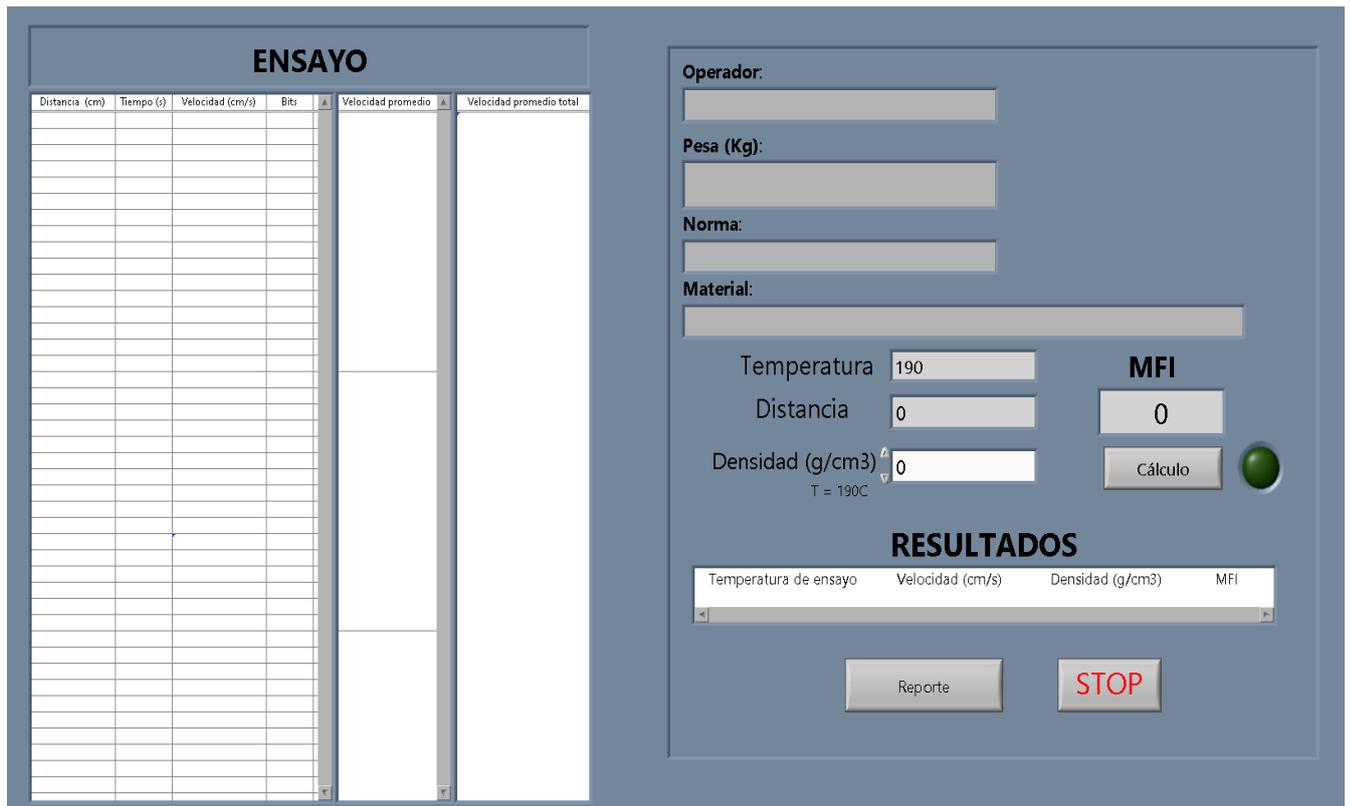


Figura 3.11: Interfaz del programa para medición de índice de fluidez [Elaboración propia].

3.6 Propagación de incertidumbre

Utilizando la ecuación 2.38, se obtuvo la incertidumbre del equipo. Para este cálculo se utilizó datos de un ensayo de índice de fluidez donde se obtuvo de resultado 2.10

- **Incertidumbre teórica**

$$\delta MFI = MFI * \sqrt{\left(\frac{\delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\delta \rho}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{\delta V}{V}\right)^2}$$

$$\frac{\delta MFI}{MFI} = \sqrt{(0.003)^2 + (0.003)^2 + (0.03)^2} = \pm 3\%$$

$$\delta MFI = \pm 0.06 \left[\frac{g}{10min} \right]$$

Esto ocurre por la propagación de la incertidumbre de los instrumentos utilizados; pequeños retrasos y errores producidos por la programación; también el mecanizado de las piezas no fue el óptimo dado que no se pudo obtener acabados y medidas presentadas en los planos afectando a la interacción entre equipo y fluido; otro factor que altera el resultado es el peso de los pellets para realizar el ensayo, una variación o una medida no adecuada produce alteraciones en los resultados.

- **Incertidumbre experimental**

Tomando los datos experimentales de los ensayos y con la ecuación de la raíz del error cuadrático medio se comparó los valores esperados con los valores obtenidos, dando como resultado la incertidumbre del valor MFI:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_{esperado} - v_{obtenido})^2}{n}} = \pm 0.08 \left[\frac{g}{10min} \right]$$

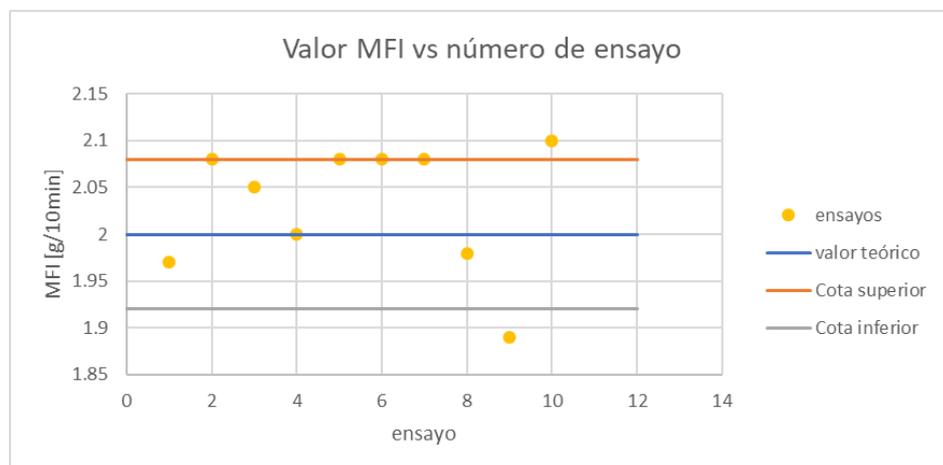


Figura 3.12: Resultados de 10 ensayos [Elaboración propia].

Analizando los resultados, la incertidumbre experimental es mayor a la teórica debido probablemente a factores externos del equipo como, el peso de la muestra, las condiciones ambientales durante el ensayo, pequeñas vibraciones, estado de la materia prima, entre otras.

3.7 Ensamble y prototipo final del equipo

Para el tiempo total de mecanizado se consideró los tiempos de preparación, tiempos productos y tiempos muertos, obteniendo:

$$T_{total\ mecanizado} = 6\ horas\ 37\ minutos$$

Como resultado final se obtuvo un prototipo funcional de medición de índice de fluidez con sus respectivos procesos de ensamblaje, limpieza y mantenimiento, como se muestra a continuación:



Figura 3.13: Prototipo final [Elaboración propia].



Figura 3.14: Todos los componentes del prototipo [Elaboración propia].

PROCESO DE ENSAMBLE DE EQUIPO

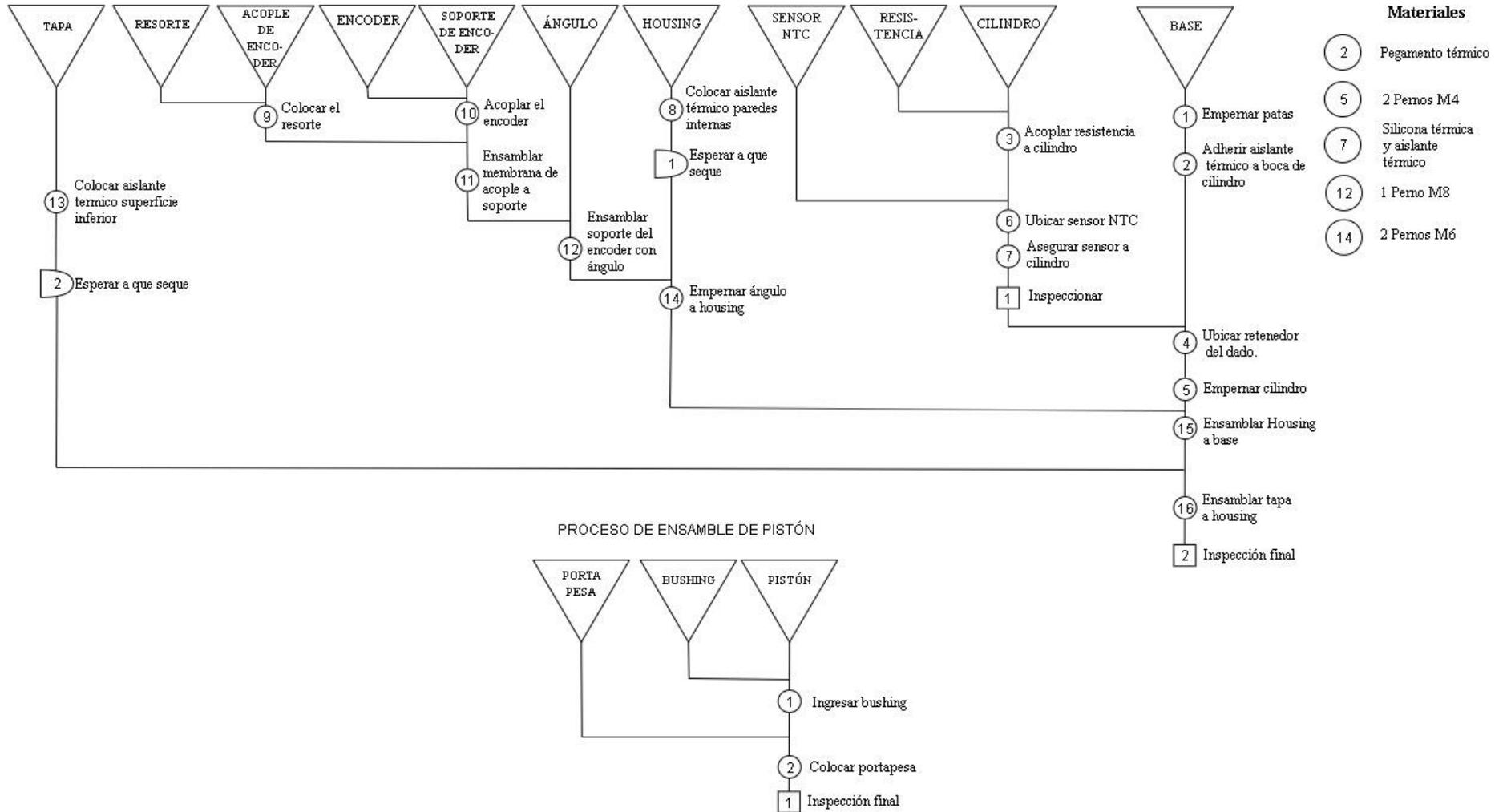


Figura 3.15: Proceso de ensamble del equipo [Elaboración propia].

3.8 Sistema de limpieza

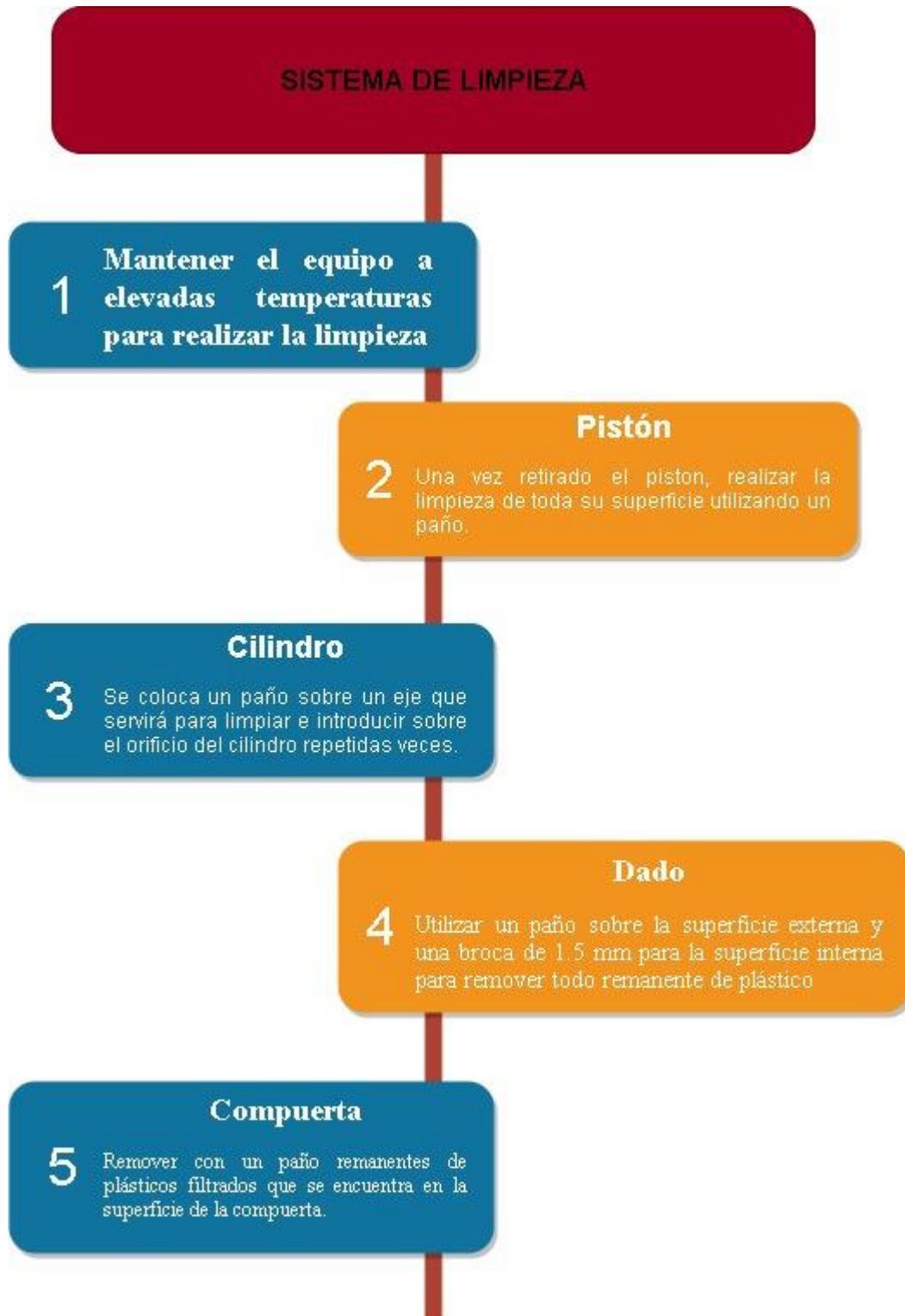


Figura 3.16: Proceso de sistema de limpieza [Elaboración propia].

3.9 Sistema de mantenimiento

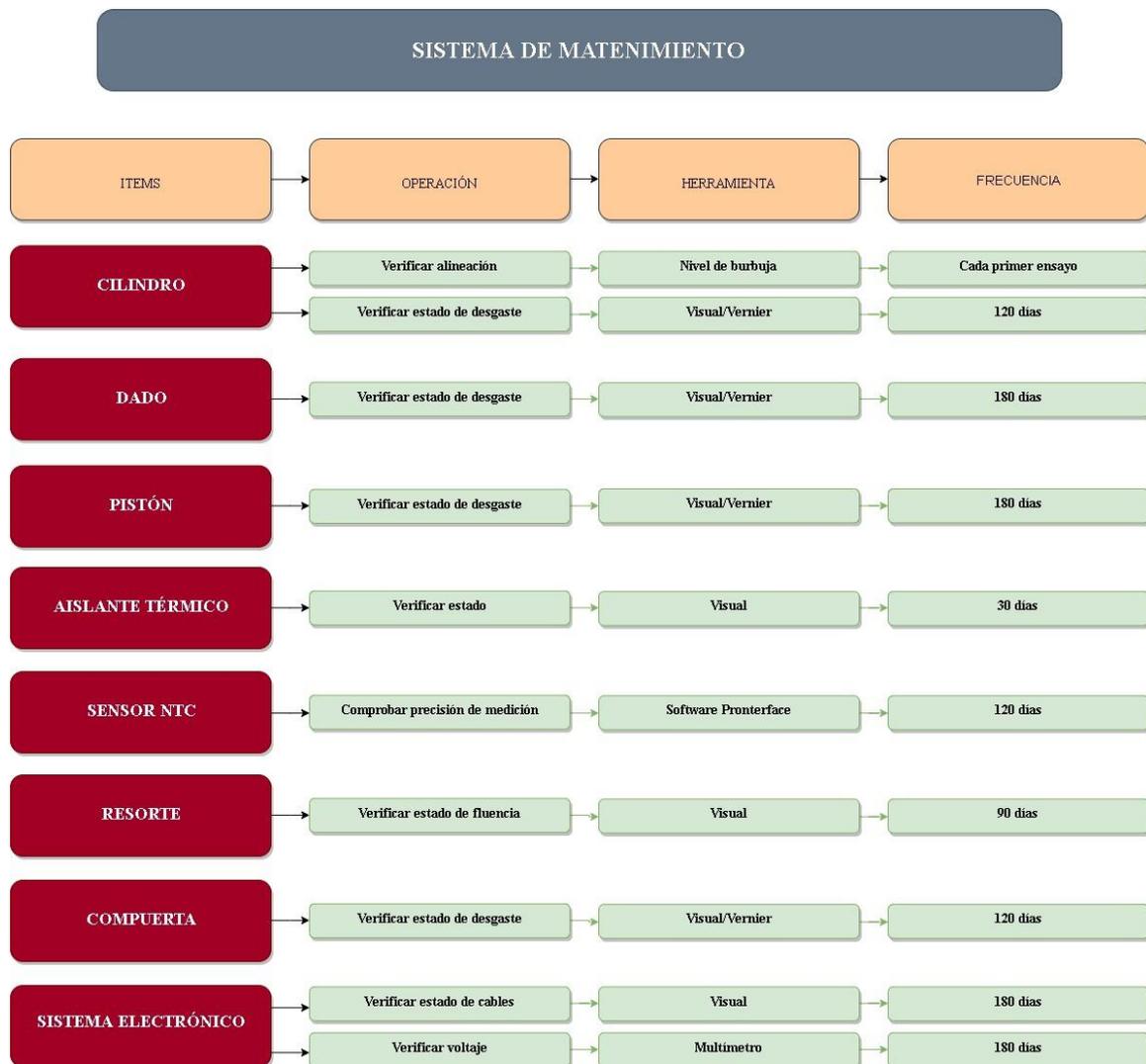


Figura 3.17: Sistema de mantenimiento [Elaboración propia].

3.10 Análisis económico

Los factores de Tasa interna de retorno (TIR), Valor actual neto (VAN) y un periodo de retorno de la inversión (PRI) obtenidos se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3.5: Factibilidad del proyecto [Elaboración propia].

PRI	3.91
VAN	\$ 35,157.58
TIR	26.92%

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Dado al aumento descontrolado de temperatura debido a la generación constante de calor por la resistencia eléctrica, el sistema era inestable. Gracias a la implementación de un controlador PID se logró estabilizar el sistema a la temperatura de ensayo, con un overshoot menor del 5% y un tiempo de estabilización de 250 segundos. Por lo tanto, el equipo construido tiene la capacidad de mantener las condiciones del ensayo constante de manera automática.

El sistema de adquisición de datos del equipo está compuesto principalmente por un encoder incremental, el cual envía los datos a varios diagramas de bloques programados en LabVIEW; obteniendo como resultado el valor de MFI promedio y un informe del ensayo en formato pdf. Por lo tanto, se logró programar el equipo para que el usuario no tenga que intervenir en ningún momento durante el ensayo, evitando así la posibilidad de que existan errores humanos en los resultados.

El desgaste adhesivo es el motivo de falla con mayor consecuencia en el equipo, específicamente en el pistón. Con cada ensayo que se realice, el radio de la cabeza del pistón disminuye $3.33 * 10^{-5} [mm]$ estimando un tiempo de vida útil del pistón de 4 años 5 meses a razón de realizar 1 prueba por día. Considerando que la mayoría de los equipos comerciales proveen 1 año de garantía, se concluye que el tiempo de vida útil estimado del pistón es igual o mayor que el ofrecido por el mercado.

Considerando las temperaturas alcanzadas en el equipo y las deformaciones térmicas máximas de 0.0020, se descarta la presencia de fatiga térmica en el equipo antes de los 2.15×10^5 ciclos aproximándose a una vida infinita. Por lo tanto, el modo de falla por fatiga térmica no tendrá consecuencias significativas en la durabilidad del equipo.

En base a los factores de seguridad obtenidos mediante los resultados de las presiones internas y la distribución de los esfuerzos en el cilindro, se concluye que el equipo es robusto y está en la capacidad de soportar las condiciones del ensayo.

Considerando la propagación de incertidumbre de la densidad, componentes electrónicos y dimensiones del mecanizado, se obtuvo una tolerancia del equipo $\pm 0.05 \left[\frac{g}{10 \text{ min}} \right]$. Por lo tanto, se concluye que el equipo es preciso y ofrece un resultado de alta confiabilidad.

El proyecto presenta un VAN y TIR de \$3,930 y 101% respectivamente. Por lo tanto, se puede concluir que es factible económicamente con un periodo de retorno de la inversión en aproximadamente 1 año.

Este equipo brindaría a la empresa un ahorro de tiempo y costo empleados por la realización de ensayos en laboratorios externos, dando un ahorro mínimo de \$620.00 al año, realizando solamente un ensayo al mes.

4.2 Recomendaciones

- Verificar al inicio del primer ensayo que el cilindro no se encuentre inclinado ya que esto puede alterar los resultados del ensayo este proceso se puede realizar mediante la utilización de una regla de nivel de burbuja.
- Para cada ensayo verificar la cantidad de gramos de pellets que serán utilizados en el ensayo para evitar alguna alteración del resultado, estos se encuentran descritos en las normas ASTM d1238 e ISO 1133.
- Para disminuir el error obtenido durante los ensayos, se recomienda seguir estrictamente el mecanizado de los planos obteniendo las dimensiones y acabados superficiales esperados.
- Utilizar un encoder de mucho mayor resolución para obtener resultados más precisos, la programación del mismo vendría a ser la misma que se describió en este documento.
- Reemplazar el material de acero galvanizado y acero negro del housing y de la tapa respectivamente por uno de acero inoxidable para darle una mejor estética al diseño.

- Considerar materiales que posean una dureza superior para alargar el tiempo de vida útil del equipo; sin embargo, los materiales descritos en este documento están aptos para poder realizar tratamientos térmicos y poder elevar su dureza.
- Realizar una inversión para el equipamiento de los talleres de mecanización de la facultad, para así facilitar a los estudiantes la elaboración de sus proyectos dentro de la institución y evitar buscar talleres externos.
- Llevar un estricto control de medición para los componentes que experimentan desgaste, especialmente el pistón.
- Hallar de manera experimental el comportamiento de la conductividad térmica del material respecto al cambio de temperatura, para así tener resultados teóricos más apegados a la realidad

BIBLIOGRAFÍA

- Billmeyer, F. W. (1975). *Ciencia de los polímeros*. Reverté.
- Coutinho, F. M., Mello, I. L., & Luiz, C. (2003). Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. *Polímeros: ciência e tecnologia*, 13(1), 1-13.
- Polímeros | Química general. Recuperado de <http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/contenido/82-polimeros.html>.
- Bremner, T., Rudin, A., & Cook, D. G. (1990). Melt flow index values and molecular weight distributions of commercial thermoplastics. *Journal of Applied Polymer Science*, 41(7-8), 1617-1627.
- Rigail-Cedeño, A. F. (2006). Aplicaciones del Melt Flow Index (MFI) en la industria de procesamiento de plásticos. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 19(1).
- Ramos de Valle, L. (2013). *Extrusión de plásticos*. México: Limusa.
- Çenguel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa* (4th ed.). México: Santa Fe; McGRAW.
- ASTM Designation: D 1238-04 "Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer"
- Fletcher, L. S. (1993). EXPERIMENTAL TECHNIQUES FOR THERMAL CONTACT RESISTANCE MEASUREMENTS. In *Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics 1993* (pp. 195–206). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-81619-1.50020-4>
- Halford, G. R. (1986). *Low-cycle Thermal Fatigue*. Lewis Research Center.
- ISO. (n.d.). *ISO 1133-1:2011*. ISO. Retrieved November 10, 2019, from <http://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/04/42/44273.html>
- Jadhav, A., & Sonar, R. (2009). Analytic Hierarchy Process (AHP), Weighted Scoring Method (WSM), and Hybrid Knowledge Based System (HKBS) for Software Selection: A Comparative Study. *2009 Second International Conference on*

- Emerging Trends in Engineering Technology*, 991–997.
<https://doi.org/10.1109/ICETET.2009.33>
- Kevin. (2015, February 8). Todo sobre el Polietileno de Alta Densidad. *Inguaplast*.
<https://inguaplast.com/todo-sobre-el-polietileno-de-alta-densidad/>
- Lancaster, J. K. (1969). Abrasive wear of polymers. *Wear*, 14(4), 223–239.
[https://doi.org/10.1016/0043-1648\(69\)90047-7](https://doi.org/10.1016/0043-1648(69)90047-7)
- Lange, K. (1985). On the stress distribution in prestressed extrusion dies under non-uniform distribution of internal pressure. *International Journal of Mechanical Sciences*, 27(3), 169–175. [https://doi.org/10.1016/0020-7403\(85\)90057-8](https://doi.org/10.1016/0020-7403(85)90057-8)
- Mahapram, S., & Poompradub, S. (2011). Preparation of natural rubber (NR) latex/low density polyethylene (LDPE) blown film and its properties. *Polymer Testing*, 30(7), 716–725. <https://doi.org/10.1016/j.polymeresting.2011.06.006>
- Mariano. (2012, July 16). Polietileno (PE) | Tecnología de los Plásticos. *Polietileno (PE) | Tecnología de Los Plásticos*.
<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/07/polietileno-pe.html>
- Minhas, M., Ahmad, M., Ali, Dr. L., & Sohail, M. (2013). Synthesis of chemically cross-linked polyvinyl alcohol-co-poly (methacrylic acid) hydrogels by copolymerization; a potential graft-polymeric carrier for oral delivery of 5-fluorouracil. *DARU-JOURNAL OF FACULTY OF PHARMACY*.
- Norton, R. L. (2000). *Diseño de maquinaria*. McGraw-Hill Interamericana.
- (PDF) *Synthesis of chemically cross-linked polyvinyl alcohol-co-poly (methacrylic acid) hydrogels by copolymerization; a potential graft-polymeric carrier for oral delivery of 5-fluorouracil*. (n.d.). Retrieved January 28, 2020, from https://www.researchgate.net/publication/260419284_Synthesis_of_chemically_cross-linked_polyvinyl_alcohol-co-

poly_methacrylic_acid_hydrogels_by_copolymerization_a_potential_graft-
polymeric_carrier_for_oral_delivery_of_5-fluorouracil

Propiedades de los plásticos reciclados. (n.d.). Retrieved November 24, 2019, from
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/peru/argres027.pdf>

Rabinowicz, E. (1984). The least wear. *Wear*, 100(1–3), 533–541.
[https://doi.org/10.1016/0043-1648\(84\)90031-0](https://doi.org/10.1016/0043-1648(84)90031-0)

Rigail-Cedeño, A. F. (2006). Aplicaciones del Melt Flow Index (MFI) en la industria de
procesamiento de plásticos. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 19(1).
<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/205>

Rudin, A., Chee, K. K., & Shaw, J. H. (2007). Specific volume and viscosity of polyolefin
melts. *Journal of Polymer Science Part C: Polymer Symposia*, 30(1), 415–427.
<https://doi.org/10.1002/polc.5070300145>

Rudin, Alfred, & Vlasschaert, A. G. (1971). A Study of the Density of Polymer Melts During
Extrusion. *Transactions of the Society of Rheology*, 15(3), 551–582.
<https://doi.org/10.1122/1.549227>

Shenoy, A. V., & Saini, D. R. (1986). Melt flow index: More than just a quality control
rheological parameter. Part I. *Advances in Polymer Technology*, 6(1), 1–58.
<https://doi.org/10.1002/adv.1986.060060101>

Singer, F. L. (1971). *Resistencia de materiales*. Harla.

Tabor, D. Sc. D. (206 C.E.). Friction, lubrication and wear. In *Mechanical desing
handbook* (p. 7.21). McGraw-Hill.
[http://160592857366.free.fr/joe/ebooks/Mechanical%20Engineering%20Books%
20Collection/HAND%20BOOKS_MECHANICAL/Mechanical/0071481133_ar007.
pdf](http://160592857366.free.fr/joe/ebooks/Mechanical%20Engineering%20Books%20Collection/HAND%20BOOKS_MECHANICAL/Mechanical/0071481133_ar007.pdf)

- Woo, M. W., Wong, P., Tang, Y., Triacca, V., Gloor, P. E., Hrymak, A. N., & Hamielec, A. E. (1995). Melting behavior and thermal properties of high density polyethylene. *Polymer Engineering and Science*, 35(2), 151–156. <https://doi.org/10.1002/pen.760350205>
- Zinkle, S. J., Tanigawa, H., & Wirth, B. D. (2019). Radiation and Thermomechanical Degradation Effects in Reactor Structural Alloys. In *Structural Alloys for Nuclear Energy Applications* (pp. 163–210). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397046-6.00005-8>
- Zoller, P. (1979). The pressure–volume–temperature properties of three well-characterized low-density polyethylenes. *Journal of Applied Polymer Science*, 23(4), 1051–1056. <https://doi.org/10.1002/app.1979.070230410>

APÉNDICES

APÉNDICE A

BENCHMARKING

El Benchmarking es un proceso que permite realizar comparaciones entre operaciones o productos similares que se encuentran en el mercado. Este proceso ayuda a seleccionar las mejores características y cualidades que ofrecen cada una de ellas, con la finalidad de juntarlas en un solo proceso o producto nuevo. Características de tres compañías de gran reconocimiento a nivel mundial que proporcionan equipos de medición de gran resolución fueron estudiadas como se observa en la tabla 1-A.

Tabla 1-A: Características de equipos de marcas reconocidas [Elaboración propia].

Equipo de medición: Plastómetro					
Características	Compañías				
	Zwick/Roell			Tinius Olsen	Instron
Tipo	Aflow	Mflow	Cflow	MP1200	CEAST 7028
Costo	Muy Elevado	Elevado	Elevado	Elevado	Muy Elevado
Sistema de selección de peso	Pistón neumático ejerce la fuerza necesaria	selección manual de pesos patrones	selección manual de pesos patrones	selección manual de pesos patrones	Accionador automático coloca el peso a utilizar
Sistema de medición	Método A Método B Método C	Método B	Método A	Método B	Método A Método B Método C
Carga máxima [Kg]	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6
Limpieza	Automática	Manual	Manual	Manual	Automática

Requerimientos de usuarios

Los requerimientos de los usuarios son necesidades que el cliente espera que sean cumplidos en el equipo. Como requerimientos de usuarios se obtuvo los siguientes resultados:

- El equipo debe tener un costo bajo en comparación con los equipos actuales en el mercado, teniendo un valor de costo máximo igual a \$1,000.00
- El equipo debe proporcionar un valor de MFI muy preciso, estableciendo valores de temperatura estables.
- El equipo debe ser de fácil ensamblaje donde a su vez incluye un fácil mantenimiento.
- El equipo debe ser de fácil manejo desde su preparación hasta su limpieza.
- El equipo debe ser duradero, que sea muy resistente al desgaste.

- El equipo debe proporcionar implementos seguros para su uso junto con soportes estables.

Requerimientos técnicos

Los requerimientos funcionales de diseño son aspectos técnicos que son considerados por los ingenieros y expertos para poder cumplir con los requerimientos de los usuarios, entre ellas se tiene:

- El equipo debe presentar un bajo costo de adquisición del equipo, con dimensiones permisibles en todo espacio de trabajo.
- El equipo debe tener un ensamblaje versátil con alto nivel de mantenibilidad.
- El material debe presentar altos niveles de dureza, con un buen acabado superficial, ser de alta maquinabilidad con mínimas tolerancias requeridas.
- El equipo debe tener un sistema electrónico que junto con sensores alta precisión pueda presentar los datos adquiridos y resultados computados.
- El equipo debe presentar un aislante térmico en toda su superficie como medida de seguridad para que la transferencia se transfiera de manera interna y necesariamente debe ser uniformemente.
- El equipo debe tener un soporte sólido, estable y resistente para evitar fallos de medición.

Restricciones de diseño

En la tabla 2-A se puede observar restricciones y limitaciones que se presentan en la norma para el diseño del equipo junto con las restricciones y limitaciones planteadas para el diseño del prototipo en base a los requerimientos técnicos, requerimientos de los usuarios y presupuesto disponible para la construcción del mismo.

Tabla 2-A: Restricciones y limitaciones de diseño [Elaboración propia].

Requerimientos del usuario	Restricciones	
	Según Norma ISO 1133	Prototipado
Costo		
Costo bajo del equipo	-	Costo máximo \$1,000.00
Durabilidad		
Alta resistencia	Dureza mínima de cilindro y boquilla 500HV Dureza Pistón < Dureza cilindro	Dureza mínima de cilindro y boquilla 300HB Dureza Pistón < Dureza cilindro
Eficiencia		
Fácil manipulación	-	Interfaz de cómputo amigable con usuario
Ajustable a espacio de trabajo	-	Área máxima 0.5 m2
Muestre valores precisos	Sensores alta precisión	Uso sensores de buena resolución
Presenta datos detallados	-	Presenta informe completo
Seguridad		
Seguridad durante su funcionamiento	No presente riesgo al usuario	No presente riesgo al usuario
Soporte estable	-	Factor de seguridad mayor a 3
Mantenibilidad		
Fácil mantenimiento	-	Permita una fácil limpieza
Fácil instalación	-	Ajuste y uniones a presión o pernos
Precisión		
Cumple normas internacionales	Tolerancias entre 10 y 20 [um]	Tolerancias entre 20 y 50 [um]
Sistema automatizado medición	-	Uso sistemas computacionales para medir, realizar cálculos y presentar resultados.
Trabaja a temperatura estable	Trabaja hasta temperaturas de 350 °C	Trabaja hasta temperaturas menores a 200 °C

Casa de la calidad

Esta herramienta nos permite realizar una relación entre los requerimientos de los usuarios y técnicos. Se cuantificó estos requerimientos mediante valores numéricos para medir su relación, con valores referenciales: 9 fuerte relación, 3 relación media y 1 relación débil. De la misma manera se realizó una correlación entre las características técnicas, con valores referenciales: “+” para una correlación positiva, “-“ una correlación negativa y en blanco si no existía correlación. En la figura 1-A se observa una estructura general de la casa de la calidad y en la figura 2.2 se observa la casa de calidad para el proyecto integrador.

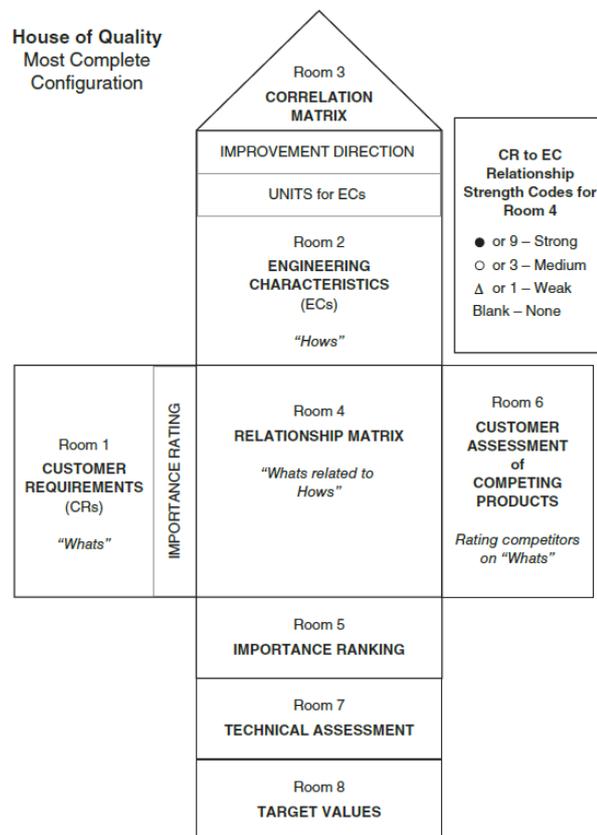


Figura 1-A: Estructura general de la casa de la calidad [Dieter & Schmidt, 2009]

APÉNDICE B

SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE MÉTODOS

Tabla 1-B: Tabla de ventaja y desventajas entre los métodos A, B y C
[Elaboración propia].

	Ventajas	Desventajas
Método A	Presenta buenos resultados cuando se lo utiliza para medir diferentes tipos de plásticos	La intervención humana durante el ensayo puede provocar errores no deseados
		Se necesitan equipos adicionales para obtener el índice de fluidez
		Los resultados pueden variar considerablemente por las condiciones del medio
Método B	Menor cantidad de componentes para dar mantenimiento	Debe tener un sensor de desplazamiento con alta resolución
	No existe intervención humana durante el proceso de medición	
Método C	Recomendo para materiales con un valor alto de índice de fluidez	Al ser la boquilla muy pequeña, se dificulta el proceso de mecanizado
		Incremento de los esfuerzos críticos en la boquilla y sus alrededores

Los criterios de selección determinados en base a la tabla anterior son:

- Confiabilidad de los resultados
- Mantenibilidad
- Fácil uso
- Rango de aplicación
- Mínima intervención humana

Dieter & Schmidt (2009) nos menciona que una herramienta para evaluar alternativas consiste en la matriz de decisión, para realizar una matriz de decisión se le asigna un factor de peso en porcentaje a cada criterio de selección. Estos pesos serán designados mediante el método Weight Scoring Method (WSM)(Jadhav & Sonar, 2009). Este método se enfoca principalmente en asignar los pesos relativos a los criterios de selección para así determinar la importancia de los mismos. Estos valores se tabulan en la tabla 2-B.

Tabla 0-B: Tabla de pesos entre criterios de selección [Jadhav & Sonar, 2009]

relación de criterios	valor
X es igual de preferido que Y	1
X es moderadamente preferido en lugar de Y	3
X es fuertemente preferido en lugar de Y	5
X es verdaderamente preferido en lugar de Y	7
X es extremadamente preferido en lugar de Y	9
Valores intermedios	2, 4, 6, 8
Preferencia de Y en comparación a X	1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9

Usando la tabla 2-B se asignará los valores respectivos según la relación que corresponda como se observa en la tabla 3-B, seguido de esto se sumarán dichos valores que se agruparán en la columna total y la ponderación final de cada criterio corresponde al total relativo de cada uno de ellos.

Tabla 3-B: Tabla de asignación de pesos a los criterios de desempeño para la selección del método a utilizar [Elaboración propia].

Criterio (X-Y)	Confiabilidad de resultados	Mantenibilidad	Fácil uso	Rango de aplicación	Mínima Intervención humana	Total	Ponderación (total relativo)
Confiabilidad de resultados	1.00	6.00	7.00	3.00	0.20	17.20	0.30
Mantenibilidad	0.17	1.00	3.00	0.20	0.11	4.48	0.08
Fácil uso	0.14	0.14	1.00	0.50	0.14	1.93	0.03
Rango de aplicación	0.33	5.00	2.00	1.00	0.33	8.67	0.15
Mínima Intervención humana	5.00	9.00	7.00	3.00	1.00	25.00	0.44
						57.27	1.00

Esta ponderación total nos servirá para posteriormente realizar la matriz de decisión respecto a los métodos de ensayo, donde la primera columna muestra los criterios de selección seguido de sus valores de ponderación indicados en la tabla 3-B. Las calificaciones se evaluarán en una escala del 1 al 5, siendo el valor de 1 no satisfactorio, 2 aceptable, 3 admisible, 4 suficiente y 5 satisfactorio.

APÉNDICE C

CÁLCULOS

Desgaste adhesivo

El análisis desgaste adhesivo solo se realizará al pistón, debido a que es el elemento más crítico a fallar por desgaste. El desgaste adhesivo volumétrico por distancia de deslizamiento es el siguiente:

$$V_{desgaste} = K \frac{W}{3H} = 10^{-2} * \frac{2.16}{3(160)} = 0.000045 \left[\frac{mm^3}{mm} \right]$$

Considerando que se desplaza 140 [mm] el cual es la longitud del cilindro donde se realiza el ensayo

$$V_{desgaste} = 4.5 * 10^{-5} * 140 = 0.0063 [mm^3]$$

Tener en cuenta que solo existirá desgaste en la cabeza del pistón, por lo tanto:

$$Profundidad\ desgaste = \frac{0.0063}{\pi d L} = \frac{0.0063}{\pi(9.48)(6.35)} = 3.33 * 10^{-5} [mm]$$

Al ser un equipo de medición de gran precisión, se ha determinado que cuando la profundidad del desgaste sea mayor o igual a 0.05 [mm], el pistón debe ser reemplazado por uno nuevo. Considerando que se realiza 1 ensayo por día de lunes a viernes, el tiempo estimado de vida útil es el siguiente.

$$N^{\circ} de\ ensayos\ máximos = \frac{0.05}{profundidad\ de\ desgaste\ por\ ensayo}$$

$$N^{\circ} de\ ensayos\ máximos = \frac{0.05}{3.33 \times 10^{-5}} = 1501.5$$

$$Tiempo\ de\ vida\ estimado = \frac{1502\ ensayos}{341 \left[\frac{ensayos}{año} \right]} = 4.4\ años = 4\ años\ 5\ meses$$

Desgaste abrasivo

Para determinar la viscosidad del material según la velocidad del corte, se consideraron datos experimentales del polímero HS5502 proporcionado por LEMAT, los cuales fueron ingresados a Ansys Fluent Flow (polyflow) para determinar el comportamiento del polímero a muy bajas velocidades de corte, siguiendo el modelo de Carreau-Yasuda

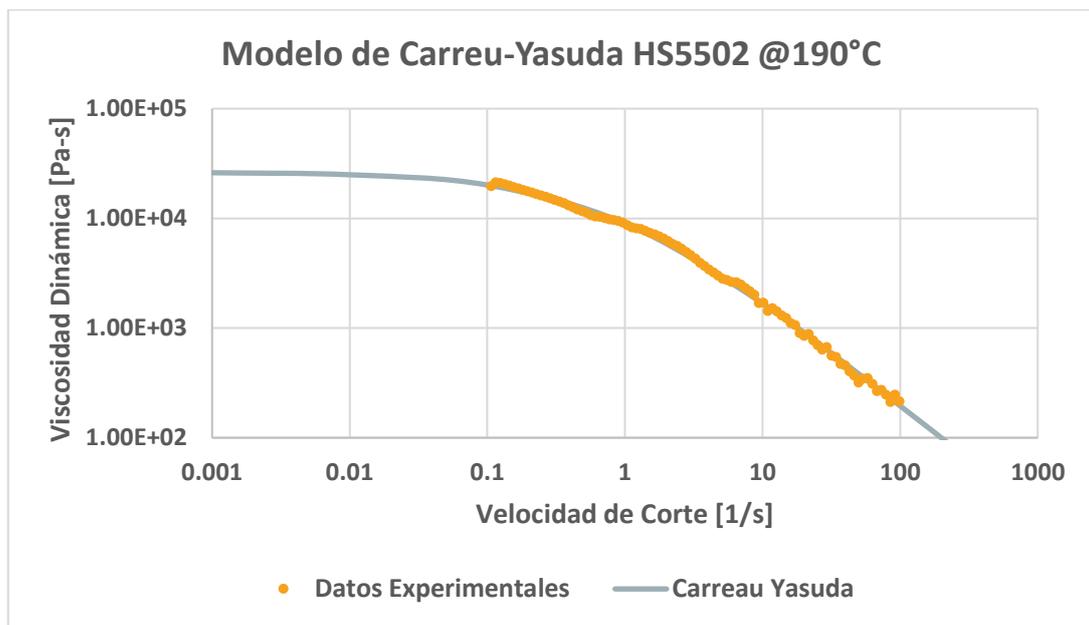


Figura 1-C: Viscosidad Dinámica vs Velocidad de corte [Elaboración propia].

Estos valores experimentales fueron ingresados a Ansys Fluid Flow (fluent) para determinar la velocidad de extrusión del material al momento de aplicarse una carga de 2.16 [Kg].

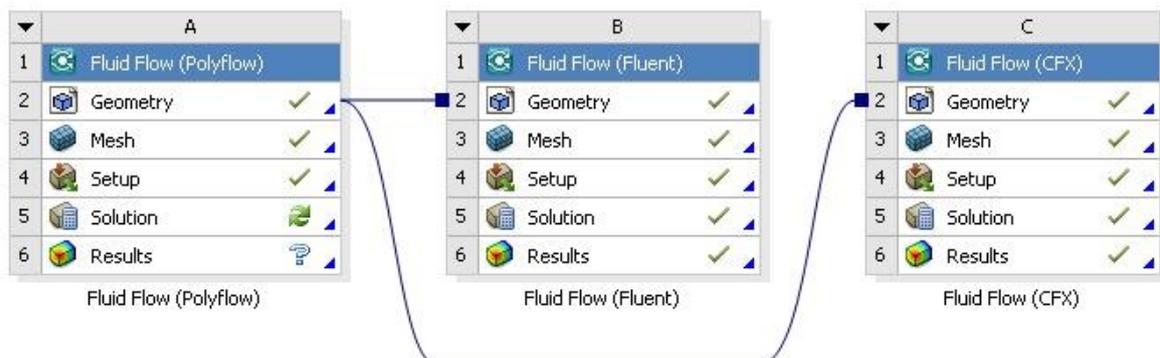


Figura 2-C: Configuración de Ansys [Elaboración propia].

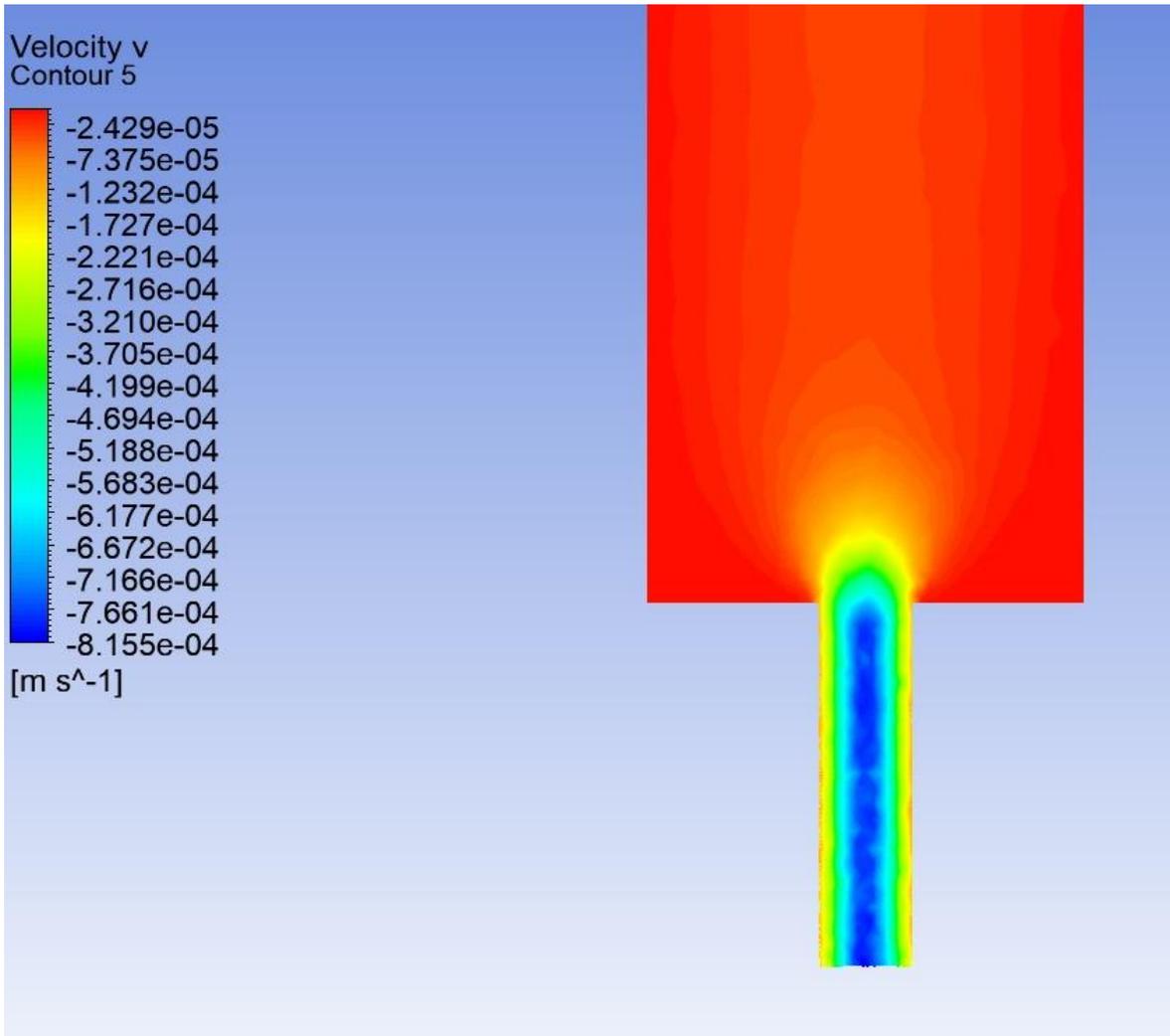


Figura 3-C: Análisis de velocidad vertical del fluido [Elaboración propia].

Donde d/t es la velocidad del pistón

$$\dot{\gamma} = \frac{4r^2 d}{R^3 t} = \frac{4 \left(\frac{9.55 * 10^{-3}}{2} \right)^2}{\left(\frac{2 * 10^{-3}}{2} \right)^3} (2.42 * 10^{-5}) = 3.286 \left[\frac{1}{s} \right]$$

Usando la ecuación de la figura 1-C:

$$u_{dinámico} = \frac{2.23 * 10^4}{1 + (1.44 * \dot{\gamma})^{1-0.054}} = 4.46E03 [Pa S]$$

$$\tau_{dado} = u_{dinámico} \dot{\gamma}$$

$$\tau_{dado} = 14655 [Pa]$$

Cilindro

$$S_w = \frac{\dot{\gamma}(3 + b)}{4}$$

$$b = \frac{d(\log \dot{\gamma})}{d(\log \tau_{dado})} = \frac{\log(3.286)}{\log(14655)} = 0.124$$

$$S_w = \frac{3.286(3 + 0.124)}{4} = 0.11 \left[\frac{1}{s} \right]$$

$$u_{dinámico} = \frac{2.23 \times 10^4}{1 + (1.44 * S_w)^{1-0.054}} = 1.89E04 [Pa S]$$

$$u_{dinámico} = 1.89E04 [Pa S]$$

$$\tau = u_{dinámico} S_w = (1.89 * 10^4)(0.11)$$

$$\tau = 2079 Pa$$

Profundidad de desgaste

$$Pfd = \frac{K * \tau * h}{H}$$

$$Pistón = \frac{(10^{-7})(2079)(0.07)}{1030 * 10^6} = 1.41 * 10^{-14} [m] = 1.41 * 10^{-11} [mm]$$

$$Cilindro = \frac{(10^{-7})(2079)(0.07)}{1125 * 10^6} = 1.29 * 10^{-14} [m] = 1.29 * 10^{-11} [mm]$$

$$Dado = \frac{(10^{-7})(14655)(0.07)}{1125 * 10^6} = 9.12 * 10^{-14} [m] = 9.12 * 10^{-11} [mm]$$

Los valores de dureza en unidades [MPa] y constante de desgaste K se obtuvieron de las siguientes tablas:

Tabla 1-C: Tasa de desgaste para combinación de material [Elaboración propia].

T.S. Rm 820- 2180 [Mpa]	Hardness Vickers [HV]	Hardness Brinell [HB]	Hardness Rockwell C [HRC]
820	255	242	23,1
835	260	247	24
850	265	252	24,8
865	270	257	25,6
880	275	261	26,4
900	280	266	27,1
915	285	271	27,8
930	290	276	28,5
950	295	280	29,2
965	300	285	29,8
995	310	295	31
1030	320	304	32,2
1060	330	314	33,3
1095	340	323	34,4
1125	350	333	35,5

Surfaces	Hardness p_1 , kg/mm ²	K (calculated)
Similar metals, 0.01 cm/s:		
Cadmium	20	10 ⁻²
Zinc	38	10 ⁻¹
Silver	43	10 ⁻²
Mild Steel	160	10 ⁻²
Dissimilar metals, 0.01 cm/s:		
Cadmium on mild steel	—	10 ⁻⁴
Copper on mild steel	—	10 ⁻³
Platinum on mild steel	—	10 ⁻³
Mild steel on copper	—	4 × 10 ⁻⁴
Similar metals, 180 cm/s:		
Mild steel	190	7 × 10 ⁻³
Hardened tool steel	850	10 ⁻⁴
Sintered tungsten carbide	1300	10 ⁻⁶
On hard tool steel, 180 cm/s:		
Brass 60 : 40	90	6 × 10 ⁻⁴
Silver steel	320	6 × 10 ⁻⁵
Beryllium copper	210	4 × 10 ⁻⁵
Stellite 1	690	5 × 10 ⁻⁵
Nonmetals on hard steel, 180 cm/s:		
PTFE (Teflon, Fluon)	5	2 × 10 ⁻⁶
Perspex (Plexiglas)	20	7 × 10 ⁻⁶
Bakelite (poor)	5	7 × 10 ⁻⁶
Bakelite (good)	30	7 × 10 ⁻⁷
Polythene	2	1 × 10 ⁻⁷

Tiempo calentamiento y control de temperatura

$$E_{st} = \frac{dE_{st}}{dt} = E_{in} - E_{sale} + E_g$$

$$E_{in} = 0$$

$$\frac{dcinética}{dt} + \frac{dPotencial}{dt} + \frac{dtérmico}{dt} = E_{st}$$

$$\frac{dcinética}{dt} = \frac{dPotencial}{dt} = 0$$

$$E_g - E_{sale} = \frac{dtérmico}{dt}$$

$$Q_{generado} - Q_{sale} = mC_p \frac{dT}{dt}$$

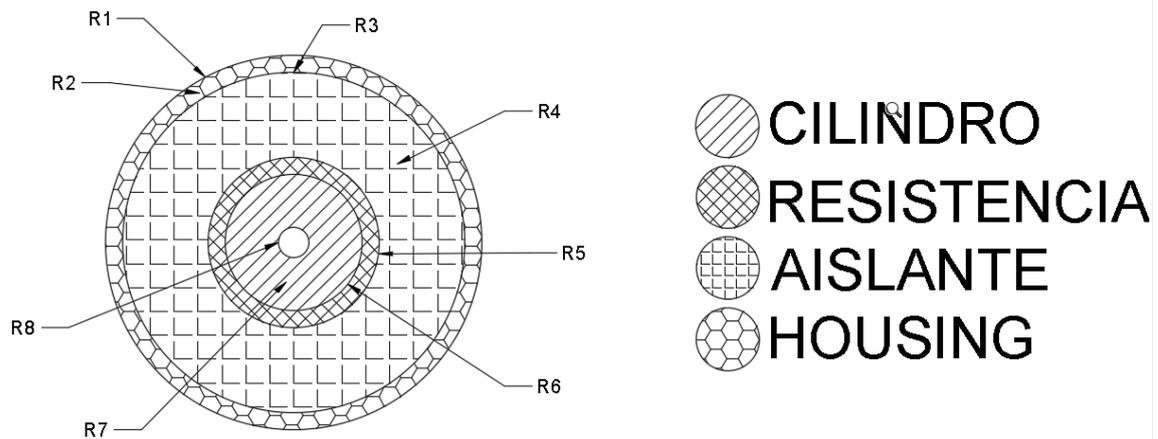


Figura 4-C: Diagrama de resistencias del sistema [Elaboración propia].

$$Q_{sale} = \frac{T - T_{amb}}{R_{t\acute{e}rmica}} + Q_{convectivo} = \frac{T - T_{amb}}{(R_6 + R_7 + R_8) + (R_5 + R_4 + R_3 + R_2 + R_1)} + \frac{\pi}{4}(D_o^2 - D_i^2)(15)(T - T_{amb})$$

Las resistencias térmicas de contacto se las obtuvieron de las siguientes tablas:

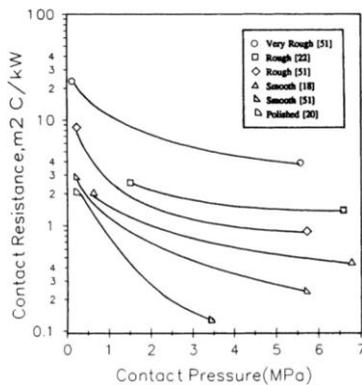


Fig. 8 Thermal contact resistance as a function of contact pressure for stainless steel 304 contacts.

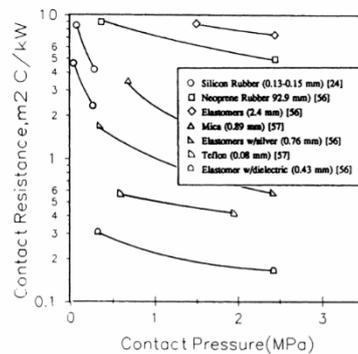


Fig. 12 Thermal contact resistance as a function of contact pressure for aluminum surfaces in contact with non-metallic interstitial materials.

Figura 5-C: Resistencia de contacto vs Presión de contacto [Elaboración propia].

$$Q_{sale} = \frac{T - 25}{\frac{1}{2\pi(15)(0.140)(0.00955)} + \frac{\ln(\frac{40}{9.5})}{2\pi(44.5)(0.140)} + \frac{1}{0.2 \times 10^3} + \frac{1}{2 \times 10^3} + \frac{\ln(\frac{50}{25})}{2\pi(0.06)(0.140)} + \frac{1}{0.3 \times 10^3} + \frac{\ln(\frac{53.3}{50})}{2\pi(47)(0.140)} + \frac{1}{2\pi(0.0533)(15)(0.140)} + \frac{\pi}{4}(D_o^2 - D_i^2)(15)(T - 25)}$$

$$Q_{sale} = \left[\frac{1}{22.49} + 0.0177 \right] (T - 25)$$

$$Q_{sale} = 0.0622(T - 25)$$

$$Q_{generado} - Q_{sale} = mC_p \frac{dT}{dt}$$

$$m = \rho V = 7800 \left(\frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2) L \right) = 1.294 \text{ [kg]}$$

$$c_p = 460 \left[\frac{J}{Kg K} \right]$$

$$m c_p = 595.25 \left[\frac{J}{K} \right]$$

$$Q_{generado} = 0.0622T - 1.555 + 595.25 \frac{dT}{dt}$$

$$150 - 0.0622T + 1.555 = 595.25 \frac{dT}{dt}$$

$$0.255 - 1.04 \times 10^{-4} T = \frac{dT}{dt}$$

$$t = \int \frac{1}{0.255 - 1.04 \times 10^{-4} T} dT$$

$$t = \frac{1}{1.04 \times 10^{-4}} \int \frac{1}{2451.92 - T} dT$$

$$t = -9615.38 \int_{25}^{189} \frac{1}{-2451.92 - T} dT$$

$$t = -9615.38 \left[\ln|T - 2451.92| \right]_{25}^{189}$$

$$t = -9615.38 [\ln|189 - 2451.92| - \ln|25 - 2451.92|]$$

$$t = 672 \text{ sec} = 11 \text{ min } 24 \text{ seg}$$

$$Q_{generado} = 0.0622T - 1.555 + 595.25 \frac{dT}{dt}$$

Asumiendo que la Resistencia eléctrica no cambia con respecto a la temperatura:

$$Q_{generada} = \frac{V^2}{Re}$$

$$150 = \frac{12^2}{Re} \rightarrow Re = 0.96$$

El cambio de temperatura con respecto al tiempo ($\frac{dT}{dt}$) en el punto de operación de la planta es igual a 0 por lo tanto:

$$\frac{dT}{dt} = 0$$

$$Q_{generada} = \frac{V_{op}^2}{Re}$$

$$\frac{V_{op}^2}{Re} = 0.0622T - 1.555$$

Estableciendo el punto de operación en 189°C

$$V_{op} = \sqrt{Re(0.0622T - 1.5550)} = 3.13$$

$$Q_{(s)} = C_1 V_{(s)}$$

$$C_1 = \frac{dq}{dv} = 2 \frac{V_{op}}{Re} = \frac{2(3.13)}{0.96} = 6.52$$

$$Q_{(s)} = 6.52 V_{(s)}$$

Aplicando Laplace a la ecuación diferencial de la planta

$$Q(s) = 0.0622 T_{(s)} + 595.25 S T_{(s)}$$

Sabiendo que $Q_{(s)} = 6.52 V_{(s)}$ y mediante simple despeje se obtiene la función de transferencias de la planta

$$\frac{T_{(s)}}{V_{(s)}} = \frac{6.52}{595.25 S + 0.0622} = H$$

Con la función de transferencia de la planta y mediante la herramienta Sisotool del software Matlab, se estableció un overshoot del 0.64% y un tiempo de estabilización de 216 segundos, para así completar los 15 min de calentamiento

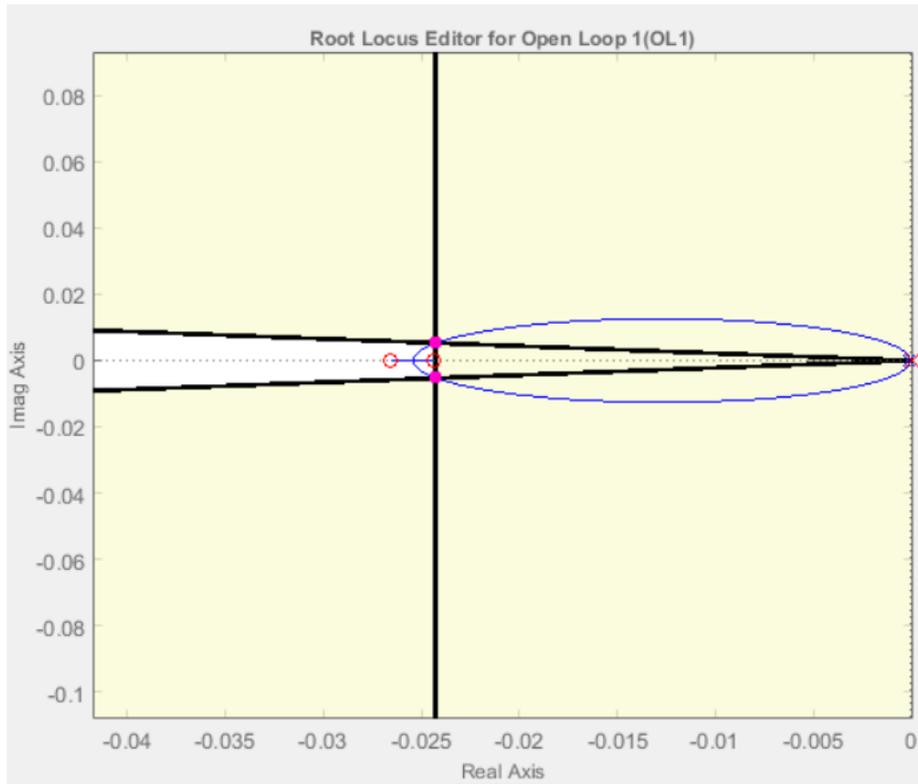


Figura 6-C: Lugar geométrico de las raíces [Elaboración propia].

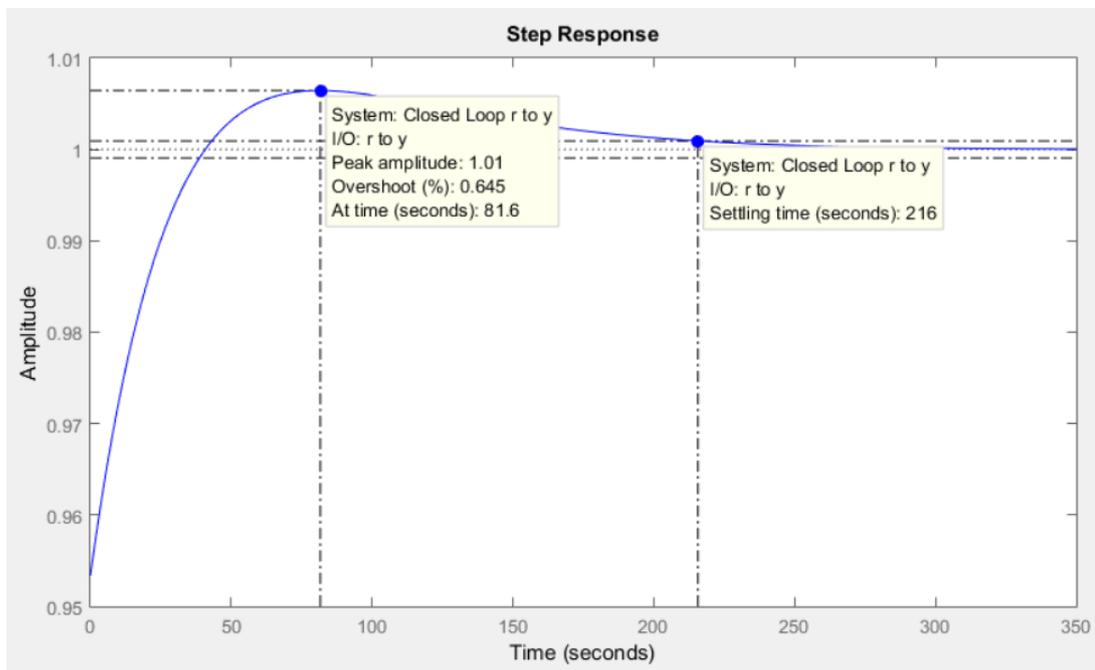


Figura 7-C: Tiempo de estabilización entre 189°C a 190°C [Elaboración propia].

Donde se pudo obtener la función de transferencia del controlador PID:

$$C = \frac{1857.3 (S + 0.02655)(S + 0.02433)}{S}$$

$$K_p = 94.5 \quad K_i = 1.2 \quad K_d = 1.860$$

Fatiga térmica

Deformación térmica lineal

$$\Delta l = l_o * \alpha * \Delta T = (0.140) * (12.7 \times 10^{-6}) * (190 - 25) = 0.0003$$

Deformación térmica lateral

$$\Delta d = d_o * \alpha * \Delta T = (0.00955) * (12.7 \times 10^{-6}) * (190 - 25) = 0.00002$$

Deformación térmica volumétrica

$$V = \frac{\pi}{4} (do^2 - di^2) L$$

Donde,

di = Diámetro interior

do = Diámetro exterior

L = Longitud del cilindro

$$\delta V = \frac{\pi}{4} (2do\delta do - 2di\delta di) L + \frac{\pi}{4} (do^2 - di^2) \delta L$$

Sabiendo que $\delta do = 0$

$$\delta V = \frac{\pi}{4} (-2di\delta di) L + \frac{\pi}{4} (do^2 - di^2) \delta L$$

$$\frac{\delta V}{V} = \frac{\frac{\pi}{4} (-2di\delta di) L}{\frac{\pi}{4} (do^2 - di^2)} + \frac{\frac{\pi}{4} (do^2 - di^2) \delta L}{\frac{\pi}{4} (do^2 - di^2) L}$$

$$\frac{\delta V}{V} = \frac{-2di\delta di}{do^2 - di^2} + \frac{\delta L}{L}$$

$$\frac{\delta V}{V} = \frac{-2(0.000955)(0.00002)}{0.040^2 - 0.00955^2} + \frac{0.003}{0.140} = 0.0020$$

Según el criterio de falla Mason – Coffin:

$$\Delta \varepsilon_{elastica} = A(N_f)^\alpha$$

Las constantes para el cálculo de fatiga térmica se obtuvieron de las siguientes gráficas

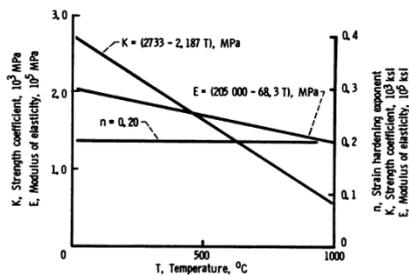


Figure 28. - Temperature dependence of cyclic stress-strain constants, E, K, and n.

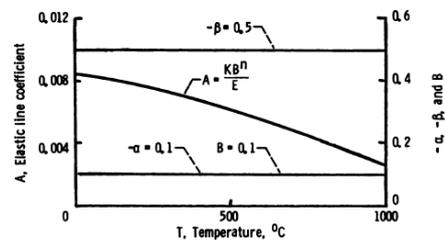


Figure 29. - Temperature dependence of time-independent fatigue constants.

Figura 8-C: Variación temperatura por los esfuerzos cíclicos & constantes de fatiga

[Elaboración propia].

$$\alpha = \beta n$$

$$\alpha = (-0.5)(0.20)$$

$$\alpha = -0.1$$

$$K = 2.3 \times 10^3 \text{ MPa}$$

$$E = 1.92 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$B = 0.1$$

$$A = \frac{KB^n}{E} = \frac{2.3 \times 10^3 * 0.1^{0.20}}{1.92 \times 10^5} = 0.007$$

$$N_f = \sqrt[\alpha]{\frac{\Delta \varepsilon_{elastica}}{A}} = \sqrt[-0.1]{\frac{0.0020}{0.007}} = 215497.3 \text{ ciclos}$$

Análisis de esfuerzos en el cilindro

Para determinar la presión dentro del cilindro, se consideró que la altura del polímero en estado de fusión es de 72mm con una densidad 763.6 kg/m³.

$$P_{total} = P_{manométrica} + P_{hidrostática}$$

$$P_{total} = \frac{F}{A} + \rho * g * h$$

$$P_{total} = \frac{2.16 * 9.81 * 4}{\pi * (9.48 \times 10^{-3})^2} + 763.6 * 9.81 * 0.072 = 300753.18 = 3.008 \times 10^5 \text{ [Pa]}$$

$$\sigma_{tangencial} = \frac{r_i^2 * p_i}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 + \frac{r_o^2}{r^2} \right)$$

$$\sigma_{tangencial} = \frac{0.00955^2 * 3.008 \times 10^5}{0.040^2 - 0.00955^2} \left(1 + \frac{0.040^2}{0.00955^2} \right) = 337165 \text{ [Pa]}$$

$$\sigma_{radial} = \frac{r_i^2 * p_i}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 - \frac{r_o^2}{r^2} \right)$$

$$\sigma_{radial} = \frac{0.00955^2 * 3.008 \times 10^5}{0.040^2 - 0.00955^2} \left(1 - \frac{0.040^2}{0.00955^2} \right) = -300800 \text{ [Pa]}$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_t^2 - \sigma_r \sigma_t}$$

$$\sigma' = \sqrt{337165^2 + 300800^2 + (337165 * 300800)} = 552793 \text{ [Pa]}$$

$$\text{Factor seguridad} = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{8 \times 10^8}{552793} = 1447$$

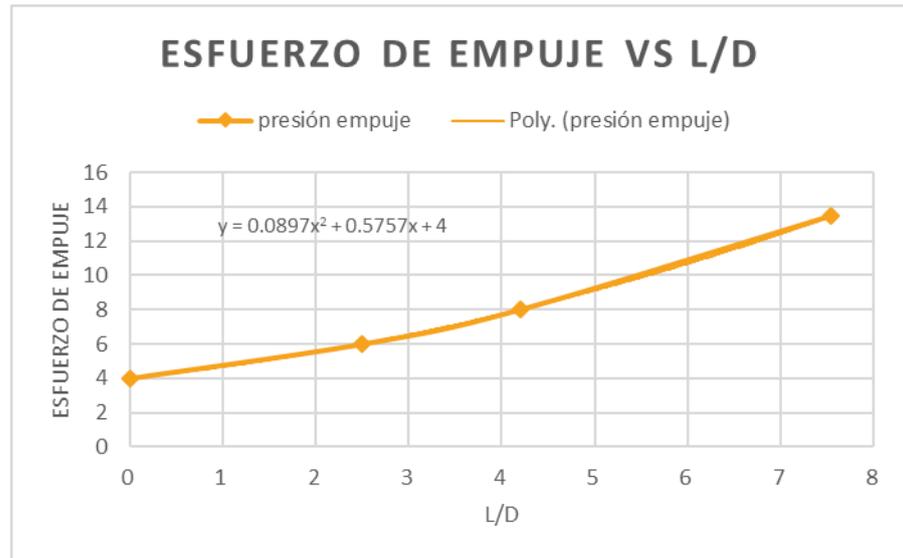


Figura 9-C: Esfuerzo de empuje vs L/D [Elaboración propia].

Rango de esfuerzos presente en la entrada del dado de extrusión

$$\frac{L_{polímero}}{d_{interior}} = \frac{72}{9.55} = 7.54$$

Usando la gráfica

$$P_{empuje} = 13.43 \sigma_{empuje}$$

$$\sigma_{empuje} = \frac{P_{empuje}}{13.43} = \frac{3.008 \times 10^5}{13.43} = 22397.62 [Pa]$$

Donde

$$\sigma_{entrada_dado} = n \sigma_{empuje} \quad 1 \leq n \leq 4$$

$$22397.62 \leq \sigma_{entrada_dado} \leq 89590 [Pa]$$

Análisis de pandeo del pistón

Esbeltez mínima acero

$$\left(\frac{L}{\Gamma}\right)^2 = \frac{(200 * 10^9)\pi^2}{200 * 10^6}$$

$$\left(\frac{L}{\Gamma}\right)^2 \geq 100 \text{ para utilizar formula de euler}$$

Para el diseño de pistón

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = 3.76 * 10^{-5} [m^2]$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = 1.13 * 10^{-10} [m^4]$$

$$\Gamma = \sqrt{\frac{1.13 * 10^{-10}}{3.76 * 10^{-5}}} = 1.73 * 10^{-3}$$

$$Le = 2L$$

$$\frac{Le}{\Gamma} = \frac{2(200 * 10^{-3})}{1.73 * 10^{-3}} = 230$$

Como $230 \geq 100$ se puede utilizar ecuación de euler

Condición: empotrado y libre

$$N = \frac{1}{4}$$

$$P_{cr} = \left[N \frac{EI\pi^2}{L^2} \right] \frac{1}{F_s}$$

Relación de esbeltez

$$C_c = \pi \sqrt{\frac{2E}{S\gamma}} = \pi \sqrt{\frac{2(200 * 10^9)}{700 * 10^6}} = 75.09$$

Según AISC si $\frac{Le}{\Gamma} > C_c$ entonces el $F_s = 1.92$, por lo tanto

$$P_{cr} = \left[N \frac{EI\pi^2}{L^2} \right] \frac{1}{F_s}$$

$$P_{cr} = \left[\left(\frac{1}{4}\right) \frac{(200 * 10^9)(1.11 * 10^{-10})\pi^2}{0.22} \right] \frac{1}{1.92} = 713.23 [N] \text{ carga crítica}$$

Factor de seguridad de diseño

$P = \text{peso para ensayo}$

$$n = \frac{P_{cr}}{P} = \frac{\left[N \frac{EI\pi^2}{L^2} \right]}{P} = \frac{1369.4}{21.19} = 64$$

Diseño del Resorte

$$C = 17$$

$$d = 1 \text{ [mm]}$$

$$C = \frac{D}{d} \rightarrow D = C * d = 17 \text{ [mm]}$$

$$\theta_{rev} = 40^\circ = 0.111 \text{ rev}$$

El momento máximo que afectará al resorte será el ejercido por la pesa del ensayo (2.085 Kg) y el momento mínimo será ejercido por el peso del palo (0.0041 Kg) impreso en ABS.

$$M_{max} = (2.085)(9.81)(0.063) = 1.29 \text{ [Nm]}$$

$$M_{min} = (0.0041)(45 * 10^{-3}) = 0.00017 \text{ [Nm]}$$

$$K_1 = \frac{M}{\theta_{rev}} = \frac{1.29}{0.111} = 11.621 \left[\frac{\text{Nm}}{\text{rev}} \right] \quad K_2 = \frac{0.00017}{0.111} = 0.00153 \left[\frac{\text{Nm}}{\text{rev}} \right]$$

Material SAE 1085

$$E = 80 \text{ Gpa}$$

Para que el resorte regrese.

$$K_{resorte} = 0.027 \left[\frac{\text{Nm}}{\text{rev}} \right]$$

$$N_a = \frac{d^4 E}{(10.8)DK} = \frac{(1 * 10^{-3})^4 (80 * 10^9)}{(10.8)(17 * 10^{-3})(0.027)} = 16 \text{ vueltas}$$

Factor de flexión (Superficie interior esfuerzo compresión)

$$K_{bi} = \frac{4C^2 - C - 1}{4C(C - 1)} = \frac{4(17)^2 - 17 - 1}{4(17(17 - 1))} = 1.046$$

$$\sigma_{i_{max}} = Kbi * \frac{32Mmax}{\pi d^3} = 1.046 * \frac{32(1.29)}{\pi(1 * 10^{-3})} = 1.37 * 10^{10}$$

Factor de flexión (Superficie exterior esfuerzo tensión)

$$Kbo = \frac{4C^2 + C - 1}{4C(C + 1)} = \frac{4(17)^2 + 17 - 1}{4(17(17 + 1))} = 1.077$$

$$\sigma_{o_{min}} = Kbo * \frac{32Mmin}{\pi d^3} = 1.86 * 10^6$$

$$\sigma_{o_{max}} = Kbo * \frac{32Mmax}{\pi d^3} = 1.41 * 10^9$$

$$\sigma_{o_{medio}} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = 1.41 * 10^{10}$$

$$\sigma_{o_{alternativo}} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = 1.41 * 10^{10}$$

Resistencia ultima tensión y resistencia fluencia

Tabla 10-4 Coeficientes y exponentes para la ecuación 10.3
Fuente: Referencia 1

ASTM #	Material	Intervalo		Exponente <i>b</i>	Coeficiente <i>A</i>		Factor de correlación
		mm	in		MPa	psi	
A227	Forjado en frío	0.5–16	0.020–0.625	–0.182 2	1 753.3	141 040	0.998
A228	Alambre musical	0.3–6	0.010–0.250	–0.162 5	2 153.5	184 649	0.9997
A229	Revenido en aceite	0.5–16	0.020–0.625	–0.183 3	1 831.2	146 780	0.999
A232	Cromo-v.	0.5–12	0.020–0.500	–0.145 3	1 909.9	173 128	0.998
A401	Cromo-s.	0.8–11	0.031–0.437	–0.093 4	2 059.2	220 779	0.991

$$S_{ut} = Ad^b = 2153.5(1 * 10^{-3})^{-0.1625} = 6.62 * 10^4 [MPa]$$

Tabla 10-15 Resistencia máxima a la fluencia por flexión S_y , recomendada para resortes helicoidales de torsión en aplicaciones estáticas
Fuente: Adaptado de la referencia 1

Material	Porcentaje máximo de resistencia última a la tensión	
	Esfuerzo eliminado	Esfuerzo residual favorable
Acero al carbono forjado en frío (p. ej., A227, A228)	80%	100%
Acero al carbono endurecido y revenido, (y aleación de acero al bajo carbono revenido y endurecido (p. ej., A229, A230, A232, A401)	85	100
Acero inoxidable austenítico y aleaciones no ferrosas (p. ej., A313, B134, B159, B197)	60	80

$$S_y = 0.8S_{ut} = 5.29 * 10^4 [MPa] \text{ (caso más conservador)}$$

Resistencia límite de fatiga

$$S_{ewb'} = 537 \text{ Mpa (para resortes no granallados)}$$

$$Se = 0.5 * \frac{S_{ewb'} * S_{ut}}{S_{ut} - 0.5S_{ewb'}} = 0.5 * \frac{(537 * 10^6)(6.62 * 10^{10})}{(6.62 * 10^{10}) - 0.5(537 * 10^6)} = 2.69 * 10^8 [\text{Pa}]$$

$$N_{fb} = \frac{Se(S_{ut} - \sigma_{omin})}{Se(\sigma_{omedio} - \sigma_{omin}) + S_{ut}\sigma_{oalt}}$$

$$N_{fb} = \frac{2.69 * 10^8(6.62 * 10^{10} - 1.41 * 10^{10})}{2.69 * 10^8(1.41 * 10^{10} - 1.86 * 10^6) + 2.69 * 10^8(1.41 * 10^{10})}$$

$$N_{fb} = 2.35$$

$$N_{yb} = \frac{S_y}{\sigma_{imax}} = \frac{5.29 * 10^{10}}{1.41 * 10^{10}} = 3.75$$

Propagación de incertidumbre

- **Incertidumbre teórica**

Para obtener la incertidumbre del equipo se consideró datos de un ensayo donde el índice de fluidez obtenido fue de 2.1

$$\frac{\delta MFI}{MFI} = \sqrt{\left(\frac{\delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\delta \rho}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{\delta V}{V}\right)^2}$$

$$Dc = 0.955 \pm 0.002 [\text{cm}]$$

$$Dp = 0.947 \pm 0.0014 [\text{cm}]$$

- Área

$$A = \frac{\pi}{4}(Dc^2 + Dp^2)$$

$$\delta A = \frac{\pi}{4}[2Dc\delta Dc + 2Dp\delta Dc]$$

$$\delta A = \frac{\pi}{4}[2(0.955)(0.002) + 2(0.947)(0.0014)] = 0.005$$

- Densidad

El comportamiento de la densidad de un polietileno a altas temperaturas según ensayos experimentales varía entre:

$$\rho_1 = 0.759 \quad \rho_2 = 0.762 \quad \rho_3 = 0.763$$

$$\rho = 0.761 \pm 0.002$$

- Velocidad

$$v = \frac{\text{distancia}}{\text{tiempo}}$$

$$v = 0.00648$$

$$d = 0.6913$$

$$t = 106.650$$

$$\frac{\delta V}{V} = \sqrt{\left(\frac{\delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\delta t}{t}\right)^2}$$

$$\delta t = 0.001$$

$$d = r \sin \theta \quad \theta = 6.29$$

$$\delta d = r \cos \theta * \delta \theta$$

$$\delta d = 6.3 \cos(6.29) (0.15) \left(\frac{\pi}{180}\right) = 0.016$$

$$\frac{\delta V}{V} = \sqrt{\left(\frac{0.016}{0.613}\right)^2 + \left(\frac{0.001}{106.65}\right)^2} = 0.03$$

$$\frac{\delta A}{A} = \frac{0.005}{1.42}$$

$$\frac{\delta \rho}{\rho} = \frac{0.002}{0.761}$$

$$\frac{\delta V}{V} = 0.03$$

$$\frac{\delta MFI}{MFI} = \sqrt{\left(\frac{0.005}{1.42}\right)^2 + \left(\frac{0.002}{0.761}\right)^2 + (0.03)^2} = 3\%$$

Multiplicando la incertidumbre absoluta por su valor de MFI respectivo, nos da la tolerancia del equipo en [g/10min]:

$$\delta MFI = 2.08 * 0.03 = \pm 0.06 \left[\frac{g}{10min} \right]$$

- **Incertidumbre experimental**

Tabla 3-C: número de ensayos [Elaboración propia].

Número del ensayo	Valor obtenido	Valor esperado
1	1.97	2
2	2.08	2
3	2.05	2
4	2	2
5	2.08	2
6	2.08	2
7	2.08	2
8	1.98	2
9	1.89	2
10	2.1	2

Usando las funciones en Excel se encontró la raíz del error cuadrático medio con su respectiva gráfica

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_{esperado} - v_{obtenido})^2}{n}} = \pm 0.08 \left[\frac{g}{10min} \right]$$

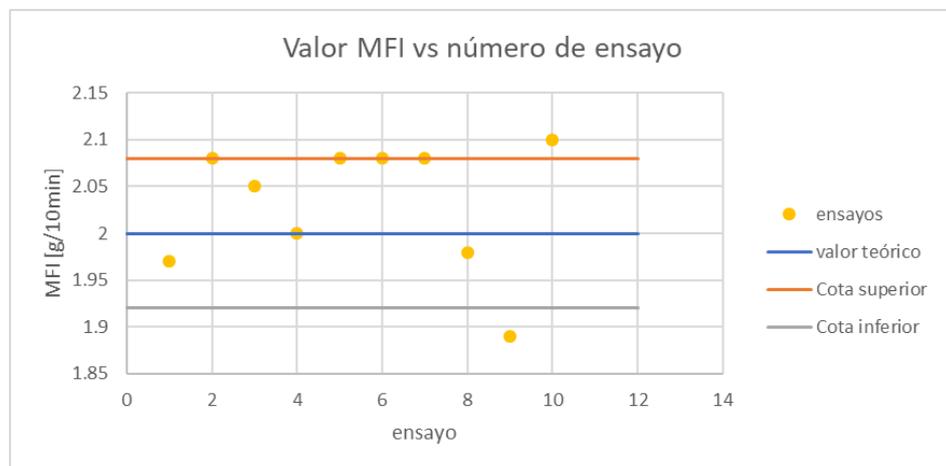


Figura 10-C: Valor MFI VS número de ensayo [Elaboración propia].

Tiempos de mecanizado

Con respecto a los tiempos de mecanizado, se ve involucrado un conjunto de tareas y operaciones que se especifican a continuación:

$$T_{total\ mecanizado} = t_{prep.\ maquina} + t_{prep.\ herramientas} + t_{productivo} + t_{improductivo}$$

Donde:

$$t_{prep. maquina} = 0.02 * t_{productivo}$$

$$t_{prep. herramientas} = 0.03 * t_{productivo}$$

$$t_{improductivo} = t_{cambio herramienta} + t_{limpieza} + t_{muertos}$$

$$t_{cambio herramienta} = 0.05 * t_{productivo}$$

$$t_{limpieza} = 0.10 * t_{productivo}$$

$$t_{muertos} = 0.15 * t_{productivo}$$

El tiempo productivo fue obtenido de las fichas de proceso por pieza, sumando cada una de ellas se obtiene los siguientes resultados:

$$t_{productivo} = 294 [min]$$

$$t_{prep. maquina} = 5.88 [min]$$

$$t_{prep. herramientas} = 8.82 [min]$$

$$t_{improductivo} = 14.70 + 29.41 + 44.11 = 88.22 [min]$$

$$T_{total mecanizado} = 5.88 + 8.82 + 294 + 88.22 = 396.98 [min]$$

$$T_{total mecanizado} = 6 \text{ horas } 37 \text{ minutos}$$

Analisis económico

- Visto para la creación de una empresa

Costos de materiales y mecanizado

Tabla 3-C: Desglose de costos [Elaboración propia].

Material	Cantidad	Costo Total
CARCASA DE ACERO Y CORTE	1	\$ 10.00
FUENTE	1	\$ 20.00
SENSORES	1	\$ 10.99
LCD	1	\$ 11.98
ARDUINO MEGA	1	\$ 14.99
RAMPS 1,4	1	\$ 6.99
RESISTENCIA	1	\$ 35.00

CABLES, PERNOS, RESORTE	-	\$ 15.00
ENCODER 600R/P	1	\$ 18.98
ACEROS	1	\$ 20.00
AISLANTE TÉRMICO	1	\$ 10.00
RELÉ	1	\$ 15.00
RESISTENCIA	1	\$ 35.00
MECANIZADO	-	\$ 80.00
TOTAL		\$ 270.00

Factibilidad

Tabla 4-C: Tabla de factibilidad [Elaboración propia].

MATERIAL	\$ 270.00
Utilidad	55%
Costo	\$ 270.00
Precio unitario	\$ 600.00

Tabla 5-C: inversión final [Elaboración propia].

Inversión Fija				
Obras Físicas				
Obras	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Terreno	m2	100	\$ 35.00	\$ 3,500.00
Taller/oficina	m2	80	\$ 350.00	\$ 28,000.00
Bodega	m2	20	\$ 100.00	\$ 2,000.00
Total				\$ 33,500.00

Equipos y Muebles de Oficina			
Material	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Escritorio	2	\$ 80.00	\$ 160.00
Impresora 3D	2	\$ 300.00	\$ 600.00
Computador	2	\$ 500.00	\$ 1,000.00
Total			\$1,760.00
Total General			\$35,260.00

Tabla 6-C: Depreciación activos [Elaboración propia].

Depreciación de Activos Primer Año			
Equipos Electrónicos	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Computadoras	2	\$ 500.00	\$ 333.00
Impresora 3d	2	\$ 300.00	\$ 199.80
Obra Fisica	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Taller/oficina	1	\$ 350.00	\$ 17.50
Total General			\$ 11,842.50

Tabla 7-C: Tablas de costos [Elaboración propia].

Costos Fijos Unitarios Totales	
Tipo	Costo
Depreciación de Activos Primer Año	\$ 11,842.50
Total	\$ 11,842.50

Costos Variables Unitarios Totales		
Tipo	Costo	
Materiales de Fabricación	\$ 12.50	
Mano de obra directa	\$ -	Anual
Total	\$ 12.50	\$ 156.40

MATERIAL Y MECANIZADO	270
Utilidad	55%
Costo	270
Precio unitario	600

Demanda mensual	5
Demanda inicial proyectada	4

*Para iniciar el proyecto, se estima satisfacer el 80% de la demanda

Tabla 8-C: Tabla de índices y tasas de oportunidad [Elaboración propia].

Ba	2.49%
Kc	28.64%
Kd	5.02%
Tasa de Oportunidad	12.11%
Interés Préstamo Bancario	7.88%

Tabla 9-C: Capital e ingresos de caso normal [Elaboración propia].

Capital de Trabajo Caso Normal													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Totales
Ingresos	\$ -	\$ 2,400.00	\$ 2,400.00	\$ 2,400.00	\$ 2,400.00	\$ 2,400.00	\$ 2,400.00	\$ 2,400.00	\$ 2,400.00	\$ 2,400.00	\$ 2,400.00	\$ 2,400.00	\$ 21,600.00
Egresos	\$ 1,080.00	\$ 1,080.00	\$ 1,080.00	\$ 1,080.00	\$ 1,080.00	\$ 1,080.00	\$ 1,080.00	\$ 1,080.00	\$ 1,080.00	\$ 1,080.00	\$ 1,080.00	\$ 1,080.00	\$ 1,080.00
Saldo	\$ (1,080.00)	\$ 1,320.00	\$ 1,320.00	\$ 1,320.00	\$ 1,320.00	\$ 1,320.00	\$ 1,320.00	\$ 1,320.00	\$ 1,320.00	\$ 1,320.00	\$ 1,320.00	\$ 1,320.00	\$ 20,520.00
Saldo Acumulado	\$ (1,080.00)	\$ 240.00	\$ 1,560.00	\$ 2,880.00	\$ 4,200.00	\$ 5,520.00	\$ 6,840.00	\$ 8,160.00	\$ 9,480.00	\$10,800.00	\$12,120.00	\$13,440.00	\$ 74,160.00
												Capital de Trabajo	\$ 13,440.00
Ingresos Caso Normal													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Totales
Demanda		4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	36
Total	\$ -	\$ 2,400	\$ 2,400	\$ 2,400	\$ 2,400	\$ 2,400	\$ 2,400	\$ 2,400	\$ 2,400	\$ 2,400	\$ 2,400	\$ 2,400	\$ 21,600.00

Demanda Proyectada					
Año Actual	Año 2021	Año 2022	Año 2023	Año 2024	Año 2025
48	53	59	65	72	80
39	43	48	52	58	64

Precio	\$ 600.00
Costo U. de Producción	\$ 270.00
Maquinaria	\$ -
Equipos Electrónicos	\$ 1,600.00
Vehículos	\$ -
Obras Físicas	\$ 33,500.00
Capital de Trabajo	\$ 13,440.00
Inversión Fija	\$ 35,260.00
Costos Fijos	\$ 11,842.50

Tabla 10-C: Flujo de caja [Elaboración propia].

Flujo de Caja						
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Demanda	39	43	48	52	58	64
Ingresos	\$ 23,400.00	\$ 25,800.00	\$ 28,800.00	\$ 31,200.00	\$ 34,800.00	\$ 38,400.00
Gastos:						
Costos de Producción	\$ 10,530.00	\$ 11,610.00	\$ 12,960.00	\$ 14,040.00	\$ 15,660.00	\$ 17,280.00
Depreciación equipos electrónicos		\$ 533.33	\$ 533.33	\$ 533.33		
Depreciación de obras físicas		\$ 1,675.00	\$ 1,675.00	\$ 1,675.00	\$ 1,675.00	\$ 1,675.00
Impuestos e Intereses:						
Pago de Intereses		\$ 3,785.72	\$ 3,561.72	\$ 3,301.01	\$ 2,997.61	\$ 2,644.50
Utilidad Antes de Impuestos		\$ 5,795.94	\$ 7,069.95	\$ 9,250.65	\$ 10,867.39	\$ 13,200.50
Impuestos		\$ 1,448.99	\$ 1,767.49	\$ 2,312.66	\$ 2,716.85	\$ 3,300.13
Utilidad Después de Impuestos		\$ 4,346.96	\$ 5,302.46	\$ 6,937.99	\$ 8,150.55	\$ 9,900.38
Amortización de Deuda		\$ (1,367.49)	\$ (1,591.50)	\$ (1,852.20)	\$ (2,155.61)	\$ (2,508.72)
Flujos:						
Adición depreciación		\$ 533.33	\$ 533.33	\$ 533.33	\$ 1,675.00	\$ 1,675.00
Capital de Trabajo	\$ (13,440.00)	\$ (1,344.00)	\$ (1,478.40)	\$ (1,626.24)	\$ (1,788.86)	\$ (1,967.75)
Inversión Fija	\$ (35,260.00)					
Valor en Libros Obras Físicas						\$ 25,125.00
Flujo de Efectivo Neto	\$ (24,350.00)	\$ 4,856.80	\$ 5,722.70	\$ 7,245.36	\$ 9,458.80	\$ 32,223.91

Flujo sin Financiamiento	\$ 48,700.00
Pago	(\$2,576.61)

Tabla de Amortización				
Periodo	Pago	Interés	Amorti. Cap.	Saldo
0				\$ 24,350.00
1	\$2,576.61	\$ 1,918.78	\$ 657.83	\$ 23,692.17
2	\$2,576.61	\$ 1,866.94	\$ 709.66	\$ 22,982.51
3	\$2,576.61	\$ 1,811.02	\$ 765.58	\$ 22,216.93
4	\$2,576.61	\$ 1,750.69	\$ 825.91	\$ 21,391.01
5	\$2,576.61	\$ 1,685.61	\$ 890.99	\$ 20,500.02
6	\$2,576.61	\$ 1,615.40	\$ 961.20	\$ 19,538.82
7	\$2,576.61	\$ 1,539.66	\$ 1,036.95	\$ 18,501.87
8	\$2,576.61	\$ 1,457.95	\$ 1,118.66	\$ 17,383.21
9	\$2,576.61	\$ 1,369.80	\$ 1,206.81	\$ 16,176.40
10	\$2,576.61	\$ 1,274.70	\$ 1,301.91	\$ 14,874.49
11	\$2,576.61	\$ 1,172.11	\$ 1,404.50	\$ 13,470.00
12	\$2,576.61	\$ 1,061.44	\$ 1,515.17	\$ 11,954.83
13	\$2,576.61	\$ 942.04	\$ 1,634.57	\$ 10,320.26
14	\$2,576.61	\$ 813.24	\$ 1,763.37	\$ 8,556.89
15	\$2,576.61	\$ 674.28	\$ 1,902.32	\$ 6,654.57
16	\$2,576.61	\$ 524.38	\$ 2,052.23	\$ 4,602.34
17	\$2,576.61	\$ 362.66	\$ 2,213.94	\$ 2,388.40
18	\$2,576.61	\$ 188.21	\$ 2,388.40	\$ -

Flujos Anuales			
Año	Flujo Efectivo Neto	Valor Actual	VA Acumulado
0	\$ 24,350.00		
1	\$ 4,856.80	\$ 4,856.80	\$ 4,856.80
2	\$ 5,722.70	\$ 5,722.70	\$ 10,579.50
3	\$ 7,245.36	\$ 7,245.36	\$ 17,824.87
4	\$ 9,458.80	\$ 9,458.80	\$ 27,283.67
5	\$ 32,223.91	\$ 32,223.91	\$ 59,507.58

PRI	3.91
VAN	\$ 35,157.58
TIR	26.92%

- **Visto para la factibilidad de la empresa**

Tabla 11-C: Flujo de cajas [Elaboración propia].

Flujo de Caja						
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos	\$ 672.00	\$ 672.00	\$ 672.00	\$ 672.00	\$ 672.00	\$ 672.00
Gastos:						
Mantenimiento		\$ 20.00	\$ 20.00	\$ 20.00	\$ 20.00	\$ 20.00
Luz		\$ 30.00	\$ 30.00	\$ 30.00	\$ 30.00	\$ 30.00
Depreciación equipos electrónicos		\$ 60.00	\$ 60.00	\$ 60.00	\$ 60.00	\$ 60.00
Cambio de pistón					\$ 80.00	
Utilidad		\$ 562.00	\$ 562.00	\$ 562.00	\$ 482.00	\$ 562.00
Flujos:						
Adición Depreciación		\$ 60.00	\$ 60.00	\$ 60.00	\$ 60.00	\$ 60.00
Inversión	\$ (600.00)					
Valor en Libros Obras Físicas						\$ 300.00
Flujo de Efectivo Neto	\$ (600.00)	\$ 622.00	\$ 622.00	\$ 622.00	\$ 542.00	\$ 922.00

Tabla 12-C: Flujos anuales [Elaboración propia].

Flujos Anuales			
Año	Flujo Efectivo Neto	Valor Actual	VA Acumulado
0	\$ (600.00)		
1	\$ 622.00	\$ 622.00	\$ 622.00
2	\$ 622.00	\$ 622.00	\$ 1,244.00
3	\$ 622.00	\$ 622.00	\$ 1,866.00
4	\$ 542.00	\$ 542.00	\$ 2,408.00
5	\$ 922.00	\$ 922.00	\$ 3,330.00

Tabla 13-C: Valores PRI, VAN, TIR [Elaboración propia].

PRI	0.74
VAN	\$ 3,930.00
TIR	101.24%

APÉNDICE D

FICHAS DE PROCESO

Fichas de proceso de mecanizado

Tabla 1-D: Hoja de proceso housing [Elaboración propia].

Hoja de proceso							
Pieza	Housing						
Material	Acero Galvanizado						
Dimensiones en bruto	tubo con L:157 [mm] De: 113 [mm] Di: 105 [mm]						
ciclo de fabricación							
Operación	Herramienta	Metrología	N [RPM]	f [mm/rev]	P[mm]	Tf [min]	Ttotal[min]
Colocación y centrado	Mordaza tres muelas	Reloj comparador					10
Refrentado	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	67	0.05	2 pasadas / 2mm	1.2	11.2
cilindrado exterior	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	103	0.05	3 pasadas / 0.5mm	1.75	12.95
Giro de pieza	Mordaza tres muelas					5	17.95
Refrentado	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	67	0.05	2 pasadas / 2mm	1.2	19.15
cilindrado interior	Incerto de carburo TNMH 11 03 08-MV	Calibrador vernier	103	0.05	3 pasadas / 0.5mm	1.75	20.9
Taladrado	broca HSS 10mm		60	0.15	1 pasada	0.45	21.35
Taladrado	broca HSS 6.5mm		60	0.15	1 pasada	0.45	21.8
Taladrado	Broca HSS 6.5mm		60	0.15	1 pasada	0.45	22.25

Tabla 2-D: Hoja de proceso Tapa [Elaboración propia].

Hoja de proceso							
Pieza	Tapa						
Material	Hierro negro						
Dimensiones en bruto	cilindro con L:13 [mm] D:139[mm]						
ciclo de fabricación							
Operación	Herramienta	Metrología	N [RPM]	f [mm/rev]	P[mm]	Tf [min]	Ttotal[min]
Colocación y centrado	Mordaza tres muelas	Reloj comparador					15
Taladrado	Broca centro		151	0.2	1 pasada / 7mm	0.25	15.25
Taladrado	Broca HSS 20mm	Calibrador vernier	151	0.2	1 pasada / 13mm	0.43	15.68
Taladrado	Broca HSS 30mm	Calibrador vernier	151	0.2	1 pasada / 13mm	0.43	16.11
cilindrado exterior	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	151	0.15	7 pasadas / 2mm	12.04	28.15
cilindrado exterior	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	105	0.15	3 pasadas / 1mm	1.71	29.86

Tabla 3-D: Hoja de proceso base [Elaboración propia].

Hoja de proceso							
Pieza	base						
Material	Acero inoxidable						
Dimensiones en bruto	Cilindro con L:15 [mm] D:160[mm]						
ciclo de fabricación							
Operación	Herramienta	Metrología	N [RPM]	f [mm/rev]	P[mm]	Tf [min]	Ttotal[min]
Colocación y centrado	Mordaza tres muelas	Reloj comparador					10
Taladrado	Broca centro		302	0.2	1 pasada / 7mm	0.15	10.15
Taladrado	Broca carburo 12mm		302	0.2	1 pasada / 15mm	0.3	10.45
Refrentado	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	302	0.2	1 pasada / 1 mm	1.32	11.77
Refrentado interno	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	67	0.2	6 pasada / 0.5mm	26.86	38.63
Refrentado interno	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	67	0.2	2 pasada / 0.5mm	2.10	40.73
cilindrado exterior	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	105	0.15	3 pasadas / 1mm	1.71	42.44
Fresado	Fresa de Tugnsteno diametro: 20mm	Calibrador vernier	112	0.19	1 pasada / 0.5 mm	5.47	47.91
Fresado	Fresa de Tugnsteno diametro: 8mm	Calibrador vernier	315	0.07	3 pasadas / 0.5mm	12.5	60.41
Ubicación de centro	Punsón	Escuadra de centro				5.00	65.41
Ubicación de centro	Mordaza tres muelas	Regla de nivel				2.00	67.41
Taladrado	Broca carburo 6.5 mm		46	1	1 pasada / 13mm	0.84	68.25
Taladrado	Broca carburo 4.5 mm		46	1	1 pasada / 13mm	0.43	68.68
Limando	Lima de acero		46	1	1 pasada / 13mm	10	78.68

Tabla 4-D: Hoja de proceso pata [Elaboración propia].

Hoja de proceso							
Pieza	Patatas base						
Material	Acero inoxidable						
Dimensiones en bruto	cilindro con L:51 [mm] D:20[mm]						
ciclo de fabricación							
Operación	Herramienta	Metrología	N [RPM]	f [mm/rev]	P[mm]	Tf [min]	Ttotal[min]
Colocación y centrado	Mordaza tres muelas	Reloj comparador					5
Refrentado	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	151	0.1	1 pasada / 1.25mm	0.13	5.13
Giro de pieza						2	7.13
Refrentado	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	151	0.1	1 pasada / 1.25mm	0.13	7.26
Taladrado	Broca carburo 5.5mm		46	0.15	1 pasadas / 20mm	0.43	7.69
Machuelado	Machuelo 6mm					3	10.69
						Tiempo total 3 patas	32.07

Tabla 5-D: Hoja de proceso pesa [Elaboración propia].

Hoja de proceso							
Pieza	Pesa 2085g						
Material	Acero inoxidable						
Dimensiones en bruto	cilindro con L:69.4 [mm] D:76.3[mm]						
ciclo de fabricación							
Operación	Herramienta	Metrología	N [RPM]	f [mm/rev]	P[mm]	Tf [min]	Ttotal[min]
Colocación y centrado	Mordaza tres muelas	Reloj comparador					4
Taladrado	Broca centro	Calibrador vernier	302	0.2	1 pasada / 2 mm	0.11	4.11
Taladrado	Broca carburo 5.5mm	micrómetro	302	0.2	1 pasada / 70mm	2.31	6.42
refrentado	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	302	0.22	4 pasada / 0.5mm	4.57	10.99
Giro de pieza y centrado	contrapunto	Reloj comparador				5	15.99
refrentado	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	302	0.2	1 pasadas / 0.5mm	1.14	17.13
refrentado	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	302	0.2	2 pasadas / 0.3mm	5.03	22.16
cilindrado	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	302	0.18	5 pasada / 1 mm	6.1	28.26
cilindrado	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	302	0.1	1 pasada / 0.3mm	2.19	30.45

Tabla 6-D: Hoja de proceso cilindro [Elaboración propia].

Hoja de proceso							
Pieza	Cilindro						
Material	AISI P20						
Dimensiones en bruto	Barra redonda con L: 160 [mm] D:43[mm]						
ciclo de fabricación							
Operación	Herramienta	Metrología	N [RPM]	f [mm/rev]	P[mm]	Tf [min]	Ttotal[min]
Colocación y centrado	Mordaza tres muelas	Reloj comparador					5
Taladrado	Broca centro		302	0.2	1 pasada / 7mm	0.15	5.15
Taladrado	Broca carburo 6mm	Calibrador vernier	302	0.15	1 pasada / 140mm	3.5	8.65
Taladrado	Broca carburo 9.5 mm	micrómetro	302	0.15	1 pasada / 140mm	3.5	12.15
cilindrado	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	215	0.2	3 pasadas / 1mm	10.46	22.61
refrentado	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	215	0.2	1 pasadas	0.23	22.84
Giro de pieza y centrado						2	24.84
refrentado	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	215	0.2	1 pasada	0.23	25.07
Taladrado	Broca carburo 3.5mm		215	0.15	1 pasada / 15mm	0.46	25.53
machuelado	machuelo 4mm					5	30.53

Tabla 5-D: Hoja de proceso pistón [Elaboración propia].

Hoja de proceso							
Pieza	pistón						
Material	AISI 4340						
Dimensiones en bruto	Barra redonda L:220 [mm] D:28[mm]						
ciclo de fabricación							
Operación	Herramienta	Metrología	N [RPM]	f [mm/rev]	P[mm]	Tf [min]	Ttotal[min]
Colocación y centrado	Mordaza tres muelas	Reloj comparador					5
taladrado	Broca centro		215	0.2	1 pasada / 2mm	0.25	5.25
refrentado	Incerto de carburo TNMH 11 03 08-MV	Calibrador vernier	215	0.2	1 pasada / 13mm	0.32	5.57
Giro de pieza y centrado	contrapunto					2	7.57
cilindrado	Incerto de carburo TNMH 11 03 08-MV	Calibrador vernier	215	0.4	4 pasadas / 2mm	9.62	17.19
cilindrado	Incerto de carburo TNMH 11 03 08-MV	Calibrador vernier	215	0.2	2 pasadas / 1mm	4.81	22
cilindrado	Incerto de carburo TNMH 11 03 08-MV	Calibrador vernier	215	0.15	1 pasadas / 0.5mm	6.41	28.41
cilindrado	Incerto de carburo TNMH 11 03 08-MV	Calibrador vernier	215	0.4	3 pasadas / 1mm	6.97	35.38
cilindrado	Incerto de carburo TNMH 11 03 08-MV	Calibrador vernier	215	0.4	2pasadas / 2mm	4.65	40.03
cilindrado	Incerto de carburo TNMH 11 03 08-MV	Calibrador vernier	215	0.15	1pasadas / 0.5mm	1.39	41.42

Tabla 6-D: Hoja de proceso bushing [Elaboración propia].

Hoja de proceso							
Pieza	bushing						
Material	AISI P20						
Dimensiones en bruto	cilindro con L:25 [mm] D:28[mm]						
ciclo de fabricación							
Operación	Herramienta	Metrología	N [RPM]	f [mm/rev]	P[mm]	Tf [min]	Ttotal[min]
Colocación y centrado	Mordaza tres muelas	Reloj comparador					5
Taladrado	Broca centro		215	0.15	1 pasada / 7mm	0.25	5.25
Taladrado	Broca carburo 7mm	Calibrador vernier	215	0.2	1 pasada / 13mm	0.46	5.71
Cilindrado	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	215	0.15	4 pasadas / 2mm	1.86	7.57
Cilindrado	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	215	0.15	2 pasadas / 2mm	1.05	8.62
Cilindrado	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	215	0.1	1 pasada / 0.5mm	0.93	9.55
refrentado	Incerto de carburo TNMH 11 03 08-MV	Calibrador vernier	215	0.2	2 pasadas / 2.5mm	0.23	9.78

Tabla 7-D: Hoja de proceso dado [Elaboración propia].

Hoja de proceso							
Pieza	Dado						
Material	AISI P20						
Dimensiones en bruto	cilindro con L:10[mm] D:28[mm]						
ciclo de fabricación							
Operación	Herramienta	Metrología	N [RPM]	f [mm/rev]	P[mm]	Tf [min]	Ttotal[min]
Colocación y centrado	Mordaza tres muelas	Reloj comparador					5
Taladrado	Broca centro		151	0.2	1 pasada / 7mm	0.25	5.25
Taladrado	Broca Carburo 2mm		151	0.2	1 pasada / 13mm	0.43	5.68
Refrentado	Incerto de carburo TNMH 11 03 08-MV	Calibrador vernier	151	0.15	1 pasada	0.26	5.94
Giro y centrado de pieza	Contrapunto					5	10.94
cilindrado exterior	Incerto de carburo TNMH 11 03 08-MV	Calibrador vernier	151	0.2	5 pasadas / 3mm	1.32	12.26
cilindrado exterior	Incerto de carburo TNMH 11 03 08-MV	Calibrador vernier	151	0.2	3 pasadas / 1mm	0.79	13.05
cilindrado exterior	Incerto de carburo TNMH 11 03 08-MV	Calibrador vernier	151	0.1	1 pasadas / 0.45mm	0.52	13.57

Tabla 8-D: Hoja de proceso portapesa [Elaboración propia].

Hoja de proceso							
Pieza	portapesa						
Material	SAE 1018						
Dimensiones en bruto	cilindro con L:20 [mm] D:16[mm]						
ciclo de fabricación							
Operación	Herramienta	Metrología	N [RPM]	f [mm/rev]	P[mm]	Tf [min]	Ttotal[min]
Colocación y centrado	Mordaza tres muelas	Reloj comparador					3
Taladrado	Broca centro		105	0.15	1 pasada / 7mm	0.25	3.25
Taladrado	Broca carburo 5 mm		105	0.15	1 pasada / 20mm	0.46	3.71
Refrentado	Incerto de carburo TNMH 11 03 08-MV	Calibrador vernier	105	0.15	2 pasada	0.31	4.02
cilindrado exterior	Incerto de carburo TNMG 16 04 08-MS	Calibrador vernier	105	0.1	1 pasadas / 1mm	1.42	5.44

APÉNDICE E

FICHAS TÉCNICAS Y TOLERANCIAS

Ficha técnicas generales



SERVICIO INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.

Color de distinción blanco rojo blanco

CARACTERÍSTICAS

El acero SISA P20 pre-templado es de uso general para la fabricación de moldes. Utilizado para el maquinado y electro-erosionado de moldes de plástico y componentes para la fundición de zinc.

Se surte pre-templado a una dureza estándar de aprox. BHN 293-321 (HRC 30-34).

Normalmente no requiere un tratamiento térmico adicional, sin embargo el acero SISA P20 se puede templar a durezas mayores para incrementar su resistencia. Cuando enfriamiento al aceite es requerido, cuidado especial es necesario para reducir la distorsión o fractura.

Provee excelente pulibilidad y buen texturizado.

APLICACIONES TÍPICAS

Moldeo por Compresión	Moldes para Inyección de Plástico
Porta Moldes y Piezas de Apoyo	Herramientas para Fundición a Presión de Zinc
Piezas para la Construcción de Maquinaria y Útiles en General	Moldeo en Dos Fases

COMPOSICIÓN QUÍMICA - % PROMEDIO

C	Si	Mn	Cr	Mo
0.30	0.50	0.75	1.70	0.40

NORMAS

AISI	DIN	JIS
P20	1.2311	---

MAQUINABILIDAD Y RECTIFICABILIDAD

La maquinabilidad y rectificabilidad en estado recocido es aproximadamente un 80% de un acero tipo W1(1% C).

Nota: Las propiedades indicadas en esta hoja técnica son valores típicos. Variaciones normales en la química, tamaño y condiciones de tratamiento térmico pueden producir desviaciones de estos valores. Para datos adicionales o asistencia en ingeniería metalúrgica, acudir al departamento técnico de SISA.

SISA P20

PROPIEDADES FÍSICAS

Módulo de Elasticidad 30 psi x 10⁶ (207 GPa)
 Densidad 7860 kg/m³ (0.284 lb/in³)

Conductividad Térmica

cal/cm-s-°C BTU/hr-ft-°F W/m-°K
 a 95°C (200°F) 0.990 24 42

Coefficiente de Dilatación Térmica

	mm/mm/°C	in/in/°F
20-260°C / 70-500°F	12.3 x 10 ⁻⁶	6.84 x 10 ⁻⁶
20-425°C / 70-800°F	12.8 x 10 ⁻⁶	7.10 x 10 ⁻⁶
20-540°C / 70-1000°F	13.7 x 10 ⁻⁶	7.60 x 10 ⁻⁶

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Cementado: El acero SISA P20 también es apto para el cementado, resultando en dureza de cementado de 53-57 HRC, como se muestra en la siguiente tabla:

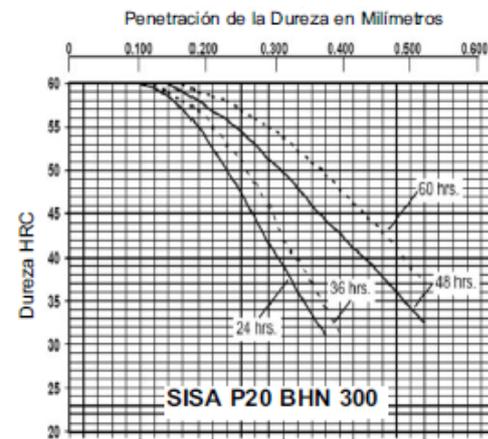
Dureza Obtenible:

Cementado con Gas a 870°C (1600°F) y enfriado en homo a 800°C (1475°F), posterior enfriamiento al aceite y revenido 4+4 hrs.

Dureza de Cementado	HRC	Dureza al Núcleo
315°C (600°F)	57-58	47-48
345°C (650°F)	57-58	46-47
370°C (700°F)	55-56	45-46
400°C (750°F)	54-55	44-45
425°C (800°F)	53-55	43-44
485°C (900°F)	52-53	39-40

Durezas mostradas son típicas para una barra con diámetro de 4" (102 mm). Secciones mayores pueden mostrar durezas levemente más bajas. La dureza al núcleo también puede ser incrementada en el tratamiento térmico asociado con el cementado, resultando en una pérdida de tenacidad al núcleo.

Nitrurado: El acero SISA P20 es apto para el nitrurado por medio de la mayoría de procedimientos comerciales, resultando en una dureza superficial de 55-65 HRC. La penetración de dureza típica después de nitrurado a 525°C (975°F) se muestra a continuación:



General

Uddeholm Impax Supreme is a premium-quality vacuum-degassed Cr-Ni-Mo-alloyed steel which is supplied in the hardened and tempered condition, offering the following benefits:

- No hardening risks
- No hardening costs
- Time saving, e.g. no waiting for heat treatment
- Lower tool cost (e.g. no distortion to rectify)
- Modifications easily carried out
- Can be subsequently nitrided to increase surface wear resistance or locally flame hardened to reduce surface damage

Uddeholm Impax Supreme is manufactured to consistently high quality standards with a very low sulphur content, giving a steel with the following characteristics:

- Good polishing and photo-etching properties
- Good machinability
- High purity and good homogeneity
- Uniform hardness

Note: Uddeholm Impax Supreme is 100% ultrasonic tested.

Heavier sections are supplied premachined which offers the following advantages compared with un-machined material:

- Saving of weight
- Non-decarburized surface
- Exact nominal size (plus tolerance)
- Less machining
- Absence of scale minimizes machine and tool wear

Approx. analysis %	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
	0.37	0.3	1.4	2.0	1.0	0.2
Standard spec.	AISI P20 modified					
Delivery condition	Hardened and tempered to 290–330 HB					
Colour code	Yellow/green					

Applications

- Injection moulds for thermoplastics
- Extrusion dies for thermoplastics
- Blow moulds
- Forming tools, press-brake dies (possibly flame hardened or nitrided)
- Aluminium die casting prototype dies
- Structural components, shafts

Properties

Physical data

Hardened and tempered to 310 HB.

Temperature	20°C (68°F)	200°C (390°F)
Density, kg/m ³ lbs/in ³	7 800 0.282	7 750 0.280
Coefficient of thermal expansion per °C from 20° per °F from 68°F	– –	12.7 x 10 ⁻⁶ 7.0 x 10 ⁻⁶
Thermal conductivity W/m °C Btu in/ft ² h °F	–	28 194
Modulus of elasticity N/mm ² ksi psi	205 000 13 280 29.7 x 10 ⁶	200 000 12 960 29.0 x 10 ⁶
Specific heat capacity J/kg °C Btu/lb °F	460 0.110	– –

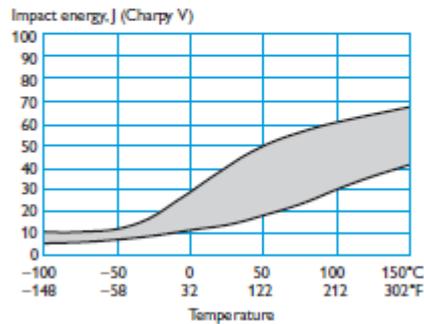
Mechanical properties

Impact strength, tensile strength and the compressive strength depends on the hardness in the delivered condition.

IMPACT STRENGTH

The energy absorption at impact testing depends on the test material (bar size and delivered hardness), testing temperature and the specimen (type, location, and orientation in the bar).

The graph below shows how the impact energy changes as a function of the test temperature and hardness variation within the delivery hardness range.



► Cód. IBCA: 705 ≙ 34 CrNiMo6 ≙ AISI 4340 ≙ AISI 4337



Información general

705 es un acero al molibdeno más cromo y níquel. El molibdeno tiene una solubilidad limitada y es un buen formador de carburos. Ejerce un fuerte efecto sobre la templabilidad y de manera semejante al cromo, aumenta la dureza y resistencia a alta temperatura de los aceros. Menos susceptibles al fragilizado debido al revenido, que los demás aceros aleados para maquinaria.

Al combinarse con níquel y cromo soporta altas exigencias de resistencia y tenacidad en secciones grandes. Su contenido de níquel le da más templabilidad, lo mismo que la resistencia en caliente.

705 combina alta resistencia mecánica (la mayor del mercado) con buena tenacidad. Este acero en forma standard es suministrado bonificado, por lo que no se requiere luego un tratamiento térmico, sin embargo, si se desea mejores propiedades, puede ser templado al aceite. Susceptible de temple por inducción y también puede someterse a tratamiento de nitrurado.

Análisis típico %	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	V
34 CrNiMo6	0,30 - 0,38	≤ 0,30	0,50 - 0,80	0,025	0,025	1,30 - 1,70	1,30 - 1,70	0,15 - 0,30
AISI 4337	0,35 - 0,40	0,20 - 0,35	0,60 - 0,80	0,04	0,04	1,65 - 2,00	0,70 - 0,90	0,20 - 0,30
AISI 4340	0,38 - 0,43	0,15 - 0,35	0,60 - 0,80	0,03	0,04	1,65 - 2,00	0,70 - 0,90	0,20 - 0,30
Código de color	Dorado / Azul							
Equivalencias	AISI / SAE (4337 - 4340) Din (34CrNiMo6)			W.Nr (1.6582) JIS (SNCM1)		AFNOR (35NCD6)		

Aplicaciones

1.-Partes de gran resistencia para la industria automotriz, como:

- Ejes.
- Cardanes.
- Cigüeñales.
- Ejes de leva Tornillería de alta resistencia.

2.-Partes para la construcción de maquinaria de trabajo pesado como:

- Árbol para trituradoras.
- Ejes de transmisión de grandes dimensiones.
- Engranajes de temple por llama, inducción o nitruración.
- Barras de torsión.
- Mandriles.
- Portaherramientas.

3.-Aplicaciones donde se requiere resistencia a la fatiga, como:

- En la construcción de equipo pesado para camiones, aviones, equipo militar, etc.

Propiedades mecánicas

En condición de suministro

Resistencia a la tracción	90 - 110 kg/mm ²
Esfuerzo de cedencia	70 kg/mm ²
Elongación, A5	min 12 %
Reducción de área, Z	min 45 %
Resistencia al impacto, KU	aprox. 20 J
Dureza	270 - 330 HB

Tratamiento térmico

Recocido blando

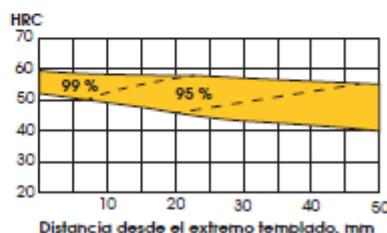
(650 - 700 °C): Mantener a la temperatura por 2 horas. Enfriar en el horno con una velocidad de 15 °C/h hasta los 600 °C y luego libremente al aire.

Alivio de tensiones

(450 - 650 °C): El acero templado tenaz deberá ser calentado hasta aproximadamente 50 °C por debajo de la temperatura usada para el revenido (como standard el 705 es suministrado revenido a 600 °C). Mantenerlo a esta temperatura durante 1/2 a 2 horas. Enfriar en el horno hasta los 450 °C y luego libremente al aire.

Temple

(830 - 850 °C). Con enfriamiento en aceite: El mantenimiento del tiempo en minutos cuando la superficie ha alcanzado la temperatura de temple es 0.7x espesor o diámetro en milímetros. Interrumpir el enfriamiento a los 125 °C y luego revenir inmediatamente.



Tolerancias: Ajustes recomendados

Tipo	Calidad superficial	Sistema				Clase	Características
		Aguj. base		Eje base			
		Agujero	Eje	Eje	Aguj.		
Fino	N5 + N8	H7	s6/r6	h6	S7/R7	Prensado	Montaje a presión No seguro de giro
			n6	N7	Forzado duro	Montaje difícil Seguro de giro	
			k6	K7	Forzado medio	Montaje martillo Seguro de giro y deslizamiento	
			j6	J7	Forzado ligero	Montaje a mano Ambos seguros	
			h6	H7	Deslizante		
Medio	N9	H8	h9	h9	H9	Deslizante	
			e8	E9	Giratorio	Juego mediano	
			d9	D10	Holgado	Juego amplio	
Basto	N10 + N11	H11	h11	h11	H11	Deslizante	
			d9	D10	Giratorio	Juego mediano	
			e11	E11	Holgado	Juego amplio	
			a11	A11	Muy holgado		

Fino prensado: Casquinos y coronas de bronce, acoplamiento en extremos de ejes, etc.
Fino forzado duro: casquinos de bronce, manguitos en cubos, collares calados sobre ejes, etc.
Fino forzado medio: rodamientos a bolas, discos de excéntrica, poleas y volantes, manivelas, etc.
Fino forzado ligero: piezas de máquinas y herramientas y otras desmontables con frecuencia, etc.
Fino deslizante: engranajes de cambios de velocidad, piezas importantes de máquinas herramientas, etc.
Fino giratorio: émbolos, bridas, collares de retención, anillos de rodamientos, etc.
Fino holgado: cojinetes de bielas, ruedas dentadas de cajas de cambios, etc.
Medio deslizante: poleas fijas, manivelas y acoplamiento deslizante sobre el eje, etc.
Medio giratorio: piezas de rotores, bombas ventiladores, etc.
Medio holgado: soportes de ejes, poleas locas, piezas de centrado, etc.

Basto deslizante: piezas de maquinaria agrícola, piezas de distancia, etc.
Basto giratorio: ejes de movimiento longitudinal, aros, palancas y manivelas desmontables, etc.
Basto holgado: cojinetes de máquinas domésticas, pasadores ejes, de interruptores, etc.
Basto muy holgado: piezas de locomotoras cojinetes de ejes de freno, etc.

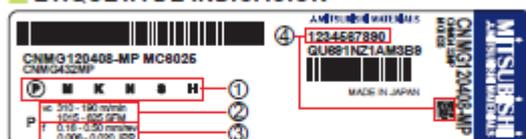
DIAMETROS NOMINALES	TOLERANCIAS ISA - AGUJERO UNICO																																									
	AJUSTE DE PRECISION										AJUSTE FINO										AJUSTE CORRIENTE					AJUSTE BASTO																
	EJE										EJE										EJE					EJE																
	AGUJERO		MUY FUERTE		FUERTE		ASIENTO FUERTE		FORZADO DURO		FORZADO PRIETO		ASIENTO MEDIO		ASIENTO FORZADO LIGERO		ASIENTO DESLIZANTE		ASIENTO GIRATORIO ESTRECHO		AGUJERO		MUY FUERTE		ASIENTO DESLIZANTE		ASIENTO GIRATORIO LIGERO		ASIENTO GIRATORIO HOLGADO		AGUJERO		MUY FUERTE		ASIENTO DESLIZANTE		ASIENTO MUY HOLGADO					
	H6	s5	r5	p5	n5	m5	k5	j5	h5	g5	H7	s6	r6	p6	n6	m6	k6	j6	h6	g6	f6	H8	s8	r8	p8	n8	d8	H11	h11	d11	e11	b11	d11									
mas de 1,6 hasta 3	+7	+20	+17	+14	+11	+7	-	+4	0	-3	+9	+22	+19	+16	+13	+9	-	+6	0	-3	-7	+14	+29	0	-7	-14	-20	+60	0	-20	-60	-140	-270									
mas de 3 hasta 6	+8	+24	+20	+17	+13	+9	-	+4	0	-4	+12	+27	+23	+20	+16	+12	-	+7	0	-4	-10	+18	+37	0	-10	-20	-30	+75	0	-20	-70	-140	-270									
mas de 6 hasta 10	+9	+29	+25	+21	+16	+12	+7	+4	0	-5	+15	+32	+28	+24	+19	+15	+10	+7	0	-5	-13	+22	+45	0	-13	-25	-40	+90	0	-40	-80	-150	-260									
mas de 10 hasta 14	+11	+36	+31	+26	+20	+15	+9	+5	0	-6	+18	+39	+34	+29	+23	+18	+12	+8	0	-6	-16	+27	+55	0	-16	-32	-50	+110	0	-50	-95	-150	-290									
mas de 14 hasta 18	0	+28	+23	+18	+12	+7	+1	-3	-8	-14	0	+28	+23	+18	+12	+7	+1	-3	-11	-17	-27	0	+28	-27	0	-43	-59	-93	0	-110	-160	-205	-260	-400								
mas de 18 hasta 24	+13	+44	+37	+31	+24	+17	+11	+5	0	-7	+21	+48	+41	+35	+28	+21	+15	+9	0	-7	-20	+33	+68	0	-20	-40	-65	+130	0	-65	-110	-160	-300									
mas de 24 hasta 30	0	+35	+28	+22	+15	+8	+2	-4	-9	-16	0	+35	+28	+22	+15	+8	+2	-4	-13	-20	-33	0	+35	-33	0	-53	-73	-117	0	-130	-195	-240	-290	-430								
mas de 30 hasta 40	+16	+54	+45	+37	+28	+20	+13	+6	0	-9	+25	+59	+50	+42	+33	+25	+18	+11	0	-9	-25	+39	+82	0	-25	-50	-80	+160	0	-80	-120	-170	-310									
mas de 40 hasta 50	0	+43	+34	+26	+17	+9	+2	-5	-11	-20	0	+43	+34	+26	+17	+9	+2	-5	-16	-25	-41	0	+43	-39	-64	-89	-142	0	-160	-240	-320	-400	-550									
mas de 50 hasta 65	+19	+66	+54	+41	+31	+22	+13	+6	0	-10	+30	+72	+60	+51	+39	+30	+21	+12	0	-10	-30	+46	+99	0	-30	-60	-100	+190	0	-100	-140	-190	-340									
mas de 65 hasta 90	0	+72	+56	+41	+32	+20	+11	+2	-7	-13	-23	0	+78	+62	+52	+40	+28	+19	+12	+7	-19	-29	+49	0	+105	-46	-76	-108	-174	0	-190	-290	-390	-530								
mas de 90 hasta 100	+22	+86	+66	+51	+38	+24	+14	+6	0	-12	+35	+83	+73	+61	+45	+35	+25	+13	0	-12	-36	+54	+125	0	-36	-72	-120	+220	0	-120	-180	-240	-410									
mas de 100 hasta 120	0	+99	+73	+54	+41	+28	+16	+7	-9	-15	-27	0	+101	+76	+63	+45	+33	+22	+13	-9	-22	-34	+58	0	+133	-54	-90	-126	-207	0	-220	-340	-460	-630								
mas de 120 hasta 140	+25	+117	+86	+66	+51	+35	+21	+11	+5	-14	+40	+117	+88	+72	+52	+40	+28	+14	0	-14	-43	+63	+155	0	-43	-85	-145	+250	0	-145	-210	-280	-520									
mas de 140 hasta 160	0	+133	+99	+73	+54	+41	+27	+15	+7	-17	-32	0	+130	+93	+76	+55	+43	+27	+15	+3	-11	-25	+68	0	+163	-63	-106	-148	-245	0	-250	-395	-460	-770								
mas de 160 hasta 180	+29	+155	+117	+86	+66	+51	+37	+21	+11	-17	-32	0	+151	+106	+86	+63	+48	+33	+18	0	-15	-50	+72	0	+194	-83	-136	-188	-295	0	-290	-460	-580	-830								
mas de 180 hasta 200	0	+171	+125	+93	+73	+54	+41	+27	+15	-19	-37	0	+172	+127	+103	+79	+60	+46	+33	+18	0	-15	-50	+72	0	+202	-90	-142	-194	-300	0	-300	-460	-580	-830							
mas de 200 hasta 225	+32	+199	+145	+113	+86	+66	+51	+37	+21	-19	-37	0	+199	+145	+113	+86	+63	+48	+33	+18	0	-15	-50	+72	0	+212	-100	-152	-204	-310	0	-310	-460	-580	-830							
mas de 225 hasta 250	0	+217	+163	+125	+93	+73	+54	+41	+27	-21	-39	0	+217	+163	+125	+93	+70	+55	+40	+25	+13	-29	-44	-79	0	+212	-112	-164	-216	-320	0	-320	-460	-580	-830							

TOOL NAVI

OUTLINE

TOOL NAVI ayuda a nuestros clientes con información y dispone de las condiciones de corte de cada material seleccionado. Ayuda a seleccionar la mejor plaquita y herramienta para conseguir mejores resultados.

ETIQUETA DE INDICACIÓN



- *1 Algunas placas tendrán múltiples materiales recomendados.
- *2 Póngase en contacto con nosotros para conocer las condiciones de corte recomendadas cuando se utilizan coeficientes distintos a los anteriores.

① Material

- P : Acero (Material de referencia : Acero carbono, acero aleado 180HB)
- M : Acero inoxidable (Material de referencia : Acero inoxidable austenítico 180 HB)
- K : Fundición (Material de referencia : Fundición gris, fundición dúctil 180HB)
- N : Aleación de aluminio, Para materiales no-ferricos
- S : Aleación de titanio 320HB, aleación a base de níquel 400HB
- H : Acero endurecido HRC60

② Velocidad de corte estándar (Resultados vida de la herramienta)

Material	Vida de la herramienta	Alto rendimiento	Material	Dureza
P	90min	15min	Acero carbono, acero aleado	180HB
M	90min	15min	Acero inoxidable	180HB
K	90min	15min	Fundición	180HB
S	25min	5min	Aleación de titanio	320HB
			Aleación a base de níquel	400HB
H	80min	10min	Acero endurecido	HRC60

③ Avance estándar

El avance mínimo y máximo que se indican se basan en el rango de control de virutas y dependen de la geometría del rompevirutas.

④ Código EDP

El código EDP global es un número de 10 dígitos para la gestión de stocks y que está registrado en el código QR.

*3. N : La velocidad de corte es determinada usando calidades resistentes al desgaste. Utilizar velocidades más elevadas para aplicaciones estables y velocidades inferiores para aplicaciones inestables.

*4. La vida de la herramienta se muestra en el tiempo de corte hasta los valores abajo detallados:

- VB=0.3mm para materiales ISO PMKS.
- VB=0.1mm para materiales ISO H.

VIDA DE LA HERRAMIENTA

La velocidad de corte afecta a la vida de la herramienta. En el **TOOL NAVI** de Mitsubishi se aconseja una velocidad de corte de 15-90 minutos que está basada en la ecuación de Taylor. (La relación de la calidad de la herramienta, condiciones de corte y la vida de la herramienta). Cuando el cliente requiera un tipo de herramienta diferente, los valores se obtienen de las calidades detalladas en la tabla de abajo. Multiplicar el coeficiente de las velocidades de corte para calcular una nueva velocidad de corte.

● P Calidad (Acero) Coeficientes de la velocidad de corte

Calidades	15min	30min	45min	60min	90min
UEB10S	1.00	0.79	0.69	0.63	0.55
UEB110	1.00	0.82	0.72	0.67	0.59
MC8025	1.00	0.83	0.75	0.69	0.62
UEB03S	1.00	0.88	0.82	0.78	0.73
MP302S	1.00	0.85	0.77	0.72	0.65
NX252S	1.00	0.87	0.80	0.76	0.70

● K Calidad (Fundición) Coeficientes de la velocidad de corte

Calidades	15min	30min	45min	60min	90min
MC500S	1.00	0.83	0.75	0.70	0.63
MC501S	1.00	0.83	0.75	0.69	0.62

(ej.) Corte medio del acero

- Primera recomendación : MC8025
- Placas intercambiables : CNMG120408-MP
- Velocidad de corte recomendada : vc=310m/min
- (Vida de la herramienta : 15min.)

Vida de la herramienta requerida por el cliente: 30 minutos.

$$310 \times 0.83 \approx 257 \text{ m/min}$$

● M Calidad (Acero Inoxidable) Coeficiente de la velocidad de corte

Calidades	15min	30min	45min	60min	90min
MC701S	1.00	0.83	0.75	0.70	0.63
MC702S	1.00	0.90	0.84	0.80	0.75
MP703S	1.00	0.84	0.78	0.71	0.62
US73S	1.00	0.78	0.68	0.61	0.53

DUREZA DEL MATERIAL A TRABAJAR

La dureza del material también afecta a la vida de la herramienta. El **TOOL NAVI** de Mitsubishi aconseja una velocidad de corte según la dureza del material a trabajar. Se obtiene el coeficiente según cada tipo de material en la tabla de abajo. Multiplicar el coeficiente según la calidad por la velocidad de corte recomendada y entonces obtendremos una nueva velocidad de corte.

Material	Dureza del material												
	Suave	120HB	140HB	160HB	180HB	200HB	220HB	240HB	260HB	280HB	300HB	320HB	Duro
P	1.34	1.19	1.08	1.00	0.92	0.85	0.80	0.75	0.71	0.68	0.64	0.61	0.61
M	1.41	1.23	1.10	1.00	0.91	0.85	0.78	0.72	0.68	0.64	0.61	0.58	0.58
K	1.27	1.19	1.09	1.00	0.97	0.91	0.88	0.85	0.81	0.78	0.75	0.72	0.72

DESCRIPCION

- Disponibles, para entrega inmediata, en diferentes combinaciones de medidas y densidades.
- Baja conductividad térmica y energía térmica almacenada.
- Elevada resistencia a choques térmicos y ataques químicos.
- Buenas características acústicas y de protección contra-fuego.
- Alta flexibilidad, facilitando cortes e instalación.
- Alta refractoriedad.

La manta Kaowool 1400 es producida a partir de sílice y alúmina de alta pureza. Resultando fibras refractarias totalmente inorgánicas, densificadas y entrelazadas de forma de garantizar buena resistencia mecánica durante el manipuleo e instalación.



PROPIEDADES FISICAS

Color	Blanco
Densidad(kg/m ³).....	96-160
Espesor	6-51
Temperatura Máxima de Uso (°C).....	1300
Uso Límite	1400
Punto de Fusión (°C)	1816
Diámetro de las Fibras (μ,medio)	2,8
Largo de Fibras (cm,medio).....	10-25

COMPOSICION QUIMICA TIPICA

(% peso, después de quemado)

Alúmina (Al ₂ O ₃)	35
Silice (SiO ₂)	50
Zircon (ZrO ₂)	15
Otros.....	trazos

PROPIEDADES QUIMICAS

Los productos de fibra cerámica Kaowool poseen excelente resistencia a los ataques químicos, excepto al ácido fluorhídrico, fosfórico y álcalis fuertes (ej. Na₂O,K₂O). La manta no es afectada por el aceite o el agua. Sus propiedades térmicas y físicas son restauradas al secarse.

RESISTIVIDAD TERMICA (R)

El valor de la resistividad térmica de la fibra cerámica es definido como la inversa de la conductividad térmica multiplicada por el espesor (mm). El valor de R a 21°C según la norma ASTM C518-76 para 25mm y 96kg/m³ es 0,163/mm.

PROPIEDADES TERMICAS

(CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (Btu.in/ft².h.°F)
X TEMPERATURA MÉDIA(°F)) ASTM C 201.

Temperatura media, 8 pcf	BTU.in/ft ² . h.°F	W/mK	Temperatura media, 4 pcf	BTU.in/ft ² . h.°F	W/mK
500°F (260°C)	0.44	0.06	500°F (260°C)	0.54	0.08
1000°F (538°C)	0.93	0.13	1000°F (538°C)	1.34	0.19
1500°F (816°C)	1.60	0.23	1500°F (816°C)	2.48	0.36
1800°F (982°C)	2.05	0.30	1800°F (982°C)	3.23	0.47
2000°F (1093°C)	2.34	0.34	2000°F (1093°C)	3.74	0.54
Temperatura media, 6 pcf					
500°F (260°C)	0.47	0.07			
1000°F (538°C)	1.06	0.15			
1500°F (816°C)	1.90	0.27			
1800°F (982°C)	2.45	0.35			
2000°F (1093°C)	2.83	0.41			

APLICACIONES TÍPICAS

- Revestimientos de hornos
- Intercambiadores de calor
- Turbinas a gas
- Estufas y hornos de laboratorio
- Craqueadores catalíticos
- Reparación de hornos
- Sellado y revestimientos de puertas de hornos
- Filtros para altas temperaturas
- "Skid rails y cross pipes"
- Tratamientos Acústicos

PROTECCION CONTRA-FUEGO (UL723/ASTM E-84)

Desarrollo de humo.....	0
Contribución como combustible.....	0
Propagación de lama.....	0

DIMENSIONES PATRONES

La manta Kaowool es fabricada en los siguientes espesores y dimensiones:

Rollo patrón.....7620 x 610mm
Espesores.....13, 25, 38 y 51 mm
Densidades (kg/m³).....96, 128 y 160

Observaciones: existen otras combinaciones de densidades y espesores. Consulte al Depto. de Ventas de Carbo San Luis S.A.

ORIENTACION PARA APLICACIÓN EN CAPAS

Aplicación en techo (anclajes/m²).....19
Aplicación en paredes (anclajes/m²).....12

Rev.03, 28/10/05

Observaciones

1. Producto fabricado bajo licencia de Thermal Ceramics Inc., EE.UU.
2. Los valores indicados son típicos y no deben considerarse como especificados o garantizados.
3. Ver hoja de aplicación del producto.

TECHNICAL DATASHEET

LLDPE 218 Series



PRODUCT DESCRIPTION

218B is a butene Linear Low Density Polyethylene grade designed to provide easy processing and specially formulated for optimum thermal stability at high processing temperatures used during production of Cast films. Films produced using this resin gives excellent optical properties, good puncture resistance and tear strength.

TRPICAL APPLICATION

Cling film, Stretch films for manual and pellet wrap, melt embossed films and other general-purpose applications.

GRADE	SLIP (PPM)	ANTIBLOCK (PPM)
218N	None	None
218W	1500	3500

TYPICAL DATA

RESIN PROPERTIES	UNIT	VALUE ⁽¹⁾	ASTM METHOD
Melt Flow Rate @ 190°C & 2.16 Kg load	g/10 min.	2	D 1238
Density	Kg/m ³	918	D 1505
MECHANICAL PROPERTIES⁽²⁾			
Tensile Strength @ break, MD	MPa	35	D 882
TD		29	
Tensile Elongation @ break, MD	%	700	D 882
TD		750	
Tensile Strength @ yield, MD	MPa	12	D 882
TD		10	
1% Secant Modulus, MD	MPa	220	D 882
TD		260	
Puncture Resistance	J/mm.	63	SABIC Method
Dart Impact Strength	g	85	D 1709
Elmendorf Tear Strength, MD	g	130	D 1922
TD		320	

High Density Polyethylene HS5502

Description:

HS5502 is a high density polyethylene, copolymer. Offers good processability and bottles produced have excellent stiffness.

Applications:

Blow molding small volumes, Pharmaceutical products packaging (not indicated for parenteral solution)

Processes:

Extrusion Blow Molding, Injection blow molding

Control Properties:

Feature	Method	Units	Values
Melt Flow Rate (190°C/2.16kg)	D 1238	g/10 min	0.35
Melt Flow Rate (190°C/21.6kg)	D 1238	g/10 min	32
Density	D 792	g/cm ³	0.954

Typical Properties - Plaque¹:

Plaque Properties

Feature	Method	Units	Values
Tensile Strength at Yield (a)	D 638	MPa	30
Tensile Strength at Break (a)	D 638	MPa	30
Flexural Modulus - 1% Secant (b)	D 790	MPa	1350
Izod Impact Strength (b)	D 256	J/m	150
Environmental Stress Cracking Resistance - notch 0,3 mm; 50°C; 10% Igepal CO630 (a)	D 1693	h/F50	10
Environmental Stress Cracking Resistance - notch 0,3 mm; 50°C; 100% Igepal CO630 (a)	D 1693	h/F50	20
Deflection Temperature under Load at 0.455 MPa (b)	D 648	°C	75

¹ Test specimens from compression molded plaque according to ASTM D4703. Plaque Thickness: a) 2mm, b) 3mm c) 6mm. NB - No break.

Final Remarks:

- The information presented in this Data Sheet reflects typical values obtained in our laboratories, but should not be considered as absolute or as warranted values. Only the properties and values mentioned on the Certificate of Quality are considered as guarantee of the product.
- For regulatory information of the product, please refer to Regulatory Document or contact our Technical Assistance Area.
- For information about safety, handling, individual protection, first aids and waste disposal, please refer to MSDS.
- The mentioned values in this report can be changed at any moment without Braskem previous communication.

APÉNDICE F
PLANOS

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

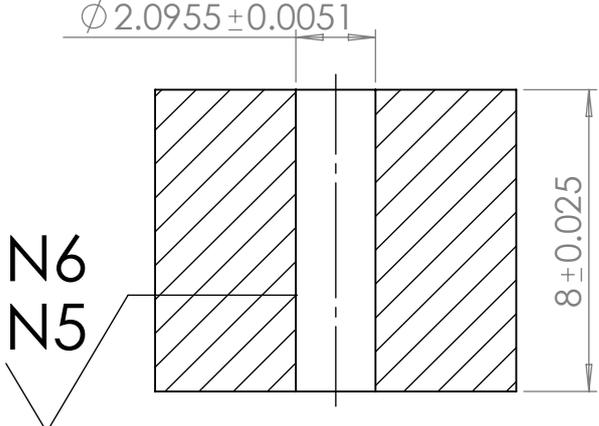
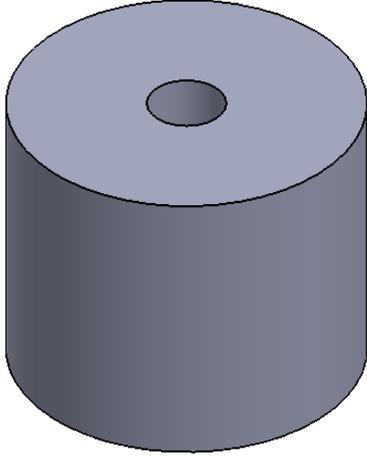
C

B

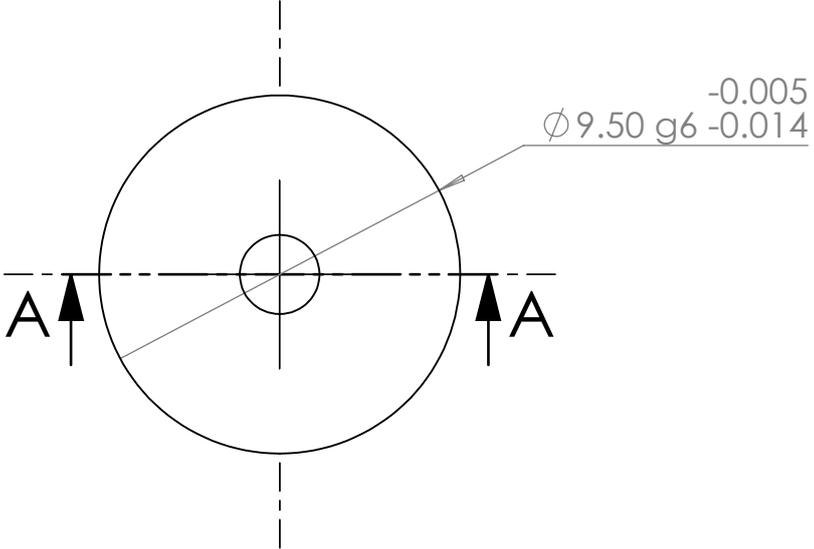
B

A

A

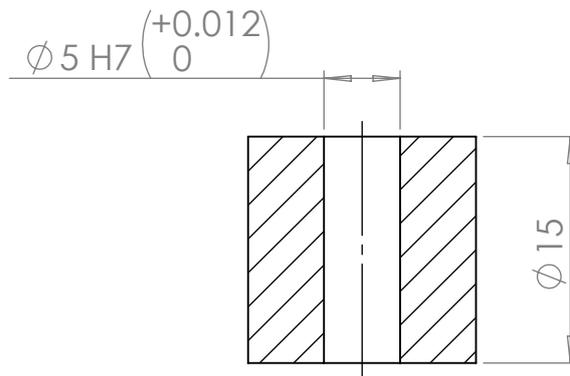
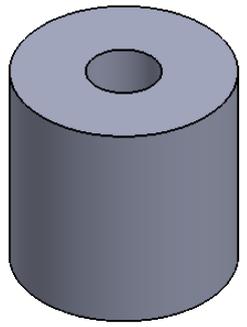


Sección A-A

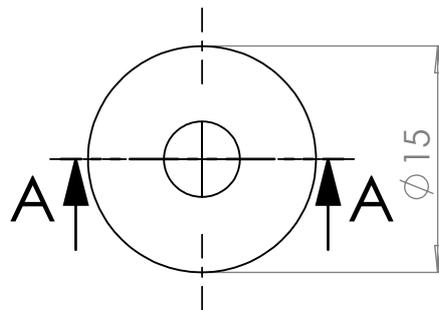


				Tolerancias:	Pesos:	Materiales:		AISI P20	
				Fecha	Nombre	Denominación:			Escala: 5:1
				DIB.	27/11/19	Burbano/Sanchez			A4
				REV.					
				APRO.					
				ESPOL		Nro. Dibujo:		00	
						Sustitución:			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						

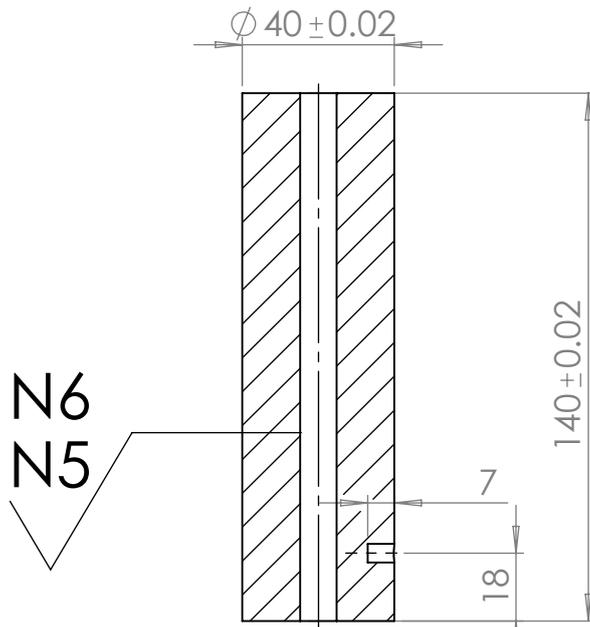
4 3 2 1



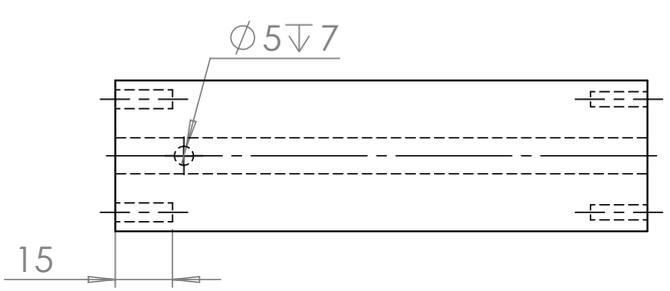
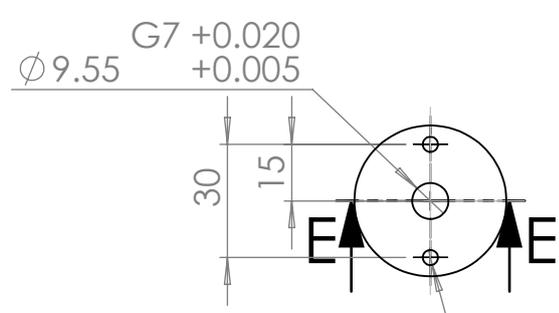
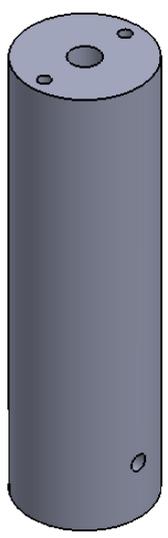
Sección A-A



				Tolerancias:	Pesos:	Materiales:		AISI P20	
				Fecha	Nombre	Denominación:			Escala: 2:1
				DIB.	27/11/19	Burbano/Sanchez			A4
				REV.					
				APRO.					
				ESPOL		Nro. Dibujo:		02	
						Sustitución:			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						

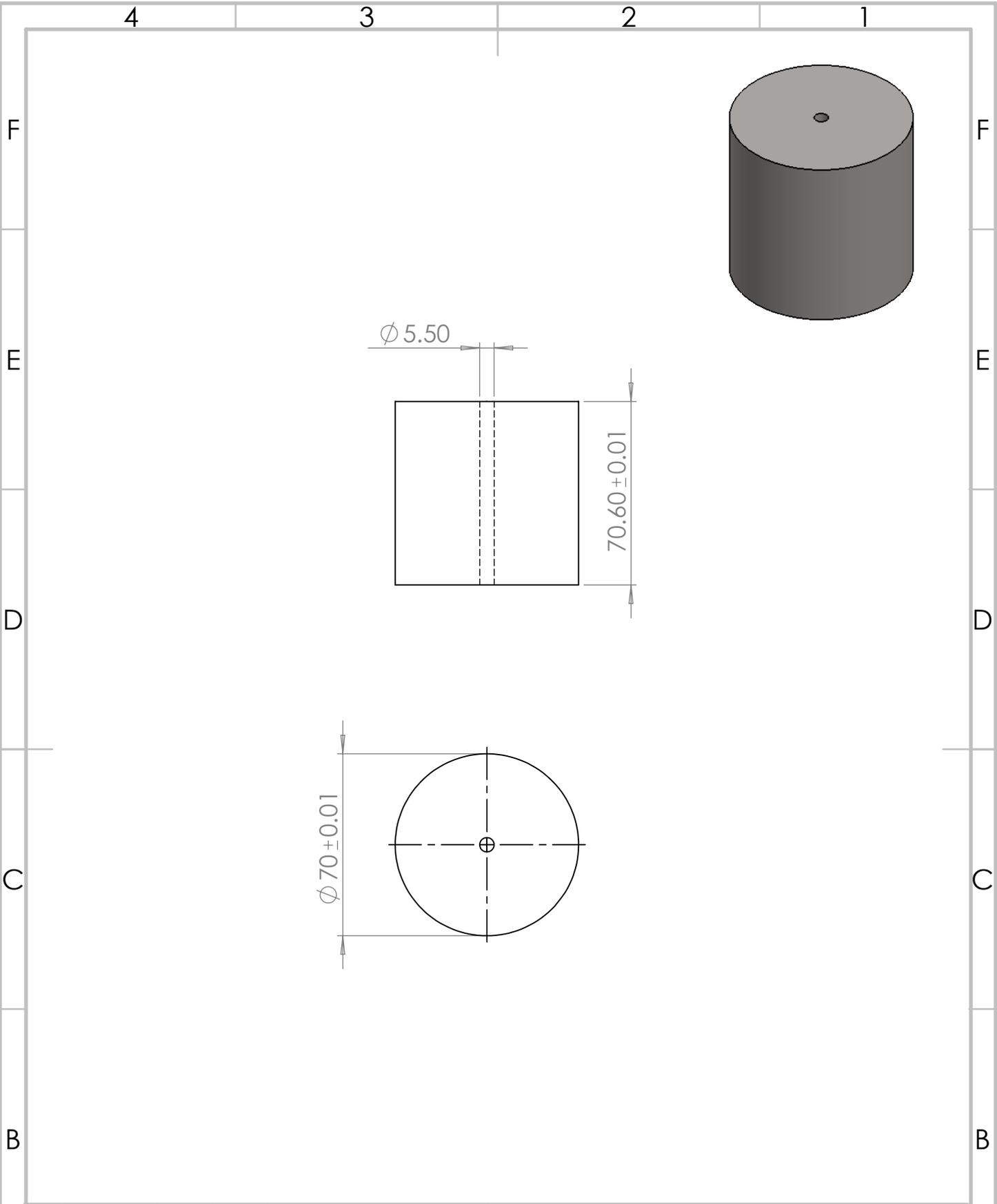


Sección E-E

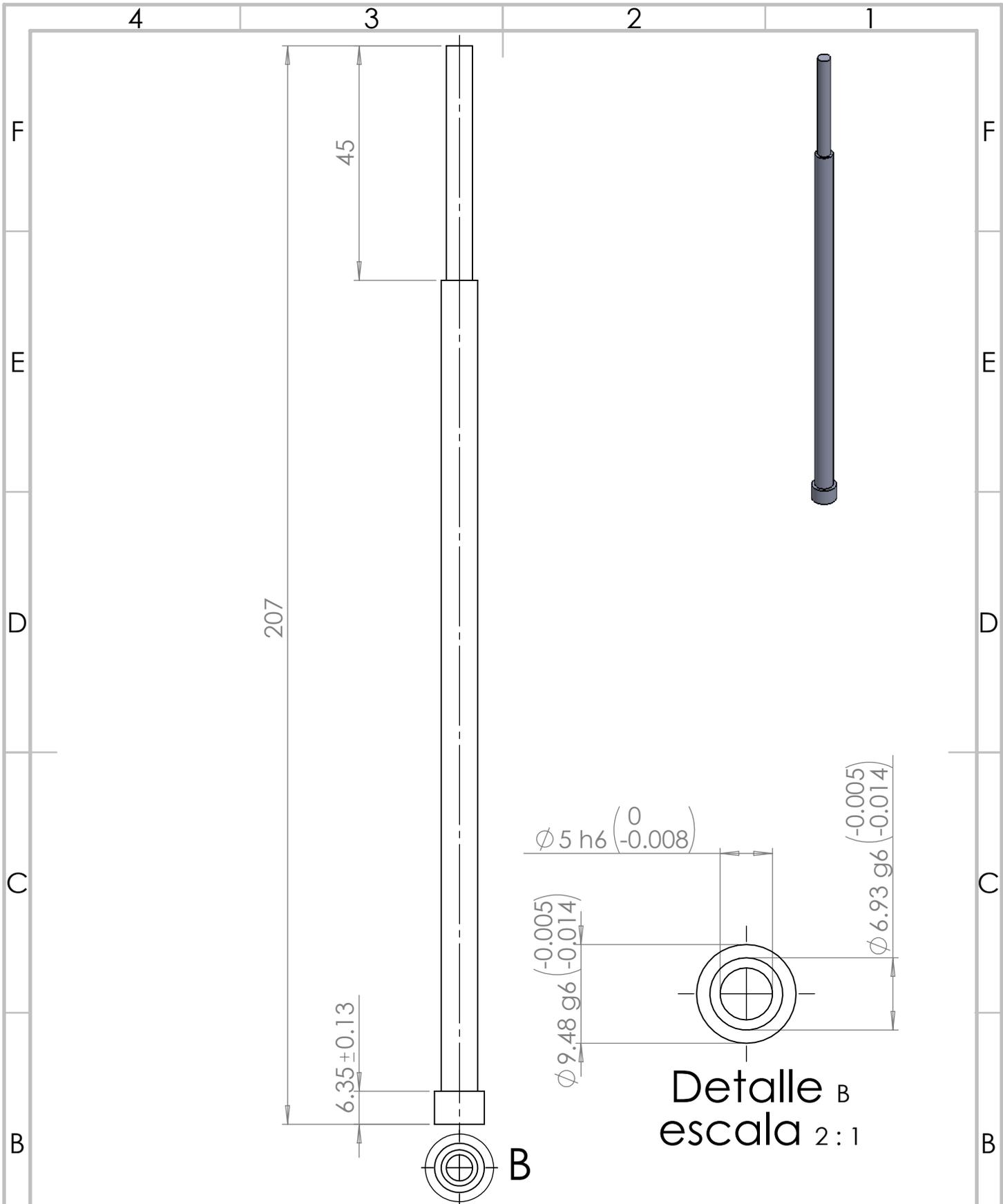


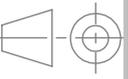
4X $\phi 4.20 \nabla 15$
M4x0.7

				Tolerancias:	Pesos:	Materiales:		AISI P20	
				Fecha	Nombre	Denominación:		Escala: 1:2	
				DIB.	27/11/19	Burbano/Sanchez		CILINDRO	
				REV.				A4	
				APRO.				Nro. Dibujo:	
				ESPOL		03		Sustitución:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						



				Tolerancias:	Pesos: 2160.19 g	Materiales: AISI 304	
				Fecha	Nombre	Denominación: PESA	Escala: 1:2
				DIB.	27/11/19 Burbano/Sanchez		A4
				REV.			
				APRO.		Nro. Dibujo: 04	
				ESPOL		Sustitución:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				Tolerancias:	Pesos:	Materiales:		AISI 4340	
				Fecha	Nombre	Denominación:		Escala: 1:1	
				DIB.	27/11/19	BURBANO/SANCHEZ		A4	
				REV.					
				APRO.					
				ESPOL		Nro. Dibujo:		05	
						Sustitución:			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

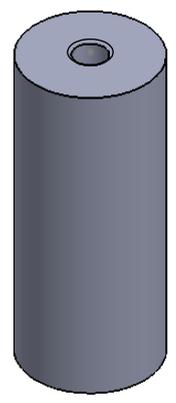
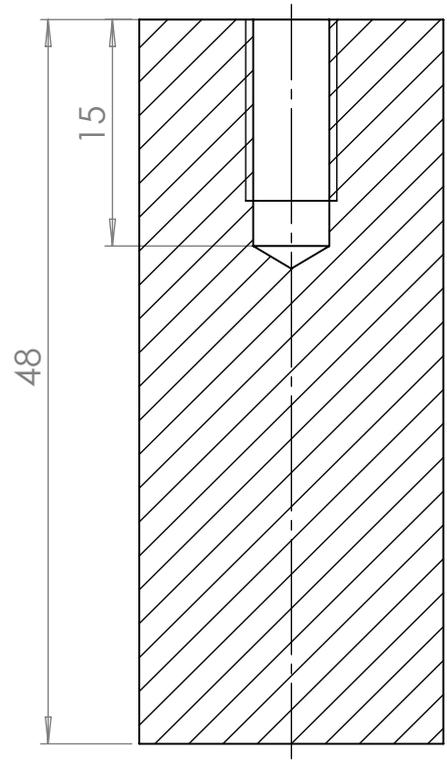
C

B

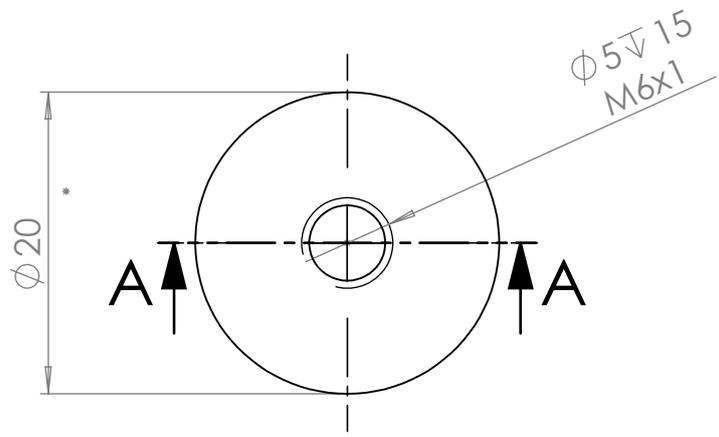
B

A

A



Sección A-A



Tolerancias:

Pesos:

Materiales:

AI SI 304

Fecha

Nombre

Denominación:

Escala: 2:1

DIB.

27/11/19

Burbano/Sanchez

REV.

APRO.

PATAS

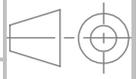
A4

Nro. Dibujo:

08

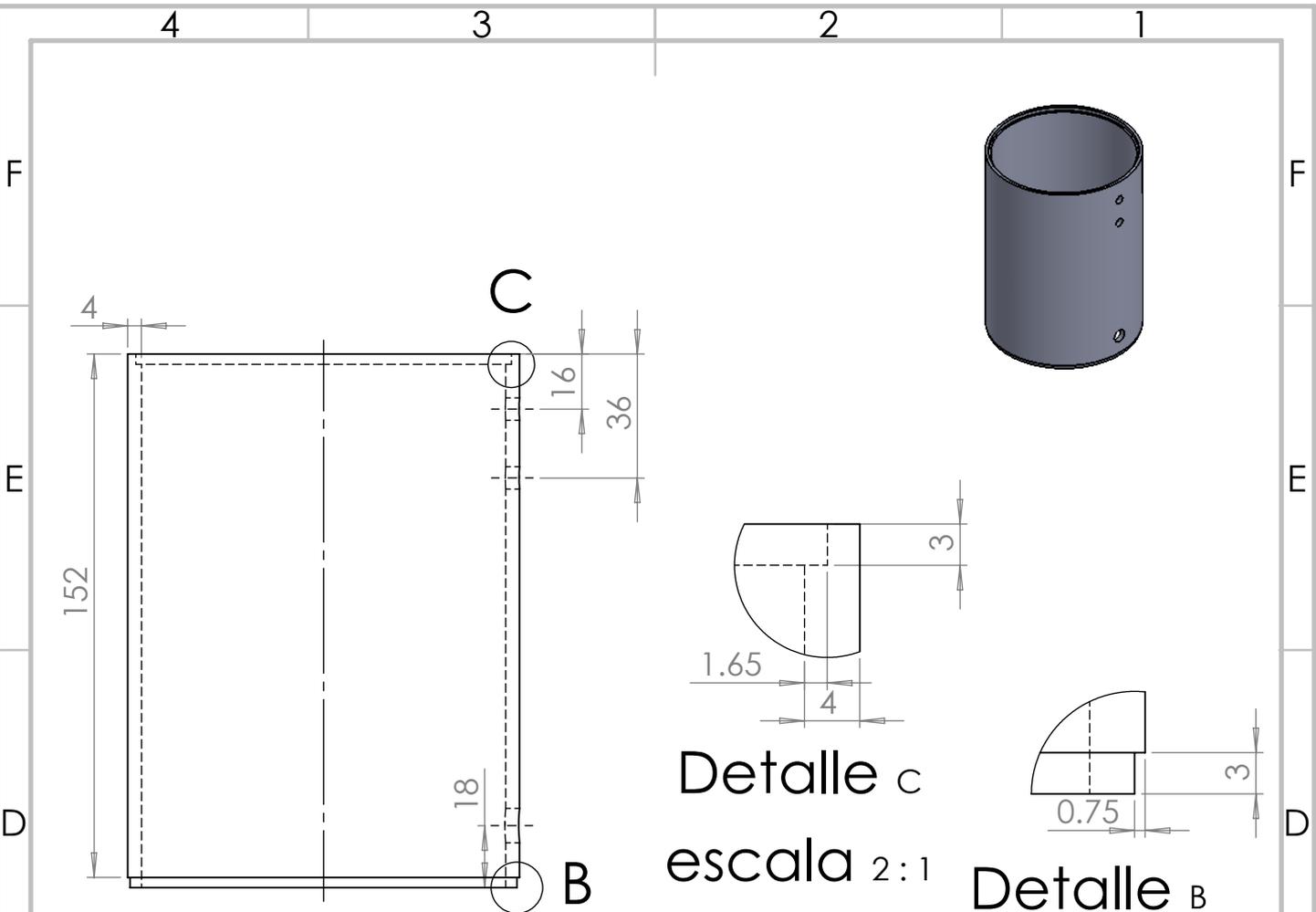
ESPOL

Sustitución:



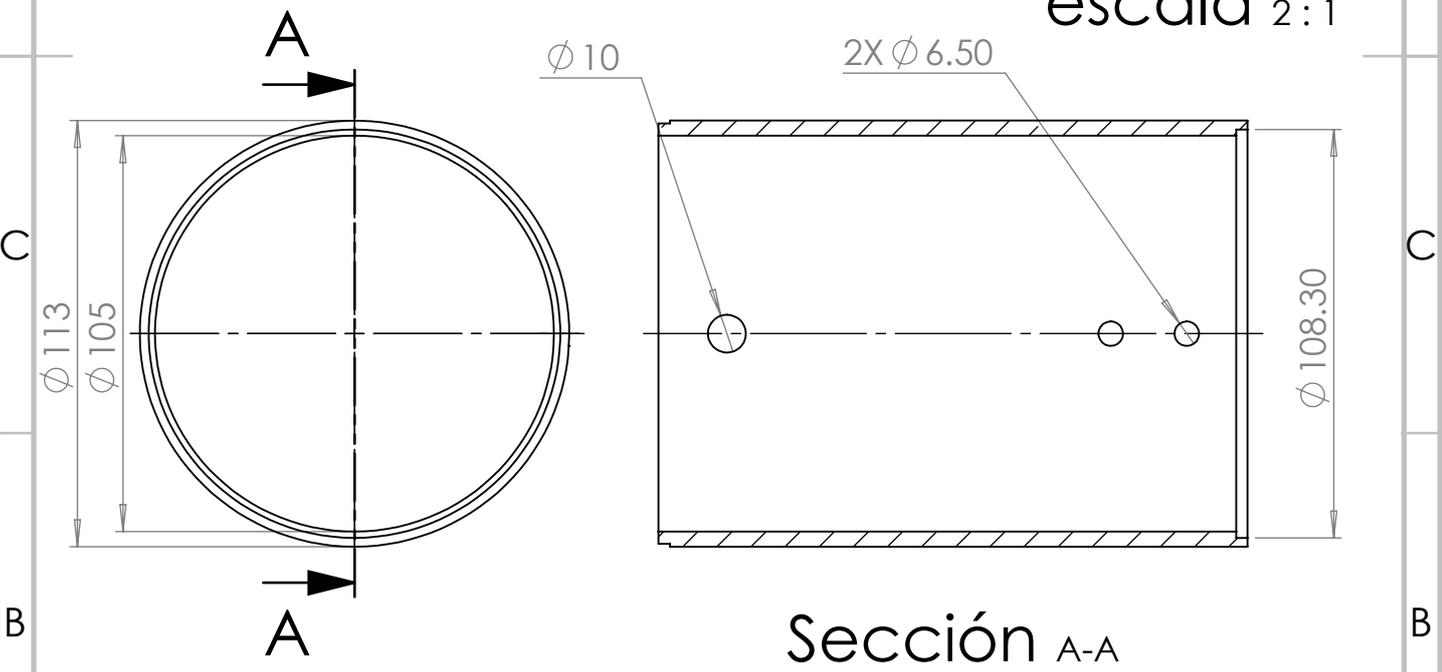
Edición	Modificación	Fecha	Nombre

4 3 2 1



Detalle c
escala 2:1

Detalle B
escala 2:1



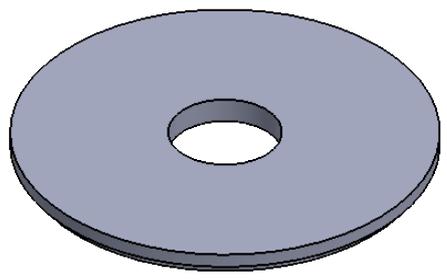
Sección A-A

				Tolerancias:	Pesos:	Materiales:		
						ACERO GALVANIZADO		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala: 1:2	
				DIB. 28/11/19	Burbano/Sanchez	HOUSING	A4	
				REV.				
				APRO.				
				ESPOL		Nro. Dibujo:	09	
						Sustitución:		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

4 3 2 1

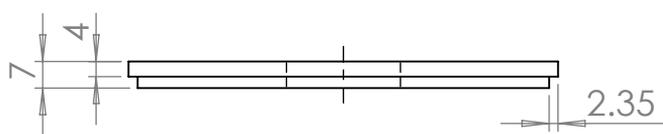
F

F



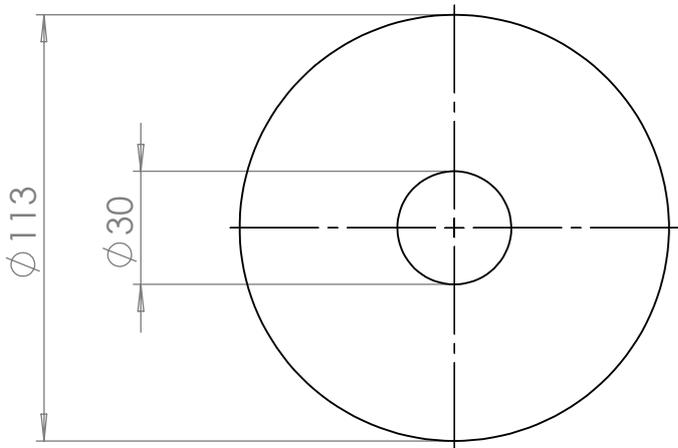
E

E



D

D



C

C

B

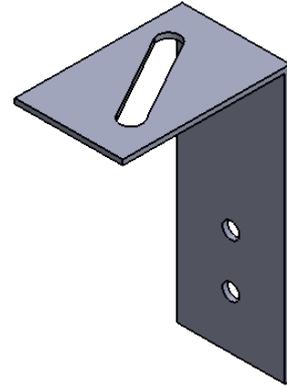
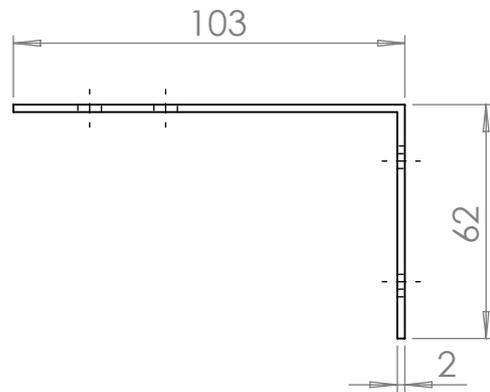
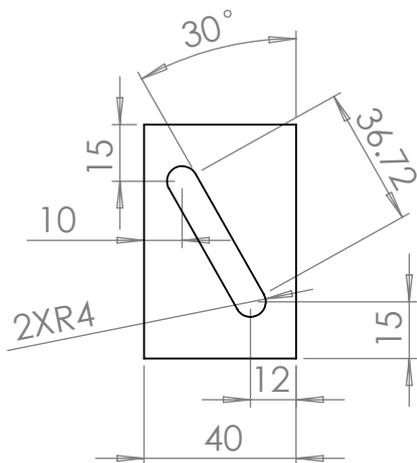
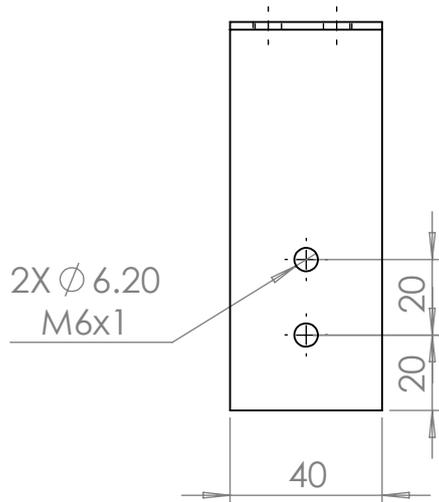
B

A

A

				Tolerancias:		Pesos:		Materiales:		ACERO NEGRO	
				Fecha		Nombre		Denominación:		Escala: 1:2	
				DIB. 28/11/19		Burbano/Sanchez		TAPA		A4	
				REV.				Nro. Dibujo:		10	
				APRO.				Sustitución:			
				ESPOL							
Edición	Modificación	Fecha	Nombre								

4 3 2 1



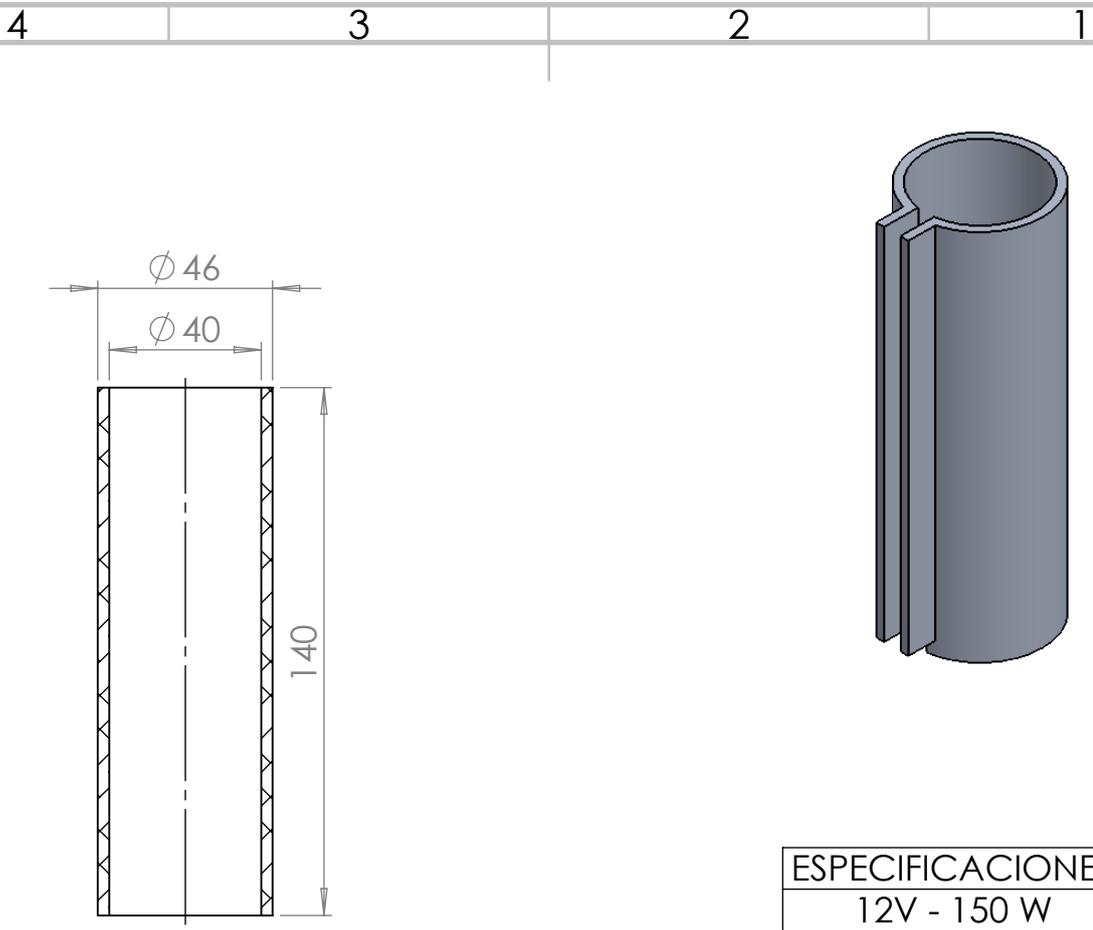
				Tolerancias:	Pesos:	Materiales:		
						AISI 304		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala: 1:2	
				DIB.	28/11/19	Burbano/Sanchez	ÁNGULO L	
				REV.				
				APRO.				
				ESPOL		Nro. Dibujo:	11	
						Sustitución:		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

F
E
D
C
B
A

F
E
D
C
B
A

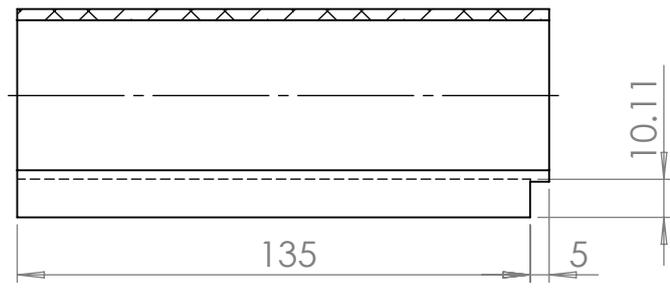
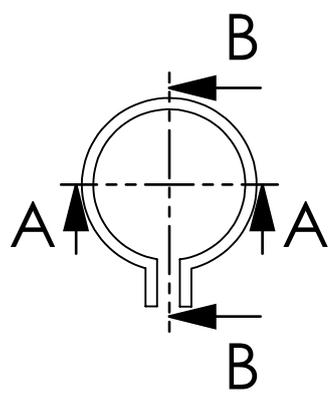
4 3 2 1

4 3 2 1



Sección A-A

ESPECIFICACIONES
12V - 150 W
Los cables deben salir por la superficie inferior



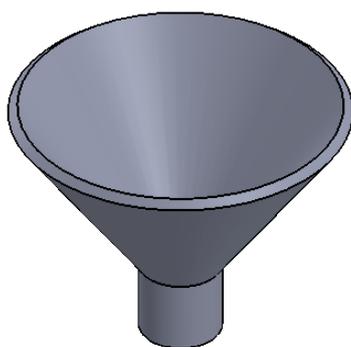
Sección B-B

				Tolerancias:	Pesos:	Materiales:		
				Fecha	Nombre	Denominación:		
				DIB.	28/11/19	RESISTENCIA TÉRMICA		
				REV.		Escala: 1:2		
				APRO.		A4		
				ESPOL		Nro. Dibujo:	12	
						Sustitución:		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

4 3 2 1

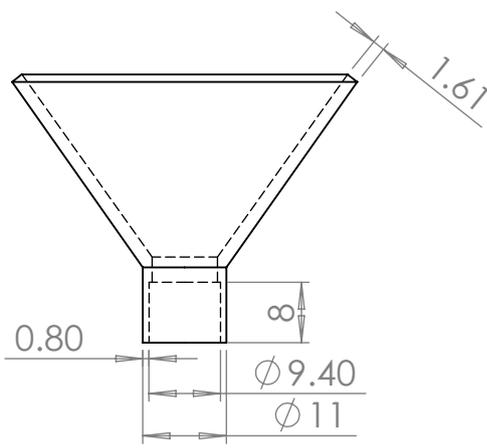
F

F



E

E

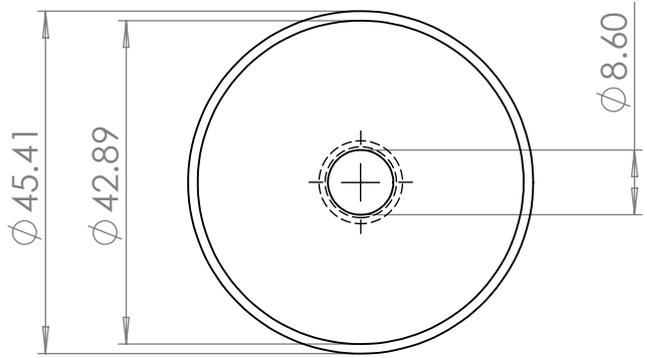


D

D

C

C



B

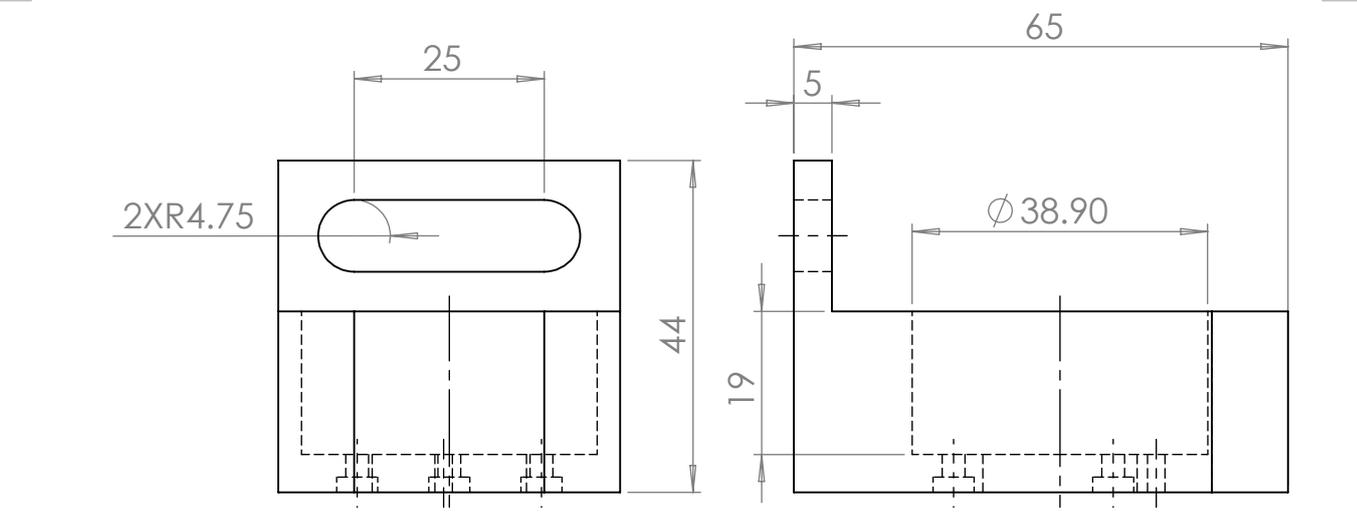
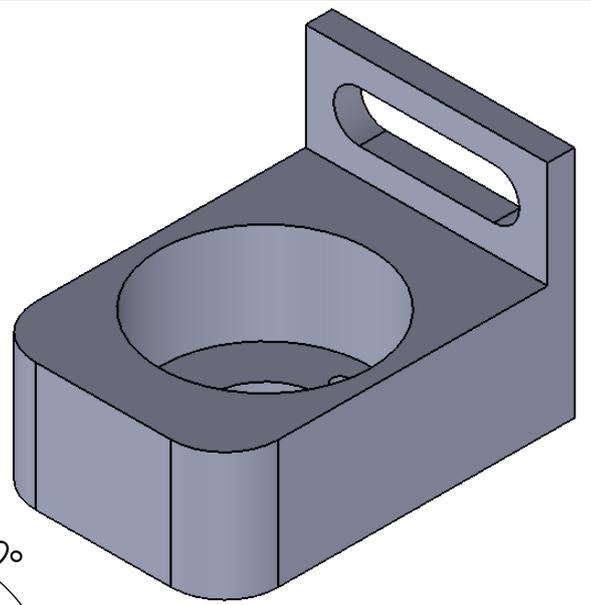
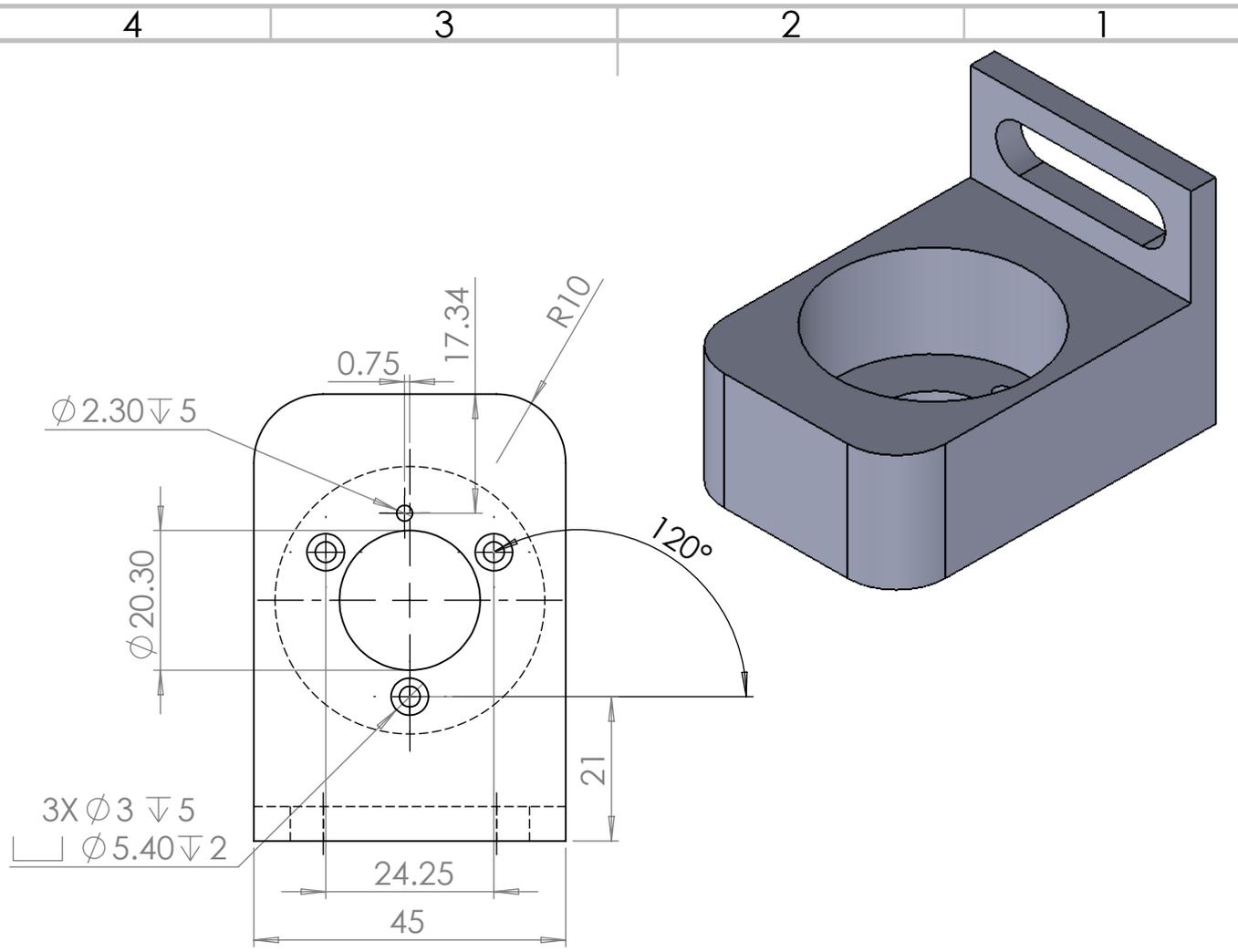
B

A

A

				Tolerancias:		Pesos:		Materiales:	
								PLA	
				Fecha		Nombre		Denominación:	
				28/11/19		Burbano/Sanchez		EMBUDO	
				DIB.		REV.		APRO.	
								Escala: 1:1	
								A4	
				ESPOL		Nro. Dibujo:		13	
						Sustitución:			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						

4 3 2 1



				Tolerancias:	Pesos:	Materiales:		PLA	
						Denominación:		SOPORTE DE ENCODER	
				Fecha	Nombre	Escala:		5:1	
				DIB.	28/11/19	Burbano/Sanchez		A4	
				REV.					
				APRO.					
				ESPOL		Nro. Dibujo:		14	
						Sustitución:			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						

4

3

2

1

A

A

B

B

C

C

D

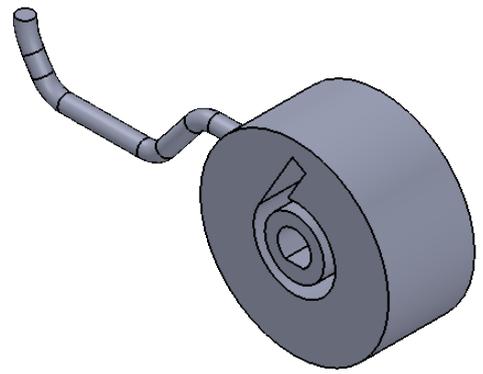
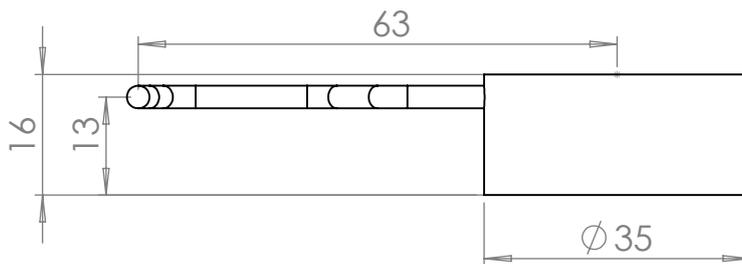
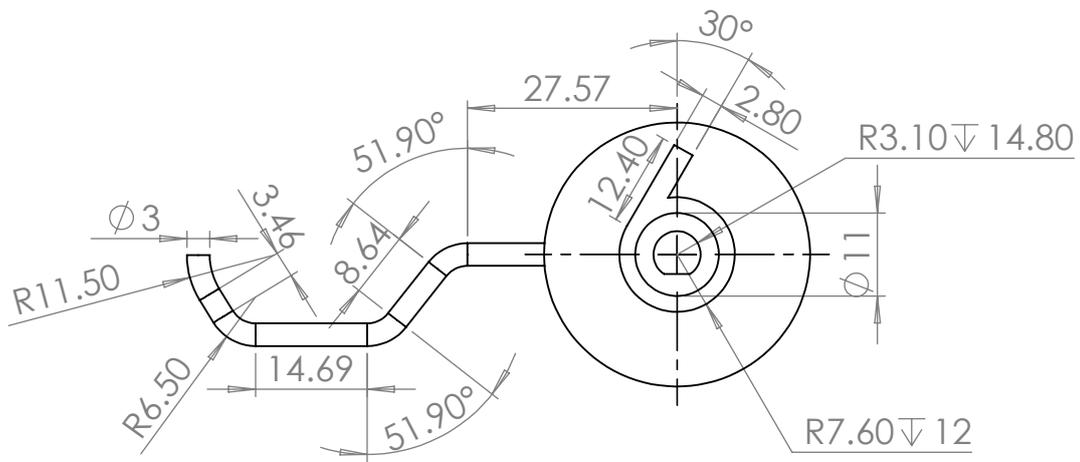
D

E

E

F

F



				Tolerancias:	Pesos:	Materiales:	
						ABS	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala: 1:1
				DIB.	28/11/19	Burbano/Sanchez	ACOPLE DE ENCODER
				REV.			
				APRO.			
				ESPOL		Nro. Dibujo:	15
						Sustitución:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

C

B

B

A

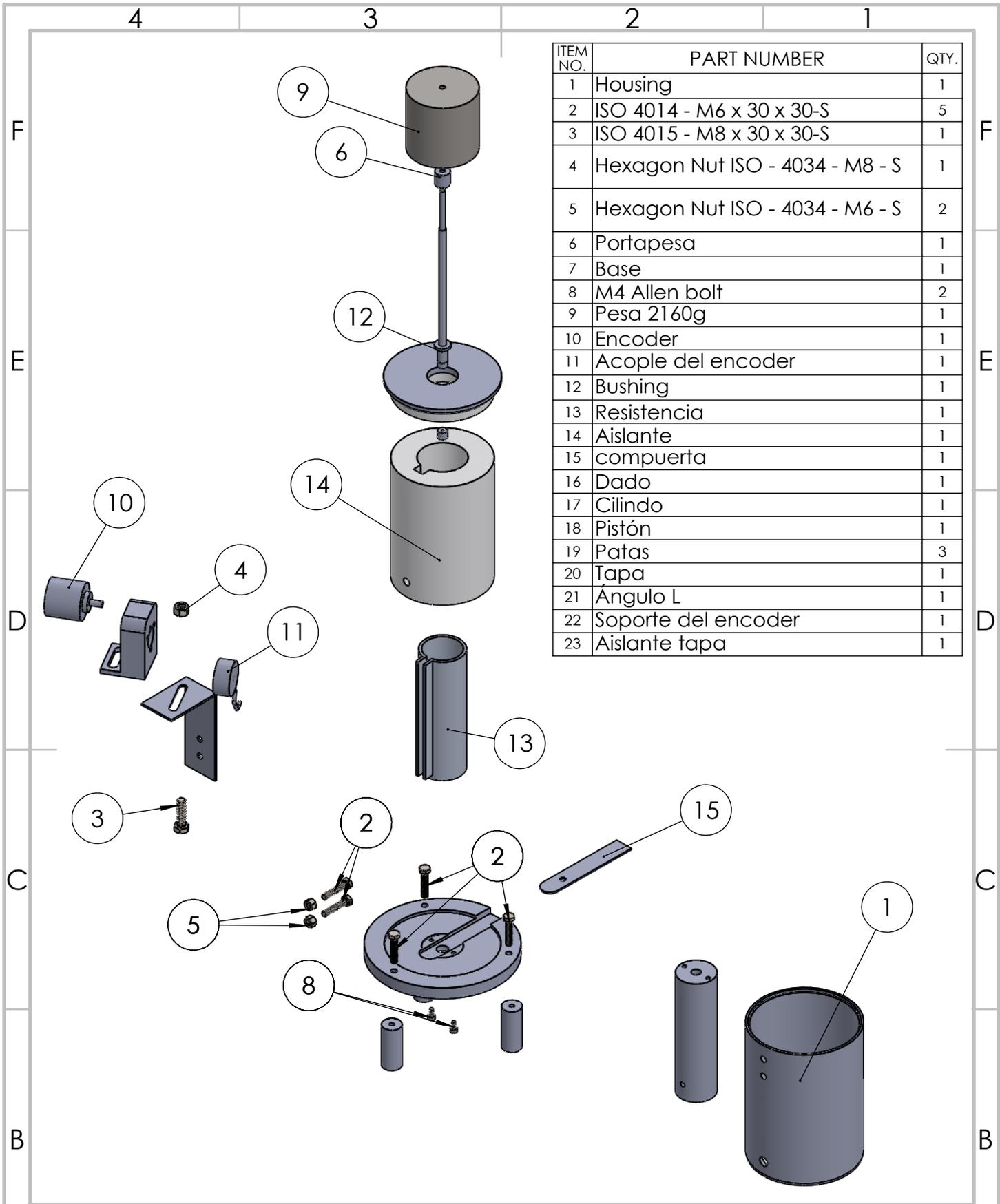
A

4

3

2

1



ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Housing	1
2	ISO 4014 - M6 x 30 x 30-S	5
3	ISO 4015 - M8 x 30 x 30-S	1
4	Hexagon Nut ISO - 4034 - M8 - S	1
5	Hexagon Nut ISO - 4034 - M6 - S	2
6	Portapesa	1
7	Base	1
8	M4 Allen bolt	2
9	Pesa 2160g	1
10	Encoder	1
11	Acople del encoder	1
12	Bushing	1
13	Resistencia	1
14	Aislante	1
15	compuerta	1
16	Dado	1
17	Cilindo	1
18	Pistón	1
19	Patas	3
20	Tapa	1
21	Ángulo L	1
22	Soporte del encoder	1
23	Aislante tapa	1

				Tolerancias:	Pesos:	Materiales:	
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				DIB.	28/11/19	Burbano/Sanchez	
				REV.			
				APRO.			
				ESPOL		Nro. Dibujo:	16
						Sustitución:	
						Escala: 1:5	
						A4	

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

A

A

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

C

B

B

APÉNDICE G

FOTOS

Herramientas utilizadas



Figura 1-G: Herramienta de torneado [Elaboración propia].



Figura 2-G: Herramienta de limado [Elaboración propia].

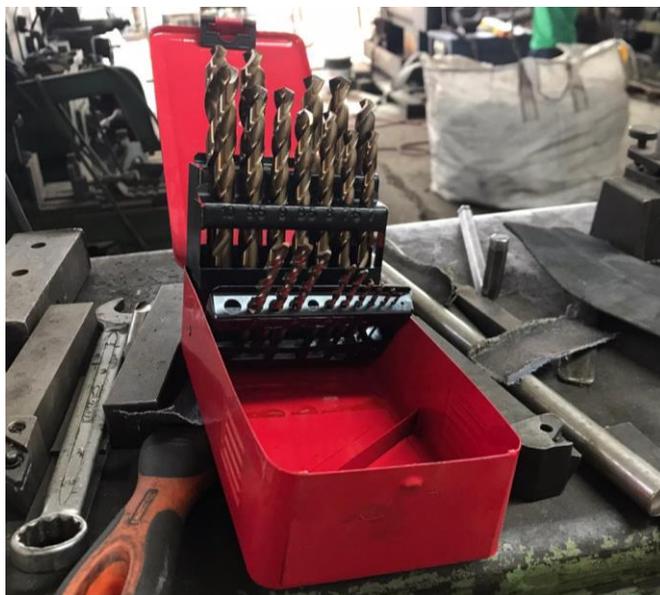


Figura 3-G: Herramienta de taladrado [Elaboración propia].



Figura 4-G: Herramienta de limado [Elaboración propia].

Proceso de mecanizado



Figura 5-G: Proceso de torneado [Elaboración propia].



Figura 6-G: Proceso de fresado [Elaboración propia].

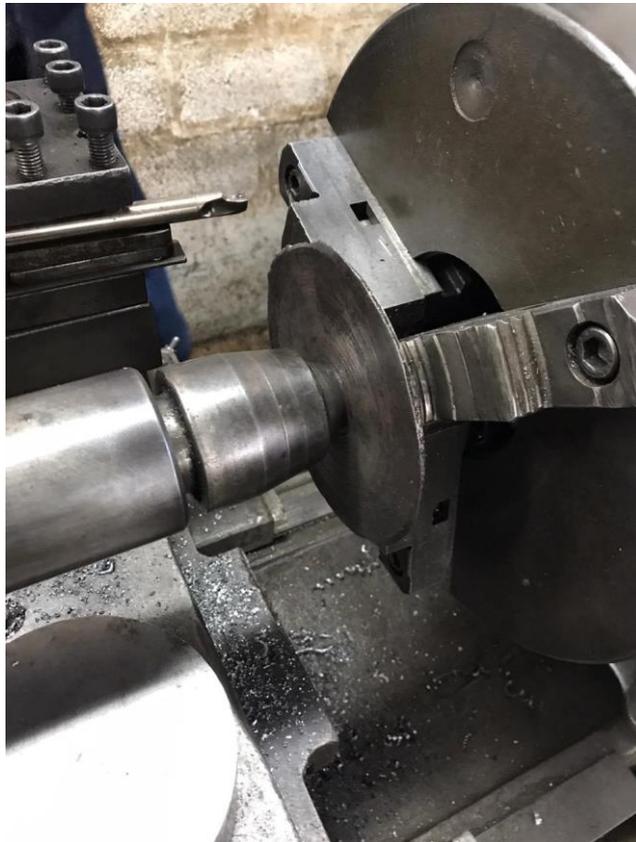


Figura 7-G: Proceso de torneado [Elaboración propia].



Figura 8-G: Proceso de fresado [Elaboración propia].



Figura 9-G: Piezas terminadas [Elaboración propia].



Figura 10-G: Equipo ensamblado [Elaboración propia].

Proceso de Ensamble



Figura 10-G: Ensamble de patas del equipo [Elaboración propia].



Figura 11-G: Nivelación del equipo [Elaboración propia].

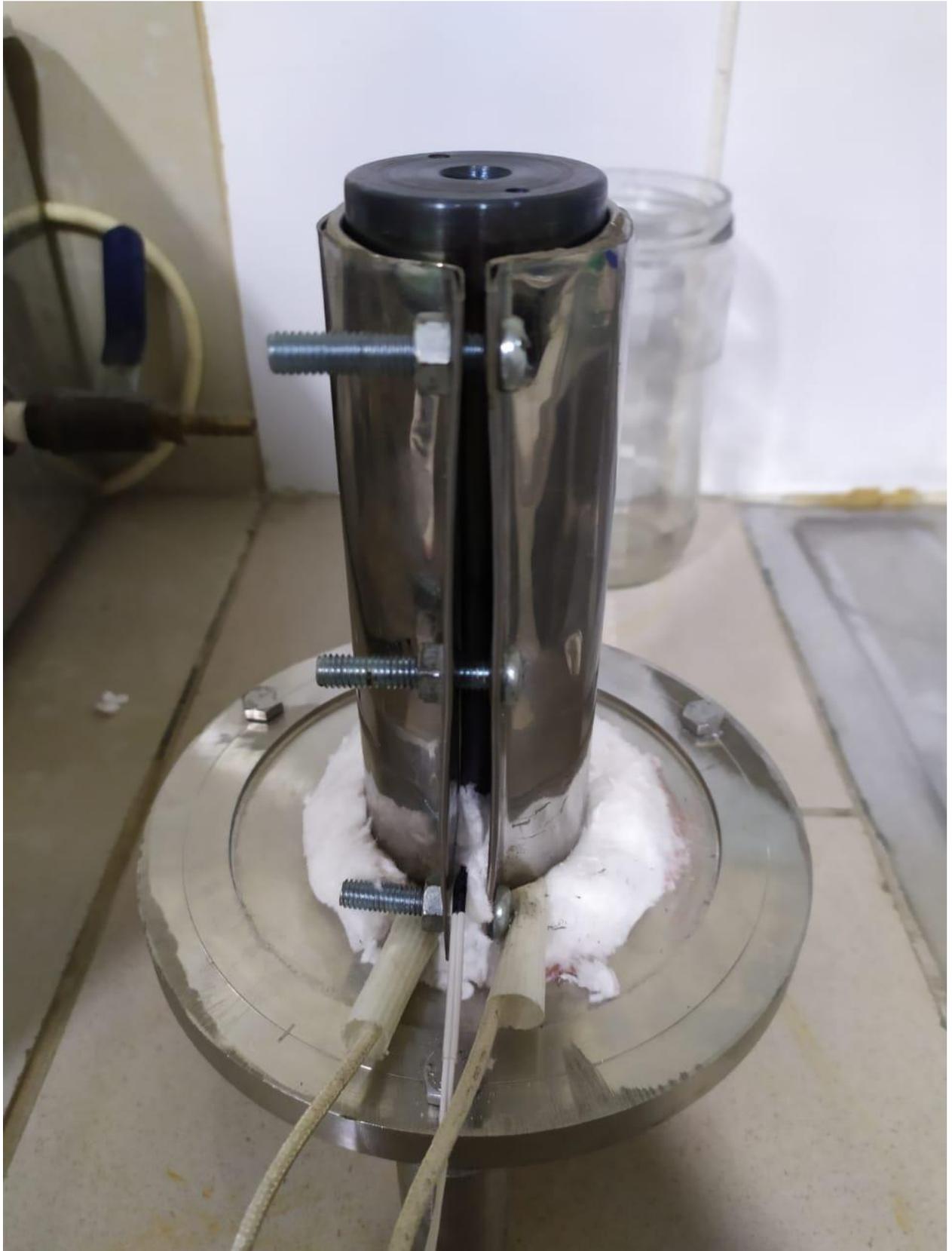


Figura 12-G: Ensamble de las resistencias [Elaboración propia].



Figura 13-G: Ensamble del material aislante [Elaboración propia].



Figura 14-G: Ensamble final del equipo [Elaboración propia].

APÉNDICE H

FORMATO DE REPORTE Y RESULTADOS DE ENSAYOS

The diagram illustrates the layout of an MFI test report. It features a central title 'Reporte ensayo MFI' and a date field 'Fri, Jan 24, 2020'. A vertical box on the left contains fields for 'Operador:', 'Material:', 'Norma:', and 'Peso:'. Below this is a 'RESULTADOS' table with columns for 'Temperatura de ensayo', 'Velocidad (cm/s)', 'Densidad (g/cm3)', and 'MFI'. A page number '1' is located at the bottom right. Arrows point from external labels to these specific elements.

Fecha

Datos ingresados por el operador

Cuadro de resultados

Número de página

RESULTADOS			
Temperatura de ensayo	Velocidad (cm/s)	Densidad (g/cm3)	MFI

Figura 1-H: Formato del reporte [Elaboración propia].

Ensayos LLDPE 218W MFI=2 [g/10min]



Figura 2-H: Ensayo 1 de 218W [Elaboración propia].

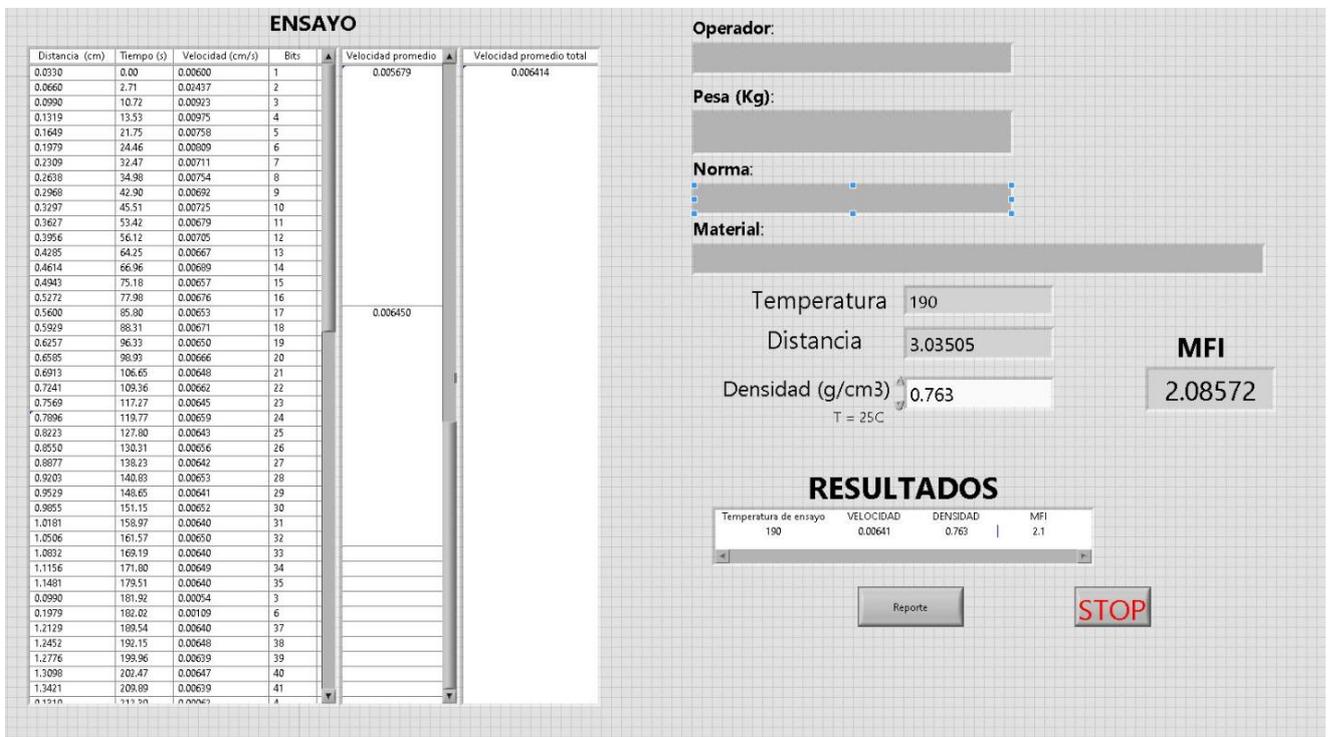


Figura 3-H: Ensayo 2 de 218W [Elaboración propia].

ENSAYO

Distancia (cm)	Tiempo (s)	Velocidad (cm/s)	Bits	Velocidad promedio	Velocidad promedio total
0.0330	0.00	0.00200	1	0.008079	0.006320
0.0660	2.70	0.02442	2		
0.0990	10.82	0.00915	3		
0.1319	13.62	0.00969	4		
0.1649	21.34	0.00758	5		
0.1979	24.55	0.00806	6		
0.2309	32.76	0.00705	7		
0.2638	35.37	0.00746	8		
0.2968	43.59	0.00681	9		
0.3297	46.29	0.00712	10		
0.3627	54.61	0.00664	11	0.005589	
0.3956	57.41	0.00689	12		
0.4285	65.52	0.00654	13		
0.4614	68.23	0.00676	14		
0.4943	76.56	0.00646	15		
0.5272	79.36	0.00664	16		
0.5600	87.58	0.00639	17		
0.5929	90.29	0.00657	18		
0.6257	98.50	0.00635	19		
0.6585	101.21	0.00651	20		
0.6913	109.22	0.00633	21	0.006347	
0.7241	112.03	0.00646	22		
0.7569	120.14	0.00630	23		
0.7896	122.75	0.00643	24		
0.8223	130.56	0.00630	25		
0.8550	133.17	0.00642	26		
0.8877	133.27	0.00000	27		
0.9203	141.19	0.00629	28		
0.9529	143.79	0.00640	29		
0.9855	151.61	0.00629	30		
1.0181	154.22	0.00000	31		
1.0506	161.84	0.00629	32		
1.0832	164.34	0.00639	33		
1.1156	171.97	0.00630	34		
1.1481	174.40	0.00639	35		
1.1805	181.90	0.00631	36		
1.2129	184.42	0.00640	37		
1.2452	192.13	0.00631	38		
1.2776	194.64	0.00640	39		
1.3098	202.26	0.00632	40		
1.3419	205.06	0.00639	41		

Operador:

Pesa (Kg):

Norma:

Material:

Temperatura

Distancia

Densidad (g/cm3) T = 25C

MFI

RESULTADOS

Temperatura de ensayo	VELOCIDAD	DENSIDAD	MFI
190	0.00632	0.763	2.1

Figura 4-H: Ensayo 3 de 218W [Elaboración propia].

Ensayos HDPE HS5502 MFI=0.35 [g/10min]

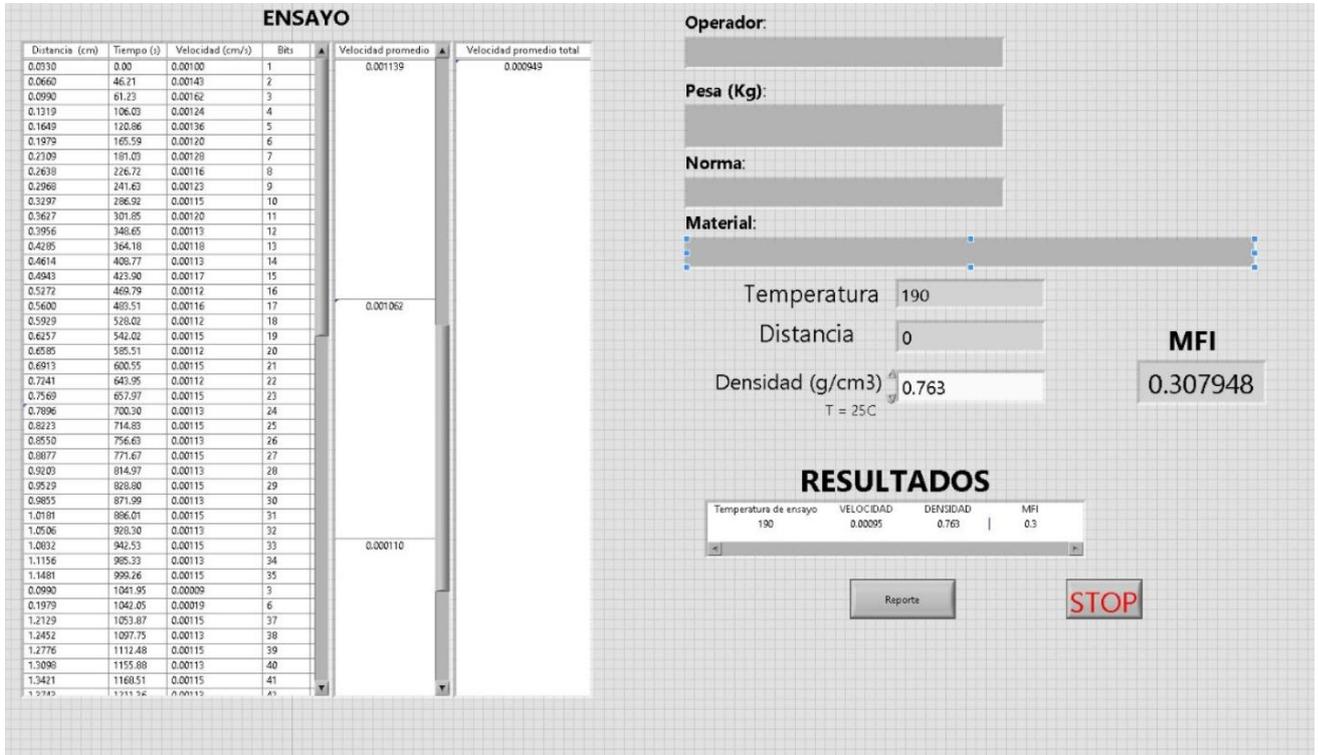


Figura 5-H: Ensayo 1 de HS5502 [Elaboración propia].

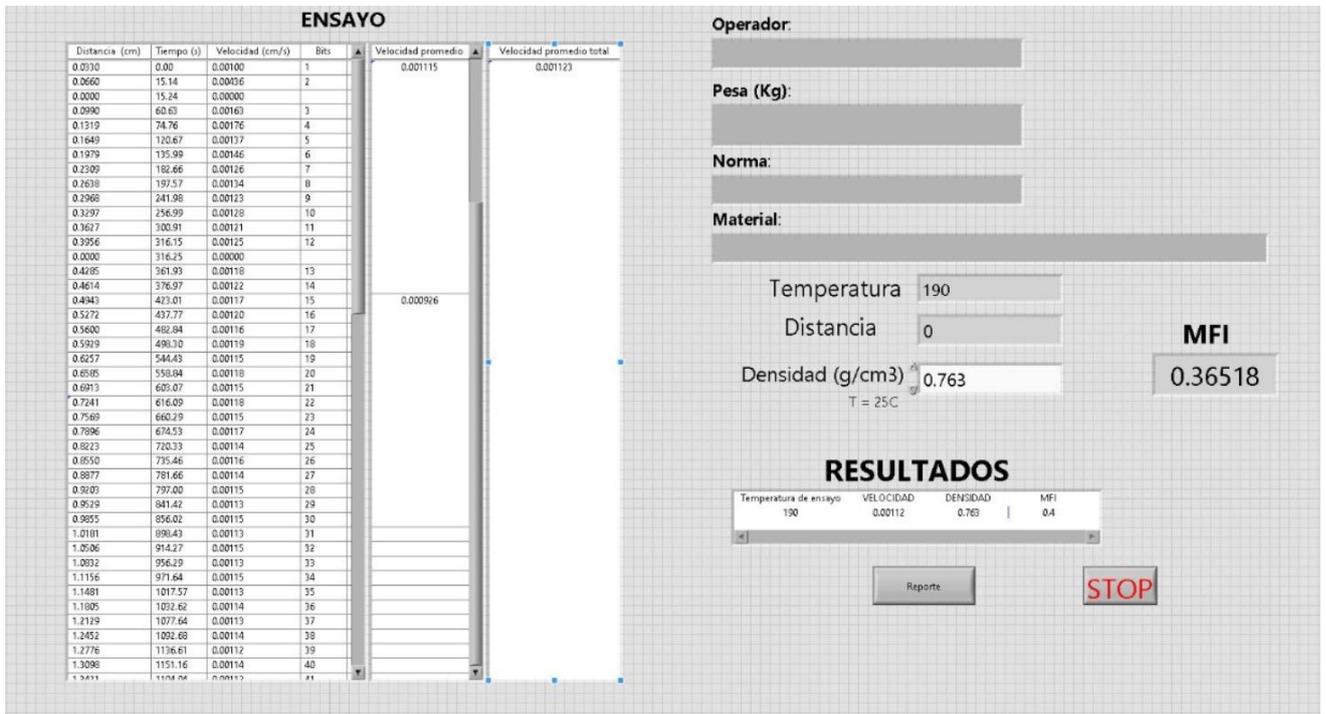


Figura 6-H: Ensayo 2 de HS5502 [Elaboración propia].

ENSAYO

Distancia (cm)	Tiempo (s)	Velocidad (cm/s)	Bits	Velocidad promedio	Velocidad promedio total
0.0330	0.00	0.00100	1	0.001590	0.001193
0.0660	13.84	0.00477	2		
0.0990	54.02	0.00183	3		
0.1319	67.74	0.00195	4		
0.1649	110.15	0.00150	5		
0.1979	124.98	0.00158	6		
0.2309	168.87	0.00137	7		
0.2638	183.30	0.00144	8		
0.2968	227.31	0.00131	9		
0.3297	241.05	0.00136	10		
0.3627	287.64	0.00126	11		
0.3956	303.65	0.00130	12		
0.4285	349.97	0.00122	13		
0.4614	364.90	0.00126	14		
0.4943	410.88	0.00120	15		
0.5272	427.24	0.00123	16		
0.5600	472.48	0.00119	17		
0.5929	487.53	0.00122	18		
0.6257	534.56	0.00117	19		
0.6585	550.51	0.00120	20		
0.6913	596.86	0.00116	21		
0.7241	612.51	0.00118	22		
0.7569	659.28	0.00115	23		
0.7896	675.04	0.00117	24		
0.8223	721.39	0.00114	25		
0.8550	736.83	0.00116	26		
0.8877	782.96	0.00113	27		
0.9203	797.19	0.00115	28		
0.9529	842.14	0.00113	29		
0.9855	858.18	0.00115	30		
1.0181	902.07	0.00113	31		
1.0506	916.39	0.00115	32		
1.0832	961.88	0.00113	33		
1.1156	977.32	0.00114	34		
1.1481	1023.53	0.00112	35		
1.1805	1039.17	0.00114	36		
1.2129	1080.41	0.00112	37		
1.2452	1095.62	0.00114	38		
1.2776	1139.74	0.00112	39		
1.3098	1154.14	0.00113	40		
1.3421	1197.65	0.00112	41		
1.3743	1211.89	0.00113	42		
1.4065	1342.43	0.00113	43		

Operador:

Pesa (Kg):

Norma:

Material:

Temperatura

Distancia

Densidad (g/cm3) T = 25C

MFI

RESULTADOS

Temperatura de ensayo	VELOCIDAD	DENSIDAD	MFI
190	0.00119	0.763	0.39

Figura 7-H: Ensayo 3 de HS5502 [Elaboración propia].