

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Fabricación de una máquina para preparación de café expreso

Trabajo de graduación presentado por Julián Miranda Prado para optar
al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala
2022

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería

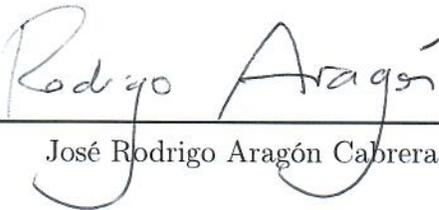


Fabricación de una máquina para preparación de café expreso

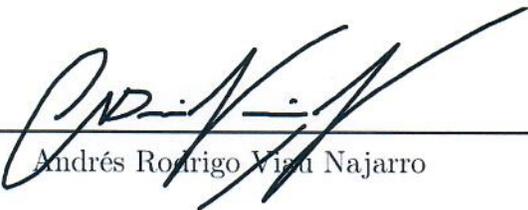
Trabajo de graduación presentado por Julián Miranda Prado para optar
al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala
2022

Vo.Bo.:

(f) 
José Rodrigo Aragón Cabrera

Tribunal Examinador:

(f) 
Andrés Rodrigo Viana Najarro

(f) 
Rony Jose Herrarte Estevez

(f) 
José Rodrigo Aragón Cabrera

Fecha de aprobación: Guatemala, 27 de mayo de 2022.

Lista de figuras	IX
Lista de cuadros	XI
Resumen	XIII
Abstract	XV
1. Introducción	1
2. Justificación	3
3. Objetivos	5
3.1. Objetivo general	5
3.2. Objetivos específicos	5
4. Marco teórico	7
4.1. ¿Qué es una máquina de expreso?	7
4.2. Características de extracción de café	7
4.3. Parámetros que afectan la calidad del café	9
4.3.1. Molienda, ducha y porta filtro	9
4.3.2. Investigación de la Universidad de Navarra acerca de distintas presio- nes sobre el la calidad del café	10
4.4. Componentes de una máquina de expreso	13
4.4.1. Materiales con grado alimenticio	16
4.4.2. Grupo de una máquina de expreso	17
5. Metodología	19
5.1. Descripción de metodología	19
5.2. Identificación de necesidades	20
5.3. Definición de requisitos	21
5.4. Diseños preliminares	21
5.5. Análisis de fuerzas influyentes	24

5.6. Configuración de análisis de elementos finitos	26
6. Cálculos	31
6.1. Cálculos del resorte	31
7. Resultados preliminares	35
7.1. Análisis de elementos finitos	35
7.1.1. Análisis del cilindro	35
7.1.2. Análisis de la palanca	36
7.2. Piezas en bruto	37
7.3. Proceso de manufactura	39
7.3.1. Impresión de piezas en 3D	39
7.3.2. Manufactura de piezas en aluminio	41
7.4. Ensamble de la máquina	56
7.4.1. Ensamble final de la máquina de expreso	57
7.5. Costo total de la máquina	57
8. Protocolo de pruebas y discusión de resultados	59
8.1. Protocolo de pruebas	59
8.1.1. Prueba del resorte	59
8.1.2. Prueba de presión de la máquina	63
8.1.3. Prueba de extracción de café expreso	66
8.2. Discusión de resultados	68
8.2.1. Prueba del resorte	68
8.2.2. Prueba de presión de la máquina	68
8.2.3. Prueba de extracción de café expreso	69
9. Conclusiones	71
10.Recomendaciones	73
11.Bibliografía	75
12.Anexos	81

Lista de figuras

1.	Tipos de molienda, para el café expreso se busca una molienda fina.	9
2.	Porta filtro sin fondo, en él se puede ver la distribución del agua necesaria para una buena extracción.	9
3.	A la izquierda se muestra la gráfica del color de la crema y a la derecha la gráfica de la consistencia.	11
4.	Resultados de aceptabilidad de la investigación. Obtenido del documento consultado.	12
5.	A la izquierda se encuentra el grupo de una máquina La Pavoni y a la derecha la forma en la que se compone el mismo, visto por el medio	13
6.	En la figura se puede ver el pistón de una máquina de expreso con un resorte	14
7.	En la figura se puede ver el pistón de una máquina de expreso	14
8.	En la figura se encuentra un grupo con su respectiva ducha montada	15
9.	En la figura se encuentra una palanca de compresión montada sobre una máquina de expreso llamada LaPavoni	15
10.	Caldera de <i>La Pavoni Lever Espresso Machine</i> , máquina similar a la idea de este proyecto.	16
11.	Máquina de expreso que utiliza grupo con mecanismo de bomba	18
12.	Máquina de expreso que utiliza grupo con mecanismo de palanca	18
13.	Máquina de expreso a fabricar.	22
14.	Grupo.	22
15.	Tapa y cubierta de grupo.	23
16.	Pistón y cilindro	23
17.	Chasis para montaje del grupo.	23
18.	Placa para montaje de grupo en chasis	24
19.	Diagrama de cuerpo libre de la palanca.	24
20.	Diagrama de cuerpo libre del pistón.	25
21.	Diagrama de cuerpo libre del resorte.	25
22.	Parámetros AISI 304 Ansys Workbench 2021 R1.	26
23.	Parámetros del aluminio 6061 Ansys Workbench 2021 R1.	26
24.	Mallado del cilindro.	27
25.	Parámetros de mallado para el cilindro.	27
26.	Parámetros estructurales para el cilindro	28

27.	Mallado de la palanca y el pivote	28
28.	Parámetros de mallado para la palanca y el pivote.	28
29.	Parámetros estructurales para la palanca.	29
30.	Resorte a fabricar	33
31.	Resultados de esfuerzos de la deformación total, los esfuerzos de Von Mises y el factor de seguridad del cilindro.	35
32.	Resultados de la deformación total, los esfuerzos de Von Mises y el factor de seguridad de la palanca.	36
33.	Cilindro de aluminio 6061 para la manufactura del grupo y guía del porta filtro.	37
34.	Cilindro de aluminio 6061 para la manufactura del cilindro	38
35.	Material de manufactura del chasis	38
36.	Cubierta del grupo	39
37.	Tapa del grupo	39
38.	Cilindro	40
39.	Pistón	40
40.	Pivote de palanca	40
41.	Guía de porta filtro	41
42.	<i>Stock</i> para manufactura del grupo	41
43.	Refrentado y cilindrado de la tapa de grupo	42
44.	Resultado del refrentado y cilindrado de la tapa de grupo	42
45.	Maquinado trasero tapa de grupo	43
46.	Resultado de maquinado de conicidad para el grupo	43
47.	Desbaste superior	44
48.	Perforación de agujeros	44
49.	Avance de tapa de grupo	45
50.	Cilindrado de cubierta de grupo.	46
51.	Mandrinado de cubierta de grupo	46
52.	Montaje en “chuck”	47
53.	Perforación de agujeros	47
54.	Fabricación del cilindro para el grupo	48
55.	Cilindro con empaques instalados	48
56.	Fabricación de ducha para el grupo	49
57.	Ducha insertada dentro de la cubierta de grupo	49
58.	Resorte manufacturado en Industria Nacional del Resorte	50
59.	Pistón luego de cilindrado de ambos diámetros	50
60.	Pistón versión final	51
61.	Agujeros del pivote	51
62.	Montaje de pivote en CNC	52
63.	Pivote versión final	52
64.	Montaje de guía de porta filtro para CNC y torno.	53
65.	Resultado final de guía de porta filtro.	53
66.	Silicona que se utilizó para el empaque.	54
67.	Resultado final del empaque del grupo.	54
68.	Documentación de la manufactura del chasis.	55
69.	Resultados de la manufactura del chasis.	55
70.	Resultados del sub-ensamble de la tapa de grupo.	56

71.	Resultados del sub-ensamble de la cubierta de grupo.	56
72.	Resultado final de la máquina de expreso	57
73.	Gráficas de resultados de primera experimentación de constante de compresión del resorte	62
74.	Gráficas de resultados de segunda experimentación de constante de compresión del resorte	62
75.	Prueba para obtención de la constante de compresión del resorte	63
76.	Prueba para obtención de la presión máxima generada por el resorte dentro de la máquina	65
77.	Volumen de extracción de café expreso	67
78.	Prueba de extracción de café expreso	68

Lista de cuadros

1.	Parámetros fisicoquímicos a distintas presiones.	10
2.	Atributos sensoriales a distintas presiones.	12
3.	Propiedades físicas térmicas del acero inoxidable 304	17
4.	Propiedades físicas térmicas del aluminio 6061	17
5.	Requisitos funcionales	21
6.	Requisitos operacionales	21
7.	Limitantes	21
8.	Resultados de simulación en ANSYS del cilindro	36
9.	Resultados de simulación en ANSYS de la palanca	36
10.	Mano de obra	57
11.	Costo de manufactura en fresadora CNC	58
12.	Costo total	58
13.	Procedimientos de la experimentación	60
14.	Resultados de la primera experimentación	61
15.	Resultados de la segunda experimentación	61
16.	Cálculo de k promedio	62
17.	Cálculo de presión máxima	63
18.	Procedimiento de la prueba de presión	64
19.	Resultados de la prueba de presión del resorte	65
20.	Valores estadísticos	65
21.	Procedimiento de la prueba de extracción	66
22.	Resultados de la prueba extracción del expreso	67
23.	Valores estadísticos de prueba de extracción	67

En Guatemala, siendo uno de los países con mayor producción de café a nivel mundial, se utilizan máquinas italianas para la preparación del café expreso, el tipo de café más versátil y conocido en el mundo. Estas máquinas tienden a tener costos elevados desde su precio inicial hasta sus costos de mantenimiento, por lo que se encontró la necesidad y la idea de emprendimiento de darle al país una máquina de café expreso que fuera hecha en Guatemala, con mayor accesibilidad a repuestos así como facilidad de mantenimiento.

Por ello, se diseñó y fabricó un prototipo de una máquina de expreso conformada por un grupo y una estructura de soporte, el chasis. El grupo está conformado por un mecanismo principal de pistón y palanca, el cual puede realizar la extracción del expreso al introducirle agua caliente al interior de este. En este trabajo de graduación se muestra el proceso completo, empezando con el diseño y cálculos de la máquina, donde se simula la durabilidad y estabilidad de esta en situaciones donde se somete a alta temperatura y presión; continuando con los cálculos y manufactura del resorte; luego con la manufactura de la cubierta del grupo, el mecanismo de pistón y émbolo, llegando hasta la manufactura del chasis que sostiene el ensamble.

La máquina es capaz de elevar la presión a 4.2 bar en un sistema cerrado, así como resistir el movimiento de la palanca para la elevación del pistón, y es capaz de producir 2 onzas de café expreso.

In Guatemala, being one of the countries with the highest coffee production worldwide, Italian machines are used for the preparation of espresso coffee, the most versatile and well known type of coffee in the world. These machines tend to have high costs from their initial price to their maintenance costs, do the need and the idea of designing and building an espresso machine with lower costs (initial investment and maintenance), with greater accessibility to spare parts and made in Guatemala was found.

Therefore, a prototype of an espresso machine was designed and manufactured, consisting of a group and a support structure, the chassis. The group consists of a main mechanism of piston and lever, which can extract the espresso by introducing hot water into it. In this graduation work the complete process is shown, starting with the design and calculations of the machine, where the durability and stability of the machine is simulated in situations where it is subjected to high temperature and pressure; continuing with the calculations and manufacture of the spring; then with the manufacture of the cover of the group, the piston and piston mechanism, up to the manufacture of the chassis that holds the assembly.

The machine is capable of raising the pressure to 4.2 bar in a closed system, as well as resisting the movement of the lever for the elevation of the piston, and is capable of producing 2 ounces of espresso coffee, being the first espresso machine manufactured in Guatemala.

CAPÍTULO 1

Introducción

Guatemala es uno de los más grandes productores de café a nivel mundial. Esto, además de la gran cantidad de exportación que se maneja, permite que en todo el país se tenga un alto consumo de café. En el año 2019, el mercado guatemalteco era de Q2.3 mil millones, con un 67 % siendo de café molido, el resto café soluble (ASIES, 2019). Esto nos da un valor de mercado de Q1.54 mil millones. Es increíble pensar que, siendo grande el mercado de café en Guatemala, las cadenas dedicadas a preparación de bebidas de café a base de café expreso (capuchino, americano, cortado, entre otras), utilizan máquinas italianas para su preparación. Esto se debe a que no existe una máquina de expreso hecha en Guatemala.

Estas máquinas de café llegan a precios de miles de dólares, con costos de mantenimiento altos, lo cual hace difícil que las empresas pequeñas puedan entrar a competir o las mismas familias que deseen este tipo de bebidas en su hogar deban optar por percoladoras, donde la preparación no es versátil como al utilizar café expreso.

Por eso, la iniciativa de este proyecto así como idea de emprendimiento es la realización del diseño y la manufactura de una máquina de café expreso, para darle la oportunidad a los guatemaltecos de preparar sus bebidas de café expreso favoritas con su café guatemalteco, en una máquina guatemalteca. Este tipo de máquinas por lo general constan de dos partes principales, caldera y grupo, en este caso realizará la manufactura del grupo como primera fase. El grupo, el cual es el que genera la presión de extracción, debe ser capaz de generar un máximo de 9 bares de presión por medio de un mecanismo de palanca, pistón y resorte. Este tendrá una entrada para un porta filtro, pieza a la que se le introduce el café molido para realizar la extracción del café expreso.

La forma en la que se determinan las características que necesita el grupo va de acuerdo con el artículo *“La Teoría Básica del Expreso”*, realizado por los baristas de *“La Marzocco”*, uno de los líderes mundiales de las máquinas de café expreso. Por ejemplo, una de estas características del grupo, que al mismo tiempo es una restricción de diseño, son los materiales, ya que deben ser grado alimenticio, tales como el acero inoxidable 304, el aluminio, el cobre, entre otros.

Se espera obtener un prototipo de un grupo para una máquina de café expreso con una capacidad de extracción de 2 onzas de café expreso utilizando un mecanismo de pistón y de palanca que mantenga un máximo de presión de 9 bar para la extracción. Es importante mencionar que la temperatura del agua toma un papel importante en la extracción del café, por lo que debe considerarse una temperatura de trabajo del agua entre 90°C y 98°C.

Guatemala es un país reconocido alrededor del mundo por ser uno de los productores de café de mejor calidad. Gracias a la abundancia de montañas, cordilleras y volcanes, se puede obtener café de altura sencillamente. Pero existe una deficiencia en la industria cafetalera de este país: Guatemala no cuenta con una máquina para generar su propia extracción de esencia de café. En la industria de consumo de café se utilizan en su mayoría máquinas italianas para extraer dicha esencia. No es un problema el hecho de ser máquinas extranjeras, pero es un mercado que no está abarcado por los propios guatemaltecos, y eso es sin tomar en cuenta algo importante, su costo. Las máquinas profesionales más sencillas y nuevas tienen como mínimo un costo de \$1,000 a \$1,200; esto limita a las empresas pequeñas a que puedan obtener una de estas máquinas. Además, al ser importadas, los precios de mantenimiento pueden ser considerables y la adquisición de repuestos es limitada.

Por ello, la iniciativa de este proyecto es la fabricación del prototipo de una máquina de café expreso que pueda extraer la esencia del café. Dicho prototipo se busca realizar para que en un futuro se pueda obtener una máquina a un precio accesible, por el hecho de ser fabricada en Guatemala, y poder brindar opciones de mantenimiento y repuestos al alcance del cliente. Esto es un nicho de oportunidad para un país cafetalero, tanto para el proveedor como para los clientes potenciales.

Adicional a dicha iniciativa, se desea buscar la solución a los problemas comunes en las máquinas importadas. Un ejemplo puede ser la des-configuración del volumen de salida de agua de las máquinas. Estas, al ser completamente electrónicas, tienen un volumen de agua configurado que se brinda al presionar un botón que acciona la bomba, el cual cuando se des-configura, libera cantidades de agua distintas a las preestablecidas. Este sistema electrónico hace que el precio de la máquina se eleve y el mantenimiento sea complicado y costoso, ya que debe ser realizado por especialistas. Dicho suceso evita que muchas personas puedan acceder a este tipo de máquinas.

Para poder llegar a competir con las máquinas que se utilizan actualmente, la máquina debe llegar a producir una infusión a un máximo de 9 bar de presión. Se busca realizar una máquina que cumpla con dicho requisito y tenga capacidad de generar una bebida de café

expreso de 2 onzas.

Este proyecto es un primer paso para realizar un emprendimiento que puede llegar a beneficiar a empresas y hogares en el país. La finalidad es desarrollar una máquina guatemalteca que extraiga la esencia del café, y poder resaltar el café guatemalteco que tiene importancia a nivel mundial. Esto puede resaltar como una máquina guatemalteca con un costo bajo en comparación con las máquinas importadas, con opciones de reparación y repuestos al alcance.

3.1. Objetivo general

Fabricar una máquina de café expreso capaz generar una presión máxima de extracción de 9 bar a través de un mecanismo de pistón y de palanca para producir un café expreso de un máximo de 2 onzas.

3.2. Objetivos específicos

- Identificar los materiales y procesos de manufactura necesarios para que el costo de la máquina sea inferior a \$800.
- Diseñar y fabricar un mecanismo de cilindro, pistón y palanca que pueda empujar agua a través de un porta filtro con café molido.
- Diseñar y fabricar una cubierta que pueda contener el mecanismo, contener fugas de agua y permita la manipulación de la máquina.
- Calcular y fabricar un mecanismo resorte y pistón que sea capaz de generar una presión dentro de un rango de 6 a 9 bar.
- Fabricar una estructura que pueda sostener el grupo, que permita manipular la palanca y que no pese más de 50 libras.
- Hacer un mínimo de 5 extracciones de café expreso.

Para entender este proyecto es necesario conocer los componentes y el funcionamiento de las máquinas de expreso, así como las características necesarias para una extracción correcta.

4.1. ¿Qué es una máquina de expreso?

Es una máquina utilizada para la preparación de café, particularmente de una forma rápida, las máquinas profesionales extraen una taza de café en no más de 30 segundos. Utiliza agua caliente y presión como método para realizar la extracción del café. Esta empuja el agua a través de granos de café molidos, los cuales están presionados con un “*tamper*” para generar mayor resistencia al paso del agua, permitiendo que se extraiga la bebida de café expreso.

Esta máquina viene desde el año 1901, siendo una de las innovaciones de la revolución industrial. Tanto su origen como el nombre muestran la razón de su existencia. La palabra “*espresso*”, siendo su traducción literal “*rápido*”, le fue colocada a dicho tipo de café ya que esta es una forma de extracción que en esa época era necesaria para poder atender a la alta cantidad de clientela que se manejaba. (Greaves, 2017)

4.2. Características de extracción de café

Para empezar, es importante saber las características que debe tener la extracción para poder definir y entender los componentes que lleva una máquina de expreso. Para una alta cantidad de personas, la realización de tanto un café regular como un expreso es solamente disolver el agua en granos molidos de café. Pero lo que no se habla fuera del barismo (el arte de hacer café) es que es un arte influida por varias cosas, la cantidad de agua, la temperatura, presión, tiempo de extracción, el tueste del grano, la fineza de la molienda, los materiales de

la máquina, entre otros. En lo que conlleva directamente la máquina, los datos importantes son el agua, los materiales de la máquina, temperatura y presión.(C. Coffee, s.f.)

Como primer punto hablaremos de la cantidad de agua en el café. Es importante tomar en cuenta que un *shot* de café expreso es el equivalente a una onza líquida de este, tomando en cuenta que el café absorbe cierta cantidad de agua al pasarla a través de él. Esta máquina, así como las máquinas profesionales en la industria, tiene como objetivo extraer dos onzas de café por cada corrida, por lo que debe tomar en cuenta la absorción de agua por la pastilla de café para esas dos onzas líquidas.

La temperatura es otro parámetro importante. Según el libro de uno de los baristas más reconocidos a nivel nacional, Félix Basir, la temperatura a la que el café debe ser extraído debe estar en un rango entre 93°C y 96°C. Temperaturas menores o mayores a dicho rango nos pueden causar una sub-extracción o un sabor a quemado en el resultado final. (Basir Dacaret, 2020)

La temperatura va de la mano con la presión. Hay dos tipos de presión dentro de una máquina de expreso, presión de la caldera y presión de extracción. La presión de la caldera es la que permite elevar la temperatura del agua y alargar su punto de ebullición, por lo que podemos tener mayor cantidad de agua líquida a una temperatura de 100°C que la que tendríamos a presión atmosférica. La presión que por lo general deben tener las calderas de una máquina va en un rango entre 100 y 280 kPa (1 y 2.8 bar) según un artículo obtenido en "*Journal Food Engineering*". La presión de extracción es la que se utiliza para que el agua pase a través de la pastilla de café y extraiga los sabores de este. Por lo general, esta presión debe estar dentro de un rango de 6 y 9 bar. (Jimenez-Junca y col., 2015)

Y como último punto, los materiales de la máquina. Se debe tomar en cuenta que nada debe contaminar la bebida de café. Por ello los materiales deben ser de grado alimenticio, asegurando que no brindaran un sabor adicional al café o no lo contaminaran con agentes nocivos para la salud. Los materiales a considerar que cuentan con grado alimenticio son los siguientes:

- Acero inoxidable 304

- Cobre

- Latón

- Aluminio 6061

Estos materiales son los materiales aprobados por el código alimentario (*Food Code*) de la FDA de Estados Unidos para el contacto con alimentos. (Nutrition, 2020)

4.3. Parámetros que afectan la calidad del café

4.3.1. Molienda, ducha y porta filtro

En la extracción de un café expreso, la presión del agua es fundamental para definir la calidad final de este. Existen distintas razones que definen la importancia de la presión del agua sobre el café. Primero que todo, la pastilla de expreso está realizada con una molienda de café fina. Esta pastilla debe ser comprimida, lo cual causa que los granos de esta molienda estén suficientemente unidos como para evitar que el agua pase libremente. A continuación se muestran los tipos generales de molienda que existen, siendo la que se utiliza para la pastilla del café expreso la molienda fina (fine).



Figura 1: Tipos de molienda, para el café expreso se busca una molienda fina. (Bresciani, 2020)

Otra razón es la ducha, esta es una rejilla tipo regadera que distribuye el agua alrededor de toda la pastilla. Esta ducha tiene pequeños agujeros por los cuales el agua debe salir, estrangulando su flujo. Cabe mencionar que el porta filtro tiene un fondo similar a la ducha, por lo que se cuenta con tres fuentes de resistencia. Entonces tanto la pastilla de expreso como la ducha y el porta filtro generan una resistencia al flujo que es vencida al tener presiones altas.



Figura 2: Porta filtro sin fondo, en él se puede ver la distribución del agua necesaria para una buena extracción. (DLR, s.f.)

4.3.2. Investigación de la Universidad de Navarra acerca de distintas presiones sobre el la calidad del café

En una investigación realizada por el Departamento de Bromatología, Tecnología de Alimentos y Toxicología en la Facultad de Farmacia de la Universidad de Navarra, se realizó un estudio en el cual buscan saber cuál es la influencia de tres distintas presiones sobre la extracción del café expreso. Las presiones a las que realizaron las extracciones fueron 7, 9 y 11 bar. Dichas extracciones fueron realizadas a una temperatura de 92 °C. (Andueza y col., 2002)

Los puntos de comparación utilizados que fueron tomados en cuenta son los siguientes:

1. Parámetros físico químicos
2. Color de crema (espuma del expreso)
3. Consistencia de crema
4. Atributos sensoriales (descriptivos)
5. Aceptabilidad general

Los resultados fueron brindados por distintos jueces a los que se les dio a catar cada una de las pruebas, esto hablando específicamente de los resultados subjetivos, como la aceptabilidad y los atributos sensoriales.

Parámetros físico químicos

En cuanto a los parámetros físico químicos obtenidos dentro de esta investigación se mencionan el pH, la densidad, el índice y persistencia de la crema y la cafeína. Se mencionan otros parámetros, pero no se tomarán en cuenta para este proyecto. Cabe mencionar que la crema es un factor importante ya que, además de apariencia, una crema correctamente realizada da un sabor más agradable al consumidor.

Parámetro	7 bar	9 bar	11 bar
pH	5.4±0.0	5.4±0.1	5.1±0.0
Densidad (g/mL)	1.011±0.0	1.010±0.0	1.007±0.0
Índice de crema	14.7±0.4	15.2±0.1	20.7±0.3
Persistencia (min)	24.67±0.52	28.17±2.23	30±0.0
Cafeína (mg/mL)	2.06±0.03	2.05±0.03	2.01±0.05

Cuadro 1: Parámetros fisicoquímicos a distintas presiones.

Como se puede observar en el Cuadro 1, los cambios más significativos en estos datos brindados fueron el índice y la persistencia de la crema en las distintas presiones aplicadas. Siendo la crema uno de los factores más representativos del café expreso a presiones altas, es importante tomar en cuenta estos datos. Podemos notar que a una mayor presión hay

mayor índice de crema así como mayor persistencia. Existe un ligero cambio en el pH del expreso extraído a una presión de 11 atm. Aún siendo una baja diferencia podemos ver que si es mayor la presión, la extracción del expreso termina siendo ligeramente más ácida.

Es importante mencionar que la crema no es un requisito que define a la bebida como “buena” en caso la tenga o “mala” en caso no la tenga. Pero, cuando el expreso es extraído a presiones arriba de los 5 bar, esta crema se presenta en la extracción y brinda su distintivo sabor. (Guzmán, 2021)

Color y consistencia de la crema

Recordando que la crema es un factor importante, no debemos olvidar mencionar su color y su consistencia. A continuación se muestran las gráficas obtenidas de dicha investigación que mencionan el color y la consistencia con la diferencia de presiones utilizadas. A la izquierda se muestra la gráfica del color de la crema y a la derecha la gráfica de la consistencia.

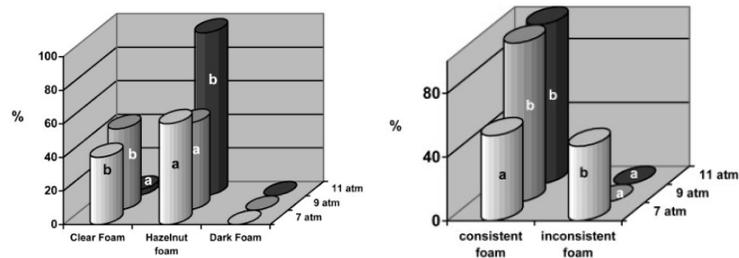


Figura 3: A la izquierda se muestra la gráfica del color de la crema y a la derecha la gráfica de la consistencia.

(Andueza y col., 2002)

En las gráficas, las letras “a” y “b” indican las diferencias significativas entre las muestras de expreso. Si cuentan con la misma letra significa que no hay gran diferencia entre las pruebas mostradas.

En cuanto al color podemos notar que a 11 atm se presentan todas las muestras con un color avellanado, significativamente diferente que los colores avellanados de 9 y 7 atm. Las diferencias presentadas entre 7 y 9 atm de los colores claros y avellanados no son significativas. Al hablar de la consistencia, un factor importante en el resultado final de un café expreso, se demuestra que a mayor presión se presenta mayor consistencia. Siendo las presiones de 9 y 11 atm similares en cuanto a consistencia, diferenciándose significativamente de los expresos extraídos a 7 atm.

Atributos sensoriales

En cuanto a los atributos sensoriales se tomaron en cuenta la intensidad del olor, el cuerpo (sensación táctil de peso y consistencia), acidez, amargura, intensidad de sabor e intensidad de post gusto. Todos estos fueron medidos en una escala de 1 a 10. Siendo 1 definido como bajo y 10 definido como alto. Los resultados brindados fueron los siguientes.

Atributo	7 bar	9 bar	11 bar
Intensidad de olor	5.9 ± 0.3	6.3 ± 0.8	6.9 ± 0.6
Cuerpo	5.9 ± 0.6	5.5 ± 0.8	6.1 ± 0.7
Acidez	4.8 ± 0.8	6.0 ± 1.2	5.0 ± 1.2
Amargura	6.2 ± 0.8	6.3 ± 1.2	7.7 ± 0.9
Intensidad de sabor	6.4 ± 0.6	6.7 ± 0.8	6.7 ± 0.8
Post gusto	6.1 ± 0.9	5.8 ± 0.9	7.2 ± 0.7

Cuadro 2: Atributos sensoriales a distintas presiones.

Estos atributos sensoriales muestran una tendencia de incremento en todos los valores a excepción del cuerpo, la acidez y la intensidad del post gusto. En este caso no podemos identificar cuál de estos es considerado mejor, ya que el tema de los alimentos es subjetivo. Pero si podemos mencionar la aceptabilidad de las muestras sacadas.

Aceptabilidad general

La aceptabilidad es la que puede definir cuál de estas presiones es la que debe buscarse. Por razones obvias, lo que se busca es la aceptabilidad de la máquina. Se debe asegurar la presión a la que la máquina debe de trabajar para poder satisfacer al mercado que se busca.

A continuación se muestran los resultados de aceptabilidad de dicha investigación.

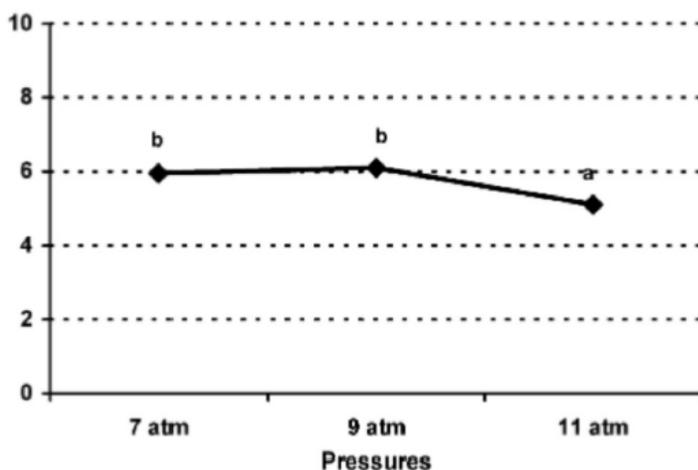


Figura 4: Resultados de aceptabilidad de la investigación. Obtenido del documento consultado. (Andueza y col., 2002)

Según las conclusiones de dicha investigación, los resultados presentan que, en general, las muestras de café expreso preparadas a 9 atm, son las que muestran mayor consistencia en la crema, junto con un alto porcentaje de olores clave relacionados a las notas buscadas comúnmente por el consumidor de café. Por ello se toma la decisión de que se buscará obtener un máximo de presión en la máquina de 9 bar.

Con lo ya mencionado podemos concluir que existe una importancia alta por la cual la presión es uno de los factores más esenciales en la realización de un café expreso. Desde la distribución correcta del agua hasta la presión correcta de la pastilla de café. La máquina debe ser manufacturada en torno a la presión necesaria para la extracción, en el caso de ser el resorte que genere la presión, manufacturar un resorte con la constante correcta para generar la fuerza necesaria para el diámetro del pistón, que genere la presión de extracción correcta. El hecho de que un resorte realice dicha función permite que cada una de las extracciones sea precisa.

4.4. Componentes de una máquina de expreso

Conociendo los requerimientos para la extracción del café, podemos definir los componentes de a máquina para cumplir con dichos requerimientos. En este caso, mencionaremos los componentes del tipo de máquina que se busca realizar, la cual es una máquina de expreso de pistón y palanca. Los componentes básicos de una máquina de expreso de pistón palanca son los siguientes:

- El grupo: en él se coloca el porta filtro para la extracción del café, está encargado de presurizar el agua a un máximo de 9 bar. Este está compuesto por el pistón, el cilindro, una ducha, un resorte, la palanca de compresión del resorte y la carcasa. En él entra el agua directamente desde la caldera para ser presurizada sobre el café. Se puede ver un ejemplo en la Figura 5

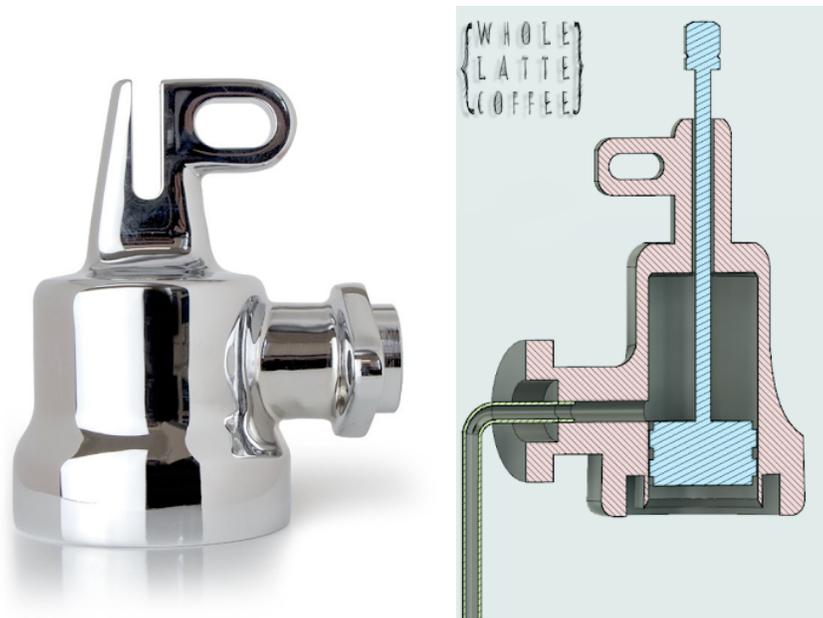


Figura 5: A la izquierda se encuentra el grupo de una máquina La Pavoni y a la derecha la forma en la que se compone el mismo, visto por el medio (Pavoni, 2015) (W. L. Coffee, 2017)

- Pistón: en este tipo de máquina se utilizará un sistema de pistón y resorte que estará

encargado de elevar la presión del agua a 9 bar. El agua tiene contacto directo con el pistón por lo que su material debe tener grado alimenticio. Este pistón cuenta con empaques para evitar fugas de agua y es empujado por un resorte que genera la fuerza sobre este. En la Figura 6 se puede notar el pistón conectado al resorte.

- Resorte: Este elemento es el encargado de empujar al pistón y elevar la presión del agua. En la Figura 6 se puede observar el pistón conectado al resorte.

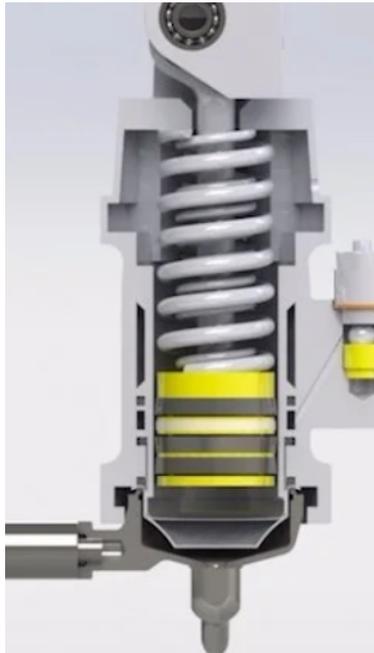


Figura 6: En la figura se puede ver el pistón de una máquina de espresso con un resorte (Pavoni, 2017)

- Cilindro: es la camisa que rodea el pistón. Incluye ranuras que permiten la entrada del agua al mismo, estas pueden variar dependiendo del diseño. En la Figura 7 se puede observar el cilindro, y en la Figura 6 se observa montado dentro del grupo.



Figura 7: En la figura se puede ver el pistón de una máquina de espresso (Parts, 2020)

- Ducha: Esta es la barrera que separa el interior del grupo con el café. A través de ella sale el agua dispersada y cae sobre el porta filtro para atravesar el café y generar la

extracción del expreso.



Figura 8: En la figura se encuentra un grupo con su respectiva ducha montada (Espresso, 2015)

- Palanca de compresión del resorte: Esta es la que utiliza el usuario para hacer la extracción, se puede considerar como el botón de generación del expreso. Se mueve hacia abajo para comprimir el resorte y sube automáticamente con el regreso del resorte.



Figura 9: En la figura se encuentra una palanca de compresión montada sobre una máquina de expreso llamada LaPavoni (Pavoni, 2015)

- La caldera: es el corazón de la máquina. Está encargada de la elevación de la temperatura del agua al dato que le sea brindado por el control PID. Se puede ver un ejemplo en la Figura 10. Es importante mencionar que en este proyecto no se realizará una caldera, pero es una parte vital que se debe considerar en una máquina de expreso.



Figura 10: Caldera de *La Pavoni Lever Espresso Machine*, máquina similar a la idea de este proyecto. (Pavoni, 2015)

4.4.1. Materiales con grado alimenticio

La idea de utilizar materiales de grado alimenticio en esta máquina de expreso es para evitar cualquier tipo de impurezas que puedan ser añadidas al agua que afecten tanto la salud del usuario como el sabor del café. Estas impurezas se presentan gracias a las composiciones de los materiales o sus características químicas o mecánicas. Un ejemplo claro puede ser la corrosión. Un material corroído, al estar en contacto con el agua la convierte directamente en un producto que no puede ser consumido ya que el consumo prolongado podría causar vómitos, náusea, dolores de cabeza y diarrea. (Reformas10, 2021) Este no es solamente un problema dado en este tipo de máquinas sino en la industria alimenticia en general, por ello existen distintos materiales que se pueden utilizar. Entre ellos están el aluminio y el acero inoxidable.

En el caso del aluminio, uno de los más accesibles y conocidos en Guatemala por su resistencia mecánica y su resistencia a la corrosión para este tipo de aplicaciones es el aluminio 6061. Una ventaja de este tipo de material es su costo y su accesibilidad en el país, por ello es un candidato para ser el material principal en este proyecto.

En el caso del acero inoxidable, uno de los grados más comunes es el grado 304. Es conocido como uno de los más comunes y versátiles para estas aplicaciones. Se conoce por su alta resistencia a la corrosión, sus altas características de soldadura y su acabado superficial.

Considerando que uno de los objetivos de este proyecto es fabricar una máquina con un costo inferior a \$800 (el equivalente a Q6,240), se utilizará el aluminio 6061 en su mayoría. Esto se debe a que su precio es de $Q0.51/cm^3$ contra $Q0.84/cm^3$ para el acero inoxidable 304, un 39.62% más económico.

Ya que para este proyecto no se aplican cargas excesivas y se busca tanto un costo bajo como un material de grado alimenticio, el candidato principal para este proyecto es el Aluminio 6061.

A continuación se muestran las propiedades del acero inoxidable 304.

Propiedades físicas y térmicas	Métricos	Unidades inglesas
Densidad	$8 \frac{g}{cm^3}$	$0.289 \frac{lb}{in^3}$
Calor específico	$0.5 \frac{J}{gK}$	$0.12 \frac{BTU}{lb^{\circ}F}$
Conductividad térmica	$16.2 \frac{W}{mK}$	$112 \frac{BTUin}{hft^2^{\circ}F}$
Coficiente de transferencia de calor	$75-125 \frac{W}{m^2K}$	-
Temperatura de punto de fusión	1400-1455 °C	2550-2650 °F

Cuadro 3: Propiedades físicas térmicas del acero inoxidable 304 (Matweb, 2020a)

A continuación se muestran las propiedades del aluminio 6061.

Propiedades físicas y térmicas	Métricos	Unidades inglesas
Densidad	$2.7 \frac{g}{cm^3}$	$0.0975 \frac{lb}{in^3}$
Calor específico	$0.896 \frac{J}{gK}$	$0.214 \frac{BTU}{lb^{\circ}F}$
Conductividad térmica	$167 \frac{W}{mK}$	$1160 \frac{BTUin}{hft^2^{\circ}F}$
Temperatura de punto de fusión	582-652 °C	1080-1205 °F

Cuadro 4: Propiedades físicas térmicas del aluminio 6061 (Matweb, 2020b)

4.4.2. Grupo de una máquina de expreso

El grupo, como se menciona en la Figura 5, es la pieza en la cual se coloca el porta filtro para la extracción del café. En él entra el agua a alta temperatura y está encargado de expulsar el agua presurizada al porta filtro donde, con una presión máxima de 9 bar, se realiza la extracción del expreso.

Tipos de grupos para máquinas de expreso

Existen dos diferentes tipos de grupos con sus respectivos mecanismos para la expulsión del agua presurizada.

1. Grupo con mecanismo de bomba: este sistema utiliza una bomba para extraer el agua caliente del espacio, ya sea una caldera o un recipiente con agua, y presurizarla a la presión necesaria. La presión puede variar desde 4 bares al empezar a hacer la extracción, hasta 16 bares al finalizar esta. (Haydon, 2019)



Figura 11: Máquina de expreso que utiliza grupo con mecanismo de bomba (Haydon, 2019)

2. Grupo con mecanismo de pistón y palanca: Entre este tipo de máquinas existen dos variables, las máquinas manuales y las máquinas de resorte. Para su manipulación es necesario utilizar fuerza física para el movimiento de la palanca. En las máquinas manuales se eleva la palanca para introducir el agua al cilindro, y se debe utilizar fuerza para bajarla y realizar la extracción del expreso. Por otro lado, en las máquinas de resorte, se utiliza fuerza para bajar la palanca y comprimir el resorte, lo cual permite la entrada de agua al cilindro, y la extensión del resorte genera la fuerza sobre el pistón que eleva la presión dentro del cilindro. (Haydon, 2019)

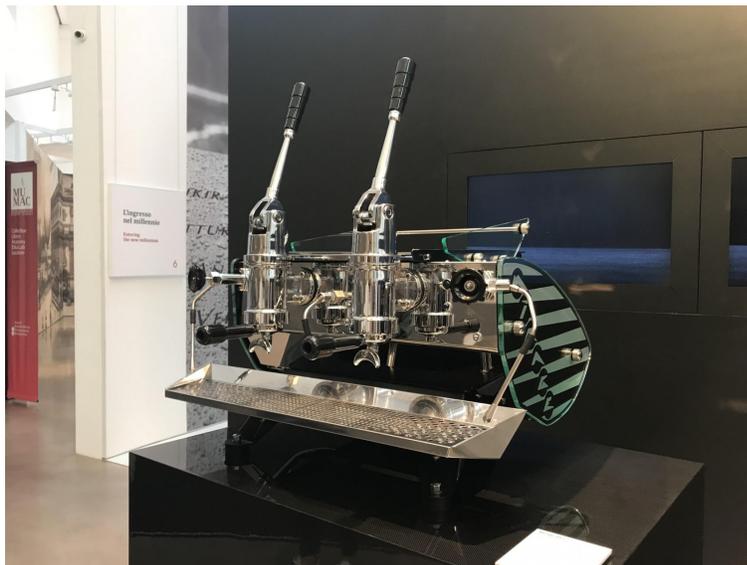


Figura 12: Máquina de expreso que utiliza grupo con mecanismo de palanca (Haydon, 2019)

5.1. Descripción de metodología

Se trabajó un proceso ordenado para lograr el objetivo general: fabricar una máquina para preparar café expreso. Partiendo de la fase de investigación, selección de requisitos, diseño y fabricación, hasta entrar en la fase de verificación, para corroborar el funcionamiento de la máquina.

Primero, se comenzó con la fase de investigación. Como parte de esta fase, se realizó una verificación de antecedentes. Se buscó encontrar diferentes tipos de máquinas utilizadas en el mercado, así como el funcionamiento de las calderas y el efecto de la temperatura y presión sobre la bebida final. También se realizó la investigación sobre materiales de calidad alimentaria que se pueden utilizar en máquinas para garantizar la salud de los consumidores y el sabor del café, de los cuales se eligieron aluminio 6061 principalmente, y de ser necesario se acudirá al acero inoxidable 304.

Después de esta fase de investigación, se definieron los requisitos necesarios para realizar el diseño. Se definió la temperatura a la que debe entrar el agua en contacto con el café. En el caso del grupo, se definieron la cantidad de agua que debe entrar al cilindro, así como el sistema palanca, resorte y pistón para elevar la presión dentro del cilindro.

Después de la fase de definición de requisitos, inició la etapa de diseño. En esta etapa se aplicaron los conocimientos adquiridos en la etapa de investigación y fueron combinados con los requisitos definidos anteriormente, en este caso se debe fabricar una máquina que pueda extraer la esencia del café. Se determinaron los componentes principales que lleva la máquina. Estos componentes deben distinguirse entre los componentes que se deben diseñar y fabricar y los componentes que se deben comprar. Se realizó un diseño CAD en *Autodesk Inventor*® para los componentes fabricados y su correspondiente ensamble para que puedan

ser visualizados en todo momento. Los componentes que se dibujaron en el programa CAD fueron analizados en el programa de simulación llamado “ANSYS Mechanical”, para verificar su funcionalidad.

Como penúltimo punto, se llegó a la fabricación de las piezas. Primero, se obtuvieron los materiales y componentes identificados, luego se comenzó con la fabricación del grupo y se terminó con el ensamble de todas las piezas sobre un chasis.

Y como último punto, entramos a la fase de prueba de la máquina. En esta etapa, se validó el funcionamiento y la realización de los objetivos del proyecto. Se validó el objetivo general, el cual menciona que se debe extraer 2 onzas de expreso.

5.2. Identificación de necesidades

Se buscó ayuda de profesionales que pudieran reforzar y darle un mayor potencial a esta idea de emprendimiento. Una de las personas más influyentes en Guatemala, cuando hablamos de café Expreso, es Félix Basir Dacaret. Él, en la carta al autor de su libro *De café y extracciones*, menciona que se autodefine como un apasionado del café, que se dedica a enseñar. (Basir Dacaret, 2020) Es un gran influyente en Guatemala con alumnos que compiten a nivel mundial en el arte del barismo. Se tuvo la oportunidad de tener una corta entrevista virtual con él, en la que se realizaron las siguientes tres preguntas:

- ¿Cuál es la necesidad que identifica que puede dar apoyo a esta idea emprendedora?
Guatemala es un país que tiene 125,000 productores de café y la mayoría de ellos nunca ha probado su café. Es un país donde el consumo de la bebida es aún pequeño, pero tiene un crecimiento del 3 por ciento anual, y representa más de 600 millones de dólares para el mercado, siendo la cantidad de cafeterías nuevas las que están impulsando este crecimiento y generando nuevas profesiones y trabajos. Uno de los retos más grandes, es la inversión inicial para poder abrir estas cafeterías por el alto costo de la máquina de expreso, que se ha convertido en una de las mayores limitantes para que el mercado siga creciendo a nivel nacional y no sólo se centre en la ciudad.
- ¿Qué importancia puede representar este proyecto en Guatemala?
El poder crear una máquina de café en Guatemala, genera empleo y oportunidades para muchas personas que quisieran iniciar su cafetería. El poder contar con una opción de calidad y a un precio accesible tendrá un impacto positivo en la economía del país, ya que podremos ver una mayor cantidad de cafeterías. Esto genera más ventas para los productores, más oportunidades de trabajo para los baristas y un incremento en el consumo de café.
- ¿Cómo esto puede ser escalable en el país?
La cantidad de cafeterías que se abren al año y marcas de café ha crecido mucho dentro de las conocidas 8 regiones cafetaleras, y uno de los principales problemas es la inversión de la máquina de expreso. Considero que tener una opción hecha en Guatemala, de mucha calidad, basado el funcionamiento en la ciencia de la extracción y con un costo menor impulsará la apertura de cafeterías en los departamentos o regiones productoras de café.

Con esta entrevista se puede ver que se identifica la necesidad de manufacturar esta máquina de café expreso. Esto puede ayudar a impulsar a la industria cafetalera en el país.

5.3. Definición de requisitos

A continuación, se presentan los requisitos del proyecto. Se tienen tres tipos: Funcionales, Operacionales y Limitantes.

Cuadro 5: Requisitos funcionales

Código	Requisito	Módulo
F01	En el grupo, se debe presurizar el agua a un valor entre 6 y 9 bar, por medio de un mecanismo de pistón y resorte.	Grupo
F02	La palanca del grupo debe elevar el pistón a una distancia de 30 mm.	Palanca
F03	El circuito del agua debe llevar sus respectivos sellos para evitar fugas.	Ensamble

Cuadro 6: Requisitos operacionales

Código	Requisito	Módulo
O01	La máquina no debe presentar problemas para la realización del mantenimiento, que se pueda abrir y remover sus piezas sin problemas.	Ensamble
O02	Se deben garantizar los empaques, soldaduras y roscas en la máquina, para asegurar el sellado y garantizar la seguridad del usuario.	Ensamble
O03	Al momento de colocar el porta filtro, debe haber un sello para que el agua pase de la ducha al mismo sin fugas.	Grupo
O04	La palanca que realiza el movimiento del pistón debe poder manipularla una persona sin problemas.	Palanca

Cuadro 7: Limitantes

Código	Limitante	Módulo
L01	Los materiales de la máquina en contacto con el agua y el café deben ser fabricados con material de grado alimenticio.	Ensamble
L02	Se debe fabricar con materia prima obtenida en Guatemala.	Ensamble
L03	La máquina debe poder desarmarla y limpiarla una sola persona.	Ensamble
L04	La máquina no debe pesar más de 50 libras.	Ensamble

5.4. Diseños preliminares

Luego de la investigación realizada, se toma la decisión de empezar con el diseño de la máquina. Las piezas principales a fabricar y sus componentes que se consideraron correctos para poder realizar la máquina son las siguientes.

- Grupo
 - Pistón, con su respectiva varilla.
 - Cilindro
 - Palanca
 - Pivote
 - Resorte
 - Ducha
 - Tapa de grupo
 - Cubierta de grupo

Las piezas que se deben conseguir externamente para evitar su manufactura que deben complementar la máquina son las siguientes.

- Porta filtro
- Empaques

Se procede a realizar el diseño en Autodesk Inventor®. Una herramienta brindada por la universidad para diseño, donde se pueden realizar ensambles y analizar los movimientos de la máquina.

A continuación, se presentan las piezas generales de la máquina. Empezando con el grupo, sus piezas y sus respectivos subensambles. Cabe mencionar que la tubería y los componentes pequeños no están incluidos en los respectivos dibujos.

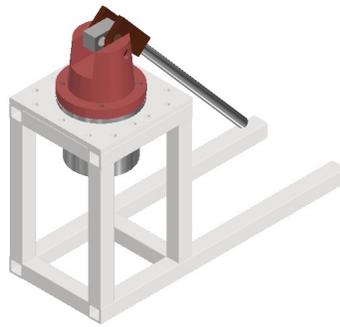


Figura 13: Máquina de expreso a fabricar.

Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

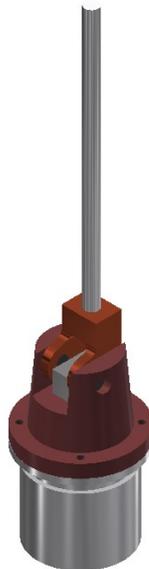


Figura 14: Grupo.

Capturas de pantalla de Autodesk reimpresas por cortesía de Autodesk, Inc.

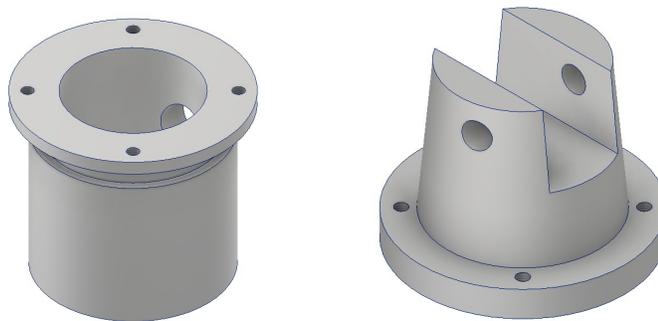


Figura 15: Tapa y cubierta de grupo.
Capturas de pantalla de Autodesk reimpresas por cortesía de Autodesk, Inc.

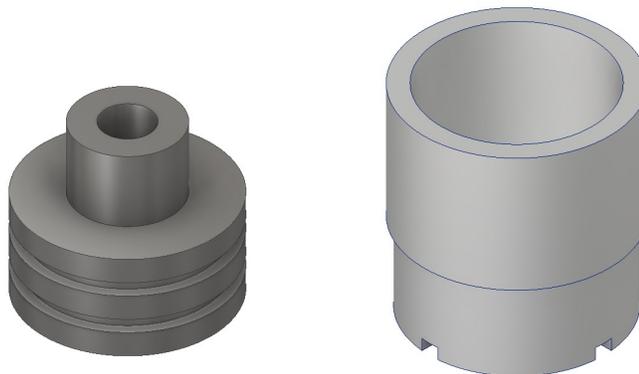


Figura 16: Pistón y cilindro
Captura de pantalla de Autodesk reimpresa por cortesía de Autodesk, Inc.

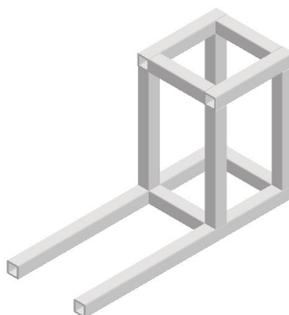


Figura 17: Chasis para montaje del grupo.
Captura de pantalla de Autodesk reimpresa por cortesía de Autodesk, Inc.

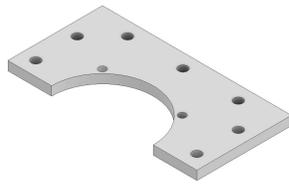


Figura 18: Placa para montaje de grupo en chasis
Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

5.5. Análisis de fuerzas influyentes

A continuación se muestran las imágenes de los análisis de fuerzas de las partes que están involucradas en la generación de la presión. Cabe recordar que la máquina va a ser movilizada por una persona, por lo que se verán las piezas donde esta fuerza afecta en la máquina.

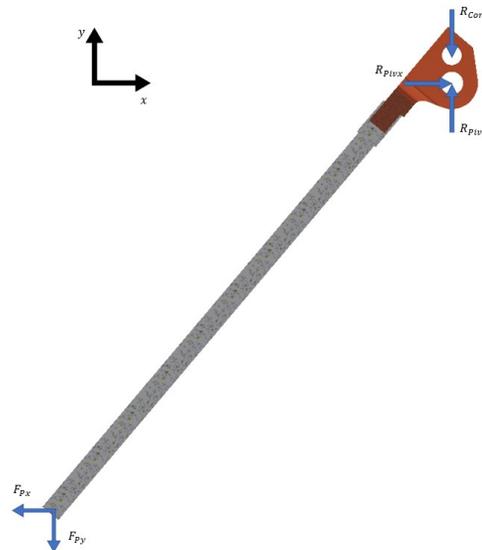


Figura 19: Diagrama de cuerpo libre de la palanca.
Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

En la Figura 19, se pueden observar las componentes de la fuerza que la persona aplica sobre la palanca, se ve reflejada en el pivote y el extremo derecho, que esta conectado a una corredera con un pin.

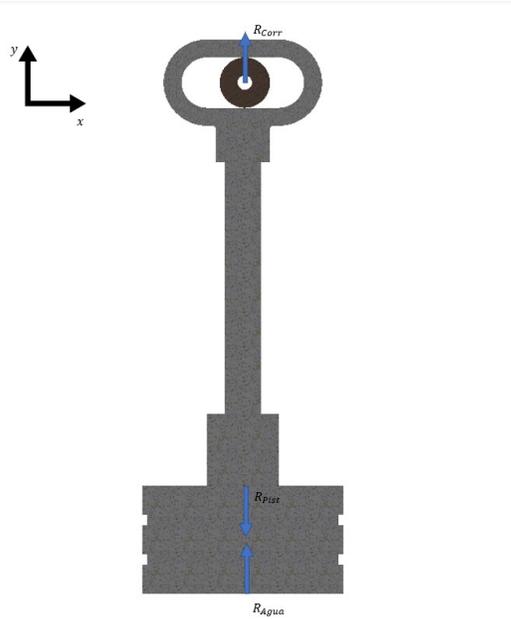


Figura 20: Diagrama de cuerpo libre del pistón.
 Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Se puede observar que con el pin se levanta el pistón, y este comprimirá un resorte, del cual se muestra el DCL a continuación.

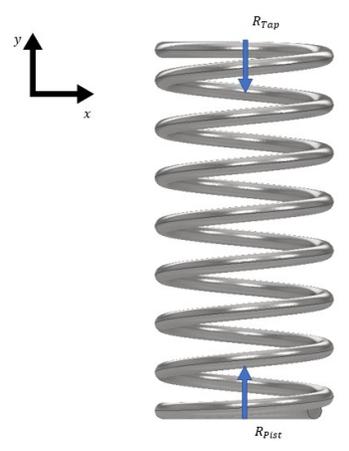


Figura 21: Diagrama de cuerpo libre del resorte.
 Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Al verse comprimido el resorte, tenemos la fuerza de reacción de la tapadera del grupo y la fuerza del pistón comprimiéndolo.

5.6. Configuración de análisis de elementos finitos

Para el análisis de elementos finitos se utilizó Ansys Workbench 2021 R1. Un programa de simulación que permite analizar los esfuerzos sobre las piezas críticas. Ya que el cilindro es sometido a presiones internas, se toma la decisión de simular las presiones en él y analizar el factor de seguridad que se tiene para saber si el material es el correcto o no. Los materiales que se consideraron para el proyecto son el acero inoxidable 304 y el aluminio 6061. A continuación, en las Figuras 22 y 23 se muestran los parámetros de la simulación a realizar. Los cuales se tomaron de los Cuadros 3 y 4.

Property	Value	Unit
Material Field Variables	Table	
Density	8	g cm ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
Coefficient of Thermal Expansion	1.73E-05	C ⁻¹
Isotropic Elasticity		
Derive from	Young's Modulus and Poi...	
Young's Modulus	193	GPa
Poisson's Ratio	0.29	
Bulk Modulus	1.5317E+11	Pa
Shear Modulus	7.4806E+10	Pa
Tensile Yield Strength	215	MPa
Tensile Ultimate Strength	505	MPa

Figura 22: Parámetros AISI 304 Ansys Workbench 2021 R1.

Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Property	Value	Unit
Material Field Variables	Table	
Density	2.7	g cm ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
Coefficient of Thermal Expansion	2.52E-05	C ⁻¹
Melting Temperature	582	C
Isotropic Elasticity		
Derive from	Young's Modulus and P...	
Young's Modulus	68.9	GPa
Poisson's Ratio	0.33	
Bulk Modulus	6.7549E+10	Pa
Shear Modulus	2.5902E+10	Pa
Tensile Yield Strength	276	MPa
Tensile Ultimate Strength	310	MPa

Figura 23: Parámetros del aluminio 6061 Ansys Workbench 2021 R1.

Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

En el caso de ambos materiales, los datos fueron obtenidos de MatWeb. Una plataforma con una base de datos de materiales de ingeniería, donde están incluidos el AISI 304 y el Aluminio 6061. (Matweb, 2020a)

Luego de colocar los datos de los materiales, se realiza el análisis estático estructural. Se toma la decisión de analizar los dos puntos críticos de las piezas que se someten a mayor grado de riesgo. El cilindro a 96°C y 9 bar y la palanca en su punto más crítico, con la fuerza máxima del resorte y la fuerza de la persona siendo aproximadamente 86 newtons. Cabe mencionar que los 9 bar de presión no están en un sistema cerrado, esta presión es generada por la fuerza del resorte para empujar el agua a través del café. Pero se simulará la presión como si estuviera almacenada en un espacio cerrado para asegurar la resistencia de los materiales.

Para el cilindro, se realizó un mallado con tamaño por elemento (*sizing*) de 2 mm en toda la pieza, siendo este un método automático de mallado.

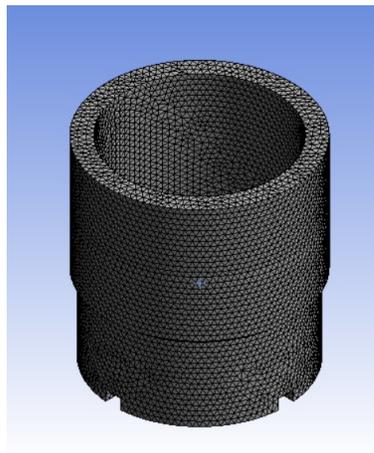


Figura 24: Mallado del cilindro.

Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

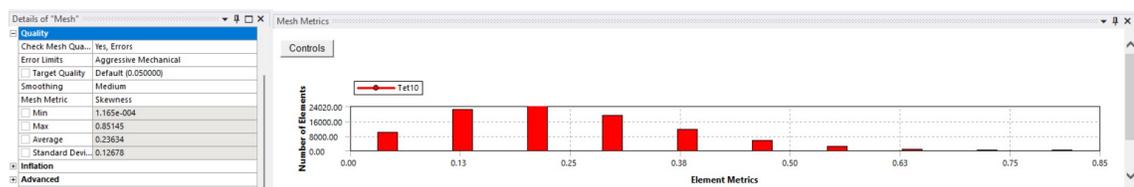


Figura 25: Parámetros de mallado para el cilindro.

Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Como se puede observar en la esquina inferior izquierda de la Figura 25, se tiene una calidad del mallado de 0.24, lo cual nos permite hacer una simulación con mayor seguridad de los datos

A continuación se muestran los parámetros estructurales colocados.

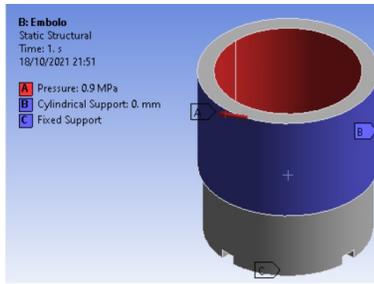


Figura 26: Parámetros estructurales para el cilindro
 Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Se puede observar que se colocó como punto fijo la parte inferior del mismo, que es donde estará apoyado el cilindro. Se busca obtener la deformación total, los esfuerzos de Von Mises y el factor de seguridad. De igual forma se colocó un soporte cilíndrico, que demuestra que este estará dentro de otra pieza. Y como punto final, la presión interna, que es de 9 bar, recordando que esta no se encontrará dentro de un sistema cerrado. Como parámetro de temperatura tenemos puesta la temperatura del objeto a 96 °C.

A continuación se presentan los datos de la palanca junto con el pivote. De igual forma se presentan el mallado y su calidad.

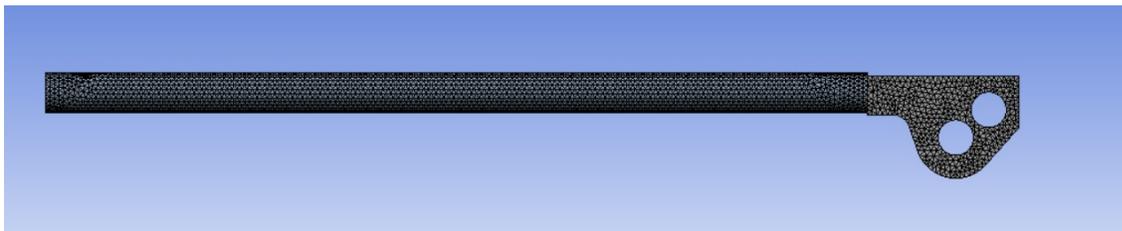


Figura 27: Mallado de la palanca y el pivote
 Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

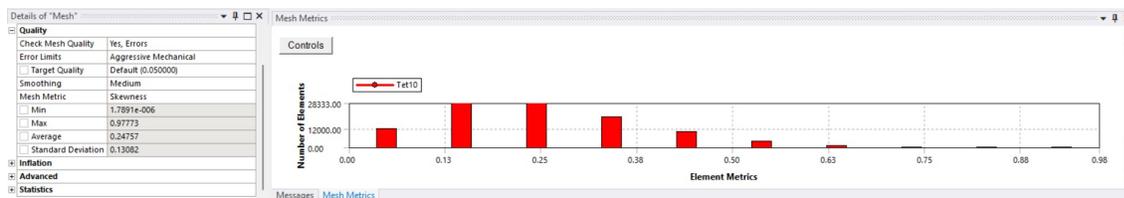


Figura 28: Parámetros de mallado para la palanca y el pivote.
 Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Como se puede observar en la esquina inferior izquierda de la Figura 28, se tiene una calidad del mallado de 0.25, lo cual nos permite hacer una simulación con menos porcentaje de incertidumbre.

A continuación se muestran los parámetros estructurales colocados en la palanca.

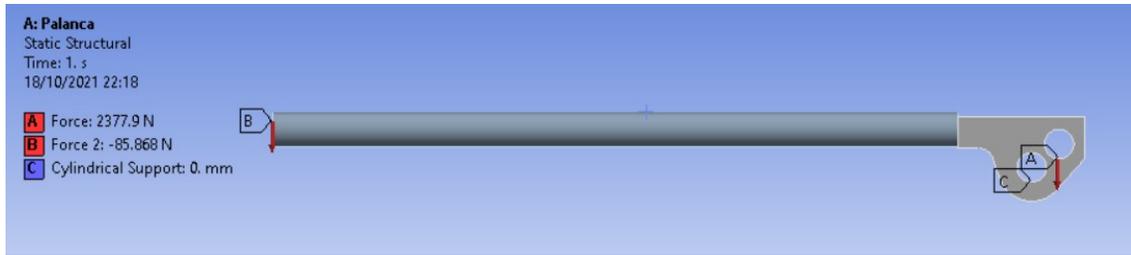


Figura 29: Parámetros estructurales para la palanca.

Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Como se ve en la Figura 29, el punto fijo es un soporte cilíndrico en el pivote de la palanca, para asegurar que no está en movimiento. Se está tomando el punto más crítico. Se colocó la fuerza máxima que puede ejercer el resorte dimensionado y se colocó la fuerza equivalente que la persona necesita para poder elevarlo.

6.1. Cálculos del resorte

La forma en la que se buscará incrementar la presión para la extracción correcta del expreso es por medio de un grupo de mecanismo de palanca, el cual utiliza un pistón y un resorte. Para ello, es necesario saber la constante del resorte que se busca utilizar, la cual generará la fuerza necesaria para la extracción. Con esta constante se puede saber cuál es el material así como el calibre que se necesita para manufacturar dicho resorte. A continuación se muestran las ecuaciones a utilizar para el cálculo de la resistencia del resorte.

$$F = kx \tag{1}$$

Donde k representa la constante del resorte, y x representa la compresión de este.

$$P = \frac{F}{A} \tag{2}$$

Donde P representa la presión generada, F la fuerza y A representa el área del pistón.

$$P = \frac{kx}{A} \tag{3}$$

Sabiendo la ecuación del área de un círculo, podemos obtener la ecuación para obtener la constante del resorte y la presión que obtenemos con dicha constante.

$$P = \frac{4kx}{\pi D^2} \quad (4)$$

$$k = \frac{P\pi D^2}{4x} \quad (5)$$

Ya que la presión que se está buscando es de 9 bar, hacemos la conversión a pascales.

$$P = 9bar * \frac{10^5 Pa}{1bar} = 9 * 10^5 Pa$$

Un dato común en las máquinas de expreso es el diámetro de 58 mm en el porta filtro, por lo que tenemos en el cilindro un diámetro de 58 mm.

$$D = 58mm = 0.058m$$

Se busca que con una compresión de 30 mm en el resorte logre generar la fuerza para elevar la presión, por lo que con eso podemos obtener la constante del resorte necesaria.

$$k = \frac{\pi * 9 * 10^5 \frac{N}{m^2} * (0.058m)^2}{4 * 30mm * \frac{1m}{1000mm}}$$

Por lo que tenemos el resultado a continuación.

$$k = 79,262.38 \frac{N}{m}$$

Y con eso utilizando la ecuación de $F = kx$ obtenemos lo siguiente.

$$F = 79,262.38 \frac{N}{m} * 30mm * \frac{1m}{1000mm}$$

$$F = 2377.87N = 2.38kN$$

Utilizando el simulador en línea "Muellestock" se trabajó el diseño del resorte, utilizando como parámetros de entrada la fuerza de 2.38 kN, un diámetro exterior de 57 mm, una longitud libre de 80 mm y el material: acero inox 304.

A continuación, en la Figura 30 se muestra un recorte de pantallas de los parámetros de la simulación.

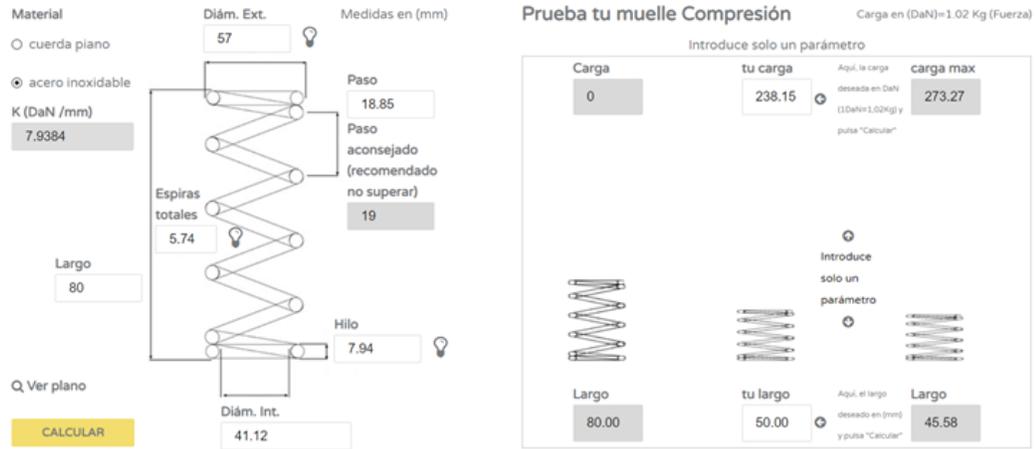


Figura 30: Resorte a fabricar

Para un resorte con un calibre de 5/16 de acero inoxidable 304 y con una fuerza de 2.38 kN se tienen los siguientes resultados:

- Paso de 18.85 mm
- 5.74 espiras totales
- Constante de resorte de 7.938 N/m

Se cotizó su fabricación en la Industria Nacional del Resorte, por un costo total de Q200.00

Se puede observar en la Figura 30 que si se coloca una longitud de 50 mm, es decir comprimiéndolo los 30 mm que se tiene pensado, la carga es de 238.15 daN, lo cual es 2.38 kN. Aproximadamente la misma carga que fue calculada previamente.

Resultados preliminares

A continuación se muestran los resultados de los los análisis de elementos finitos, impresión 3D y manufactura.

7.1. Análisis de elementos finitos

7.1.1. Análisis del cilindro

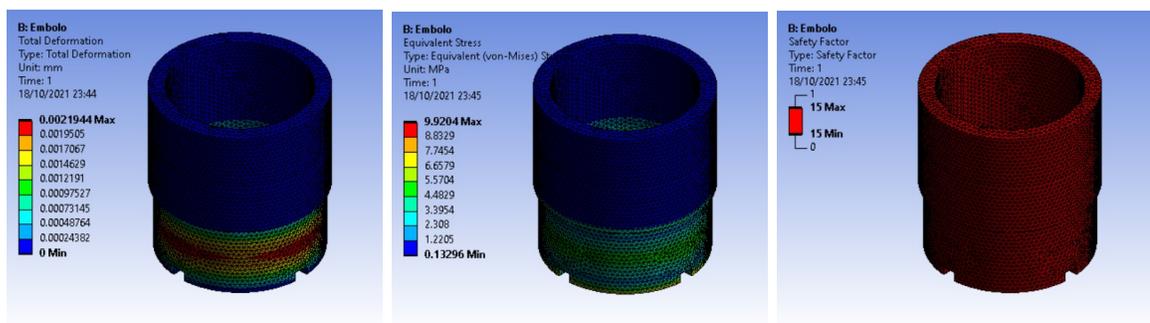


Figura 31: Resultados de esfuerzos de la deformación total, los esfuerzos de Von Mises y el factor de seguridad del cilindro.

Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Cuadro 8: Resultados de simulación en ANSYS del cilindro

Métrica	Mínimo	Máximo
Deformación total	0mm	0.0022mm
Esfuerzos de Von Mises	0.1330MPa	9.920MPa
Factor de Seguridad	15	15

Se puede observar que con el aluminio 6061, a una presión máxima de 9 bar, se tiene un factor de seguridad de 15. Se puede considerar como sobredimensionado, mas por cuestiones de diseño y precio se decide manufacturar con aluminio 6061.

7.1.2. Análisis de la palanca

Los resultados del análisis de la palanca se muestra en la Figura 32.

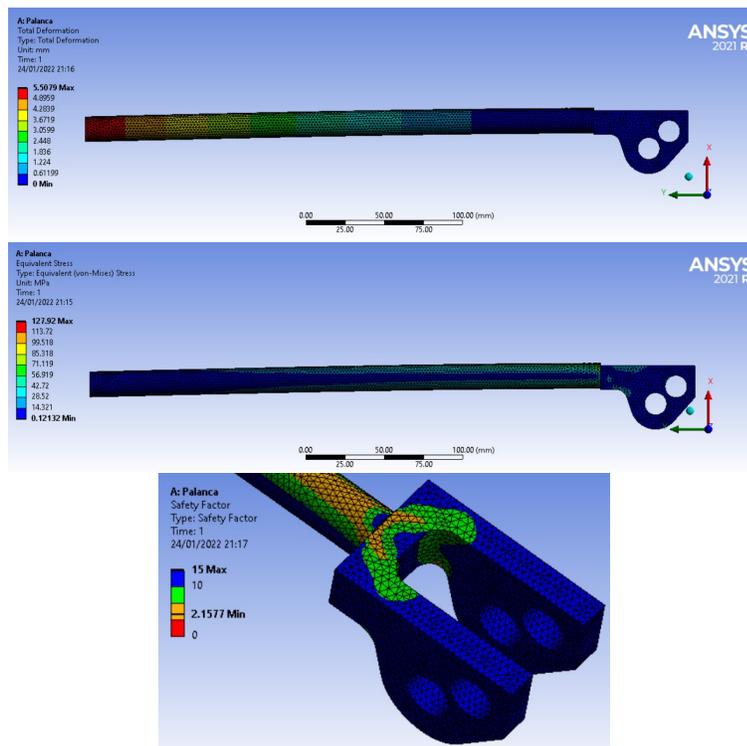


Figura 32: Resultados de la deformación total, los esfuerzos de Von Mises y el factor de seguridad de la palanca.

Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Cuadro 9: Resultados de simulación en ANSYS de la palanca

Métrica	Mínimo	Máximo
Deformación total	0mm	5.508mm
Esfuerzos de Von Mises	0.12132MPa	127.92MPa
Factor de seguridad	2.1577	15

Se puede observar que la deformación máxima de la palanca es de 5.5 mm en el extremo libre donde se aplica la fuerza para deformar el resorte. Asimismo, el esfuerzo máximo es de 127.91 MPa y el factor de seguridad más pequeño es de 2.1577, lo cual nos confirma que el material utilizado, en este caso el aluminio 6061, tiene las propiedades mecánicas suficientes para soportar las cargas.

7.2. Piezas en bruto

En el caso del resorte, ya que este se encuentra en contacto con el pistón, el cual tiene contacto directo con el agua, se decidió hacer su manufactura en acero inoxidable 304. En el caso del resto de materiales, aluminio 6061 es la opción que se consideró. Algo que le dio más poder a la toma de decisión del aluminio 6061 fue que este en la industria lo consideran como un sustituto más económico al acero inoxidable 304. Esto por ser de grado alimenticio, alta resistencia a la corrosión y alta resistencia mecánica. Las primeras piezas a manufacturar son la tapa de grupo, la cubierta de grupo, el cilindro y el resorte. A continuación se muestran piezas del material que se utilizará para la manufactura de las primeras piezas.



Figura 33: Cilindro de aluminio 6061 para la manufactura del grupo y guía del porta filtro.
Las dimensiones de este son 127 mm de diámetro y 254 mm de longitud

En la Figura 33 se muestra el material que nos servirá para la tapa y la cubierta del grupo, el sobrante será utilizado para la guía del porta filtro.



Figura 34: Cilindro de aluminio 6061 para la manufactura del cilindro
Las dimensiones de este son 73.2 mm de diámetro y 82.55 mm de longitud

Los materiales fueron escogidos por dos razones específicas. Tanto el costo de cada material, las propiedades mecánicas y la facilidad de obtención del material en el país.



Figura 35: Material de manufactura del chasis

En el caso del chasis, como se muestra en la Figura 35, se utilizará perfil cuadrado de hierro negro de una pulgada, chapa 14 (2 mm de espesor). Para el chasis, se realizó la manufactura por medio de un herrero.

7.3. Proceso de manufactura

7.3.1. Impresión de piezas en 3D

Para el proceso de manufactura, se decidió iniciar con una impresión en 3D de las piezas principales del grupo para realizar el ensamble, detectar problemas y oportunidades de mejora. Luego de la extracción de los archivos en formato STL, se imprimen las piezas en una impresora 3D modelo “*Ultimaker*” de la Universidad del Valle. El material de impresión fue PLA, con un porcentaje de relleno del 80 %, una altura de capa de 0.2 mm y un espesor de pared de 2 mm. Los resultados se muestran a continuación.



Figura 36: Cubierta del grupo



Figura 37: Tapa del grupo



Figura 38: Cilindro



Figura 39: Pistón



Figura 40: Pivote de palanca



Figura 41: Guía de porta filtro

Luego de analizar la impresión en 3D de cada una de las piezas, se decidió que se haría más grande el diámetro de las piezas de la guía de porta filtro, tapa y cubierta de grupo para dejar una superficie completamente circular y permitir que sea realizada mayormente en el torno de la Universidad del Valle.

7.3.2. Manufactura de piezas en aluminio

Manufactura de tapa y cubierta del grupo

La primera pieza que se decidió manufacturar, fue la tapa del grupo. La pieza en bruto antes de manufacturar contaba con un diámetro de 127 mm y una longitud de 254 mm.



Figura 42: Stock para manufactura del grupo

Se consideró que, como la pieza se realizaría en el torno CNC marca “Haas” de la Universidad del Valle, debía dejarse sobredimensionado para poder apoyarlo en las mordazas de dicho torno. Por ello se realizó un corte para obtener un cilindro de 110 mm de alto; considerando que la pieza tiene una altura final de 90 mm, se tiene un excedente de 20 mm para trabajar la sujeción de la pieza. Luego de eso se procedió al siguiente proceso de manufactura:

PROCESO DE MANUFACTURA DE TAPA DE GRUPO

1. Montaje en el torno de la Universidad del Valle.
2. Refrentado. Se realizó en el extremo de la pieza para dejar la superficie completamente plana luego del corte realizado con la sierra.
3. Cilindrado. Se realizó para disminuir el diámetro a las dimensiones del plano en los anexos.



Figura 43: Refrentado y cilindrado de la tapa de grupo

4. Se rotó la pieza para trabajar el otro extremo.



Figura 44: Resultado del refrentado y cilindrado de la tapa de grupo

5. Refrentado. Se realizó para dejar plana la superficie trasera.
6. Cilindrado. Se realizó para disminuir el diámetro externo al diámetro final.

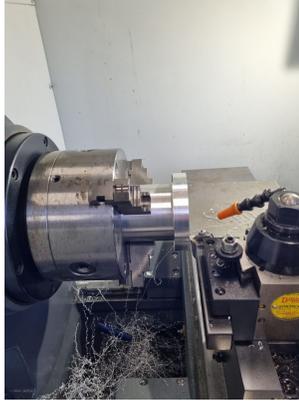


Figura 45: Maquinado trasero tapa de grupo

7. Taladrado, para permitir el ingreso del buril para la siguiente operación interna.
8. Mandrinado. Cilindrado interno que se realizó para el agujero interno de 58 mm. Donde iría colocado el resorte.
9. Se rotó la pieza a la posición original, para realizar la siguiente operación.
10. Torneado cónico. Se realizó la conicidad de la pieza.

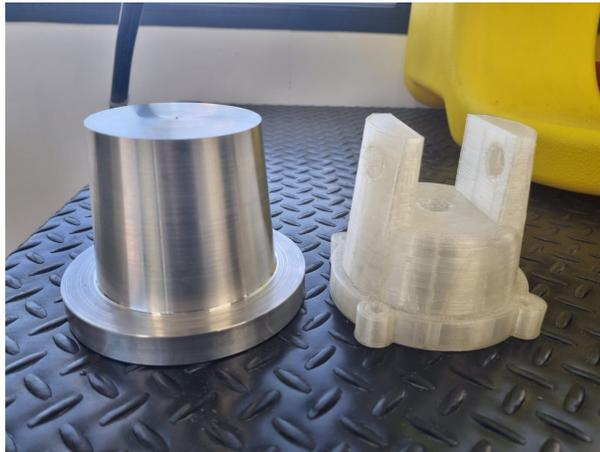


Figura 46: Resultado de maquinado de conicidad para el grupo

11. Se desmontó del torno y se colocó en un “Chuck” de mesa en la fresadora convencional de la Universidad del Valle.
12. Desbaste superior. Se realizó donde se colocará el pivote de la palanca.



Figura 47: Desbaste superior

13. Perforación de agujeros.



Figura 48: Perforación de agujeros

En la Figura 49 se muestra el resultado parcial de la tapa de grupo. Cabe mencionar que aún falta la realización de un agujero, donde ira colocado el pivote de la máquina.



Figura 49: Avance de tapa de grupo

La segunda pieza a manufacturar fue la cubierta del grupo. Esta salió de la pieza restante del cilindro utilizado para el grupo, el cual mide 144 mm de longitud.

PROCESO DE MANUFACTURA DE CUBIERTA DE GRUPO

1. Montaje en el torno de la Universidad del Valle.
2. Refrentado. Se realizó en el extremo de la pieza para dejar la superficie completamente plana luego del corte realizado con la sierra.
3. Cilindrado. Se realizó para disminuir el diámetro a las dimensiones del plano en los anexos. Se realizó un cilindrado más pequeño en el borde de la pieza.
4. Mandrinado. Cilindrado interno que se realizó para el agujero interno de 96 mm. Donde iría colocada la guía del porta filtro.
5. Se rotó la pieza para trabajar el otro extremo.
6. Refrentado. Se realizó para dejar plana la superficie trasera y a la dimensión requerida.
7. Cilindrado. Se realizó para dejar la pieza en el diámetro final.

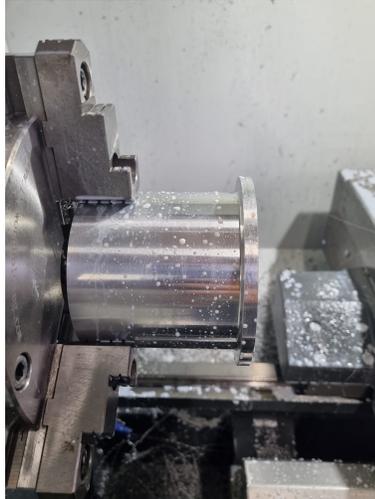


Figura 50: Cilindrado de cubierta de grupo.

8. Taladrado, para permitir el ingreso del buril para la siguiente operación interna.
9. Mandrinado. Cilindrado interno que se realizó para el agujero interno de 71 mm y 77 mm de profundidad. Donde iría colocado el cilindro.

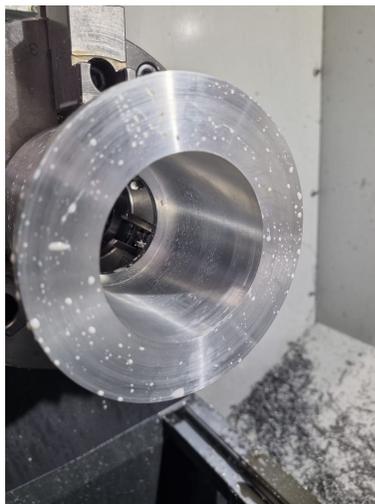


Figura 51: Mandrinado de cubierta de grupo

10. Se desmontó del torno y se colocó en un “chuck” de mesa en la fresadora convencional de la Universidad del Valle.



Figura 52: Montaje en “chuck”

11. Perforación de agujeros.



Figura 53: Perforación de agujeros

Manufactura del cilindro

Luego de esta pieza, se tenían las dos piezas exteriores del grupo realizadas. Con ellas se procedió a maquinar las piezas del interior del grupo. Empezando con el cilindro, el cual se puede ver impreso en 3D en la Figura 38

Cabe recalcar que para la manufactura, tanto de las piezas ya mencionadas como de las siguientes, fueron tomadas tolerancias H8 y h9 para agujeros e insertos respectivamente.

Esto se debe a que varias de las piezas debían cazar con otras de una forma donde hubiera ajuste suficiente para un deslizamiento suave. En este caso la cubierta del grupo se realizó con la tolerancia H8 y el cilindro se realizó con la tolerancia h9.



Figura 54: Fabricación del cilindro para el grupo

Finalmente, para sellar el espacio entre la entrada de agua y el cilindro, se decidió realizar una ranura, en la cual se colocaría un “O-ring”. Este es de un material llamado vitón, el cual es de grado alimenticio y tiene alta resistencia al desgaste y a las temperaturas elevadas, con un máximo de 200°C según el distribuidor.



Figura 55: Cilindro con empaques instalados

Manufactura de la ducha

Se procedió a la fabricación de la ducha que, al igual que el cilindro, debía tener una tolerancia h9 con la misma medida, ya que esta se colocaba por debajo del mismo dentro de la cubierta de grupo.

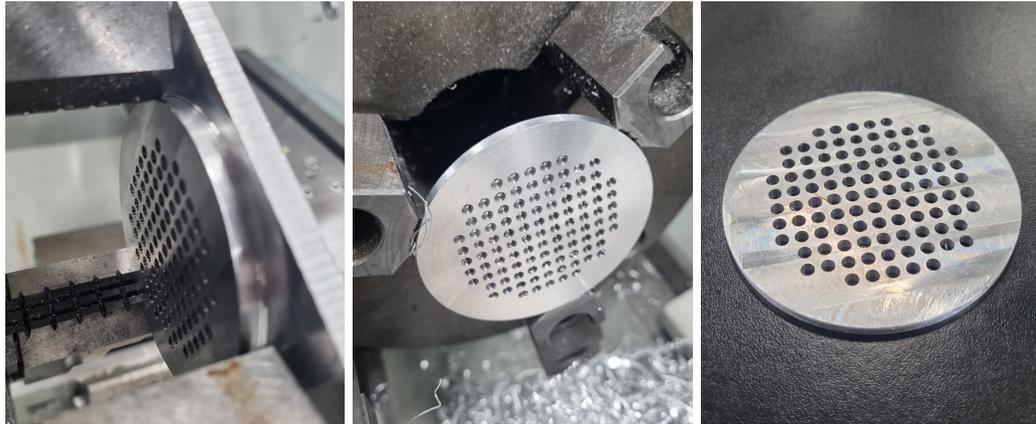


Figura 56: Fabricación de ducha para el grupo

Como se puede observar en la Figura 56, esta fue primero fabricada en la fresadora CNC marca “Haas” de la Universidad del Valle. El material en bruto era una pieza cuadrada, la cual tenía las dimensiones de 82 mm y 6.5 mm de espesor. Luego del desbaste en la fresadora, se sujetó en las mordazas del torno y se hizo un careado para dejarla completamente circular. La CNC tiene la capacidad de darle la tolerancia h9 a la pieza, por lo que no hubo algún problema al insertarla dentro de la cubierta del grupo, como se puede observar en la Figura 57

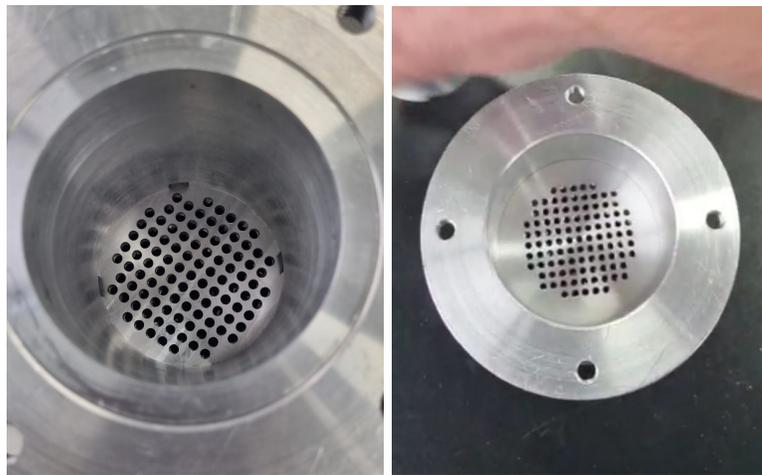


Figura 57: Ducha insertada dentro de la cubierta de grupo

Manufactura del resorte

Mientras estas últimas dos piezas estaban en proceso de manufactura, se fabricó el resorte con el proveedor. Este se decidió hacer externamente ya que no se tienen en el laboratorio los instrumentos necesarios para poder manufacturarlo correctamente. Como se puede observar en la Figura 30, fue realizado con dichas especificaciones en la Industria Nacional del Resorte. El resultado se puede mostrar en la Figura 58

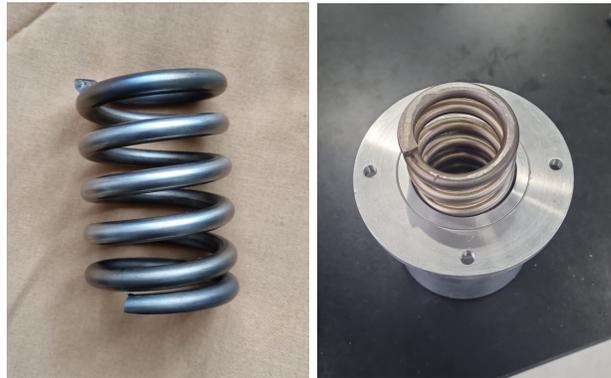


Figura 58: Resorte manufacturado en Industria Nacional del Resorte

Manufactura del pistón

Para el pistón, se tenía originalmente una pieza cilíndrica de 60 mm de diámetro y 60 mm de altura. Esta fue una pieza sencilla de manufacturar, se estaba buscando un diámetro final de 58 mm con una tolerancia h9, por ser un inserto que debe deslizarse correctamente dentro del cilindro, sin necesidad de un lubricante para el mismo. El primer paso fue llevarlo al torno para reducirle tanto el diámetro para introducir la varilla, como el diámetro con la tolerancia h9 de 58 mm, tal y como se muestra en la Figura 59. La primera operación fue un careado y luego un cilindrado para ambos diámetros, el diámetro mayor salió de esta operación con su tolerancia respectiva.

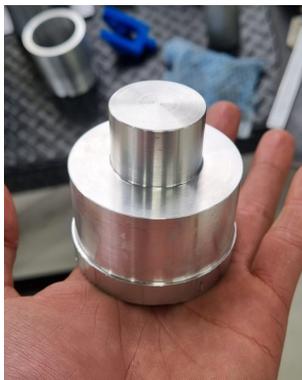


Figura 59: Pistón luego de cilindrado de ambos diámetros

Posteriormente, se dio la vuelta al pistón y se hizo un careado, en el cual se removió el

excedente de material, se dejó la altura final y se hicieron las ranuras para la colocación de los “*O-rings*”, que son los que aportan al sellado para evitar fugas en la extracción del café. Estos también son de vitón, al igual que el cilindro. Luego de las ranuras, fue realizada la cavidad con su respectiva rosca para la varilla que une al pistón con el pivote. La rosca utilizada fue una rosca M12 ordinaria. Y finalmente, se colocaron los “*O-rings*” en sus respectivas ranuras. Dichos “*O-rings*” contaban con un diámetro exterior de 55 mm y un calibre de 4.5 mm. Cabe mencionar que al momento de colocarlos estos se estiran, por lo que se debían ser más pequeños que las dimensiones de las ranuras del pistón. Los mismos fueron recomendados por el proveedor para su función y ajuste.



Figura 60: Pistón versión final

Manufactura del pivote de palanca

Como siguiente punto, se fabricó el pivote de palanca. Una de las incógnitas era la decisión del material a utilizar. Ya que este era el pivote, llevaría distintas cargas que podían llegar a deformarlo de manera en que no se pudiera trabajar con ciertos materiales. Pero como se puede mostrar en los resultados de la Figura 32, según el análisis de elementos finitos del pivote, el aluminio 6061 pudo ser seleccionado como material de fabricación. Uno de los puntos más importantes de este pivote son las dos perforaciones de 14 milímetros las mismas se pueden observar en la Figura 61.

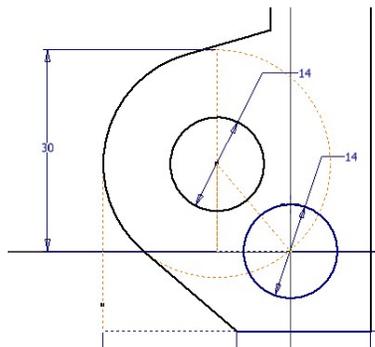


Figura 61: Agujeros del pivote

Este pivote, por medio de esas perforaciones, define la altura a la que se moverá el pistón. Como se puede observar, el agujero izquierdo es el punto de pivote, el agujero derecho es donde irá el pin para levantar el pistón. Al girar sobre el pivote, la altura máxima está definida por la distancia de la posición inicial del pin, al punto máximo de altura que puede girar. Como se ve en la Figura 61, esta altura es de 30 mm. Eso define la compresión que tendrá el resorte, los 30 mm que se toman en consideración para el cálculo de la constante del mismo.

Ya que este pivote tenía dichas medidas y dicho diseño específico, la mejor opción de manufactura era utilizando la fresadora CNC de la Universidad del Valle. El montaje puede observarse en la Figura 62, así como el resultado del mismo.

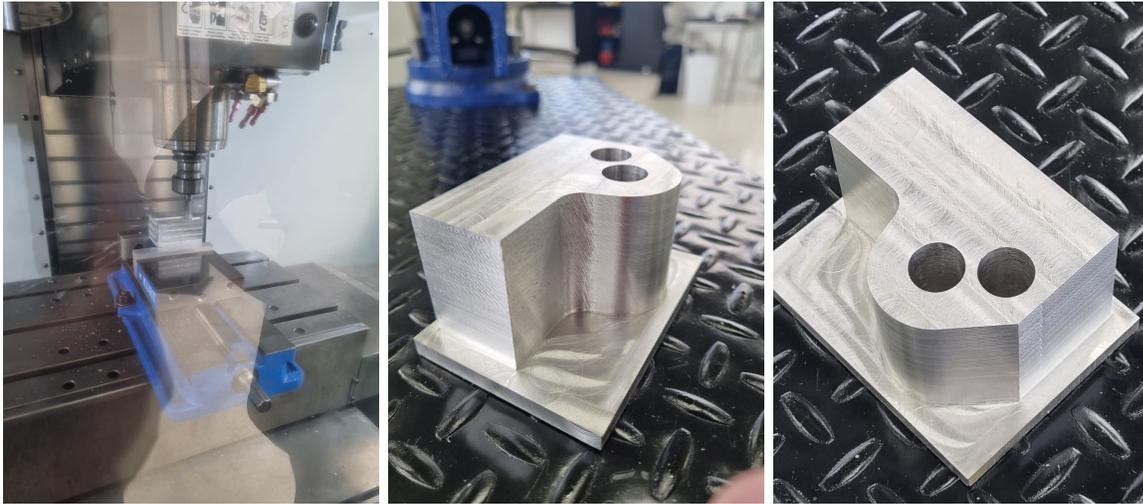


Figura 62: Montaje de pivote en CNC

Con ello tenemos el resultado siguiente, luego del desbaste interior y los acabados finales. Las dimensiones en esta pieza son importantes ya que con ellas se definen la medida de compresión del resorte y con ello la presión de extracción del café.

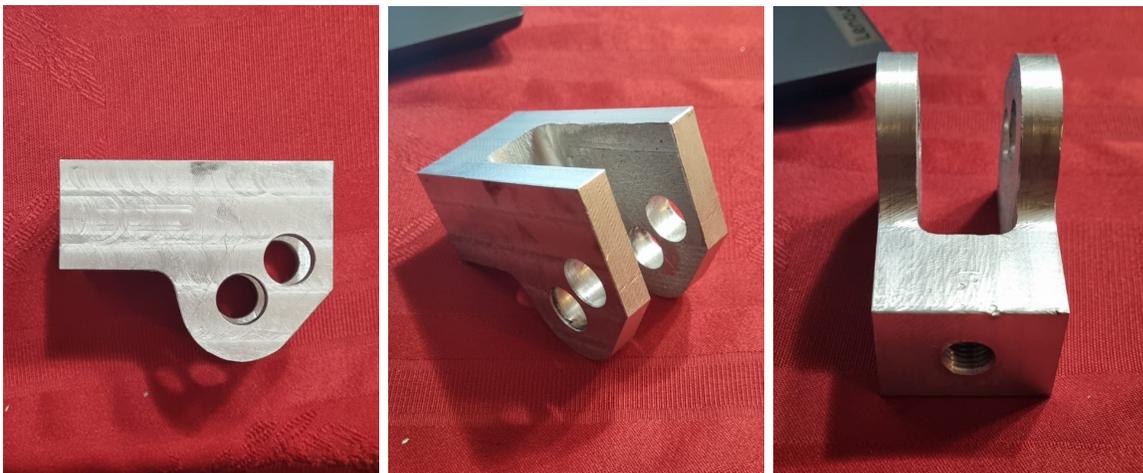


Figura 63: Pivote versión final

Manufactura de guía de porta filtro

La siguiente pieza a fabricar, y una de las más importantes, es la guía del porta filtro. Esta pieza es la encargada de la sujeción del porta filtro junto con el cilindro. Debe ir con un sello para evitar fugas. Esta se puede ver impresa en 3D en la Figura 41.

Ya que esta pieza tiene rampas para acomodar el porta filtro, su manufactura debe ser realizada en una fresadora CNC, y por ser cilíndrica debe estar montada en un *chuck* para fresadora. Luego de ser maquinada en la CNC, esta debe ser montada en el torno para el último careado de la misma. En la figura a continuación se puede ver el montaje de la pieza tanto en la CNC como en el torno.

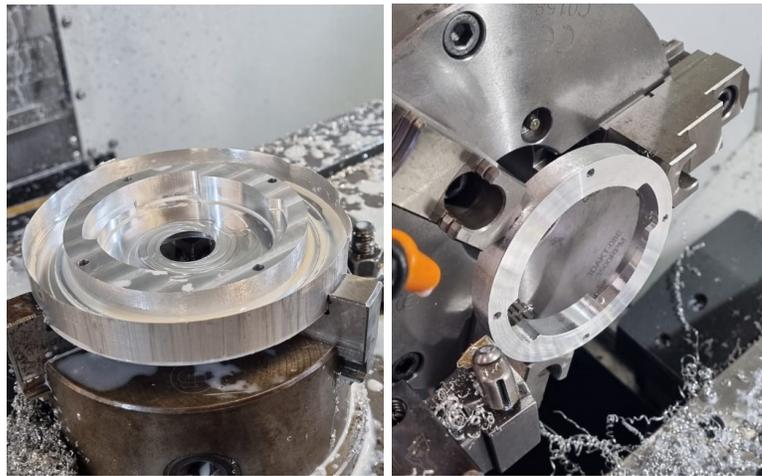


Figura 64: Montaje de guía de porta filtro para CNC y torno.

A continuación, en la Figura 65 se puede observar el resultado final de la guía del porta filtro. Se puede ver tanto la pieza como con el porta filtro que se consiguió para utilizar en la máquina, y la misma pieza montada en la cubierta del grupo con su empaque, del cual se hablará más adelante.



Figura 65: Resultado final de guía de porta filtro.

Manufactura del empaque

Ya que esta máquina es diseñada y manufacturada a las necesidades previstas, no se pueden encontrar empaques en el mercado que le ajusten a la ranura colocada. Al solicitar una cotización para el empaque de grado alimenticio, el costo de este era de Q350.00. Un costo alto que no se tenía presupuestado para la manufactura, por ello se decidió manufacturar el empaque. Se inició con un molde, el cual se llenaría con silicona de grado alimenticio para que al secarse se pudiera insertar en la ranura establecida para el mismo sin algún problema. Esta silicona, la cual se muestra en la Figura 66, tuvo un costo de Q65.00. Este molde fue impreso en 3D en las impresoras “Ultimaker” de la Universidad del Valle y se llenó con silicona de grado alimenticio. Hubo que esperar a que este curara completamente por 48 horas para que la silicona estuviese completamente seca y pudiera removerse del molde sin ningún problema.



Figura 66: Silicona que se utilizó para el empaque.

En la Figura 67 se muestran los resultados del molde y del empaque finalizado.



Figura 67: Resultado final del empaque del grupo.

Luego de extraer el empaque del molde, se probó el mismo dentro de la máquina y casó perfectamente en la ranura preestablecida. Es importante recalcar que al ser silicona, el empaque es maleable y elástico, por lo que al hacer un mayor apriete, se restringía más el movimiento del porta filtro, por lo que casó perfectamente con la máquina. Otro punto importante es que la silicona debía aguantar altas temperaturas, por lo que la selección de la misma era importante. La silicona seleccionada tiene resistencia térmica de hasta 200°C.

Manufactura de chasis

Como parte de la manufactura estipulada, es necesario un soporte que mantenga en su lugar al grupo. Este soporte no es necesario que sea de grado alimenticio ya que el mismo no tendrá contacto alguno con la elaboración de la bebida final. Este se necesita para poder mantener el grupo sin movimiento y permitir la manipulación de la palanca. Ya que esta es una de las piezas finales, se decidió manufacturar fuera de la Universidad. Con esa decisión tomada se contactó a un herrero, con referencias previas, que trabajara con perfiles de hierro. A él se le mandó el plano de la pieza mostrada en la Figura 17 y la misma fue entregada en 4 días hábiles. A continuación en la Figura 68 se muestra la documentación tomada por el herrero en la manufactura del chasis.



Figura 68: Documentación de la manufactura del chasis.

Luego de esto, se procedió a la recepción del chasis con el herrero. Los resultados se muestran a continuación en la Figura 69.



Figura 69: Resultados de la manufactura del chasis.

7.4. Ensamble de la máquina

Para el primer sub-ensamble de la máquina, la tapa del grupo, se colocaron las piezas en su respectivo orden. El pistón, su varilla, el pivote, el resorte, la palanca y el resto de componentes pequeños ensamblados en la tapa del grupo, como se muestra a continuación.



Figura 70: Resultados del sub-ensamble de la tapa de grupo.

Para el segundo sub-ensamble de la máquina, la cubierta del grupo, se colocaron las piezas en su respectivo orden. La ducha, el cilindro, el empaque, y la guía del porta filtro ensamblados en la cubierta del grupo, como se muestra a continuación.



Figura 71: Resultados del sub-ensamble de la cubierta de grupo.

7.4.1. Ensamble final de la máquina de expreso

Finalmente, para el ensamble completo de la máquina, los sub-ensambles de la tapa de grupo y la cubierta de grupo se ensamblaron en el chasis, donde luego fue colocada la tubería de entrada del agua caliente, una válvula de bola para cerrar el espacio y un manómetro para medir la presión del espacio cerrado en estado de equilibrio. Como se muestra en la Figura 72.



Figura 72: Resultado final de la máquina de expreso

7.5. Costo total de la máquina

En esta sección se calculará el costo total de la máquina. Se consideró la mano de obra con un costo de Q3,800.00. Esto se debe a las horas trabajadas, prorrateadas a un salario promedio un trabajador de torno en Guatemala, el cual es de Q4750.00. Como se puede observar en el Cuadro 10 podemos ver que se trabajaron un aproximado de 128 horas en el proyecto.

Cuadro 10: Mano de obra

Horas al día	4
Días a la semana	2
Semanas al mes	4
Cantidad de meses	4
Total de horas	128
Horas laborales por mes	160
Salario promedio	Q 4,750.00
Salario prorrateado	Q 3,800.00

Se debe tomar en cuenta el costo de la manufactura en la fresadora CNC. Se cotizó el

costo por hora de manufactura externamente y se hicieron los cálculos con las hojas de ruta de las piezas que se manufacturaron.

Cuadro 11: Costo de manufactura en fresadora CNC

Pieza	Tiempo en horas	Costo por hora	Costo de manufactura
Ducha	0.15		Q 52.50
Pivote	0.37		Q 129.50
Acople a chasis	0.42	Q 350.00	Q 147.00
Guía de porta filtro	1.75		Q 612.50
COSTO TOTAL			Q 941.50

En el Cuadro 12 se muestra el cuadro con los costos totales de las piezas en bruto o manufacturadas externamente.

Cuadro 12: Costo total

Pieza	Costo
Tapa de grupo - Barra redonda de aluminio 6061 de 127 mm de diámetro y 100 mm de longitud	Q 285.00
Cubierta de grupo - Barra redonda de aluminio 6061 de 127 mm de diámetro y 110 mm de longitud	Q 290.00
Resorte de INOX 304	Q 200.00
Guía de porta filtro - Barra redonda de aluminio 6061 de 127 mm de diámetro y 44 mm de longitud	Q 82.00
Cilindro - Barra redonda de aluminio 6061 de 76.2 mm de diámetro y 82.55 mm de longitud	Q 190.00
Pistón - Barra redonda de aluminio 6061 de 65 mm de diámetro y 51 mm de longitud	Q 61.06
Varilla para pistón - Barra redonda de INOX 304 de 16 mm de diámetro y 95 mm de longitud	Q 13.50
Varilla para pivote - Barra redonda de aluminio 6061 de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud	Q 61.06
Pivote - Pieza de aluminio 6061 de 50*80*60 mm	Q 138.94
Ducha - Pieza de aluminio 6061 de 75*75*12 mm	Q 40.00
Conector pistón y pivote - Pieza de aluminio 6061 de 50*35*25 mm	Q 27.00
8 Tornillos INOX M8 ORD y 10 de hierro M4 ORD ambos 1.5 in de longitud	Q 104.00
Niples y materiales de tubería	Q 60.00
Válvula de bola INOX	Q 57.00
Manómetro de 14 bar o 200 PSI	Q 50.00
Silicona para el empaque grado alimenticio	Q 65.00
Empaques de pistón y cilindro de prueba para calcular ajuste	Q 10.00
Chasis de hierro negro manufacturado externamente	Q 350.00
Placa para chasis de acero 1045, 12*101.6*106.4 mm	Q 175.00
Teflón para sello	Q 5.00
Porta filtro genérico	Q 600.00
“O-rings” de (4.5 * 55) y (4.5 * 68) mm	Q 105
Tapones para porta filtro y palanca	Q 25.00
Mano de Obra	Q 3,800.00
Costo de manufactura en Fresadora CNC	Q 941.50
TOTAL	Q 7,736.06
TOTAL (\$)	\$ 991.80

Podemos observar que el costo total de la máquina fue de \$991.80. Es necesario recalcar que en una producción masiva, los materiales pueden disminuir su costo significativamente. Aún así, se superó el límite por \$191.80.

Protocolo de pruebas y discusión de resultados

Luego de la manufactura, es necesario hacer las pruebas para comprobar la constante del resorte, la presión a la que llega la máquina en estado de equilibrio y, finalmente, generación del café expreso. A continuación se muestran las distintas pruebas realizadas en este proyecto.

8.1. Protocolo de pruebas

8.1.1. Prueba del resorte

Alcance

Ya que el resorte es el encargado de elevar la presión dentro del cilindro de la máquina, debe hacerse una prueba para comprobar la fuerza máxima que este puede generar.

Materiales

Los materiales utilizados para la prueba de compresión del resorte fueron los siguientes:

- Resorte
- Cilindro: Se utilizó por razones de seguridad, para darle soporte a los costados del resorte y que este no se deslizara durante la prueba.
- Tapa de grupo: Se utilizó como segunda opción para darle soporte a los costados del resorte y que este no se deslizara durante la prueba.

Equipo

El equipo utilizado fue una compresora universal, la cual se encuentra en el laboratorio del departamento de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle.

- Nombre: Versa Tester
- Marca: SOILTEST

En esta prueba se colocó un sensor láser de proximidad brindado por la Universidad del Valle que detectaba la distancia entre la superficie y él. Este iba cambiando mientras se iba haciendo la compresión del resorte, por lo que podíamos saber la distancia recorrida del resorte con una simple resta.

Advertencias de seguridad

Es importante recalcar que la operación de la máquina para esta experimentación fue realizada por el catedrático encargado del taller de ingeniería civil de la Universidad del Valle ya que no se tenían los conocimientos para que esta fuera manipulada.

El equipo de protección utilizado y el que debe utilizarse para este tipo de experimentaciones es el siguiente:

- Bata de laboratorio
- Lentes de protección
- Zapatos de protección con punta metálica

Procedimiento

El procedimiento a seguir se puede detallar en el cuadro

Procedimiento de la prueba del resorte

Cuadro 13: Procedimientos de la experimentación

Paso	Descripción	Comentario
1	Colocar cilindro en la base de la compresora	Asegurar que esté en el centro de la base
2	Insertar el resorte dentro del cilindro	Asegurar que este se encuentre correctamente insertado en el cilindro
3	Colocar sensor de distancia sobre la prensa	Asegurar que esté completamente perpendicular a la mesa.
4	Accionar la compresora	No olvidar el equipo de protección.
5	Al momento de empezar la compresión del resorte, empezar a tomar la cantidad de datos posibles.	Ya que es un movimiento continuo, tratar de tomar la mayor cantidad de datos posibles.
6	Cuando la compresión supera los 30 mm, apagar la máquina y regresar a estado original.	Tratar de no superar los 35 mm.

Resultados de prueba del resorte

Cuadro 14: Resultados de la primera experimentación

h (mm)	x (mm)	F (lbs)	F (kg)	F (N)
201	0	0	0	0
205	4	30	13.607787	133.49
207	6	45	20.411681	200.24
208	7	55	24.94761	244.74
210	9	80	36.287433	355.98
212	11	132.5	60.101061	589.59
215	14	172	78.01798	765.36
217	16	200	90.718582	889.95
219	18	230	104.32637	1023.44
222	21	276.5	125.41844	1230.35
225	24	330	149.68566	1468.42
229	28	412.5	187.10708	1835.52
232	31	435	197.31292	1935.64
235	34	476	215.91022	2118.08

Cuadro 15: Resultados de la segunda experimentación

h (mm)	x (mm)	F (lbs)	F (kg)	F (N)
179	0	0	0	0
182	3	25	11.33982	111.24
185	6	58	26.30839	258.09
188	9	101	45.81288	449.42
190	11	132	59.87426	587.37
192	13	155.5	70.5337	691.94
194	15	180.5	81.87352	803.18
196	17	207	93.89373	921.10
198	19	235	106.5943	1045.69
200	21	285	129.274	1268.18
202	23	340	154.2216	1512.91
204	25	379	171.9117	1686.45
206	27	388	175.994	1726.50
208	29	416	188.6947	1851.09
210	31	446	202.3024	1984.59

Con lo mencionado anteriormente, se obtienen los valores de las dos variables, distancia en milímetros y libras de fuerza (en las primera y tercera columna de los cuadros 14 y 15), luego se hicieron los respectivos cálculos de distancia, en milímetros, recorrida y fuerza, en Newtons, generada. A continuación se pueden ver las gráficas con su ecuación y coeficiente de correlación.

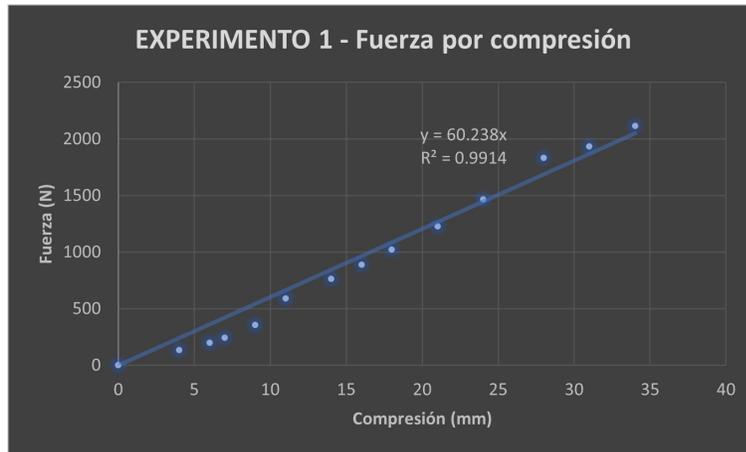


Figura 73: Gráficas de resultados de primera experimentación de constante de compresión del resorte

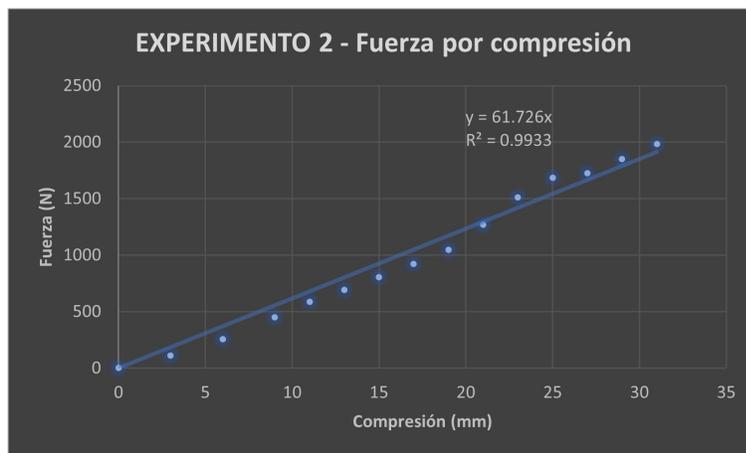


Figura 74: Gráficas de resultados de segunda experimentación de constante de compresión del resorte

En las Figuras 73 y 74 se pueden ver las gráficas con su respectiva pendiente, la cual es la constante del resorte en cada una de las experimentaciones. Se puede observar que el coeficiente de correlación es de 0.99 para ambos casos. Por ello, sacamos un promedio de ambas constantes y terminamos con una constante resultante de $k = 60.982$, como se puede observar en el Cuadro 16.

Exp.	$k[\frac{N}{mm}]$
1	60.238
2	61.726

$$k = 60.982 \frac{N}{mm}$$

Cuadro 16: Cálculo de k promedio

Con ese resultado y con la ecuación 3 podemos obtener la presión máxima a la que llegará el resorte con el diámetro interior del cilindro, donde se hará el empuje del agua al

café por medio del pistón. Los resultados se muestran en el Cuadro 17

Cálculo de presión máxima

k	x	F	P
$60.982 \frac{N}{mm}$	30 mm	1829.49 N	6.924 bar

Cuadro 17: Cálculo de presión máxima



Figura 75: Prueba para obtención de la constante de compresión del resorte

8.1.2. Prueba de presión de la máquina

Alcance

Ya que se tienen los resultados de la presión que puede generar el resorte en el espacio cerrado, es hora de comprobarlo dentro de la máquina. Esto nos ayudará a validar tanto el funcionamiento correcto del resorte, así como los sellos colocados en la máquina.

Materiales

Los materiales utilizados para la prueba de compresión del resorte fueron los siguientes:

- Agua
- Porta filtro ciego: Se utilizó ya que se busca cerrar completamente el espacio para elevar la presión.
- Manómetro: Se ensambló a la máquina para poder medir constantemente la presión del espacio.
- Válvula de bola: Se ensambló junto con el manómetro para cerrar el otro lado del espacio. Entonces la entrada de agua está sellada con la válvula y la salida con el porta filtro ciego.

Equipo

No se utilizó ningún equipo adicional a la máquina para esta prueba de presión.

Advertencias de seguridad

Para esta prueba se debe utilizar la máquina con precaución. Se debe asegurar que el porta filtro esté bien colocado y que no haya fugas en el empaque.

El equipo de protección utilizado y el que debe utilizarse para este tipo de experimentaciones es el siguiente:

- Bata de laboratorio
- Lentes de protección
- Zapatos de protección con punta metálica

Procedimiento de la prueba de presión de la máquina

Cuadro 18: Procedimiento de la prueba de presión

Paso	Descripción	Comentario
1	Colocar porta filtro con filtro ciego	Asegurar que el filtro esté bien engrapado al porta filtro.
2	Insertar porta filtro en la guía del porta filtro	Asegurar que el empaque este bien colocado y el porta filtro no se logre mover.
3	Abrir llave de paso del agua.	Para abrir el espacio.
4	Introducir agua en el embudo	Asegurar que ya no esté ingresando agua al espacio
5	Bajar palanca, y mientras esta va succionando el agua, ir introduciendo más agua en el embudo.	Evitar espacios de aire en el interior.
6	Cuando el espacio esté completamente lleno y la palanca completamente abajo, cerrar llave de paso.	Asegurar que no hay burbujas en el interior del espacio.
7	Liberar palanca con precaución	Precaución: la fuerza del resorte moverá la palanca.
8	Tomar nota de la presión máxima	Atención al valor máximo de presión que marca el manómetro.

Resultados de prueba de presión de la máquina

Luego de 10 pruebas de presión del resorte, estos fueron los resultados obtenidos en el manómetro.

Cuadro 19: Resultados de la prueba de presión del resorte

No. de prueba	Presión [bar]
1	3.60
2	3.80
3	4.10
4	3.90
5	4.20
6	4.20
7	4.10
8	3.90
9	3.80
10	4.10

A continuación se muestran los datos estadísticos de la presión que genera el resorte dentro de la máquina hasta el vencimiento del empaque.

Cuadro 20: Valores estadísticos

Prueba	Valor
Mínimo	3.60
Máximo	4.20
Media	3.97
Mediana	4.00
Moda	4.10
Desviación Estándar	0.200

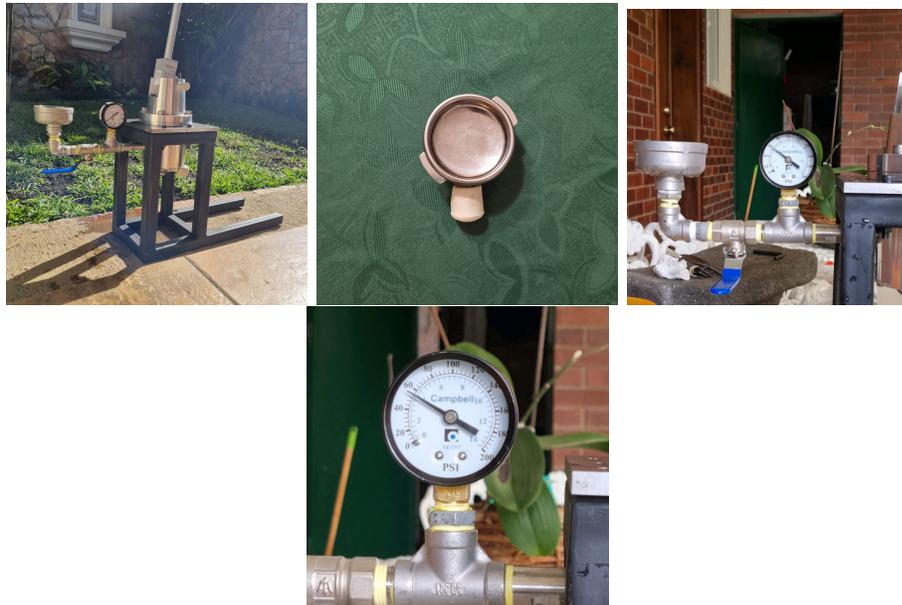


Figura 76: Prueba para obtención de la presión máxima generada por el resorte dentro de la máquina

8.1.3. Prueba de extracción de café expreso

Alcance

Ya que se tienen los resultados de la prueba de presión, es hora de comprobar la extracción del café expreso. Cabe recordar que se deben extraer 2 onzas de café expreso por corrida a una presión entre máxima de 4.2 bar, el resultado de la prueba anterior.

Materiales

Los materiales utilizados para la prueba de extracción del expreso fueron los siguientes:

- Agua
- Porta filtro
- Café de molienda fina
- Manómetro
- Báscula
- “*Tamper*”

Equipo

No se utilizó ningún equipo adicional a la máquina ensamblada completamente para esta prueba de presión.

Advertencias de seguridad

Para esta prueba se debe utilizar la máquina con mayor precaución que la anterior prueba. Se debe asegurar que el porta filtro esté bien colocado y tener cuidado con el regreso de la palanca por el resorte. Recordemos que se está elevando la presión del espacio y puede haber fugas con agua caliente.

Procedimiento de la extracción del expreso

Cuadro 21: Procedimiento de la prueba de extracción

Paso	Descripción	Comentario
1	Colocar 16 gramos de café molido finamente dentro del porta filtro y con el “ <i>tamper</i> ” presionar con fuerza para hacer la pastilla de café	Asegurar que el “ <i>tamper</i> ” se presionó con la mayor fuerza y precisión posible.
2	Insertar porta filtro en la guía del porta filtro	Asegurar que el empaque este bien colocado y el porta filtro no se logre mover.
3	Introducir agua a 96°C en el embudo con la llave de paso cerrada.	Esto asegura que el agua que se utilizará es suficiente para las 2 onzas de expreso.
4	Abrir la llave de paso y bajar la palanca para llenar el cilindro de agua.	Asegurarse que la palanca está completamente abajo para asegurar la mayor compresión del resorte.
5	Cuando la palanca se encuentre completamente abajo, cerrar llave de paso.	Esto para permitir que se genere la mayor presión posible en el espacio.
6	Liberar palanca lentamente.	Precaución: la fuerza del resorte actúa la palanca.
7	Revisar el vídeo y buscar la presión máxima alcanzada, así como observar el expreso extraído para buscar la crema del mismo.	Atención al valor máximo de presión que marca el manómetro.

Resultados de prueba de extracción del expreso

A continuación se muestra los resultados de la extracción. Recordemos que los parámetros a tomar en cuenta son la presión y el volumen del café extraído. Los parámetros físicos del

café no serán tomados en cuenta.

Cuadro 22: Resultados de la prueba extracción del expreso

No. de prueba	Presión [bar]	Volumen [oz]
1	1	2
2	1.25	1.75
3	1.25	2
4	1	2
5	1	1.75
6	1	2
7	1.5	2
8	0.75	2
9	1.25	2
10	1	1.75
11	1	2

Con los resultados del Cuadro 22 podemos obtener los del siguiente cuadro.

Cuadro 23: Valores estadísticos de prueba de extracción

Prueba	Presión alcanzada	Onzas extraídas
Min	0.75	1.75
Max	1.5	2
Media	1.091	1.932
Mediana	1	2
Moda	1	2
Desviación estándar	0.202	0.117

Tenemos una media de presión de 1.091 bar y una media de 1.932 onzas de extracción, aproximadamente las 2 onzas que se tienen contempladas en los objetivos.



Figura 77: Volumen de extracción de café expreso



Figura 78: Prueba de extracción de café expreso

En la Figura 78 podemos observar fotografías del procedimiento así como del resultado de las pastillas de café luego de la extracción. Las mismas se encuentran compactas y con poca humedad, demostrando una distribución homogénea del agua sobre ella. Asimismo, en la Figura 77 podemos observar el volumen final de la extracción, lo mencionado en el Cuadro 23.

8.2. Discusión de resultados

8.2.1. Prueba del resorte

Como se puede observar en el Cuadro 17, la fuerza que se obtiene a una compresión de 30 mm es de 1829.49 Newtons, lo cual, dentro del cilindro y empujando el pistón, representa una presión de 6.924 bar. Esto se encuentra dentro del rango establecido para la presión que se buscaba dentro del cilindro, siendo este desde 6 bar hasta 9 bar de presión. El valor es un 76.94 % de los 9 bar máximos, o sea, un 23.06 % por debajo de la presión de diseño, ya que el resorte se diseñó para generar precisamente los 9 bar de presión. Esto puede deberse a diferentes factores en la manufactura, tales como el material utilizado o el temple (tratamiento térmico para elevar la dureza del material). Siendo así, se considera adecuado para la generación de un café expreso ya que este se está buscando realizar por encima de los 6 bar de presión, y este aún se encuentra 15.41 % por encima de este valor mínimo.

8.2.2. Prueba de presión de la máquina

Esta prueba decidió hacerse, primero para validar la prueba del resorte y para probar los empaques, ya que estos llegan a vencerse al llegar a una presión específica. El empaque de

la guía de porta filtro fue manufacturado con un molde y silicona. La presión máxima que la máquina genera hasta que se vence el empaque de la guía del porta filtro está entre un rango de 3.60 bar a 4.20 bar, con una media de 3.97 bar. Esto representa que el empaque no es apto para la presión de diseño de la máquina. En la realización de las pruebas, el pistón estaba aún a la mitad de la carrera cuando este se vencía. Al ser de consistencia blanda, el agua puede de forma más sencilla encontrar un espacio por el cual fugarse. Se puede considerar, para generar una mayor presión, colocar un empaque más rígido y que mantenga correctamente el sello entre el porta filtro y la máquina, como el ya mencionado. Entre lo mencionado se puede validar el funcionamiento del resorte, pero el empaque se considera que está subdimensionado para la capacidad de la máquina.

8.2.3. Prueba de extracción de café expreso

La máquina de expreso manufacturada generó exitosamente las 11 pruebas de expreso documentadas. Es importante recalcar que la presión generada no es suficiente como para generar la crema que generan las máquinas industriales y de producción masiva, pero la máquina produce una bebida concentrada y con sabor comparable a estas, lo cual la posiciona como una opción viable para residencias y negocios pequeños, así como la primera máquina de café expreso manufacturada en Guatemala.

Conclusiones

1. Se calculó, diseñó y manufacturó un mecanismo de resorte, pistón y palanca capaz de elevar la presión del agua a un máximo de 4.20 bar en un espacio completamente sellado.
2. La máquina extrae un café expreso a una presión que se encuentra en un rango entre 0.75 y 1 bar, a un promedio de 1.091 bar.
3. Dicho mecanismo puede empujar agua caliente a través de un porta filtro con café molido finamente, generando un café expreso.
4. Se diseñó y manufacturó una cubierta que contiene el mecanismo, evita fugas de agua y permite la manipulación del mismo.
5. Se fabricó una estructura que sostiene el grupo, permitiendo que la máquina completa pese un total de 35 libras.
6. El costo total de este proyecto, entre materiales comprados y mano de obra, es de \$991.80, \$191.80 más alto que el costo total establecido en los objetivos.
7. La máquina manufacturada extrae un café expreso con un rango de volumen desde 1.75 hasta 2 onzas. Con un promedio de 1.932 onzas por cada corrida.

Recomendaciones

1. Manufacturar el empaque que sella el porta filtro con el grupo a base de teflón o vitón. De esta forma se puede obtener un empaque más resistente teniendo la oportunidad de elevar la presión dentro del cilindro y evitando el continuo cambio del empaque de silicona actual.
2. Pintar las piezas que no tienen contacto con los alimentos con pintura anticorrosiva y brillante, por estética y para evitar la corrosión de las piezas.
3. Manufacturar una ducha con mayor cantidad de agujeros y con un diámetro de 0.25 mm, para generar mayor resistencia al paso y por ende mayor presión en el espacio al momento de la liberación del agua para la extracción. Este tamaño de agujeros lo utilizan las duchas de competencia aprobadas por la I.M.S (*“Industria Materiali Stampati Spa”*). Para los agujeros de la ducha actual se utilizó un diámetro de 3 mm.
4. Considerar protectores para colocar en la base, para evitar daños en la mesa donde se manipule la máquina.

Bibliografía

- Andueza, S., Maeztu, L., Dean, B., de Pena, M. P., Bello, J. & Cid, C. (2002). Influence of Water Pressure on the Final Quality of Arabica Espresso Coffee. Application of Multivariate Analysis.
- ASIES. (2019). Café en Guatemala. Consultado el 1 de enero de 2022, desde https://www.mineco.gob.gt/sites/default/files/cafe_en_guatemala.pdf
- Basir Dacaret, F. F. (2020). *De café y extracciones*.
- Best manual espresso machines(Lever espresso machines). (2019). Consultado el 15 de octubre de 2021, desde <https://www.homegrounds.co/best-manual-espresso-machines/>
- Bresciani, M. (2020). Grinding coffee at home. Consultado el 15 de octubre de 2021, desde <https://www.thanksgivingcoffee.com/grinding-coffee-at-home/>
- Çengel, Y. A. & Boles, M. A. (2015). *TERMODINÁMICA* (8th ed.). Mc Graw Hill.
- Coffee, C. (s.f.). How coffee extraction works. Consultado el 15 de octubre de 2021, desde <https://clivecoffee.com/blogs/learn/how-coffee-extraction-works>
- Coffee, W. L. (2017). Descaling a la pavoni professional – whole latte coffee. Consultado el 17 de octubre de 2021, desde <https://www.wholelattecoffee.com/2013/02/descaling-a-la-pavoni-professional/>
- Controlador pid - control automático - picuino. (s.f.). Consultado el 15 de octubre de 2021, desde <https://www.picuino.com/es/arduprog/control-pid.html>
- Descaling a la pavoni professional – whole latte coffee. (s.f.). Consultado el 15 de octubre de 2021, desde <https://www.wholelattecoffee.com/2013/02/descaling-a-la-pavoni-professional/>
- Design of food processing equipment review | engineers edge. (s.f.). Consultado el 15 de octubre de 2021, desde https://www.engineersedge.com/food_process.htm
- DLR, P. (s.f.). Bottomless Portafilter. Consultado el 15 de octubre de 2021, desde <http://www.paolodlr.com/2015/02/bottomless-portafilter.html>
- Elektra Micro Casa Leva S1 Copper and Brass Lever Espresso Machine. (2020). <https://espressodolce.ca/product/elektra-micro-casa-leva-s1-copper-and-brass-lever-espresso-machine/>
- Espresso, E. M. (2015). How to prepare an espresso. Consultado el 17 de octubre de 2021, desde <http://www.espressomyespresso.com/HowToE61gasket.html>
- Faema 'e-91/duè' steam wand. (s.f.). Consultado el 15 de octubre de 2021, desde <https://www.espressoparts.com/products/faema-e-91-due-steam-wand>

- Greaves, E. (2017). La historia del espresso italiano: ¿cuanto conoces la historia de tu café? Consultado el 15 de octubre de 2021, desde <https://perfectdailygrind.com/es/2017/05/10/la-historia-del-espresso-italiano-cuanto-conoces-la-historia-de-tu-cafe/>
- Guzmán, M. (2021). ¿Café expreso? Conoce su extracción y el porqué de su popularidad. <https://laroussecocina.mx/nota/espresso-todo-cabe-en-una-tacita-sabiendolo-extraer-3/>
- Haydon, M. (2019). Entendiendo los diferentes tipos de máquinas de expreso. Consultado el 18 de abril de 2022, desde <https://perfectdailygrind.com/es/2019/01/11/entendiendo-los-diferentes-tipos-de-maquinas-de-espresso/>
- Jimenez-Junca, C., Sher, A., Gumy, J.-C. & Niranjana, K. (2015). Production of milk foams by steam injection: The effects of steam pressure and nozzle design. *Journal of Food Engineering*, 166, 247-254. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.05.035>
- La Pavoni Lever 16 Cup Boiler (100mm) - 2410001046 theesspressoshop.co.uk. (s.f.). Consultado el 15 de octubre de 2021, desde <https://www.theesspressoshop.co.uk/en/La-Pavoni-Lever-16-Cup-Boiler-100mm---2410001046/m-2241.aspx>
- La pavoni lever grouphead body new q (Chrome) - 2120039451 theesspressoshop. Co. Uk. (s.f.). Consultado el 15 de octubre de 2021, desde <https://www.theesspressoshop.co.uk/en/La-Pavoni-Lever-Grouphead-Body-New-Q-Chrome---2120039451/m-2203.aspx>
- Love, W. L. (s.f.). Espresso machine boiler types. Consultado el 15 de octubre de 2021, desde <https://www.wholelattelove.com/blogs/tech-tips/espresso-machine-boiler-types>
- Matweb. (2020a). AISI 304. Consultado el 15 de octubre de 2021, desde <http://www.matweb.com/errorUser.aspx?msgid=2&ckck=nocheck>
- Matweb. (2020b). Aluminum 6061-T6. Consultado el 15 de octubre de 2021, desde [matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=b8d536e0b9b54bd7b69e4124d8f1d20a&ckck=1](http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=b8d536e0b9b54bd7b69e4124d8f1d20a&ckck=1)
- Nutrition, C. f. F. S. a. A. (2020). Food Code 2017. *FDA*. Consultado el 15 de octubre de 2021, desde <https://www.fda.gov/food/fda-food-code/food-code-2017>
- Parts, C. (2020). Lever group head - astoria spare parts coffee parts. Consultado el 17 de octubre de 2021, desde <https://www.coffeeparts.com.au/astoria-spare-parts-4-lever-group-head>
- Pavoni, L. (2015). La Pavoni Lever 16 Cup Boiler (100mm). Consultado el 15 de octubre de 2021, desde <https://www.theesspressoshop.co.uk/en/La-Pavoni-Lever-16-Cup-Boiler-100mm---2410001046/m-2241.aspx>
- Pavoni, L. (2017). Diamante models – dia l 3gr : la pavoni. Consultado el 17 de octubre de 2021, desde <https://www.lapavoni.com/en/product/diamante-models-dia-l-3gr/>
- Picuiño. (2021). Controlador pid - control automático - picuiño. <https://www.picuiño.com/es/arduprog/control-pid.html>
- Ponciano, J., Vergara, H., López-Cornejo, M. & Arreola-Villa, S. (2019a). Determinación de coeficientes de transferencia de calor a través del método inverso. https://www.researchgate.net/publication/335948089_DETERMINACION_DE_COEFICIENTES_DE_TRANSFERENCIA_DE_CALOR_A_TRAVES_DEL_METODO_INVERSO
- Ponciano, J., Vergara, H., López-Cornejo, M. & Arreola-Villa, S. (2019b). Determinación de coeficientes de transferencia de calor a través del método inverso. https://www.researchgate.net/publication/335948089_DETERMINACION_DE_COEFICIENTES_DE_TRANSFERENCIA_DE_CALOR_A_TRAVES_DEL_METODO_INVERSO

Reformas10. (2021). El problema de las tuberías oxidadas en el hogar | Reformas10. Consultado el 18 de abril de 2022, desde <https://reformas10.com/informaciones/problema-tuberias-oxidadas/>

Rocket espresso steam wand - non burn. (s.f.). Consultado el 15 de octubre de 2021, desde <https://www.1st-line.com/buy/rocket-espresso-steam-wand-non-burn/>

Training basics. (s.f.). Consultado el 15 de octubre de 2021, desde <https://www.espressoparts.com/blogs/barista-basics-tutorials/training-basics>

Training basics. (s.f.). Consultado el 15 de octubre de 2021, desde <https://www.espressoparts.com/blogs/barista-basics-tutorials/training-basics>

Wega Shower screen 52mm. (s.f.). Consultado el 15 de octubre de 2021, desde <https://www.bluestarcoffee.eu/wega-shower-screen-52mm-9241-p.asp>

CAPÍTULO 12

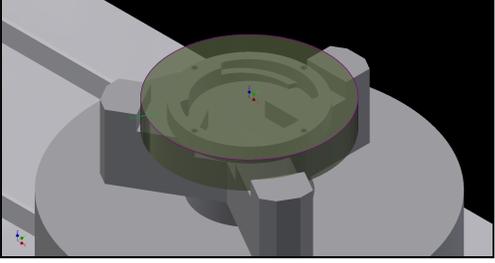
Anexos

Los anexos de este proyecto de graduación incluirán lo siguiente:

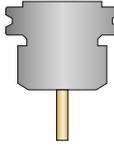
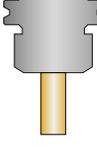
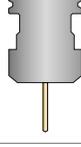
- Hoja de ruta de la pieza guía de porta filtro.
Se colocará solamente esta hoja de ruta por temas de confidencialidad.
- Planos mecánicos utilizados para la manufactura de la máquina.
Algunos planos estarán incompletos y otros serán omitidos por temas de confidencialidad.

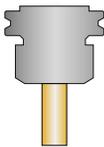
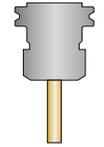
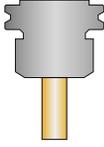
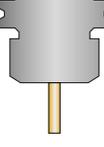
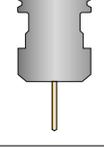
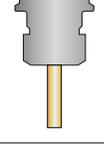
Setup Sheet for Program 1001

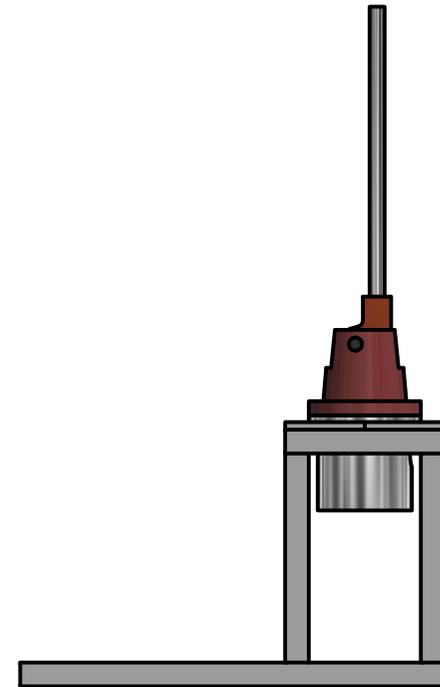
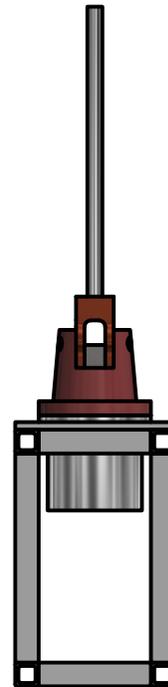
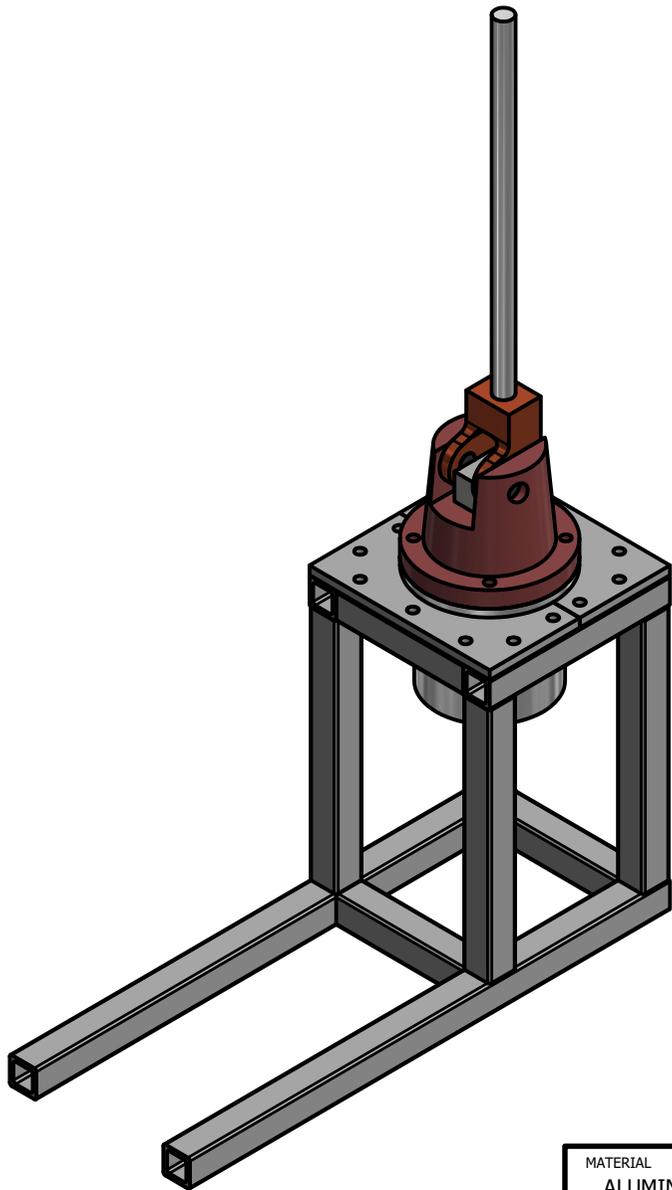
PROGRAM COMMENT: MAQUINADO GUIA DE ENTRADA PORTAFILTRO
 JOB DESCRIPTION: GUIA DE ENTRADA PORTAFILTRO
 DOCUMENT PATH: C:\Users\rodar\OneDrive\Desktop\INVENTOR\UVG\PROYECTOS ALUMNOS\JULIAN MIRANDA - ESPRESSO\MAQUINADO GUIA DE ENTRADA PORTAFILTRO V2.iam

Setup	
<p>WCS: #0</p> <p>STOCK: DX: 127mm DY: 127mm DZ: 22mm</p> <p>PART: DX: 96mm DY: 96mm DZ: 12mm</p> <p>STOCK LOWER IN WCS #0: X: -63.5mm Y: -63.5mm Z: -22mm</p> <p>STOCK UPPER IN WCS #0: X: 63.5mm Y: 63.5mm Z: 0mm</p>	

Total
<p>NUMBER OF OPERATIONS: 8 NUMBER OF TOOLS: 4 TOOLS: T1 T3 T5 T7 MAXIMUM Z: 15mm MINIMUM Z: -15.7mm MAXIMUM FEEDRATE: 1000.001mm/min MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7750rpm CUTTING DISTANCE: 68156.91mm RAPID DISTANCE: 11433.36mm ESTIMATED CYCLE TIME: 1h:44m:26s</p>

Tools			
<p>T1 D1 L1 TYPE: flat end mill DIAMETER: 6.35mm LENGTH: 28.57mm FLUTES: 2 DESCRIPTION: GENERAL PURPOSE SOLID CARBIDE END MILL SERIES I4S COMMENT: CATALOG I2S0250T112R VENDOR: WIDIA PRODUCT: 5872860</p>	<p>MINIMUM Z: -14.5mm MAXIMUM FEED: 1000.001mm/min MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7487rpm CUTTING DISTANCE: 42407.4mm RAPID DISTANCE: 200.42mm ESTIMATED CYCLE TIME: 1h:1m:57s (59.3%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-ER32-1.85 COMMENT: Maritool CAT40-ER32-1.85 VENDOR: Maritool PRODUCT: CAT40-ER32-1.85</p>	
<p>T3 D3 L3 TYPE: flat end mill DIAMETER: 11.11mm LENGTH: 50.8mm FLUTES: 2 DESCRIPTION: 1-112-20434 COMMENT: PARAMETROS A36 VENDOR: TOOLMEX PRODUCT: 1-112-20434</p>	<p>MINIMUM Z: -14.25mm MAXIMUM FEED: 1000.001mm/min MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7500rpm CUTTING DISTANCE: 20679.8mm RAPID DISTANCE: 7873.71mm ESTIMATED CYCLE TIME: 32m:29s (31.1%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-ER32-2.35 COMMENT: Maritool CAT40-ER32-2.35 VENDOR: Maritool PRODUCT: CAT40-ER32-2.35</p>	
<p>T5 D5 L5 TYPE: flat end mill DIAMETER: 15.88mm LENGTH: 40mm FLUTES: 3 DESCRIPTION: AluSurf Series 5A03 COMMENT: CATALOG 5A0316006 VENDOR: WIDIA PRODUCT: 3336120</p>	<p>MINIMUM Z: -14.5mm MAXIMUM FEED: 1000.001mm/min MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7500rpm CUTTING DISTANCE: 4978.91mm RAPID DISTANCE: 329.5mm ESTIMATED CYCLE TIME: 7m:47s (7.5%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-ER32-1.85 COMMENT: Maritool CAT40-ER32-1.85 VENDOR: Maritool PRODUCT: CAT40-ER32-1.85</p>	
<p>T7 D7 L7 TYPE: drill DIAMETER: 4mm TIP ANGLE: 118° LENGTH: 43mm FLUTES: 2 DESCRIPTION: Broca 2 filos 4 mm VENDOR: Toolmex PRODUCT: 1-200-0158</p>	<p>MINIMUM Z: -15.7mm MAXIMUM FEED: 775mm/min MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7750rpm CUTTING DISTANCE: 90.81mm RAPID DISTANCE: 3029.73mm ESTIMATED CYCLE TIME: 43s (0.7%)</p>	<p>HOLDER: Maritool CAT40-ER40-3.0 COMMENT: Maritool CAT40-ER40-3.0 VENDOR: Maritool PRODUCT: CAT40-ER40-3.0</p>	

Operations			
<p>Operation 1/8 DESCRIPTION: Face1 STRATEGY: Facing WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm MAXIMUM STEPDOWN: 1mm MAXIMUM STEPOVER: 12.7mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm MINIMUM Z: -1.5mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7500rpm MAXIMUM FEEDRATE: 1000.001mm/min CUTTING DISTANCE: 4379.18mm RAPID DISTANCE: 264.42mm ESTIMATED CYCLE TIME: 7m:1s (6.7%) COOLANT: Off</p>	<p>T5 D5 L5 TYPE: flat end mill DIAMETER: 15.88mm LENGTH: 40mm FLUTES: 3 DESCRIPTION: AluSurf Series 5A03 COMMENT: CATALOG 5A0316006 VENDOR: WIDIA PRODUCT: 3336120</p>	
<p>Operation 2/8 DESCRIPTION: Adaptive1 STRATEGY: Adaptive WCS: #0 TOLERANCE: 0.1mm STOCK TO LEAVE: 0.25mm MAXIMUM STEPDOWN: 2mm OPTIMAL LOAD: 4.45mm LOAD DEVIATION: 0.44mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm MINIMUM Z: -14.25mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7500rpm MAXIMUM FEEDRATE: 1000.001mm/min CUTTING DISTANCE: 10728.9mm RAPID DISTANCE: 7792.96mm ESTIMATED CYCLE TIME: 17m:20s (16.6%) COOLANT: Flood</p>	<p>T3 D3 L3 TYPE: flat end mill DIAMETER: 11.11mm LENGTH: 50.8mm FLUTES: 2 DESCRIPTION: 1-112-20434 COMMENT: PARAMETROS A36 VENDOR: TOOLMEX PRODUCT: 1-112-20434</p>	
<p>Operation 3/8 DESCRIPTION: 2D Contour1 STRATEGY: Contour 2D WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPDOWN: 5mm MAXIMUM STEPOVER: 15.08mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm MINIMUM Z: -14.5mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7500rpm MAXIMUM FEEDRATE: 1000.001mm/min CUTTING DISTANCE: 599.73mm RAPID DISTANCE: 65.09mm ESTIMATED CYCLE TIME: 45s (0.7%) COOLANT: Off</p>	<p>T5 D5 L5 TYPE: flat end mill DIAMETER: 15.88mm LENGTH: 40mm FLUTES: 3 DESCRIPTION: AluSurf Series 5A03 COMMENT: CATALOG 5A0316006 VENDOR: WIDIA PRODUCT: 3336120</p>	
<p>Operation 4/8 DESCRIPTION: Parallel1 STRATEGY: Parallel WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPOVER: 0.05mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm MINIMUM Z: -14.5mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7487rpm MAXIMUM FEEDRATE: 1000.001mm/min CUTTING DISTANCE: 21200.49mm RAPID DISTANCE: 93.26mm ESTIMATED CYCLE TIME: 30m:59s (29.7%) COOLANT: Off</p>	<p>T1 D1 L1 TYPE: flat end mill DIAMETER: 6.35mm LENGTH: 28.57mm FLUTES: 2 DESCRIPTION: GENERAL PURPOSE SOLID CARBIDE END MILL SERIES I4S COMMENT: CATALOG I2S0250T112R VENDOR: WIDIA PRODUCT: 5872860</p>	
<p>Operation 5/8 DESCRIPTION: Parallel1 (2) STRATEGY: Parallel WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPOVER: 0.05mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm MINIMUM Z: -14.5mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7487rpm MAXIMUM FEEDRATE: 1000.001mm/min CUTTING DISTANCE: 21206.92mm RAPID DISTANCE: 107.16mm ESTIMATED CYCLE TIME: 30m:59s (29.7%) COOLANT: Off</p>	<p>T1 D1 L1 TYPE: flat end mill DIAMETER: 6.35mm LENGTH: 28.57mm FLUTES: 2 DESCRIPTION: GENERAL PURPOSE SOLID CARBIDE END MILL SERIES I4S COMMENT: CATALOG I2S0250T112R VENDOR: WIDIA PRODUCT: 5872860</p>	
<p>Operation 6/8 DESCRIPTION: Drill1 STRATEGY: Drilling WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm MINIMUM Z: -15.7mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7750rpm MAXIMUM FEEDRATE: 775mm/min CUTTING DISTANCE: 90.81mm RAPID DISTANCE: 3029.73mm ESTIMATED CYCLE TIME: 43s (0.7%) COOLANT: Flood</p>	<p>T7 D7 L7 TYPE: drill DIAMETER: 4mm TIP ANGLE: 118° LENGTH: 43mm FLUTES: 2 DESCRIPTION: Broca 2 filos 4 mm VENDOR: Toolmex PRODUCT: 1-200-0158</p>	
<p>Operation 7/8 DESCRIPTION: 2D Contour2 STRATEGY: Contour 2D WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPDOWN: 1mm MAXIMUM STEPOVER: 10.56mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm MINIMUM Z: -13.75mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7500rpm MAXIMUM FEEDRATE: 723.9mm/min CUTTING DISTANCE: 4797.92mm RAPID DISTANCE: 40.25mm ESTIMATED CYCLE TIME: 7m:19s (7%) COOLANT: Flood</p>	<p>T3 D3 L3 TYPE: flat end mill DIAMETER: 11.11mm LENGTH: 50.8mm FLUTES: 2 DESCRIPTION: 1-112-20434 COMMENT: PARAMETROS A36 VENDOR: TOOLMEX PRODUCT: 1-112-20434</p>	
<p>Operation 8/8 DESCRIPTION: 2D Contour2 (2) STRATEGY: Contour 2D WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPDOWN: 1mm MAXIMUM STEPOVER: 10.56mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 15mm MINIMUM Z: -14mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7500rpm MAXIMUM FEEDRATE: 723.9mm/min CUTTING DISTANCE: 5152.98mm RAPID DISTANCE: 40.5mm ESTIMATED CYCLE TIME: 7m:50s (7.5%) COOLANT: Flood</p>	<p>T3 D3 L3 TYPE: flat end mill DIAMETER: 11.11mm LENGTH: 50.8mm FLUTES: 2 DESCRIPTION: 1-112-20434 COMMENT: PARAMETROS A36 VENDOR: TOOLMEX PRODUCT: 1-112-20434</p>	



TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS
SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO.
INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.

TOLERANCIAS GENERALES

LINEAL .X ±

.XX ±

.XXX ±

ANGULAR ±

FRACCIONES ±

RUGOSIDAD SUPERFICIAL ✓

MATERIAL
ALUMINIO 6061
TRATAMIENTO
N/A
MASA: N/A



DIBUJADO POR	FECHA
JULIÁN MIRANDA	22/08/2021
DISEÑADO POR	FECHA
JULIÁN MIRANDA	22/08/2021
REVISADO POR	FECHA
RODRIGO ARAGÓN	22/08/2021
APROBADO POR	FECHA
RODRIGO ARAGÓN	22/08/2021

NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO
PROYECTO DE GRADUACIÓN

TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES
PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU
REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO
PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.

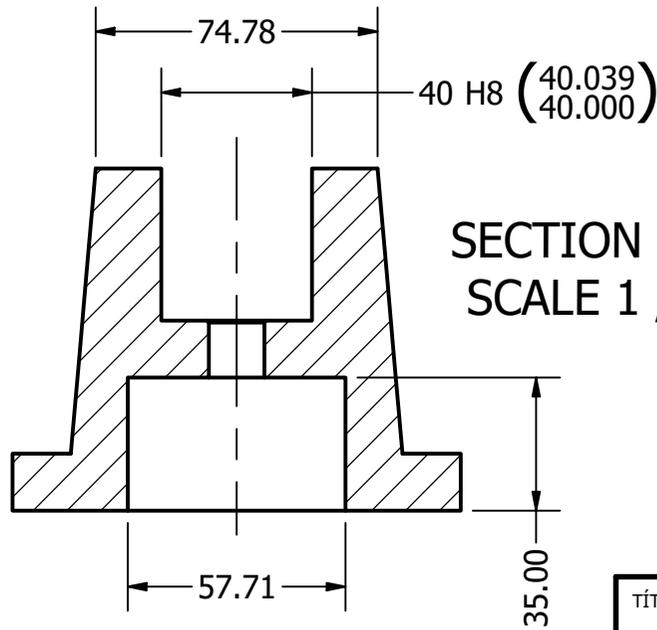
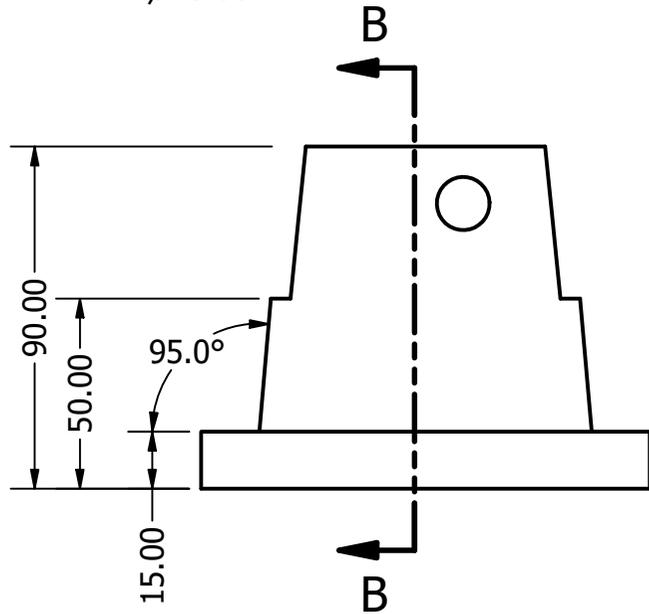
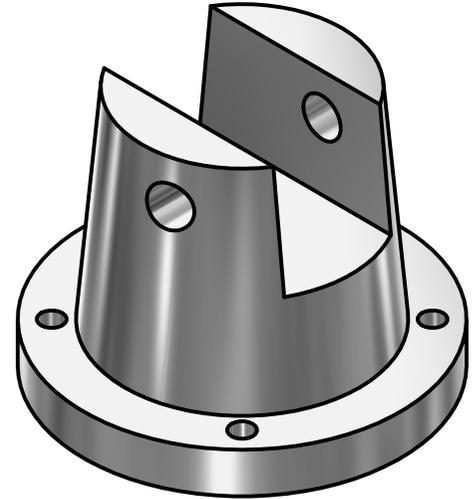
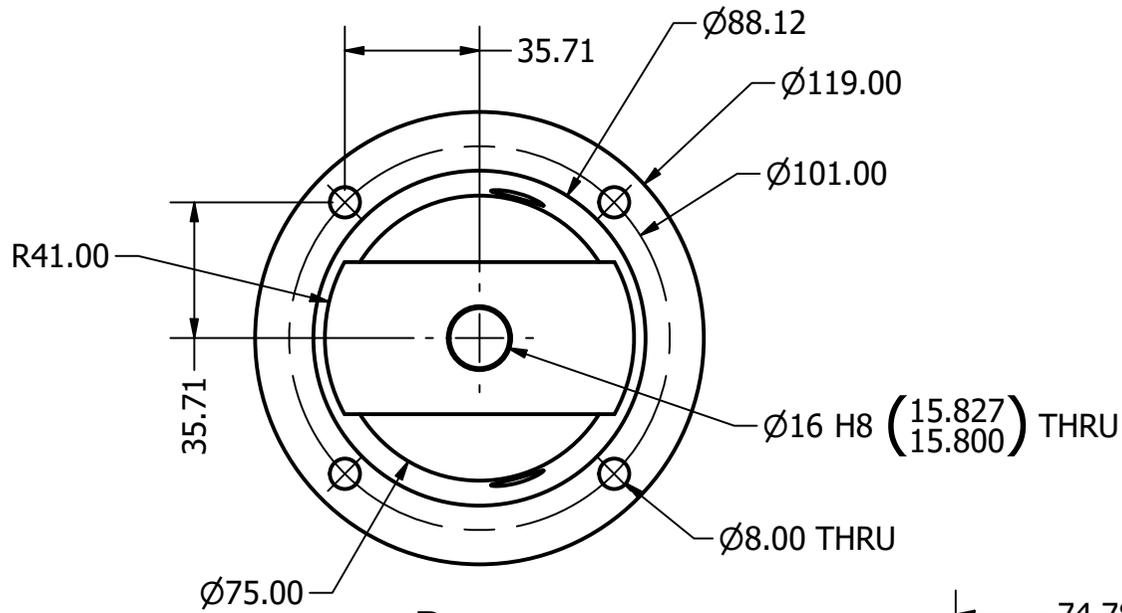


UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III
Guatemala, Guatemala 01015
PBX: (502) 2634-0336 / 40
info@uvg.edu.gt

TÍTULO: JUEGO DE PLANOS
MÁQUINA DE EXPRESO

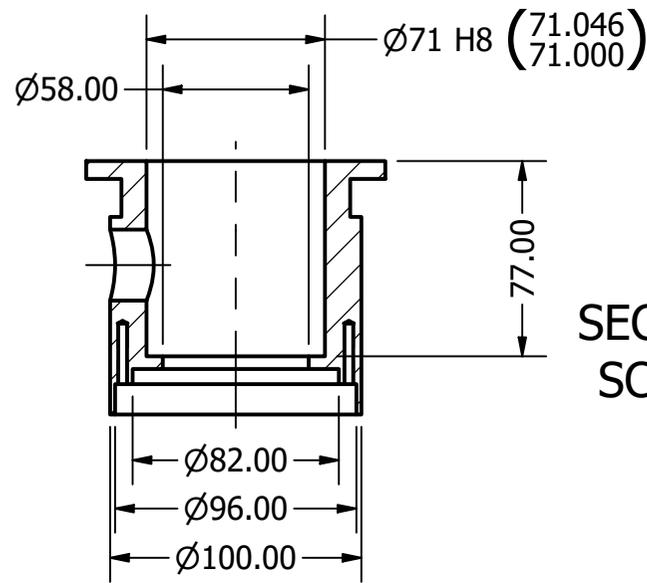
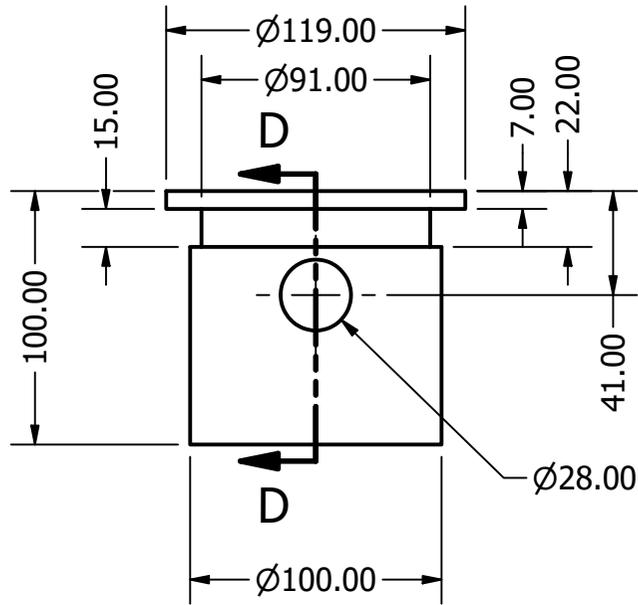
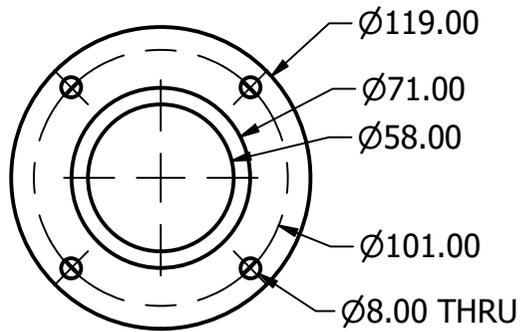
NÚMERO DE DIBUJO: 1

FORMATO	ESCALA: 1/8	UNIDADES: mm
A4	PÁGINA 1 DE 14	REV A

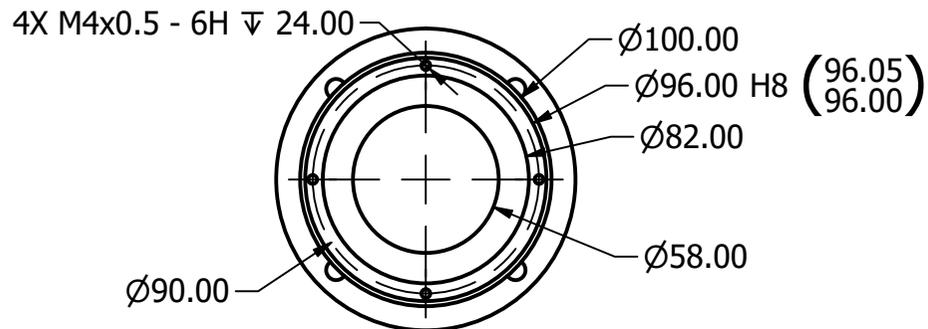


SECTION B-B
SCALE 1 / 2

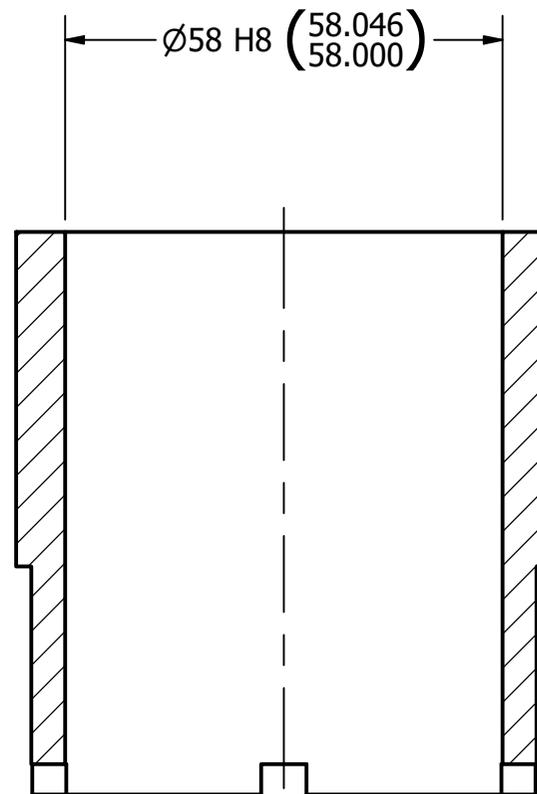
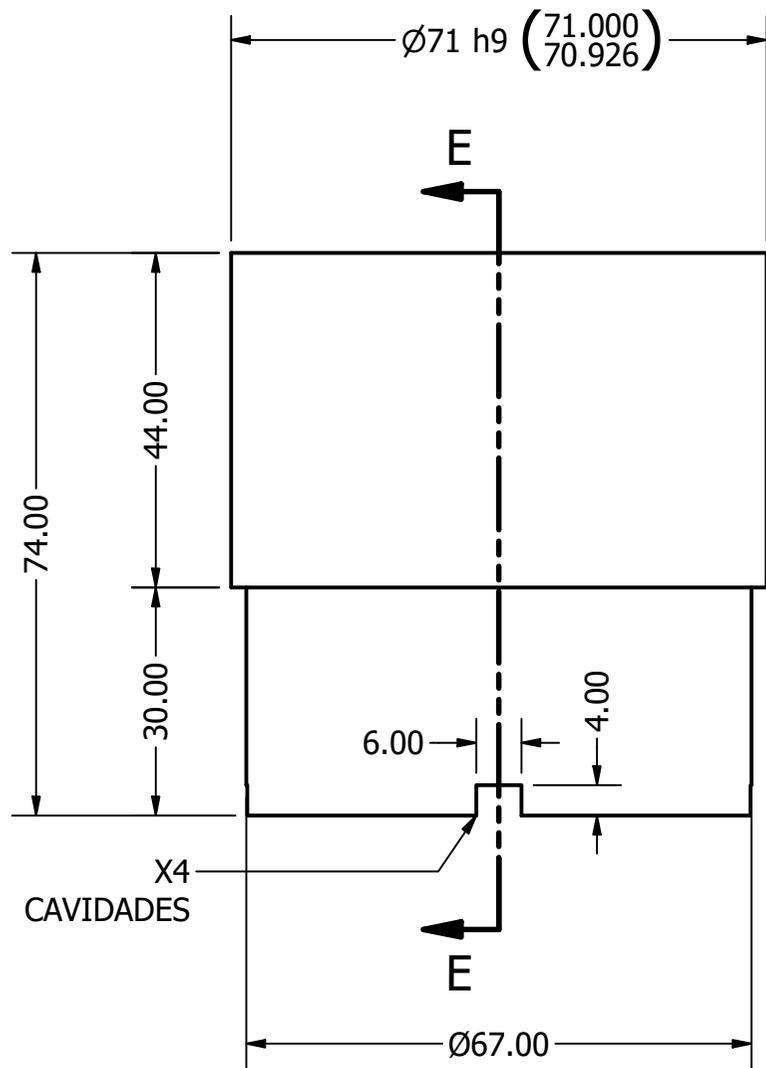
TÍTULO:		TAPA DE GRUPO	
NÚMERO DE DIBUJO: 2			
FORMATO	ESCALA: 1/2	UNIDADES: 1	
A4	PÁGINA 2 DE 14		REV A



SECTION D-D
SCALE 1 / 3



TÍTULO:		CAMISA DE GRUPO	
NÚMERO DE DIBUJO: 3			
FORMATO	ESCALA: 1/3	UNIDADES: 1	REV
A4	PÁGINA 3 DE 14		A



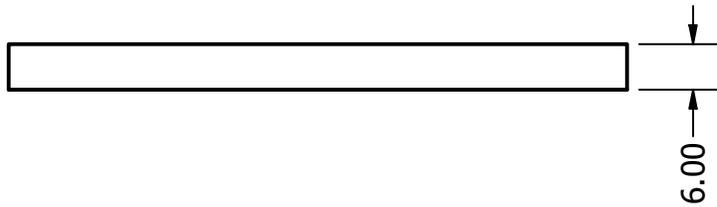
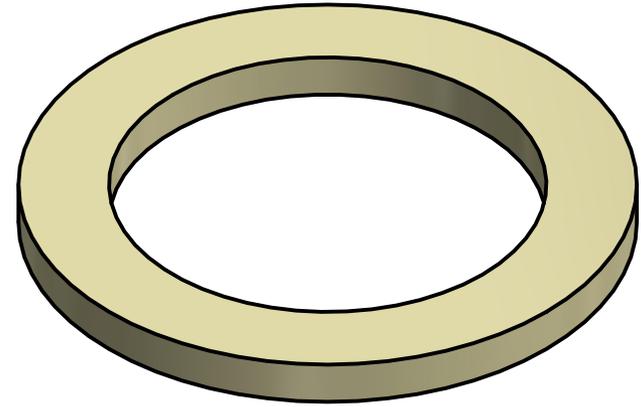
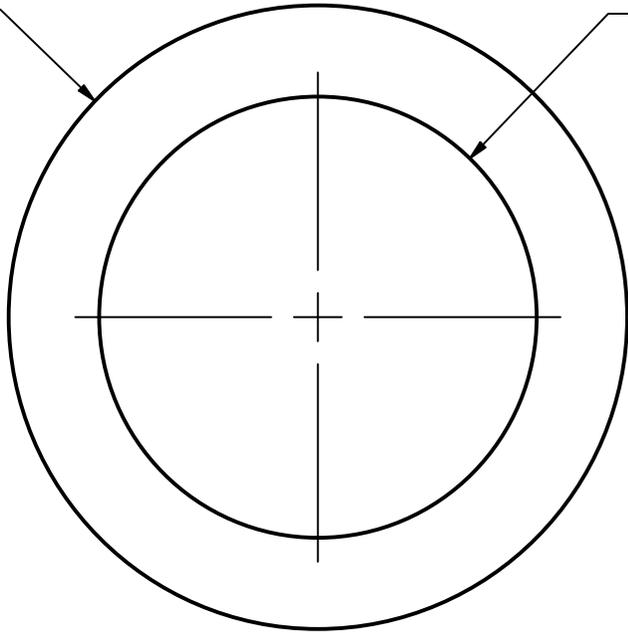
SECTION E-E
SCALE 1 / 1



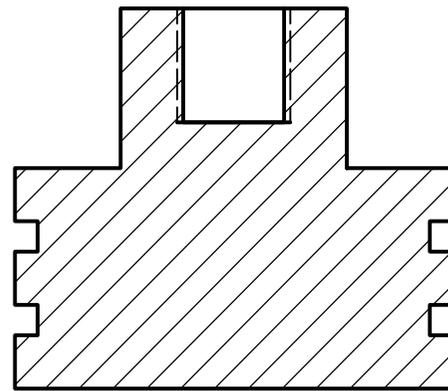
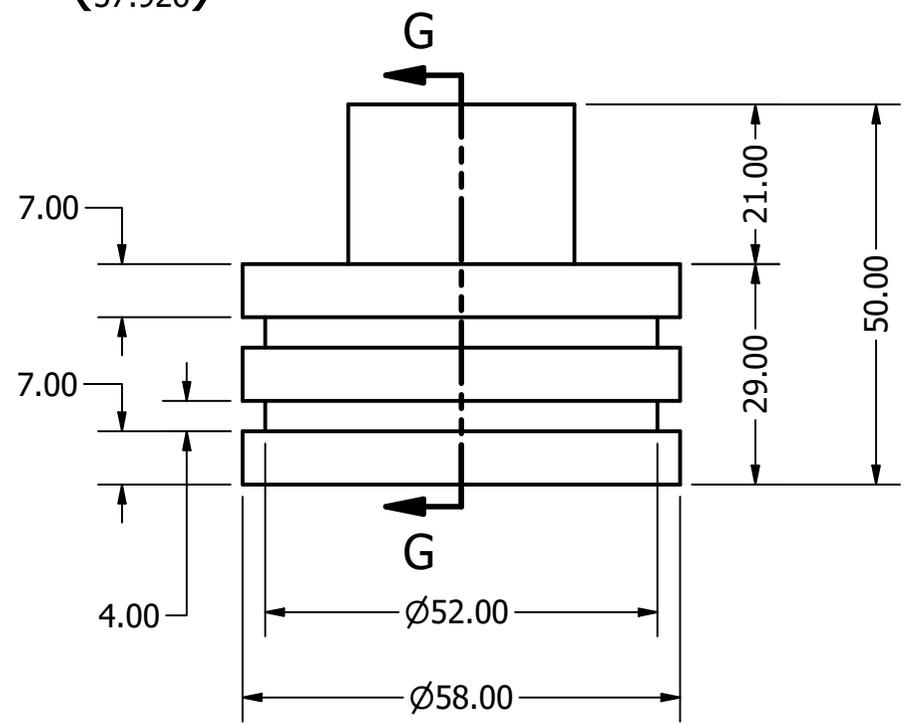
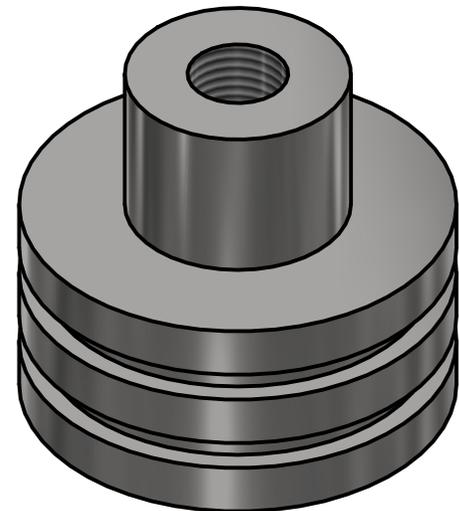
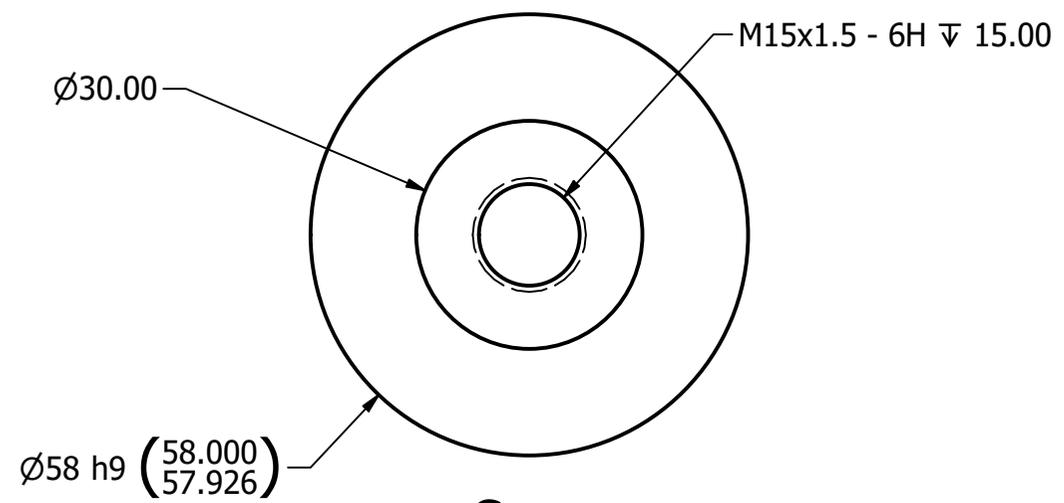
TÍTULO: ÉMBOLO PARA PISTÓN		
NÚMERO DE DIBUJO: 5		
FORMATO A4	ESCALA: 1/1	UNIDADES: 1
	PÁGINA 4 DE 14	REV A

Ø82.00

Ø58.00

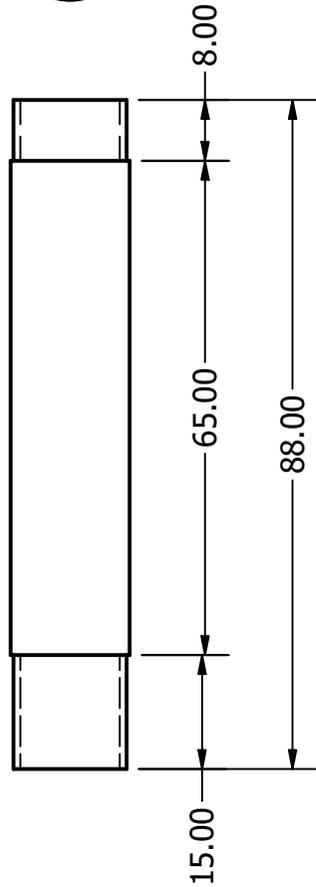
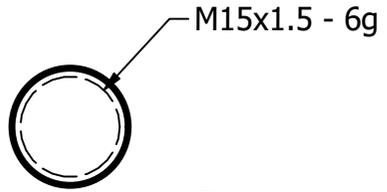


TÍTULO:		EMPAQUE PARA SELLO	
NÚMERO DE DIBUJO: 9			
FORMATO	ESCALA: 1/1	UNIDADES: 1	REV
A4	PÁGINA 8 DE 14		A

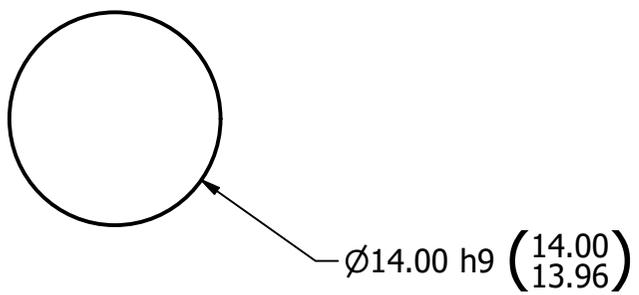
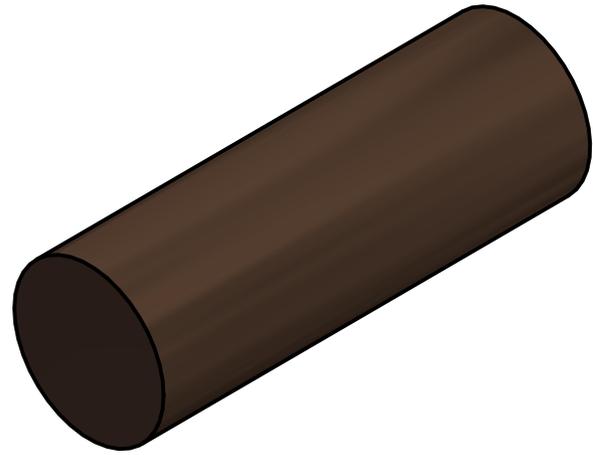
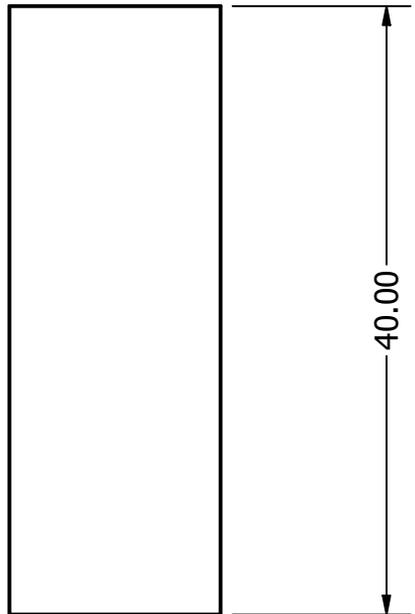


SECTION G-G
SCALE 1 : 1

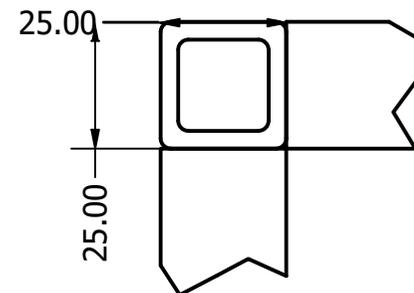
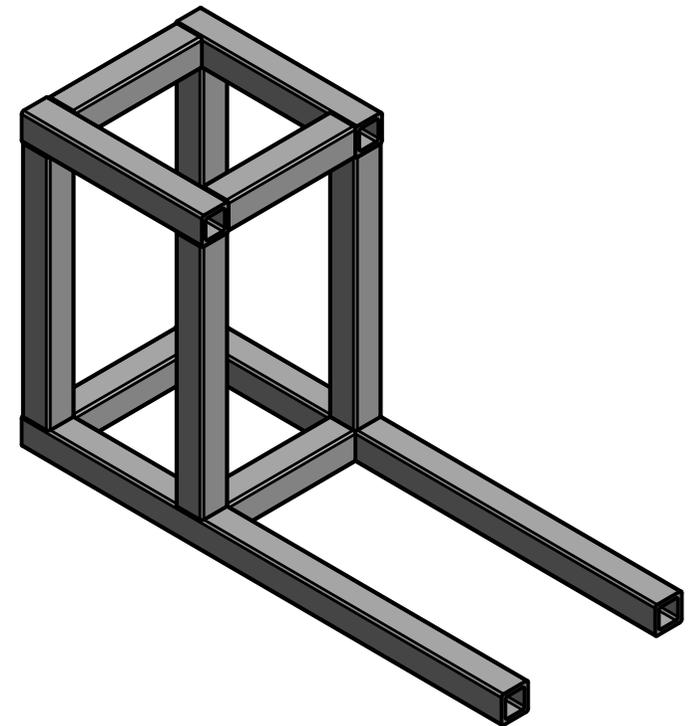
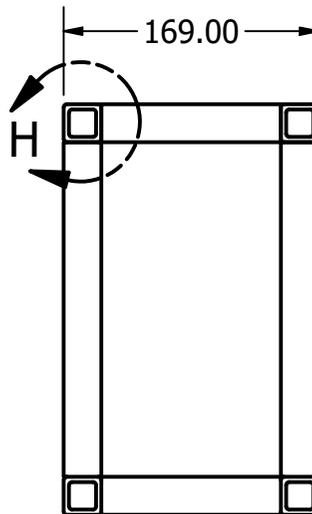
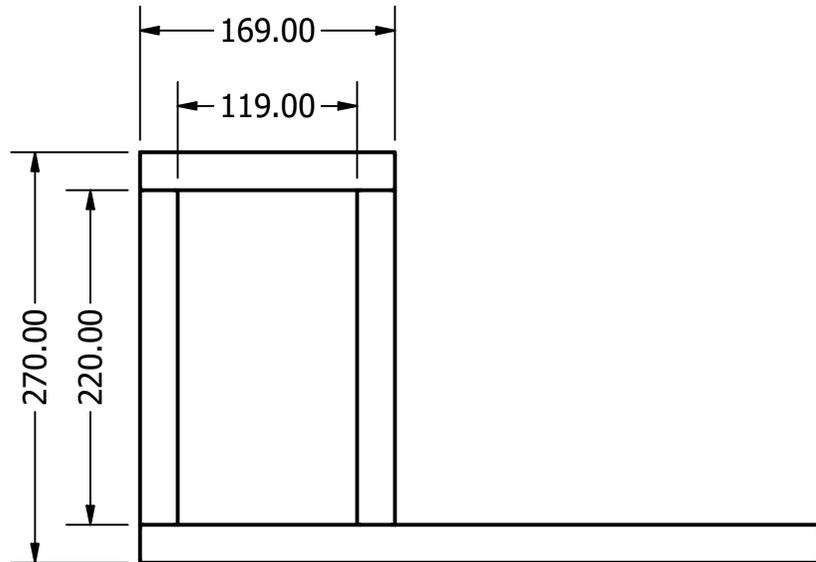
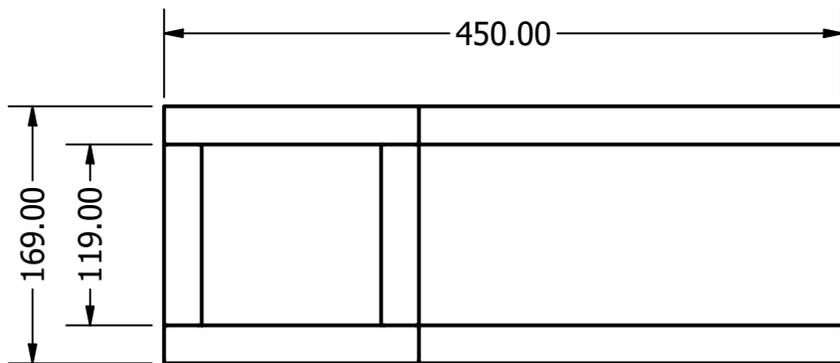
TÍTULO:		
PISTÓN		
NÚMERO DE DIBUJO: 10		
FORMATO	ESCALA: 1/1	UNIDADES: 1
A4	PÁGINA 9 DE 14	REV A



TÍTULO:		VARILLA DE PISTON	
NÚMERO DE DIBUJO: 11			
FORMATO	ESCALA: 1/1	UNIDADES: 1	
A4	PÁGINA 10 DE 14		REV A



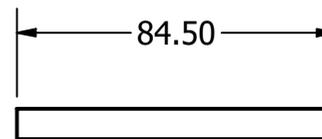
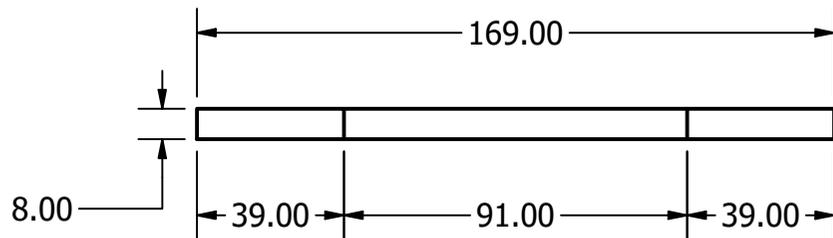
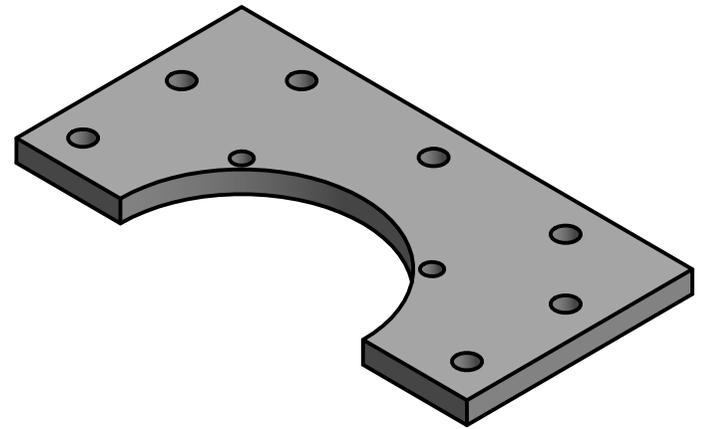
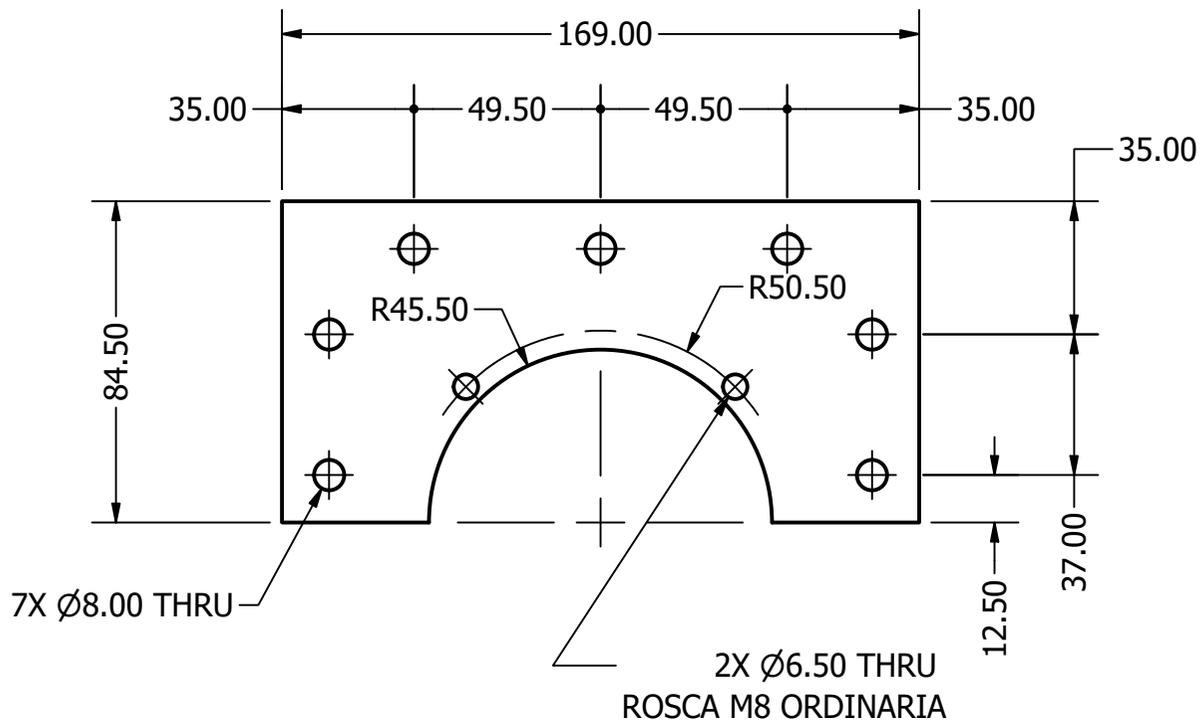
TÍTULO: PIN PARA ELEVAR EL PISTÓN		
NÚMERO DE DIBUJO: 12		
FORMATO	ESCALA: 2/1	UNIDADES: 1
A4	PÁGINA 11 DE 14	REV A



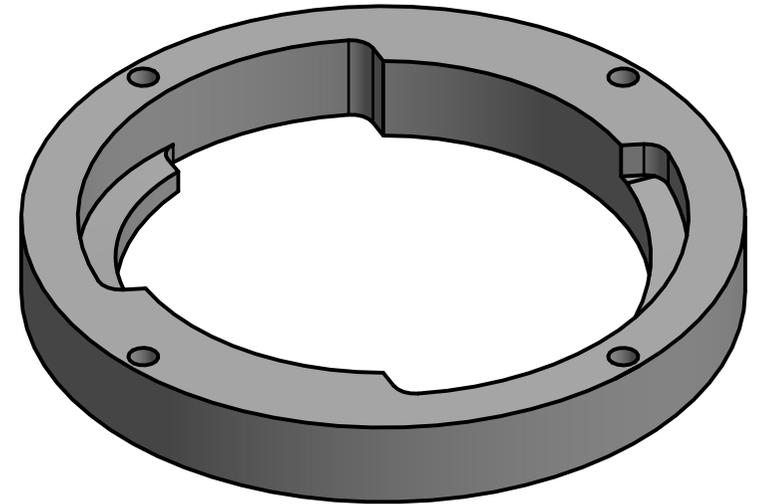
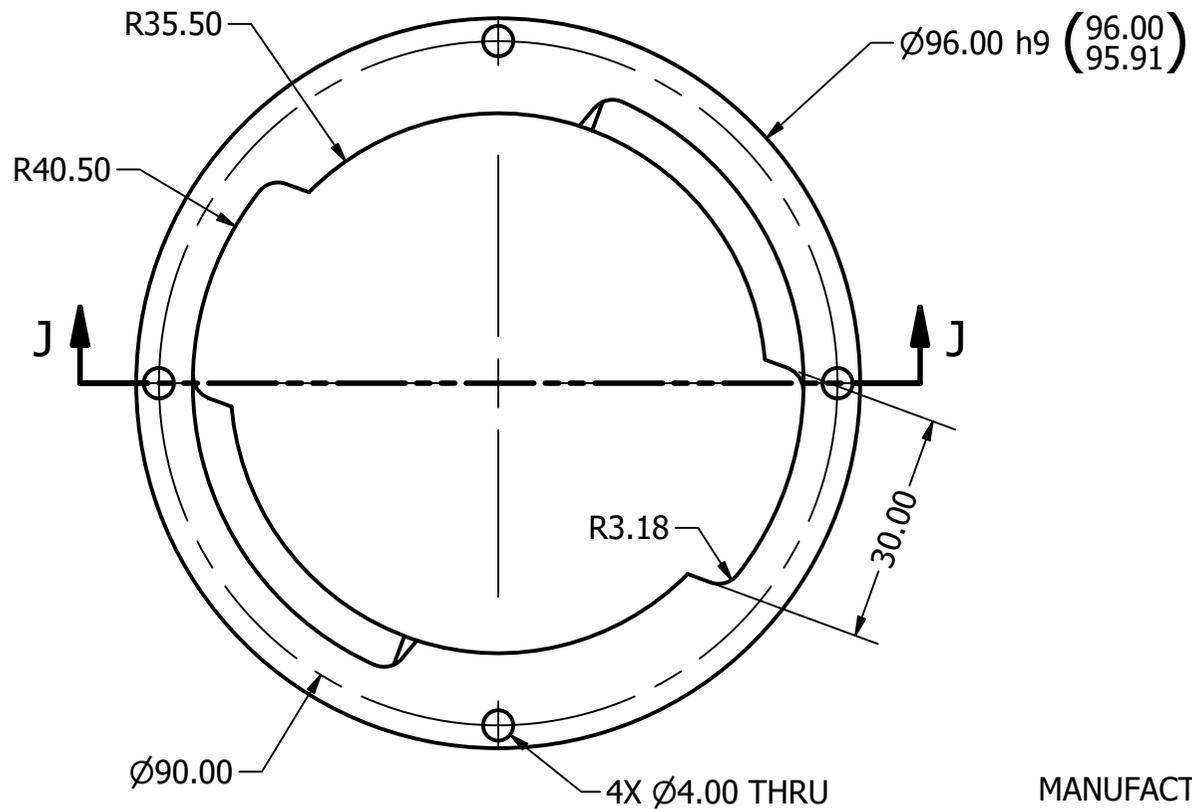
DETAIL H
SCALE 2/3

4X PERFILES CUADRADOS DE 25 MM POR 119 MM DE LARGO
 4X PERFILES CUADRADOS DE 25 MM POR 220 MM DE LARGO
 2X PERFILES CUADRADOS DE 25 MM POR 169 MM DE LARGO
 2X PERFILES CUADRADOS DE 25 MM POR 450 MM DE LARGO

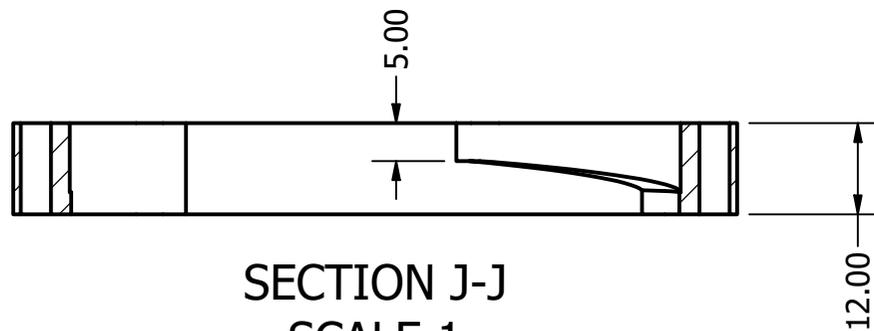
TÍTULO:		CHASIS PARA MÁQUINA	
NÚMERO DE DIBUJO: 13			
FORMATO	ESCALA: 1 / 5	UNIDADES: 1	
A4	PÁGINA 12 DE 14		REV A



TÍTULO: PIEZA DE UNION DE GRUPO Y CHASIS		
NÚMERO DE DIBUJO: 14		
FORMATO	ESCALA: 1/2	UNIDADES: 2
A4	PÁGINA 13 DE 14	REV A



MANUFACTURA EN CNC DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE



SECTION J-J
SCALE 1

TÍTULO:		GUIA DE PORTA FILTRO	
NÚMERO DE DIBUJO: 15			
FORMATO	ESCALA: 1/1	UNIDADES: 1	REV
A4	PÁGINA 14 DE 14		A