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

DESARROLLO DE QUEMADOR POROSO DE LLAMA PLANA PARA MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE LLAMA LAMINAR

Santiago Montaña Ibarra

Nelson Giovanni Arango

Danilo Alonso Mejía Mira

Ingeniería Electromecánica

Director del trabajo de grado

M. Ing. Luis Fernando Cardona Sepulveda

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

2018

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

RESUMEN

En este proyecto se fabricó y probó experimentalmente un quemador poroso de llama plana, el cual tiene como fin proporcionar una llama, ideal para mediciones de velocidad de combustión laminar adiabática. El quemador se ha diseñado según medidas de estándares comerciales y su fabricación se ha realizado mediante investigaciones de diseños previos. Se ha buscado que sea fácilmente desmontable y evitar completamente las fugas de agua favoreciendo la refrigeración del dispositivo.

Por medio de mediciones de temperatura efectuadas superficialmente en el plato quemador se ha determinado, según el promedio de medidas tomadas en diferentes puntos y además por simulación numérica, la velocidad de combustión de la llama utilizando el método del flujo de calor. Este es un método simple y preciso donde se logra determinar la pérdida de calor de la llama plana a partir de mediciones del perfil de temperatura de la placa del quemador, teniendo en cuenta que la velocidad de combustión adiabática se encuentra cuando el perfil de temperatura de la placa del quemador es uniforme y lo que implica que la pérdida neta de calor de la llama es cero. Para este montaje se hizo necesario el control del aire y el gas por medio de reguladores y fue indispensable mantener la diferencia de temperaturas entre las cámaras de refrigeración, alrededor de 60°C. Los resultados experimentales son muy cercanos a los que se han obtenido por medio de la simulación numérica.

Palabras clave: quemador llama plana, combustión, medición de temperatura, velocidad de llama laminar.

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

RECONOCIMIENTOS

A nuestros familiares.

A nuestros padres, hermanos y otros familiares Por habernos apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que nos han permitido ser personas de bien. Por los ejemplos de perseverancia y constancia que nos han infundado siempre; por el valor mostrado para salir adelante. Pero más que nada, por su amor.

De ellos aprendí aciertos y de momentos difíciles, gracias a todos aquellos familiares que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

A nuestros maestros.

Ing. Luis Fernando Cardona Sepúlveda por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis, por su apoyo ofrecido en este trabajo y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional. A todos aquellos profesores que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario tanto en la tecnología como en la ingeniería, y que nos ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis.

A nuestros amigos.

A todos nuestros amigos y compañeros con quienes nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo buenos amigos, a las grandes personas de las cuales nos rodeamos y nos ayudan a ser mejores cada día.

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

ACRÓNIMOS

HFM: Heat-Flux Method (Método de flujo de calor).

S_L : Velocidad de combustión laminar.

GRI-Mech: es un mecanismo optimizado de reacción química detallada optimizado para llamas de gas natural.

CFM: Pies cúbicos por minuto.

CAD: Diseño asistido por computadora.

XML: eXtensible Markup Language (lenguaje de marcado extensible). Es el lenguaje en el que Cantera lee los mecanismos reactivos.

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

Tabla de contenido

1.	INTRODUCCIÓN	7
1.1	OBJETIVOS.....	8
1.1.1	General	8
1.1.2	Específicos.....	8
2.	MARCO TEÓRICO.....	9
2.1	COMBUSTIÓN	9
2.1.1	Tipos de combustión.....	10
2.2	RELACIÓN DE EQUIVALENCIA	11
2.3	VELOCIDAD DE LLAMA LAMINAR	12
2.4	MÉTODO DE MEDICIÓN DEL CONO DE LLAMA EN QUEMADOR BUNSEN	13
2.5	MÉTODO DE MEDICIÓN DEL FLUJO DE CALOR	15
2.6	CAUDAL QUE DESCARGA UN INYECTOR DE GAS	18
2.7	ESTUDIOS PREVIOS CON EL MÉTODO DEL FLUJO DE CALOR.....	19
3.	METODOLOGÍA.....	21
3.1	MODELADO CAD	22
3.2	FABRICACIÓN DEL QUEMADOR.....	26
3.3	MONTAJE EXPERIMENTAL	34
3.4	DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA VELOCIDAD DE LLAMA LAMINAR	41
3.4	DETERMINACIÓN NUMÉRICA DE LA VELOCIDAD DE LLAMA LAMINAR	43
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
4.1	MODELADO CAD	45
4.2	FABRICACIÓN	49
4.3	RESULTADOS EXPERIMENTALES	53
4.4	RESULTADOS NUMÉRICOS.....	60
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	62
5.1	CONCLUSIÓN GENERAL	62
5.1.1	Conclusiones complementarias.....	62

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

5.2 RECOMENDACIONES..... 63

5.3 TRABAJO A FUTURO..... 64

REFERENCIAS 65

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

1. INTRODUCCIÓN

La complejidad natural del proceso de combustión implica que, para describir el comportamiento de sus variables y sus interacciones no lineales en espacio y tiempo, se procure por el uso de modelamientos numéricos y la necesidad de simular cientos de reacciones entre varias decenas de espacios. Mediante la metodología experimental se han proporcionado datos de precisión moderada ante cambios de las variables en la llama, por lo cual se han restringido las investigaciones a idealizar una llama que sea plana laminar y que por lo tanto no presente perturbaciones en su estructura de combustión para realizar un estudio detallado en base a aspectos como eficiencia, control y polución.

Por tal motivo se requiere un dispositivo capaz de generar una combustión uniforme a temperatura adiabática en respuesta a la dificultad que se presenta para aislar la llama de las fuertes interacciones con el medio ambiente y lograr minimizar las incertidumbres de los datos experimentales obtenidos por efectos de transferencia de calor.

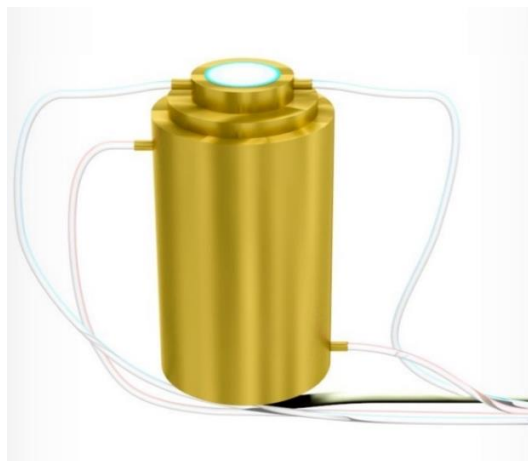


Ilustración 1. Diagrama de quemador de llama plana propuesto por A. van Maaren en parámetros de reacción química en un paso para llamas laminas premezcladas. Tesis doctoral, Technische Universiteit Eindhoven, 1994.

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

Para medir las velocidades de combustión, se necesita un método que no necesite ninguna extrapolación debido a los efectos de estiramiento o de pérdida de calor, y poder producir una llama que prácticamente pueda investigarse en un laboratorio. El método de flujo de calor propuesto, por van Maaren y mostrado en la ilustración 1, es el más ideal; en este informe explicaremos el método de flujo de calor y demostraremos la configuración del quemador involucrado.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 General

Desarrollar un quemador de llama plana que permita mediciones de velocidad llama adiabática con el método de flujo de calor.

1.1.2 Específicos

- Realizar el modelado del quemador para la obtención de los planos de ensamble.
- Fabricar el quemador de llama plana y desarrollar el montaje experimental para estabilizar llama plana.
- Verificar mediante una simulación numérica las temperaturas y el comportamiento teórico del sistema.
- Determinar la temperatura de la llama y estimar experimentalmente la velocidad de combustión adiabática de una mezcla aire-combustible de referencia.

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

2. MARCO TEÓRICO

2.1 COMBUSTIÓN

La combustión es una reacción química de oxidación rápida fuertemente exotérmica. Los elementos necesarios para una combustión efectiva son: el combustible que, como material, al ser quemado puede producir grandes cantidades de energía, calor o luz desde su estado potencial; el comburente, que favorece la combustión con los materiales con los que entra en contacto aportando oxígeno a la reacción y siendo necesaria hasta una mínima proporción para que haya combustión y por último calor (chispa). La combustión al ser fruto de una reacción en cadena, es necesario conservar cada uno de los elementos que la componen o si no se extinguirá. Estos elementos se muestran en la ilustración 2.



ilustración 2. Tetraedro del fuego (Aprendemergencias , 2015)

Para que la reacción comience además de poseer estos tres elementos indispensables, se debe realizar un aporte energético inicial y mantenerse ciertas condiciones para que sea una reacción autosostenible, es decir:

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

- Una chispa o una llama de poca intensidad.
- Contacto lo más íntimo posible entre el combustible y el comburente.
- Que el lugar o recinto donde se efectúe la combustión se mantenga a una temperatura adecuada durante el proceso de la reacción.

2.1.1 Tipos de combustión

La **combustión laminar** supone que en la mezcla de aire-combustible el perfil de velocidades es laminar. Se observa como los gases quemados van hacia la mezcla fresca por lo que ocurre la transferencia de calor.

Sus condiciones características es que la mezcla fresca, o de baja temperatura, de acuerdo con la ecuación estequiométrica tendrá una alta concentración de oxígeno y mínima cantidad de dióxido de carbono y monóxido de carbono mientras que, en la mezcla quemada, mínima cantidad de oxígeno, pero unas altas concentraciones de dióxido y monóxido de carbono a altas temperaturas.

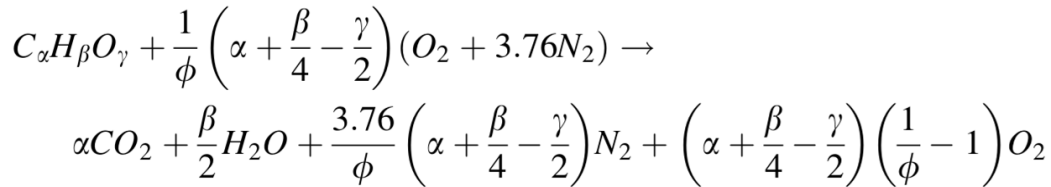
El proceso de combustión laminar es solo una idealización, es decir que, en la realidad la combustión no se lleva a cabo de esta manera debida a las condiciones del flujo de la mezcla de aire-combustible.

La **combustión turbulenta**, es la combustión en la que la mezcla aire-combustible es homogénea en cuanto a composición, pero ofrece un comportamiento anisótropo en cuanto a componente de la velocidad lo que da lugar a la aparición de numerosos vórtices turbulentos donde se producen grandes valores de velocidad. El análisis de la llama a este tipo de combustión considera múltiples variables ya que distintas propiedades van en direcciones diferentes.

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

2.2 RELACIÓN DE EQUIVALENCIA

La combustión completa de cualquier hidrocarburo se puede representar como una reacción de un paso, tal como se muestra en la ecuación 1:



Ecuación 1. Reacción general de un paso para hidrocarburos (combustión pobre).

En la anterior ecuación se debe reemplazar γ , α y β dependiendo del hidrocarburo en cuestión. Por ejemplo, para propano, C_3H_8 , el coeficiente γ es 0, α es 3 y β es 8 y para butano, C_4H_{10} , el coeficiente γ es 0, α es 4 y β es 10.

El coeficiente ϕ corresponde al dosado (relación de equivalencia). El dosado es una medida de relación entre el aire y el combustible y se define en la ecuación 2:

$$\phi = \frac{\text{Número de moles de } O_2 \text{ en los reactivos, estequiométrico}}{\text{Número de moles de } O_2 \text{ en los reactivos, real}}$$

$$= \frac{\text{masa de aire, estequiométrica}}{\text{masa de aire, real}}$$

Ecuación 2. Definición de dosado (relación de equivalencia)

Donde:

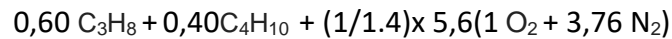
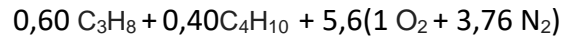
Si $\phi < 1$: la combustión es pobre, es decir la reacción ocurre con exceso de aire

Si $\phi = 1$: la combustión es estequiométrica (ideal), es decir la combustión es completa y no hay exceso ni defecto de aire.

Si $\phi > 1$: la combustión es rica, es decir la reacción ocurre con defecto de aire

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

A partir del lado izquierdo de la ecuación mostrada en la ilustración 31, es posible mostrar que en la reacción estequiométrica de GLP se necesitan 5,6 moles de aire para garantizar una buena combustión, tal como se muestra en la ecuación 3.



Ecuación 3. Reactivos para combustión premezclada GLP-aire. Arriba: reactivos en proporción estequiométrica (dosado $\phi=1$). Abajo: reactivos en proporción con dosado $\phi=1.4$

2.3 VELOCIDAD DE LLAMA LAMINAR

La velocidad de combustión laminar S_L es clave para analizar el comportamiento de la llama (estabilidad). La velocidad de propagación depende de la transmisión de calor entre la llama y las zonas contiguas (gases quemados y no quemados), por lo tanto, se hace necesario el control de la refrigeración en el quemado poroso y manejar proporciones estequiométricas a diferentes relaciones de equivalencia de gas propano y aire.

Se debe garantizar un comportamiento adiabático en el quemador, estabilizando la llama plana a una velocidad laminar con reacciones unidimensionales, logrando efectuar el cálculo de velocidad y temperatura con más facilidad y precisión. Los datos de velocidad arrojados también se pueden usar para desarrollar mecanismos de reacción cinética como el GRI-Mech (Rau, 2014). Para hacer la correcta medición del SL no debe haber distorsiones en la llama, por ello el método presentado en este informe es más eficiente que otros existentes los cuales perturban la llama con estiramientos, curvaturas o produciendo pérdidas de calor para medir la velocidad laminar de combustión. En la ilustración 3 Se

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

ilustra la curva de velocidad generada según la relación de equivalencia (dosado) de los gases de la mezcla.

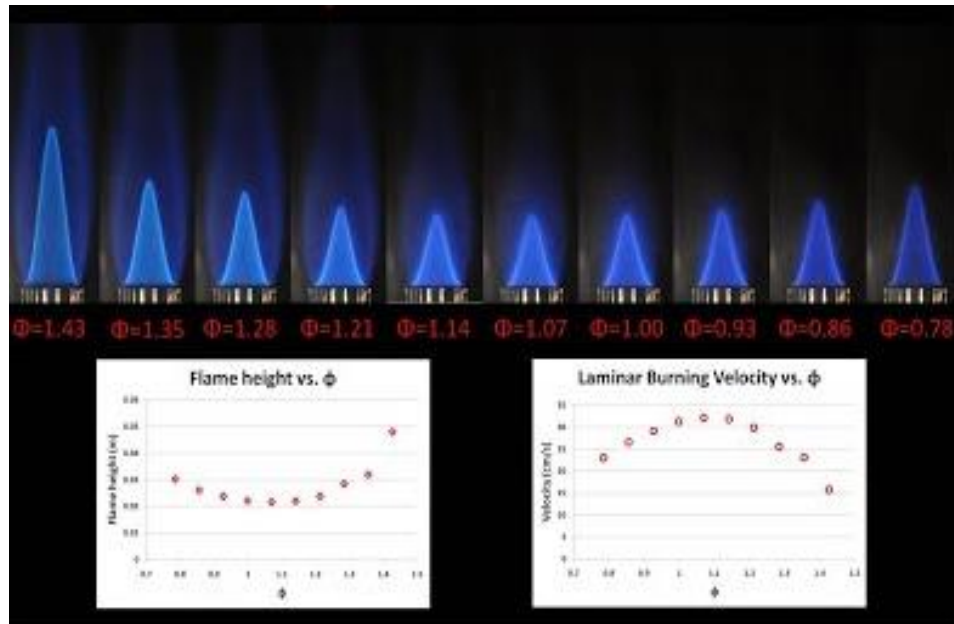


Ilustración 3. Comportamiento típico de velocidad de combustión laminar vs dosado en quemador Bunsen.

2.4 MÉTODO DE MEDICIÓN DEL CONO DE LLAMA EN QUEMADOR BUNSEN

En los últimos años se han logrado grandes avances en la medición de la temperatura y distribución de las concentraciones en llamas de gas laminar; sin embargo, muchas veces cuando estas se calculan se presentan errores experimentales relativamente grandes o son procedimientos que requieren de condiciones muy especiales para poder tener el mayor porcentaje de precisión.

Una de las técnicas más utilizadas para medir la velocidad adiabática es el método del cono de llama en quemador Bunsen. Este método presenta una complejidad en el momento de llevar a cabo el experimento debido a que requiere condiciones ambientales utópicas como un cuarto cerrado totalmente aislado y oscuro. Adicionalmente requiere una mayor

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

cantidad de pruebas para tener hasta un 95% de confiabilidad (Suárez, Amell Arrieta, & Cadavid, 2009). Para el proceso experimental en un quemador de llama plana también es evidente los cambios que presenta la llama en cuanto a estabilidad, debido a las mediciones intrusivas que se realizan utilizando termopares ubicados en la placa del quemador las cuales son acopladas internamente interfiriendo directamente con el paso del fluido (Maarin, 1994).

La llama es considerada como una combustión visible que implica desprendimiento de calor a elevada temperatura; esta última depende entre otros factores, de la naturaleza de los gases combustibles y de la proporción combustible-comburente. En el caso del propano, la proporción de la mezcla es de cinco partes de aire por una de gas combustible, obteniéndose una llama de color azul. Si se reduce el volumen de aire, el mechero producirá una llama amarilla luminosa y humeante.

Cuando el mechero funciona con la proporción adecuada de combustible y comburente, la llama presenta dos zonas (o conos) diferentes, tal como se muestra en la ilustración 4. El cono interno está constituido por gas parcialmente quemado, el cual es una mezcla de monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H₂), dióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno (N₂). En el cono exterior esa mezcla de gases arde por completo gracias al oxígeno del aire circundante. Esta es la parte más caliente de la llama (Universidad de Antioquia, 2004).

El mechero Bunsen tiene muchas desventajas para calcular velocidad de combustión adiabática (con una sobreestimación del orden del 10%) ya que en una misma reacción se evidencian diferentes geometrías de la llama. Esto implica un modelado numérico mucho más difícil debido a las reacciones múltiples que se evidencian a nivel del espectro de la llama en diferentes direcciones y además al considerar que al no estar aislado térmicamente será muy probable que no sea posible establecer una llama plana laminar ya que la transferencia de calor hará extinguir la llama (Chaverri, 1983).

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



Ilustración 4. Quemador bunsen de llama amarilla.

2.5 MÉTODO DE MEDICIÓN DEL FLUJO DE CALOR

En este proyecto se diseña un quemador de llama plana; con este quemador la temperatura de la llama T y la velocidad de combustión adiabática S_L pueden determinarse fácilmente y con precisión. El método que se pretende usar en este trabajo es exacto, y parte de medida la distribución de temperatura de la llama, la cual permite determinar la pérdida de calor a través la placa del quemador.

El método del flujo de calor HFM (Heat-Flux Method) (Goey, 1994) tiene la principal ventaja de estabilización de las llamas adiabáticas, ya que el quemador interactúa con la zona de la llama de precalentamiento. El equipo consiste en una cabeza de quemador con una camisa de refrigeración, montada en una cámara de mezcla. Este último también sirve para proporcionar un flujo uniforme en el interior de la cabeza del quemador. La cámara de mezcla se enfría por separado de la cabeza del quemador con temperatura igual a temperatura ambiente.

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

Entre los principales elementos del quemador se destaca la placa metálica la cual es la parte más importante del quemador y donde se estabiliza la llama. Sus perforaciones deben ser lo suficientemente pequeñas para crear una llama plana, además esta placa debe ser calentada para poder garantizar la estabilización de las llamas adiabáticas.

La placa típica tiene un grosor de 2mm, el disco es de latón o bronce de 30mm de diámetro con una perforación de $d = 0,5$ mm de diámetro uniforme distribuidos en un patrón hexagonal de pequeños agujeros (Maarin, 1994). Se debe mantener una diferencia de temperatura de 65 K entre la chaqueta de calentamiento y el gas no quemado para tener una temperatura constante en el calentamiento. La cámara de mezclado está rodeada por una camisa de enfriamiento que controla la temperatura del gas no quemado.

El quemador tiene termopares que están unidos a la placa del quemador para medir la distribución radial de temperatura de acuerdo con los puntos donde se ubican. Estos termopares se sueldan dentro de los agujeros de la perforación. Dado que un agujero está bloqueado por cada termopar, la distorsión local del flujo es inevitable. Para reducir el efecto en las mediciones a un mínimo, los termopares que se utilizan son muy finos (0,1 mm).

Los cables del termopar se aíslan para evitar la pérdida de calor al gas no quemado y el contacto eléctrico con la pared del quemador. Aparte de las pequeñas distorsiones velocidad inducida por los termopares, la distribución de velocidad de gas no quemado varía sólo alrededor de 1% dentro del área de velocidad de combustión. En la ilustración 5 se muestra un diagrama del quemador de llama plana con todas las partes mencionadas hasta ahora.

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

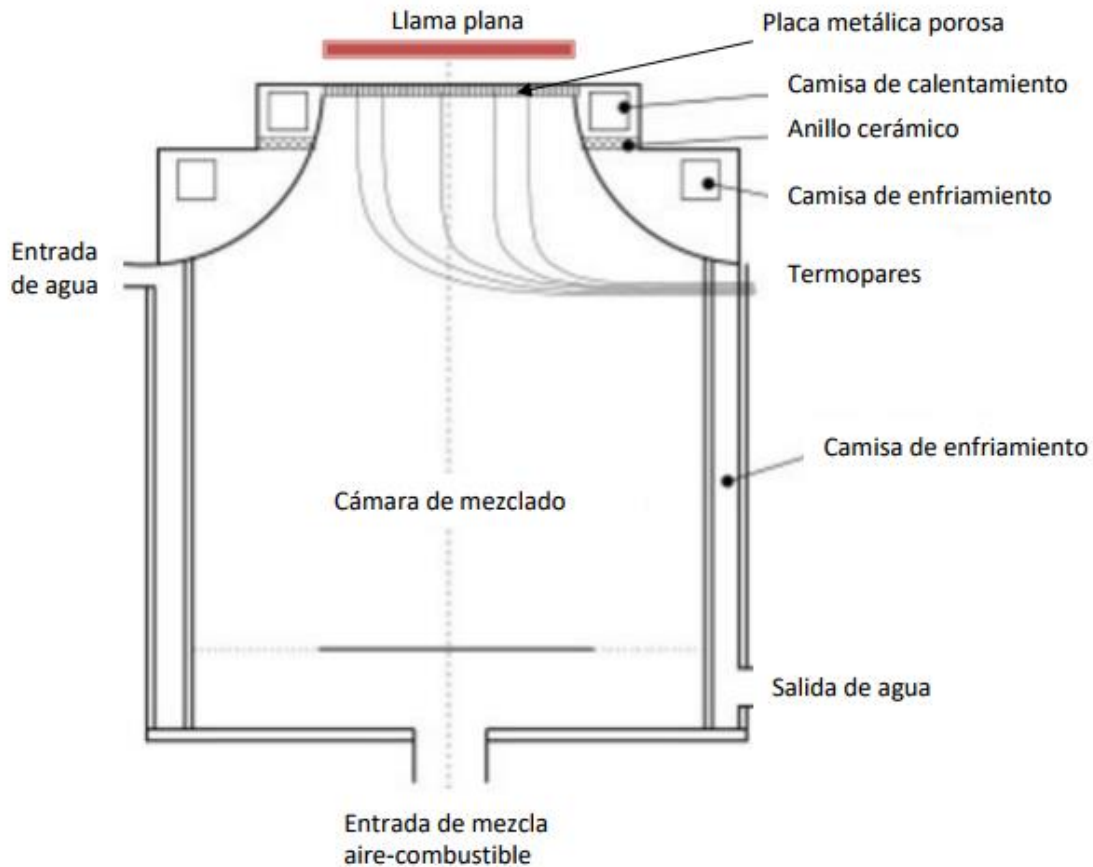


Ilustración 5. Diagrama de quemador de llama plana para medición de velocidad de llama adiabática por el método de flujo de calor. Adaptado de (Rau, 2014)

Para estabilizar una llama plana adiabática encima de la placa del quemador, el flujo de calor neto debe ser igual a cero. El flujo de calor neto se define como la suma del flujo de calor del frente de la llama a la placa del quemador y el flujo de calor desde el quemador y placa a la mezcla de combustible-aire. Esta condición se alcanza cuando el perfil de temperatura radial del quemador y placa es constante, lo que significa un flujo de calor radial cero en la placa. Por esta condición, el calor perdido por la llama al quemador se transfiere de la mezcla de combustible-aire sin quemar. Por tanto, la velocidad del gas en la salida del quemador es igual a la de la velocidad de combustión laminar adiabática.

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

Las llamas se estabilizan en los quemadores de llama plana principalmente por la pérdida de calor al quemador; la temperatura de la superficie del quemador es irrelevante para la temperatura de la llama, que es determinado únicamente por las condiciones iniciales de la mezcla de gas (temperatura, presión y composición). Sin embargo, cuando la temperatura de la superficie muestra grandes variaciones, la velocidad y la temperatura de distribución del combustible sin quemar se podrían ver seriamente distorsionados; esto puede afectar la distribución de temperatura de la llama. Por lo tanto, es esencial aplicar algún tipo de refrigeración al quemador con el fin de minimizar en el quemador las diferencias de temperatura de la superficie. Cuando la llama plana es estabilizada por el quemador, esta interactúa con la zona de llama de precalentamiento, pero sin transferencia de calor efectiva.

2.6 CAUDAL QUE DESCARGA UN INYECTOR DE GAS

El caudal de gas que se descarga por un inyector a baja presión (0 a 100 mbar) es (Copete Lopez, 2004):

$$Q = C \times A \times \sqrt{\frac{2P}{\rho}}$$

Ecuación 4. Caudal descargado en un inyector a baja presión

Donde:

Q: Caudal del gas (m³/s)

P: Presión manométrica del gas (Pa)

ρ : Densidad del gas en sitio $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

A: Área del inyector = $\frac{\pi \cdot d_i^2}{4}$ (m²)

C: Coeficiente de descarga del inyector (adimensional). Este dato depende de la geometría del inyector:

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

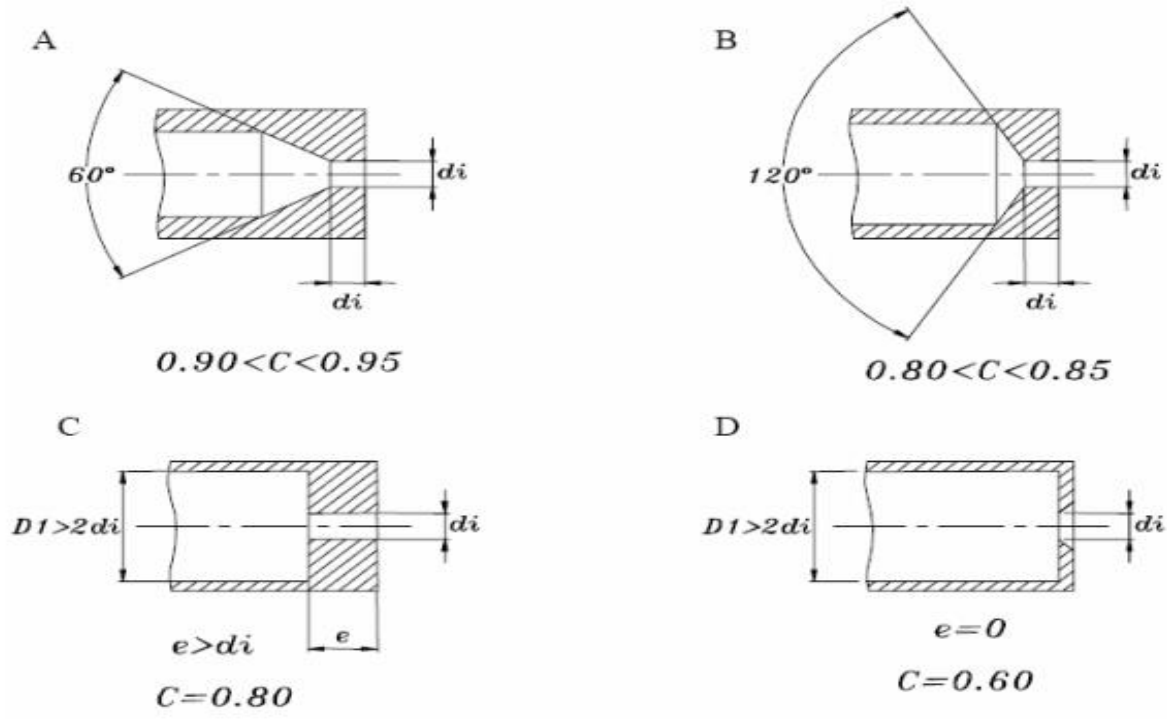


Ilustración 6. Coeficientes de descarga según la geometría del inyector (Copete Lopez, 2004).

2.7 ESTUDIOS PREVIOS CON EL MÉTODO DEL FLUJO DE CALOR

Para tener como guía al momento del desarrollo del proyecto se considera importante resaltar algunos estudios que utilizaron el mismo método de flujo de calor para realizar mediciones experimentales. El artículo “parámetros de reacción química para llamas laminares premezcladas” por el doctor Arjen Van Maaren (Van Maaren, 1994) nos da indicios claros en el adelanto de nuestras investigaciones al ser considerado como uno de los pioneros en las investigaciones de quemadores de placa perforada; en este artículo se presentan los resultados de medición de velocidad de combustión laminar de mezclas metano – aire usando el método de flujo de calor. Este fue uno de los primeros casos donde se experimentó con este tipo de dispositivos y tiene como característica principal que la llama no se estira (se obtienen directamente llamas planas).

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

El principio de estabilización de llamas adiabáticas en el quemador de placa perforada se describe en este documento considerando los resultados de mezclas de metano, propano y aire, la comparación de los resultados para el metano muestra que los valores de S_L hallados con el método del flujo de calor son más prácticos que los encontrados con respecto a otros métodos, tales como el método de medición utilizando llamas a contraflujo.

Van Maaren ha realizado estudios numéricos y analíticos de los que se puede concluir que para el método de flujo de calor solo es necesaria una extrapolación lineal a la tasa de estiramiento cero. Esto es aceptable al considerar que el error máximo en la extrapolación lineal es del 10%, considerado un valor aceptable en los resultados finales.

En el artículo “Análisis del método de flujo de calor para medir las velocidades de combustión” (Bosschaart, 2002), se utilizó el método de flujo de calor en la medición de la velocidad de combustión, con un quemador de placa perforada. En este trabajo se utiliza una configuración electrónica de tratamiento de señales para efectuar un control más eficiente, a través de controladores de flujo másico y termopares en la placa del quemador. Por medio de una interfaz de comunicación RS232 conectado directamente una unidad central de procesamiento, el experimento puede ser controlado por completo. De igual forma en el artículo se hace referencia y especial énfasis en la placa del quemador en sí, ya que esta debe estar muy cuidadosamente diseñada y se debe tener precaución de que el patrón de perforación consista en agujeros que sean lo suficientemente pequeños para revertir el flujo en un perfil uniforme después de pasar la placa del quemador. La placa también ejerce una caída de presión que ayuda a que el flujo se nivele.

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

3. METODOLOGÍA

Para la fabricación y pruebas experimentales que se realizaron las siguientes actividades:

- Inicialmente se realizó la búsqueda en bases de datos informáticas de toda la información teórico-práctica respecto al diseño del quemador, necesaria para elaborar el cuerpo teórico del proyecto.
- Mediante software de diseño se graficaron las medidas reales del quemador en base a trabajos previos, para realizar así los planos de ensamble del dispositivo de combustión.
- Se calculó la cantidad de material requerido para la construcción del diseño en base a sus propiedades físico-térmicas y su coste actual.
- Se inició la fabricación del dispositivo inicialmente con el proceso de mecanizado del material y luego el ensamble de cada una de las piezas.
- Se realizaron pruebas experimentales para corroborar los datos teóricos sobre temperaturas y velocidades de llama, de modo que el quemador le quede al laboratorio de combustión del ITM para realizar otros estudios. En estos ensayos el combustible a utilizar será GLP, pero el quemador podrá ser utilizado para otros combustibles gaseosos.

Las investigaciones previas que se han realizado para la fabricación del quemador de llama plana laminar nos han dado pautas importantes en la elaboración del modelado del equipo. En este trabajo se ha realizado un quemador de llama placa basado en el diseño de propuesto por Van Maaren, A. (1994) y se muestra en la ilustración 7. Este diseño es más simple que el de la ilustración 5, ya que cuenta solo con dos cámaras de enfriamiento en lugar de tres.

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

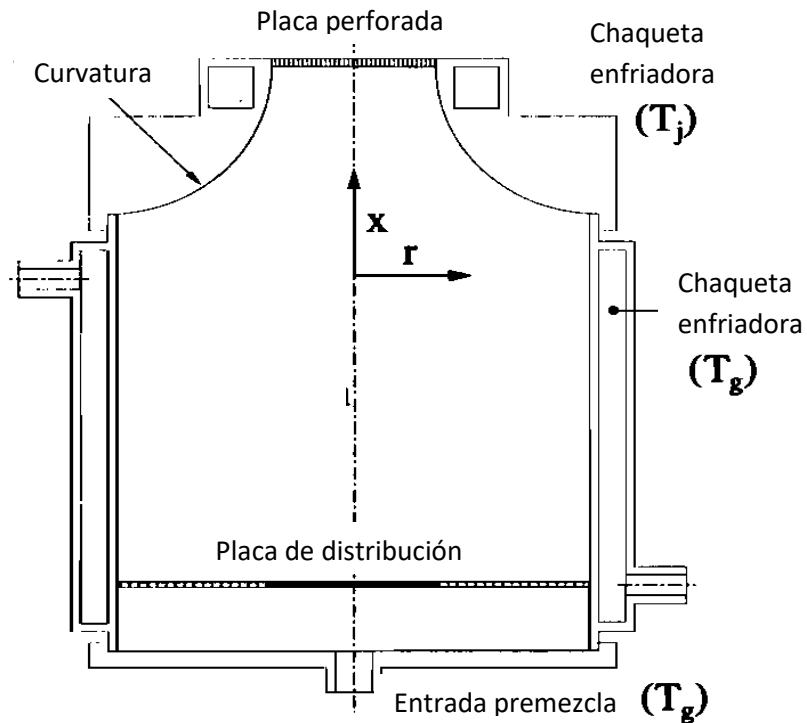


Ilustración 7. quemador de llama poroso. Van maaren (1994), One-step chemical reaction parameters for premixed laminar flames Ph.D. thesis, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, the Netherlands.

3.1 MODELADO CAD

Para llevar a cabo uno de los primeros objetivos en el desarrollo del quemador, se necesitaba inicialmente realizar un modelado CAD que nos permitiera tener un bosquejo de cómo se debía fabricar el equipo. Los parámetros propuestos en el artículo referencia (Van Maaren, 1994) sirvieron como una guía para el inicio del diseño, ya que se analizaron las dimensiones propuestas y las diferentes partes del equipo. Estas medidas se muestran a continuación en la ilustración 8.

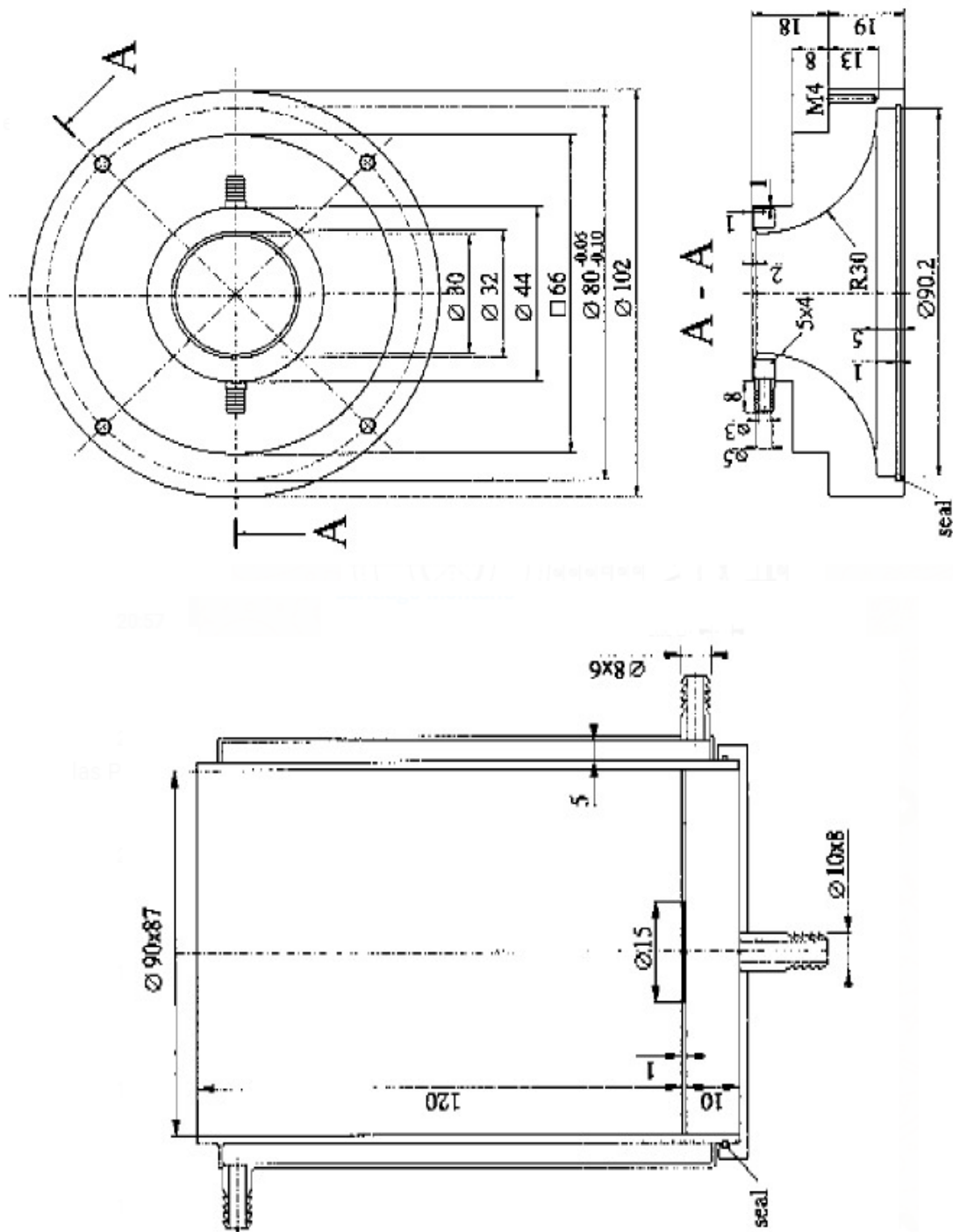


Ilustración 8. Planos del quemador. Van maaren (1994), One-step chemical reaction parameters for premixed laminar flames Ph.D. thesis, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, the Netherlands.

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

Tomando en cuenta estos diseños, iniciamos con la implementación del modelo en el software Solid Works, tal como se muestra en la ilustración 9. En el desarrollo del diseño tuvimos la necesidad de hacer modificaciones en diferentes partes del diseño propuesto en el artículo, considerando que las medidas utilizadas por el autor no eran viables en el mercado colombiano, debido a que se tenían que fabricar muchas de sus piezas en centro de mecanizado con piezas milimétricas muy difíciles de conseguir y por tanto muy costosas.

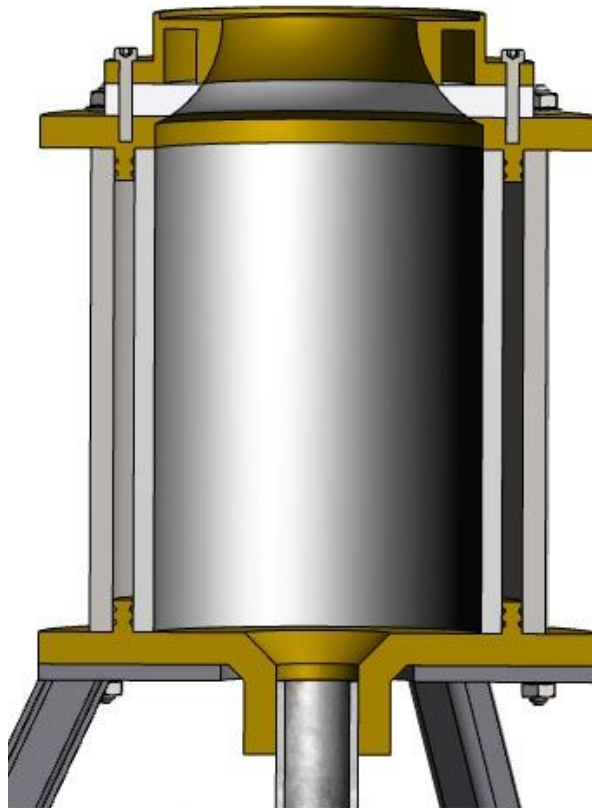


Ilustración 9. Modelado del quemador en el programa Solid Works

No solamente se optó por el rediseño de varias de las medidas del equipo, sino también por la utilización de distintos materiales que nos permitieran tener un resultado igual o similar al que se tendría con el diseño original. Por esto fueron utilizadas medidas que podíamos alcanzar utilizando materiales comerciales con dimensiones estandarizadas, como fueron los tubos utilizados tanto en el interior y exterior de la camisa de refrigeración inferior. Se

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

procuró conservar las dimensiones de las cámaras internas de refrigeración tanto inferior como superior, esto con el fin de seguir garantizando la conservación de temperatura del quemador. Para las tapas tanto de arriba y abajo se diseñaron unos rieles o canales en los cuales se pudieran asentar los tubos de la camisa de refrigeración; al mismo tiempo que en estos canales se puedan poner o-rings que apoyen con el sellado y eviten fugas de agua fría adentro o fuera del quemador. El detalle de estos rieles se muestra en la ilustración 10.

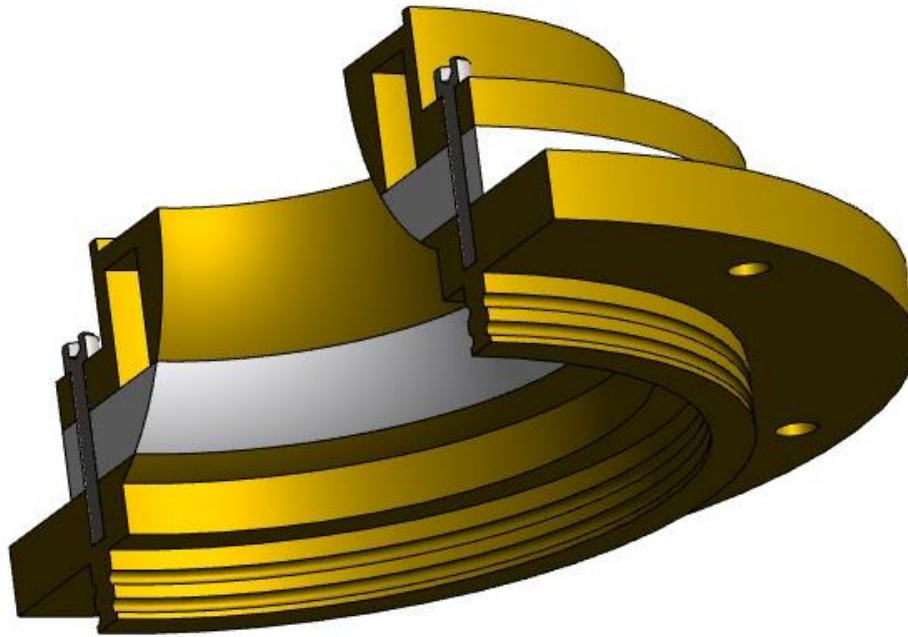


Ilustración 10. Modelado de los canales para los o-rings en la cámara superior

En general se conservó la idea principal del diseño consultado para la inyección del combustible desde la parte inferior del equipo. Igualmente garantizamos en nuestra propuesta la forma cónica curva de 30 milímetros de radio la parte superior interna del quemador, esto con el fin de que la mezcla aire-combustible se deslice libremente y no se generen turbulencias en la salida de la placa plana.

Finalmente se propuso la utilización de pernos pasantes para unir las 3 piezas del quemador y garantizar una completa hermeticidad del quemador completo. Estos pernos sirven para

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

unir el quemador con la mesa de trabajo donde se pensó ubicar el equipo. El aspecto del montaje del quemador con la mesa de trabajo se presenta en la ilustración 11.

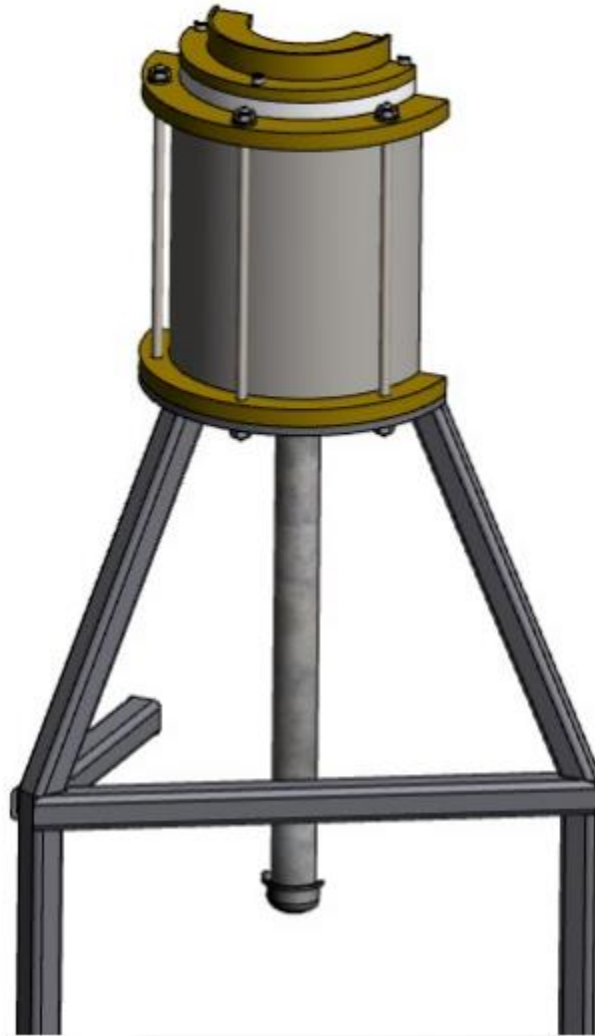


Ilustración 11. Modelado del quemador, pernos de sujeción del equipo con la mesa

3.2 FABRICACIÓN DEL QUEMADOR

Para la construcción del quemador poroso se han estudiado al detalle las dimensiones del diseño original propuesto y se ha realizado el modelado de cada una de las piezas que componen el quemador; en especial se ha prestado mayor detalle a la parte superior, al

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

plato quemador poroso y a la chaqueta o recamara de enfriamiento. Donde se estabiliza la llama se ha selecciona el cobre como material, el cual brinda una mayor conductividad térmica. Esta pieza de cobre se ha obtenido por método de fundición y se ha maquinado de acuerdo con las dimensiones del modelado (estos planos se presentan en el apéndice A-1). Tal cual se muestra en la ilustración 12, se ha hecho el proceso de mecanizado en torno convencional.



Ilustración 12. Mecanizado del cobre para el modelo de la tapa superior del quemador.

Esta pieza de cobre se asienta sobre un disco de nylon, el cual nos cumple la función de aislante térmico y además es el sello de la cámara de refrigeración de agua caliente. Su función principal es buscar que la transferencia de calor sea mínima desde el frente de la llama hasta el cuerpo del quemador. El nylon en especial posee una conductividad térmica muy baja, alrededor de $0,28 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ y un punto de fusión de 220°C (bajo). Este material se ha conseguido en bloque y se ha hecho el maquinado según el requerimiento por medio de mecanizado en torno convencional. En la ilustración 13 se observa cómo están adheridas ambas piezas. Luego de realizar la recamara por la parte inferior de la pieza de cobre por

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

medio de fresadora, se unen ambas piezas y se realiza un radio de curvatura en ambos extremos.



Ilustración 13. Unión de la pieza de cobre y el disco de nylon para realizar el radio de curvatura

Por último, ambas se unen al cuerpo del quemador por medio de un disco de aluminio, que posee 6 perforaciones y dos canales internos y dos externos con o-rings de tamaños especiales para hacer el posterior sello de la cámara de enfriamiento y de diámetro mayor, debido a que encaja en la unión de ambos tubos de la cámara de premezclado. En la ilustración 14 se puede observar como la base de la tapa une y además como se efectúa el sello debido a los canales maquinados en el disco.

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



Ilustración 14. Diseño de la tapa de aluminio.

La cámara del plenum es la sección del quemador en donde interactúan la mezcla aire-combustible. Posee una chaqueta o recámara de enfriamiento, la cual se ha realizado utilizando dos tubos comerciales de acero 1040, concéntricos entre sí de diferencia de una pulgada. Estos poseen un espacio entre sí de alrededor de 7mm a lado y lado para poder así recircular el agua a temperatura ambiente por la remara de enfriamiento. En la ilustración 15 se puede observar cual fue la disposición de los tubos en la construcción.

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



Ilustración 15. Construcción de la cámara del plenum.

En la parte inferior del quemador se ha realizado el modelo de un disco con 6 perforaciones y con el mismo sistema de sello por medio de canales dobles para o-rings para hacer el sello total del quemador. En el centro del plato se ha soldado un tubo de acero 1040 y se ha hecho una rosca para poder así conectar el tubo de suministro para el ingreso de los gases de combustión al plenum. Esta pieza se muestra en la ilustración 16.

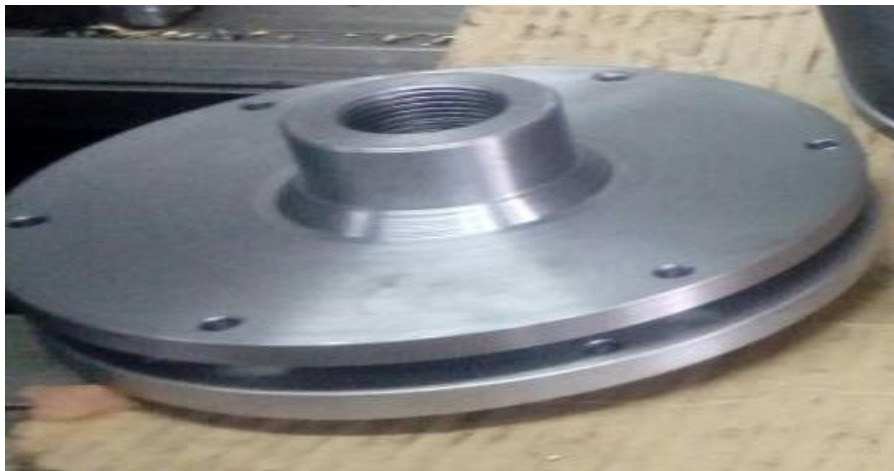


Ilustración 16. Diseño de la tapa base inferior del quemador

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

Se ha adaptado un tubo roscado en la tapa inferior del quemador para ingresar la mezcla aire-combustible al plenum, así el tubo de suministro queda desmontable para facilitar tanto su transporte como su mantenimiento.

En la parte lateral del tubo de suministro se ha hecho una perforación lateral y se ha instalado un racor de medida 3/8". A este racor se le ha colocado manguera neumática por medio de la cual se inyecta aire comprimido al quemador.

Para inyectar el combustible al interior de la cámara de mezcla se ha instalado una válvula simple con un acople de inyector de un diámetro de orificio de 0.8 mm, tal como se muestra en la ilustración 17. Se ha calculado posteriormente el caudal descargado según su forma geométrica.



Ilustración 17. Válvula con inyector acoplado.

Para poder acoplar el inyector al tubo de suministro roscado a la tapa inferior del quemador, fue necesario efectuar una perforación concéntrica y roscar el agujero y además realizar por medio de torno los filetes de la rosca a medida en la cabeza de la válvula y poder así enroscar la válvula en el tubo con el orificio del inyector hacia adentro de la cámara de mezcla.

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

En la ilustración 18 se evidencia la forma como se han integrado las mangueras de gas y aire al tubo de suministro.



Ilustración 18. Tubo de suministro con el inyector acoplado por medio de rosca y montaje final con las mangueras de suministro.

En la ilustración 19 se muestra cada una de las piezas que constituyen el quemador de llama plana laminar elaborado para realizar la parte experimental de la tesis.



Ilustración 19. Despiece del quemador de llama plana laminar fabricado.

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

En general la construcción del modelo a nivel estructural como tal es compacto y fácilmente desarmable. Se ajusta al diseño base de experimentación y debido a que se unen las piezas mediante un sistema sencillo de pernos pasantes roscados, tanto las piezas del quemador como la mesa que lo soporta quedan totalmente unidas para evitar cualquier tipo de fugas y trabajar en la experimentación a una altura cómoda. En la ilustración 20 se observa la construcción final del quemador de llama plana laminar.



Ilustración 20. Estructura final del quemador para realizar la configuración experimental.

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

3.3 MONTAJE EXPERIMENTAL

Para efectuar los experimentos en el quemador se ha efectuado el montaje que se describe a continuación.

Para la línea de suministro de gas, se ha usado un cilindro de GLP, ilustración 21, el cual posee una composición teórica de 40% de butano (C_4H_{10}) y 60% de propano (C_3H_8); para el control de la presión del gas se ha conectado inmediatamente a la salida del cilindro un regulador de gas y por medio de una manguera flexible de PVC que se acopla a la válvula de regulación por medio de una abrazadera metálica, se efectúa el suministro de gas al quemador.



Ilustración 21. Cilindro de GLP, sistema de regulación y manguera de suministro

Por medio de un manómetro se hace el control de la medida de gas suministrada desde el cilindro y además así tomar el dato de presión manométrica del combustible dado en mbar que luego se ha de utilizar en los cálculos previos. Este manómetro tiene un rango de 0 a 100 mbar con una resolución de 2 mbar y se muestra en la ilustración 22.



Ilustración 22. Manómetro usado en el experimento

En la ilustración 23 se muestra la conexión final del suministro de gas al quemador.



Ilustración 23. Conexión del suministro de gas al inyector.

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

Para la línea de suministro de aire se utilizó un compresor Discover de 25 litros y 3,5 HP de potencia con regulador y filtro, conectado por medio de manguera neumática a un estrangulador de aire. Este dispositivo es necesario para efectuar el control de la medida en CFM otorgada por el rotámetro, el cual proporciona el valor del caudal volumétrico que entra al quemador durante la prueba y se encuentra en la línea de conexión inmediatamente a la salida de la válvula de estrangulación de aire.

El aire ingresa a la cámara de mezcla por medio del acople que se ha incluido en la perforación lateral que se ha efectuado al tubo. Se garantiza que la mezcla se lleva a cabo desde el mismo instante de ingreso y en simultaneidad con el GLP. En la ilustración 24 se observa el diagrama de conexión neumático necesario para realizar el adecuado suministro y control del aire.

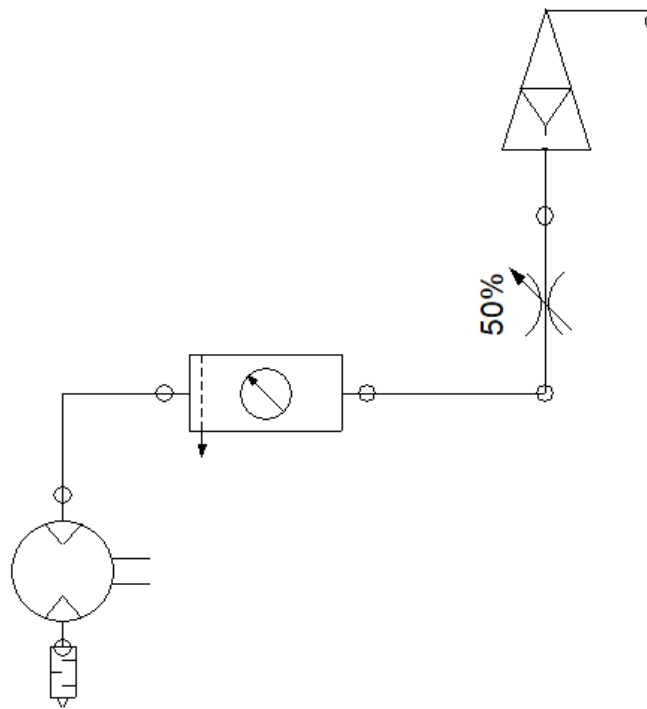


Ilustración 24. Diagrama de conexión neumático

En la ilustración 25 se observan los instrumentos empleados en el experimento para la red de aire que se tuvo que disponer para la prueba.

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



Ilustración 25. Imágenes del compresor, rotámetro y válvula reguladora de aire utilizados en la prueba.

El suministro de agua para las chaquetas del quemador se ha realizado teniendo en cuenta la diferencia de temperatura entre ambas chaquetas. El agua se ha hecho recircular al interior de unos tanques plásticos con capacidad de aproximadamente 4 litros. Las bombas sumergibles tienen un caudal de 800L/h, peso de 0.5 kg y una cabeza de presión de hasta 1.6m. En la ilustración 26 observamos la forma como se ubicaron los tanques y las bombas en su interior para hacer llegar el agua al quemador.

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

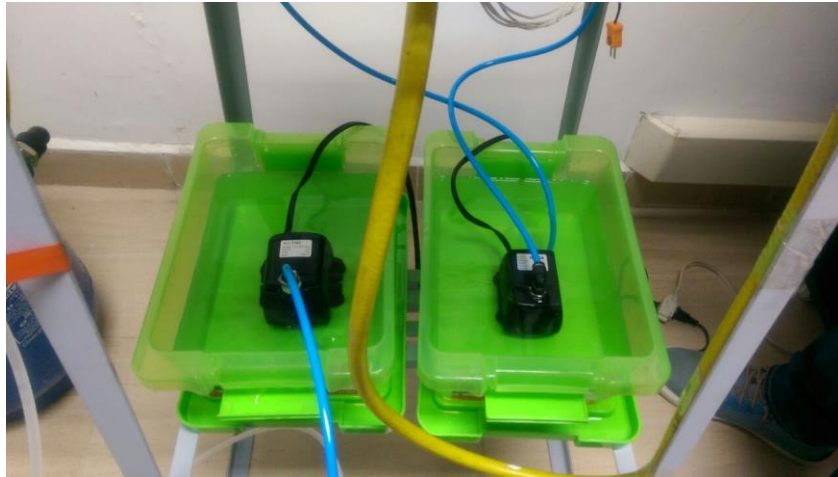


Ilustración 26. Bombas de recirculación sumergidas.

Para el bombeo de la chaqueta de agua fría solo bastó con la bomba sumergible y la temperatura del agua de la llave convencional fue 21°C aprox. Bombear agua en la camisa superior a una temperatura de al menos 80°C fue un gran desafío en el montaje debido a la dificultad de encontrar una bomba que trabajará a esa temperatura nominal tan alta.

Se ideó la manera de hacer que con la misma bomba se ejecutara el trabajo para desplazar el fluido a la chaqueta de agua caliente, debido a que su temperatura nominal de trabajo es máximo 30°C. Para esto se diseñó un intercambiador de calor de tubería de cobre en espiral, tal cual se muestra en la ilustración 27.



Ilustración 27. Intercambiador de calor

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

La espiral se sumerge en agua hirviendo a 94°C en un balde plástico de mayor capacidad y su temperatura se sostiene por medio de resistencias eléctricas sumergidas en el agua. Por la espiral circula agua a 20°C y por medio de la transferencia de calor entre los dos fluidos, la temperatura del agua a la salida de la espiral era alrededor de 75°C. Para evitar deformación en la manguera debido a la alta temperatura, se ha usado un tipo especial de manguera para transportar el fluido caliente a la cámara superior. En la ilustración 28 se visualiza el montaje del intercambiador de calor usado en el montaje y la manguera de circulación utilizada.



Ilustración 28. Intercambiador de calor propuesto para el montaje.

Por otra parte, la placa perforada utilizada en este trabajo tiene agujeros de 1 mm y una separación entre agujeros de 2.9375mm. Esta placa no presenta las condiciones ideales estipuladas en el artículo investigado, pero esta diferencia no afecta en los resultados de medición. Se efectuaron mediciones de temperatura con el quemador por medio de los termopares ubicados en la placa perforada tal como se muestra en la ilustración 29.

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

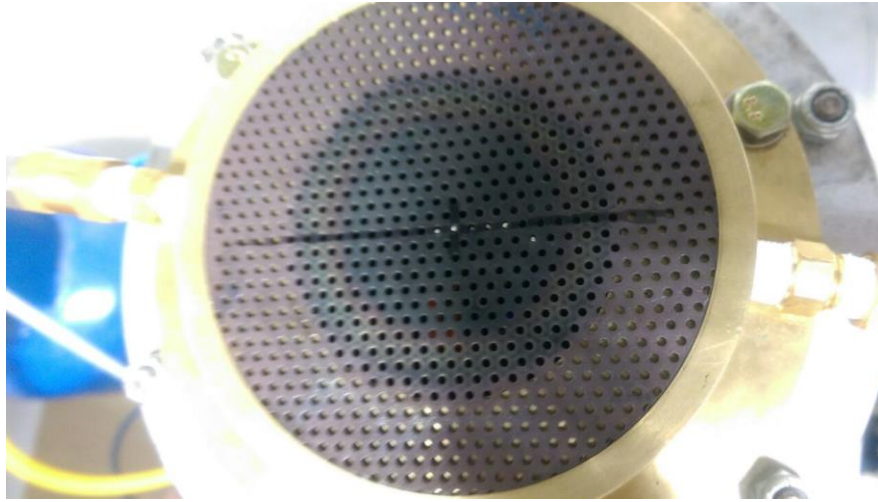


Ilustración 29. Placa perforada utilizada en la prueba

En los experimentos el dosado se mantuvo en 1.4, esto quiere decir que en las diferentes pruebas se utilizó menos aire del caso ideal (combustión rica en combustible). No se trabajó con más aire del estequiométrico porque no se pudo estabilizar la llama, debido a que el compresor utilizado no tenía la suficiente capacidad para suministrar el aire requerido y que fuera constante.

Se lograron reunir los suficientes datos experimentales para un dosado de 1.4 y realizar así las simulaciones que nos llevaron a encontrar los datos requeridos en la combustión del quemador. En la ilustración 30 se puede observar el montaje final del quemador y cada una de las líneas de suministro componen el montaje (agua, aire y gas GLP).

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



Ilustración 30. Montaje del quemador de llama plana

El aire medido por el rotámetro está en CFM (ft^3/min) en sitio. El caudal de combustible se controla con la presión de suministro y se estima utilizando la ecuación de descarga de caudal para un inyector a baja presión, presentada en la sección 2.6. El resultado de esa ecuación se da en las unidades de caudal (m^3/s). En este caso el coeficiente de descarga del inyector seleccionado fue de 0.8. La presión de suministro se obtiene en mbar.

3.4 DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA VELOCIDAD DE LLAMA LAMINAR

Para obtener la velocidad de llama laminar se debe primero conocer la velocidad promedio real del flujo en el sistema. A continuación, se debe aproximar el perfil de temperatura experimental de la placa metálica a una ecuación de la forma:

$$T_p(r) = T_c + Cr^2$$

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

Donde:

$T_p(r)$ = temperatura de la placa en función del radio (en °C)

C = constante (en K/mm²)

r = posición radial de los termopares en la placa metálica (en mm)

T_c = temperatura en el centro de la placa en $r = 0$ (en °C)

Para calcular la constante C se utiliza un método de ajuste de datos experimentales llamado “método no lineal de mínimos cuadrados”. Para ello se diseñó una tabla en Excel donde se realizó este cálculo; ver tabla 1 donde se muestra un ejemplo.

#	Radio (mm)	Temperatura Real (°C)	Temperatura Predicha (°C)	Diferencia de temperatura (°C)	Cuadrado de la diferencia (°C ²)
1	0	232,8	232,75	0,0	0
2	5,875	288,4	230,1601984	-58,3	3394,787101
3	8,8125	211,5	226,9229465	15,4	237,8672786
4	11,75	216,5	222,3907938	5,9	34,70145123
				SUMA	3667,35583
		Y = -C*(x*x) + b		C (K/mm²)	0,07503273
				b (°C)	232,8

Tabla 1. Ejemplo de tabla utilizada para el cálculo de la C para un ensayo de prueba.

Tal como se muestra en la tabla 1, se tabula la distancia radial en mm y la temperatura en dos columnas. A su derecha se inserta una columna con la temperatura predicha, utilizando la ecuación anteriormente mencionada asumiendo un C cualquiera. Se obtiene, en la siguiente columna a la derecha, la diferencia entre el valor predicho y el experimental. Esta diferencia se eleva al cuadrado para cada diferencia y luego se suman todos los cuadrados

de las diferencias. El valor resultante se minimiza utilizando la herramienta solver del Excel, variando la constante C (ver ilustración 31).

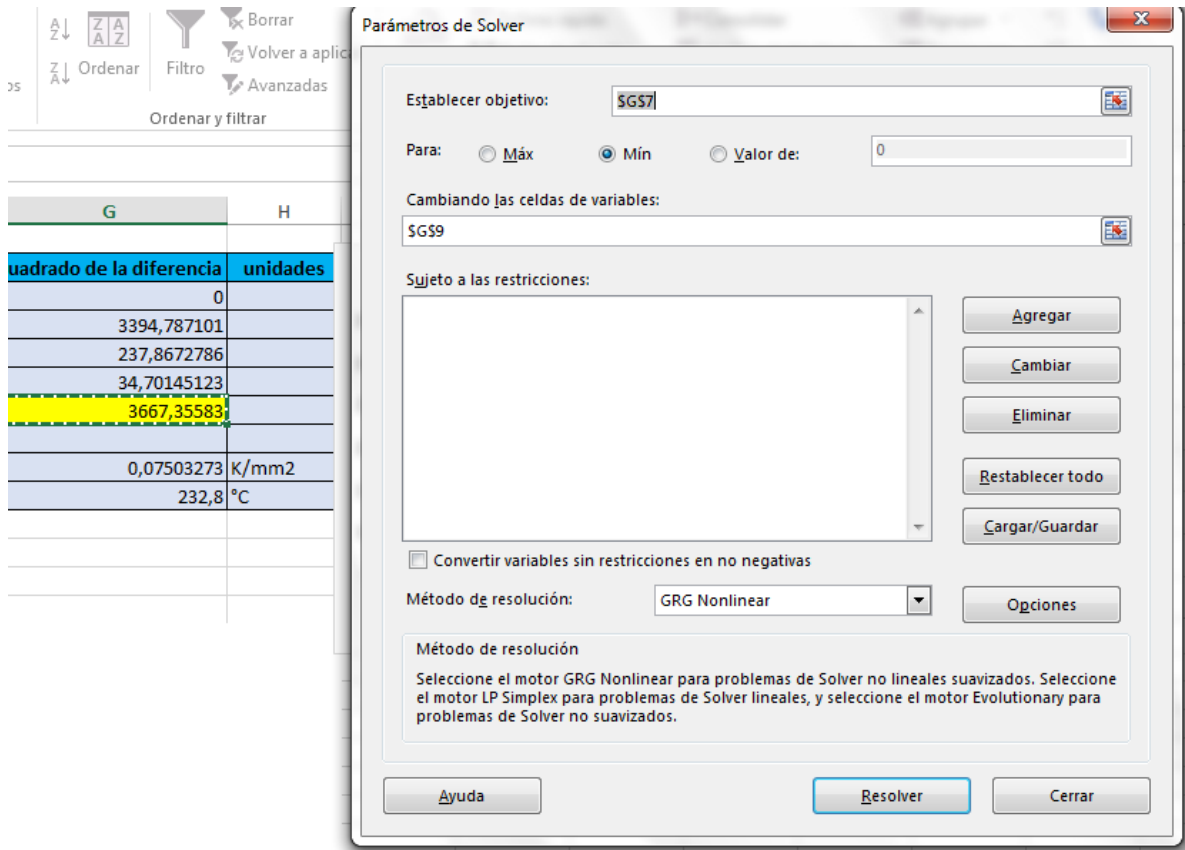


Ilustración 31. Uso de Solver para obtener el C apropiado.

Esta herramienta ajusta la constante al valor más ideal. Repetimos este procedimiento para cada prueba; los valores de C calculados son utilizados con los valores de velocidad de mezcla real para poder diseñar la gráfica final donde se puede obtener el S_L adiabático.

3.4 DETERMINACIÓN NUMÉRICA DE LA VELOCIDAD DE LLAMA LAMINAR

Para realizar la simulación numérica de velocidad de llama laminar se utilizó el programa Cantera (Cantera, 2018). Este es un programa gratuito de código abierto. Aunque el Cantera

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

está escrito en C++, tiene unos ejemplos escritos en el lenguaje Python que permite simular llamas unidimensionales adiabáticas, con las que se obtiene el S_L . En la página web del Cantera hay una sección “Python examples”, subsección “One-dimensional Flames” donde hay un código llamado “adiabatic flame”. Este código será el utilizado para simular el proceso deseado, pero en este caso el código está hecho para hidrogeno, por lo cual se debe hacer varias modificaciones en el código para cambiarlo por GLP. Se modifica en el código los coeficientes de los reactivos utilizados dependiendo del dosado utilizado. Por ejemplo, para el caso de combustión estequiométrica en GLP: C_3H_8 es 0,6, C_4H_{10} es 0,40, O_2 es 5,6 y N_2 es 21,056 (ver sección 2.2).

El xml que pide el código en Cantera corresponde al mecanismo reactivo. En este caso se utilizó la versión 2016-12-14 del mecanismo de la universidad de San Diego (Universidad de San Diego, California, 2012). Este mecanismo fue utilizado en particular porque incluye propano y butano. El código utilizado para las simulaciones se anexa en los apéndices de este trabajo.

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

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 MODELADO CAD

El quemador se ha diseñado satisfactoriamente cumpliendo con los requerimientos base y sin alteraciones notables. Las modificaciones implementadas en las medidas de las piezas del quemador son para optimizar material y obtener productos comerciales estandarizados como tubería, racores y demás materiales económicos y de fácil obtención, necesarios para la fabricación como tal del quemador.

La geometría de la cámara de mezclado se ha planteado como una estructura tubular en la cual se ubica un tubo dentro de otro, ambos de diferencia de una pulgada en medida comercial. Esta decisión ha permitido un espacio de alrededor de 7mm a lado y lado. El espesor de pared en estos tubos es 13mm (0.5 in). Adicionalmente, se han hecho perforaciones a la camisa exterior y luego se han hecho cordones de medida estándar para acoplar así los racores, necesarios para recircular el agua, tal como se muestra en la ilustración 32.

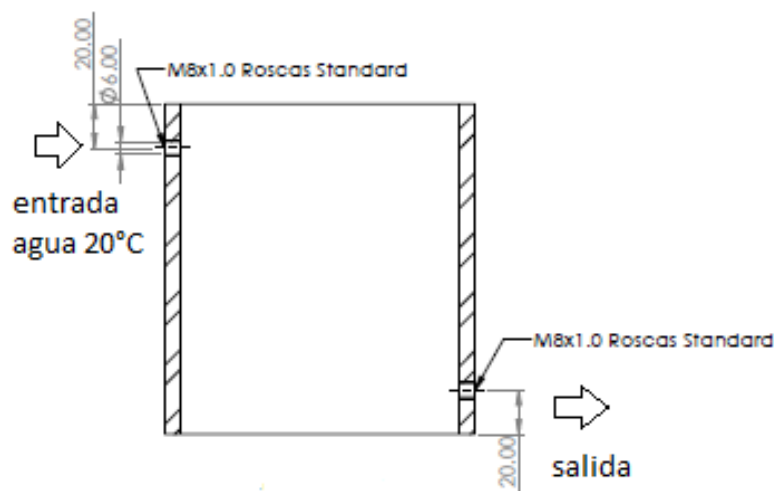


Ilustración 32. Esquema de la chaqueta de refrigeración de agua a temperatura ambiente.

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

En la tapa superior se ubicó la perforación correspondiente al plato quemador, de 2 mm de profundidad, tal como se muestra en la ilustración 33. Se ha decidido usar una malla metálica ya fabricada, al evidenciar la complejidad de mecanizar un plato con esas medidas de perforación. Por último, se han ubicado cuatro perforaciones pasantes en la tapa superior, para que por medio de tornillos se pueda sellar la recámara por su parte inferior con el disco de nylon. Las perforaciones están ubicadas en ángulos específicos para que los racores no interfieran con la manipulación de los tornillos de ajuste.

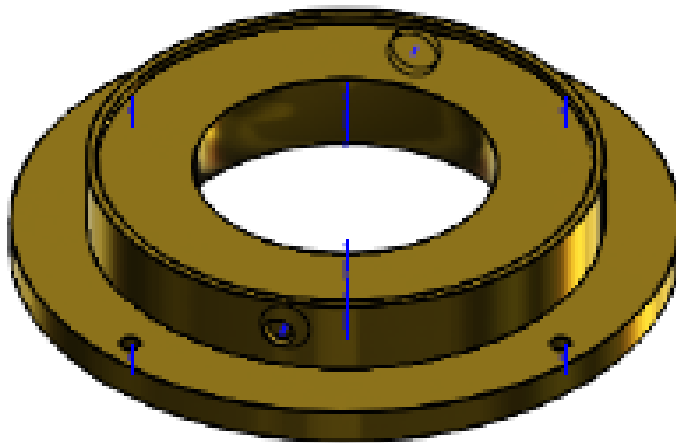


Ilustración 33. Diseño isométrico de la tapa superior.

Como tal el resultado del diseño CAD es satisfactorio y se ha podido realizar la prueba en el dispositivo con total confianza. Las piezas que han implicado un mayor desafío respecto al diseño son las que llevan consigo refrigeración, ya que maquinar esos espacios requiere una complejidad mayor y herramientas diminutas y costosas.

Por lo tanto, se ha pensado en la manera de realizar solo una recamará por maquinado y la otra por la geometría misma de los tubos y su medida comercial, ahorrándonos tiempo y obteniendo una solución definitiva. El resto de las piezas que componen el cuerpo del quemador se han diseñado con el fin de aislar y fijar cada uno de los componentes entre sí y a la mesa de trabajo para lograr así un hermetismo total y facilitar también el despiece del dispositivo por medio de llaves mixtas.

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

El tubo de suministro simplemente se ha diseñado para que entre de forma roscada en la tapa inferior del quemador y se han adecuado dos perforaciones para efectuar el suministro de la mezcla.

En general se ha ofrecido un diseño desarmable, práctico, de alta resistencia e ideal para elaborar pruebas de velocidad de combustión con diferentes tipos de combustibles. En la ilustración 34 se evidencia la manera como va armado el quemador según el diseño de construcción, para más detalles se debe dirigir al apéndice ubicado en la parte final del documento.

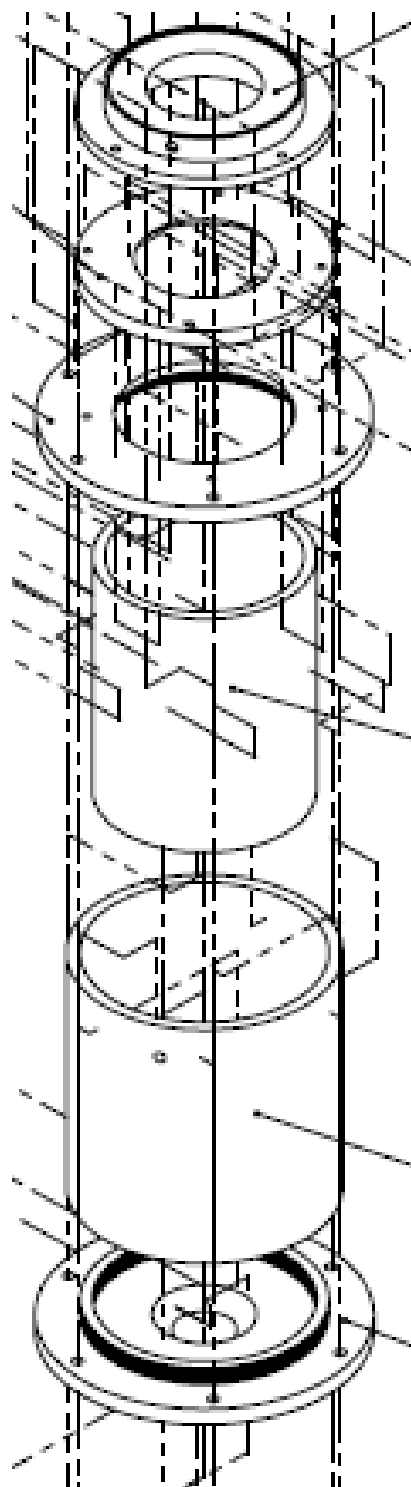


Ilustración 34. Despiece del quemador poroso de llama plana.

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

4.2 FABRICACIÓN

Inicialmente se ha pensado que el cobre era el material en el cual se debía fabricar la totalidad de las piezas del quemador, debido a que es un material con una muy buena conductividad térmica. Aunque hay muchos proveedores de este material, el precio era muy elevado. Por lo tanto, se buscó la manera de minimizar la cantidad de este material en la fabricación y en su lugar usar materiales tales como aluminio y hierro fundido en menor proporción.

La tapa superior, considerando que es la que mayor temperatura experimenta y al poseer medidas muy pequeñas, se ha dispuesto por fabricarla en cobre, con el fin de garantizar la durabilidad del dispositivo y prever cualquier tipo de elevación de temperatura que puedan dañar esta pieza. Se ha hecho fundir un bloque a la medida y luego se ha maquinado en torno convencional, dándole la forma de disco y efectuando además la perforación concéntrica para la placa metálica de 60mm, tal como se muestra en la ilustración 35.



Ilustración 35. Fabricación de la Tapa superior en cobre.

En la experimentación el cobre brindó una conductividad deseada, transfiriendo calor al agua caliente que recirculaba y sin deformación alguna en su estructura. Además, ha

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

soportado sin problemas la presión que se genera en la recámara a pesar de que el espesor es muy reducido en la pared interna.

El disco de Nylon ha soportado la temperatura de experimentación a la cual debe ser sometido, su superficie no se ha carbonizado y proporciona un sello para el agua ideal. En general el material es muy económico y ha sido de fácil obtención, su maquinado es igualmente sencillo.

La base de la tapa superior se decidió fabricar en aluminio, un material con excelentes propiedades térmicas y de fácil mecanizado. Esta pieza de vital importancia en la fabricación y ha proporcionado una unión eficaz entre la tapa superior y el quemador con la mesa. Además, con las perforaciones realizadas en la zona superior de la pieza, permite unir la tapa superior en una especie de “sándwich”. Los canales finamente diseñados para ubicar sellos de caucho se han fabricado dobles y se han ubicado los o-ring con teflón líquido. Estas acciones han permitido evitar las fugas.

El radio de curvatura que posee la tapa superior se ha fabricado en torno convencional al unir las dos piezas superiores y maquinarlas juntas, tal como se muestra en la ilustración 36. Luego por separado se ha realizado un pequeño chaflan a la pieza en aluminio debido a que su radio es muy superior respecto a las otras y alteraría las medidas. Este radio de curvatura ha minimizado las turbulencias con respecto a la mezcla en el experimento, lo que proporciona una combustión aún más laminar.

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



Ilustración 36. Fabricación de la tapa superior con su respectivo radio de curvatura

La cámara de mezclado, con la adecuación de los tubos y la separación entre ambos, ha permitido hacer una recirculación eficiente del agua fría. Ambos tubos son de acero 1020, el cual soportar sin problemas la presión interna generada y se consigue comercialmente. En la fabricación se han encajado de forma precisa a la tapa inferior por medio del diseño de unas ranuras dónde encajan ambos tubos (ver ilustración 37); con el sello doble que se ha puesto en ambos extremos de los tubos se ha garantizado cero fugas en el dispositivo, aunque se debe tener cuidado de no dañar los empaques al desinstalar ambas tapas del quemador.

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



Ilustración 37. Sellos empleados como solución de fugas.

La tapa inferior, por donde ingresan los gases de mezcla como suministro para la combustión, posee seis perforaciones que permiten ajustar el quemador a la mesa y unir todo el dispositivo como tal. Esta tapa se ha diseñado en aluminio y cuenta con un agujero roscado en su centro haciendo totalmente desmontable el tubo de suministro. Es una pieza simple que brinda soporte para la separación de los tubos y con los canales dobles para o-ring. El tubo de suministro con el inyector acoplado (ver ilustración 38) ha introducido el combustible adecuadamente, por lo que el suministro no ha sido un problema en la experimentación.

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



Ilustración 38. Tapa inferior y tubo de suministro

4.3 RESULTADOS EXPERIMENTALES

En la ilustración 39 se muestra la llama para la cual se obtuvo la estabilidad deseada (dosado 1.4). La llama es rica en combustible, por lo que se alcanza a ver una estela amarilla sobre la llama plana azul.

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



Ilustración 39. Llama plana estabilizada

El objetivo de las pruebas es calcular el S_L , el cual es la velocidad de llama laminar. Esta velocidad es una característica propia de la mezcla aire/combustible la cual en teoría no depende ni del quemador ni de otro dispositivo de la prueba.

En el primer ensayo se tomó una presión de combustible de 34mbar y 1 CFM de aire que indicaban el manómetro y el rotámetro utilizados, ver ilustración 40. Cabe anotar que el dato medido por el rotámetro es en sitio (Medellín) y debe ajustarse a condiciones estándar (nivel del mar).

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

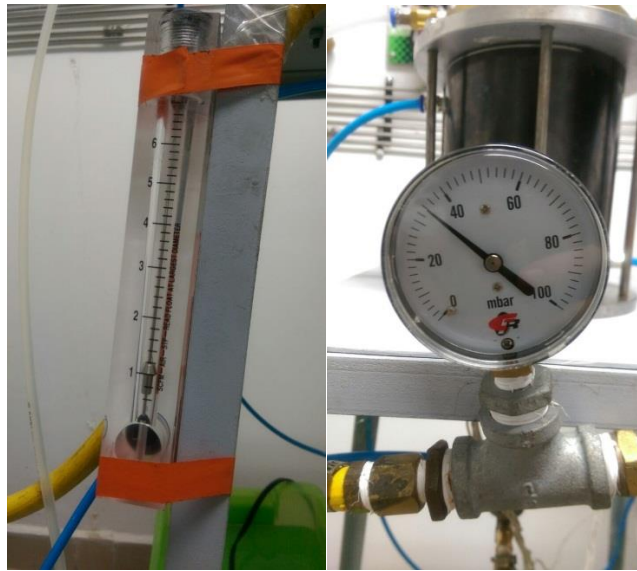


Ilustración 40. Medidas de presión indicadas por el rotámetro y el manómetro.

En las diferentes pruebas realizadas obteníamos las temperaturas más altas cuando la llama estaba más cerca a la placa. Esto debido a que los termopares estaban al nivel de la placa perforada. En la ilustración 41 se muestra una llama de este tipo.

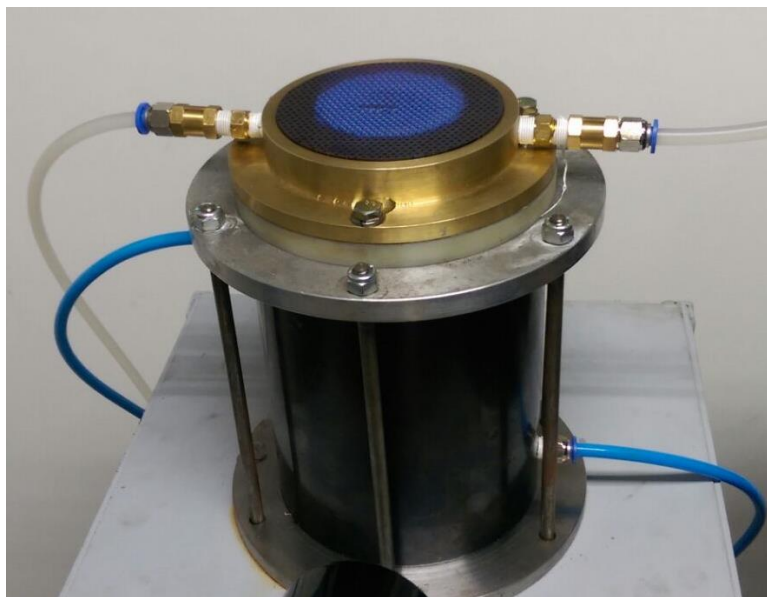


Ilustración 41. Llama estabilizada muy cerca a la placa perforada.

Entre todos los ensayos realizados se reportan 3 en este trabajo (ensayos 12, 13 y 15), ver tabla 2. Fueron seleccionados porque en ellos tenemos los dosados constantes (igual a 1.4), fueron pruebas refrigerando tanto la camisa superior de agua caliente como la inferior de agua fría y finalmente porque están a diferentes presiones de combustible y aire (y por tanto diferentes potencias térmicas). Los datos de temperatura de estos ensayos fueron promediados luego de realizar 3 mediciones diferentes por cada ensayo, ver ilustración 42.



Ilustración 42. Medición de temperatura en los diferentes puntos de la placa.

Dosado 1,4			
	Ensayo 12	Ensayo 13	Ensayo 15
Presión gas (mbar)	50	34	42
CFM aire	1,2	1	1,1
mm	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)
0	180,0	272,0	232,75
5,875	238,7	328,7	288,425
8,8125	150,3	225,0	211,5
11,75	174,0	245,7	216,5

Tabla 2. Distancias de los termopares y temperaturas promedio medidas.

En la anterior tabla se relacionan las diferentes posiciones de los termopares utilizados con respecto al centro de la placa y las temperaturas promedio. En la ilustración 43 se grafican estas temperaturas con respecto a la distancia radial. La curva polinómica de ajuste mostrada es solo para mejorar la visualización de los datos.

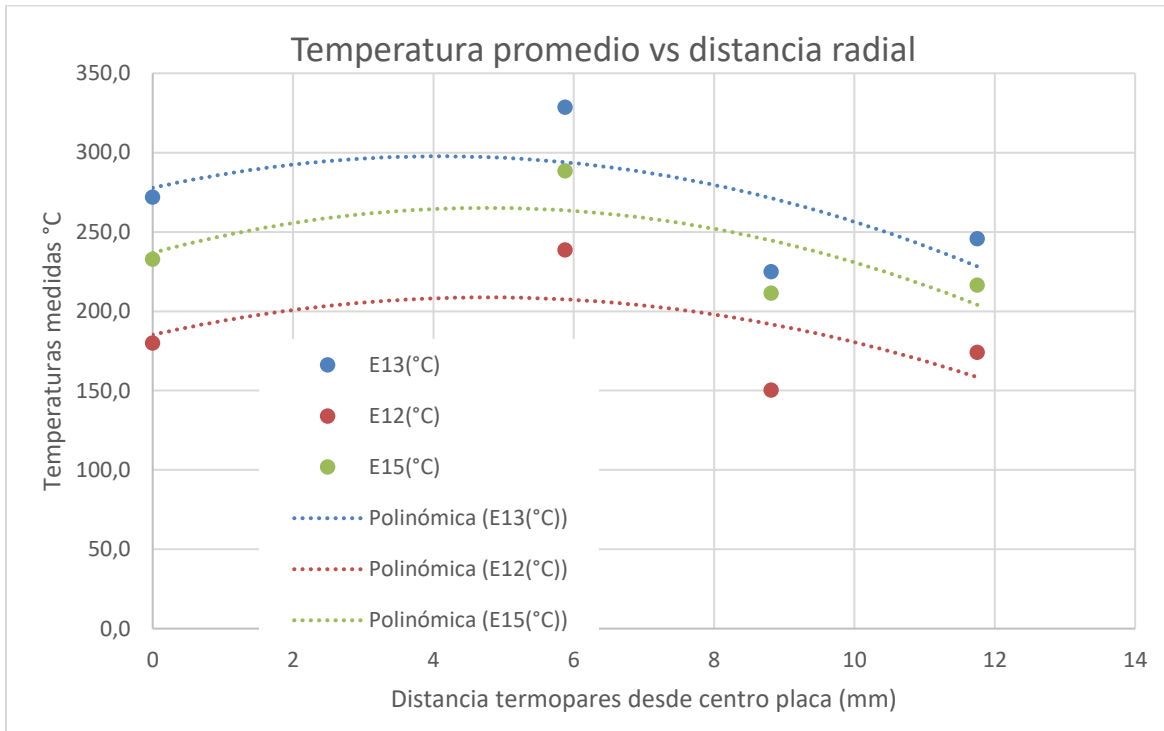


Ilustración 43: Grafica curva típica de distancia y temperatura medida.

En la anterior ilustración se pueden visualizar que cada ensayo tiene diferentes potencias térmicas. Esto ocurre porque en cada ensayo se está metiendo mayor o menor cantidad de combustible, pero al mismo tiempo se garantiza la relación de aire-combustible de modo que dé aproximadamente 1.4 de dosado.

En la gráfica el ensayo que está más por debajo es el 12 en el cual se está utilizando mayor cantidad de combustible y el 13 el de menor cantidad se le puede ver por encima; del mismo modo al ingresar más combustible y aire se eleva la llama y se aleja más de la placa, por eso

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

se obtienen temperaturas más bajas; al ingresar menor cantidad de masa al sistema la llama estará más baja al nivel de la placa y se van a obtener temperaturas mucho más altas.

A continuación, se procedió a encontrar la velocidad de la mezcla del fluido aire-combustible promedio. Esta velocidad es diferente al S_L (la velocidad de llama laminar adiabática) porque la velocidad de la mezcla es la real en sitio. Esta velocidad se obtiene a partir de la fórmula del caudal (Velocidad x Área), donde el área del quemador se calcula con el área de la placa metálica de 6cm de radio. El caudal es la suma del caudal de aire (dato de rotámetro) y el del combustible (dato estimado con la teoría de la sección 2.6).

Utilizando el método descrito en la sección 3.4, se obtienen los coeficientes C y se reportan en la tabla 3.

Prueba	Coficiente C (K/mm ²)	Velocidad real promedio de la mezcla aire-combustible (m/s)
E12	-0,0421	0,218
E15	-0,075	0,2
E13	-0,2027	0,1799

Tabla 3. Valores de los coeficientes C con los valores obtenidos para cada ensayo.

Finalmente se grafican los coeficientes C versus la velocidad real de la mezcla, tal como se muestra en la ilustración 44. Al ubicar todos los puntos en la gráfica, se puede visualizar que los 3 puntos dan aproximadamente en la misma línea.

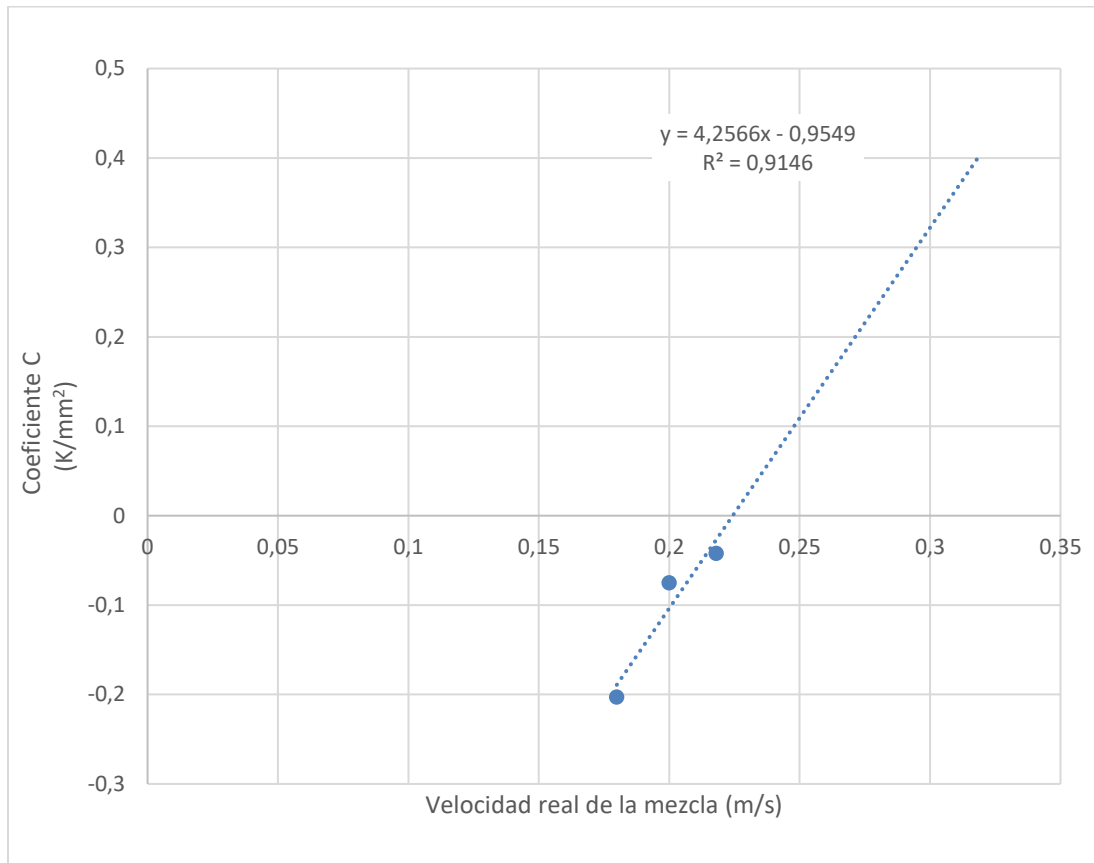


Ilustración 44. Grafica valores de C y velocidad de llama laminar real para los tres ensayos

La velocidad de llama laminar adiabática es el valor que se obtiene en la ilustración 44 cuando esta pasa por la línea del eje horizontal en cero. En ese punto las temperaturas serían uniformes y por tanto no habría pérdida de calor de la llama (condición adiabática). Este es el dato es igual a 0,22433398 m/s (obtenido despejando de la ecuación lineal ajustada), para un dosado de 1.4.

Las simulaciones en Cantera también entregan la velocidad de llama laminar, para lo cual se tuvo que adaptar el código (composición de la mezcla sin quemar) a diferentes dosados. Los resultados de estas simulaciones se muestran en la ilustración 48.

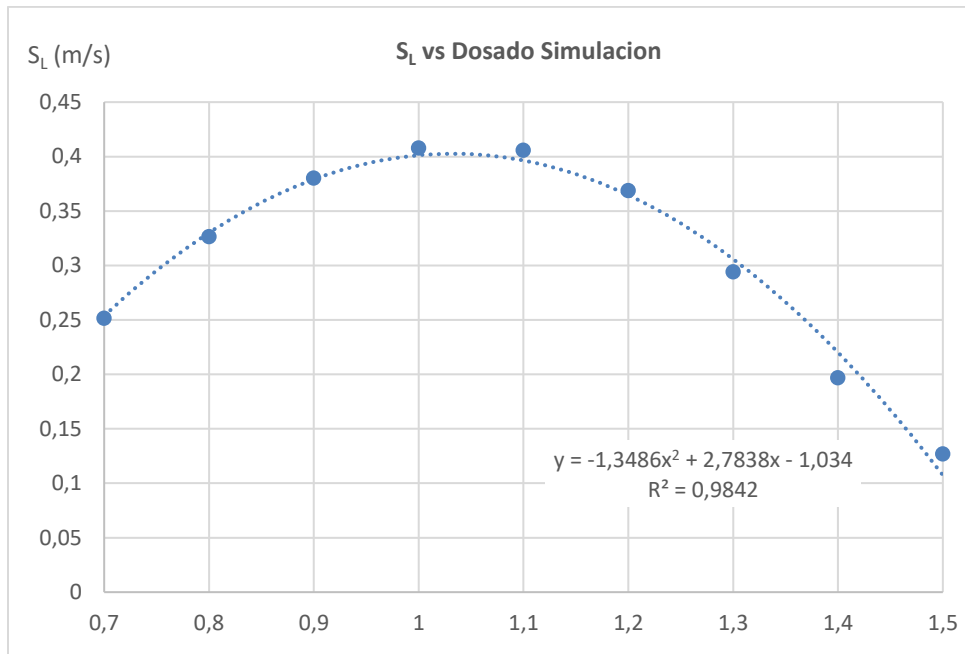


Ilustración 48. Velocidad de llama laminar (S_L) Vs dosado de la simulación.

El dato obtenido en la simulación (despejado de la curva polinómica ajustada) se compara favorablemente con el obtenido experimentalmente, tal como se puede observar en la tabla 4.

SL experimental	0,22433398	m/s
SL simulación	0,22064	m/s

Tabla 4. Resultado final de la velocidad S_L de la simulación y la velocidad obtenida experimentalmente.

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

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1 CONCLUSIÓN GENERAL

Mediante los instrumentos utilizados para realizar las distintas mediciones de flujo y temperatura como el rotámetro, manómetro y termopares logramos inicialmente verificar el correcto funcionamiento del diseño mecánico evitando totalmente las fugas de agua tanto en la cámara superior como en la inferior. El diseño tuvo como principal objetivo garantizar un flujo laminar que posteriormente nos va a permitir estabilizar con facilidad la llama en funcionamiento, teniendo así la posibilidad de ejecutar mediciones de temperatura en distintos puntos de operación de presión de gas y flujo de aire con el propósito de realizar una serie de pruebas sin mayor complicación

Se realizaron pruebas en tres puntos de operación diferentes para un dosado de 1,4 con GLP y manteniendo una temperatura en la cámara superior de refrigeración entre los 70°C y 80°C. Se pudo obtener un resultado coherente y cercano al calculado teóricamente, de aprox. 0,22 m/s de velocidad de llama laminar. Finalmente, la fiabilidad del equipo servirá para generar mediciones con distintos gases de combustión y obtener las velocidades de combustión de estos.

5.1.1 Conclusiones complementarias

- Se realizó el modelado CAD del instrumento de medición según los estudios realizados con anterioridad de los distintos sistemas ya fabricados. El equipo funcionó perfectamente teniendo en cuenta las distintas reformas que se realizaron con el fin de facilitar su construcción.

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

- Contando con la base del diseño elaborado se efectuó su fabricación utilizando máquinas herramienta como torno y fresadora, para garantizar un ajuste adecuado a lo solicitado y facilidad en el ensamble y montaje del quemador.
- Se realizaron las respectivas mediciones con los distintos termopares para tomar los datos que permitan graficar el comportamiento adiabático de la llama como resultado final.
- El posicionamiento de los termopares fue de gran importancia, principalmente a la altura que se deben ubicar porque esto influye directamente en el resultado de los datos obtenidos.
- Para la cámara de agua caliente se realizó un intercambiador de calor sencillo con el fin de conseguir el fluido con alta temperatura y que facilitó el montaje.
- El uso de un buen sello entre el material cerámico y la cámara de agua caliente superior evitó totalmente fugas de agua.

5.2 RECOMENDACIONES

- Verificar con anterioridad la temperatura de trabajo en la bomba de alta temperatura debido a que, por su poca demanda, son difíciles de adquirir y pueden llegar a representar retrasos en el montaje del quemador.
- Se recomienda tener un quemador con los poros adecuados y con las medidas que permitan estabilizar con facilidad la llama.
- No está de más tener presente la importancia de tener precisión en la fabricación para que las piezas encajen correctamente y no se presenten fugas de agua en el sistema.
- El montaje de los termopares represento un importante reto de ingenio para los integrantes del grupo debido a la complejidad que implica incluirlos dentro del sistema sin que genere interferencias en el aire interno.

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

- La caída de presión ejercida por las cámaras internas del sistema debe ser vencidas con facilidad por los elementos de bombeo, pero sin manejar presiones muy altas para evitar fugas forzadas.
- En el proceso experimental es principalmente importante la altura de los termopares en donde se deben mantener a una misma altura y debe ser muy precisa para poder tener resultados reales.
- Se deben prevenir fugas de agua especialmente en la cámara superior que es la de agua caliente y debe manejar temperaturas superiores a 70°C.
- En el desarrollo del experimento se dificultó inicialmente mantener tanto los CFM como la presión del gas en el punto requerido debido a que no se contaban con instrumentos de alta precisión. Se recomienda para ambos casos tener reguladores que permitan ajustar medidas más finas.

5.3 TRABAJO A FUTURO

En el futuro se pueden realizar mediciones con mezclas de gases muy distintas a las comunes y obtener información de gases poco utilizados que pueden llegar a tener importantes desarrollos en alguno de los ámbitos donde se requiera. También se puede realizar la fabricación de un quemador poroso con características más exactas que nos permita tener datos con mayor facilidad y más precisos con la mayor similitud posible a las recomendadas en la literatura. Al igual se puede investigar la forma de implementar una medición de temperatura no intrusiva que mejore la calidad de la medida e implementar un suministro de agua caliente reutilizable para evitar al máximo los desperdicios.

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

REFERENCIAS

- Aprendemergencias* . (2015). Obtenido de <https://www.aprendemergencias.es/incendios/teor%C3%ADa-del-fuego/>
- Bosschaart, K. J. (2002). Analysis of the Heat Flux Method for Measuring Burning. *PROEFSCHRIFT*, 139.
- Cantera. (2018). *Cantera*. Obtenido de <http://www.cantera.org/>
- Chaverri, G. (1983). *Laboratorios de Química General*. San José: Editorial Universidad de Costa Rica. Obtenido de Manual de Laboratorio: <http://www.quimica.ucr.ac.cr/LQG1/experimentos/exp1.html>
- Copete Lopez, H. (2004). Optimización de un sistema de combustión. *Grupo de ciencia y tecnología del gas y uso racional de la energía*, 77-80.
- Goey, P. D. (1994). *Heat Flux Method*. Obtenido de <http://cms.heatfluxburner.org/11-2/>
- Maarin, A. V. (1994). Measurement of Flame Temperature and Adiabatic Burning Velocity of Methane/Air Mixture. *Gordon and Breach Science Publishers S.A.*, 18.
- Rau, f. F. (2014). Laminar burning velocity measurements using the Heat Flux method. *ScienceDirect*, 7.
- Suárez, J. L., Amell Arrieta, A., & Cadavid, F. J. (04 de Agosto de 2009). Numerical and experimental study of the radiative properties and phenomena in a methane (CH₄) flame with enriched air. *Dyna*, 78(165), 138-149. Obtenido de Numerical and experimental study of the radiative properties and phenomena in a methane (CH₄) flame with enriched air: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25648/39146>
- Universidad de Antioquia. (2004). *Notas del curso "Técnicas de laboratorio químico"*. Obtenido de <http://docencia.udea.edu.co/cen/tecnicaslabquimico/01intro/intro01.htm>
- Universidad de San Diego, California. (2012). *San Diego Mechanism*. Obtenido de <http://web.eng.ucsd.edu/mae/groups/combustion/mechanism.html>
- Van Maaren, A. (1994). *one-step chemical reaction parameters for premixed laminar flames*. klundert: proefschrift.

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

APÉNDICE 1

Código en Cantera

```

import cantera as ct
import numpy as np

# Simulation parameters
p = (ct.one_atm)*0.840859 # Presion en Medellin [Pa]
Tin = 300.0 # Temperatura gases sin quemar [K]
reactants = 'C3H8:0.6, C4H10:0.4, O2:4.0, N2:15.04' # GLP dosado 1.4

width = 0.03 # m
loglevel = 1 # amount of diagnostic output (0 to 8)

# IdealGasMix object used to compute mixture properties, set to the state of the
# upstream fuel-air mixture
gas = ct.Solution('chemSD.cti')
gas.TPX = Tin, p, reactants

# Set up flame object
f = ct.FreeFlame(gas, width=width)
f.set_refine_criteria(ratio=3, slope=0.06, curve=0.12)
f.show_solution()

# Solve with mixture-averaged transport model
f.transport_model = 'Mix'
f.solve(loglevel=loglevel, auto=True)

# Solve with the energy equation enabled

```

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

```
f.save('chemSD.cti', 'mix', 'solution with mixture-averaged transport')
```

```
f.show_solution()
```

```
print('mixture-averaged flamespeed = {0:7f} m/s'.format(f.u[0]))
```

```
# Guarda un archivo con la velocidad, temperatura, densidad y fracciones molares en un archivo
```

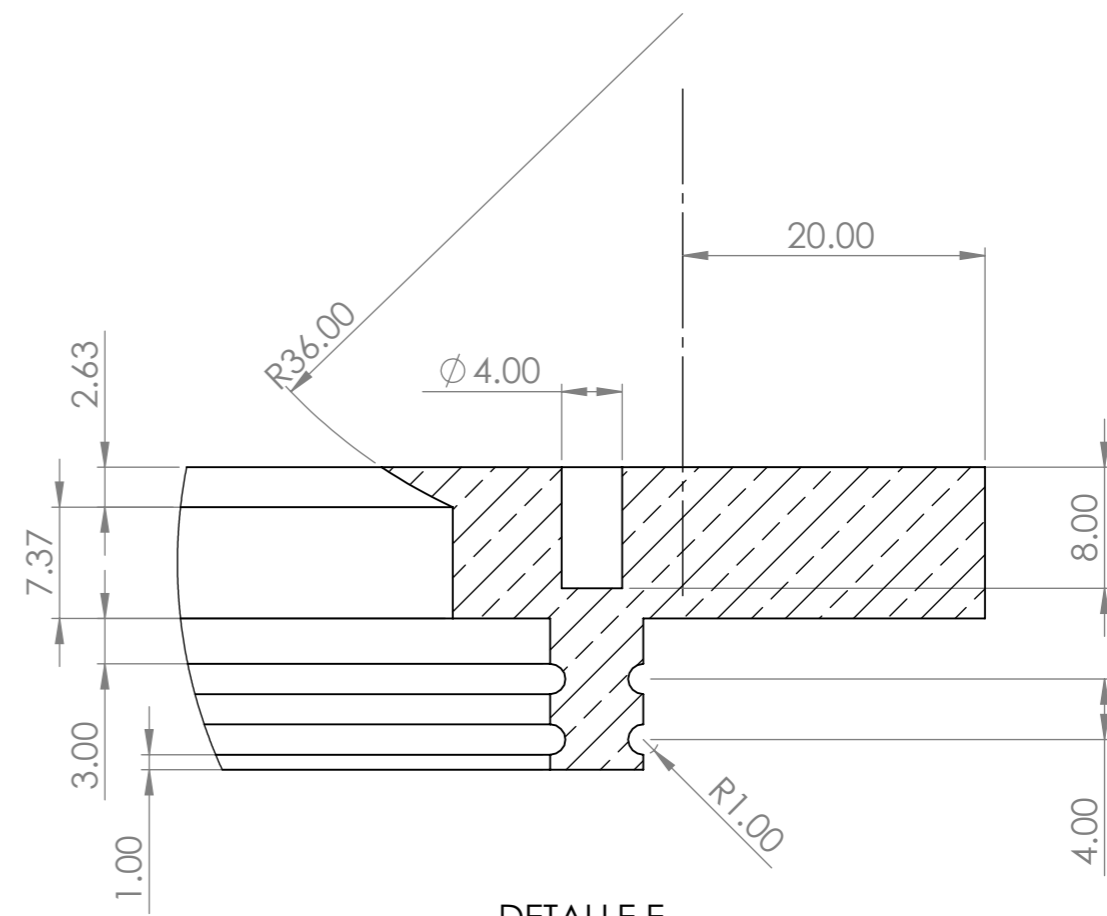
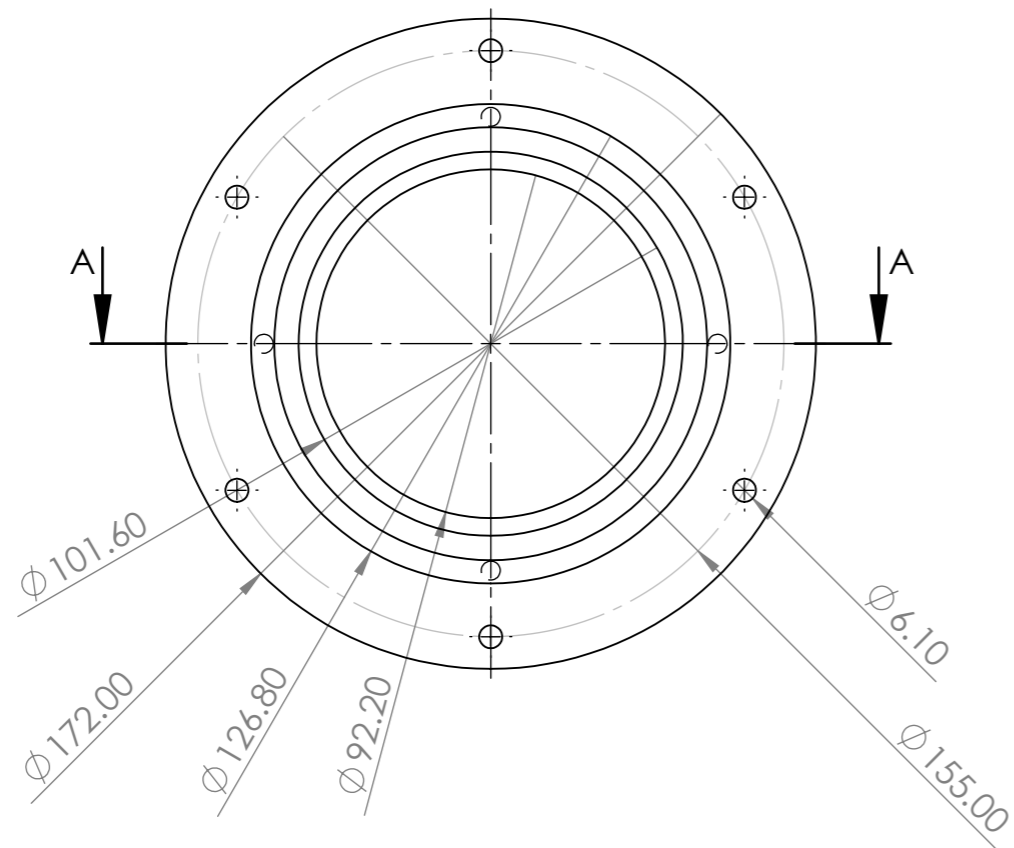
```
f.write_csv('GLP_adiabatic.csv', quiet=False)
```

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

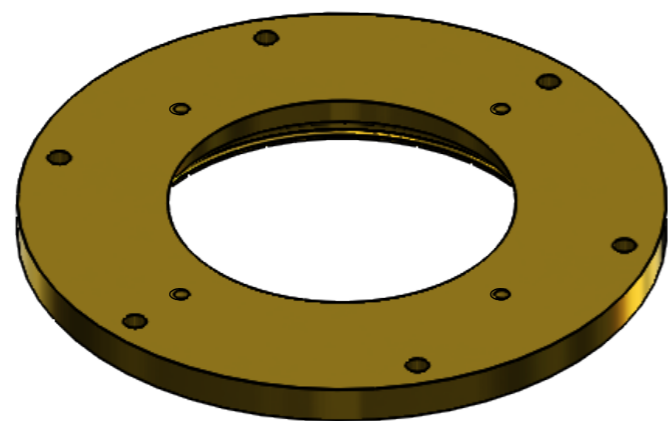
APÉNDICE 2

Planos fabricación quemador

A continuación, se anexan los planos de fabricación del quemador



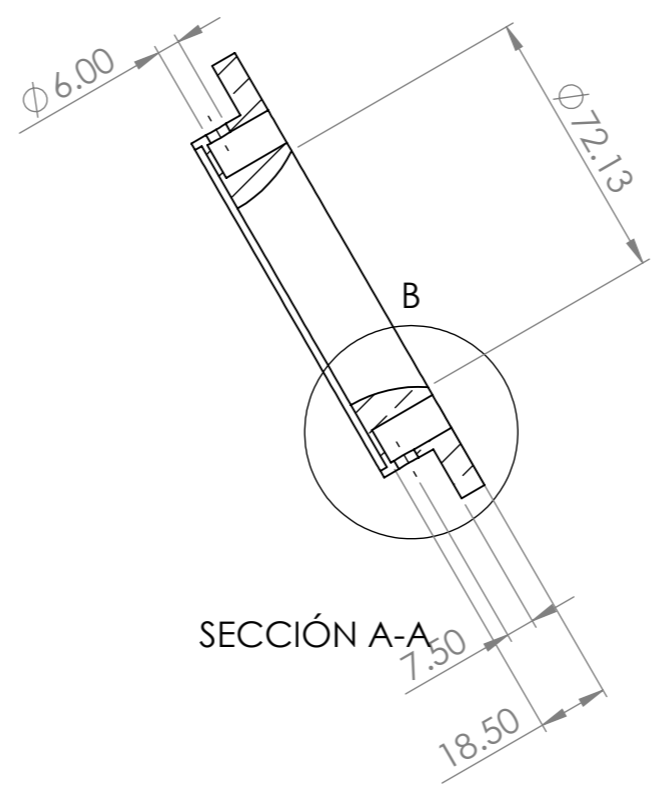
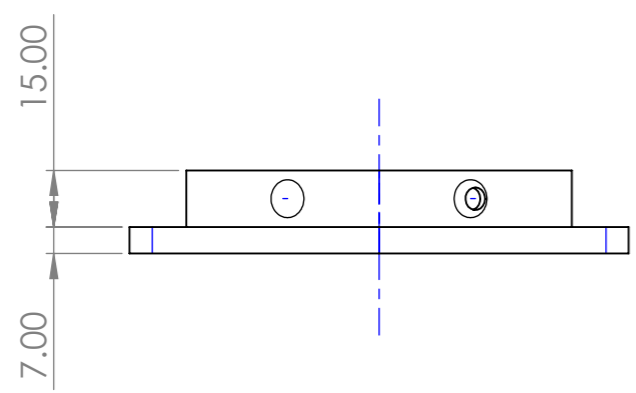
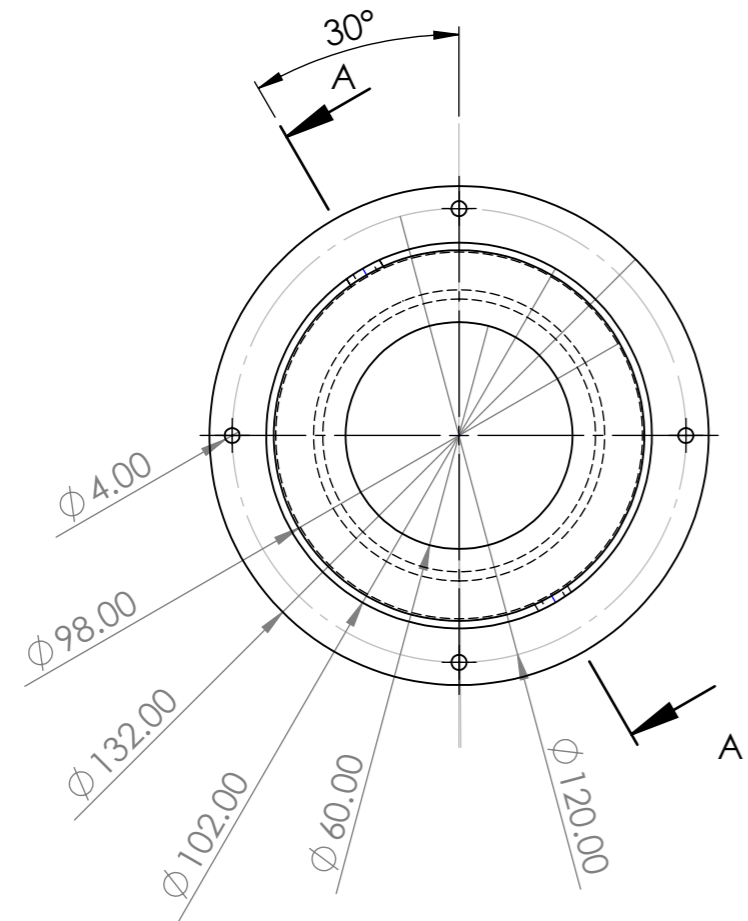
DETALLE E
ESCALA 2 : 1



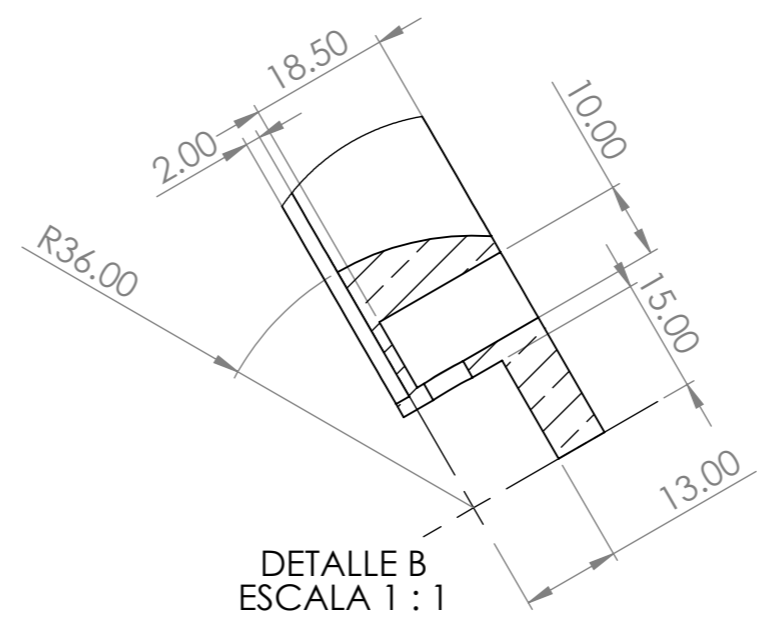
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: En Bronce	
VERIF.				N.º DE DIBUJO Base_Tapa	
APROB.				ESCALA:1:2	A3
FABR.				PESO:	HOJA 1 DE 1
CALID.					

8 7 6 5 4 3 2 1

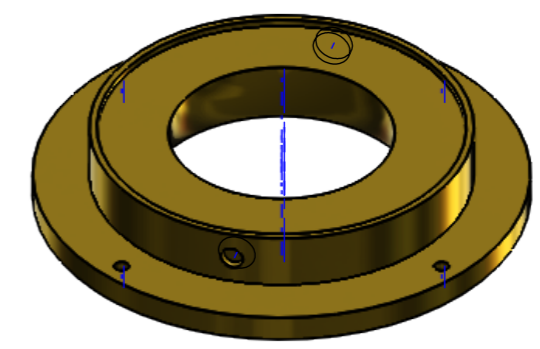
F
E
D
C
B
A



SECCIÓN A-A



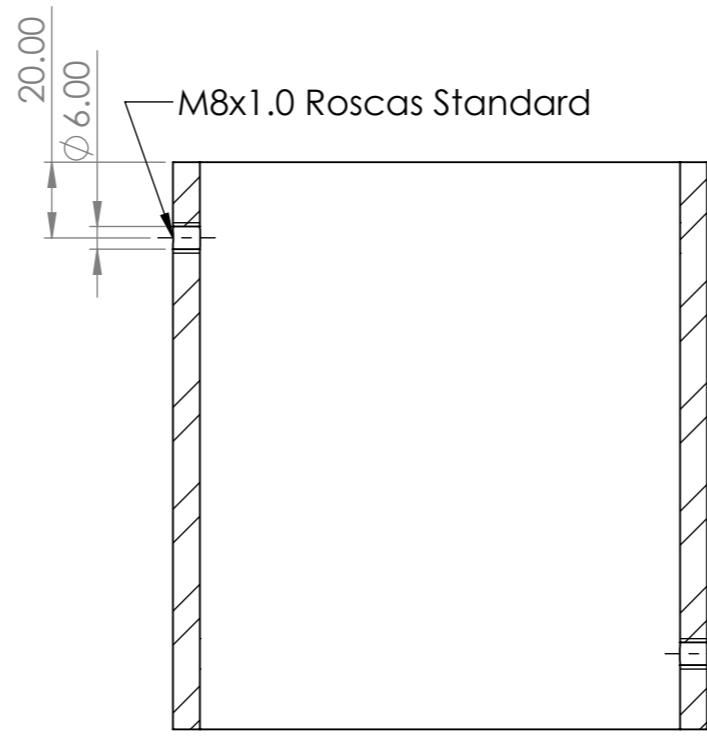
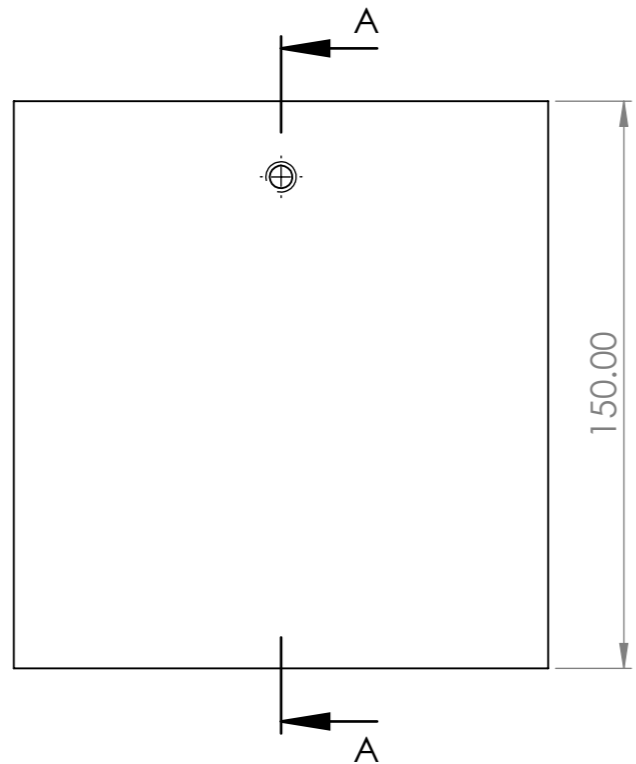
DETALLE B
ESCALA 1:1



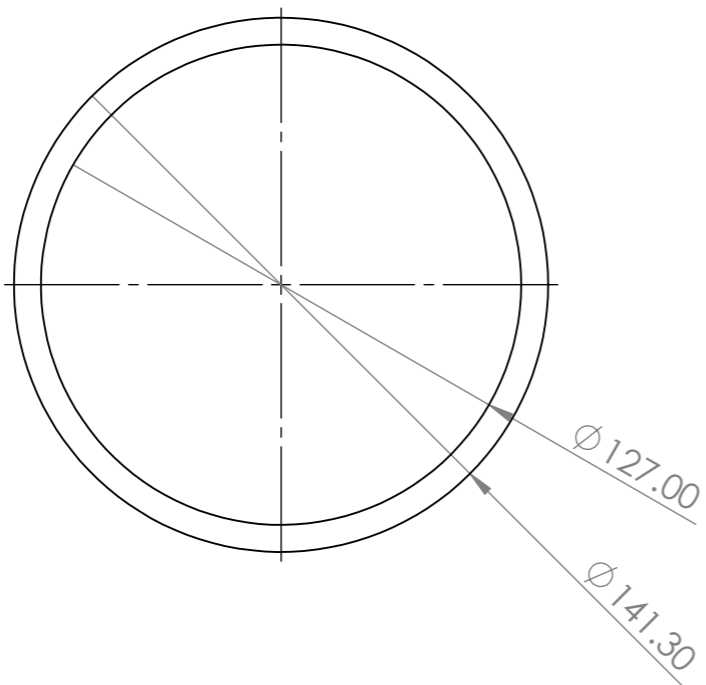
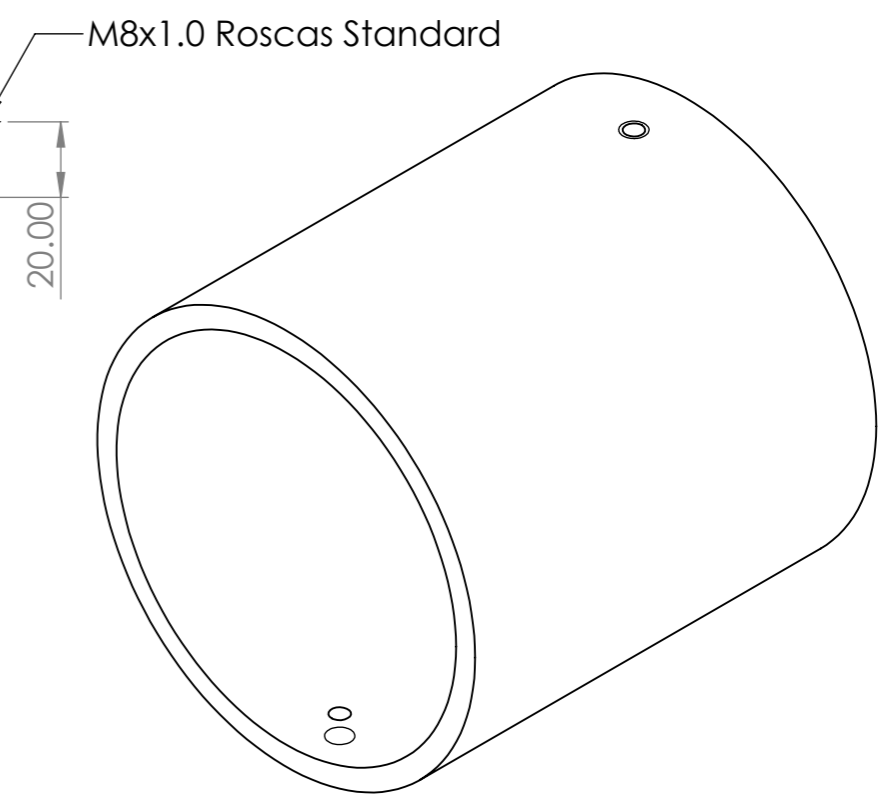
F
E
D
C
B
A

8 7 6 5 4 3 2 1

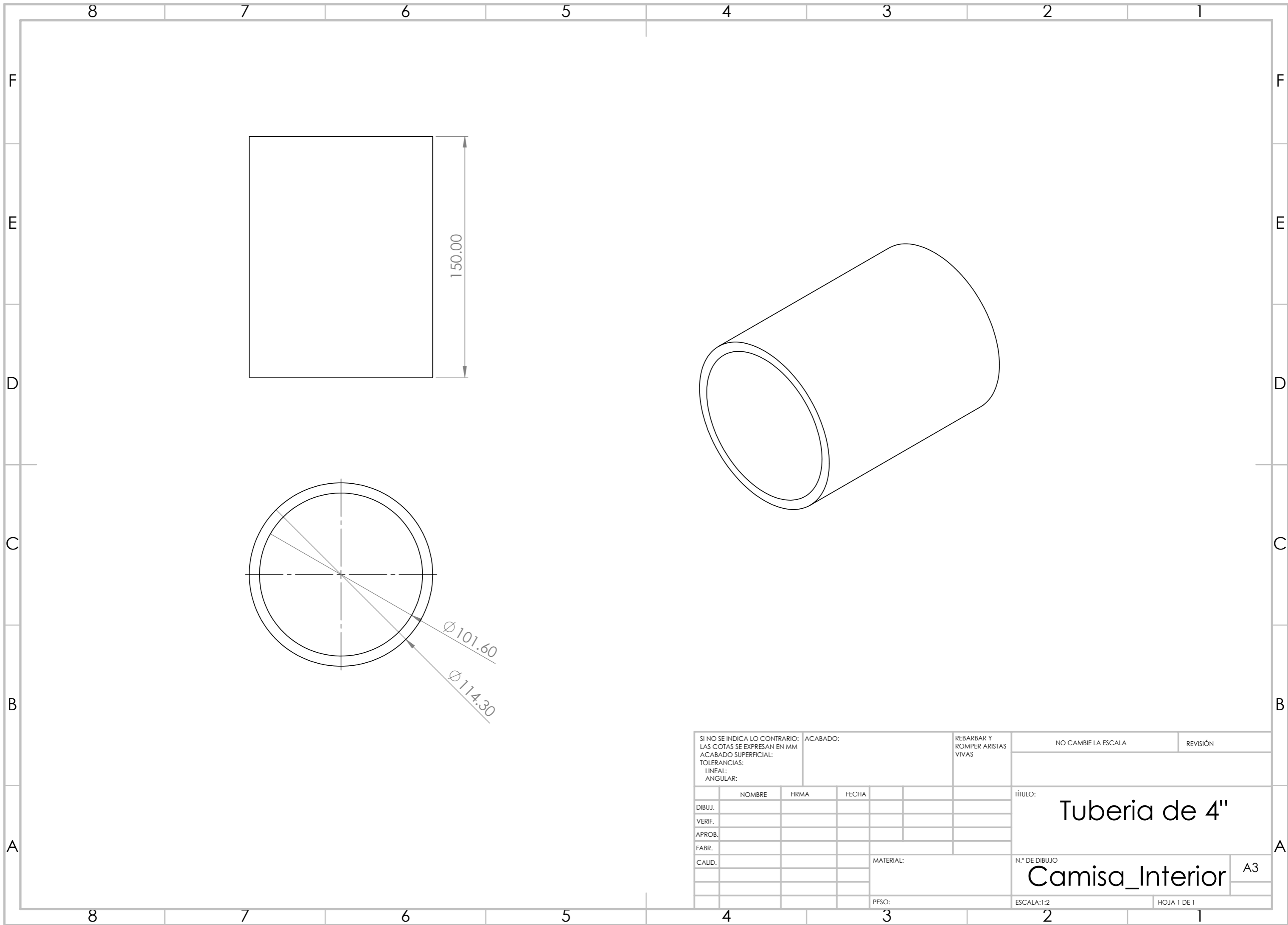
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO: En Bronce	
VERIF.					N.º DE DIBUJO	A3
APROB.					Boca_Tapa	
FABR.				MATERIAL:	ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 1
CALID.				PESO:		



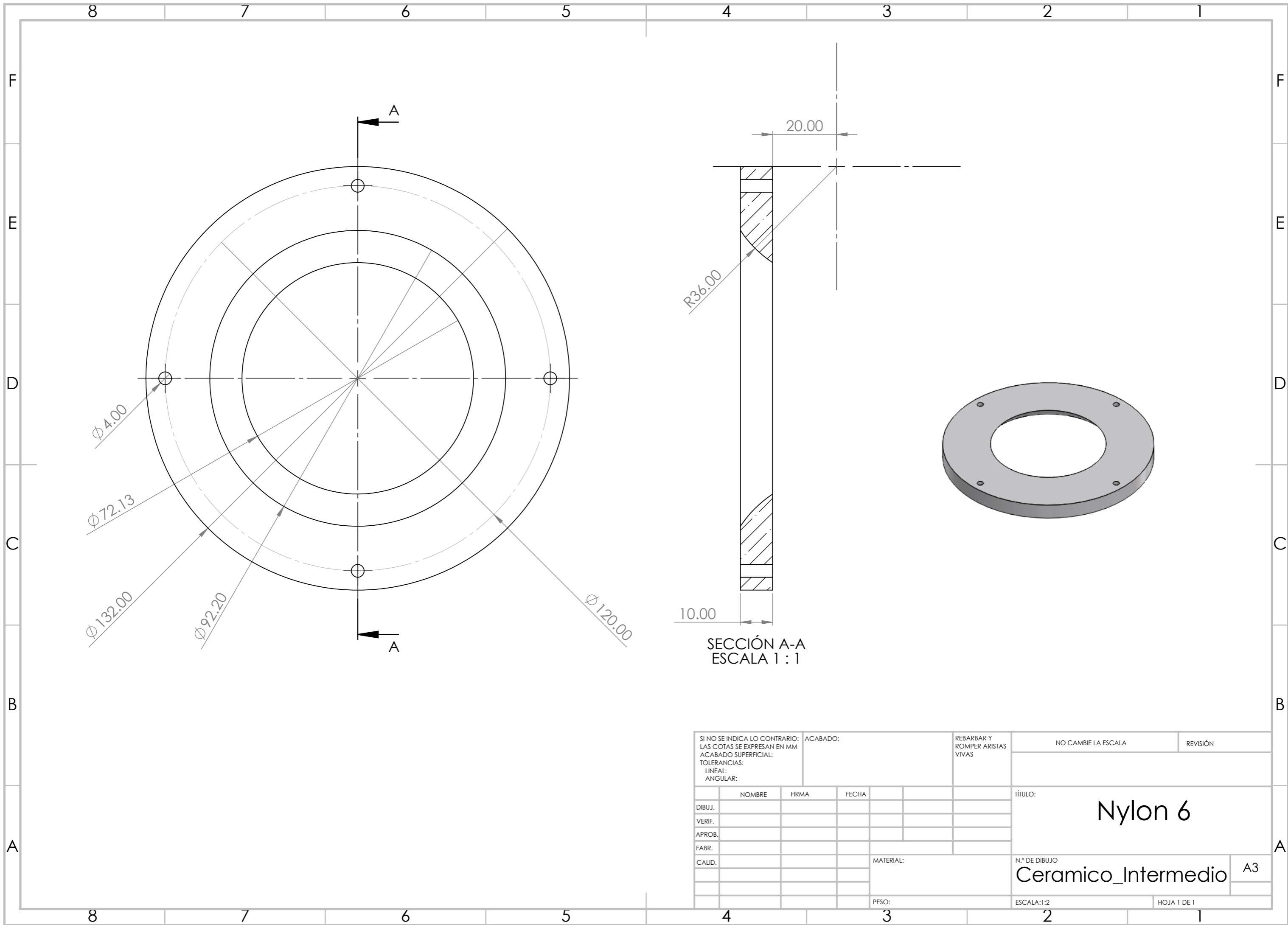
SECCIÓN A-A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Tuberia de 5"	
VERIF.				N.º DE DIBUJO Camisa_Exterior	
APROB.				ESCALA:1:2	A3
FABR.				PESO:	HOJA 1 DE 1
CALID.					



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:	
VERIF.								Tuberia de 4"	
APROB.									
FABR.								N.º DE DIBUJO	
CALID.						MATERIAL:		Camisa_Interior	
						PESO:		ESCALA:1:2	
								HOJA 1 DE 1	
								A3	



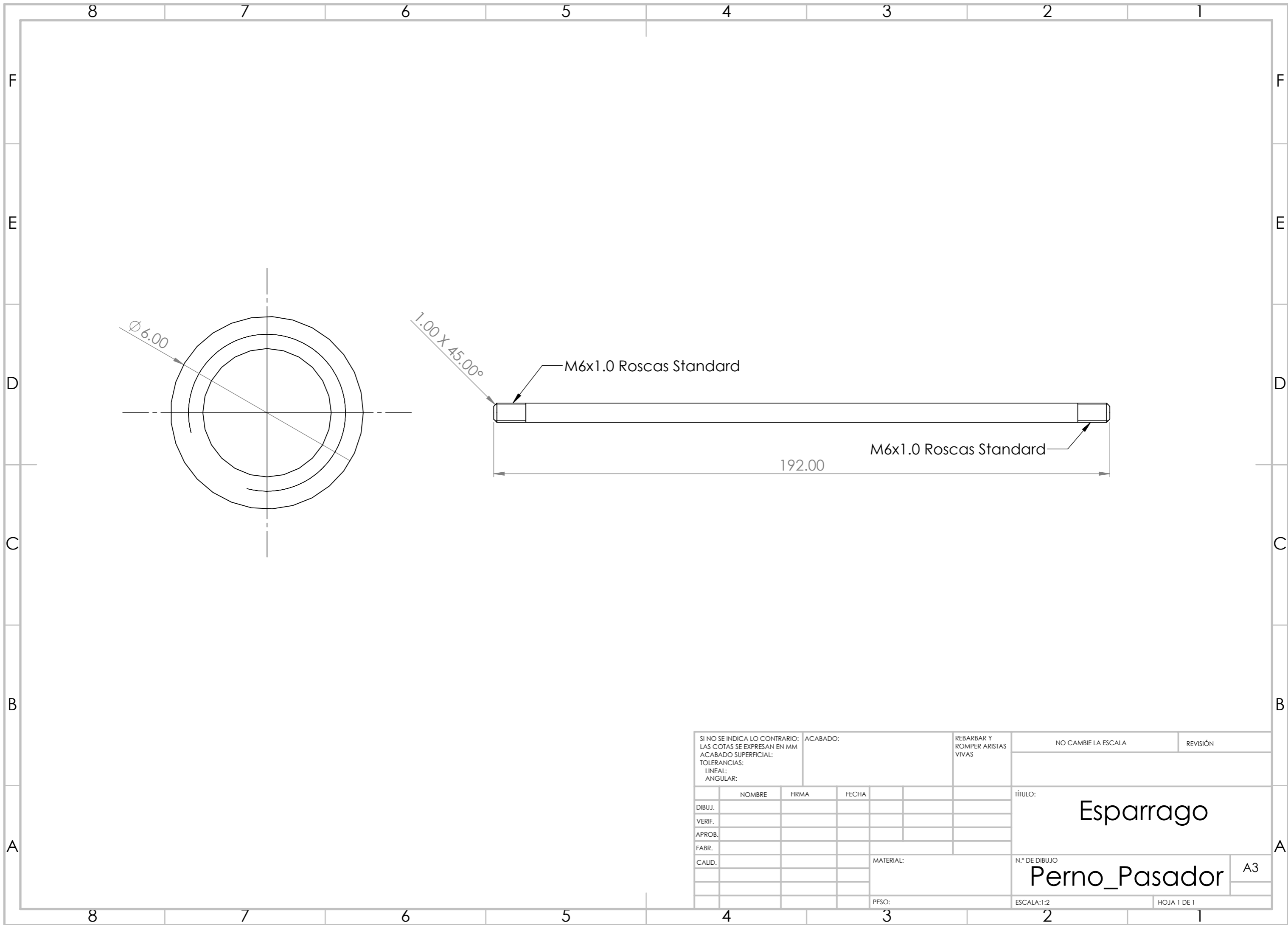
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
						TÍTULO:	
						Nylon 6	
						N.º DE DIBUJO	A3
						Ceramico_Intermedio	
						ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 1

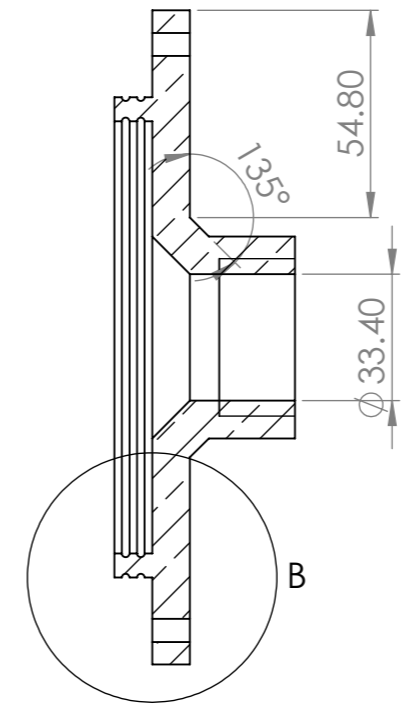
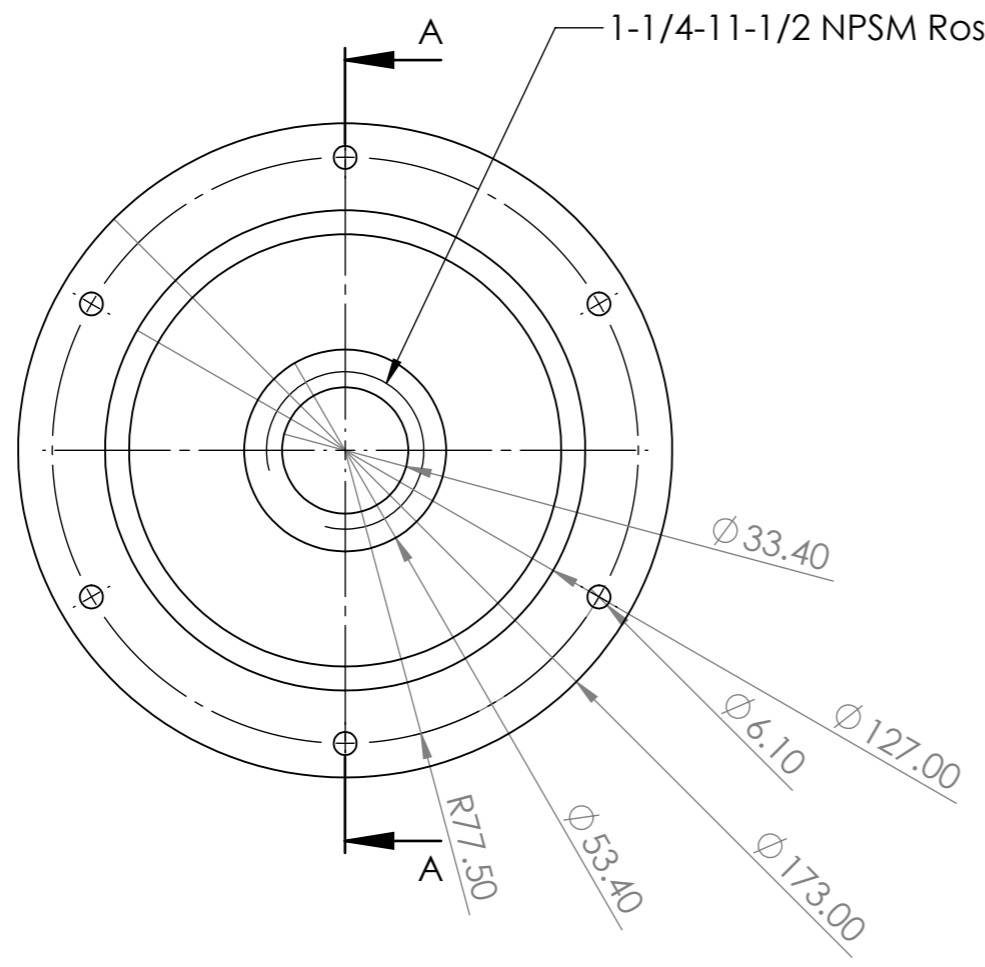
	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.					

MATERIAL:

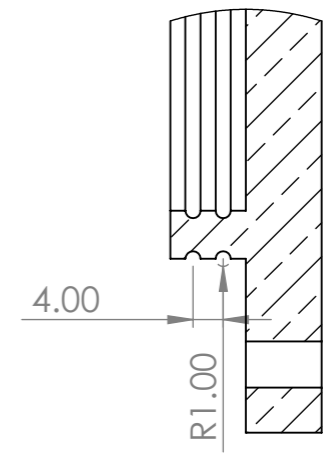
PESO:



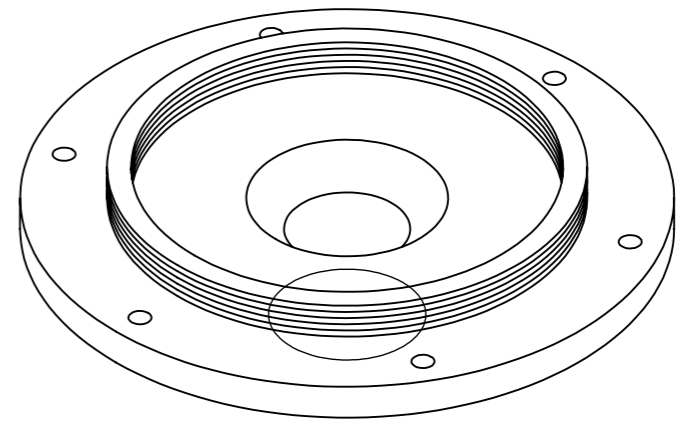
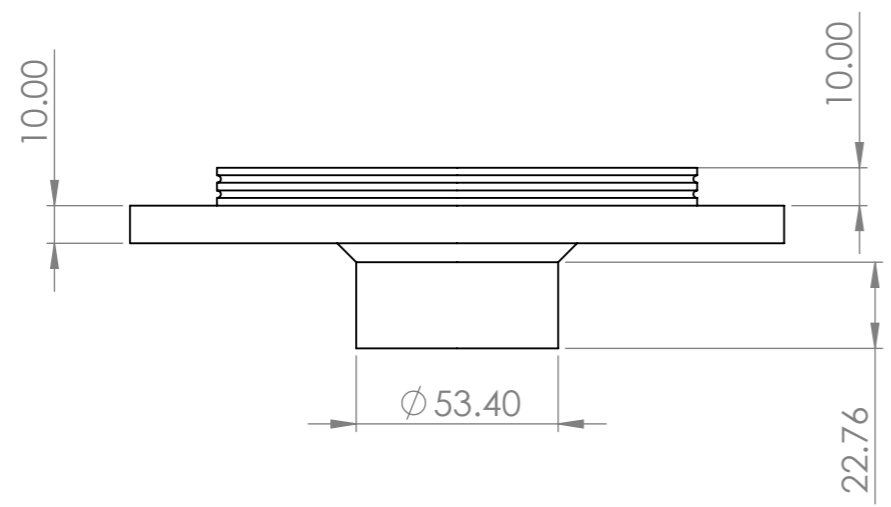
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
DIBUJ.			NOMBRE			FIRMA			FECHA		
VERIF.											
APROB.											
FABR.											
CALID.											
									MATERIAL:		
									PESO:		
									N.º DE DIBUJO		
									TÍTULO: Esparrago		
									Perno_Pasador		
									ESCALA:1:2		
									HOJA 1 DE 1		
									A3		



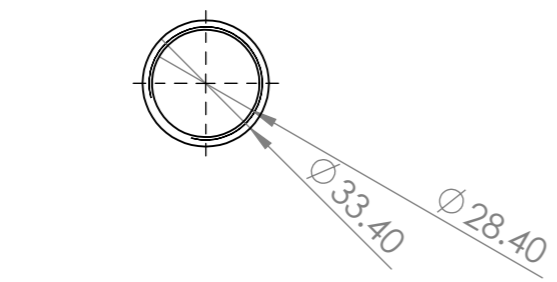
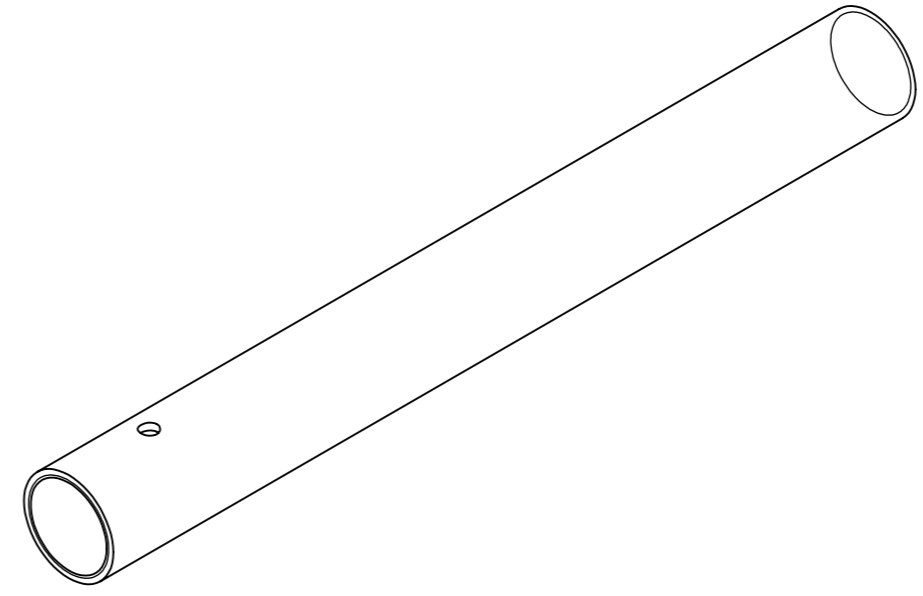
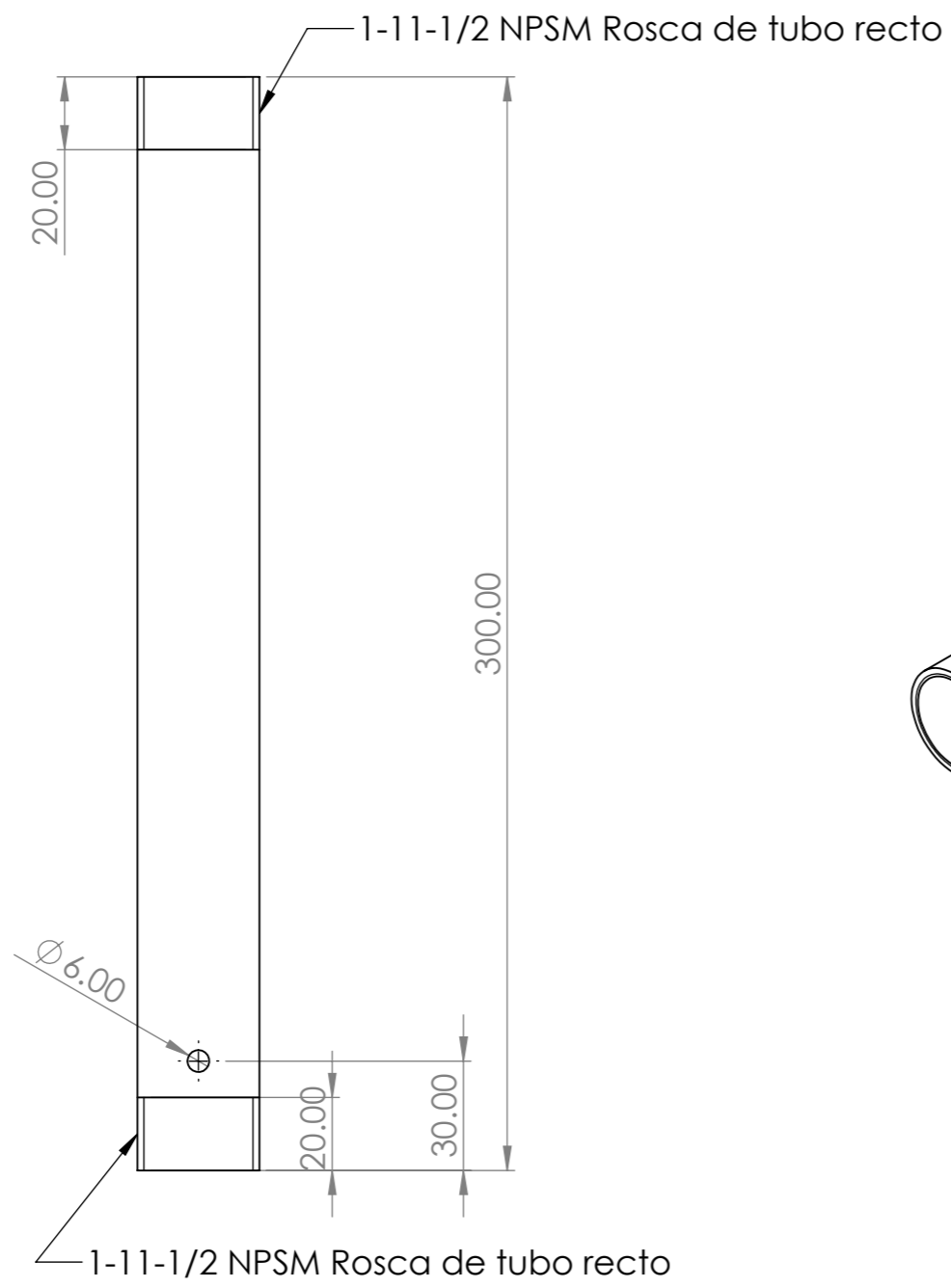
SECCIÓN A-A




DETALLE B
ESCALA 1 : 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: En Bronce	
VERIF.				N.º DE DIBUJO Tapa_Inferior	
APROB.				ESCALA:1:2	A3
FABR.				PESO:	HOJA 1 DE 1
CALID.					



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:	
VERIF.								Niple Galvanizado	
APROB.								Tuderia de Agua	
FABR.								N.º DE DIBUJO	
CALID.						MATERIAL:		Tubo_Entrada	
						PESO:		ESCALA:1:2	
								HOJA 1 DE 1	
								A3	

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

FIRMA ESTUDIANTES



 Nelson Giovanny Arango Arboleda

FIRMA ASESOR



SEGUNDA ENTREGA INFORME
 FINAL CON CORRECCIONES PARA SU
 REEVALUACIÓN

4:00 PM FECHA ENTREGA: 11-09-2018

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: _____