 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

# **FABRICACIÓN DE UN SISTEMA EXPERIMENTAL PARA EVALUAR EL PROCESO DE EBULLICIÓN EN NANOFUIDOS**

**DANIEL PINEDA RAMÍREZ**

**Directora del trabajo de grado**

**KAREN PAOLA CACUA MADERO**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA  
MEDELÍN  
2018**

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

La transferencia de calor utiliza la ebullición nucleada, como uno de los mecanismos más eficientes para transferir la energía.

Los nanofluidos son un campo amplio y complejo de estudio y aún no está plasmado con exactitud su comportamiento en sistemas de transferencia de calor, además luego de la etapa de la ebullición sus propiedades termo físicas se alteran considerablemente lo que hace necesario evaluar su comportamiento antes, durante y después. Para dicho propósito se diseñó y fabricó un sistema experimental para visualizar el proceso de ebullición de nanofluidos.

Para el desarrollo de este dispositivo experimental, se utilizaron diferentes elementos básicos tales: como vidrio, cobre, acero inoxidable, los cuales fueron seleccionados con el objetivo de permitir una buena visualización y conductiva térmica, un sistema de enfriamiento y un sistema de control de potencia, de manera que pudiera evaluarse el comportamiento de diferentes nanofluidos en el laboratorio de ciencias térmicas

## RECONOCIMIENTOS

A mi familia, que fue parte fundamental en mi formación, tanto académica como personal y siempre me apoyó.

A los docentes del Instituto Tecnológico Metropolitano, que nos educaron como personas integrales, a través de la trasmisión de sus conocimientos y competencias necesarias para poder formarnos como ingenieros.

Al laboratorio de ciencias térmicas y a la profesora Karen Cagua Madero, que me brindó la posibilidad de desarrollar el proyecto de grado en el laboratorio de Ciencias Térmicas, de la Facultad de Ingenierías del ITM y, en general, a todos los compañeros que de una u otra forma me ayudaron y compartieron sus experiencias y conocimientos para llevar a un buen término el desarrollo de este proyecto.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## ACRÓNIMOS

CHF: Flujo de calor crítico

BHTC: Coeficiente de transferencia de calor en ebullición

HVAC: Calefacción, ventilación y aire acondicionado

CNT: Carbuos o nanotubos de carbono

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	2
RECONOCIMIENTOS.....	2
ACRÓNIMOS .....	3
1. INTRODUCCIÓN .....	6
2. OBJETIVOS.....	6
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	6
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	6
3. MARCO TEÓRICO .....	7
3.1. LA TRANSFERENCIA DE CALOR por ebullicion Y SU POTENCIA CON LOS NANOFLUIDOS .....	7
3.2. DISEÑO DE SISTEMAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR .....	8
3.3. LOS NANOFLUIDOS .....	9
3.4. EBULLICION DE NANOFLUIDOS .....	9
4. METODOLOGÍA .....	11
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	15
5.1. DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO FABRICADO .....	16
5.1.1. Puesta a punto.....	16
6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....	18
8. ANEXOS.....	20

## LISTA DE IMÀGENES, FIGURAS Y ANEXOS

Imagen 1.A Sistema de Ebullición e Imagen 1.B Bloque de cobre .....	12
Imagen 1.C Cámara de ebullición.....	12
Imagen 1.D Sistema de recirculación.....	13
Imagen 1.E Sistema de variación de potencia.....	13
Imagen 1.F Puesta a punto dispositivo .....	16
Imagen 1.G Prueba en cámara de ebullición con agua .....	17
Imagen 1.H Indicación sensores de temperatura.....	17

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 1 Ensamble diseño final sistema .....	15
ANEXO A Ensamble sistema evaluación experimental de ebullición .....	20
ANEXO B Base de apoyo .....	21
ANEXO C Platina base de apoyo .....	22
ANEXO D Base fija superior .....	23
ANEXO E Base móvil inferior .....	24
ANEXO F Bloque cilíndrico de cobre .....	25
ANEXO G Tapa inferior .....	26
ANEXO H Tapa superior .....	27

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se hace la descripción sobre el proyecto desarrollado en el laboratorio de Ciencias Térmicas, en el cual se diseñó y se fabricó un dispositivo experimental para evaluar el comportamiento de los nanofluidos en su etapa de ebullición, como uno de los mecanismos más eficientes de transferencia de calor, ya que éstos son utilizados en diferentes aplicaciones de ingeniería y su mejora ha sido un tema de interés para muchos investigadores en los últimos años.

Para llevar a cabo el proyecto se utilizaron materiales tales como: vidrio, cobre, acero inoxidable, los cuales fueron seleccionados con el objetivo de facilitar el proceso de ebullición de los nanofluidos y además para que el contacto con los fluidos no fuera a corroer los materiales. Además, se utilizaron herramientas de medición y control para variar la temperatura y a su vez medir los datos que iba arrojando el proceso a medida que se iban manipulando cada una de las variables involucradas, se usaron termocoplas tipo K y resistencias eléctricas de cartucho de 500 y 300 Watts.

Por último, se realizaron pruebas con agua con el fin de poner a punto el dispositivo asegurando una buena hermeticidad que permitiera evaluar correctamente el comportamiento de los fluidos.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GENERAL

- ✓ Fabricar un dispositivo experimental para la evaluación del proceso de ebullición de nanofluidos en el laboratorio de ciencias térmicas.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Diseñar un dispositivo experimental para la evaluación experimental del proceso de ebullición de nanofluidos.
- ✓ Construir el dispositivo experimental diseñado.
- ✓ Evaluar el funcionamiento del dispositivo experimental construido.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR EBULLICION Y SU POTENCIA CON LOS NANOFLUIDOS

Los procesos de transferencia de energía asociados con los fenómenos de ebullición pueden llegar a alcanzar valores elevados de la rapidez de transferencia de calor, acompañados de diferencias relativamente pequeñas en temperatura. Estos fenómenos, asociados con el cambio de fase entre un líquido y un vapor, son más complejos y, por lo tanto, más difíciles de describir. Lo anterior se debe a la consideración de factores adicionales de tensión superficial, calor latente de vaporización, características de la superficie entre otras propiedades (Welty, Wicks, , & Wilson, 2008).

La transferencia de calor por ebullición se asocia con un cambio de fase de líquido a vapor. Junto con los fenómenos de ebullición pueden llegar a alcanzarse flujos de calor muy altos, haciendo que esta aplicación sea especialmente valiosa cuando se dispone de un espacio pequeño para llevar a cabo una transferencia de energía algo grande. Una de muchas aplicaciones es el enfriamiento de reactores nucleares. El advenimiento de esta aplicación ha hecho que se despierte el interés en el fenómeno de ebullición y la investigación dedicada a dicha área en los años recientes ha dado mucha luz sobre el mecanismo y comportamiento de tal fenómeno (Welty, Wicks, , & Wilson, 2008).

La transferencia de calor emplea uno de los mecanismos más eficientes, como es la ebullición, la cual es utilizada por muchas empresas que tienen aplicaciones en el ámbito de la ingeniería, especialmente, las dedicadas a la calefacción y a la refrigeración. Los líquidos que se utilizan tradicionalmente como refrigerantes, aumentan sus propiedades de transferencia de calor, en la misma proporción que se incrementa su conductividad térmica, mientras que los líquidos y los gases tienen un rendimiento térmico limitado, debido a su baja conductividad térmica (Blog. CarbonInspired 2.0, 2014).

La transferencia de calor, tiene diferentes métodos para mejorarla en cuanto a su potencia, para lo cual existen dos categorías:

- ✓ Los métodos pasivos, que se aplican en superficies rugosas, superficies extendidas y la adición de materiales al fluido.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- ✓ Los métodos activos, que se aplican en el uso de los campos electrostáticos y en la inducción de vibraciones en la superficie o el fluido (Kumar G, S. Suresh, Thansekhar, & Babu P, 2017).

La ebullición nucleada es un régimen en el que las burbujas de vapor que se producen en la superficie de la fuente de calor, se desprenden de ella a medida que se producen y son arrastradas por el líquido, dando lugar a una tasa de intercambio térmico muy elevada en los equipos de transferencia de calor. En el caso de las industrias en las que se utilice la manipulación de fluidos, están los reactores nucleares de refrigeración, los chips electrónicos y las calderas, entre otros.

Para lograr la mayor potencia en la transferencia de calor, está el uso de nanofluidos, que es una nueva forma de mejorar el coeficiente de transferencia de calor en ebullición BHTC, Coeficiente de transferencia de calor en ebullición y el CHF: Flujo de calor crítico, como parte importante en la eficiencia de los equipos y de la maquinaria que se afecten con este proceso (Quan, Wang, & Cheng, 2017).

### **3.2. DISEÑO DE SISTEMAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR**

En este diseño, cuando se involucran calor latente, la ebullición nucleada, es el método que se considera más eficiente, debido a la alta capacidad de transferencia de calor. Esta ebullición se ha incorporado a diversas aplicaciones, como por ejemplo, la generación de energía hidráulica térmica, tubos de calor, intercambiadores de calor, electrónica de alta potencia y enfriamiento de reactores nucleares, pero también tiene límites en su operación, especialmente, en el flujo de calor crítico, CHF; pues cuando éste se alcanza, la película de vapor de burbujas se fusionan con el alto flujo de calor y se interrumpe el contacto directo entre la superficie del calentador y el líquido, lo que da como resultado un rápido aumento en la temperatura de la superficie, causando fallas en el calentador. Para esto, se ha encontrado que, para aumentar el CHF, es conveniente utilizar nanofluidos, que son una suspensión de partículas como metales, óxidos, carburos o nanotubos de carbono (CNT) de tamaño microscópico (Kim, Kim, Kim, Kim, & Ahn, 2014).



 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3.3. LOS NANOFLUIDOS

Son una nueva clase de fluidos producidos mediante la dispersión de materiales de tamaño nanométrico  $< 100\text{nm}$ , lo que se refleja en nanopartículas, nanotubos, o gotas, en fluidos de base. Esta medida, es una nanoescala que se forma en una nanoestructura bidimensional con un espesor que fluctúa en esta escala. Los nanofluidos son suspensiones coloidales que se mueven en una escala muy pequeña, los que, a su vez, tienen dos fases, una fase sólida que se dispersa en otra fase líquida. Los nanofluidos poseen propiedades termo físicas mejoradas, tales como la conductividad térmica, la difusividad térmica, la viscosidad y los coeficientes de transferencia de calor convectivo, con respecto a fluidos comunes, entre los que se encuentran el aceite y el agua (Blog. CarbonInspired 2.0, 2014).

### 3.4. EBULLICION DE NANOFLUIDOS


Reza Salimpour y Col. (2017), realizaron un experimento para evaluar la transferencia de calor en ebullición del nanofluido de óxido de hierro / agua desionizada, sobre una superficie plana de cobre a presión atmosférica. Estas mediciones se hicieron para evaluar el efecto de la concentración del nanofluido, el tipo de superficie, la rugosidad de la superficie, el espesor de sedimentación y el flujo de calor sobre la rugosidad de la superficie después de los experimentos de ebullición. Los resultados mostraron que después de la prueba de ebullición en la superficie rugosa, la transferencia de calor por ebullición de nanofluidos se redujo a flujos de calor bajos, mientras que aumentaba en flujos de calor elevados. Además, para superficies rugosas con alto flujo de calor y superficies lisas con bajo flujo de calor, se observó que la transferencia de calor en ebullición puede aumentarse haciendo depositando partículas en la superficie.

Kim y Col. (2014), evaluaron experimentalmente el flux crítico de calor usando nanofluidos de óxido de aluminio y óxido de grafeno en un sistema de ebullición experimental. El flux critico de calor (CHF) aumentó con el aumento del espesor de la película de óxido de grafeno (GO); sin embargo, el CHF no era relacionado con la humectabilidad o el ángulo de contacto aparente. La disipación de calor se analizó en términos de la actividad térmica de la película, que depende del espesor y la conductividad térmica de la capa depositada. El espesor fue determinado por la concentración de la suspensión coloidal. La actividad térmica calculada se correlacionó con el CHF e indicó que la capa GO depositada actuó como un esparcidor de calor y

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

retrasó el inicio de los fenómenos de CHF. Se concluyó que el CHF en la ebullición de la piscina se puede aumentar a través de la formación de una capa GO a partir de una suspensión coloidal. El mecanismo que subyace a este aumento es la disipación de calor dentro de la capa GO y el grosor de esta capa fue el parámetro dominante que afecta al CHF.

Otra evaluación experimental de la etapa de ebullición, se realizó en un calentador de placa plana para valorar el comportamiento de un nanofluido de sílice con variaciones en la inclinación del dispositivo experimental desde 0° a 90°. Los resultados mostraron que en la ebullición con nanofluido, aumentar el ángulo de inclinación de la superficie del calentador de 0° a 90° aumenta el flux de calor crítico (CHF) y disminuye el coeficiente de transferencia de calor por ebullición (BHTC), mientras que en agua desionizada, ambos CHF y BHTC, disminuyeron con el ángulo de inclinación de la superficie (Mina, ,Nasrin, & Mohsen Nasr , 2017).

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## 4. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto, se contó con el apoyo, guía, orientación y aportes de la asesora asignada, quien aporta su experiencia para hacer la implementación en el laboratorio de ciencias térmicas.

También se utilizó como guía, algunos artículos digitales especializados en el tema, los cuales sirvieron como base, ya que se analizaron los experimentos que allí se describen, relacionando los elementos utilizados en las pruebas, con los resultados que éstas arrojan, las cuales sirven para mejorar el sistema, a través de los conceptos generales que pueden tomarse como base para su implementación, de manera que puedan hacerse pruebas con diversos fluidos y se obtengan los resultados que se asocian en este proyecto.

Para el diseño del dispositivo, se utilizó la herramienta de dibujo Autodesk Inventor, Software CAD 3D y de diseño mecánico, con el cual se modelaron cada una de las piezas y se ensamblaron para hacer posteriormente la fabricación.

Los elementos utilizados para la fabricación fueron un bloque de cobre cilíndrico, una cámara de ebullición, un sistema de enfriamiento y un sistema de control de potencia (ver imágenes 1A, 1B, 1C, 1D y 1E).

### 4.1. Esquema del sistema experimental

El calentador incluyó dos resistencias de cartucho, uno de 8 mm de diámetro y 80 mm de longitud, con una potencia de 500 W, que está incrustada en el centro de un bloque de cobre cilíndrico, como lo muestra la figura uno. La otra resistencia, tiene 8 mm de diámetro, 80 mm de longitud y una potencia de 300 W, que está incrustada en la tapa superior de la cámara de ebullición, la cual se utiliza para lograr la ebullición saturada y des gasificar el fluido, calentándolo hasta alcanzar la temperatura de ebullición.

El calentador tiene una superficie móvil, que es un disco de cobre circular, instalado en una de las secciones transversales del bloque de cobre.

La cámara de ebullición se realizó con un tubo de vidrio boro silicato 3.3 Ø40, con un espesor de 2.0 y una longitud de 12 cm.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

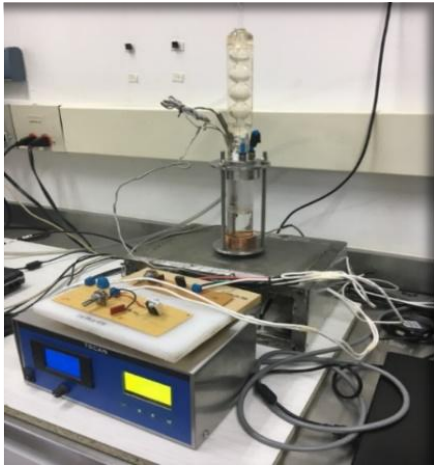


Imagen 1.A Sistema de Ebullición



Imagen 1.B Bloque de cobre



Imagen 1.C Cámara de ebullición

Se utilizaron tres termopares tipo K, uno que está en la superficie del calentador móvil, otro, que está en el bloque de cobre y otro, que está en la tapa superior en contacto con el fluido, para medir la temperatura de la superficie. Estos termopares se conectaron a un lector de temperatura que muestra la temperatura de las superficies.

Hubo necesidad de incorporar un condensador que se conectó a un baño termostático y se ubicó en la tapa superior para condensar el vapor y evitar que éste se escape. A este condensador, se le puso una bomba de agua sumergible, que recirculaba y refrigeraba el dispositivo, evitando que se evapore el fluido del interior del sistema de ebullición.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

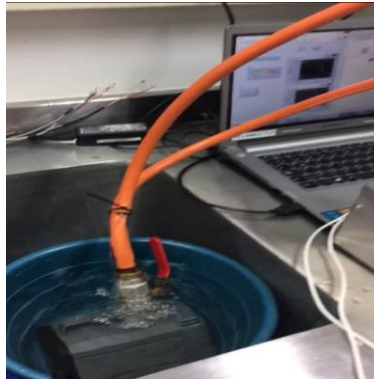


Imagen 1.D Sistema de recirculación

Las dos resistencias están conectadas a un sistema de variación de potencia para controlar y poder hacer las pruebas con los valores deseados.

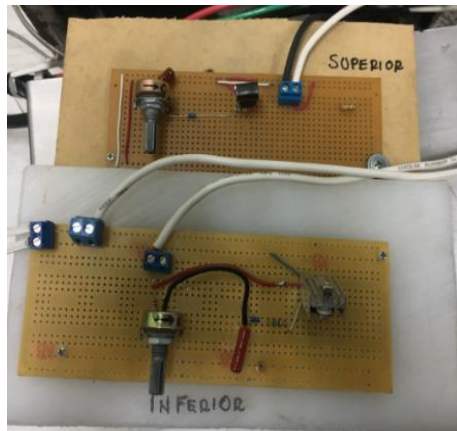


Imagen 1.E Sistema de variación de potencia

Las piezas se mecanizaron para darle la geometría necesaria al sistema con las siguientes máquinas y herramientas: Torno convencional, Taladro radial, Taladro de mano, equipo de soldadura TIG, machuelos de 1/4", Bandedor plano y remachadora. Estos elementos fueron los que utilizaron para la fabricación:

- ✓ Una base de apoyo fabricada en acero, con un ángulo de 3/4", con la que se construyó un cubo de 28X21 cms y las pegas se hicieron con un equipo de soldadura TIG.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- ✓ Una platina, en acero inoxidable, como base de apoyo, que tiene un espesor de 3/16" y con medidas de 28X21 cms y soldada con soldadura TIG, en la parte superior de la base de apoyo.
- ✓ Un bloque cilíndrico, de cobre de 7/8" de diámetro y 13 cms de longitud, el cual se mecanizó en el torno, luego se le hicieron las perforaciones de 2 mm en el taladro radial, para hacer una rosca de 3 mm y de este modo, asegurar la resistencia de cartucho que está incrustada en el interior.
- ✓ Una tapa inferior y otra superior, en acero inoxidable, con una lámina de 3/16" de espesor y con una longitud de 9X9 cms, la cual se mecanizó en el torno a 82 mm de diámetro exterior y 45 mm de diámetro interior, con tres perforaciones equidistantes a un diámetro de 70 mm, hechas con el taladro radial. Las perforaciones de la tapa inferior se roscaron pasantes con machuelos de 1/4" y las de la tapa superior se perforaron pasantes con broca de 1/4".
- ✓ Una base de cobre de 2" de diámetro y 3 cms de longitud, para ponerla en la parte inferior móvil, la que se mecanizó en el torno convencional, se le hizo una perforación de 3 mm con el taladro radial, para incrustar una termocupla tipo K.
- ✓ Una base en aluminio, de 2 1/2" de diámetro y 4 cms de longitud, para ubicarla en la parte fija superior.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diseño final se muestra en la figura 1. En la figura se puede observar los diferentes componentes del dispositivo y su ubicación específica.

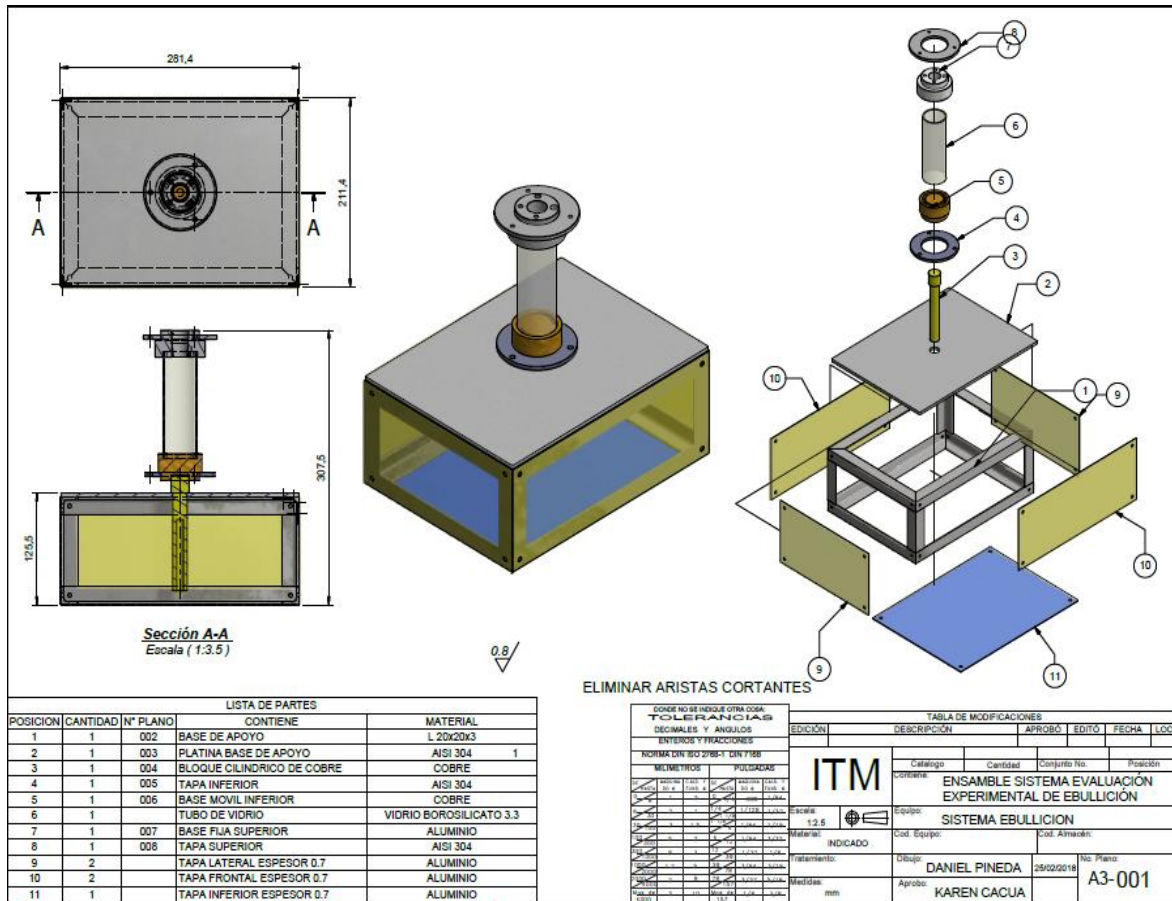


Figura 1 Ensamble diseño final sistema



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5.1. DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO FABRICADO

La cámara de ebullición, se construyó en vidrio de boro silicato, de manera que permitiera buena visualización y soportara altas temperaturas y altas presiones. El bloque cilíndrico, sobre el que se pone la cámara de ebullición, se fabricó en cobre, ya que este material posee una alta conductividad térmica, lo que favorece que el calor que proporciona la resistencia de cartucho, se transmita de la mejor manera posible y sea aprovechado para calentar el fluido que contiene el interior de la cámara de ebullición. La resistencia de cartucho, se cubrió con fibra de vidrio para evitar que el calor se disipe en el ambiente, las tapas superior e inferior, junto con los espárragos que las sujetan, se fabricaron en acero inoxidable para evitar que se corroan cuando entre en contacto con los fluidos. La base superior fija, se construyó en aluminio, el cual es un material que posee alta resistencia a la corrosión, lo que beneficia que no se modifique el fluido que se encuentra contenido en la cámara de ebullición y que va a ser estudiado. Las piezas se mecanizaron en un torno convencional, el cual permitió cilindrar y darle forma a cada una de las piezas utilizadas en el ensamble, además las perforaciones se hicieron con un taladro radical; las pegas para compactar la base que soporta el dispositivo se hicieron con un equipo de soldadura MIG; los elementos utilizados para sujetar el ensamble del sistema, fueron remaches POP y varilla roscada inoxidable de ¼in, con sus respectivas tuercas. (Ver Anexos).

### 5.1.1. Puesta a punto

Al dispositivo se le realizaron pruebas con el fin de verificar que sus elementos funcionaran de forma adecuada. Se realizaron pruebas de hermeticidad con el fin de verificar fugas. Para estas pruebas se utilizó agua como fluido de ensayo y se constató el correcto funcionamiento de los elementos involucrados en el sistema.

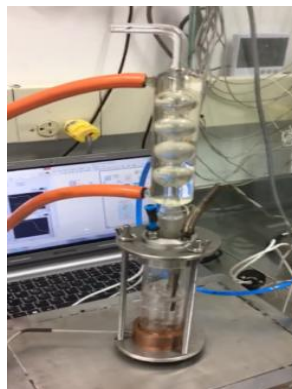


Imagen 1.F Puesta a punto dispositivo



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La cámara de ebullición contenía el fluido prueba con un porcentaje de llenado del 60% de su capacidad total, el vidrio de boro silicato permitió visualizar el proceso de nucleación y formación de burbujas, no se percibieron fugas de fluido gracias al sello que efectúan los O'rings siliconados instalados en las tapas superior e inferior.

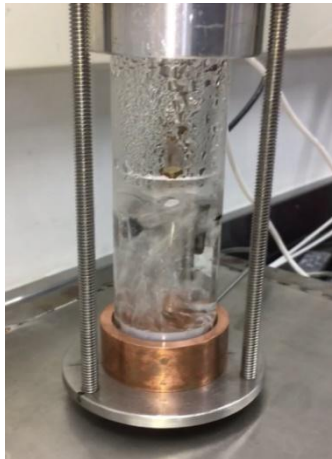


Imagen 1.G Prueba en cámara de ebullición con agua

Una vez se encendió el dispositivo, las resistencias de cartucho comenzaban el proceso de transferencia de energía hacia la superficie de cobre y posteriormente al fluido, incrementando paulatinamente los valores de temperatura en los tres puntos de monitoreo instalados en el sistema.



Imagen 1.H Indicación sensores de temperatura

Luego de transcurrir un tiempo aproximado de 10 minutos el sistema se estabiliza y se empieza a dar un continuo cambio de fase en el interior de la cámara de ebullición.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22


## 6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- ✓ Se diseñó y construyó un dispositivo para evaluar el proceso de ebullición en nanofluidos.
- ✓ La puesta a punto del sistema, se llevó a cabo con agua para garantizar que el dispositivo fuera funcional y hermético.
- ✓ El comportamiento del sistema, utilizando agua, es muy estable. Se verificó que la temperatura varió muy poco y se mantuvo, entre 20 y 30 min., que fue el tiempo de duración de las pruebas al interior de la cámara luego de que el agua ebulló.

Para visualizar de mejor manera y de forma más detallada, la ebullición de los nanofluidos, se recomienda utilizar una cámara de alta velocidad, que permita observar más en detalle, el comportamiento y la forma como se da el proceso de ebullición, ya que éste se presenta a altas velocidades.

Cabe resaltar que el sistema que aquí se describe, está sujeto a mejoras sustanciales, que ayuden a mejorar su eficiencia

Este dispositivo queda a disposición del laboratorio de ciencias térmicas, para hacer trabajos futuros, en los cuales se utilizan, como objeto de estudio, diferentes nanofluidos y con distintas concentraciones, para evaluar su comportamiento.

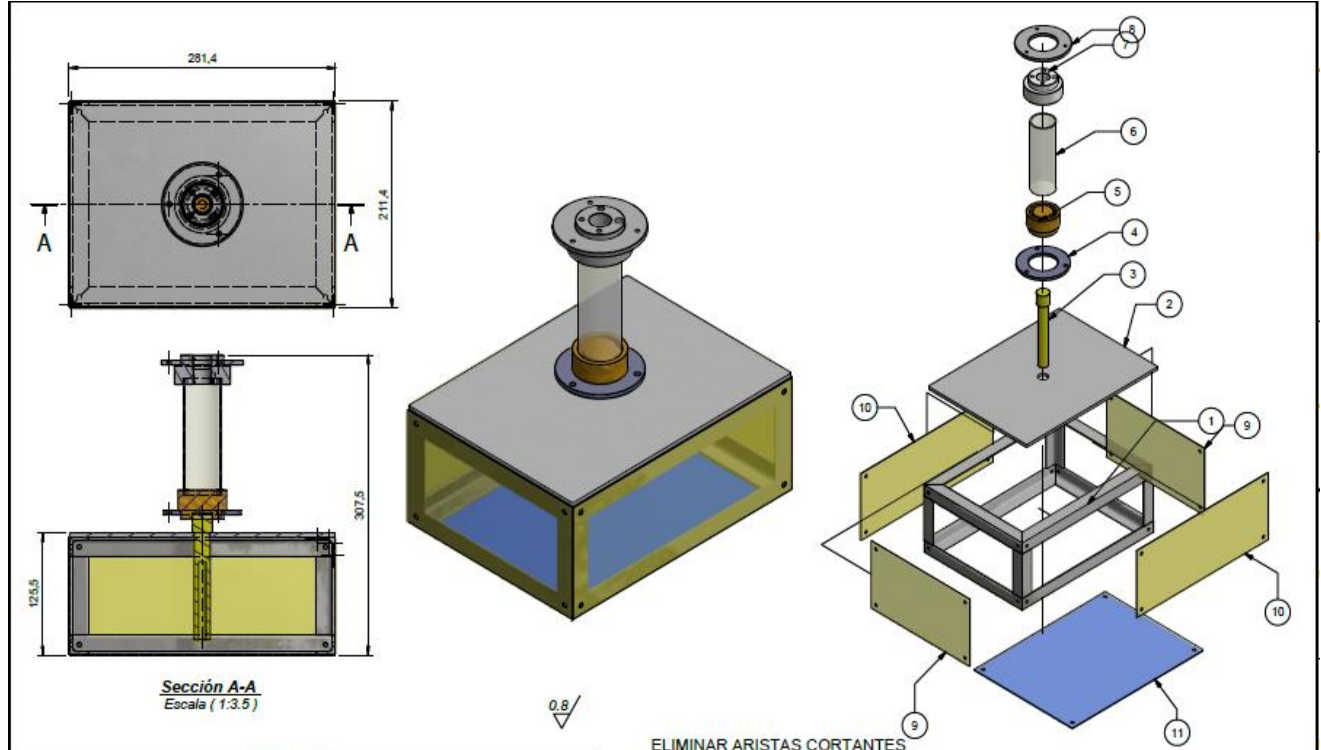
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## 7. REFERENCIAS

- Blog. CarbonInspired 2.0. (2014). Fluidos con mejor conductividad térmica gracias a las nanopartículas. [En línea] Recuperado de: <http://carboninspired2.com/blog/?p=946> Consultado el 3 22 de noviembre de 2017.
- Kim, J. M., Kim, T. J., Kim, J. Y., Kim, M. H., & Ahn, H. S. (2014). Effect of a graphene oxide coating layer on critical heat flux enhancement under pool boiling. [En línea] Recuperado de: [www.elsevier.com/locate/ijhmt](http://www.elsevier.com/locate/ijhmt). Consultado el 12 de noviembre de 2017 Revista: Int. J. Heat Mass Transf., vol. 77, pp. 919–927, 2014. journal homepage:.
- Kumar G, U., S. Suresh, M., Thansekhar, R., & Babu P, D. (2017). Effect of diameter of metal nanowires on pool boiling heat transfer with FC-72. [En línea] Recuperado del: [www.elsevier.com/locate/apsusc](http://www.elsevier.com/locate/apsusc) Revista Ciencias superficiales aplicadas vol. 423, pp. 509–520, Consultado el 7 de noviembre de 2017.
- Mina, D., Nasrin, E., & Mohsen Nasr, E. (2017). Influence of orientation and roughness of heater surface on critical heat flux and pool boiling heat transfer coefficient of nanofluid. Revista ingeniería térmica aplicada volumen 124 pp 353-361 consultado el 12 de septiembre de 2017 {En línea} Recuperado de: [www.elsevier.com/locate/apthermeng](http://www.elsevier.com/locate/apthermeng) Consultado el 12 de septiembre de 2017.
- Quan, X., Wang, D., & Cheng, P. (2017). An experimental investigation on wettability effects of nanoparticles in pool boiling of a nanofluid. [En línea] Recuperado de: [www.elsevier.com/locate/ijhmt](http://www.elsevier.com/locate/ijhmt). Revista Internacional de Calor y Transferencia de Masa. Int. J. Heat Mass Transf., vol. 108, pp. 32–40 Consultado el 20 de noviembre de 2017.
- Reza Salimpour, M., Ali, A., & Afrand, M. (2017). An experimental study on deposited surfaces due to nanofluid pool boiling: Comparison between rough and smooth surfaces. Revista ciencia experimental térmica y fluida. volumen 88 pp 288-300 {En línea} Recuperado de: [www.elsevier.com/locate/etfs](http://www.elsevier.com/locate/etfs) Consulatdo el 12 de noviembre de 2017.
- Welty, J. R., Wicks, C. E., & Wilson, R. E. (2008). Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa. México, México D.F.: Editorial Limusa S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores C.P. 06040. ISBN -13:978-968-18-5896-4 p. 463, 464, 478 932p.

## 8. ANEXOS

### ANEXO A Ensamble sistema evaluación experimental de ebullición




**Sección A-A**  
Escala ( 1:3.5 )

0.8

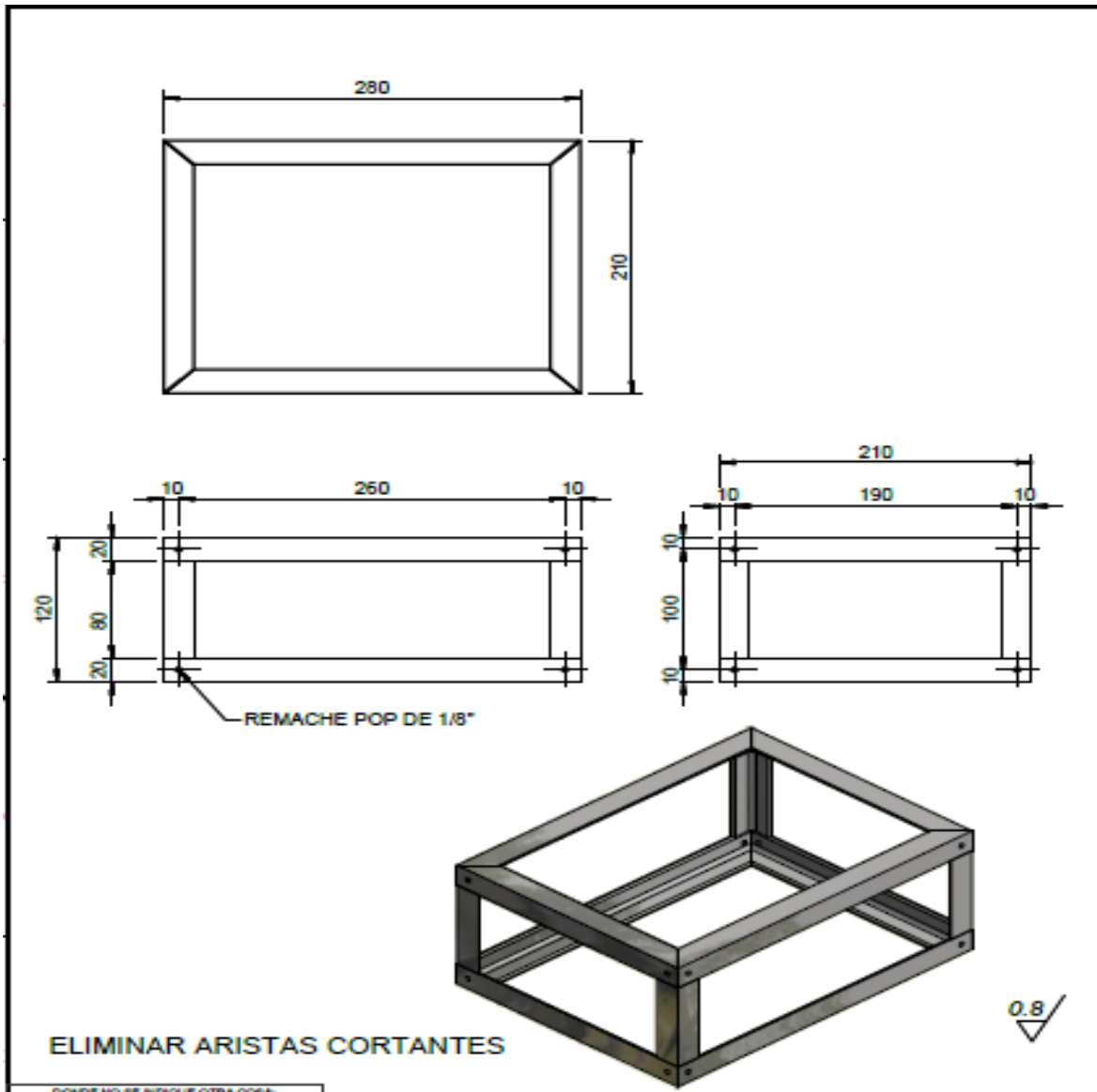
ELIMINAR ARISTAS CORTANTES

LISTA DE PARTES				
POSICION	CANTIDAD	N° PLANO	CONTIENE	MATERIAL
1	1	002	BASE DE APOYO	L 20x20x3
2	1	003	PLATINA BASE DE APOYO	AISI 304 1
3	1	004	BLOQUE CILINDRICO DE COBRE	COBRE
4	1	005	TAPA INFERIOR	AISI 304
5	1	006	BASE MOVIL INFERIOR	COBRE
6	1		TUBO DE VIDRIO	VIDRIO BOROSILICATO 3.3
7	1	007	BASE FLJA SUPERIOR	ALUMINIO
8	1	008	TAPA SUPERIOR	AISI 304
9	2		TAPA LATERAL ESPESOR 0.7	ALUMINIO
10	2		TAPA FRONTAL ESPESOR 0.7	ALUMINIO
11	1		TAPA INFERIOR ESPESOR 0.7	ALUMINIO

DONDE NO SE INDIQUE OTRA COSA: TODOS LOS PLANOS EN UNIDADES DECIMALES Y ANGILOS ENTEROS Y FRACCIONES		TABLA DE MODIFICACIONES					
NORMA DIN ISO 2160-T-DIN 7188		EDICIÓN	DESCRIPCIÓN	APROBÓ	EDITÓ	FECHA	LOG.
MILIMETROS	PULSADAS	 <p>Equipo: SISTEMA EBULLICION</p> <p>Material: INDICADO</p> <p>Dibujo: DANIEL PINEDA</p> <p>Aprobó: KAREN CACUA</p> <p>Fecha: 28/02/2018</p> <p>No. Plano: A3-001</p>					
12.5							



 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### ANEXO B Base de apoyo



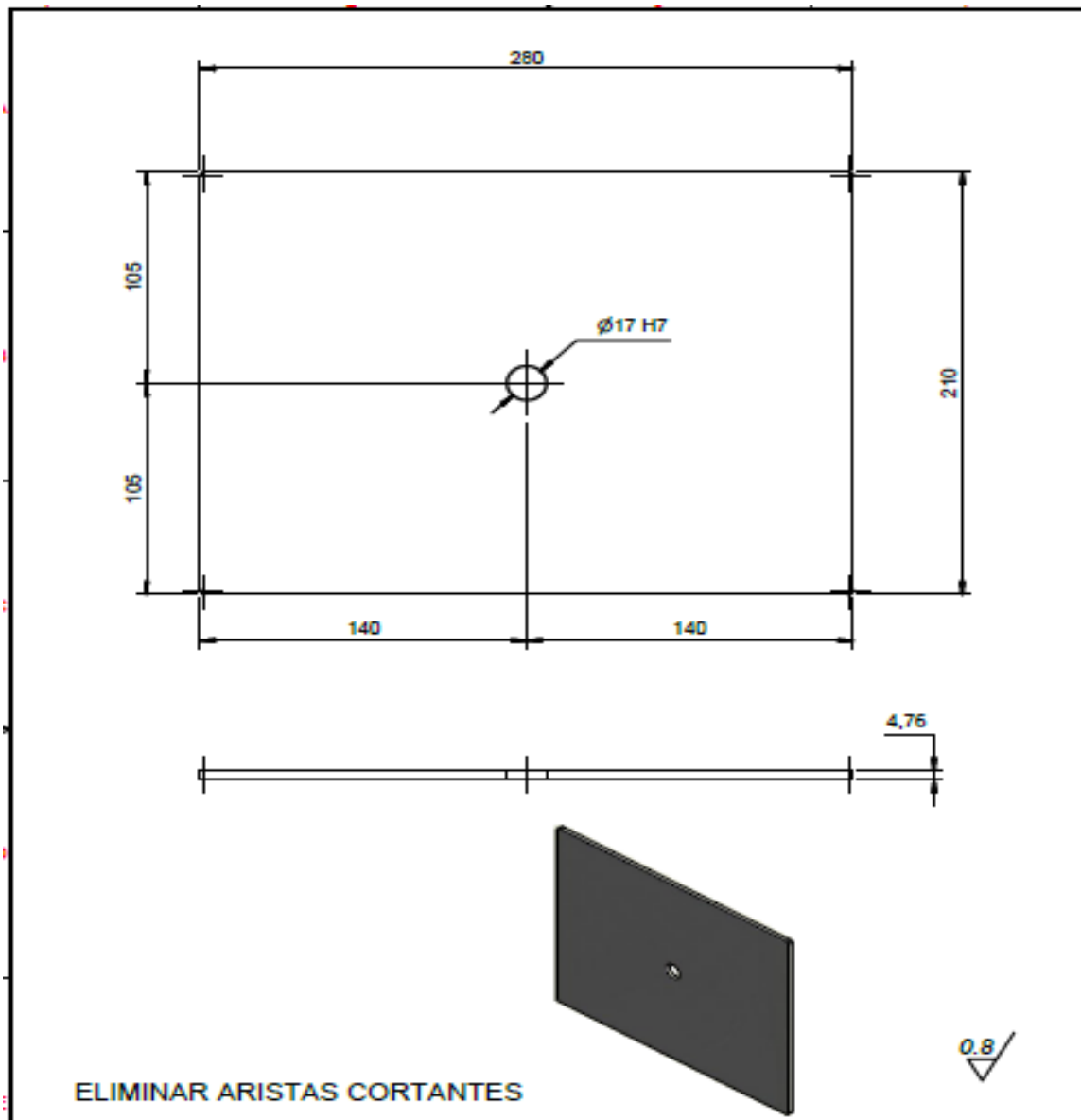
ELIMINAR ARISTAS CORTANTES



0.8

DONDE NO SE INDIQUE OTRA COSA: <b>TOLERANCIAS DECIMALES Y ANGULOS ENTEROS Y FRACCIONES</b> NORMA DIN ISO 2768-1 DIN 7185		<b>TABLA DE MODIFICACIONES</b>																																																																																																																																																																																													
		EDICIÓN	DESCRIPCIÓN	APROBÓ	EDITÓ	FECHA	LOC.																																																																																																																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">MILIMETROS</th> <th colspan="2">PULGADAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>±0.1</td><td>±0.004</td><td>±0.0015</td><td>±0.0005</td></tr> <tr><td>±0.2</td><td>±0.008</td><td>±0.003</td><td>±0.001</td></tr> <tr><td>±0.3</td><td>±0.012</td><td>±0.0045</td><td>±0.0015</td></tr> <tr><td>±0.4</td><td>±0.016</td><td>±0.006</td><td>±0.002</td></tr> <tr><td>±0.5</td><td>±0.020</td><td>±0.0075</td><td>±0.0025</td></tr> <tr><td>±0.6</td><td>±0.024</td><td>±0.009</td><td>±0.003</td></tr> <tr><td>±0.7</td><td>±0.028</td><td>±0.0105</td><td>±0.0035</td></tr> <tr><td>±0.8</td><td>±0.032</td><td>±0.012</td><td>±0.004</td></tr> <tr><td>±0.9</td><td>±0.036</td><td>±0.0135</td><td>±0.0045</td></tr> <tr><td>±1.0</td><td>±0.040</td><td>±0.015</td><td>±0.005</td></tr> <tr><td>±1.2</td><td>±0.048</td><td>±0.018</td><td>±0.006</td></tr> <tr><td>±1.5</td><td>±0.060</td><td>±0.0225</td><td>±0.0075</td></tr> <tr><td>±2.0</td><td>±0.080</td><td>±0.030</td><td>±0.010</td></tr> <tr><td>±2.5</td><td>±0.100</td><td>±0.0375</td><td>±0.0125</td></tr> <tr><td>±3.0</td><td>±0.120</td><td>±0.045</td><td>±0.015</td></tr> <tr><td>±4.0</td><td>±0.160</td><td>±0.060</td><td>±0.020</td></tr> <tr><td>±5.0</td><td>±0.200</td><td>±0.075</td><td>±0.025</td></tr> <tr><td>±6.0</td><td>±0.240</td><td>±0.090</td><td>±0.030</td></tr> <tr><td>±8.0</td><td>±0.320</td><td>±0.120</td><td>±0.040</td></tr> <tr><td>±10.0</td><td>±0.400</td><td>±0.150</td><td>±0.050</td></tr> <tr><td>±12.0</td><td>±0.480</td><td>±0.180</td><td>±0.060</td></tr> <tr><td>±15.0</td><td>±0.600</td><td>±0.225</td><td>±0.075</td></tr> <tr><td>±20.0</td><td>±0.800</td><td>±0.300</td><td>±0.090</td></tr> <tr><td>±25.0</td><td>±1.000</td><td>±0.375</td><td>±0.1125</td></tr> <tr><td>±30.0</td><td>±1.200</td><td>±0.450</td><td>±0.135</td></tr> <tr><td>±40.0</td><td>±1.600</td><td>±0.600</td><td>±0.180</td></tr> <tr><td>±50.0</td><td>±2.000</td><td>±0.750</td><td>±0.225</td></tr> <tr><td>±60.0</td><td>±2.400</td><td>±0.900</td><td>±0.270</td></tr> <tr><td>±80.0</td><td>±3.200</td><td>±1.200</td><td>±0.360</td></tr> <tr><td>±100.0</td><td>±4.000</td><td>±1.500</td><td>±0.450</td></tr> <tr><td>±120.0</td><td>±4.800</td><td>±1.800</td><td>±0.540</td></tr> <tr><td>±150.0</td><td>±6.000</td><td>±2.250</td><td>±0.675</td></tr> <tr><td>±200.0</td><td>±8.000</td><td>±3.000</td><td>±0.900</td></tr> <tr><td>±250.0</td><td>±10.000</td><td>±3.750</td><td>±1.125</td></tr> <tr><td>±300.0</td><td>±12.000</td><td>±4.500</td><td>±1.350</td></tr> <tr><td>±400.0</td><td>±16.000</td><td>±6.000</td><td>±1.800</td></tr> <tr><td>±500.0</td><td>±20.000</td><td>±7.500</td><td>±2.250</td></tr> <tr><td>±600.0</td><td>±24.000</td><td>±9.000</td><td>±2.700</td></tr> <tr><td>±800.0</td><td>±32.000</td><td>±12.000</td><td>±3.600</td></tr> <tr><td>±1000.0</td><td>±40.000</td><td>±15.000</td><td>±4.500</td></tr> </tbody> </table>		MILIMETROS		PULGADAS		±0.1	±0.004	±0.0015	±0.0005	±0.2	±0.008	±0.003	±0.001	±0.3	±0.012	±0.0045	±0.0015	±0.4	±0.016	±0.006	±0.002	±0.5	±0.020	±0.0075	±0.0025	±0.6	±0.024	±0.009	±0.003	±0.7	±0.028	±0.0105	±0.0035	±0.8	±0.032	±0.012	±0.004	±0.9	±0.036	±0.0135	±0.0045	±1.0	±0.040	±0.015	±0.005	±1.2	±0.048	±0.018	±0.006	±1.5	±0.060	±0.0225	±0.0075	±2.0	±0.080	±0.030	±0.010	±2.5	±0.100	±0.0375	±0.0125	±3.0	±0.120	±0.045	±0.015	±4.0	±0.160	±0.060	±0.020	±5.0	±0.200	±0.075	±0.025	±6.0	±0.240	±0.090	±0.030	±8.0	±0.320	±0.120	±0.040	±10.0	±0.400	±0.150	±0.050	±12.0	±0.480	±0.180	±0.060	±15.0	±0.600	±0.225	±0.075	±20.0	±0.800	±0.300	±0.090	±25.0	±1.000	±0.375	±0.1125	±30.0	±1.200	±0.450	±0.135	±40.0	±1.600	±0.600	±0.180	±50.0	±2.000	±0.750	±0.225	±60.0	±2.400	±0.900	±0.270	±80.0	±3.200	±1.200	±0.360	±100.0	±4.000	±1.500	±0.450	±120.0	±4.800	±1.800	±0.540	±150.0	±6.000	±2.250	±0.675	±200.0	±8.000	±3.000	±0.900	±250.0	±10.000	±3.750	±1.125	±300.0	±12.000	±4.500	±1.350	±400.0	±16.000	±6.000	±1.800	±500.0	±20.000	±7.500	±2.250	±600.0	±24.000	±9.000	±2.700	±800.0	±32.000	±12.000	±3.600	±1000.0	±40.000	±15.000	±4.500	<table border="1"> <tr> <td>Catálogo</td> <td>Cantidad</td> <td>Conjunto No.</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Contiene:</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;"><b>BASE DE APOYO</b></td> </tr> <tr> <td colspan="4">Equipo:</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;"><b>SISTEMA EBULLICION</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Cod. Equipo:</td> <td colspan="2">Cod. Almacén:</td> </tr> </table>		Catálogo	Cantidad	Conjunto No.	1	Contiene:				<b>BASE DE APOYO</b>				Equipo:				<b>SISTEMA EBULLICION</b>				Cod. Equipo:		Cod. Almacén:	
MILIMETROS		PULGADAS																																																																																																																																																																																													
±0.1	±0.004	±0.0015	±0.0005																																																																																																																																																																																												
±0.2	±0.008	±0.003	±0.001																																																																																																																																																																																												
±0.3	±0.012	±0.0045	±0.0015																																																																																																																																																																																												
±0.4	±0.016	±0.006	±0.002																																																																																																																																																																																												
±0.5	±0.020	±0.0075	±0.0025																																																																																																																																																																																												
±0.6	±0.024	±0.009	±0.003																																																																																																																																																																																												
±0.7	±0.028	±0.0105	±0.0035																																																																																																																																																																																												
±0.8	±0.032	±0.012	±0.004																																																																																																																																																																																												
±0.9	±0.036	±0.0135	±0.0045																																																																																																																																																																																												
±1.0	±0.040	±0.015	±0.005																																																																																																																																																																																												
±1.2	±0.048	±0.018	±0.006																																																																																																																																																																																												
±1.5	±0.060	±0.0225	±0.0075																																																																																																																																																																																												
±2.0	±0.080	±0.030	±0.010																																																																																																																																																																																												
±2.5	±0.100	±0.0375	±0.0125																																																																																																																																																																																												
±3.0	±0.120	±0.045	±0.015																																																																																																																																																																																												
±4.0	±0.160	±0.060	±0.020																																																																																																																																																																																												
±5.0	±0.200	±0.075	±0.025																																																																																																																																																																																												
±6.0	±0.240	±0.090	±0.030																																																																																																																																																																																												
±8.0	±0.320	±0.120	±0.040																																																																																																																																																																																												
±10.0	±0.400	±0.150	±0.050																																																																																																																																																																																												
±12.0	±0.480	±0.180	±0.060																																																																																																																																																																																												
±15.0	±0.600	±0.225	±0.075																																																																																																																																																																																												
±20.0	±0.800	±0.300	±0.090																																																																																																																																																																																												
±25.0	±1.000	±0.375	±0.1125																																																																																																																																																																																												
±30.0	±1.200	±0.450	±0.135																																																																																																																																																																																												
±40.0	±1.600	±0.600	±0.180																																																																																																																																																																																												
±50.0	±2.000	±0.750	±0.225																																																																																																																																																																																												
±60.0	±2.400	±0.900	±0.270																																																																																																																																																																																												
±80.0	±3.200	±1.200	±0.360																																																																																																																																																																																												
±100.0	±4.000	±1.500	±0.450																																																																																																																																																																																												
±120.0	±4.800	±1.800	±0.540																																																																																																																																																																																												
±150.0	±6.000	±2.250	±0.675																																																																																																																																																																																												
±200.0	±8.000	±3.000	±0.900																																																																																																																																																																																												
±250.0	±10.000	±3.750	±1.125																																																																																																																																																																																												
±300.0	±12.000	±4.500	±1.350																																																																																																																																																																																												
±400.0	±16.000	±6.000	±1.800																																																																																																																																																																																												
±500.0	±20.000	±7.500	±2.250																																																																																																																																																																																												
±600.0	±24.000	±9.000	±2.700																																																																																																																																																																																												
±800.0	±32.000	±12.000	±3.600																																																																																																																																																																																												
±1000.0	±40.000	±15.000	±4.500																																																																																																																																																																																												
Catálogo	Cantidad	Conjunto No.	1																																																																																																																																																																																												
Contiene:																																																																																																																																																																																															
<b>BASE DE APOYO</b>																																																																																																																																																																																															
Equipo:																																																																																																																																																																																															
<b>SISTEMA EBULLICION</b>																																																																																																																																																																																															
Cod. Equipo:		Cod. Almacén:																																																																																																																																																																																													
Escala: 1:1 		Material: L 20x20x3		Tratamiento:		Medidas: mm																																																																																																																																																																																									
		Equipo:		Dibujo: DANIEL PINEDA		No. Plano: A4-002																																																																																																																																																																																									
		Cod. Equipo:		25/02/2015		Aprobó: KAREN CACUA																																																																																																																																																																																									

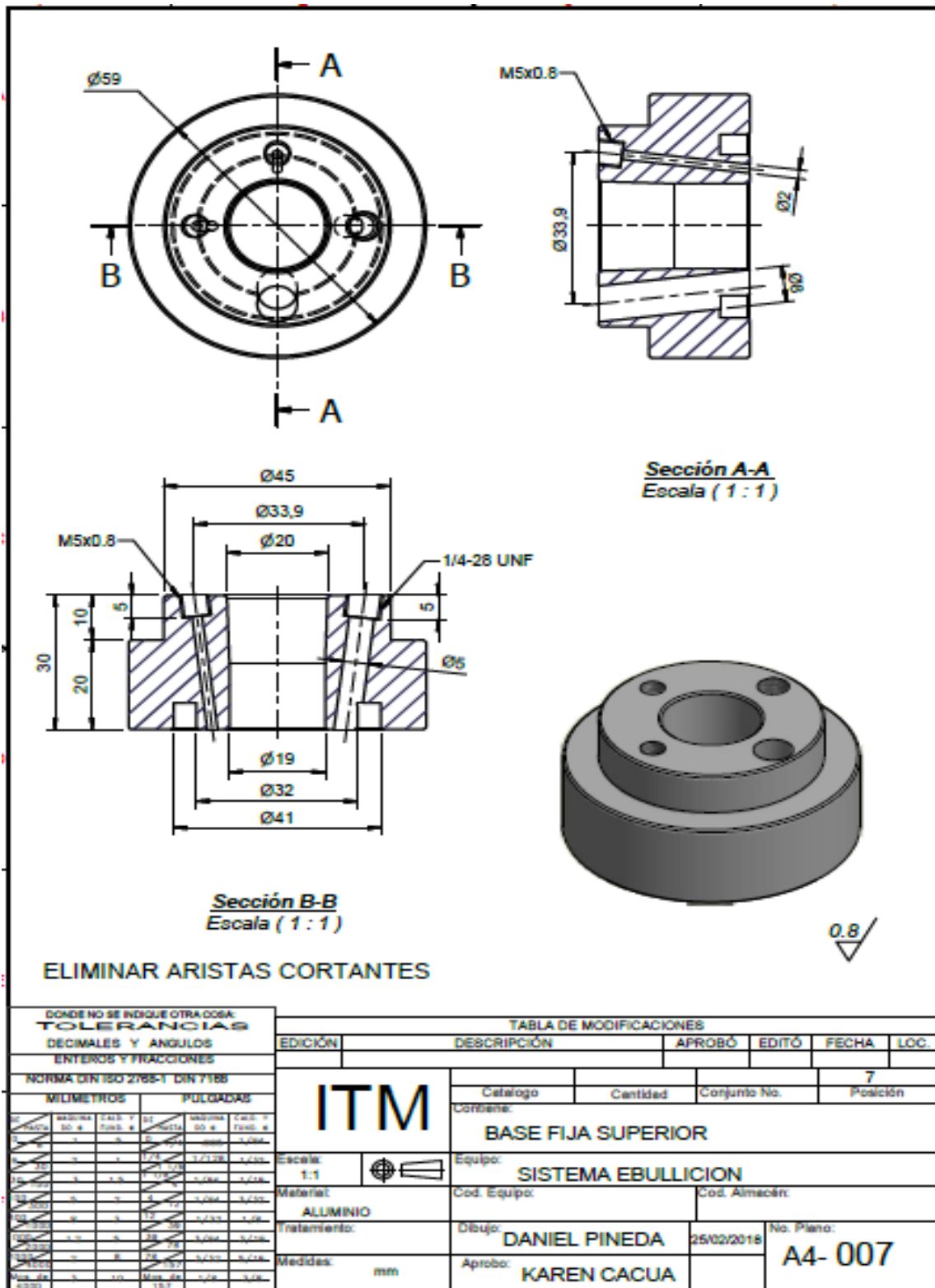
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### ANEXO C Platina base de apoyo



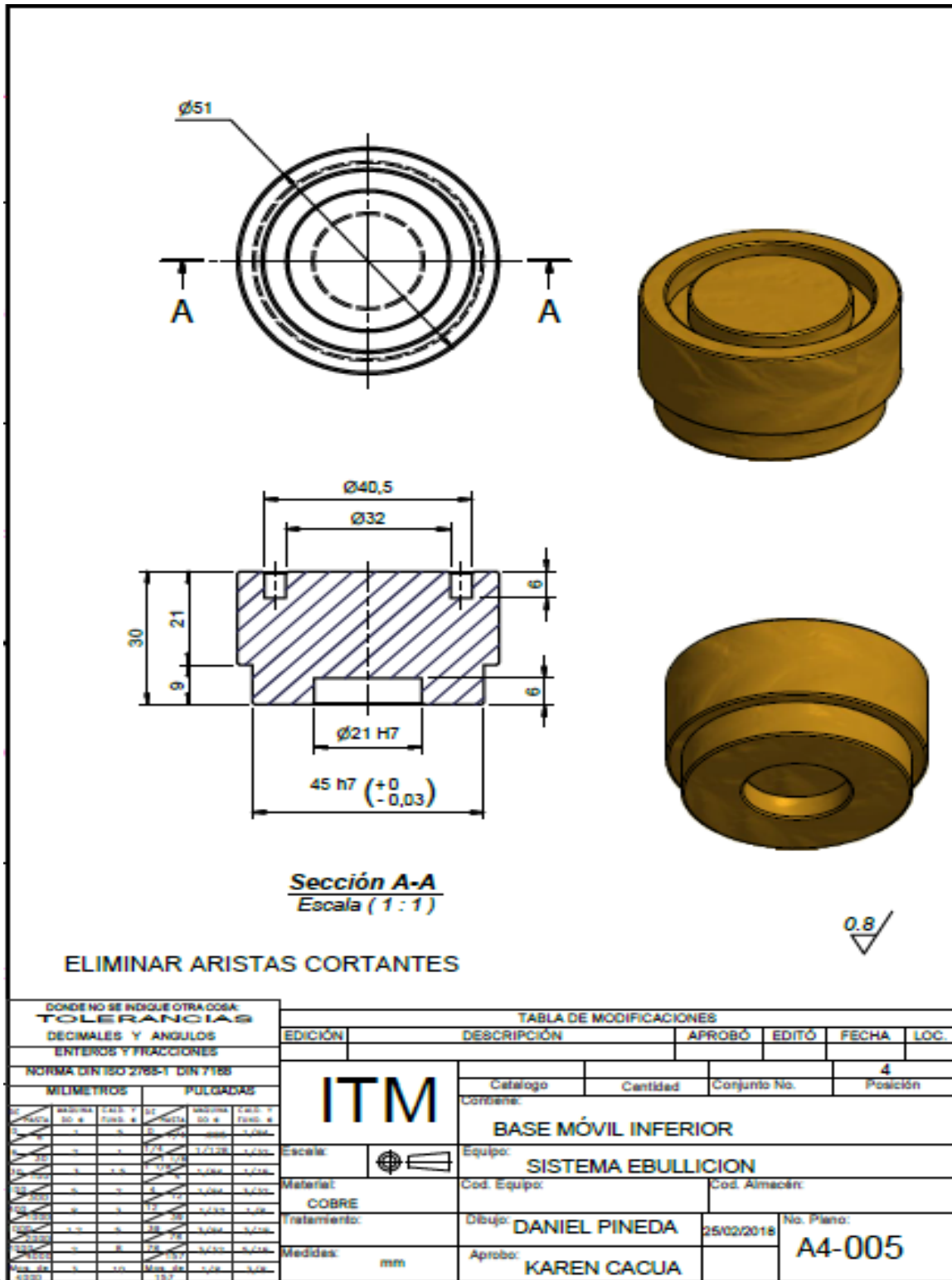
DONDE NO SE INDIQUE OTRA COSA: <b>TOLERANCIAS</b> DECIMALES Y ANGULOS ENTEROS Y FRACCIONES		<b>TABLA DE MODIFICACIONES</b>																																																													
NORMA DIN ISO 2768-1 DIN 7185		EDICIÓN	DESCRIPCIÓN	APROBÓ	EDITÓ	FECHA	LOC.																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">MILIMETROS</th> <th colspan="2">PULGADAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>±0.10</td><td>±0.004</td><td>±0.004</td><td>±0.0015</td></tr> <tr><td>±0.15</td><td>±0.006</td><td>±0.006</td><td>±0.0025</td></tr> <tr><td>±0.20</td><td>±0.008</td><td>±0.008</td><td>±0.0035</td></tr> <tr><td>±0.30</td><td>±0.012</td><td>±0.012</td><td>±0.005</td></tr> <tr><td>±0.50</td><td>±0.020</td><td>±0.020</td><td>±0.008</td></tr> <tr><td>±0.70</td><td>±0.030</td><td>±0.030</td><td>±0.012</td></tr> <tr><td>±1.00</td><td>±0.040</td><td>±0.040</td><td>±0.016</td></tr> <tr><td>±1.50</td><td>±0.060</td><td>±0.060</td><td>±0.025</td></tr> <tr><td>±2.00</td><td>±0.080</td><td>±0.080</td><td>±0.032</td></tr> <tr><td>±3.00</td><td>±0.120</td><td>±0.120</td><td>±0.050</td></tr> <tr><td>±5.00</td><td>±0.200</td><td>±0.200</td><td>±0.080</td></tr> <tr><td>±7.00</td><td>±0.300</td><td>±0.300</td><td>±0.120</td></tr> <tr><td>±10.00</td><td>±0.400</td><td>±0.400</td><td>±0.160</td></tr> </tbody> </table>		MILIMETROS		PULGADAS		±0.10	±0.004	±0.004	±0.0015	±0.15	±0.006	±0.006	±0.0025	±0.20	±0.008	±0.008	±0.0035	±0.30	±0.012	±0.012	±0.005	±0.50	±0.020	±0.020	±0.008	±0.70	±0.030	±0.030	±0.012	±1.00	±0.040	±0.040	±0.016	±1.50	±0.060	±0.060	±0.025	±2.00	±0.080	±0.080	±0.032	±3.00	±0.120	±0.120	±0.050	±5.00	±0.200	±0.200	±0.080	±7.00	±0.300	±0.300	±0.120	±10.00	±0.400	±0.400	±0.160			Catálogo Cantidad Conjunto No.		<b>2</b> Posición	
MILIMETROS		PULGADAS																																																													
±0.10	±0.004	±0.004	±0.0015																																																												
±0.15	±0.006	±0.006	±0.0025																																																												
±0.20	±0.008	±0.008	±0.0035																																																												
±0.30	±0.012	±0.012	±0.005																																																												
±0.50	±0.020	±0.020	±0.008																																																												
±0.70	±0.030	±0.030	±0.012																																																												
±1.00	±0.040	±0.040	±0.016																																																												
±1.50	±0.060	±0.060	±0.025																																																												
±2.00	±0.080	±0.080	±0.032																																																												
±3.00	±0.120	±0.120	±0.050																																																												
±5.00	±0.200	±0.200	±0.080																																																												
±7.00	±0.300	±0.300	±0.120																																																												
±10.00	±0.400	±0.400	±0.160																																																												
Escala: 		<b>PLATINA BASE DE APOYO</b>																																																													
Material: <b>AISI 304</b>		Equipo: <b>SISTEMA EBULLICION</b>				Cod. Almacén:																																																									
Tratamiento:		Dibujo: <b>DANIEL PINEDA</b>		25/02/2018		No. Plano:																																																									
Medidas: <b>mm</b>		Aprobó: <b>KAREN CACUA</b>		<b>A4-003</b>																																																											

### ANEXO D Base fija superior





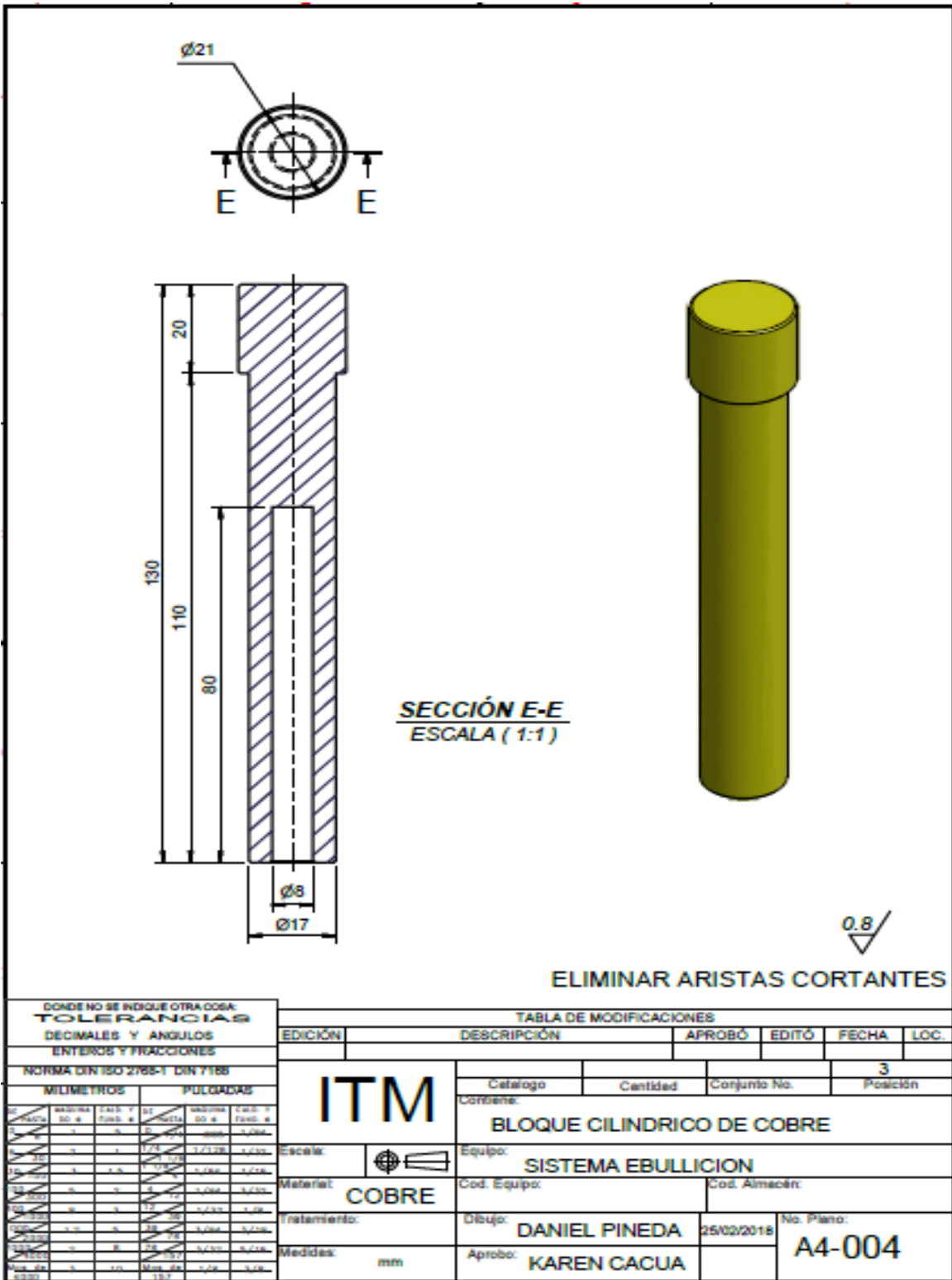
**ANEXO E Base móvil inferior**



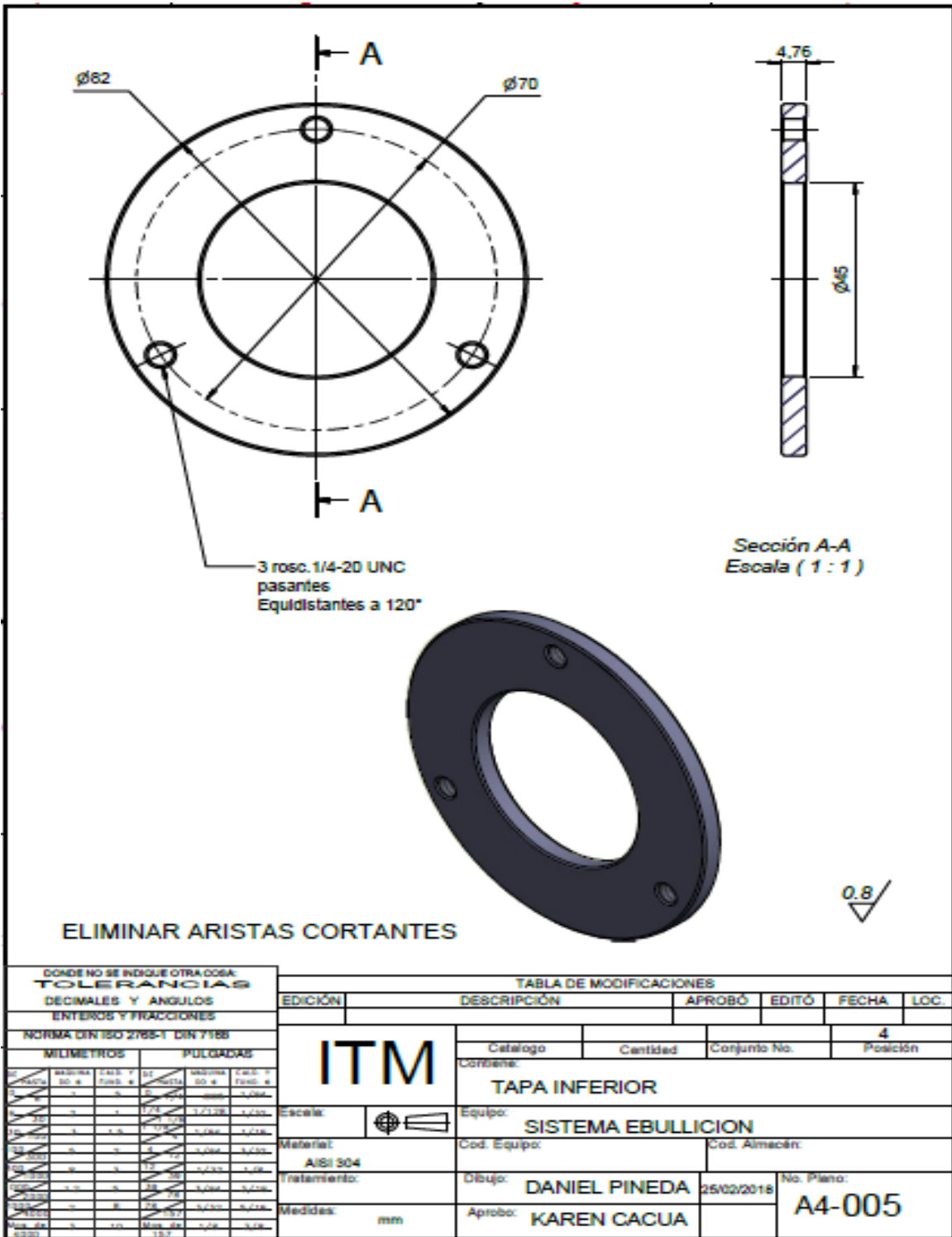


 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

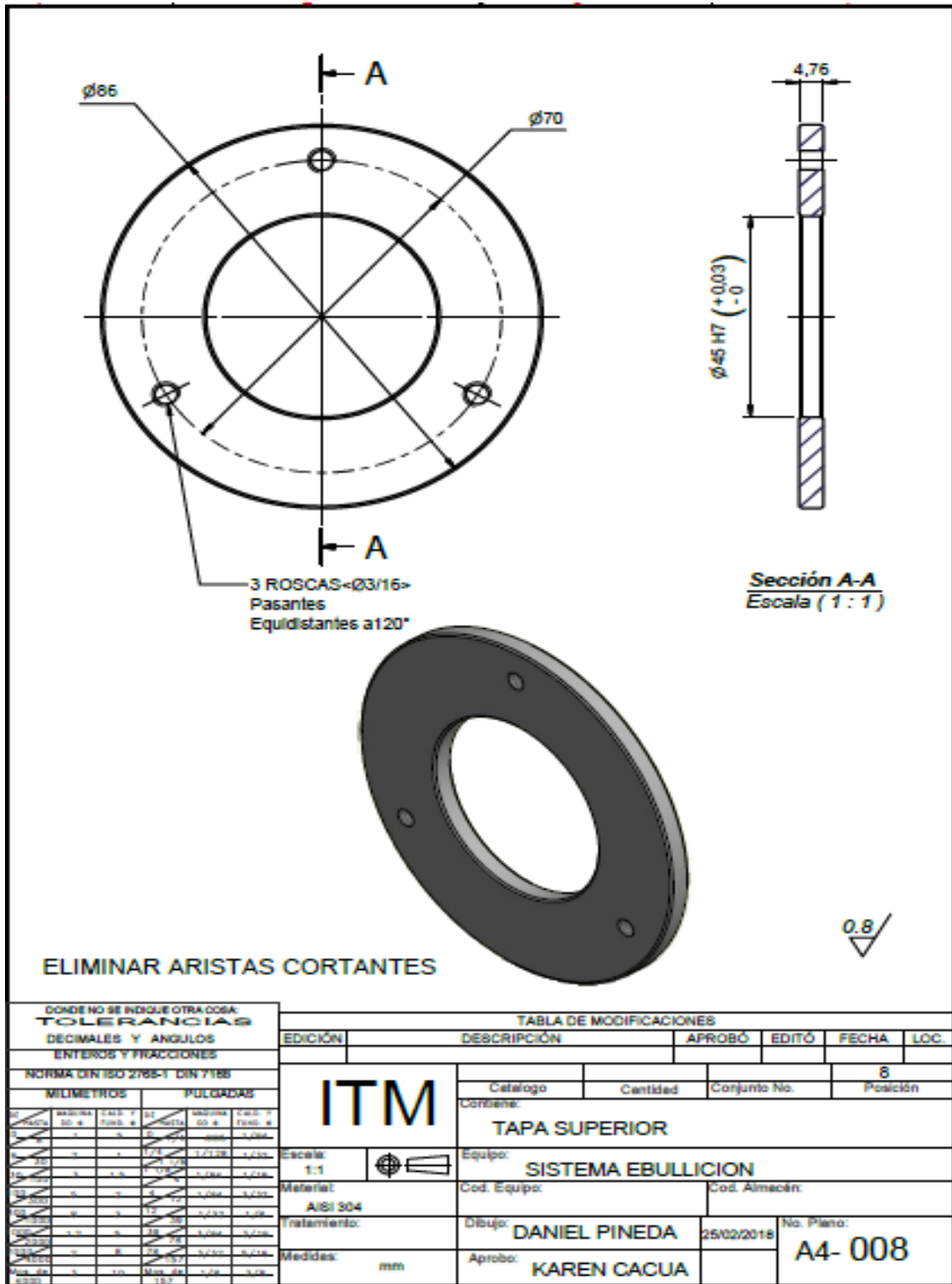
### ANEXO F Bloque cilíndrico de cobre



### ANEXO G Tapa inferior



### ANEXO H Tapa superior



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

*Daniel Pineda R.*

FIRMA ESTUDIANTES \_\_\_\_\_

*[Handwritten Signature]*

FIRMA ASESOR \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO \_\_\_      ACEPTADO \_\_\_      ACEPTADO CON MODIFICACIONES \_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_