

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Diseño y Construcción del Herramental de Matricería para  
un Sistema de Conformado Mecánico por Embutición para  
la Fabricación de Latas de Aluminio con Alto Relieve**

**Proyecto Técnico**

**Alessandro Nicolás Freire Moreno**

**Ingeniería Mecánica**

Trabajo de titulación presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Mecánico

Quito, 22 de diciembre de 2017

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**  
**COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS**

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**“Diseño y Construcción del Herramental de Matricería para  
un Sistema de Conformado Mecánico por Embutición para  
la Fabricación de Latas de Aluminio con Alto Relieve”**

**Alessandro Nicolás Freire Moreno**

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Michel Vargas, PhD

Firma del profesor

---

Quito, 22 de diciembre de 2017

## Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Alessandro Nicolás Freire Moreno

Código: 00109130

Cédula de Identidad: 1803423738

Lugar y fecha: Quito, 22 de diciembre de 2017

## RESUMEN

La fabricación de latas de aluminio es un proceso de conformado mecánico que ha ido evolucionando con nuevas tecnologías y métodos que permiten una producción eficiente y muy rápida, al punto de fabricar actualmente unas 2000 latas de aluminio por minuto. Este proyecto consistió en la construcción de la matricería que permita la fabricación de latas de aluminio con el detalle de tener en alto relieve una pequeña inscripción en su pared lateral. El alto relieve provee una experiencia visual nueva y atractiva para los consumidores; y, puede ser una alternativa para prescindir de la pintura y el acabado que tiene una lata convencional. El proceso utiliza un disco de aluminio reciclado que fue cortado a las dimensiones requeridas usando tecnología de Corte por Agua. Después, se llevó el mismo hacia la matricería de embutición, donde se le dará la forma deseada. Los componentes principales de la matricería diseñada son el émbolo, los dados de embutición que darán la forma de cilindro, los anillos que tienen la función de estirar al metal para disminuir su espesor, y el mecanismo que logró el alto relieve en las paredes de la lata. El alto relieve se logró por medio de un proceso conocido como Hidroconformado, utilizando una matriz cerrada fabricada con una impresora 3D. La matricería se construyó de acuerdo con lo diseñado y brindó una ilustración del proceso de embutición en lámina de aluminio sin presentar desperfectos o daños en sus partes. La lata después de la operación tuvo el diámetro deseado de 65mm y un espesor aproximado de 0.50mm. Posterior al Hidroconformado, se pudo observar que el relieve realizado no presenta deformaciones o cortes de la lámina por la presión ejercida. De igual manera, se comprueba la correcta fabricación de la matricería.

**PALABRAS CLAVE:** Embutición, émbolo, matricería, Hidroconformado.

## ABSTRACT

The manufacture of aluminum cans is a mechanical forming process that has been evolving with new technologies and methods that allow an efficient and very fast production. Nowadays, a machine can manufacture 2000 aluminum cans per minute. This project focused on the construction of the tooling necessary to manufacture aluminum cans with the detail of having a small inscription engraved in raised letters on its side wall. This inscription provides a new and attractive visual experience for consumers; and, it can be an alternative to paint and decorate a conventional can. The process uses a recycled aluminum disc that is cut to the required dimensions using Water Cutting technology. Then, this disc is taken to the embossing die, where it will be given the desired shape. The main components of the designed tooling are: the plunger, dies that will give the cylinder shape, the rings that have the function of stretching the metal to reduce its thickness, and the mechanism that achieved the engraving in raised letters on the side wall of the can. The engraving process was achieved through a process known as hydroforming, using a closed matrix made with a 3D printer. The tooling was built according to the design and provided an illustration of the process of aluminum-sheet-drawing. The obtained can had the desired diameter of 65mm and a thickness of approximately 0.50 mm. After performing the hydroforming, it could be observed that the engraved inscription does not present deformations or cuts due to the pressure exerted. Finally, several tests were carried out to check the performance of the tooling.

**KEYWORDS:** Drawing, plunger, tooling, hydroforming.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>Introducción .....</b>	<b>12</b>
Embutición .....	13
Proceso: .....	14
Proceso General de Embutido .....	17
Enrollado y Troquelado: .....	17
Primera Embutición .....	18
Estiramiento (anillos secundarios): .....	20
Creación del Domo en la parte Inferior .....	21
Propiedades Mecánicas del Aluminio .....	23
Propiedades Físicas del Aluminio .....	25
Hidro- Conformado .....	26
<b>Motivación .....</b>	<b>27</b>
OBJETIVO GENERAL: .....	28
OBJETIVOS ESPECÍFICOS: .....	28
<b>Desarrollo del Tema .....</b>	<b>28</b>
Diseño.....	28
PARÁMETROS INICIALES .....	28
Análisis del Hidroconformado en lata de Aluminio .....	33
Equipo Propuesto para proceso de Hidroconformado .....	40
Diseño en Software CAD .....	42
Émbolo: .....	43
Anillos o matrices de Embutición: .....	44
Base Porta-Matrices:.....	44
Base Inferior o base porta-émbolo.....	45
Placa Superior o Porta-Base: .....	46
Sujetador o Prensa Chapas .....	47
Guías y Bocines: .....	48
Ensamble .....	49
Fabricación de Piezas .....	51
Corte Lámina de Aluminio .....	54
Émbolo.....	55
Anillos o Matriz de Embutición .....	58
Base Anillos.....	61

Placa Base.....	63
Placa Superior.....	66
Columnas (guías).....	67
Bocines .....	69
Ensamble .....	70
<b>Resultados.....</b>	<b>72</b>
Maquinado de Piezas.....	72
Parámetros Iniciales para la embutición.....	74
Pruebas de Embutición.....	75
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>79</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>81</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>82</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ductilidad como % de elongación. (Groover).....	24
Tabla 2: Propiedades Mecánicas del Aluminio. (U. de Cádiz) .....	25
Tabla 3: Propiedades Físicas del Aluminio: (U. de Cádiz) .....	26
Tabla 4: Propiedades Aluminio 1200-H14:.....	32
Tabla 5: Velocidades de Corte de Materiales más utilizados. (Área Mecánica).....	52
Tabla 6: Avance de Corte para materiales más utilizados (Área Mecánica):.....	53
Tabla 7: Componentes de máquina de embutición.....	72
Tabla 8: Datos para el Maquinado en Torno CN.....	73
Tabla 9: Datos de avance de corte y Tiempo de Maquinado .....	74
Tabla 10: Parámetros para Conformado Mecánico por Embutición .....	74



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Partes del Proceso de Embutido (Groover, 2012).....	15
<b>Figura 2:</b> Proceso de Deformación durante Embutido (Groover, 2012).....	16
<b>Figura 3:</b> Defectos más comunes en la Embutición (Sanz).....	17
<b>Figura 4:</b> Rodillo Lámina de Aluminio (Oviedo).....	18
<b>Figura 5:</b> Copa de Aluminio.....	19
<b>Figura 6:</b> Anillo Inicial y Sujetador de Lámina (Hammack, 2015) .....	20
<b>Figura 7:</b> Estiramiento del metal con anillo secundario (Hammack, 2015).....	21
<b>Figura 8:</b> Matriz convexa y émbolo cóncavo para domo Inferior (Hammack).....	22
<b>Figura 9:</b> Formación del domo inferior de la lata de aluminio (Hammack) .....	22
<b>Figura 10:</b> Curva Esfuerzo-Deformación (Marmolejo) .....	24
<b>Figura 11:</b> Proceso de Hidro Conformado en un tubo (García, M).....	27
<b>Figura 12:</b> Tipos de Embutición (Rivero) .....	30
<b>Figura 13:</b> Coordenadas y diagrama de esfuerzos (García, 2008) .....	34
<b>Figura 14:</b> Estado de Esfuerzos radial y axial (García, 2008).....	38
<b>Figura 15:</b> Molde con Matriz para Hidroconformado .....	41
<b>Figura 16:</b> Matriz de Letras .....	41
<b>Figura 17:</b> Componentes y uniones para Hidroconformado. ....	42
<b>Figura 18:</b> Émbolo de Embutición .....	43
<b>Figura 19:</b> Anillo o matriz de Embutición .....	44
<b>Figura 20:</b> Base Porta-Matrices.....	45
<b>Figura 21:</b> Placa Inferior, Porta-Émbolos .....	46
<b>Figura 22:</b> Placa Inferior Porta-Base.....	47
<b>Figura 23:</b> Sujetador o Prensa Chapas.....	48
<b>Figura 24:</b> Ejes (Guías y Bocines).....	49

	10
<b>Figura 25:</b> Sub-Ensamble, placa Porta émbolo y Prensa Chapa .....	50
<b>Figura 26:</b> Sub-Ensamble, Base Resorte y Guías.....	50
<b>Figura 27:</b> Ensamble Final en Inventor Professional .....	51
<b>Figura 28:</b> Corte por chorro de agua .....	55
<b>Figura 29:</b> Broca de Centros y Contra-Puntos .....	57
<b>Figura 30:</b> Partes del Maquinado en Torno .....	57
<b>Figura 31:</b> Émbolo Terminado .....	58
<b>Figura 32:</b> Pieza Redonda (anillo en torno) .....	59
<b>Figura 33:</b> Cuchilla de Widia para Interiores (Montec) .....	60
<b>Figura 34:</b> Anillo o Matriz Maquinada .....	60
<b>Figura 35:</b> Medición de diámetro interno de anillo de Embutición .....	61
<b>Figura 36:</b> Cilindrado de Base Porta-Matrices .....	62
<b>Figura 37:</b> Maquinado de Diámetro Interior .....	62
<b>Figura 38:</b> Perforación de Agujeros para Prisioneros .....	63
<b>Figura 39:</b> Rectificación de Placas en Rectificadora Mecánica .....	64
<b>Figura 40:</b> Rectificación de lados de las Placas .....	64
<b>Figura 41:</b> Perforaciones para Guías Iniciales.....	65
<b>Figura 42:</b> Agujeros para Columnas de Guías .....	65
<b>Figura 43:</b> Torneado de Ranura Central .....	66
<b>Figura 44:</b> Perforaciones para Sujeción de Émbolos .....	67
<b>Figura 45:</b> Maquinado de Guías .....	68
<b>Figura 46:</b> Base de Eje (Cambio de Sección).....	68
<b>Figura 47:</b> Maquinado de Bocín.....	69
<b>Figura 48:</b> Maquinado de Bocín.....	70
<b>Figura 49:</b> Ensamble Placa Inferior Porta-Émbolo .....	70

<b>Figura 50:</b> Ensamble Placa Inferior Porta-Émbolo .....	71
<b>Figura 51:</b> Ensamble Placa Superior Porta-Matrices .....	71
<b>Figura 52:</b> Ondulaciones en Lámina de Aluminio .....	76
<b>Figura 53:</b> Inicio de Embutición y creación de Ondulaciones .....	76
<b>Figura 54:</b> Lámina de Prueba con Sujetador .....	77
<b>Figura 55:</b> Copa embutida.....	78

## INTRODUCCIÓN

Los avances científicos y tecnológicos han sido una constante a través de los tiempos: “En la primera mitad del siglo XX, los desarrollos sociales y económicos demandaban mayores tecnologías para mantener la demanda global de consumo de alimentos” (Gutiérrez, 2012). Los alimentos necesitaban ser transportados sin perder sus propiedades nutritivas, por lo que la creación de un recipiente era extremadamente necesario. El primer envase se fabricó de Lata de Hojalata que era sellado a presión. Este envase permitía el traslado de los alimentos sin perecer, además era muy resistente a golpes y era muy ligero. Después se empezó a fabricar las latas para guardar refrescos. Sin embargo, no se tuvo mucha acogida debido a la alteración del sabor que producía esta lata de hojalata. Se crearon métodos para lograr una lata que sea fácil de fabricar y de bajo costo. El proceso que permitió crear la lata para refresco, se lo conoce como embutición y aún se usa en la actualidad. “El embutido es una operación de formado de láminas metálicas que se usa para hacer piezas de forma acopada, de caja y otras formas huecas más complejas” (Groover, 2012).

El material base para la fabricación de las latas es el Aluminio. Este material por sus propiedades mecánicas y características permite que el proceso de fabricación sea rápido y eficiente. El aluminio es dúctil, liviano, tiene resistencia a la corrosión y es fácil de maquinarlo; es el principal material para la fabricación de las latas de refresco. Las grandes compañías que fabrican este producto son Mega industrias que pueden llegar a fabricar 2000 latas de aluminio por minuto y casi 900 000 latas en un día de trabajo. En Ecuador, Cervecería Nacional tiene un promedio de fabricación de 40 000 latas de aluminio por hora, a pesar de haber implementado esta área hace poco tiempo. (Diario El Universo, 2015).

En el año 2009, la famosa compañía de cervezas Heineken lanzó al mercado la primera lata de aluminio con relieve con los tradicionales emblemas de Heineken. “El relieve ofrece una experiencia única e impactante al tacto” (Grupo Control Publicidad, 2009). Heineken utilizó la técnica de Relieve con tinta (Ink Relief), que consiste en lograr el relieve utilizando tinta especial que se adhiere al metal y logra la estructura deseada.

Por otro lado, el estudio de diseño “Ryan Harc”, con los diseñadores Harc Lee y Ryan Yoon, propuso el proyecto “COLORLESS Eco-Friendly Package” que tiene como objetivo crear la lata con un logo de relieve que sustituya la lata totalmente impresa. “Este envase desnudo puede ayudar en la reducción de contaminación de aire y agua que ocurre durante los procesos de incorporación de color. También, reduce el esfuerzo y la energía necesaria para la separación de las tintas y el aluminio durante el proceso de reciclaje” (Urbina, 2009).

No obstante, en la actualidad no se ha observado una producción de latas con relieve que tengan en su contorno el nombre de la empresa fabricante o de alguna figura; siendo esta alternativa una opción innovadora en el mercado y una experiencia háptica. (I-mas, 2014). Las latas de aluminio son un producto esencial para la distribución de los refrescos y alimentos de diferentes marcas, por sus características y funcionalidad que presentan. De igual manera, el proceso de embutición se caracteriza por ser un trabajo en láminas metálicas y hay que tomar en cuenta los factores necesarios y aquellos que puedan afectar al producto terminado.

## **Embutición**

La embutición para la elaboración de latas de aluminio es un proceso de fabricación también conocido como conformado por deformación plástica. Como su

nombre lo explica, este proceso consiste en la obtención de formas complejas bajo la acción de fuerzas externas que superan el límite elástico del material. En función de la deformación producida, la embutición es un conformado de chapa metálica. “En el conformado de chapa el cambio de forma de mayor magnitud se produce en las dos dimensiones del plano de la chapa” (Sanz, A.).

El material escogido para este proceso es una aleación de aluminio, el cual es un metal no ferroso que como principal propiedad tiene su alta ductilidad, lo que permite que se deforme fácilmente adoptando la forma a la cual se le somete. El aluminio base que se utiliza para la fabricación de latas de bebida consiste en su mayoría de aluminio, pero también contiene pequeños porcentajes de otros metales, “... los más comunes con sus porcentajes son: 1% de Manganeso, 0.4% hierro, 0.2% silicio y 0.15% de cobre.” (Woodward)

Las latas de aluminio en la actualidad pueden llegar a pesar aproximadamente 15 gramos, no obstante, puede soportar presiones superiores a las 90 libras por pulgada cuadrada ejercidas por el dióxido de carbono de las bebidas y cervezas.

### **Proceso:**

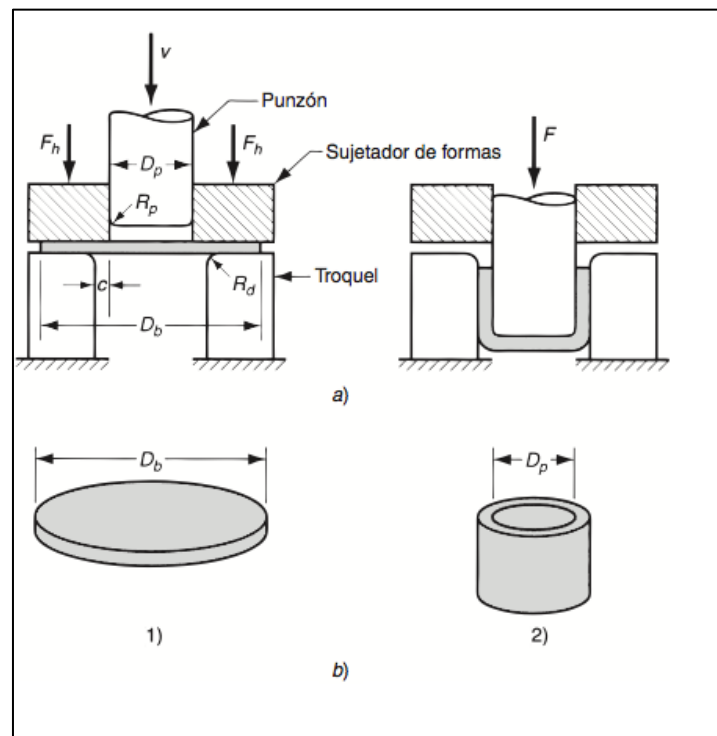
En este proceso se consiguen formas más complejas y profundas, la lámina se acopla y toma la forma de la matriz y el émbolo. También, se puede realizar varias repeticiones del embutido en diferentes etapas siempre y cuando el material no se fracture o se produzca un arrugamiento.

Las partes fundamentales para realizar una embutición son:

- Disco o lámina metálica
- Troquel

- Émbolo
- Sujetador o prensa chapa de disco
- Brazo Hidráulico

Estas partes se ilustran de mejor manera en la Figura 1.

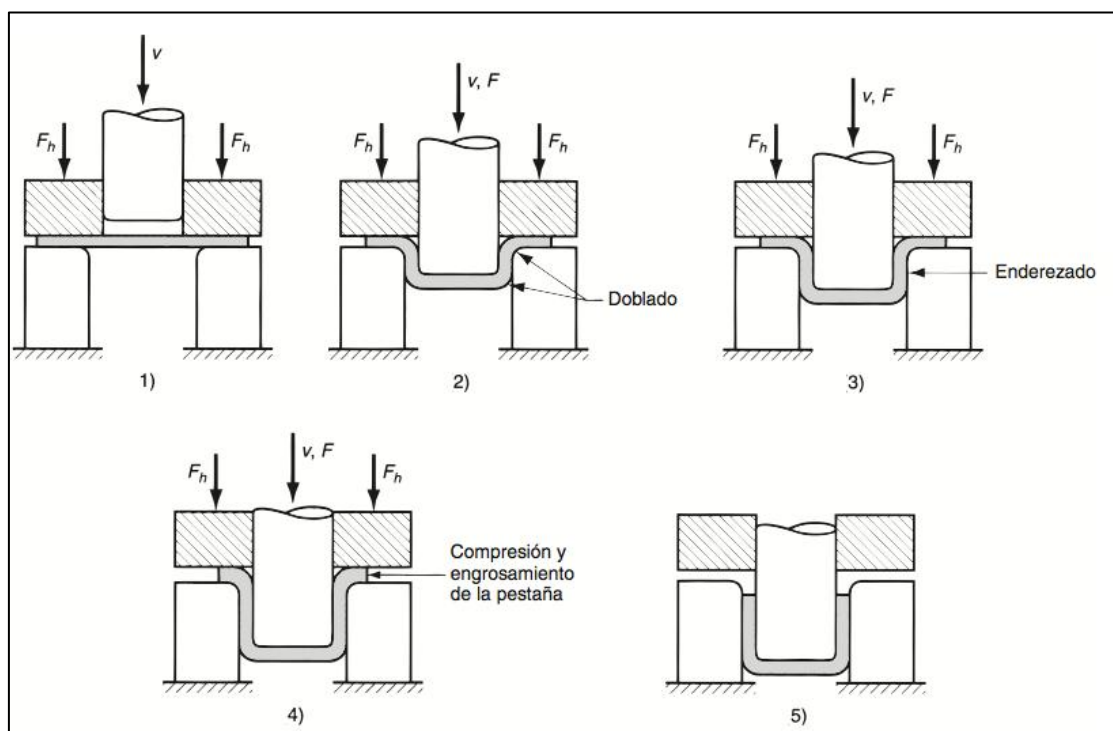


**Figura 1:** Partes del Proceso de Embutido (Groover, 2012)

La embutición es una operación de conformado de láminas que experimenta esfuerzos y deformaciones conforme va tomando la forma definida. Desde el momento que se aplica una fuerza al émbolo, la lámina de aluminio empieza a sentir una deformación que se puede dividir en cuatro etapas: doblado, enderezado, compresión y adelgazamiento. Estos pasos se aprecian en la Figura 2.

Cuando la fuerza empieza a empujar la lámina hacia abajo, las esquinas sobre el émbolo y el contorno del anillo empiezan a sentir un *doblado* (2) y el perímetro exterior se mueve ligeramente hacia el centro. El émbolo avanza a una velocidad constante y la lámina se desliza entre las paredes de la matriz o anillo principal, este paso se conoce como *enderezado del metal* (3). Este enderezamiento de la lámina permite que el material se mueva hacia abajo junto con el émbolo y pueda embutirse dentro y formar la pared del cilindro.

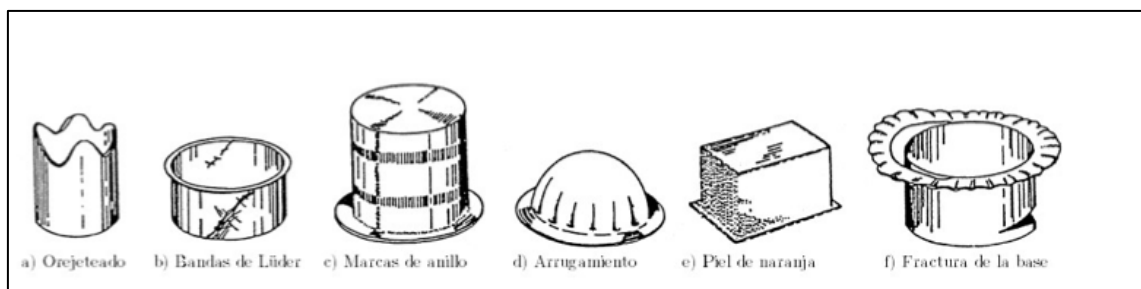
Conforme el émbolo sigue su trayecto arrastrando la lámina, los bordes exteriores de la forma original tiene que superar la fricción y *compresión* (4) causada por la fuerza de sujeción que es aplicada en el pisador de la pieza. Durante esta etapa el borde exterior se comprime y su perímetro disminuye a medida que la pieza viaja hacia el centro.



**Figura 2:** Proceso de Deformación durante Embutido (Groover, 2012)



En el conformado de chapa y en la elaboración de las latas, el fallo más común que se puede presentar es la fractura dúctil (tearing). “Existe una ruptura del material o separación como consecuencia de la aparición, crecimiento y coalescencia de huecos en los planos de máxima tensión tangencial” (Sanz, 2016). La embutición por ser un proceso muy exigido es propensa a sufrir fallos o fracturas; las más comunes se presentan en la siguiente figura.



**Figura 3: Defectos más comunes en la Embutición (Sanz)**

## Proceso General de Embutido

### Enrollado y Troquelado:

Generalmente para el proceso de embutición la lámina de Aluminio se encuentra enrollada en rodillos que permiten el desplazamiento uniforme de la lámina como se muestra en la Figura 4. Este rodillo permite el avance de la lámina para que se dirija hacia la máquina de troquelación para realizar los cortes circulares.



**Figura 4: Rodillo Lámina de Aluminio (Oviedo)**

El objetivo de la máquina de troquelación es cortar pedazos en forma de disco, estos discos son de 15 a 20 [mm] de diámetro y tienen un espesor aproximado de 2 a 4 [mm] para que permita un adecuado espesor final de las paredes. Estas dimensiones se calculan para que el producto final tenga un tamaño y forma adecuada.

#### **Primera Embutición.**

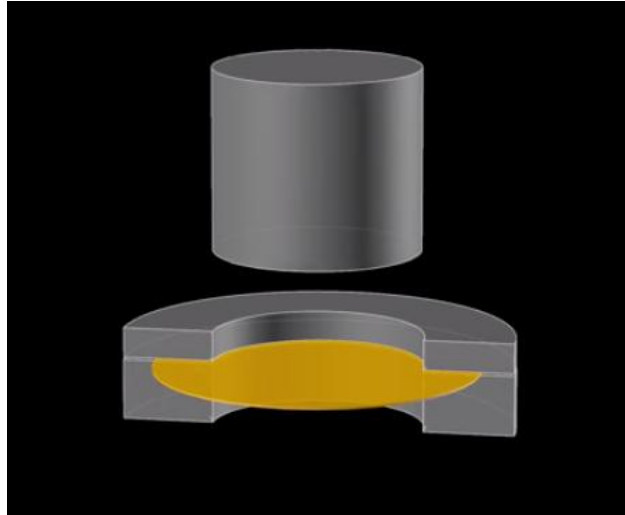
El objetivo del émbolo es empujar el disco para que este pase por los dados que trabajan como troqueles; estos troqueles tienen la forma de anillos de diferentes diámetros con la finalidad de estirar el metal hasta conseguir la lata en una sola pieza.

Para lograr empujar y realizar la embutición se necesita de una presión, la cual será ejercida por el émbolo mediante la prensa hidráulica. Primero con la prensa se realiza la embutición de la copa que presenta un diámetro mayor al del envase final.



**Figura 5: Copa de Aluminio**

En la Figura 6 se observa el anillo de embutición inicial, y el sujetador de anillo, el cual tiene la función de sujetar el disco sobre el anillo inicial para que el golpe del émbolo sea uniforme y que permite una fluidez correcta de la lámina de aluminio. Por lo general, el anillo inicial tiene un diámetro interior de 85 a 88 mm, que será el diámetro del cuerpo de la copa inicial. Es recomendable que este anillo tenga un espesor de 3 cm o más para que no sufra una deformación al momento de ejercer la presión sobre la lámina. Las dimensiones del sujetador o prensa chapas deben ser casi igual a las dimensiones del anillo; su diámetro interior debe variar aproximadamente 5 décimas por lado. Para que el estiramiento pueda realizarse sin rotura o deformación del material se debe lubricar todo el sistema.

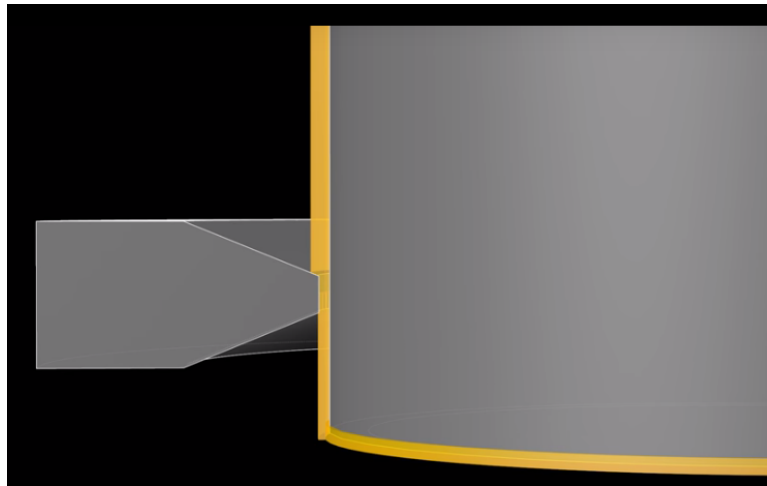


**Figura 6:** Anillo Inicial y Sujetador de Lámina (Hammack, 2015)

#### **Estiramiento (anillos secundarios):**

El proceso continúa sobre los siguientes anillos que están elaborados con un menor diámetro y un biselado interior para dar la forma de la parte inferior a la lata. Esta forma de los anillos secundarios sirve también para mejorar el estiramiento de las paredes de la lata.

El diámetro final de la lata oscila entre los 60 y 66 [mm] de diámetro, y con un espesor aproximado de 0.25 [mm] dependiendo del fabricante. Estos anillos secundarios son los encargados de alargar al aluminio mediante la caída del émbolo, este estiramiento de las paredes se puede observar en la Figura 7, en donde la lata de aluminio está representada con color amarillo.



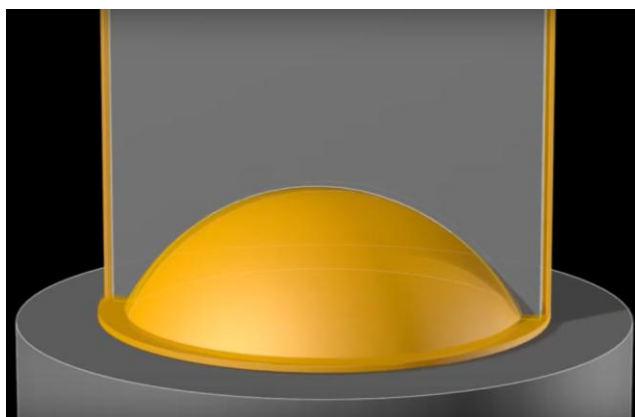
**Figura 7:** Estiramiento del metal con anillo secundario (Hammack, 2015)

### **Creación del Domo en la parte Inferior**

Después de la fase de estiramiento se realiza la zona inferior que es conocida como “Domo”. Para lograr que se forme este domo, se necesita de una matriz convexa (Figura 8), que de la forma que se desee. Así como se necesita de una matriz, se debe fabricar un émbolo en forma cóncavo para que permite que la parte inferior de la lata adopte la forma de la matriz. Este domo mantiene el espesor de la lata, pero su diámetro es menor que del contorno de la lata, por las fases del proceso.



**Figura 8:** Matriz convexa y émbolo cóncavo para domo Inferior (Hammack)



**Figura 9:** Formación del domo inferior de la lata de aluminio (Hammack)

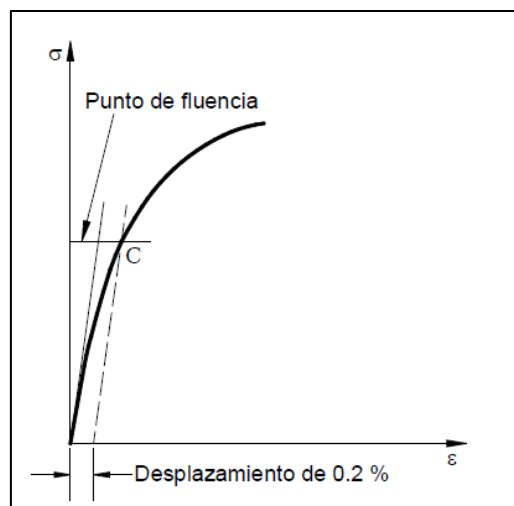
Posterior al paso de los anillos, mediante el émbolo, se debe verificar que la lata se formó correctamente y que tiene las medidas necesarias. El espesor de la lata se puede medir un micrómetro que es un instrumento de medición muy preciso, y la altura de la lata puede ser medida con un calibrador o cinta métrica. Estos instrumentos de medición deben estar calibrados y en buen uso para poder utilizarlos.

## Propiedades Mecánicas del Aluminio

Las propiedades mecánicas de los materiales es un factor esencial y primordial en el diseño y construcción de cualquier máquina, artefacto o herramienta que necesitemos. “De ellas depende el adecuado desempeño estructural, sin embargo, estas propiedades dependen a su vez de los componentes que contenga el material” (Marmolejo, C. 2014).

En el caso el aluminio las aleaciones se pueden dividir en dos grupos: las aleaciones forjadas y las aleaciones fundidas. En el caso de las aleaciones forjadas son moldeadas por medio de golpes dentro de una cavidad, y las aleaciones fundidas son vaciadas en un molde para obtener una forma deseada.

Los materiales están sujetos a tres esfuerzos principales, tensión, compresión y cortante. “Los esfuerzos de tensión tienden a estirar al material, las de compresión a compactarlo, y las cortantes comprenden tensiones que tienden a ocasionar que porciones adyacentes del material se deslicen una respecto a la otra.” (Groover, 2013). Para representar estos tres esfuerzos se utiliza la curva Esfuerzo-Deformación que es la relación que describe las propiedades mecánicas de estos esfuerzos. (Figura 10). A diferencia de algunos metales, el aluminio tiene un esfuerzo de fluencia que no se encuentra bien definido en la curva, debido a que su parte elástica no es lineal. Para estos casos de la curva se utiliza el *método del desplazamiento*, que “consiste en trazar una línea o recta paralela a la pendiente de la gráfica a partir de un valor de deformación unitaria de 0.001, 0.002, 0.003 in / in. que representará 0.1%, 0.2%, 0.3% de deformación unitaria, el valor más usual es el 0.2%”. (Ramírez, D).



**Figura 10: Curva Esfuerzo-Deformación (Marmolejo)**

Para la fabricación de latas de aluminio es muy importante conocer que propiedades tiene el material, de eso depende la fuerza, velocidad y materiales a utilizarse. El aluminio tiene propiedades mecánicas que son fundamentales para lograr una embutición, la más importante es su Ductilidad. “La ductilidad es la capacidad que tiene un material para deformarse plásticamente sin sufrir una fractura. Esta medición se toma ya sea como elongación o como reducción del área” (Groover, 2012).

**Tabla 1: Ductilidad como % de elongación. (Groover)**

Material	Elongación	Material	Elongación
<b>Metales</b>		<b>Metales, continuación</b>	
Aluminio recocido	40%	Acero, bajo C <sup>a</sup>	30%
Aluminio, trabajado en frío	8%	Acero, alto C <sup>a</sup>	10%
Aleaciones de aluminio, templadas <sup>a</sup>	20%	Acero, aleación <sup>a</sup>	20%
Aleaciones de aluminio, tratadas con calor <sup>a</sup>	8%	Acero, inoxidable, austenítico <sup>a</sup>	55%
Aleaciones de aluminio, fundidas <sup>a</sup>	4%	Titanio, casi puro	20%
Hierro colado, gris <sup>a</sup>	0.6%	Aleación de zinc	10%
Cobre, templado	45%	<b>Cerámicas</b>	0 <sup>b</sup>
Cobre, trabajado en frío	10%	<b>Polímeros</b>	
Aleación de cobre: latón, templado	60%	Polímeros termoplásticos	100%
Aleaciones de magnesio <sup>a</sup>	10%	Polímeros termoestables	1%
Níquel, templado	45%	Elastómeros (por ejemplo, caucho)	1% <sup>c</sup>



Como se puede observar en la Tabla 1 el aluminio tiene un porcentaje alto de elongación, dependiendo de sus aleaciones varía de un 10% a un 40%.

En la Tabla 2 podemos observar un resumen de las principales propiedades del Aluminio:

**Tabla 2:** Propiedades Mecánicas del Aluminio. (U. de Cádiz)

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad	2.6989	[g/cm]
Módulo de Young	66.6	[GPa o Kn-m-1]
Resistencia a la Tracción	230-570	[MPa]
Límite Elástico	215-505	[MPa]
% Elongación	10-25	%
Módulo de Poisson	0.35	-
T° de Fusión	660	°C

### Propiedades Físicas del Aluminio

Las propiedades físicas más destacables del aluminio y sus aleaciones son: poco peso, buena resistencia a la corrosión, y conductividad elevada, tanto térmica como eléctrica. En la tabla 3 se presenta un resumen de las propiedades físicas más

características del aluminio puro. Evidentemente, algunas de estas propiedades varían según el contenido en impurezas. Algunas de las propiedades más importantes son:

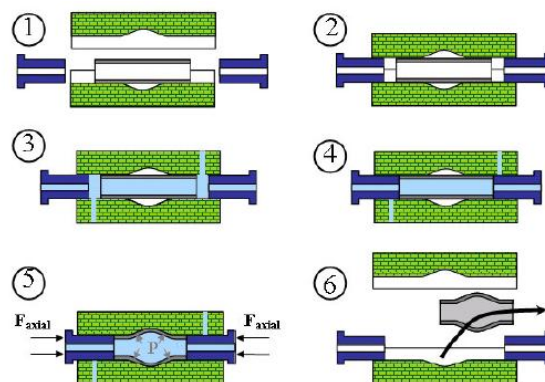
Tabla 3: Propiedades Físicas del Aluminio: (U. de Cádiz)

Propiedades	Valor
Color	Blanco-plata
Estructura cristalográfica	Cúbica centrada en las caras
Parámetro reticular a (25°C)	0.40414 nm
Densidad a 20°C	2.699 g/cc
Cambio volumétrico durante la solidificación	6,7%
Calor de combustión	200Kcal/at-gr
Punto de fusión	660,2°C
Punto de ebullición	2057°C / 2480°C
Calor específico (20°C)	930 J
Coefficiente lineal de expansión térmico $\times 10^6$	23,0 (20-100°C)
Conductividad térmica a 0°C	0,50 cal/s/cm <sup>2</sup> /cm/°C
Conductividad térmica a 100°C	0,51 cal/s/cm <sup>2</sup> /cm/°C
Resistividad eléctrica a 20°C	2,69 $\mu\Omega$ cm
Susceptibilidad magnética 18°C $\times 10^6$	0,63

## Hidro- Conformado

El Hidroconformado es un proceso de conformado mecánico que utiliza la presión de un fluido para ser aplicada al material base, y este se forme en un componente nuevo. Básicamente este proceso es aplicado en lámina y tubos de metales dúctiles. Este proceso de Hidroconformado es utilizado en varias industrias de manufactura. “Gran parte de la importancia del proceso de Hidroconformado es porque proporciona mejores resultados en las piezas: mayor resistencia mecánica, reducción de peso, menor costo, entre otros.” (García, 16)

El hidro conformado depende de la forma de la pieza final a la que queremos llegar, en la siguiente Figura se describe el proceso tradicional del Hidroconformado para la operación en un tubo.



**Figura 11: Proceso de Hidro-Conformado en un tubo (García, M)**

- 1) El tubo es colocado dentro de los troqueles o matriz.
- 2) Existen prensas (color azul) que cierran al troquel con el tubo con una fuerza de sujeción.
- 3) Se llena la cavidad del tubo con el fluido a utilizarse, con una presión inicial.
- 4) Las prensas proporcionan una carga axial a los troqueles.
- 5) Se aplica la presión interna del fluido y la prensa aplica una fuerza sobre los troqueles para que el tubo se deforme y adopte la forma de la matriz.
- 6) Finalmente se abre todo el sistema para que el tubo salga ya con la forma de los troqueles.

### **Motivación**

La motivación principal es identificar y analizar el diseño para la fabricación de un prototipo que demuestre el proceso mecánico por Embutición; así como los parámetros y herramientas necesarias.

En este trabajo de titulación se fabricará matricería que permita la fabricación de latas de aluminio con alto relieve en su contorno. Con este instrumental se fabricará una

lata de aluminio que alcance una altura aproximada de 40 mm con un diámetro de 65 mm.

### **OBJETIVO GENERAL:**

Diseñar y construir el herramental de matricería para un prototipo que permita ilustrar el proceso de conformado mecánico por Embutición en metales.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Diseñar y construir las herramientas de embutición que permitan moldear al aluminio en forma de lata. Aplicar los conocimientos adquiridos y la tecnología para demostrar el proceso de embutición en la Manufactura Industrial.
- Realizar el alto relieve sobre las paredes de la lata de aluminio aplicando el proceso de Hidroconformado.

## **DESARROLLO DEL TEMA**

### **Diseño**

#### **PARÁMETROS INICIALES**

En la embutición los factores y cálculos son esenciales para que nuestra pieza salga sin deformaciones. El primer cálculo que debemos realizar es definir el diámetro del disco inicial al cual le vamos aplicar la embutición. Para lograr este cálculo debemos

tener una idea de la embutición final a la cuál queremos llegar; necesitamos tener un diámetro de la lata y la altura aproximada. Con estos datos podemos encontrar el área total del envase, que es la suma del área del círculo de fondo más el cilindro de las paredes laterales, y así definir una relación entre las dos áreas y obtener un resultado que será la superficie del disco inicial.

Para calcular el diámetro se necesita calcular la dimensión superficial que consta de la superficie del fondo más el contorno y el área del disco tiene que ser igual a la de la pieza final. Con la ecuación (3) y (4) se puede encontrar el diámetro inicial que se necesita para realizar la embutición.

$$Area_{cilindro} = \frac{\pi * d^2}{4} + \pi * d * h \text{ (Rivero)} \quad (1)$$

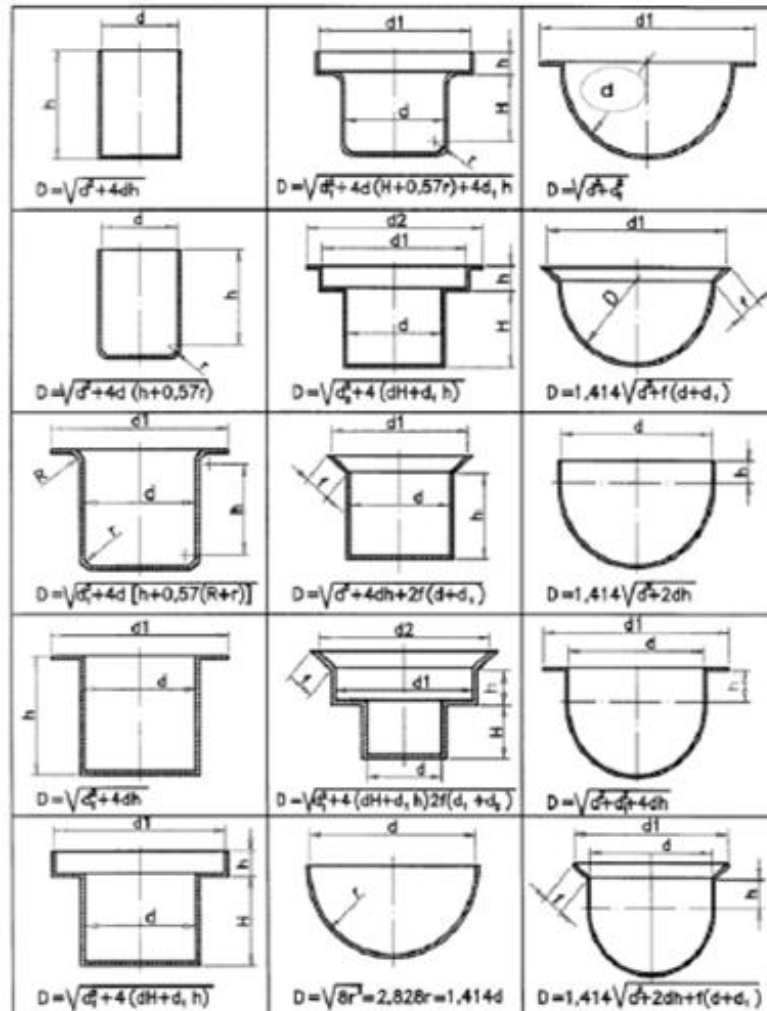
$$Area_{Disco} = \frac{\pi * D_o^2}{4} \text{ (Rivero)} \quad (2)$$

Combinando las ecuaciones (1) y (2) se encuentra el diámetro inicial del disco:

$$D_o = \sqrt{d^2 + 4 * d * h} \quad (3)$$

$$D_o = \sqrt{d^2 + 4 * d * (h + 0.57 * r)} \quad (4)$$

De igual manera existen tablas donde se encuentra la forma de la embutición con una fórmula para calcular el diámetro inicial. En la figura 12 podemos observar los diferentes tipos de embutición:



**Figura 12: Tipos de Embutición (Rivero)**

El parámetro que define el tipo de embutición y las cualidades iniciales se conoce como factor de reducción “R” y está definido por la ecuación (5).

$$R = \frac{D_o - D_p}{D_o} \quad (5)$$

En donde:

$D_o$  = diámetro de Disco inicial

$D_p$  = diámetro del émbolo

Se compara con las siguientes normas, que son sólo referenciales:

$R < 0.4$ : Embutición Fácil – Una sola fase sin sujetador.

$R > 0.4$ : Embutición Media – Una fase con sujetador

$R > 0.6$ : Embutición Difícil – Varias fases y con sujetador

El émbolo y el anillo principal de embutición deben tener un radio, el émbolo en sus esquinas y el anillo en su contorno interior. Si no se tiene estos radios se realizará una operación de perforado de un agujero en la lámina en lugar de una operación de embutición. De la misma manera, se debe tener una holgura entre la matriz y el émbolo que es aproximadamente 10% mayor que el espesor del material en embutido: (Groover, pág: 307).

$$c = 1.1 * t \quad (6)$$

Otro factor muy importante que considerar es la *relación de embutido*  $DR$ . Este es un indicativo de la severidad de la operación de embutido, el valor límite es de 2.0 para que esta relación de embutido no sea tan severa.

$$DR = \frac{D_o}{D_p} \quad (7)$$

El tercer factor importante para determinar si la embutición es factible es la *relación de espesor al diámetro*. Esta relación indica que mientras decrece el valor, la

tendencia al arrugamiento aumento. Tiene que tener un porcentaje mayor al **1%**. Su fórmula es la siguiente:

$$\frac{t}{D_o} > 1\% \quad (8)$$

Para continuar con el cálculo de los factores esenciales de la embutición debemos conocer las propiedades del aluminio a embutir. En la tabla 4 se presentan las propiedades mecánicas del Aluminio 1200 H-14 que se utilizará para embutir:

Tabla 4: Propiedades Aluminio 1200-H14:

	Esfuerzo de Tensión (Rm) [MPa]	Límite Elástico Rp 0.2 [MPa]	Alargamiento [%]	Dureza Brinell HB
Aluminio 1200 H-14	125 – 155	95 – 115	20	37

La *fuerza de embutido* es la carga que se acciona en la lámina por medio del émbolo y que se dirige hacia la matriz. Esta fuerza puede ser calculada con la siguiente expresión:

$$F = \pi * D_p * t * TS \left( \frac{D_o}{D_p} - 0.7 \right) \quad (9)$$

En donde:

F = Fuerza de Embutido [N (lb)]

T = Espesor de la lámina original [mm, (in)]



TS = Resistencia a la tensión [MPa]

La constante 0.7 es un factor de corrección para la fricción.

Otro parámetro de suma importancia es la fuerza de sujeción, que es aplicada por el prensa chapa o sujetador, hacia la lámina de aluminio. “Este valor se multiplica por la porción del área de la forma inicial” (Groover, 456). Su expresión es la siguiente:

$$F = 0.015\{ D_o^2 - (dp + 2.2 * t + 2Rd)^2\} \quad (10)$$

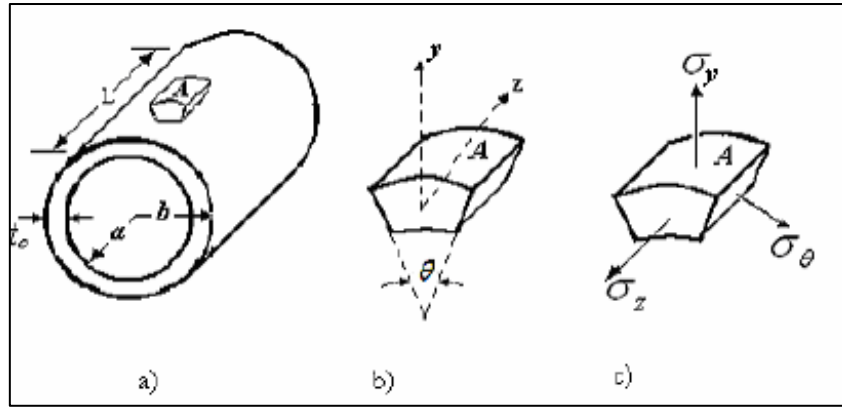
En donde:

Y = Resistencia a la fluencia de la lámina de metal [MPa]

Rd = Radio de la esquina del troquel [mm, (in)]

### **Análisis del Hidroconformado en lata de Aluminio.**

El análisis consiste en comparar el estado de esfuerzo – deformación del diámetro medio de la lata de aluminio, la cual puede ser analizada como un tubo de espesor mínimo. Las condiciones iniciales para el análisis son: deformación tangencial es cero, la comparación se realizó en un punto (punto A, Figura 13), y el diámetro medio del tubo o de la lata no cambia de manera significativa. En la Figura 13, se presenta el punto de comparación y las coordenadas cilíndricas para el análisis.



**Figura 13: Coordenadas y diagrama de esfuerzos (García, 2008)**

Como se puede observar en la Figura 13, el tubo tiene un radio interior “a”, radio exterior “b” y el espesor inicial “ $t_0$ ”. Los esfuerzos mostrados en la Figura 13. c) los declaramos como:

$$\sigma_y = \text{Esfuerzo Radial}$$

$$\sigma_\theta = \text{Esfuerzo Tangencial}$$

$$\sigma_z = \text{Esfuerzo Axial}$$

El análisis realizado por Ahmed y Hashmi en 1997, se basa en la suposición que el diámetro no cambia de manera significativa, es decir la deformación tangencial es 0.

$$\varepsilon_\theta = 0 \quad (11)$$

Aplicando las ecuaciones para la deformación plana y con la suposición anterior, el volumen constante es:

$$\varepsilon_y = -\varepsilon_z \quad (12)$$

Del criterio de Von Mises, para esfuerzos principales:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

Se sustituye estos esfuerzos principales por los esfuerzos descritos anteriormente y se obtiene:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_y - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_y)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

Al esfuerzo tangencial normal se expresa de la siguiente manera:

$$\sigma_\theta = \frac{1}{2}(\sigma_y + \sigma_z) \quad (15)$$

Se combina la ecuación (15) en la ecuación (14), y se obtiene el siguiente esfuerzo:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ \left( \sigma_y - \frac{1}{2}(\sigma_y + \sigma_z) \right)^2 + \left( \frac{1}{2}(\sigma_y + \sigma_z) - \sigma_z \right)^2 + (\sigma_z - \sigma_y)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

Resolviendo y simplificando la ecuación (16):

$$\bar{\sigma} = \frac{\sqrt{3}}{2}(\sigma_y - \sigma_z) \quad (15)$$

Para conocer el esfuerzo en el punto de fluencia tenemos que:

$$\bar{\sigma} = \sigma_{yp} \quad (16)$$

De esa manera, la ecuación (17) se convierte en:

$$\frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_{yp} = (\sigma_y - \sigma_z) \quad (17)$$

A la ecuación (15) se puede describir así:

$$\sigma_y - \sigma_\theta = \frac{1}{2}(\sigma_y - \sigma_z) \quad (8)$$

Se sustituye la ecuación (19) en la ecuación (20) y se obtiene:

$$\sigma_y - \sigma_\theta = \frac{\sigma_{yp}}{\sqrt{3}} \quad (9)$$

Según Ahmed y Hashmi para un elemento dentro de la zona de deformación, el equilibrio de fuerzas en la dirección radial es dada por:

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\sigma_y - \sigma_\theta}{y} = -\frac{2 \mu k}{x} \quad (10)$$

En donde:

$\mu = \text{factor de fricción}$

$k = \text{esfuerzo de corte}$

Reemplazamos la ecuación (21) en la ecuación (22):

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\sigma_{yp}}{\sqrt{3} y} = -\frac{2 \mu k}{x} \quad (11)$$

Del criterio de Von Mises se sabe que:

$$\sigma_{yp} = \sqrt{3}k \quad (12)$$

Despejamos “k” y la ecuación (23) queda de la siguiente manera:

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\sigma_{yp}}{\sqrt{3} y} = -\frac{2 \mu \sigma_{yp}}{\sqrt{3} x} \quad (25)$$

reordenamos la ecuación (25):

$$\partial \sigma_y = -\frac{\sigma_{yp}}{\sqrt{3} y} - \frac{2 \mu \sigma_{yp}}{\sqrt{3} x} \partial y \quad (13)$$

Integramos la ecuación (62) y se obtiene:

$$\sigma_y = -\frac{\sigma_{yp}}{\sqrt{3}} \ln(y) - \frac{2 \mu \sigma_{yp}}{\sqrt{3} x} y + C \quad (14)$$

Se aplica las siguientes condiciones iniciales de acuerdo con la Figura 13:

$$y = a$$

$$\sigma_{ya} = -pi \text{ (Presión Hidráulica dentro del tubo)}$$

$$C = -pi + \frac{\sigma_{yp}}{\sqrt{3}} \ln(a) + \frac{2 \mu \sigma_{yp}}{\sqrt{3} x} a \quad (15)$$

Por lo tanto:

$$\sigma_y = -pi + \frac{\sigma_{yp}}{\sqrt{3}} \ln\left(\frac{a}{y}\right) + \frac{2 \mu \sigma_{yp}(a - y)}{\sqrt{3} x} \quad (16)$$

***Esfuerzo Axial en la Superficie Interior:***

El esfuerzo axial en la superficie interior de la zona de deformación está dado por la ecuación (9) para  $y = a$ :

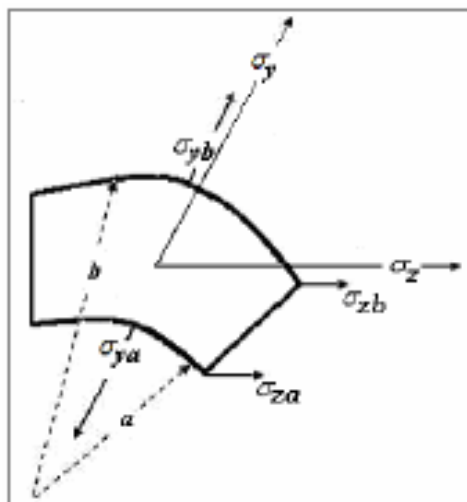
$$\begin{aligned}\sigma_{za} &= \sigma_{ya} - \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_{yp} \\ \sigma_{za} &= -pi - \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_{yp}\end{aligned}\tag{17}$$

***Esfuerzo Radial en la Superficie Exterior:***

Para  $y = b$  el esfuerzo es  $\sigma_{yb}$ , entonces la ecuación (29) queda de la siguiente manera:

$$\sigma_{yb} = -pi + \frac{\sigma_{yp}}{\sqrt{3}} \ln\left(\frac{a}{b}\right) + \frac{2 \mu \sigma_{yp}(a - b)}{\sqrt{3} x}\tag{18}$$

A continuación, se analiza el estado de esfuerzos en el diámetro medio del tubo, el cual se puede visualizar en la siguiente Figura:



**Figura 14:** Estado de Esfuerzos radial y axial (García, 2008)

Se utiliza el criterio de Von Mises para encontrar el esfuerzo efectivo y la deformación efectiva. Este esfuerzo efectivo a tensión generaría la misma energía de distorsión que se produciría por la combinación real de los esfuerzos aplicados.

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ (\sigma_y - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_y)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

La Deformación Efectiva se calculó de la siguiente manera:

$$\bar{\sigma} = k \bar{\epsilon}^n \quad (20)$$

En donde:

$k =$  *Coeficiente de Esfuerzo*

$\bar{\epsilon} =$  *Deformación Efectiva*

$n =$  *Exponente de Endurecimiento por deformación*

Del mismo criterio de Von Mises tenemos que la deformación efectiva es:

$$\bar{\epsilon} = \left[ \frac{2}{3} (\epsilon_y^2 + \epsilon_\theta^2 + \epsilon_z^2) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$

Como  $\epsilon_\theta = 0$  se tiene que:  $\epsilon_y = -\epsilon_z$ . A partir de estas afirmaciones se calcula  $\epsilon_y$ , para posteriormente encontrar el espesor instantáneo con la siguiente ecuación:

$$\epsilon_y = \ln \left( \frac{t_i}{t_o} \right) \quad (22)$$

En donde:

$t_i =$  *espesor instantáneo*

$t_o =$  *espesor inicial*

### ***Presión Interna***

El proceso de Hidroconformado necesita de una presión interna en la lata para que se pueda expandir y formar el relieve. Es recomendable que esta presión tenga dos fases: una de llenado y otra de expansión que permite el formado del material. Tras varias investigaciones y experiencia práctica se recomienda que el valor de la presión sea de la siguiente manera (García, 2008):

Para la primera fase o llenado:

$$p_i = 0.9 p_f \quad (36)$$

Y para la expansión o formado:

$$p_i = 1.2 \text{ a } 1.4 p_f \quad (37)$$

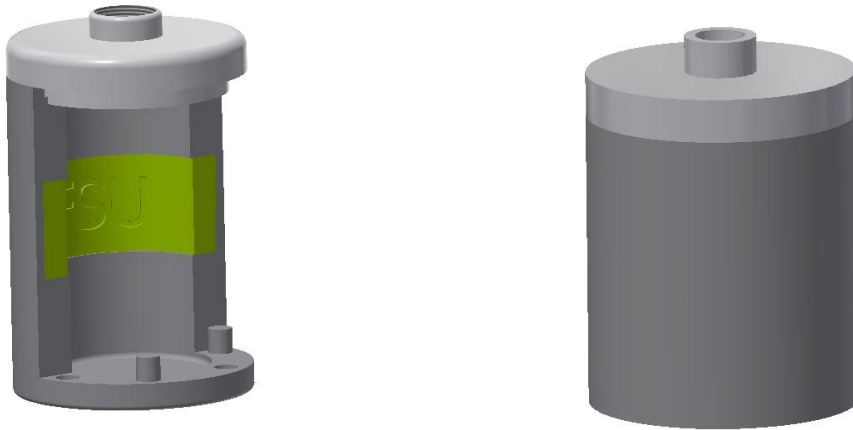
La presión de formado ( $p_f$ ) se calcula con la siguiente fórmula:

$$p_f = \frac{2 * t * R_m}{d_o - t_o} \quad (37)$$

### **Equipo Propuesto para proceso de Hidroconformado**

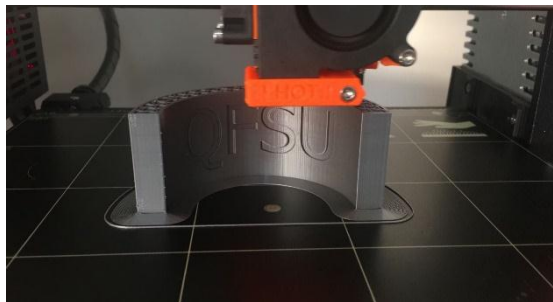
Para el relieve en la lata de aluminio se diseñó una matriz que contenga las letras en un molde completamente cerrado y hermético. Este envase tiene la forma de la lata convencional con tapa en el fondo y la tapa superior tiene una boquilla para la entrada de la tubería. El molde será fabricado en acero con una pequeña ranura que permite el acople de la pieza donde se encuentran las letras. En la siguiente figura se observa un diseño de la pieza en CAD y el molde impreso en 3D.





**Figura 15:** Molde con Matriz para Hidroconformado

La matriz que en este caso son las letras de USFQ, se diseñó como un componente desacoplable para que éste pueda ser cambiado a otra forma que se desee. Estas letras deben un pequeño redondeado en el perfil para que la lámina fluya sin problemas.



**Figura 16:** Matriz de Letras

Para poder transmitir la presión desde la bomba de agua hacia dentro de la matriz se debe usar uniones roscadas de tubería. Este sistema nos permite verificar que el líquido fluya completamente por todo el sistema.

- Manguera y conectar a boquilla de bomba
- Válvula de purga para eliminar el aire dentro del sistema
- Llave de paso para controlar el caudal del agua

- Manómetro para verificar la presión dentro de la matriz.



**Figura 17:** Componentes y uniones para Hidroconformado.

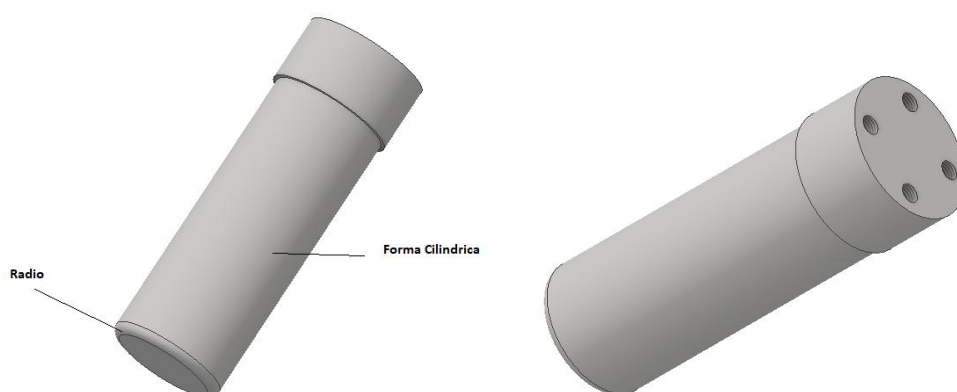
### **Diseño en Software CAD.**

El presente proyecto comienza desde el proceso de embutición, con el disco circular de 160 mm de lámina de aluminio. Después de la investigación realizada y de conocer todos los parámetros y factores necesarios para las herramientas de la máquina, se prosiguió a la creación del diseño. El diseño se lo realizó en el software de diseño mecánico conocido como Inventor Professional. En este programa, se diseña las partes una por una para después realizar un ensamblaje final de toda la matricería; la ventaja que nos permite el CAD es visualizar como se verá nuestro producto final.

Las principales piezas para la Embutición son el émbolo, la matriz y el sujetador de chapas. Sin embargo, para que estos funcionen correctamente se debe acoplar bases, guías, bocines, y otros componentes que se detallan a continuación.

### ***Émbolo:***

Para empezar el diseño de los componentes se inicia con los más importantes los cuales son el émbolo y el anillo o la matriz de embutición.

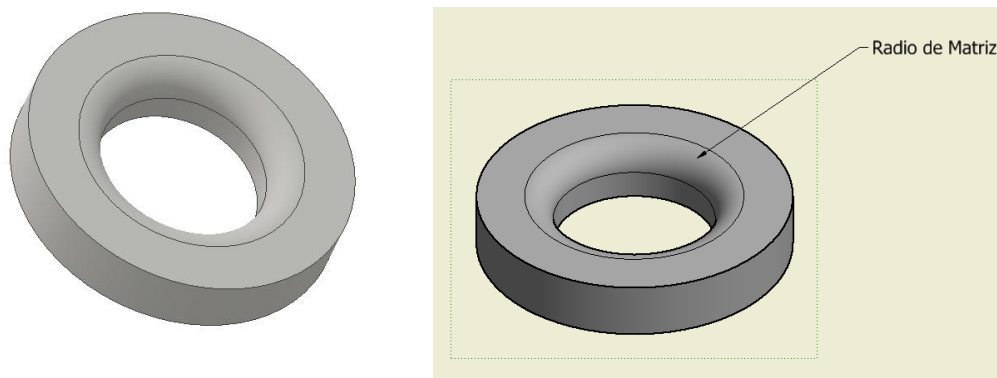


**Figura 18:** Émbolo de Embutición

Como se puede observar en la Figura 18, el émbolo tiene la forma interior cilíndrica de la lata de aluminio, y una altura suficiente para que deslice el aluminio sin problema. Los factores primordiales en el émbolo son el diámetro del cilindro y el radio del empalme en la parte inicial. Este radio como se mencionó anteriormente es de mucha importancia; ya que, si no tiene radio, la fuerza cortará a la lámina y no la embute. En la parte superior se colocaron cuatro perforaciones con rosca para poder acoplarlo a la placa que lo sostendrá.

***Anillos o matrices de Embutición:***

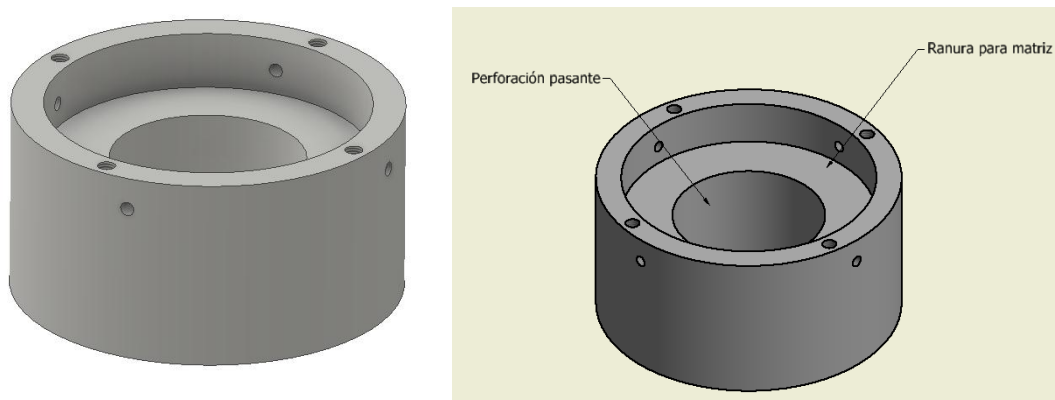
Esta matriz dará la forma exterior y será la base donde estará el disco inicial de aluminio. Las dimensiones de este anillo son de muy alta precisión, la holgura y el radio deben ser exactos a los cálculos realizados.



**Figura 19:** Anillo o matriz de Embutición

El radio de empalme tiene que ser lo suficientemente grande para que la lámina de aluminio resbale uniformemente. Este anillo estará ubicado en una base porta-matrices, que permitirá su acople y cambio si es necesario.

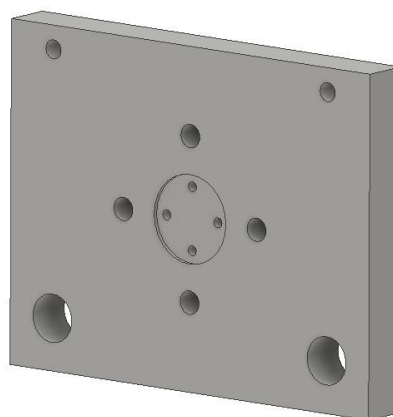
***Base Porta-Matrices:***

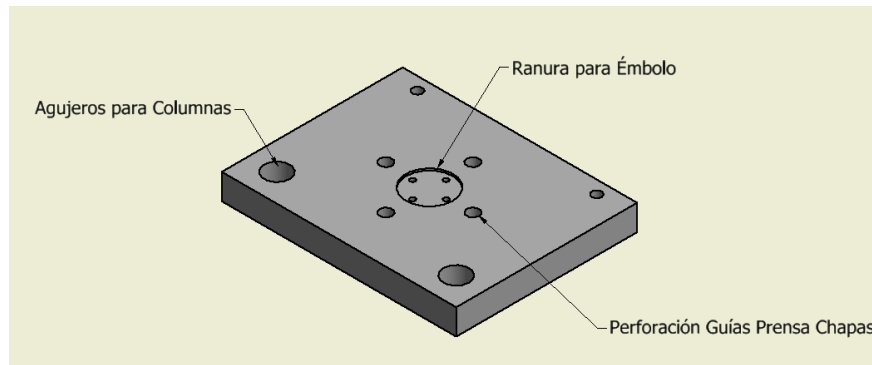


**Figura 20:** Base Porta-Matrices

Esta base porta-matrices o porta anillos tiene que ser de una altura suficiente para que al momento de embutir la lata pueda recorrer todo el trayecto hasta lograr su altura deseada. Tiene una ranura con el espesor de los anillos para su ajuste perfecto y adecuado. De igual manera en el contorno de su cilindro tiene prisioneros que ajustan al anillo para que no se caiga ni se mueva. En la parte inferior cuenta también con cuatro perforaciones roscadas para su acople a la base Inferior.

***Base Inferior o base porta-émbolo.***

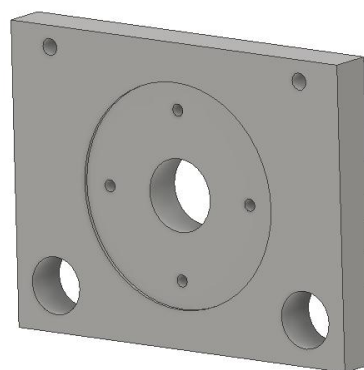


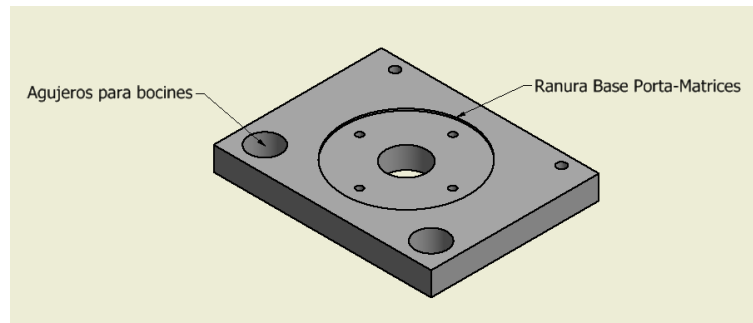


**Figura 21:** Placa Inferior, Porta-Émbolos

La función principal de esta placa es brindar un soporte a los émbolos, y con la placa superior deben estar correctamente centradas y con las guías bien definidas. Esta placa tiene perforaciones para las guías que permitirá que la placa baje uniformemente y centrada hacia el émbolo. Son de un diámetro mayor para que se pueda colocar el extremo del eje, debido a que el diámetro de las guías es de diferente diámetro. En el centro de la placa en el lado inferior, se diseñó dos ranuras de diferentes diámetros y profundidades; esto ayuda a colocar centradamente los émbolos y poder empernarlos a la placa. Así mismo, tiene la factibilidad de adecuar diferentes émbolos si es necesario.

***Placa Superior o Porta-Base:***



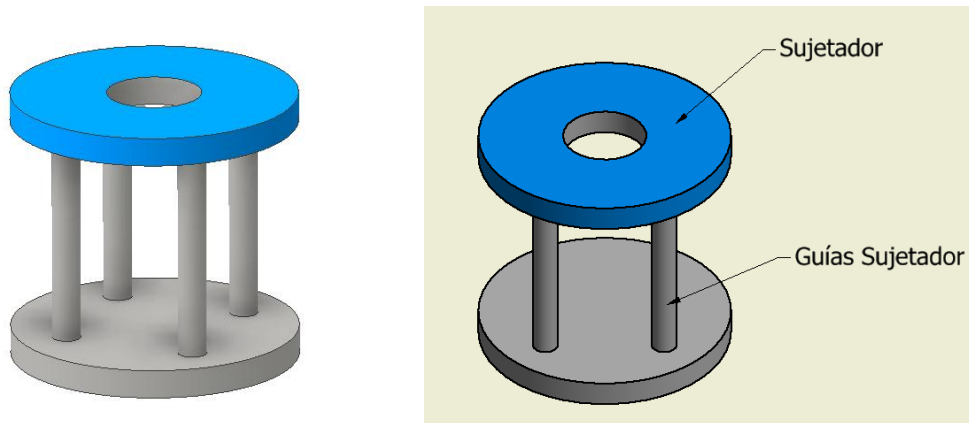


**Figura 22:** Placa Inferior Porta-Base

Al igual que la placa inferior, esta placa es rectangular y contiene las perforaciones para las guías. Tiene una ranura central de 3 mm de profundidad donde se asentará la base Porta-Matrices, esta ranura está centrada con las ranuras de la placa superior para que la embutición sea completamente centrada. De igual manera, tiene perforaciones para empernar la placa a la base y ésta quede fija. El agujero central, el cual es pasante debe ser del mismo diámetro que la matriz para que la lata no se deforme al deslizarse y pueda recorrer todo el camino.

### ***Sujetador o Prensa Chapas***

El sujetador es una de las piezas imprescindibles en el conformado de chapa por embutición. Esta componente es el encargado de sujetar a la lámina y permitir que fluya uniformemente dentro de la matriz. Sin este sujetador, la lámina a embutir empieza a deformarse en sus extremos creando ondulaciones grandes que se quedan atascadas en la matriz y el material no fluye.



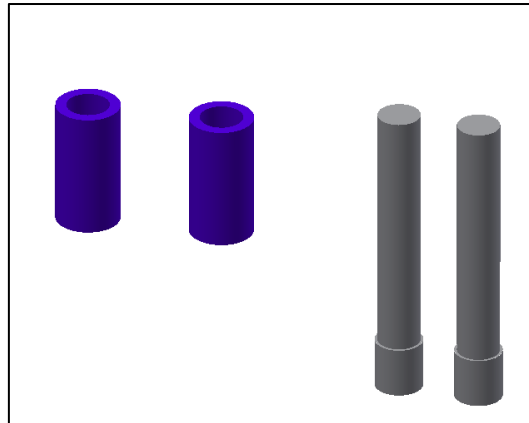
**Figura 23:** Sujetador o Prensa Chapas

Este sujetador tiene unas guías que permiten que suba y baje dependiendo el movimiento de la matriz; la base de ésta en la parte inferior estará apoyada sobre resortes que son los encargados de mantener la fuerza de sujeción en la lámina para que no se deforme afuera de la matriz.

### ***Guías y Bocines:***

Los ejes o guías permiten que se conecten la placa superior con la inferior para que el movimiento de placa móvil sea constante y centrado.





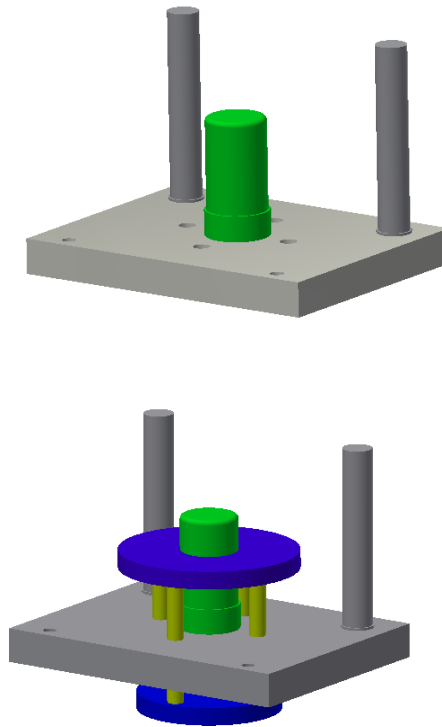
**Figura 24:** Ejes (Guías y Bocines)

Los ejes deben estar bien colocados en placa inferior y con una holgura mínima del agujero, esto permite que el eje quede fijo y cumpla su función. Por otro lado, los bocines están fijos en la placa superior, los ejes se mueven dentro de estos bocines que deben estar lubricados y perfectamente alineados.

### ***Ensamble***

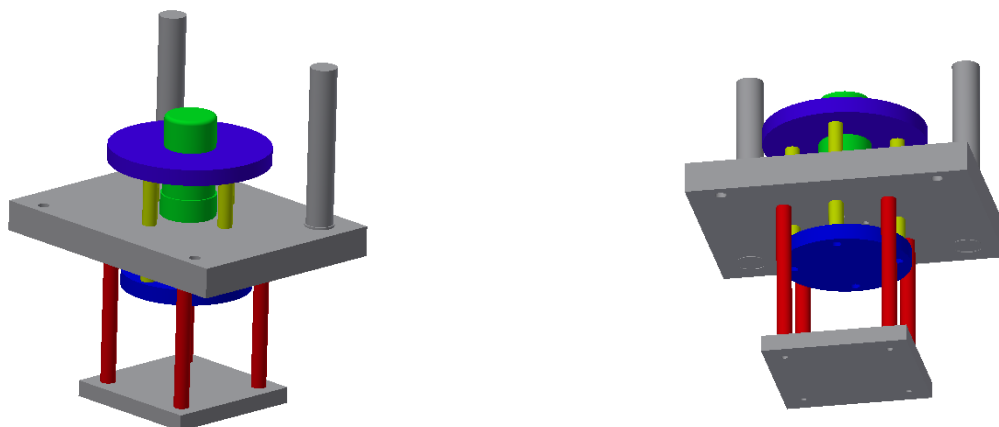
El software de Inventor (CAD) también nos permite crear un ensamble con todas las piezas que conforman una máquina o equipo. Esto nos permite ubicar cada pieza donde va originalmente, y permite corregir errores antes de la fabricación.

El primer sub-ensamble (Figura 25) que se debe realizar es colocar la placa inferior porta-émbolos. A partir de esta placa se puede unir todas las piezas restantes. En esta placa se encuentran el émbolo, las columnas, y el mecanismo de la prensa-chapas.



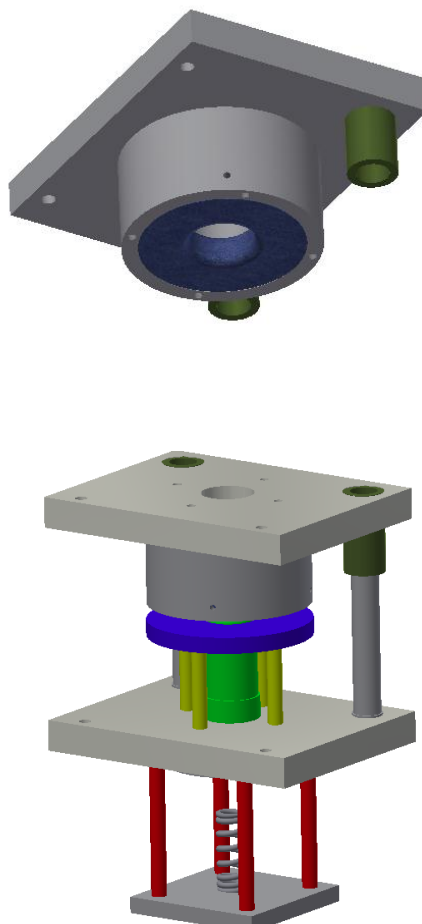
**Figura 25:** Sub-Ensamble, placa Porta émbolo y Prensa Chapa

Posterior a este sub-ensamble se colocó el soporte del resorte con sus guías. Este mecanismo se encuentra debajo de la placa inferior.



**Figura 26:** Sub-Ensamble, Base Resorte y Guías

Finalmente, se realiza el ensamble de la placa superior Porta-Base de matrices. En esta placa se encuentra la base, el anillo de embutición, y los bocines. Para la unión de los diferentes componentes se usaron pernos y roscas, dependiendo su funcionalidad.



**Figura 27:** Ensamble Final en Inventor Professional

## **Fabricación de Piezas**

La construcción de los materiales se realizó con procesos de maquinado diferentes para dar la forma y la estructura necesaria para la embutición. La plantilla de aluminio en forma de círculo, que es el material base, se cortó en máquina de corte a presión de Agua.

Por la forma circular y hueca que debe tener el anillo, el torno nos brinda la opción de un maquinado complejo y con un buen acabado. De igual manera, para un maquinado de buena calidad y sin problemas se calculó la velocidad y el avance de corte que depende del material con el que se trabaje. “La velocidad de corte para trabajo

en un torno se puede definir como la velocidad con la cual un punto en la circunferencia de la pieza de trabajo pasa por la herramienta de corte en un minuto.” (Área Mecánica, 2011).

Las velocidades de corte se encuentran en tablas y en catálogos dependiendo el material y el proveedor. En la siguiente Tabla se aprecia un ejemplo de los materiales más comunes con sus velocidades de corte.

**Tabla 5:** Velocidades de Corte de Materiales más utilizados. (Área Mecánica).

Material	Refrendado, torneado, rectificación					
	Desbastado		Acabado		Roscado	
	pies/min	m/min	pies/min	m/min	pies/min	m/min
Acero de máquina	90	27	100	30	35	11
Acero de herramienta	70	21	90	27	30	9
Hierro fundido	60	18	80	24	25	8
Bronce	90	27	100	30	25	8
Aluminio	200	61	300	93	60	18

Para calcular las revoluciones por minuto que debe girar el torno se utiliza la siguiente fórmula:

$$rpm_{Torno} = \frac{VC (m/min) * 1000}{\pi * Diámetro de pieza (mm)} \quad (38)$$

Partiendo de la fórmula (38) se procede a calcular las revoluciones por minuto a la cual tiene que girar el torno para que desbaste, refrende o cilindre, y brinde un acabado de calidad.

Otro parámetro importante en el maquinado es el avance de corte, “el avance de corte se define como la distancia que avanza la herramienta de corte a lo largo de la pieza de trabajo por cada revolución del husillo”. (Área Mecánica). En la siguiente Tabla se aprecia los avances que deben tener cuando se maquina con herramientas para alta velocidad.

Tabla 6: Avance de Corte para materiales más utilizados (Área Mecánica):

Material	Desbastado		Acabado	
	Pulgadas	Milímetros	Pulgadas	Milímetros
Acero de máquina	0.010 - 0.020	0.25 - 0.50	0.003 - 0.010	0.07 - 0.25
Acero de herramientas	0.010 - 0.020	0.25 - 0.50	0.003 - 0.010	0.07 - 0.25
Hierro fundido	0.015 - 0.025	0.40 - 0.065	0.005 - 0.12	0.13 - 0.30
Bronce	0.015 - 0.025	0.40 - 0.65	0.003 - 0.010	0.07 - 0.25
Aluminio	0.015 - 0.030	0.40 - 0.75	0.005 - 0.010	0.13 - 0.25

Con el avance de corte de la Tabla 6 se puede determinar el tiempo de maquinado dependiendo la longitud de la pieza. Estos datos se calcularon con la siguiente fórmula:

$$T_{\text{Tiempo de Corte}} = \frac{\text{Longitud de Corte}}{\text{Avance} \cdot \text{RPM}} \quad (\text{Área Mecánica, 2011}) \quad (38)$$

### Corte Lámina de Aluminio

Para poder empezar a cortar los discos de aluminio, primero se calculó el diámetro que debe tener. Aplicando la ecuación (3) se encuentra el diámetro inicial del disco para comenzar la embutición:

$$D = \sqrt{66^2 + 4 * 66 * 80}$$

$$D = 160 \text{ mm}$$

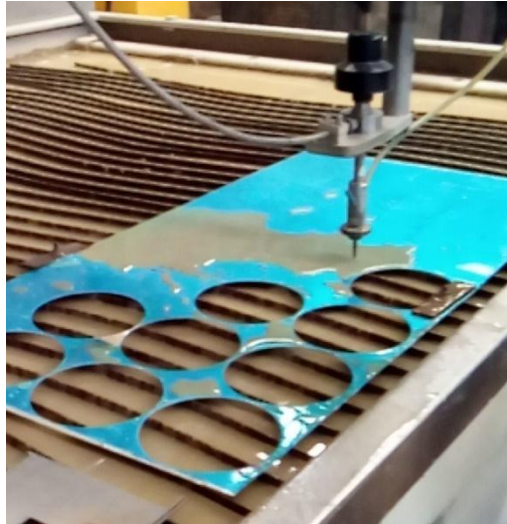
Si se utiliza la ecuación de la Figura 10 (ecuación 4) el diámetro calculado es:

$$D = \sqrt{66^2 + 4 * 66 * (80 + 0.57 * 0.2)}$$

$$D = 159.70 \text{ mm}$$

Para obtener los discos de aluminio en forma circular, se optó por el Proceso de Corte por Chorro de Agua. Este proceso nos brinda un corte exacto y preciso del diámetro del disco que necesitamos. De acuerdo con los parámetros y cálculos realizados, el diámetro del disco para nuestra embutición es de **160 [mm]**.

El proceso de corte por chorro de agua abrasivo utiliza el principio básico de erosión por agua. En este proceso, se utiliza un chorro de agua concentrado de alta velocidad para cortar cualquier material. Utiliza la energía cinética de la partícula de agua para erosionar al material en la superficie de contacto, la velocidad del chorro de agua es supersónica. Para cortar materiales de mayor dureza hace falta usar partículas abrasivas que ayudan al proceso de erosión (Mech4study, 2014).



**Figura 28: Corte por chorro de agua**

### **Émbolo**

Para la fabricación de las piezas se deben utilizar todos los parámetros mencionados anteriormente. En el caso del émbolo, las dimensiones más importantes que necesitamos son (ver Anexo 1):

- Diámetro Final Cilindro = 64.6 [mm]
- Alto: = 150 [mm]
- Radio de Filete = 5 [mm]
- Material = Especial K100

En el maquinado de piezas siempre debemos tener claras las dimensiones finales de la pieza. Esto es muy importante para no cometer errores en la compra o maquinado. Como el émbolo necesita un diámetro final de 64.6 [mm], se adquirió un cilindro sólido de Acero Especial K-100 de 70 [mm].

*Acero Especial K-100:*

Este es un acero muy resistente que por el tipo de aleación y propiedades brinda muchas aplicaciones dentro de la industria mecánica. Sus principales aplicaciones son de herramientas para corte y estampado, herramientas de virutamiento, herramientas y Componentes Expuestos al Desgaste. Es decir, es bueno para matrices de alto rendimiento que estén sometidas a esfuerzos constantes.

El cilindro inicial se lo adquirió del diámetro de 70 [mm]; la dimensión de las piezas depende del proveedor y el lugar donde se las compra.

1. El primer paso para empezar a torneear este cilindro es sujetarlo correctamente al mandril del torno, el cual cuenta con tres muelas de agarre y tiene un ajuste manual. Figura 30
2. La cuchilla o útil de corte es la herramienta que nos permite desbastar al material para darle la forma que necesita. Dependiendo de la operación de torneado se coloca el útil de corte en el portaherramientas.
3. El siguiente paso es colocar el contrapunto en el otro extremo del cilindro. El contrapunto centra la pieza con el mandril para que al momento de maquinar la pieza se forme correctamente. Para colocar el contrapunto se realiza una perforación con la broca de centros Figura 28 (a), el contrapunto es colocado en ese agujero nuevo y gira de acuerdo con las revoluciones de la pieza





**Figura 29:** Broca de Centros y Contra-Puntos

4. En el momento que se encuentra bien ajustada y con el contrapunto correctamente colocado, se prosigue a cilindrar la pieza, es decir reducirle su diámetro. Siempre se debe tomar en cuenta el sentido de giro de la pieza y la ubicación de la herramienta de corte. Siempre se debe desbastar de arriba para abajo.



**Figura 30:** Partes del Maquinado en Torno

5. Posterior al cilindrado se realiza el refrentado que básicamente es reducirle el largo de la pieza, o simplemente para que recto y sin defectos.

6. Cuando esté el refrentado realizado, se prosigue a realizar el radio del filete; lo cual lo podemos hacer de diferentes maneras. Hay la opción de realizar este radio con una cuchilla especial en forma cóncava con un radio en el extremo de la cuchilla. La segunda opción y la más factible es programar en el Torno CNC que entre sus funciones tiene la opción de realizar estos radios.
7. Después de llegar a las dimensiones deseadas, se pule a la pieza con lija gruesa y fina para que tenga un acabado muy bueno, como se aprecia en la Figura 30.
8. Finalmente se debe realizar las perforaciones con la rosca en el otro extremo del émbolo con broca y machuelo.



**Figura 31: Émbolo Terminado**

### **Anillos o Matriz de Embutición**

1. Se define las dimensiones finales de la pieza para decidir el tamaño de pieza a comprar.
  - a. Diámetro Exterior = 160 [mm]

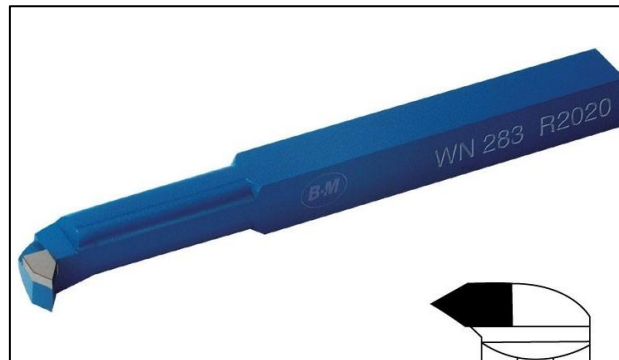
- b. Diámetro Interior = 66 [mm]
  - c. Espesor = 30 [mm]
  - d. Radio Filete Interior = 15 [mm] (recomendado)
  - e. Material = Acero Especial K100
2. Para el anillo se adquirió una pieza sólida de 175 [mm] de diámetro y 30 [mm] de espesor. Con la pieza ya adquirida se coloca en el mandril del torno, pero con las muelas exteriores debido a que su diámetro es muy grande para las muelas de interiores.



**Figura 32:** Pieza Redonda (anillo en torno)

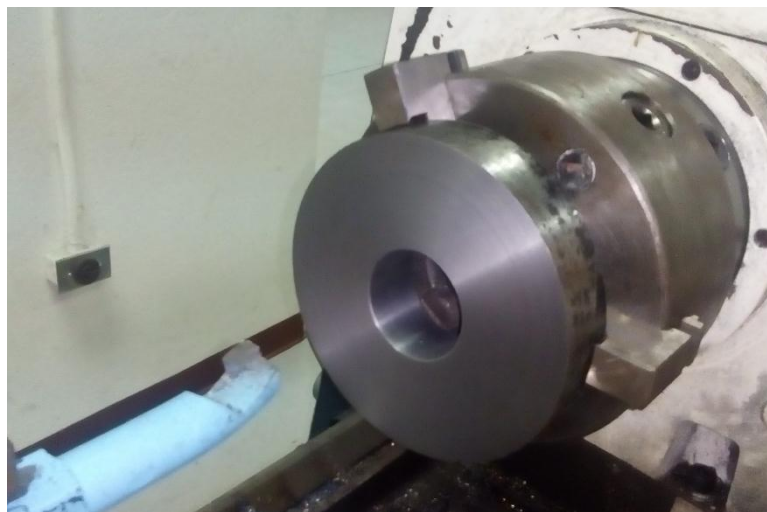
3. Con la pieza lista para el maquinado lo primero es ubicar el centro de la pieza con la Broca de Centros. El agujero del medio necesita ser pasante es por eso por lo que se perfora hasta el final de la pieza. Para esta perforación se utiliza brocas de diferentes tamaños siempre empezando desde la más pequeña hasta la más grande.
4. Cuando el agujero este lo suficientemente grande se utiliza una cuchilla de corte para interior. (Figura 32). Esta cuchilla tiene la característica de tener la punta en

dirección para cilindrar dentro de una pieza redonda. Generalmente estas cuchillas son de “Widia”.



**Figura 33:** Cuchilla de Widia para Interiores (Montec)

5. Posterior al agrandamiento del agujero central se refrenda las dos caras de la pieza y se le da el espesor final requerido como se observa en la siguiente Figura.



**Figura 34:** Anillo o Matriz Maquinada

6. Para el radio del filete interior se lo realizó en Torno CNC, debido a su gran importancia dentro del proceso de embutido. Se recomienda siempre medir las piezas antes de desmontar del torno, ya que la pieza montada nuevamente puede estar descentrada. Un equipo de medición muy preciso es el micrómetro de

interiores. En la Figura 35 se puede observar el uso de este instrumento de medición.

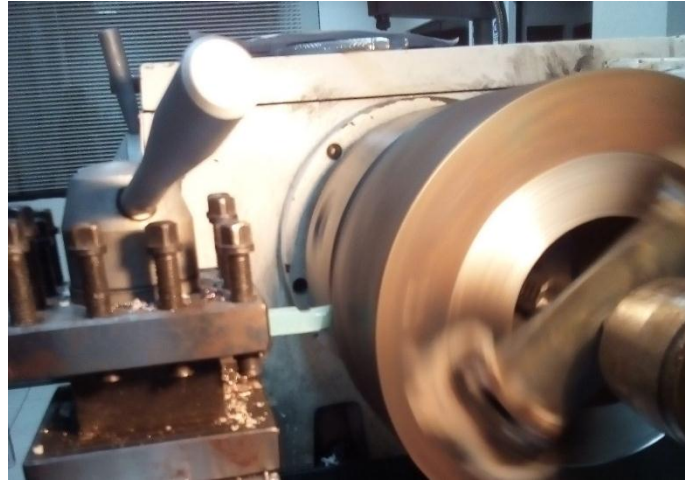


**Figura 35:** Medición de diámetro interno de anillo de Embutición

### **Base Anillos**

Base o Porta-Matrices es un componente esencial en la embutición, es el encargado de sostener y dar la altura a la lata.

1. Para maquinarlo se analizó la función que va a cumplir, y así se pudo conocer tener una altura mínima del mismo; esta altura debe ser suficiente para que la lámina de aluminio se deslice correctamente y no se quede atascada. Como se observa en la Figura 36 es de un tamaño aproximadamente de 66 [mm].
2. El primer paso es cilindrar el diámetro de este componente, al ser una pieza con un peso considerable se tuvo que soldar una pieza extra para poder acoplar el contrapunto.



**Figura 36:** Cilindrado de Base Porta-Matrices

3. El siguiente paso es maquinado el diámetro interior, el cuál debe tener la misma medida que el anillo a embutir. Estas dimensiones deben ser muy precisas para que se forme la lata en su totalidad. La base para sostener las matrices debe tener una ranura que tenga la altura del anillo y su diámetro exterior.



**Figura 37:** Maquinado de Diámetro Interior

4. Para poder sujetar al anillo o a la matriz se realizaron agujeros en el contorno exterior de la base con un taladra de pedestal, con el fin de ajustarlo con prisioneros como se observa en la Figura 37.



**Figura 38:** Perforación de Agujeros para Prisioneros

### **Placa Base**

Para el maquinado de las placas se necesita conocer para qué se va a utilizar y cómo se lo va a hacer. Como se mencionó anteriormente, las piezas deben estar completamente centradas para que exista la embutición, por lo que deben ser trabajadas juntas en varios procesos.

1. El primer paso es rectificar las placas para que estas estén completamente rectas y del espesor requerido. De igual manera, siempre las piezas de metal se encuentran en lugares que contienen un poco de humedad y suciedad, con las rectificadora se puede remover todas estas partículas. (Figura 38)



**Figura 39:** Rectificación de Placas en Rectificadora Mecánica

2. Después de rectificar las partes superior e inferior de las placas se debe rectificar los lados. Esta rectificación permite que las placas tengan las mismas dimensiones y se pueda colocar las guías perfectamente. En este caso, se usa la fresadora con una cuchilla horizontal fija que desbaste de acuerdo con el movimiento de la mesa.



**Figura 40:** Rectificación de lados de las Placas

3. Posterior a la rectificación completa de las placas, estas se deben unir correctamente como una sola pieza. Esto nos permite crear los agujeros para las guías iniciales, y para que las perforaciones estén completamente alineadas. Como se observa en la Figura 40, primero se debe realizar un



agujero pasante de las dos placas, en este agujero se puede colocar un perno o un eje para que las placas no se muevan.



**Figura 41:** Perforaciones para Guías Iniciales

4. Una vez realizada las perforaciones para las guías se procede a realizar las guías o columnas. Para este paso se utilizó la fresadora en forma vertical, con una cuchilla bailarina. Esta cuchilla permite agrandar el agujero y movilizarse por las dos placas. En este punto las dos placas siguen unidas



**Figura 42:** Agujeros para Columnas de Guías

5. Una vez realizados las perforaciones para las guías, se procede a agrandar el orificio central. Este orificio fue cortado previamente por una máquina de Oxicorte. Para poder rectificar el interior de este agujero se utilizó el torno con un mandril especial de cuatro muelas; este mandril permite sostener

piezas rectangulares o cuadradas para poder maquinaslas. En esta misma posición se realiza la ranura central para poder colocar la base Porta-Matrices. Este método asegura que este centrado y que la base va a estar fija sin moverse.



**Figura 43:** Torneado de Ranura Central

6. Finalmente se debe pulir y dar un acabado bueno para la placa. Ésta debe estar completamente plana y con el espesor indicado.

### **Placa Superior**

Los puntos anteriores de 1-4 de la Placa Inferior, se utilizan de igual manera en este maquinado de la placa Superior. Para esta placa no se realizó ningún agujero central debido a que no se necesita que sea perforado.

1. Al igual que la placa inferior, esta placa porta-émbolo fue maquinada en el torno para darle las ranuras de los émbolos a utilizarse; se realizaron dos ranuras, uno para el émbolo mayor y otro para el émbolo de menor diámetro.
2. Posteriormente se realizaron las perforaciones con rosca para sujetar los émbolos a la placa, estos agujeros son los mismos para los dos émbolos, lo que facilita su cambio y excelente sujeción.



**Figura 44:** Perforaciones para Sujeción de Émbolos

### **Columnas (guías)**

En el caso de las columnas se necesita básicamente dos ejes, el material utilizado es Acero de Transmisión, que es un acero resistente y perfecto para la función de guías.

1. El eje al ser un componente de revolución es maquinado en el Torno, las dimensiones dependen del agujero que se realizó en la placa Inferior y en el Bocín. Al ser un eje con una altura considerada se debe usar contrapunto para que no oscile con el giro del mandril.



**Figura 45:** Maquinado de Guías

2. El primer paso es cilindrar el eje para reducir su diámetro y se ajuste dentro de las perforaciones de la placa. La base del eje tiene una sección con un diámetro mayor al del resto del eje, esto es una base para que se asiente correctamente y no salga de la placa.



**Figura 46:** Base de Eje (Cambio de Sección)

3. En todo el eje se realizaron unas pequeñas ranuras con una profundidad mínima, lo que permite lubricar estas guías al momento que estén trabajando.

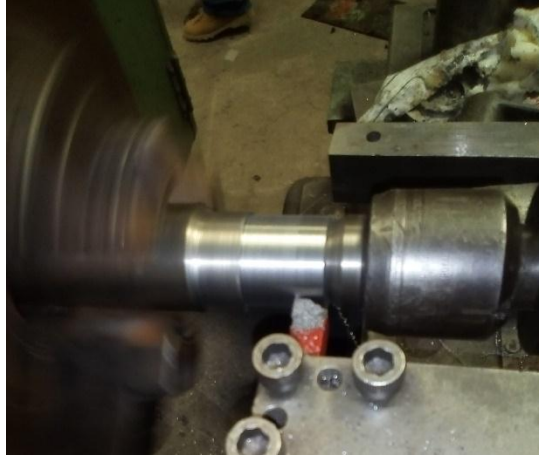
## Bocines

El bocín es el componente que permite el deslizamiento de los ejes al aplicar una fuerza sobre la placa superior. Esta pieza permite que las placas estén juntas y se movilizan sin problema al momento de bajar.



**Figura 47:** Maquinado de Bocín

1. Para realizar el bocín se maquinó un eje de mayor diámetro al de las guías, este componente debe tener el diámetro interior casi similar al de las guías. Esto es para que pueda deslizarse correctamente y sin problema. Primero se realiza el agujero interior, para que se pueda colocar el contrapunto sin problema.
2. El bocín de igual manera tiene un cambio de sección, en un extremo tiene el diámetro mayor para que se asiente en las placas.

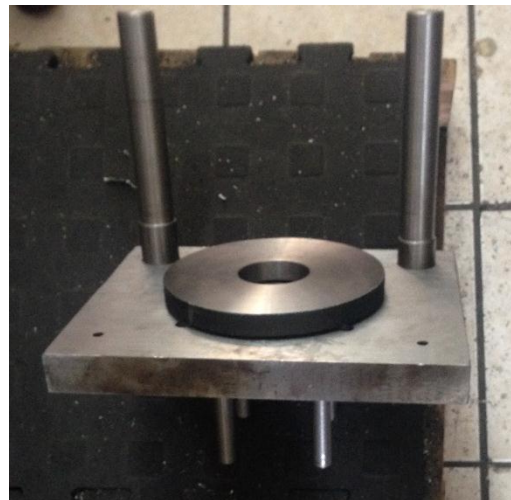
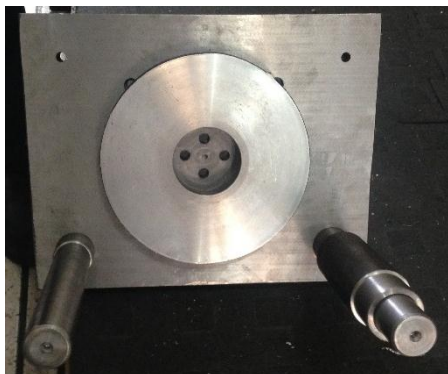


**Figura 48:** Maquinado de Bocín

3. Hay que tomar muy cuenta que este componente debe entrar a presión para que no se pueda mover con el movimiento traslacional que realiza la placa superior.

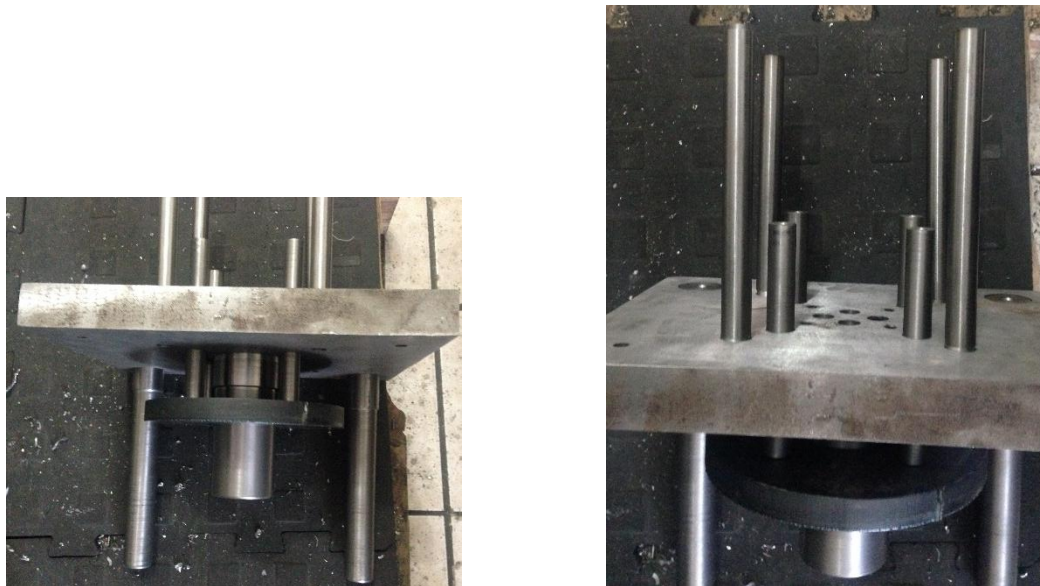
## Ensamble

Para comenzar el ensamble final es de mucha importancia tener todas las piezas listas y terminadas, de igual manera los componentes de unión. Se aplica el mismo procedimiento utilizado con el software CAD. Las partes fundamentales son la placa inferior y la superior.



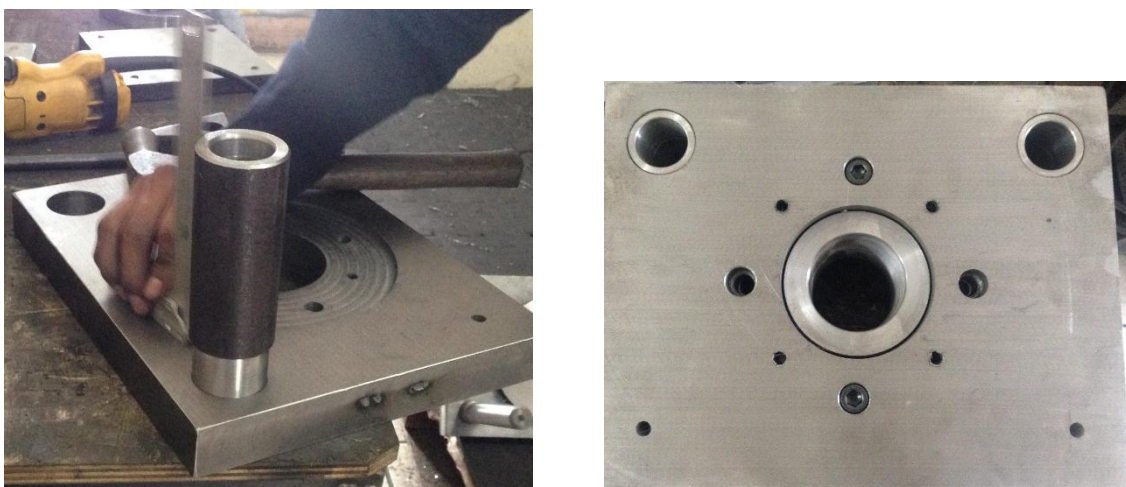
**Figura 49:** Ensamble Placa Inferior Porta-Émbolo

En la figura 48 se observa la placa Inferior con sus columnas en dos extremos de la misma, la prensa chapa con sus guías que permite el movimiento de acuerdo a las traslaciones de la matriz. Se ubica el émbolo y las guías para la base del resorte.



**Figura 50:** Ensamble Placa Inferior Porta-Émbolo

Después se realiza el sub-ensamble de la placa superior, en donde se colocan los bocines, la base de matriz y la matriz de embutición. Como se puede observar en la Figura 50, la placa consta con varios agujeros que sirven para la unión del acople a la prensa y el botador.



**Figura 51:** Ensamble Placa Superior Porta-Matrices

## RESULTADOS

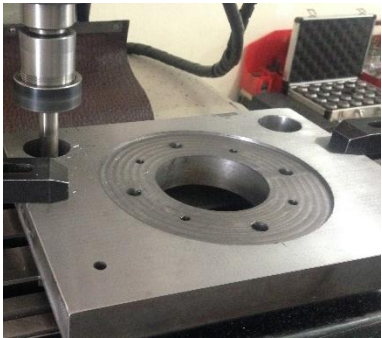

### Maquinado de Piezas

A continuación, se presentan los componentes maquinados:

Tabla 7: Componentes de máquina de embutición.

Componente	Imagen
Émbolo	
Anillo o Matriz de Embutición	
Sujetador o Prensa Chapas	



Placa Superior o Porta- Base	
Placa Inferior o Porta- Émbolo	

En la Tabla 8 se presenta la velocidad de corte en (rpm) para las dimensiones más importantes de las piezas fabricadas.

Tabla 8: Datos para el Maquinado en Torno CN

<b>Datos para el Maquinado de Anillos y émbolo</b>					
<b>Pieza</b>	<b>Material</b>	<b>Diámetro(mm)</b>		<b>RPM (Torno)</b>	
		<b>Exterior</b>	<b>Interior</b>	<b>Exterior</b>	<b>Interior</b>
<b>Anillo Principal</b>	Acero K100	147	89	59	97,00
<b>Anillo secundario</b>	Acero K100	147	66	59	123,00
<b>Émbolo Inicial</b>	Acero K100	87,6	-	73,5	-
<b>Émbolo Secundario</b>	Acero K100	64,6	-	133	-
<b>Base Porta-Matrices</b>	Acero A36	200	66	43	123

En la tabla 9 se presentan los avances y tiempos de maquinado de cada pieza.

Tabla 9: Datos de avance de corte y Tiempo de Maquinado

Avance de Corte y Tiempo de Corte					
Pieza	Material	Avance de Corte [mm]		Tiempo [min]	
		Exterior	Interior	Exterior	Interior
<b>Anillo Principal</b>	Acero K100	0,5	0,28	1,02	1,10
<b>Anillo secundario</b>	Acero K100	0,4	0,25	1,27	1,37
<b>Émbolo Inicial</b>	Acero K100	0,3	-	6,80	-
<b>Émbolo Secundario</b>	Acero K100	0,3	-	6,80	-
<b>Base Porta-Matrices</b>	Acero A36	0,25	0,25	9,30	3,25

### *Parámetros Iniciales para la embutición*

A continuación, en la Tabla 10 presentamos los parámetros iniciales para el conformado mecánico por embutición:

Tabla 10: Parámetros para Conformado Mecánico por Embutición

Datos	Letra	Valor	Unidad	Fórmula
Diámetro Final deseado	d	66	mm	-
Altura Final deseada	h	80	mm	-
Área Cilindro (supuesta)	Ac	4929,16	mm	$Area_c = \frac{\pi * d^2}{4} + \pi * d * h$
Diámetro Inicial Disco	Do	160	mm	$Do = \sqrt{d^2 + 4 * d * h}$
Diámetro Inicial Émbolo	Dp	84,7	mm	-
Espesor Inicial	t	0,7	Mm	-
Tipo de Embutición	R	0,57	-	$R = \frac{D - d}{D}$ R > 0.4: Embutición Media – Una fase con sujetador
Holgura	c	0,77	mm	$c = 1.1 * t$
Relación de Embutido	DR	1,88	-	$DR = \frac{Do}{Dp}$

Reducción	r	0,47	-	$r = \frac{Do - Dp}{Do}$
Relación de espesor al diámetro	t/Do	1,43	%	$\frac{t}{Do}$
Fuerza de Embutido (Groover)	F	34,281	kN	$F = \pi * Dp * t * TS \left( \frac{Do}{Dp} - 0.7 \right)$
		3495,65	Kg-f	
Fuerza de Sujeción	Fh	72,9	kN	$Fh = [0.015 * Y * \pi * Do^2] - [(Dp + 2.2 * t + 2 * Rd)]^2$
		7440,58	Kg-f	
Fuerza Máxima de Embutición (Schmid)	Fmax	34,281	kN	$Fmax = \pi * Dp * t * UTS * \left( \frac{Do}{Dp} - 0.7 \right)$
		3495,65	Kg-f	
Velocidad	V	0,1 a 0,3	m/s	*Aconseja el libro (Schmid)
		20 a 60	ft/min	

### Pruebas de Embutición

Las primeras pruebas de embutición se realizaron con una prensa hidráulica de 30 Toneladas ubicada en la Universidad San Francisco. Se realizaron un total de 5 pruebas sin sujetador o prensa chapas, 5 con sujetador o prensa chapa y 5 pruebas aplicando fuera constante sobre el sujetador.

#### *Prueba sin Sujetador*

En la siguiente Figura 51 se puede observar las láminas de las pruebas realizadas sin sujetador. Estas láminas sufrieron de deformación excesiva en el contorno exterior y fluyeron irregularmente. En el contorno de la lámina se observa las deformaciones conocidas como orejas que se producen por no utilizar una fuerza de sujeción en la lámina; esta fuerza permita que la lámina se deslice sin crear las ondulaciones.



**Figura 52:** Ondulaciones en Lámina de Aluminio

En la figura 52 se muestra un inicio correcto de embutición, con la forma del émbolo y la matriz, sin embargo, por causa del deslizamiento no uniforme las ondulaciones crearon un doblé que atranco la lámina en la matriz.



**Figura 53:** Inicio de Embutición y creación de Ondulaciones

### *Prueba con Sujetador*

En la Figura 54 se observa las pruebas realizadas con un sujetador que funcionaba con pernos unidos a la base Porta-Matrices. Las láminas se quedaron atrapadas entre la matriz y el sujetador, por cuanto se realizó corte en vez de embutido.



**Figura 54:** Lámina de Prueba con Sujetador

Como se observa en la figura anterior, el émbolo por la fuerza de la prensa cizalla la lámina. El sujetador estaba sosteniendo con bastante presión a la lámina, con lo que evitó que fluya.

### *Prueba con fuerza sobre Sujetador*

En la figura 55 se observan las copas embutidas de acero inoxidable, se realizaron cinco pruebas, las cuales fueron efectivas y lograron formar la copa. En estas pruebas se aplicó una fuerza constante sobre el sujetador o prensa chapas; esto permitió que se formen de acuerdo con la forma del émbolo y a la matriz.



Figura 55: Copa embutida.

En los bordes finales de la copa se crearon las ondulaciones u orejas de la lámina debido a que el prensa chapa ya no ejerce fuerza sobre la lámina porque esta completamente adentro de la matriz. Estas ondulaciones se deben cortar y pueden ser recicladas para formar una nueva lámina de metal.

## DISCUSIÓN

En los resultados presentados anteriormente, se destaca la fabricación de la matricería para realizar el proceso de embutición. Se fabricaron todas las piezas y componentes necesarios para probar y producir una lata a partir de un disco de 160 [mm] de Aluminio 1200 H-14. Todas las piezas fueron maquinadas de acuerdo con los planos iniciales de diseño y construcción, con la calidad superficial, calidad dimensional, calidad geométrica y holguras pertinentes. Los componentes esenciales: émbolo, matriz y el sujetador 7 exhiben un acabado y precisión excelentes.

En el caso de las pruebas de funcionamiento, se realizan de tres maneras diferentes: (1) embutición sin prensa chapas, (2) embutición con prensa chapas, y (3) pruebas en prensa troqueladora.

En el primer caso (1), se realizaron 5 pruebas con discos de aluminio precortados por chorro de agua. Como se observa en la figura 52, la embutición no fue efectiva debido a la deformación excesiva de los bordes de la lámina. Esto no permitió que el émbolo descienda con velocidad constante y la fuerza aplicada fue excesiva. El defecto ocurrido en estas pruebas fue el arrugamiento en la brida, que consiste en una serie de dobleces que se forman radialmente en la parte no embutida. Esto se originó por la falta de prensa chapas que provocó que la lámina fluya discontinuamente.

En el segundo caso (2), las láminas de aluminio sufrieron corte en todo el diámetro impactado por el émbolo. Esta vez, el sujetador estaba en contacto directo con la lámina aplastándola contra la matriz de embutición de forma muy apretada, lo que no le permitió fluir hacia dentro de la matriz. Por la fuerza generada, el émbolo cizalló la lámina. Sin embargo, en algunas láminas se nota que existe una fracción que sí es embutida para luego ser cizallada. Este problema se identificó como un pequeño

descentramiento entre el émbolo y la matriz en la fase inicial del proceso. Este problema se lo corrigió con la correcta inserción de los ejes dentro de los bocines.

En la prueba (3), se embutió acero inoxidable de 140 mm de diámetro. Se optó por el cambio de material, debido a las altas fuerzas que la prensa aplicaba sobre la lámina. En esta prueba se tenía un resorte helicoidal de alta resistencia ( $k=46$  N/mm) y cauchos en forma circular para aplicar la fuerza de sujeción sobre el Prensa Chapas. Esta fuerza fue suficiente para que la lámina no genere defectos (orejas) en los bordes de sujeción y fluya constantemente sobre la matriz. La embutición fue satisfactoria y se obtuvo una copa pequeña de un diámetro exterior de 65.9 mm, un diámetro interior de 64.6 mm y una altura aproximada de 35 mm. Esta última prueba permitió la confirmación del correcto montaje, fabricación y diseño de la matricería para un uso general en materiales ferrosos y no ferrosos.

Las pruebas realizadas para lograr el Hidroconformado se realizaron con un molde impreso en 3D. Este molde tiene una forma de cápsula en donde ingresa la lata. Dentro de esta cápsula, se encontraba la matriz con la inscripción respectiva (letras USFQ). La matriz es una pieza (inserto) separada del molde que permite el cambio de inscripción y el reemplazo en caso de daño. En las diferentes pruebas del Hidroconformado, la presión ejercida tuvo que ser controlada para que el material no se rompa. Esta presión fue calculada con el análisis presentado en este trabajo. Sin embargo, se realizaron varias pruebas con presiones menores y mayores para visualizar su efecto. Los resultados del Hidroconformado fueron exitosos porque se pudo realizar el relieve de acuerdo con la matriz diseñada. No obstante, dado que el primer prototipo del molde fue impreso en 3D, sólo resistió las pruebas realizadas y se fracturó en la tapa por donde ingresa el agua a presión. Por esta razón, se recomienda realizar los futuros moldes en metal.



## CONCLUSIONES

- Se logró diseñar y construir la matricería que permite fabricar latas de aluminio con relieve. Los materiales con los que se realizaron los anillos soportaron la carga y la presión ejercida en más de cinco pruebas realizadas. Sin embargo, el aluminio utilizado como material base no resistió las pruebas por tener propiedades de baja fluencia. Por esta razón, se decidió cambiar de material a acero inoxidable, el cual sí resistió las pruebas realizadas.
- La precisión y calidad en la fabricación de las piezas fueron fundamentales para la realización de las copas de latas de metal con las dimensiones requeridas y su forma cilíndrica.
- Se adquirió un conocimiento amplio sobre el proceso de manufactura por embutición, así como de los detalles prácticos específicos a considerar cuando se lo realiza.
- El proceso de embutido de metales es muy rápido y versátil, ya que permite realizar diferentes formas según la matriz que se fabrique. Por cuanto, tener un conocimiento práctico al respecto es importante para desarrollar nuevas propuestas en esta área de manufactura.
- Se logró realizar el alto relieve en las paredes laterales de las latas por medio del proceso conocido como hidroconformado. No obstante, el molde prototipo manufacturado por impresión 3D no resistió la cantidad de pruebas requeridas y se rompió. Por ende, se recomienda cambiar el material del molde y la matriz a uno de mayor resistencia mecánica como metales o polímeros sólidos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

El Universo. (2015). \$ 9 millones invertidos en una fábrica de latas de cerveza.

Recuperado el 2 de octubre de 2016, desde,  
<http://www.eluniverso.com/noticias/2015/03/23/nota/4682741/9-millones-invertidos-fabrica-latas>

Grupo Control Publicidad. Heineken estrena una lata con relieve. Recuperado el 7 de nov. de 16 desde, <http://controlpublicidad.com/heineken-estrena-una-lata-con-relieve/>

Groover, M (2007). Trabajo Metálico de Láminas. *Fundamentos de la Manufactura Moderna. Quinta Edición*. McGraw Hill.

Hammack, B. The Ingenious Design of the Aluminum Beverage Can. EngineerGuy.  
Recuperado el 30 de septiembre de 2016 desde,  
<http://www.xataka.com/otros/no-nos-damos-cuenta-pero-esas-latas-de-refresco-son-una-obra-maestra-de-la-ingenieria-moderna>

I-Mas. (2014). Diseño de Productos. *Creación de Nuevos Proyectos*. Obtenido el 8 de octubre de 2016 de <http://blog.i-mas.com/categoria/disenyo-y-producto/page/3/>

López, F. (2014). Avances Tecnológicos en la Fabricación de Envases Metálicos. *Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (Cenim)*.

Rivero, Y. (2015). Cálculos iniciales para la Embutición. *Proceso de Conformado de los Metales*. Obtenido el 20 de enero de 2017 de <http://saiaproceso.blogspot.com/>

Sanz, A. Bases teóricas de la embutición de chapa. Capítulo 2. Obtenido el 15 de noviembre de 2016 de

<https://www.google.com.ec/search?q=Bases+teo%CC%81ricas+de+la+embuticio%CC%81n+de+chapa&oq=Bases+teo%CC%81ricas+de+la+embuticio%CC%81n+de+chapa&aqs=chrome..69i57.1026j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

Sipos, K. Martínez, J. Aceros para embutidos profundo: fabricación, caracterización, microestructura y texturas. *Revista de Metalúrgica*.

Urbina, I. (2009). Coca-Cola: no-color. Di-Conexiones. Recuperado el 7 de nov. de 16 desde, <http://www.di-conexiones.com/no-color/>

Universidad de Cádiz. PROPIEDADES DEL ALUMINIO. *Tabla Periódica*. Obtenido el 15 de agosto de 2017 desde, <http://tablaperiodica.uca.es/Tabla/elementos/Aluminio/Grupo1/Prop.%20Al>

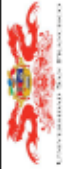
Woodward, A. Aluminum Beverage Can. *How Products Are Made*. Obtenido el 12 de enero de 2017 de <http://www.madehow.com/Volume-2/Aluminum-Beverage-Can.html#ixzz4S786Mzrh>

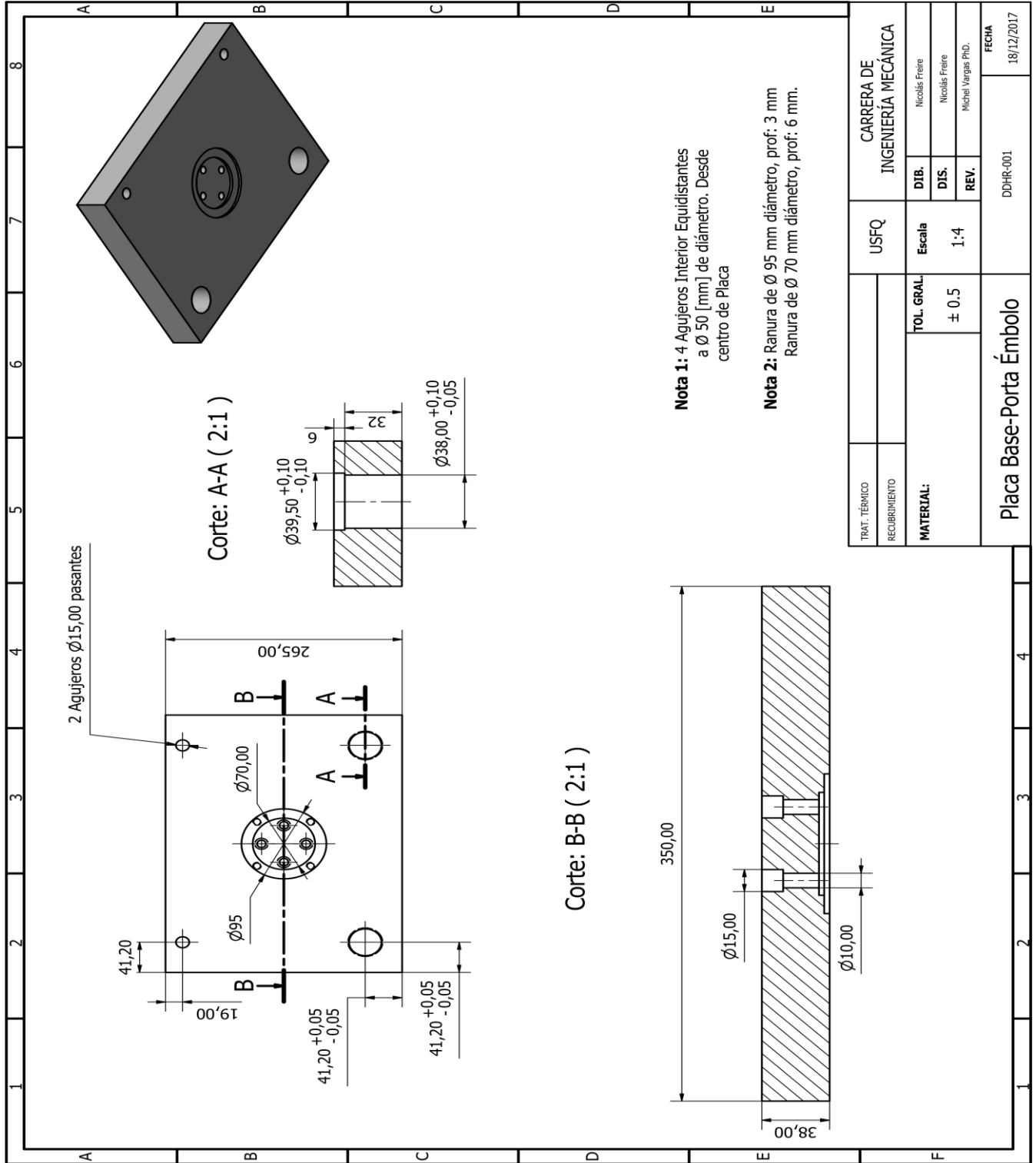
# ANEXOS

## Planos de conjunto y de taller

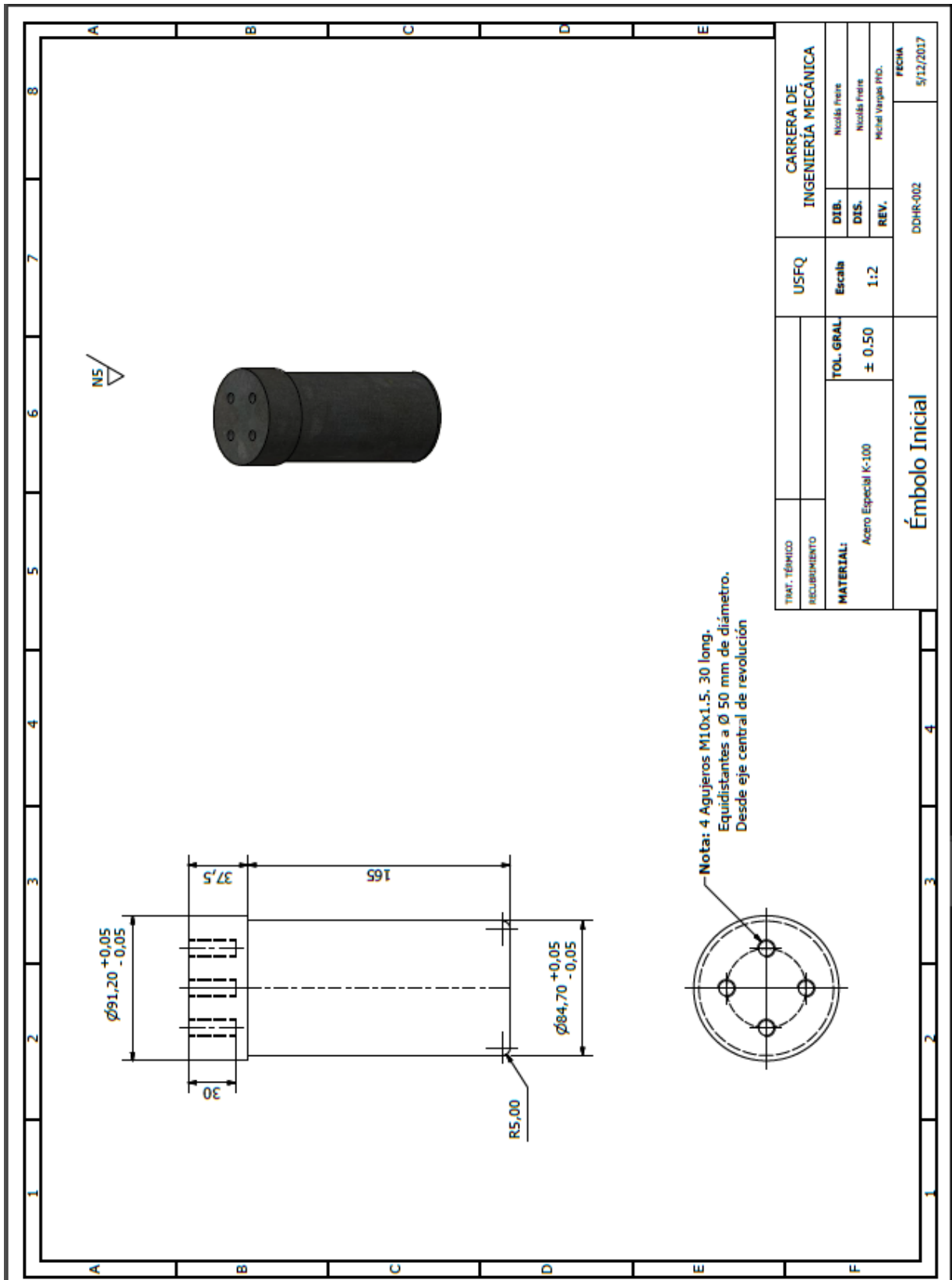
10	Bocinas	DDHR-010	2 Bocinas
9	Métriz o anillo de Embutición	DDHR-009	
8	Base Porta-Matrices	DDHR-008	
7	Placa Superior- Porta Base Matrices	DDHR-007	
6	Estructura Resortes	DDHR-006	4 Ejes Guías
5	Estructura Sujetador- Prensa Chapas	DDHR-005	4 Ejes Guías
4	Sujetador o Prensa Chapas	DDHR-004	
3	Columnas Guías	DDHR-003	Dos ejes
2	Embolo	DDHR-002	
1	Placa Base-Base, Embolo	DDHR-001	
Nº de orden pieza	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones
1	3	4	5

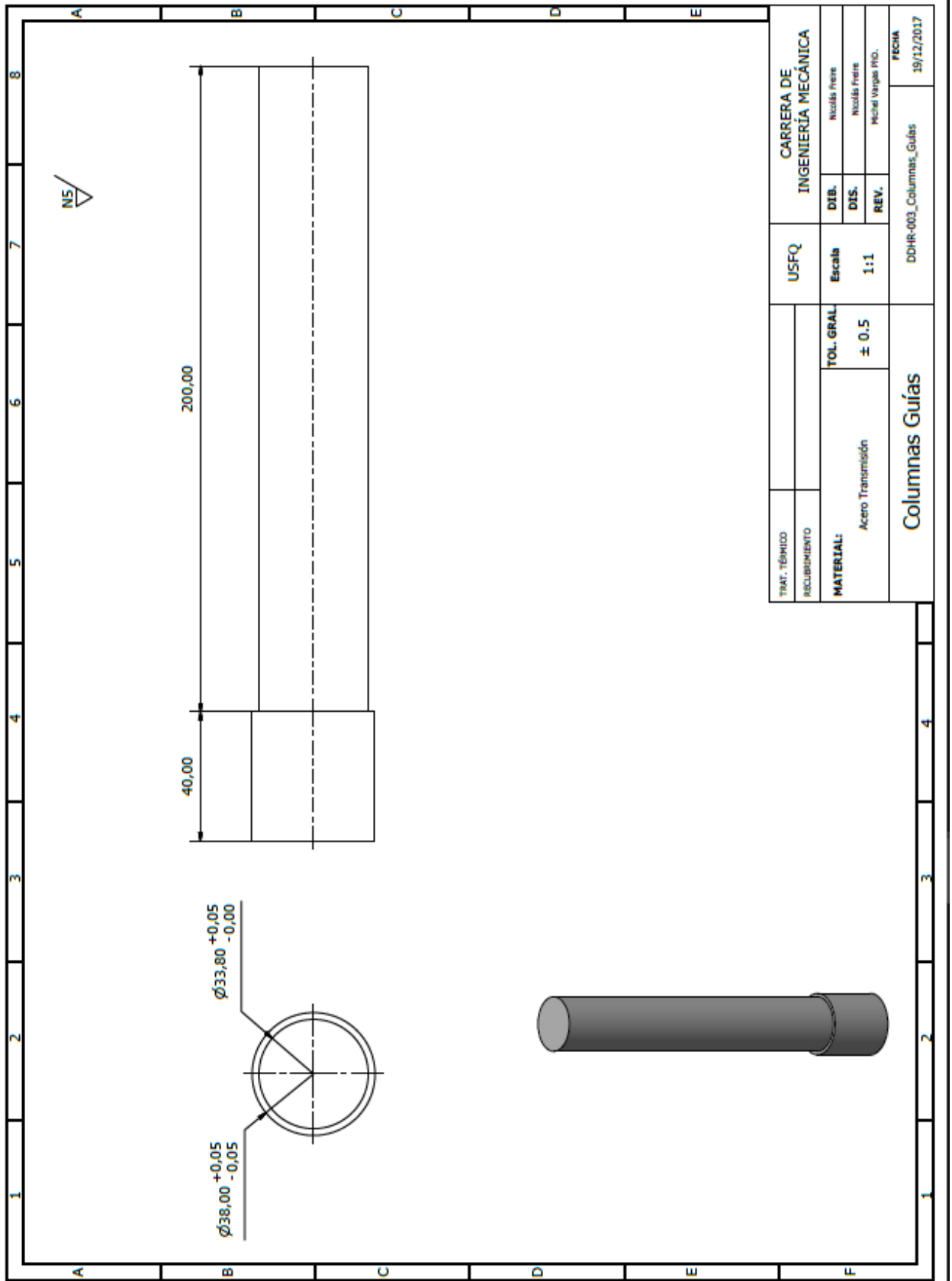
Tolerancias		Escala		Materiales	
		1:5		Varios	
Dib.	Fecha	Nombre	<b>Ensamble Herramental de Embutición</b>		
Revis.	21/10/2017	Moisés Peña			
Aprob.		Michel Vargas			
		Michel Vargas			
Modificación	Fecha	Nombre			
			DDHR 2017-000		



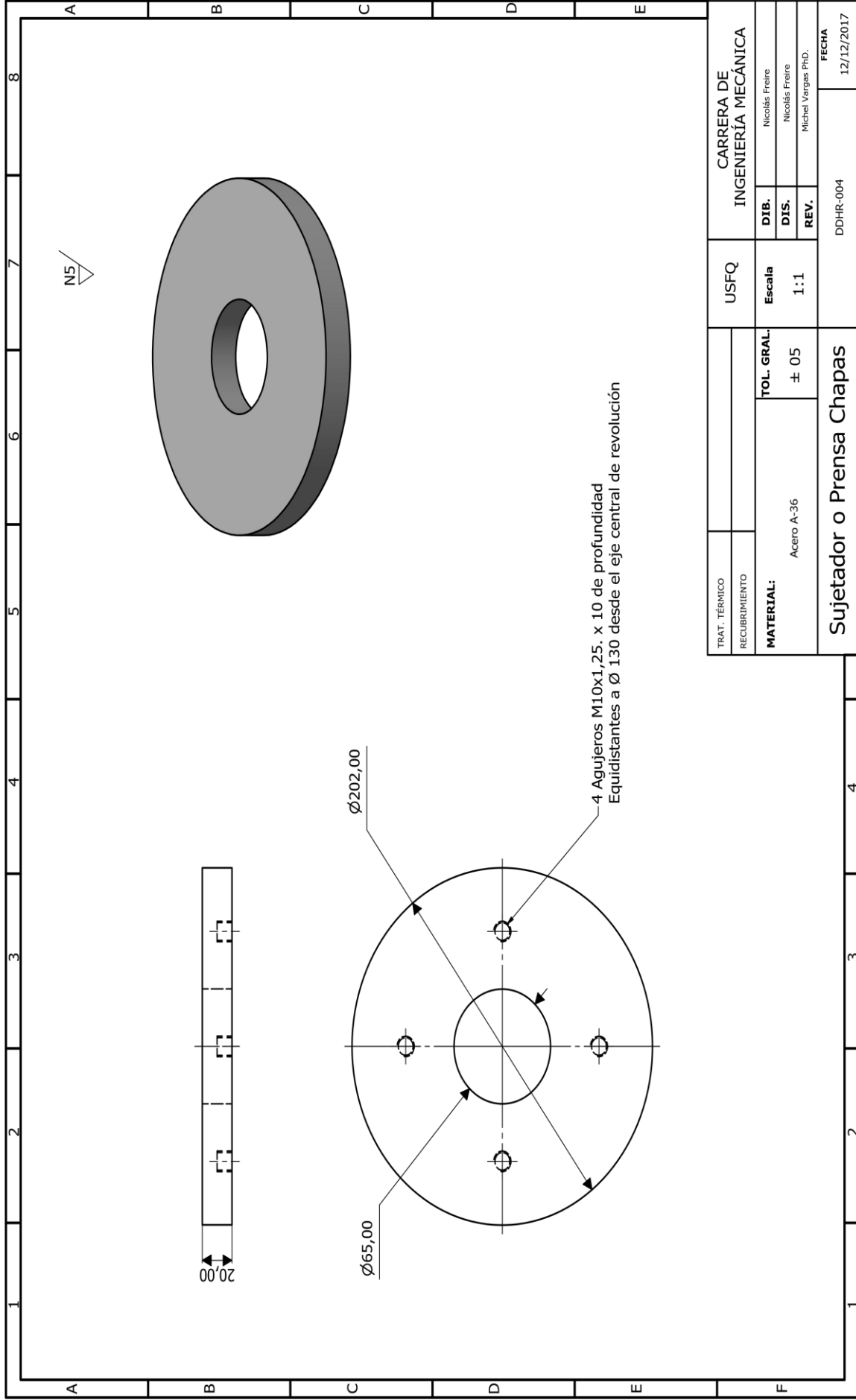
TRAT. TÉCNICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECURRIMIENTO		Escala	DIB.	Nicolas Freire	
MATERIAL:	TOL. GRAL.	1:4	DIS.	Nicolas Freire	
	$\pm 0,5$		REV.	Michel Vargue PHD.	
Placa Base-Porta Émbolo			DDHR-001	FECHA	
				18/12/2017	



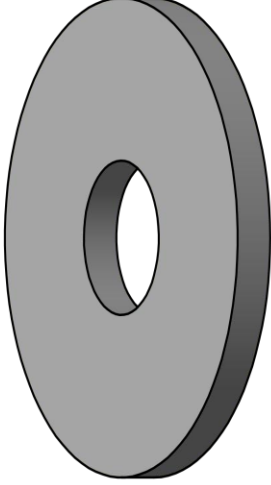
TIT. TÉCNICO	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBIMIENTO	USFQ	DIB.	Nicolás Prieto
MATERIAL: Acero Especial K-100	TOL. GRAL	DIS.	Nicolás Prieto
	± 0.50	REV.	Nicolás Vargas P.D.
Émbolo Inicial		DDHR-002	FECHA 5/12/2017



TRAT. TÉCNICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECLUTAMIENTO		Escala	DIB.	Nicolás Freire	
MATERIAL:	Acero Transmisión	TOL. GRAL	DIS.	Nicolás Freire	
		± 0.5	REV.	Nicolás Vargas PID.	
Columnas Guías			DDHR-003_Columnas_Guías		
			FECHA		
			19/12/2017		



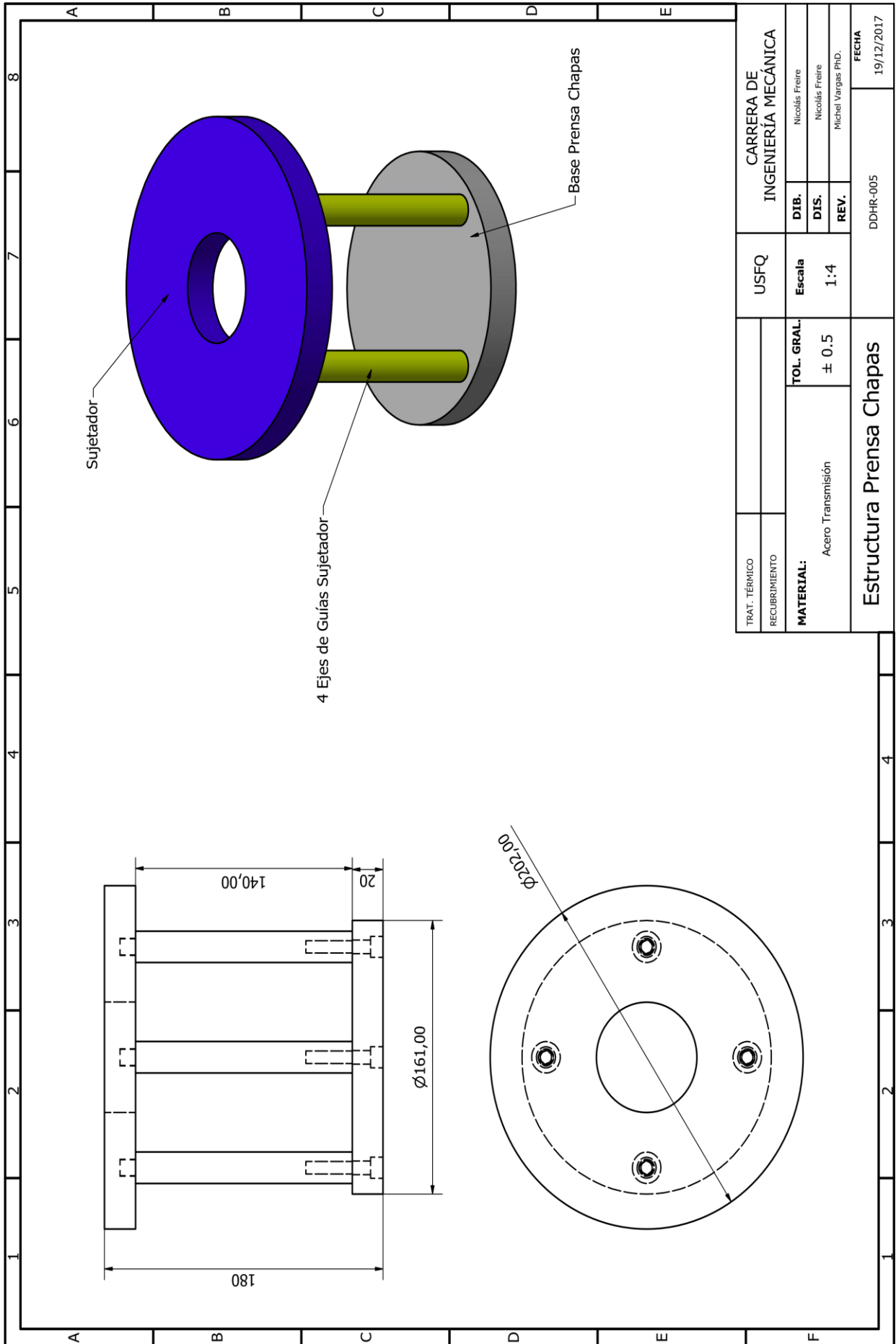
N5



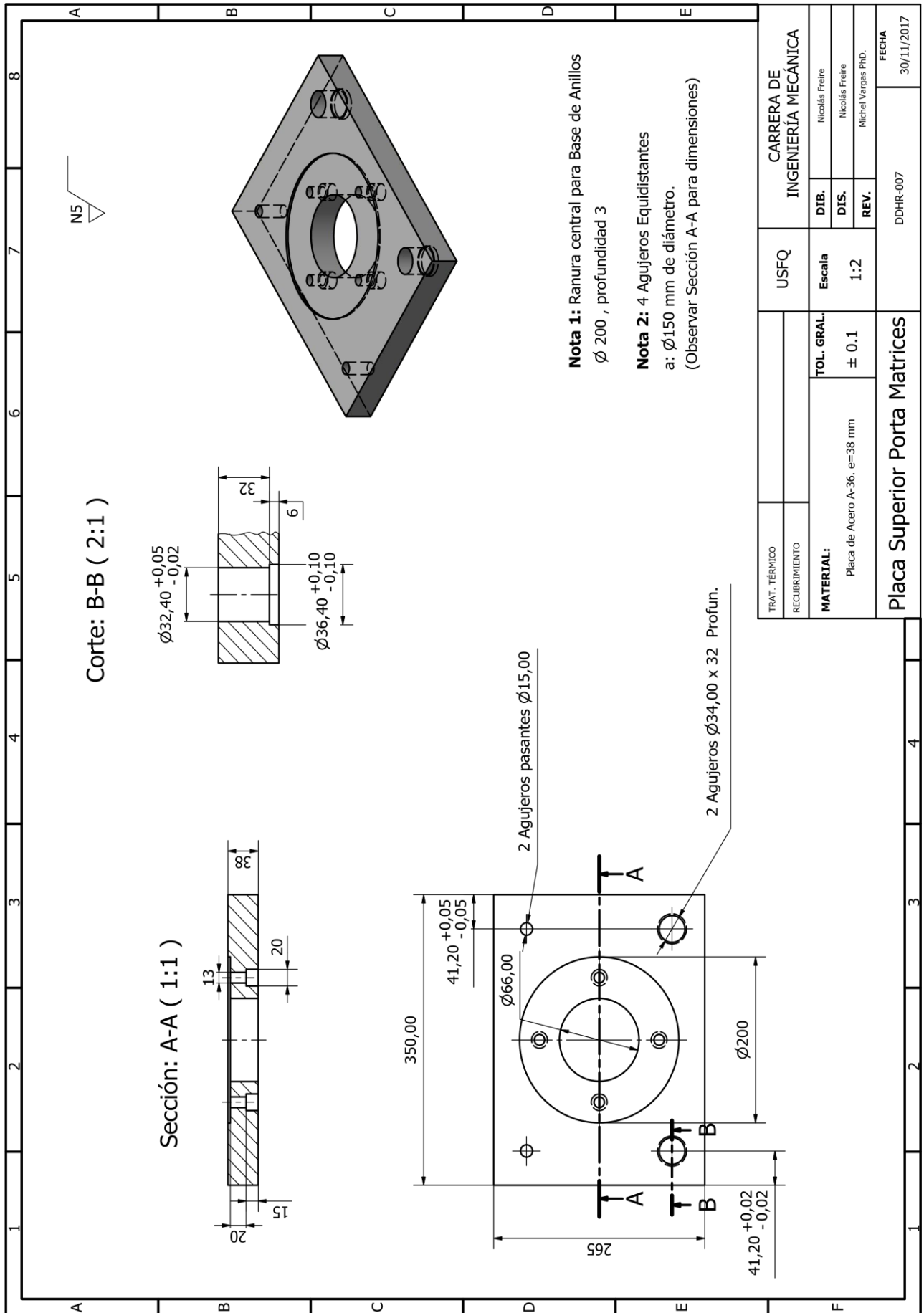
4 Agujeros M10x1,25, x 10 de profundidad  
Equidistantes a  $\varnothing 130$  desde el eje central de revolución

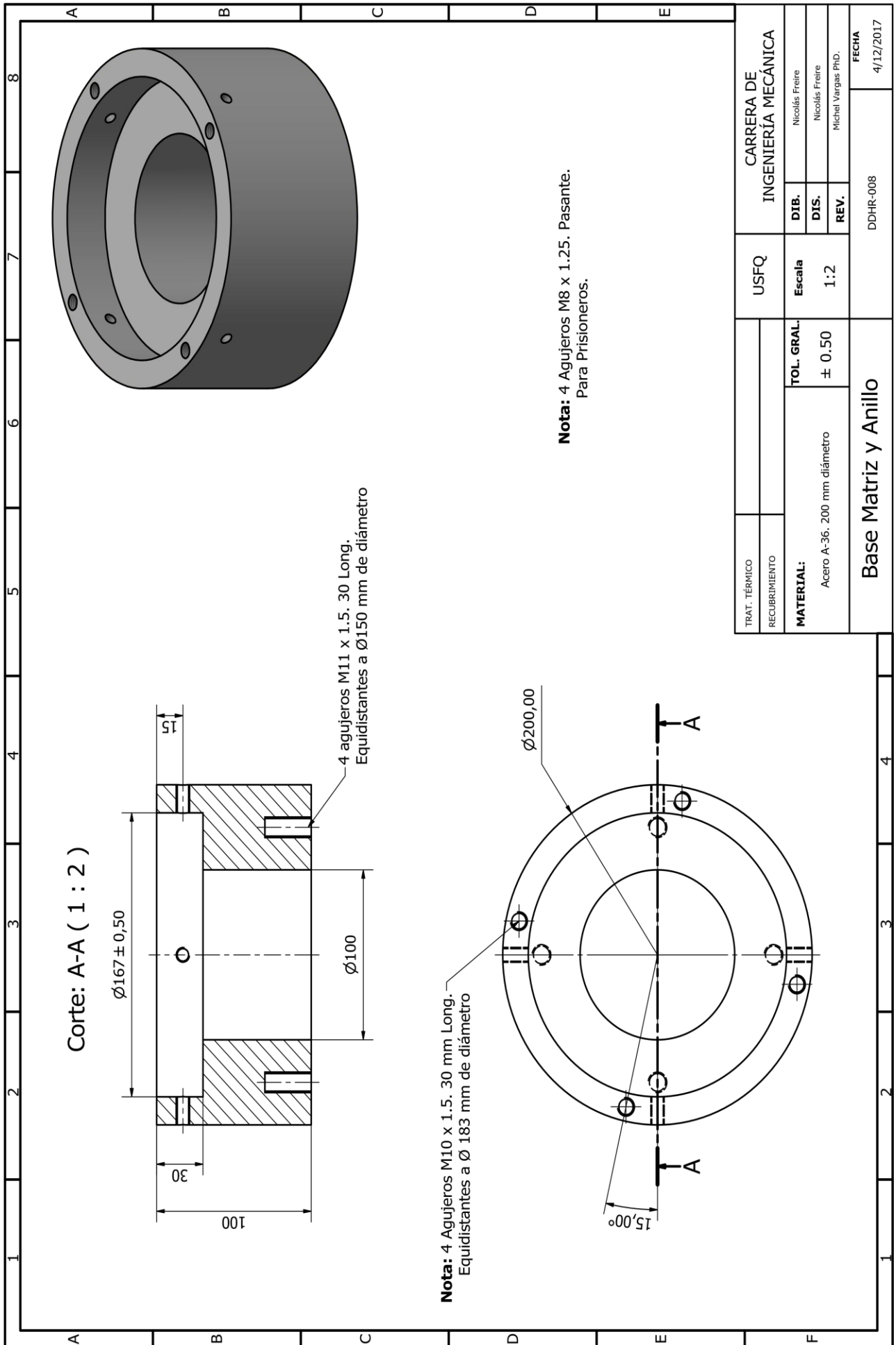
TRAT. TÉRMICO		USFQ		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO		ESCALA		DIB.	Nicolás Freire
MATERIAL:	Acero A-36	TOL. GRAL.	± 05	DIS.	Nicolás Freire
				REV.	Michel Vargas PhD.
Sujetador o Prensa Chapas			DDHR-004	FECHA	
				12/12/2017	



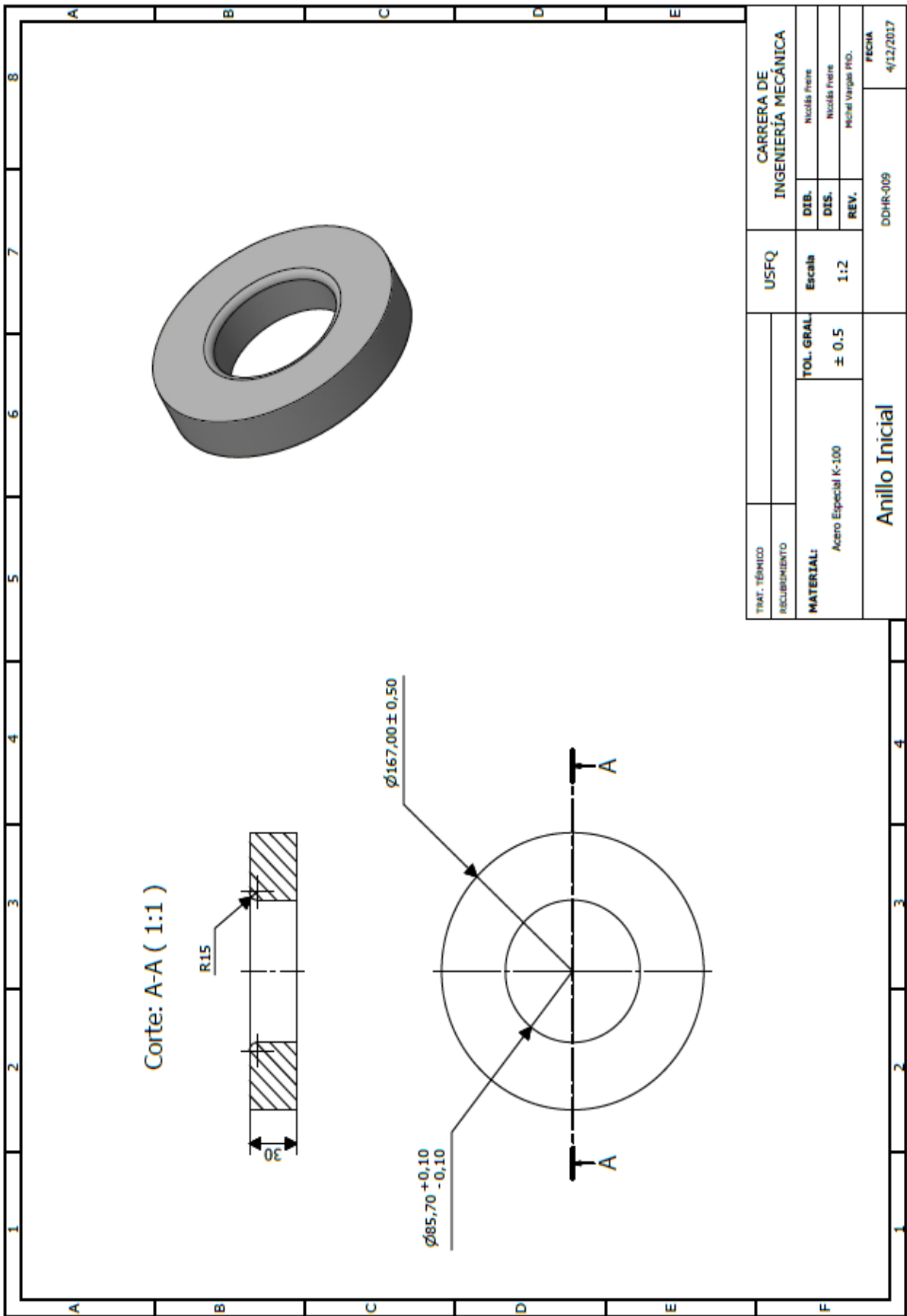


TRAT. TÉRMICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
RECURRIMIENTO		Escala	DIB. Nicolás Freire
MATERIAL: Acero Transmisión	TOL. GRAL.	1:4	DIS. Nicolás Freire
	± 0.5		REV. Michel Vargas PhD.
Estructura Prensa Chapas		DDHR-005	FECHA 19/12/2017

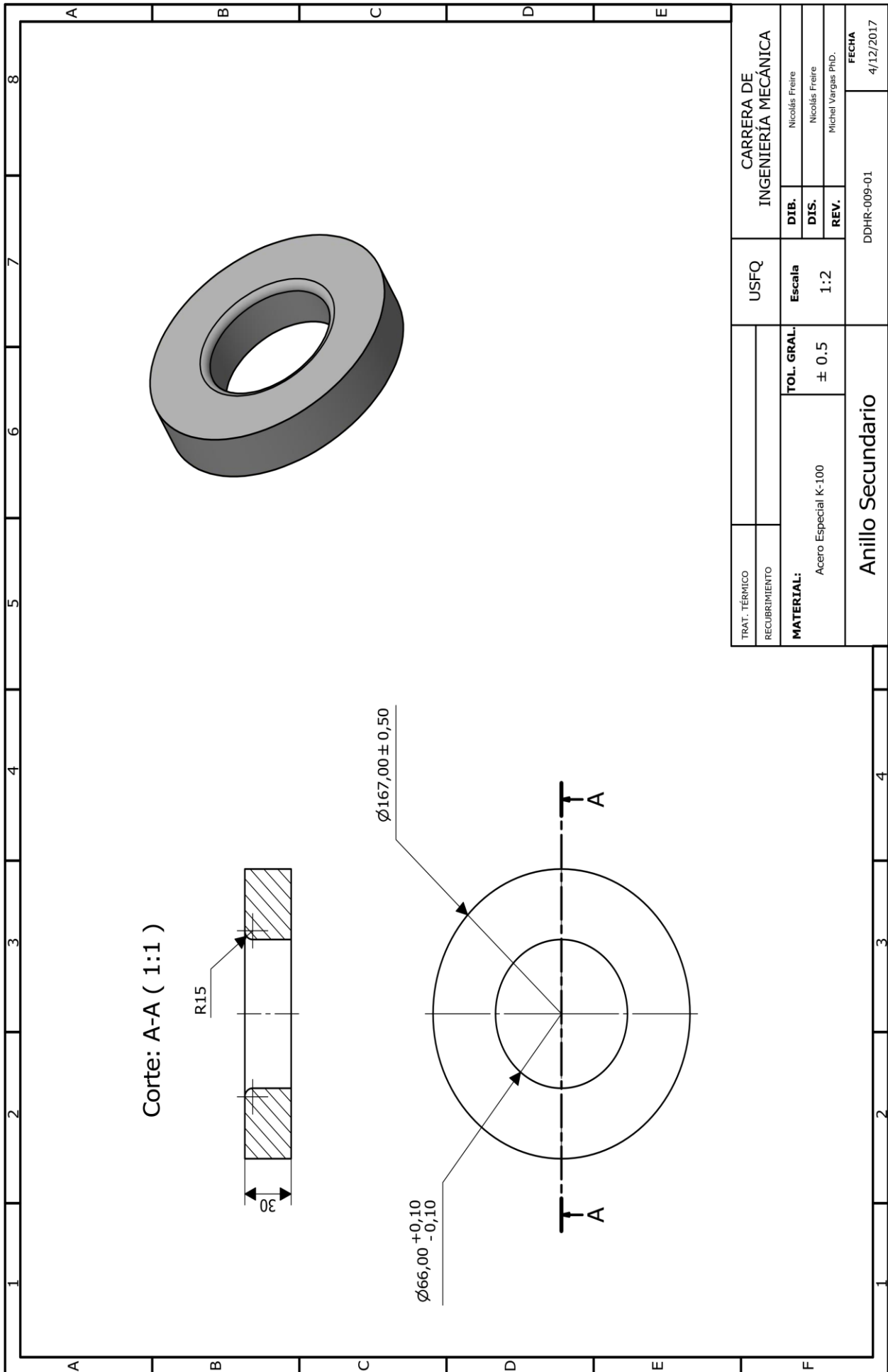




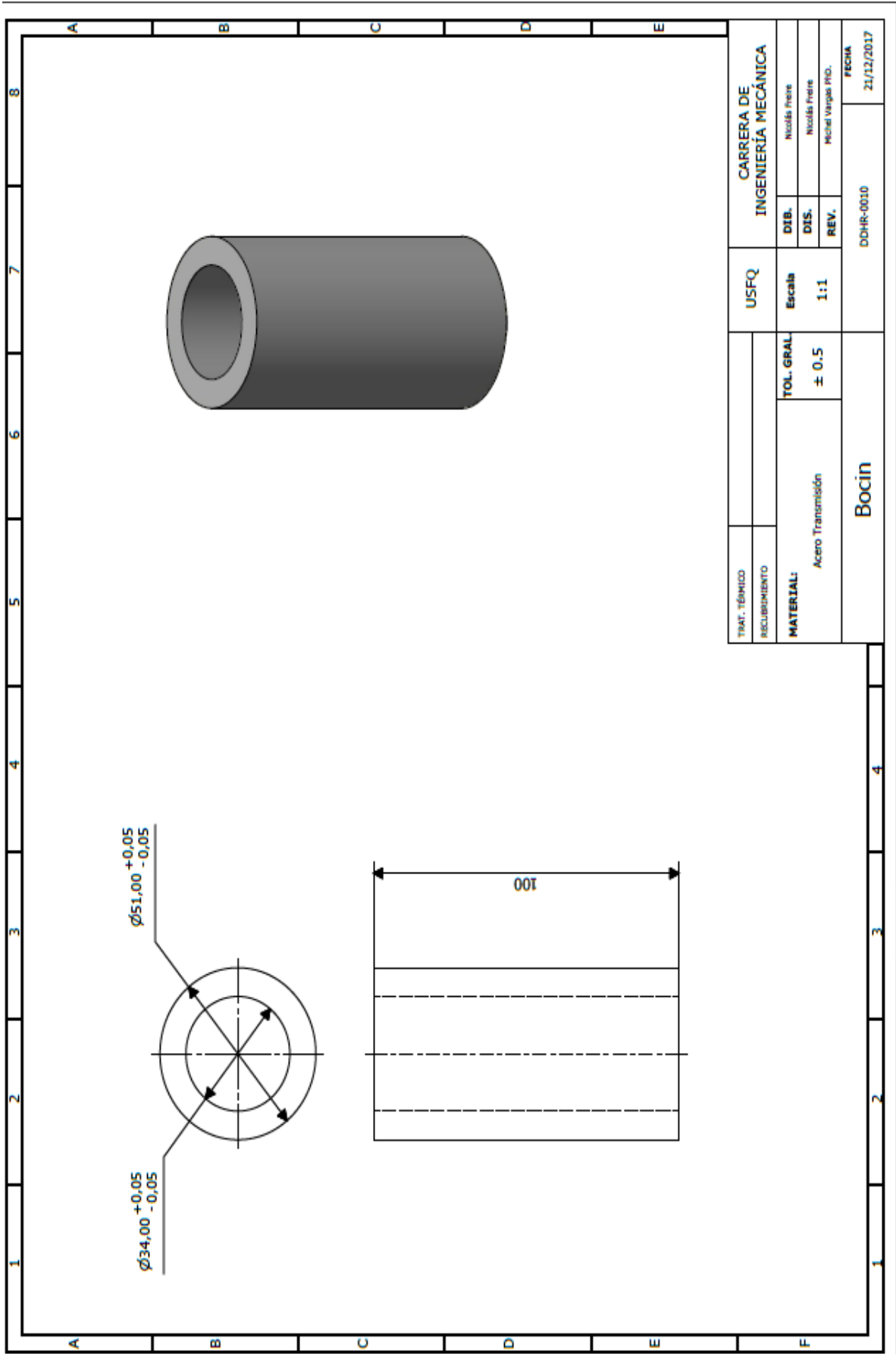
TRAT. TÉRMICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO			DIB.	Nicolás Freire	
MATERIAL:	TOL. GRAL.	Escala	DIS.	Nicolás Freire	
Acero A-36. 200 mm diámetro	± 0.50	1:2	REV.	Michel Vargas PHD.	
Base Matriz y Anillo			DDHR-008	FECHA	
				4/12/2017	



TRAT. TÉRMICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO			DIB.	Nicolás Freire	
MATERIAL: Acero Especial K-100	TOL. GRAL	Escala	DES.	Nicolás Freire	
	$\pm 0,5$	1:2	REV.	Nicolás Vargas PLO.	
Anillo Inicial			DDHR-009	FECHA	4/12/2017



TRAT. TÉRMICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO			DIB.	Nicolás Freire	
MATERIAL: Acero Especial K-100	TOL. GRAL. ± 0.5	Escaleta	DIS.	Nicolás Freire	
			REV.	Michel Vargas PHD.	
Anillo Secundario		DDHR-009-01	FECHA 4/12/2017		



TRAT. TÉCNICO		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECLUTAMIENTO		Escala	DIB.	Nicola Priere	
MATERIAL:	Acero Transmisión	TOL. GRAL	DIS.	Nicola Priere	
		± 0.5	REV.	Michel Vargas PZO.	
Bocin			DDHR-0010	FECHA	
				21/12/2017	