



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO TÉCNICO
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE QUEMADOR DE GLP DE BAJA POTENCIA PARA SECADO AGROINDUSTRIAL PARA USO EN LOS LABORATORIOS DE LA FICM”

AUTORES:

José Luis Bayas Pasto

Alex Gabriel Jarrín López

TUTOR: Ing. Mg. Santiago Cabrera

AMBATO – ECUADOR

2019

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del proyecto técnico, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE QUEMADOR DE GLP DE BAJA POTENCIA PARA SECADO AGROINDUSTRIAL PARA USO EN LOS LABORATORIOS DE LA FICM”, elaborado por los señores Bayas Pasto José Luis con cédula de ciudadanía 0202397063, y Jarrín López Alex Gabriel con cédula de ciudadanía 1804334413, egresados de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de sus autores.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos.
- Esta concluido y puede continuar el trámite correspondiente.

Atentamente,

Ambato, octubre de 2019



.....
Ing. Mg. Santiago Paúl Cabrera Anda

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO

NOSOTROS, Bayas Pasto José Luis con cédula de ciudadanía 0202397063 y Jarrín López Alex Gabriel con cédula de ciudadanía 1804334413, declaramos que todo el contenido del proyecto técnico de titulación con el tema: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE QUEMADOR DE GLP DE BAJA POTENCIA PARA SECADO AGROINDUSTRIAL PARA USO EN LOS LABORATORÍOS DE LA FICM”, así como ideas de diseño, criterios, resultados, conclusiones y recomendaciones son legítimos y de autoría nuestra.

Ambato, octubre de 2019

AUTORES



José Luis Bayas Pasto

C.I. 0202397063



Alex Gabriel Jarrín López

C.I. 1804334413

DERECHOS DE AUTOR

Autorizamos a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la institución.

Cedemos los Derechos en línea patrimoniales de nuestro Proyecto Técnico con fines de difusión pública, además aprobamos la reproducción de este documento, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice representando nuestros derechos de autores.

Ambato, octubre de 2019

AUTORES



José Luis Bayas Pasto

C.I. 0202397063



Alex Gabriel Jarrín López


C.I. 1804334413

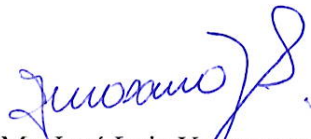
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico realizado por los estudiantes José Luis Bayas Pasto y Alex Gabriel Jarrín López de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE QUEMADOR DE GLP DE BAJA POTENCIA PARA SECADO AGROINDUSTRIAL PARA USO EN LOS LABORATORIOS DE LA FICM”.

Ambato, octubre de 2019

Para constancia firman:


Ing. Mg Luis Escobar


Ing. Mg José Luis Yunapanta

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a Dios por darme la vida, guiarme en los momentos de dificultad, darme fortaleza para superar los obstáculos que se presentan en el pasar de los días.

A mi madre Georgina por ser el eje fundamental en mi vida, quien, con su apoyo incondicional, amor, y con sus sabios consejos me permitió crecer como persona y poder alcanzar esta meta tan anhelada.

A mis abuelitos quienes siempre velaron por mi bienestar y con sus consejos formaron la persona que soy ahora.

A mis tíos quienes con sus palabras de aliento siempre me motivaron para nunca abandonar mis sueños, en especial a mi tía Leonor que desde el cielo me cuida y me bendice siempre.

A mis primos quienes me apoyaron incondicionalmente en cada etapa de mi vida, en especial a María, Michael, Daniela, a quienes les considero como a mis hermanos por estar en cada momento, brindándome su apoyo incondicional, Así como a mis sobrinos Daniel, Anderson quienes son fuente de inspiración para seguir adelante, siendo un ejemplo de superación.

José Luis Bayas

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado principalmente a Dios por darme la vida, por todas sus bendiciones recibidas a lo largo de mi vida y mi carrera, por brindarme la fuerza y la sabiduría necesaria para no decaer y culminar con éxito mi objetivo.

A mis padres, Marcelino y Angelita, por ser el eje fundamental durante toda mi vida, por estar pendientes de mi bienestar, por darme su amor y su apoyo incondicional, quienes con su esfuerzo, paciencia y consejos fueron importantes para culminar mi carrera, gracias a sus valores inculcados han hecho de mi un hombre de bien.

A mis hermanos, Kevin y Jonathan, quienes siempre estuvieron apoyándome incondicionalmente en momentos de alegrías y dificultades, dándome palabras de aliento para nunca decaer.

A mi abuelito, Papito Lucho por brindarme su amor y su apoyo en todo momento y en especial a mi Mamita Tina que desde el cielo me da sus bendiciones y sé que estaría orgullosa de todo lo que he alcanzado.

Alex Jarrín

AGRADECIMIENTO

A Dios quien me guio por el camino del bien brindándome sabiduría y confianza.

A mi madre por siempre permanecer a mi lado en los buenos y malos momentos, dándome ánimo para nunca decaer y siempre seguir adelante.

A mi familia materna por siempre creer en mí y brindarme todo su apoyo en cada momento.

A la Universidad Técnica de Ambato en especial a la Carrera de Ingeniería Mecánica, a todos los Ingenieros de la carrera de Ingenieros Mecánica, por compartir sus conocimientos, enseñanzas y experiencias de vida.

A mi tutor Ing. Santiago Cabrera por su tiempo, paciencia y dedicación, por su apoyo y ayuda incondicional en el desarrollo de este proyecto.

A mis amigos, por brindarme su amistad y con quienes hemos compartido buenos y malos momentos, dentro y fuera de las aulas.

José Luis Bayas

AGRADECIMIENTO

A Dios.

A mis padres, por guiarme en cada paso de mi vida y darme ánimos hasta alcanzar mi objetivo.

A mi familia, por estar pendientes brindándome su apoyo a cada momento.

A la Universidad Técnica de Ambato en especial a la Carrera de Ingeniería Mecánica, porque en sus aulas me forme académicamente, a mis docentes por brindarme sus conocimientos y enseñarme valores éticos y profesionales que me servirán durante toda mi vida profesional.

Al Ing. Santiago Cabrera por compartir sus conocimientos y guiarme incondicionalmente en el desarrollo de este proyecto.

A mis amigos, por brindarme su amistad y su ayuda a lo largo de mi carrera.

Alex Jarrín

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	II
AUTORÍA DEL TRABAJO	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO.....	VIII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS	XVI
RESUMEN EJECUTIVO	XVIII
ABSTRACT.....	XIX
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo general	3
1.2.2 Objetivo específico	3
1.3 Fundamentación teórica.....	4
1.3.1 Transferencia de calor.....	4
1.3.1.1 Convección	4
1.3.1.2 Conducción	5
1.3.1.3 Radiación	5
1.3.2 Combustión.....	6
1.3.2.1 Triángulo de combustión	6
1.3.2.2 Tipos de Combustión	7
1.3.3 Combustibles	8
1.3.3.1 Propiedades generales de los combustibles	8
1.3.3.2 Composición de los combustibles.....	8
1.3.3.3 Combustibles gaseosos	9
1.3.3.4 Gas licuado de petróleo “GLP”	10
1.3.4 Materiales aislantes.....	12
1.3.4.1 Aislamiento térmico.....	14

1.3.5 Dilatación térmica.....	15
1.3.6 Tipos de secadores.....	16
1.3.7 Teoría y forma de llama.....	16
1.3.7.1 Regímenes presentes en el frente de llama	17
1.3.7.2 Clasificación de llamas	17
1.3.7.3 Inestabilidad de llama	18
1.3.7.4 Estabilidad de llama.....	19
1.3.7.5 Defectos de la estabilidad de llama.....	19
1.3.7.6 Forma de llama	20
1.3.7.7 Retorno de llama.....	22
1.3.7.8 Soplado de llama.....	23
1.3.8 Inyectores.....	24
1.3.9 Quemadores	25
1.3.9.1 Diagrama de quemador.....	25
1.3.10 Clasificación de los quemadores.....	26
1.3.10.1 Quemadores de gas	26
1.3.10.2 Quemador Bunsen.....	27
1.3.10.3 Quemador de premezcla	28
1.3.10.4 Quemadores de premezcla a presión.....	29
1.3.10.5 Quemador con mezcla en la tobera.....	29
1.3.10.6 Tipos de quemadores	29
1.3.11 Pérdidas significativas provocadas por el quemador	30
1.3.11.1 Pérdidas por las paredes.....	30
1.3.11.2 Pérdidas por inquemados sólidos.....	30
1.3.12 Termografía.....	31
1.3.12.1 Cámara termográfica.....	31
CAPÍTULO II	33
2 METODOLOGÍA	33
2.1 Materiales	33
2.1.1 Materiales para transportar (tuberías).....	33
2.1.2 Materiales aislantes.....	34
2.1.3 Materiales cerámicos	34
2.1.4 Vidrio templado.....	34
2.1.5 Determinación de materiales y elementos del prototipo.....	35

2.2	Métodos	36
2.2.1	Método experimental	36
2.2.2	Método comparativo	36
2.2.3	Método cuantitativo	36
2.2.4	Método bibliográfico	36
2.2.5	Método experimental	36
2.2.6	Método ordinal corregido de criterios ponderados	37
2.2.7	Método de proceso de fabricación	37
2.2.8	Método de análisis de deformación	39
CAPÍTULO III		40
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
3.1	Análisis y discusión de resultados	40
3.2	Selección de alternativas	40
3.2.1	Selección de la mejor alternativa de diseño	40
3.2.2	Alternativa I: Quemador premezcla tipo Venturi	40
3.2.3	Alternativa II: Quemador de mezcla previa de llama larga	41
3.2.4	Alternativa III: Quemador de mezcla previa con inyectores	43
3.2.5	Selección de alternativas para alimentación aire primario	47
3.2.6	Valoración de alternativas	47
3.3	Cálculo térmico	50
3.3.1	Pérdidas de calor por convección natural	50
3.3.2	Pérdidas de calor por radiación	53
3.3.3	Pérdidas por inquemados sólidos	55
3.3.4	Cálculo de espesor de aislante	56
3.3.5	Flujo másico de GLP	57
3.3.6	Caudal volumétrico de GLP	57
3.3.7	Cálculo de presión al final de tramo (Renouard)	57
3.3.8	Diámetro del inyector	58
3.3.9	Cálculos de combustión	59
3.3.10	Cálculo de la relación aire combustible	60
3.3.11	Flujo másico de aire total necesario para la combustión	60
3.3.12	Cálculos de la entalpía de combustión	61
3.3.13	Cálculo del calor teórico generado por la reacción de combustión	62
3.3.14	Cálculo del calor generado utilizando libro de Lorenzo Becco “Manual del Gasista”	63

3.3.15 Cálculo del flujo de calor del aire caliente generado por el quemador.....	64
3.3.16 Cálculo del flujo de calor del aire caliente que escapa por la parte posterior.	65
3.4 Cálculo mecánico.....	67
3.4.1 Dilatación térmica en el cilindro de fuego.....	67
3.4.2 Análisis de deformación.....	68
3.5 Construcción del prototipo de un quemador de GLP.....	69
3.6 Pruebas de funcionamiento.....	74
3.6.1 Pruebas de funcionamiento preliminar.....	74
3.6.2 Pruebas de funcionamiento definitivo.....	76
3.6.3 Funcionamiento.....	77
3.7 Análisis termográfico.....	78
3.7.1 Variación de temperatura con respecto al tiempo a presión 0.5 psi.....	78
3.7.2 Variación de temperatura con respecto al tiempo a presión 1.45 psi.....	80
3.8 Eficiencia generada por el quemador de GLP.....	81
3.8.1 Cálculo de eficiencia del quemador.....	83
3.9 Análisis de parámetros de llama.....	83
3.10 Manual de mantenimiento.....	85
3.11 Presupuesto final.....	90
CAPITULO IV.....	93
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
4.1 Conclusiones.....	93
4.2 Recomendaciones.....	94
BIBLIOGRAFÍA.....	96
ANEXOS.....	98
PLANOS.....	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1	Características de GLP	10
Tabla 1. 2	Propiedades del Propano y Butano a nivel Comercial	12
Tabla 1. 3	Propiedades del Propano y Butano a nivel Comercial	12
Tabla 1. 4	Características de los Materiales Aislantes	13
Tabla 1. 5	Razones para Aislar.....	14
Tabla 1. 6	Identificación de las Zonas de la Llama.....	18
Tabla 1. 7	Factores que Afectan la Estabilidad de Llama.....	20
Tabla 1. 8	Diámetros de Seguridad	22
Tabla 1. 9	Índice de Bacharach	31
Tabla 1. 10	Factor de emisividad de materiales	32
Tabla 2. 1	Materiales requeridos para el prototipo de un quemador.....	35
Tabla 3. 2	Alternativa II: quemador de mezcla previa de llama larga.....	42
Tabla 3. 3	Alternativa III: quemador de mezcla previa con inyectores.....	43
Tabla 3. 4	Ponderación de cada criterio.....	45
Tabla 3. 5	Evaluación del peso específico costo.....	45
Tabla 3. 6	Evaluación del peso específico característica de llama.....	45
Tabla 3. 7	Evaluación del peso específico rendimiento.....	46
Tabla 3. 8	Evaluación del peso específico facilidad de traslado.....	46
Tabla 3. 9	Ponderación de cada criterio.....	46
Tabla 3. 10	Ponderación de cada criterio para selección de alternativas para alimentación aire primario.....	48
Tabla 3. 11	Evaluación del peso específico Adquisición.....	48
Tabla 3. 12	Evaluación del peso específico de Montaje.....	49
Tabla 3. 13	Evaluación del peso específico de Calidad.....	49
Tabla 3. 14	Evaluación del peso específico de Mantenimiento.....	49
Tabla 3. 15	Ponderación de cada criterio.....	50
Tabla 3. 16	Determinación de espesores de aislamiento.....	56
Tabla 3. 17	Masa Atómica.....	60
Tabla 3. 18	Entalpia de Combustión.....	61
Tabla 3. 19	Entalpias de formación.....	62
Tabla 3. 20	Diámetro para inyectores de gas.....	63
Tabla 3. 21	Recolección de datos.....	79

Tabla 3. 22	Recolección de datos.....	80
Tabla 3. 23	Características de llama azul a potencia baja y media.....	85
Tabla 3. 24	Manual de mantenimiento para accesorios tren de llama.....	86
Tabla 3. 25	Manual de mantenimiento para inyectores de GLP.....	87
Tabla 3. 26	Manual de mantenimiento para cilindro de fuego.....	87
Tabla 3. 27	Manual de mantenimiento para visor de llama.....	88
Tabla 3. 28	Manual de mantenimiento para válvula de aire.....	88
Tabla 3. 29	Manual de mantenimiento para asilamiento con lana de vidrio.....	89
Tabla 3. 30	Manual de mantenimiento para pintura.....	89
Tabla 3. 31	Costo de la estructura de la base.....	90
Tabla 3. 32	Costo del quemador.....	90
Tabla 3. 33	Costo elementos normalizados de alta presión.....	91
Tabla 3. 34	Costo total del quemador.....	92
Tabla 3. 35	Costo total de proyecto.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1	Fases de reacción de combustión.....	6
Figura 1. 2	Triángulo de combustión.....	7
Figura 1. 3	Tipos de combustión.....	7
Figura 1. 4	Composición de los combustibles	9
Figura 1. 5	Aislamiento térmico	14
Figura 1. 6	Tipos de secadores.....	16
Figura 1. 7	Llama laminar de difusión.....	17
Figura 1. 8	Llama de premezcla.....	18
Figura 1. 9	Retroceso de llama.....	19
Figura 1. 10	Desprendimiento de llama	19
Figura 1. 11	Forma de Llama de un quemador de GLP.....	20
Figura 1. 12	Métodos para analizar la velocidad de frente de llama	21
Figura 1. 13	Diagrama de velocidades.....	21
Figura 1. 14	Estabilizadores de chapa ondulada	23
Figura 1. 15	Quemador con estabilizador	23
Figura 1. 16	Estabilizadores con llamas auxiliares	24
Figura 1. 17	Tipos de inyectores	24
Figura 1. 18	Tipos de inyectores para llama corta y llama larga	24
Figura 1. 19.	Partes de un quemador a gas.....	26
Figura 1. 20	Quemador doméstico de gas.....	26
Figura 1. 21	Funcionamiento de un quemador tipo bunsen.....	28
Figura 1. 22	Quemador con mezcla en la tobera.....	29
Figura 1. 23	Tipos de quemadores.....	30
Figura 1. 24.	Cámara termográfica	32
Figura 2. 1	Flujograma del proceso de fabricación de quemador de GLP.....	39
Figura 3. 1	Análisis de deformación mediante software.....	68
Figura 3. 2	Mallado de estructura.....	69
Figura 3. 3	Análisis de deformación máxima.....	69
Figura 3. 4	Estructura de la base.....	70
Figura 3. 5	Ensamble de tuercas galvanizadas.....	70
Figura 3. 6	Soporte de cilindro de fuego.....	71
Figura 3. 7	Chapa de la base.....	71

Figura 3. 8	Construcción del cilindro de fuego.....	72
Figura 3. 9	Aislamiento térmico de cañón de fuego.....	72
Figura 3. 10	Fibra de cerámica aislante.....	73
Figura 3. 11	Construcción del visor de llama.....	73
Figura 3. 12	Prototipo de quemador de GLP.....	74
Figura 3. 13	Pruebas de funcionamiento con 3 inyectores.....	75
Figura 3. 14	Prueba de funcionamiento con cilindro de fuego $\varnothing = 28 \text{ cm}$	75
Figura 3. 15	Modificación del cilindro de fuego.....	76
Figura 3. 16	Funcionamiento del prototipo final del quemador de GLP.....	77
Figura 3. 17	Medición de temperaturas del quemador con la cámara térmica a baja presión.....	79
Figura 3. 18	Variación de temperatura en función del tiempo.....	79
Figura 3. 19	Temperaturas tomadas con la cámara termografía a presión de 1.45 psi.....	80
Figura 3. 20	Variación de temperatura en función del tiempo.....	81
Figura 3. 21	Diagrama de Sankey de energía útil generada por el quemador.....	82
Figura 3. 22	Longitud, área y ángulos de llama a la salida de cada inyector a potencia baja.....	84
Figura 3. 23	Análisis de longitud área y perímetro de llama azul a potencia baja..	85

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE QUEMADOR DE GLP DE BAJA POTENCIA PARA SECADO AGROINDUSTRIAL PARA USO EN LOS LABORATORIOS DE LA FICM”

Autores: Bayas Pasto José Luis

Jarrín López Alex Gabriel

Tutor: Ing. Mg. Santiago Cabrera

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto técnico está basado en el diseño, construcción y pruebas de funcionamiento de un quemador de GLP donde se adquirió información de tipos de quemadores, características de los materiales, seleccionando la mejor alternativa mediante ponderaciones con criterios como: costo, rendimiento, característica de llama, facilidad de traslado y aire primario con que se realizará la mezcla combustible-comburente. Se diseñó los elementos principales como el cilindro de fuego, inyectores y la estructura que soportará el cilindro y componentes, además se implementó aislantes térmicos como: lana de vidrio, fibra de cerámica y tubo de cerámica alúmina. Para la obtención de datos de temperaturas en el cilindro de fuego se utilizó equipos tecnológicos como: pirómetro, anemómetro, cámara termográfica y medidor de consumo de GLP, además mediante cálculos térmicos se determinó dilatación térmica, combustión y pérdidas causadas por transferencia de calor. Con la utilización de un software se estableció en el diagrama de Sankey pérdidas combinadas por convección y radiación (5.7 por ciento), pérdidas por inquemados sólidos (6 por ciento), pérdidas por la parte posterior del cilindro (7.6 por ciento) y pérdidas no cuantificadas (10 por ciento) obteniendo un calor útil de 7.8 kWh y una eficiencia de 70.7 por ciento de flujo de aire caliente útil. Finalmente, con la ayuda de un software se pudo analizar la forma y color de llama del quemador alcanzando un rango de funcionamiento óptimo con una longitud de llama azul entre 11.8 a 15.2 cm y una temperatura de 487 grados centígrados, evidenciando la presencia mínima de inquemados lo que beneficia la eficiencia y poder calorífico del quemador de GLP.

Palabras claves: prototipo, quemador de GLP, inyectores de GLP, cilindro de fuego, convección, radiación, dilatación, combustión, inquemados, eficiencia.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO
FACULTY OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING
MECHANICAL ENGINEERING CAREER

TOPIC: “DESING AND CONSTRUCTION OF A LOW POWER LPG BURNER
PROTOTYPE FOR AGROINDUSTRIAL DRYING FOR USE IN FICM
LABORATORIES”

Authors: Bayas Pasto José Luis
Jarrín López Alex Gabriel
Advisor: Ing. Mg. Santiago Cabrera

ABSTRACT

The present technical project is based on the design, construction and functional tests of a LPG burner where information on types of burners, material characteristics was acquired, selecting the best alternative through weightings with criteria such as: cost, performance, characteristic of flame, ease of transfer and primary air with which the fuel-oxidizing mixture will be made. The main elements such as the fire cylinder, injectors and the structure that will support the cylinder and components were designed, as well as thermal insulators such as glass wool, ceramic fiber and alumina ceramic tube. In order to obtain temperature data in the fire cylinder, technological equipment was used such as: pyrometer, anemometer, thermal imager and LPG consumption meter, in addition to thermal calculations thermal expansion, combustion and losses caused by heat transfer were determined. With the use of a software, combined losses by convection and radiation were established in the Sankey diagram (5.7 percent) , losses due to solid burns (6 percent), losses from the rear of the cylinder (7.6 percent) were established in the Sankey diagram) and unquantified losses (10 percent) obtaining a useful heat of 7.8 kWh and an efficiency of 70.7 percent of useful hot air flow. Finally, with the help of a software it was possible to analyze the shape and color of the burner flame reaching an optimum operating range with a blue flame length between 11.8 to 15.2 cm and a temperature of 487 degrees Celsius, showing the minimum presence of unburned which benefits the efficiency and calorific value of the LPG burner.

Keywords: prototype, LPG burner, LPG injectors, fire cylinder, convection, radiation, dilation, combustion, unburned, efficiency.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

En la Universidad de Chile en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, la tesis realizada por Andrés Ruz en el 2008 el “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN QUEMADOR DE GAS” se puede determinar que el flujo óptimo del quemador es de 19 L/min de gas, requiere un flujo de aire de 30 L/min y 30 L/min de flujo de aire axial. Se establece que el quemador de una potencia de 480 Kcal/min se requiere un flujo de 19 L/min. Se establece una temperatura de llama de 900°C. [1]

En la Universidad de Pamplona en el Programa de Ingeniería Mecánica en el 2005 un artículo técnico por parte del Ing.Mec. Juan Carlos Serrano y Yamid Carranza el “ANÁLISIS TEÓRICO DE LA COMBUSTIÓN EN QUEMADORES DE GAS NATURAL” en donde se demuestra el análisis de la combustión que sucede en un quemador de gas natural además se puede evidenciar como actúa el calor, las condiciones de los reactantes son 298.15 K y 1 atm, el gas natural posee un poder calorífico de 55528 KJ/kg las contaminaciones que produce sus emisiones, la eficiencia de combustión, se puede valorar en función de la abundancia de aire y la temperatura de los gases. La temperatura máxima se puede obtener se la temperatura adiabática de llama y su incidencia con la abundancia y precalentamiento de aire en el quemador. [2]

En la Escuela Politécnica Nacional de la Facultad de Ingeniería Mecánica la tesis realizada por Daniel Espín y Ronald Méndez “DISEÑO DE UN QUEMADOR INDUSTRIAL DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO PARA SECADO DE GRANO DE MAÍZ” se puede determinar el diseño de un quemador tipo agroindustrial para secado de maíz donde se selecciona el material adecuado para su construcción y las dimensiones correctas, además se determinan parámetros de gran importancia como presión y temperatura en donde para granos de productos agrícolas se estable un rango

de temperatura máxima de secado que va desde 30-60°C, la capacidad de este quemador es de 250 toneladas. [3]

El artículo realizado en la Universidad Tecnológica de Pereira en la Facultad de Ingeniería Mecánica por parte de Juan Tibaquirá, Mauricio Carmona y Andrés Acosta en 2003 el “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN QUEMADOR DE ACPM DE ALTA PRESION TIPO CAÑON” donde se procura determinar el flujo de aire, Los quemadores para baja potencia la potencia calorífica es 40000BTU/h, la densidad es 850kg/m³, el sistema de inyección de combustible está establecido por una bomba la cual requiere una presión ente 100 psig y 150 psig, la velocidad de giro del rotor de 1725 RPM, potencia de 0.4 HP a 220V, el flujo de aire va de 0-250 CFM. [4]

En la Universidad Industrial de Santander en la Escuela de Ingeniería Mecánica, la tesis elaborada por Javier Agudelo y Wilson Salina en 2010 el “ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE QUEMADORES DE PREMEZCLA CON AIRE INDUCTOR, PARA SU APLICACIÓN A LA PEQUEÑA Y MEDIANA INDUSTRIA EN COLOMBIA “donde determinan los tipos de inyectores maquinados en un rango de 0.90 a 0.96 donde obtuvieron mezclas ricas y homogéneas de combustible con una eficiencia de un 99%, el caudal de aire fue de 220 L/min, un parámetro importante definido es que siempre se necesitó la presencia de aire secundario para potencias altas superiores a 25 kW. [5]

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Diseñar y construir un prototipo de quemador de GLP de baja potencia para secado agroindustrial para uso en los laboratorios de la FICM.

1.2.2 Objetivo específico

- Seleccionar la mejor alternativa de diseño para el quemador.
- Seleccionar los materiales apropiados para el correcto funcionamiento de nuestro quemador.
- Diseñar los componentes y las partes básicas de un quemador GLP de baja potencia.
- Efectuar las pruebas necesarias para verificar que el quemador GLP de baja potencia funcione correctamente.
- Analizar termográficamente las temperaturas de llama en el quemador para condiciones de alta y baja potencia.
- Analizar forma y color de llama en el quemador hasta alcanzar un rango óptimo de funcionamiento.
- Determinar la eficiencia del quemador de GLP.

1.3 Fundamentación teórica

1.3.1 Transferencia de calor

La transferencia de calor se define como la ciencia que realiza el estudio de los intercambios de energías, los cuales se pueden originar en cuerpos elementos que se localizan a diferentes temperaturas, a este tipo de energía la termodinámica nos enseña que es el calor, de tal manera que la producir la combustión, los gases obtenidos proporcionan energía al aire con lo que se obtiene el calor generado. [6]

La transferencia de calor consta de tres principios fundamentales los cuales son la transferencia de calor por: convección, conducción y radiación. Hay que tener en cuenta que al momento de generar el calor se pueden producir ciertas pérdidas que existen entre el fluido que circula y la superficie o paredes que están en contacto con la misma. [6]

1.3.1.1 Convección

El principio de transferencia de calor por convección se produce mediante la interacción que existe entre una superficie sólida (cilindro) y un determinado fluido (gas) que circula en su área, por lo tanto, mientras más rápida es la velocidad del fluido que circula en el interior del cilindro la transferencia de calor por convección aumenta. Además, se la puede clasificar como: **convección natural o libre**, cuando el flujo que atraviesa por una pared se mueve sin la necesidad de ayudas mecánicas, y **convección forzada**, cuando el aire que atraviesa la pared es accionado por algún tipo de mecanismo como puede ser ventiladores, sopladores. [6], [7]

Se utiliza la siguiente fórmula para expresar la transferencia de calor por convección. [6]

$$\dot{Q}_{conv} = h * A * (T_s - T_f) \quad \text{Ec.1.1}$$

Donde:

\dot{Q}_{conv} = Flujo de calor [W]

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección $[W / ^\circ C m^2]$

A = Área de la superficie $[m^2]$

T_s = Temperatura de la superficie $[^\circ C]$

T_f = Temperatura del fluido lejos de la superficie [$^{\circ}C$]

1.3.1.2 Conducción

La transferencia de calor por conducción, se produce el momento cuando partículas que poseen diferentes energías entran en contacto entre sí, provocando que las partículas que poseen más energía cedan a las partículas que poseen menos energía. [6]

$$\dot{Q}_{cond} = -K * A * \frac{dT}{dx} \quad \text{Ec.1.2}$$

Donde:

\dot{Q}_{cond} = Flujo de calor [W]

K = Conductividad térmica del material [$W/m * ^{\circ}C$]

A = Área de la superficie [m^2]

$\frac{dT}{dx}$ = Gradiente de temperatura [$^{\circ}C/m$]

1.3.1.3 Radiación

Es la fuente de energía que los cuerpos emiten en forma de fotones, este tipo de transferencia de calor es diferente a la convección y a la conducción puesto que no necesita de un medio material, esta forma de transferencia de calor es más rápida, eficiente en el vacío. [8]

La ley de Stefan Boltzman, se la puede aplicar a cuerpos negros y nos indica que “un cuerpo negro emitirá energía de forma proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo y directamente proporcional al área de su superficie”, la misma que se expresa en la siguiente formula. [6]

$$\dot{Q}_{emitida} = \sigma AT_S^4 \quad \text{Ec.1.3}$$

En cuerpos grises la radiación se encuentra, al realizar la transferencia de calor de un cuerpo que se encuentra a cierta temperatura T_1 , este mismo cuerpo se encuentra rodeada de un recinto más grande a una temperatura T_2 . [6]

$$\dot{Q}_{emitida} = \varepsilon * \sigma * (T_S^4 - T_a^4) \quad \text{Ec.1.4}$$

Donde:

$\dot{Q}_{emitida}$ = Flujo de calor [W]

ε = Emisividad del material

σ = Constante de Stefan-Boltzmann $5.67 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right]$

T_s = Temperatura superficial [°K]

T_a = Temperatura ambiente [°K]

1.3.2 Combustión

El proceso de combustión se lo puede definir como un proceso “físico-químico”, el cual es producido gracias a la combinación del combustible con el comburente, la reacción de combustión genera una llama incandescente la cual emite calor y luz, a continuación, se puede describir las reacciones de combustión en la Figura 1.1. [9]

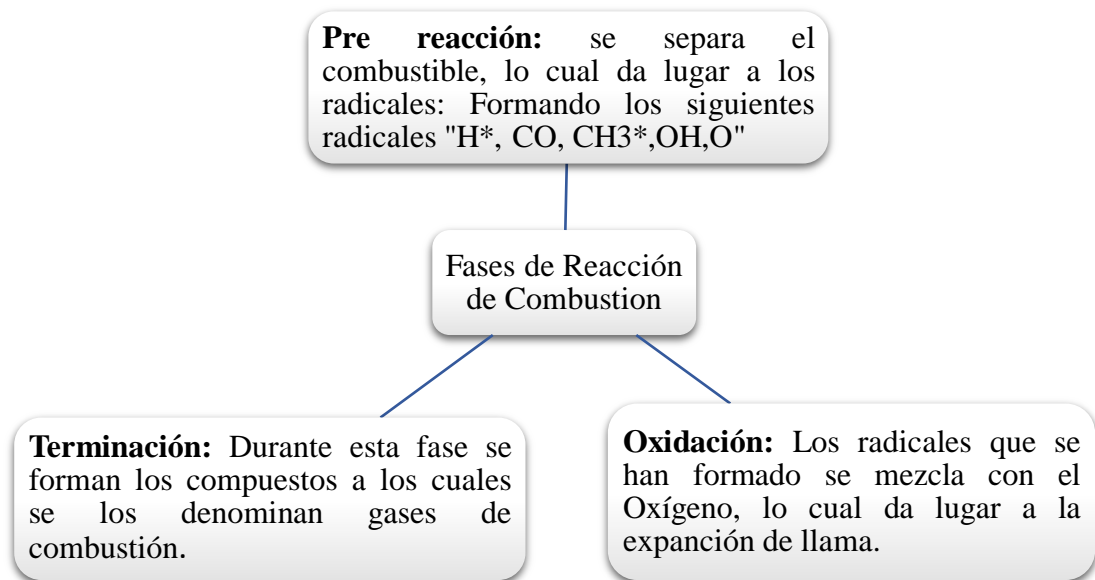


Figura 1. 1 Fases de reacción de combustión. [9]

1.3.2.1 Triángulo de combustión

Para producir combustión, debe estar presente el combustible y el comburente, además se debe añadir la fuente de energía para iniciar la combustión, a esta se lo conoce como principio de ignición. [9]

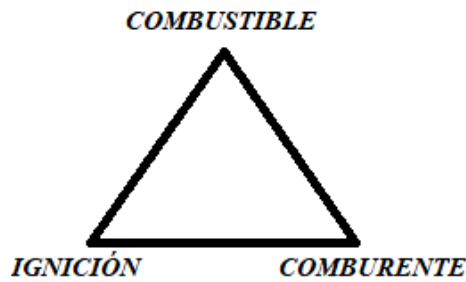


Figura 1. 2 Triángulo de combustión. [9]

1.3.2.2 Tipos de combustión

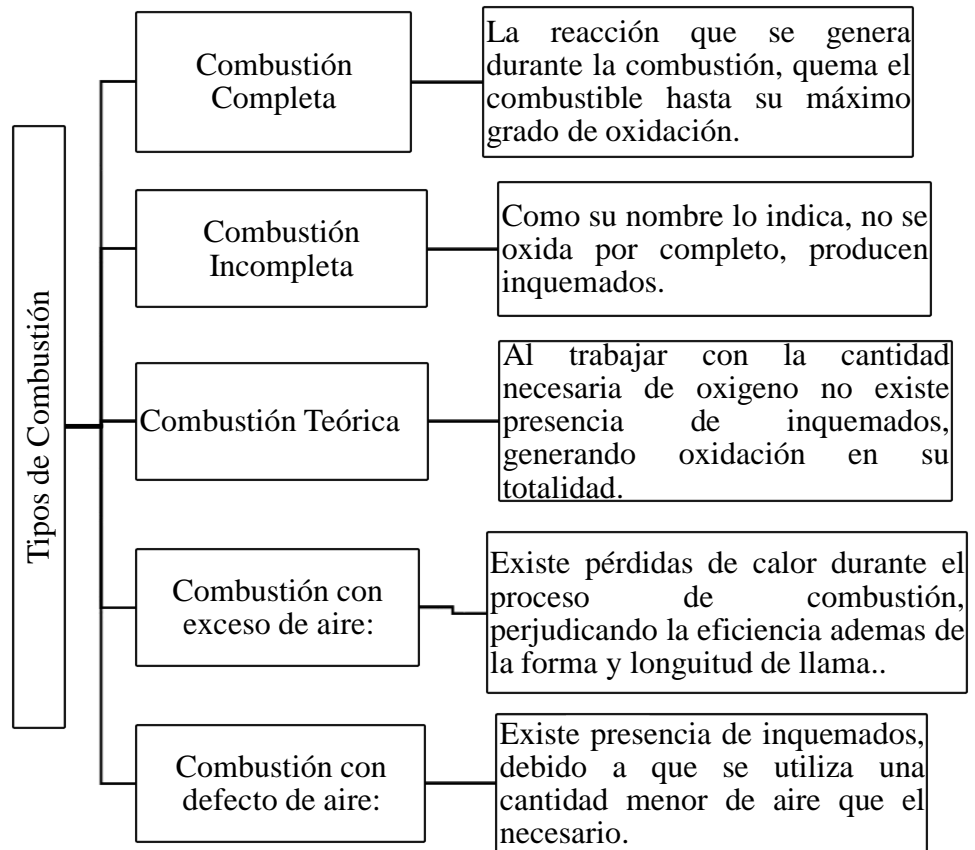


Figura 1. 3 Tipos de combustión. [9]

1.3.3 Combustibles

Son materiales aptos de producir y liberar energía en forma de calor, en el momento que reacciona con el comburente (oxígeno), las propiedades de los combustibles son detallados a continuación. [9]

1.3.3.1 Propiedades generales de los combustibles

Las propiedades generales de los combustibles según [9] son:

- **Poder calorífico:** calor que desprende el combustible durante el proceso de combustión.
- **Poder calorífico superior (H_s) :** Cantidad de energía que desprende por unidad de combustible, su calor latente de vaporización se transfiere al vaporizarse, sus unidades de medida son distintas, depende del tipo de combustible: líquidos, sólidos (KWh/Kg) y gaseosos (KWh/Kg).
- **Poder calorífico inferior (H_i) :** Su definición es la misma que la del poder calorífico superior y sus unidades de medida son las mismas, la diferencia es no considerar el calor latente de condensación del vapor.
- **Peso específico:** Para determinar el peso específico de los combustibles se toma como referencia la temperatura de $15^\circ C$, para combustibles líquidos, de $0^\circ C$ para combustibles gaseosos.
- **Densidad de un combustible:** Para determinar la densidad se realiza la relación entre peso específico del combustible, teniendo de referencia otra sustancia.

1.3.3.2 Composición de los combustibles

Los combustibles pueden estar formados por diferentes composiciones para los cuales pueden estar conformados según [9] por:

- Hidrógeno
- Azufre
- Carbono
- Oxígeno

En la Figura 1.4, se describe las características principales de cada uno de los combustibles.

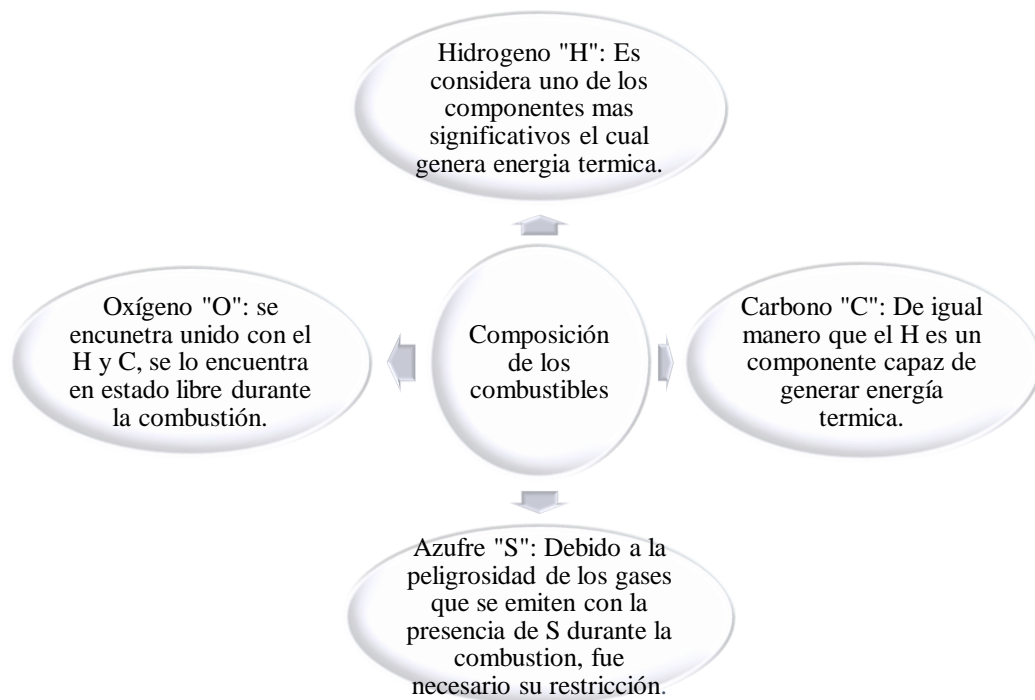


Figura 1. 4 Composición de los combustibles. [9]

1.3.3.3 Combustibles gaseosos

Ejercen una gran presión a los recipientes debido a que su forma y volumen es variable. Los tipos de combustibles gaseosos según [10] son: gas natural y gas fabricado.

- **Gas natural**

Su extracción y formación es similar a la del petróleo, es una fuente de gas que se forma durante varios millones de años, su composición es mediante Metano en un 90% a 95%, siendo completado el 100% por otros hidrocarburos, su poder calorífico es aproximadamente $9190 \text{ Kcal}/\text{m}^3$ y su densidad es 0.6. [10]

Es igual de peligroso que el GLP, causando asfixia a las personas que lo inhalan, y en casos extremos explosiones de gran magnitud. [10]

- **Gas fabricado**

Se lo encuentra durante la combustión de hulla en la cual se produce coque, se caracteriza por ser más ligero que el aire posee un poder calorífico de $4600 \text{ Kcal}/\text{m}^3$, y una densidad de 0.6. [10]

1.3.3.4 Gas licuado de petróleo “GLP”

El GLP es un subproducto del petróleo, formado por el butano licuado o propano licuado o una combinación de los dos. [11]

En la tabla 1.1, se describirá cada una de las características principales del gas licuado de petróleo. [11]

Tabla 1. 1 Características de GLP. [11]

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Incoloro	El gas suele ser transparente.
Inodoro	Posee un olor particular puesto que se mezcla con agentes odorantes “mercaptano”.
Contaminación	No produce daño al ambiente, en comparación con otros combustibles, su combustión es casi completa.
Toxicidad	En caso de fugas las nubes pueden ser explosivas, y en caso de que personas se encuentren cerca se produce asfixia.
Capacidad de vaporización	Es la cantidad de combustible que se mide en las siguientes unidades [Kg/h], el combustible que se encuentra en los recipientes no se vaporiza en su totalidad por este motivo se puede ver que los recipientes sudan e incluso existe presencia de escarcha.
Densidad relativa	Por lo general la densidad del GLP es mayor a la del aire, por lo cual es más pesado, y tiende a estar en el piso. Densidad Relativa del Propano y Butano [1,5 – 2,01]
Poder calorífico	Es definida como la cantidad de calor que entrega un Kilogramo de combustible al oxidarse. Poder calorífico Superior e Inferior del Propano [Kcal/Kg] [12.000 – 11.078] Poder calorífico Superior e Inferior del Butano [Kcal/Kg] [11.900 – 10.944]

Límite de Inflamabilidad	Los límites de inflamabilidad presentan la facilidad con la que un combustible se enciende, y la rapidez con la que sus llamas se extenderán.
Inflamable	Si existe fuga se enciende con la menor chispa.
Más liviano que el agua.	De gran ayuda al momento de almacenarlo en las refinerías, pero peligros cuando lo manipulas en bombonas introduciendo agua y disminuyendo el peso de GLP.
Poder disolvente	Disuelve, grasas, cauchos naturales, aceites.
Económico	Su rendimiento es comparable con otros combustibles.
Estabilidad térmica	Capacidad de los combustibles para soportar el rompimiento “cracking” en operaciones de elevadas temperaturas.
Estabilidad a la oxidación	Resistencia a la oxidación cuando se opera en altas temperaturas.

Ventajas

Las ventajas que posee el GLP según [12] se mencionan a continuación:

- Su poder calorífico comparado con diferentes fuentes de energía es alto.
- Siendo el GLP un combustible amigable con el ambiente no produciendo contaminantes.
- Fácil de almacenarlo y transportarlo.
- Utilizado para la calefacción, climatizar piscinas, y para uso doméstico.

Desventajas

Las desventajas del GLP según [12] son las siguientes:

- Produce asfixia en el caso de existir fuga y no encontrarse en un lugar ventilado.
- Es muy volátil, posee un gran poder explosivo.

Tabla 1. 2 Propiedades del propano y butano a nivel comercial. [11]

Propiedad	Propano	Butano
Densidad a 15°C como líquido, Kg/m^3	500 - 510	570 -580
Densidad a 15°C y 1 bar, como vapor. Kg/m^3	1,86	2,46
Relación volumétrica de los gases a líquido a 15°C y 1016 mbar	274	233
Punto de ebullición °C	-45	-2
Presión de vapor a 20 °C	9	2,5
Presión de vapor a 50 °C	19,6	7
Relación gas/aire normal requerida para la combustión	1,24	1,3
Valor calorífico bruto MJ/Kg a 0 °C y 1 bar	49,83	49,41
Valor calorífico bruto MJ/m^3 a 0 °C y 1 bar	97,98	18,5

Tabla 1. 3 Propiedades del propano y butano a nivel comercial. [10]

COMPONENTES	VOLUMEN (%)
Etano	1.94
Propano	59.28
i-Butano	11.85
n-Butano	26.6
i-Pentano	0.30

1.3.4 Materiales aislantes

La característica principal de los materiales aislantes es su resistencia al paso del calor, incrementando notablemente el confort térmico, se considera aislantes aquellos

materiales que poseen una conductividad térmica inferior a los $0,060 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ y una resistencia térmica de $0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$. [13]

En la tabla 1.4, se describe las características de los materiales aislantes según [13].

Tabla 1. 4 Características de los materiales aislantes. [13]

Materiales aislantes	Características
Algodón	Posee componentes químicas las cuales son peligrosos para la salud, es un aislante que permanece cálido en invierno y fresco en verano.
Celulosa	Está compuesto celulosa y químicos entre un 90 y 8% respectivamente, por lo cual resisten tensiones de hasta 80 Kg/mm^2 , posee una gran resistencia mecánica.
Lana de oveja	Compuesta por una delgada capa de hidrocarburos de naturaleza grasosa y por proteínas.
Lino	Se encuentra compuesto por sales de bórax como retardante contra incendios y poliéster como aglutinante.
Lana de roca	Su punto de fusión es superior a los 1200°C , posee gran resistencia al fuego está compuesto por (98% roca volcánica, 1,5% aglutinante y 0,5% de aceite vegetal).
Lana de vidrio	De origen natural compuesto por: óxido de Sílice, arena, Silicato de Aluminio, potasio, feldespato, sodio, bórax, carbonatos de calcio.
poliestireno extruido	Su configuración es de burbuja cerrada, compuesto por 92% de poliestireno y de gas un 8%.
Poliestireno expandido	Su configuración es de burbuja abierta, su composición es del 92 y 8% de poliestireno y gas respectivamente.

Poliuretano	Poseen una formación química entre agentes de expansión y catalizadores.
Cascarilla de arroz	Un 54% de su volumen en su interior son poros, por lo cual posee una gran cantidad de termoaislante, además predomina el dióxido de silicio lo cual le da una propiedad de ignifugas.

1.3.4.1 Aislamiento térmico

Son materiales cuya función es la de producir resistencia al paso del flujo de calor, debido a que es posible disminuir el paso del flujo del calor entre dos cuerpos colocando materiales aislantes, además sirven para que en el sistema no exista pérdida de calor. [8]

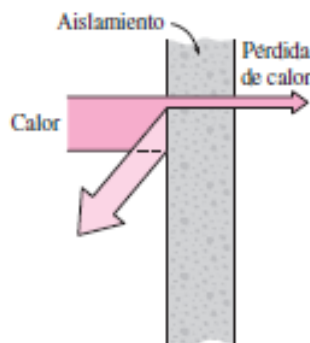


Figura 1. 5 Aislamiento térmico. [8]

Las diferentes razones que existen para utilizar aislamientos se las describirán en la Tabla 1.5, según [8].

Tabla 1. 5 Razones para aislar. [12]

Conservación de la energía	Se reduce la velocidad del flujo del calor, conservando así su energía.
Protección y comodidad personal	El aislante es de gran importancia para la protección de las personas, ya que al encontrarse cerca el cuerpo humano no percibe toda la temperatura.
Mantenimiento de temperaturas	Para poder controlar que la temperatura sea la misma por toda la extensión.

Protección contra incendios	El aislamiento mantiene el flujo de calor interior controlado para que no, alcance niveles peligrosos en el exterior.
Reducción de ruido y vibración	Al momento de colocar aislamiento, el ruido y las vibraciones disminuyen amortiguándolo en lo posible.

1.3.5 Dilatación térmica

Un cuerpo suele dilatarse cuando existe un aumento de la temperatura. Para medir variaciones de temperatura en un determinado cuerpo a menudo se utiliza la dilatación térmica. Para comprender de mejor manera el fenómeno de dilatación térmica se utilizará un tubo de longitud L expuesto a una temperatura T , donde se observará que la variación de longitud (ΔL) será directamente proporcional a la diferencia de temperaturas (ΔT) y a una longitud inicial (L). [14]

$$\Delta L = \alpha L \Delta T \quad \text{Ec.1.5}$$

Donde:

α = Coeficiente de dilatación lineal

La variación del coeficiente de dilatación lineal con la presión suele ser mínima ya sea de un líquido o sólido, más bien existe variación con la temperatura. [14]

Además, podemos encontrar al coeficiente de dilatación cúbica o también conocido como dilatabilidad, a este fenómeno se lo puede definir como la razón que existe de la variación unitaria de volumen con respecto a la variación de temperatura. [14]

Se lo puede definir como:

$$\beta = \frac{\Delta V / V}{\Delta T} \quad \text{Ec.1.6}$$

El coeficiente de dilatación cúbica para un determinado material se lo determina como tres veces del de dilatación lineal. [14]

$$\beta = 3\alpha \quad \text{Ec.1.7}$$

1.3.6 Tipos de secadores

En la actualidad existen varios tipos de secado agroindustrial para granos, frutos, carnes, vegetales, etc. En la Figura 1.6, se puede observar los tipos de secadores existentes. [15]

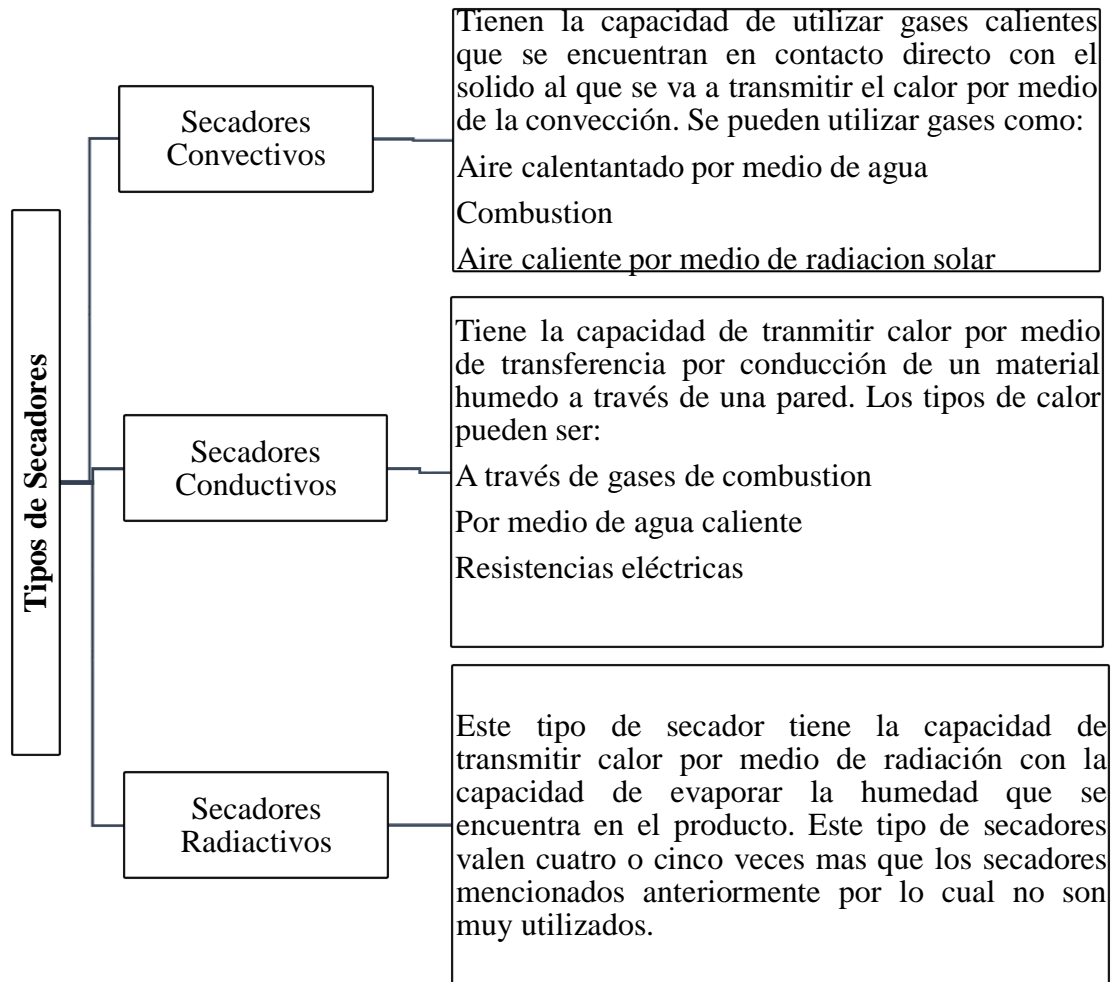


Figura 1. 6 Tipos de secadores. [15]

1.3.7 Teoría y forma de llama

Al momento de producirse la reacción de combustión podemos observar una llama la misma que es capaz de emitir luz y también calor, puesto que al combinarse el combustible con el comburente se libera una reacción exotérmica, la cual desprende radiación, además, es importante proporcionar combustible y comburente de similar forma para obtener una llama uniforme y de buenas características. [9]

De entre las principales características que debe poseer una llama, es la temperatura final de llama la cual se puede obtener mediante una mezcla homogénea, y en lo posible evitar pérdidas de energía con el exterior, una temperatura máxima de llama teórica se puede obtener en el momento que la cantidad de comburente utilizado en la combustión es la necesaria. [9]

1.3.7.1 Regímenes presentes en el frente de llama

Los regímenes que se encuentra en el frente de llama según [16] son:

- Oxidación lenta: El calor que se libera es de forma muy baja.
- Deflagración: La propagación del frente de llama se efectúa a velocidades relativamente bajas.
- Detonación: La velocidad de propagación se efectúa de manera muy alta.

1.3.7.2 Clasificación de llamas

A las llamas se las pueden clasificar de la siguiente manera según [16]:

- **Llamas laminares.** Poseen números de Reynolds bajos ($<$ a los 2000), estos son característicos de los quemadores pequeños.
- **Llamas laminares de difusión.** No existe presencia de turbulencia, ya que el número de Reynolds es muy pequeño.

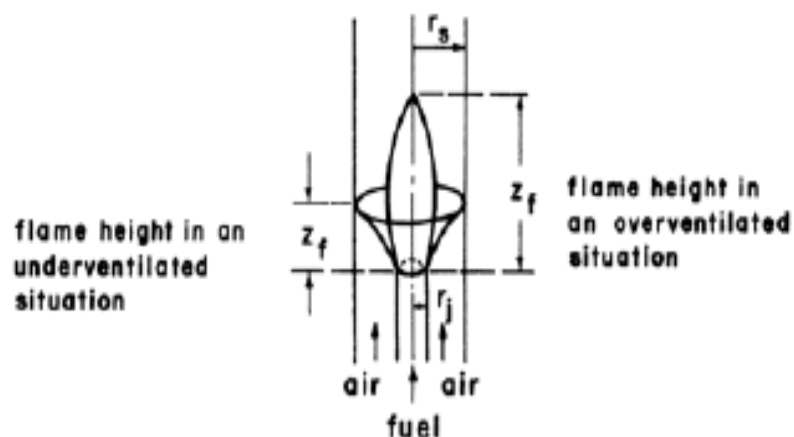


Figura 1. 7 Llama laminar de difusión. [16]

- **Llamas laminares premezcladas.** Se las mira en distintas llamas de propagación principalmente en tubos, las cuales se empiezan a propagar en la fuente de ignición, se puede distinguir una zona delgada en general donde inicia la combustión, precalentamiento.

- **Llamas turbulentas.** Se caracteriza por poseer números de Reynolds mayores a 4000.
- **Llamas turbulentas premezcladas.** Este tipo de llama se observa en quemadores muy grandes, el inconveniente que presenta esta llama es el ruido que generan ya que, al momento de generar una llama turbulenta, su frente de llama es más gruesa y más ruidosa.
- **Llamas estacionarias no confinadas.** Esta llama presenta un flujo turbulento, para su propagación son dependientes de las propiedades de los gases.
- **Llamas de premezcla.** En una mezcla equilibrada entre el combustible y el comburente, obtenemos una combustión muy eficiente. [16]

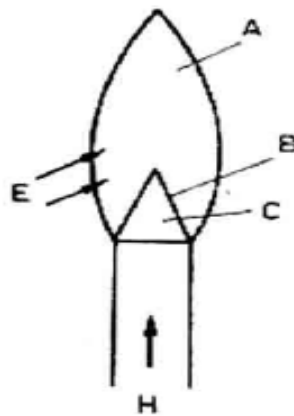


Figura 1. 8 Llama de premezcla. [9]

Para comprender el significado de cada letra que se presenta en la Figura 1.8, se realiza la Tabla 1.6, en la cual se identifica cada zona de la llama. [9]

Tabla 1. 6 Identificación de las zonas de la llama. [9]

A	Zona llama oxidante
B	Zona llama reductora
C	Cono frio (sin combustión)
E	Aportación aire secundario
H	Mezcla aire primario-combustible

1.3.7.3 Inestabilidad de llama

Las llamas presentan dos inestabilidades como características las mismas se describen a continuación según [9].

- Al comparar la velocidad de salida se observa que la velocidad de la mezcla, reduce en comparación de la velocidad de avance de la llama.
- La velocidad de salida de la mezcla se incrementa en comparación de la velocidad de avance de la llama. [9]

1.3.7.4 Estabilidad de llama

La principal característica para obtener una estabilidad de llama debe existir una relación entre la velocidad de avance de la llama y la velocidad de salida de la mezcla. [9]

1.3.7.5 Defectos de la estabilidad de llama

- **Retroceso de llama.** Este problema se presenta por motivo de la velocidad de la mezcla la cual es inferior a la velocidad a la que se propaga la combustión, por lo cual la llama se extiende hacia el interior del quemador, una forma de corregir este defecto es cambiando los inyectores.



Figura 1. 9 Retroceso de llama. [9]

- **Desprendimiento de llama.** Se la puede observar al momento que la mezcla sale por las cabezas del quemador, de la misma manera que el defecto anterior se lo puede modificar cambiando los inyectores.

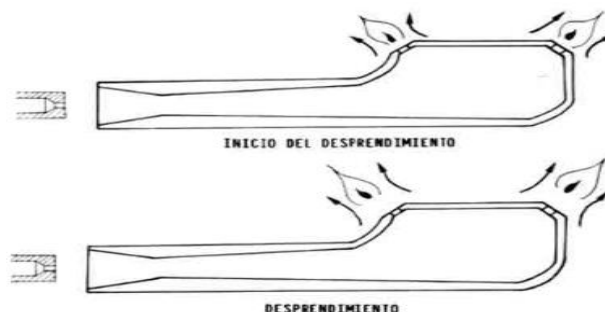


Figura 1. 10 Desprendimiento de llama. [9]

- **Puntas amarillas.** Se producen por la existencia de partículas de carbono en el interior de la llama. [9]

En la tabla 1.7, se puede apreciar los factores que afectan la estabilidad de llama. [9]

Tabla 1. 7 Factores que afectan la estabilidad de llama. [9]

Variación de un factor quedando las demás constantes	Tendencia al desprendimiento.	Tendencia al retorno de llama	Aparición de las puntas amarillas (calidad de la combustión)
Porcentaje de aireación primaria.	Incrementa	Incrementa	Disminuye
Diámetro del inyector	Incrementa	Disminuye	Incrementa
Diámetro de los orificios	Disminuye	Incrementa	Incrementa
Profundidad de los orificios diámetro.	Disminuye	Disminuye	Nulo
Sección de salida	Disminuye	Incrementa	Disminuye
Separación de los orificios.	Incrementa	Nulo	Disminuye

1.3.7.6 Forma de llama

Según Brizuela & Loza determinan que la forma de llama es muy esencial para realizar la combustión, la llama es aquella parte en donde se realiza la reacción que existe entre el comburente y el gas. [16]



Figura 1. 11 Forma de Llama de un quemador de GLP. [16]

La velocidad de llama se la puede determinar por medio de los siguientes métodos. [16]

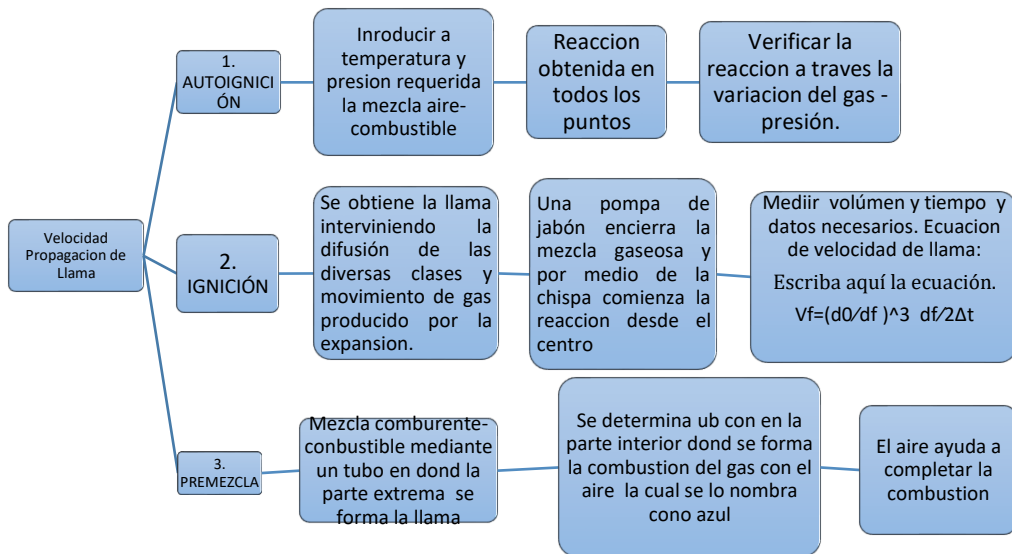


Figura 1. 12 Métodos para analizar la velocidad de frente de llama. [16]

Para calcular la velocidad de llama se debe tomar en cuenta la medida ortogonal que posee el frente de llama, como podemos observar a continuación: [16]

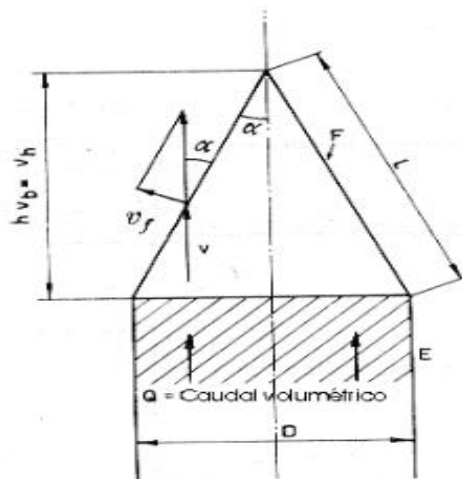


Figura 1. 13 Diagrama de velocidades. [16]

Podemos obtener la velocidad con la siguiente ecuación según [16]:

$$V_f = V \sin \alpha \quad \text{Ec.1.8}$$

Donde según [16] :

α = Ángulo del cono a 0.707 r del mechero [°]

r = Radio del mechero [mm]

V = velocidad media [m/s]

El largo de llama se puede determinar tomando en cuenta el R, U Y H

Donde según [16]:

U = velocidad [m/s]

H = altura [m]

El caudal en el tubo se puede encontrar de la siguiente ecuación

$$Q = U * S \quad \text{Ec.1.9}$$

Donde según [16]:

Q = caudal volumétrico a través del tubo [m^3/h]

S = Sección del tubo [m]

1.3.7.7 Retorno de llama

En este tipo de quemador las paredes frías impiden la combustión. Se determina un diámetro mínimo requerido para que se prolongue la combustión. Su valor dependerá específicamente de la temperatura ejercida por la pared y la mezcla. [16]

Posteriormente se concreta un límite de seguridad, en la cual se considera el calentamiento que ejerce las paredes producidas por la llama. [16]

En la Tabla 1.8, podemos observar los valores de diversos tipos de combustibles. [16]

Tabla 1. 8 Diámetros de seguridad. [16]

Combustible	Diámetro Límite (mm)	Diámetro de seguridad (mm)
H_2	1	0,28
CO	2	0,56
CH_4	3,3	0,93
C_3H_8	3,4	0,96

Cuando se obtiene caudales bajos se logra realizar un retorno de la llama hacia la mezcla, salvo que en la salida el agujero tenga un diámetro inferior a la distancia de seguridad. [16]

También se puede solucionar el retroceso de la llama insertado en el tubo donde se realiza la pre mezcla un tipo de malla metálica de distancias inferiores a comparación del límite de seguridad. [16]

1.3.7.8 Soplado de llama

La llama puede llegar a separarse del quemador en el caso que se aumente el caudal de la mezcla lo que puede producir que sea inestable. [16]

Para evitar este tipo de acontecimiento se debe ocupar instrumentos llamados estabilizadores como los que se observa en la siguiente figura. [16]

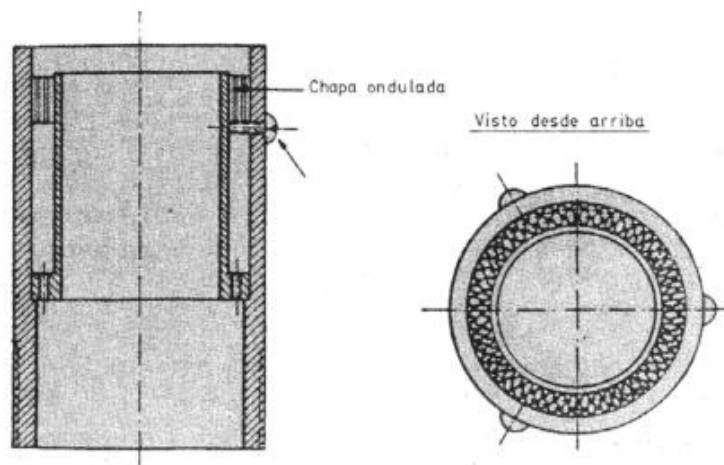


Figura 1. 14 Estabilizadores de chapa ondulada. [16]

Este tipo de estabilizadores producen una corona que contiene llamas pequeñas que rodean la llama principal. [16]

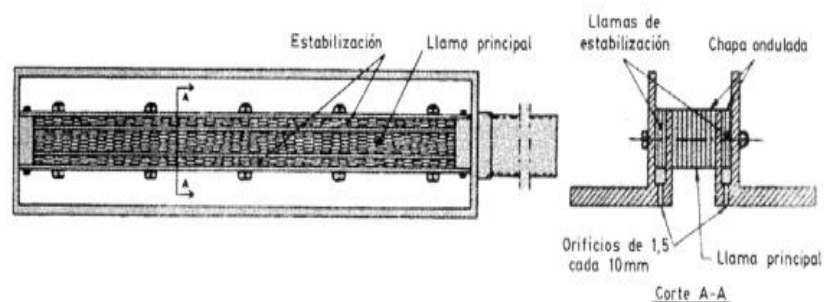


Figura 1. 15 Quemador con estabilizador. [16]

Una técnica habitual trata en rodear la llama principal con una llama piloto de velocidades bajas cuando esta se encuentra funcionando con aire libre. En la siguiente figura se puede determinar un quemador de tipo antorcha con estabilizadores las cuales forman una llama de retención. [16]

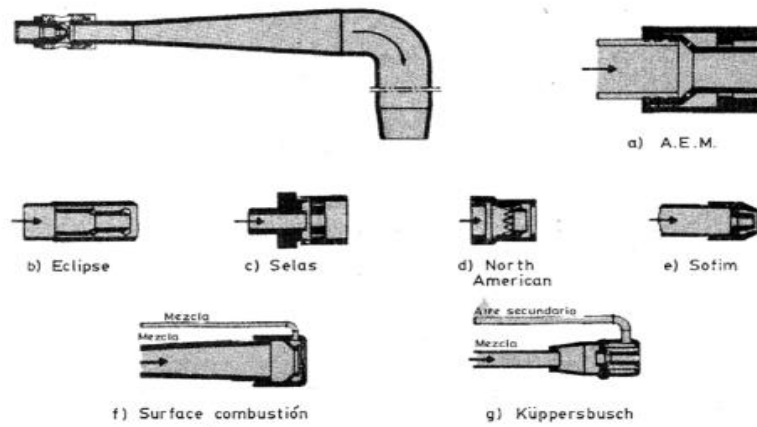


Figura 1. 16 Estabilizadores con llamas auxiliares. [16]

1.3.8 Inyectores

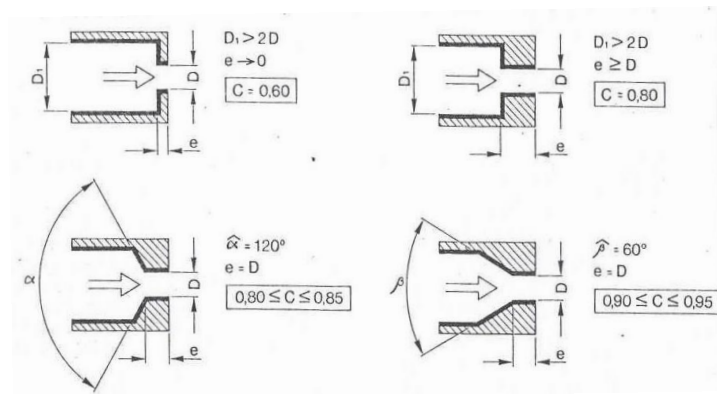


Figura 1. 17 Tipos de inyectores. [17]



Figura 1. 18 Tipos de inyectores para llama corta y llama larga. [17]

Para calcular la velocidad con la que atraviesa el gas por el inyector se utiliza la siguiente formula según [17]:

$$V = C_1 \sqrt{\frac{2 * g * h}{p}} \quad \text{Ec.1.10}$$

Donde según [17]:

V : Velocidad del gas [m/s]

g : Valor de la aceleración debida a la gravedad [m/s^2]

h : Diferencia de expresión existente antes y después del inyector [$mm \text{ c. a.}$], [Kg/m^2]

$$1 \text{ mm c.a.} = 1 \text{ Kg}/m^2$$

p : Peso específico del gas [Kg/m^3]

C_1 : Coeficiente de frotamiento, con valores de 0,7 a 0,9

1.3.9 Quemadores

Los quemadores son instrumentos que admiten ejecutar la reacción de combustión entre el agente oxidante (comburente) y el combustible de forma graduable y controlado, permitiendo la contribución correcta de ambos para obtener la potencia de calor adecuada y distribuyendo la llama y desplazamiento de los combustibles de tal manera que se traslade a la carga de una manera eficiente todo el calor causado. [18]

De acuerdo al combustible empleado los quemadores se pueden clasificar en quemadores de combustibles sólidos, líquidos y gas. [18]

1.3.9.1 Diagrama de quemador

Es importante conocer los partes y parámetros principales que conforman un quemador de gas, en la Figura 1.18, se puede observar las partes de un quemador según [3].

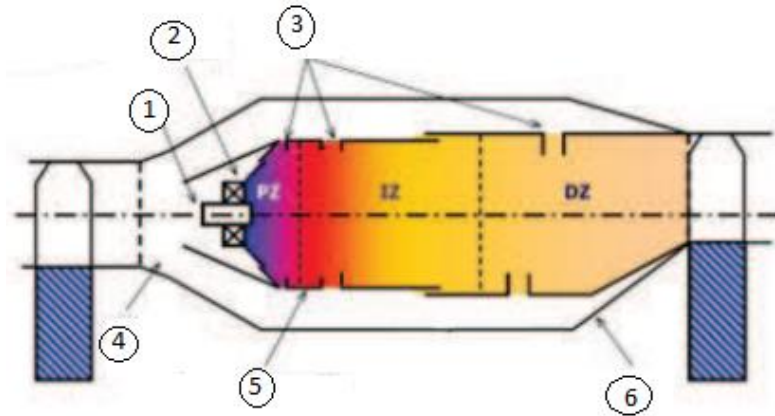


Figura 1. 19. Partes de un quemador a gas. [3]

1. Inyector de combustible
2. Estabilizador de llama
3. Agujeros de distribución
4. Difusor
5. Cilindro interno
6. Aislamiento térmico

1.3.10 Clasificación de los quemadores

1.3.10.1 Quemadores de gas

Si se utiliza un gas como combustible, el gas lograría soplar en la cámara de combustión, aspirarse en entrada de aire a gran velocidad o también puede acceder la salida de la cámara por su misma presión de distribución. Toda la cantidad de gas que entra en la cámara habitualmente se logra dominar por medio de una válvula que regula la presión de gas, además puede ser dominada de manera manual a través de una válvula o por una abertura. La mayoría de quemadores a gas utilizan llamas estables en la tobera. [18]

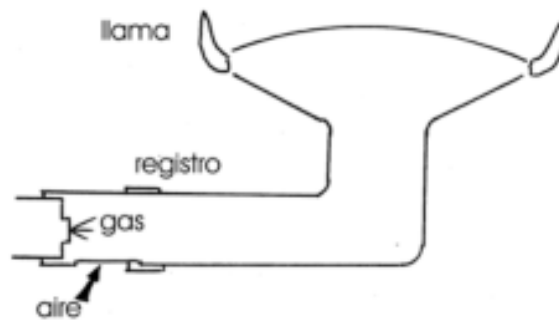


Figura 1. 20 Quemador doméstico de gas. [18]

El gas posee su propio suministro de aire por un proceso de inyección, los reactantes al momento de llegar a la tobera se encuentran premezclados. El tipo de llama producido estará estabilizada por el desgaste de calor al interior del quemador. [18]

Según [18] en este tipo de quemadores se debe tener en cuenta criterios como:

- Velocidad de llama en el quemador
- Estabilidad de la llama
- Combustibles contaminantes
- Parámetros de selección

Para determinar el quemador adecuado se debe tomar en cuenta ciertos parámetros de selección de manera general y específico asumiendo el tipo de aplicación que tendrá el equipo. [18]

Parámetros generales según [18] son:

- Temperatura. - esto involucrara pautas de precalentamiento, cantidad de oxígeno y aire.
- Combustibles. - se deberá seleccionar el oxidante a utilizar.
- Factores de funcionamiento. - es la proporción de potencia máxima y mínima.
- Factores de regulación. - es la relación que existe de los controles de aireación extremas entre las que el quemador funciona de manera óptima.

Parámetros específicos

La receptividad térmica depende de los siguientes criterios según [18]:

- Conductividad térmica
- Oxidación
- Factor de absorción de radiación.

1.3.10.2 Quemador bunsen

Para el desarrollo de este tipo de quemador tiene como característica que las llamas normalmente manipuladas son las de difusión, luminosas con temperaturas medias. [16]

Este quemador tuvo mucha relevancia por estructura teniendo en cuenta que las formas de la llama tenían las siguientes características según [16] :

- La llama era claramente visible

- La intensidad de calor era elevada
- Grandes temperaturas
- Escasa emisión de gases
- Al momento de tomar contacto con las paredes no se presenciaba suciedades.

El gas es transportado por medio de un inyector hacia la zona baja de la tubería del quemador para permitir el ingreso de aire adecuado. Por motivos del chorro de gas, se produce una región con depresión la cual es muy favorable para la entrada de aire y por consecuencia la mezcla entre el gas y el aire que se encuentran en el tubo del quemador. [16]

La mezcla que se produce entre el gas y el aire la cual fluye por el tubo del quemador deberá tener una velocidad de tal manera que esta imposibilite que la forma de la llama que se produce en la parte superior ingrese al interior del quemador. [16]

El aire que fluye en la llama completa el proceso de combustión [16]

La figura 1.18, muestra el funcionamiento del quemador Bunsen y las presiones del quemador al interior y su salida. [16]

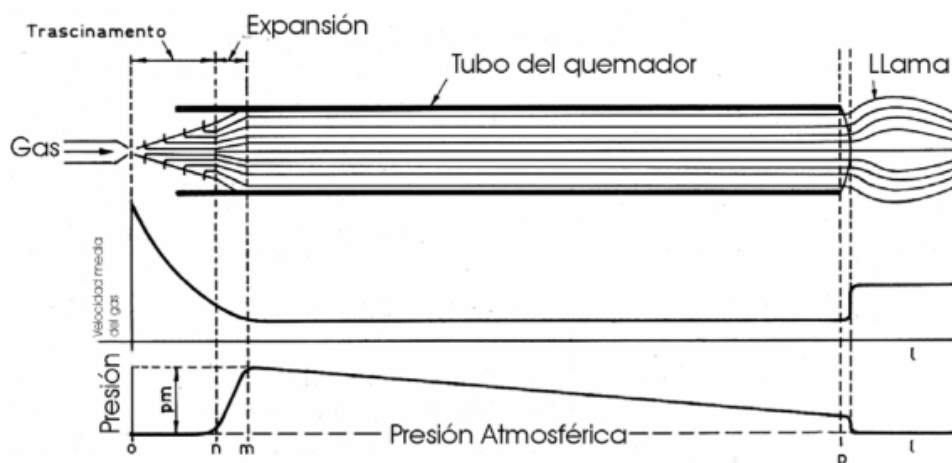


Figura 1. 21 Funcionamiento de un quemador tipo bunsen. [16]

1.3.10.3 Quemador de premezcla

Este tipo de quemadores se los puede determinar según [16] por:

- Premezcla a presión.
- Atmosféricos.
- Oxigas.

1.3.10.4 Quemadores de premezcla a presión

Este tipo de quemadores comúnmente obtiene total premezcla, los principios que se tiene que tener en cuenta son los de calado o también llamador retorno de llama y soplado o desprendimiento de llama. [16]

1.3.10.5 Quemador con mezcla en la tobera

Para este tipo de quemadores la mezcla producida por el aire y gas se lo realiza en la tobera una vez que salen de los orificios de salida, cada fluido es transportado por ductos diferentes lo que produce una mezcla rápida en la tobera, la combustión termina mediante una boca refractaria. [16]

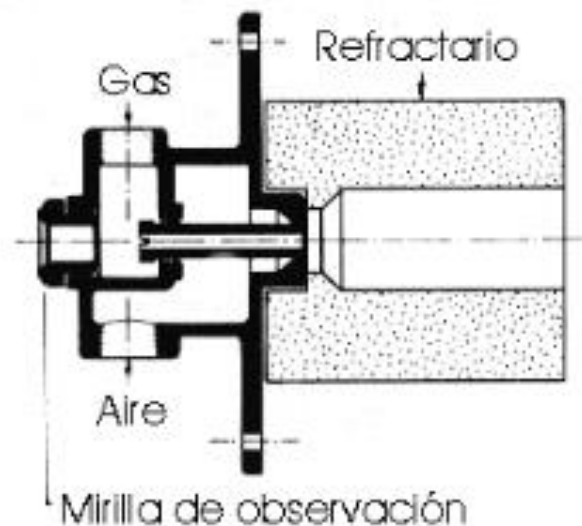


Figura 1. 22 Quemador con mezcla en la tobera. [16]

1.3.10.6 Tipos de quemadores

En la Figura 1.22, se puede observar 3 tipos de quemadores según [19].

- Quemador de gas atmosférico
- Quemador de túnel de gas
- Quemador aspirador de premezcla de aire y gas para la combustión

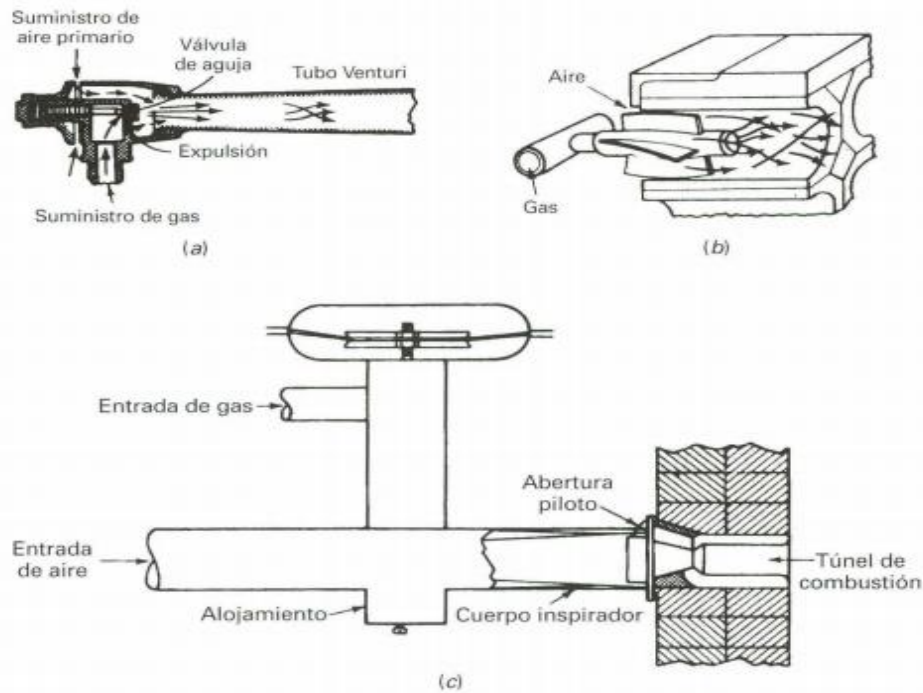


Figura 1. 23 Tipos de quemadores. [19]

1.3.11 Pérdidas significativas provocadas por el quemador

1.3.11.1 Pérdidas por las paredes

Para determinar una pérdida total por las paredes se debe sumar las principales pérdidas que tenemos en el quemador como son: convección y radiación, sumando las dos pérdidas obtenemos un flujo de calor en la pared “pérdidas”, describiendo a continuación la siguiente formula. [8]

$$\dot{Q}_{pared} = \dot{Q}_{convecc} + \dot{Q}_{radia}$$

Las fórmulas de convección y radiación se detallaron con anterioridad.

1.3.11.2 Pérdidas por inquemados sólidos

Debido a la presencia del monóxido de carbono “CO”, se puede observar este tipo de perdidas, si realizamos una combustión correcta la presencia de este tipo de pérdida es relativamente baja, para la detección de los inquemados sólidos se aplica el método de Bacharach. Siendo posible ser calculado mediante la siguiente expresión según [10].

$$P_i = 0.4 * B^2 + 0.8B + 0.07$$

Donde:

B = Índice de bacharach.

Tabla 1. 9 Índice de bacharach. [10]

Índice de bacharach.	Características	Calificación
1	Presencia de Hollín nulo.	Excelente
2	Presencia de Hollín reducido. Temperatura en los humos baja	Buena
3	Cierta cantidad de Hollín.	Mediana
4	Hollín visible.	Pobre
5	Marcas de hollín muy visible.	Muy Pobre
6-9	Las marcas de hollín son severamente visibles.	Pobrísimas

1.3.12 Termografía

La termografía es un proceso que mide la temperatura mediante una imagen donde se visualiza en la superficie de un objeto en específico la distribución de su temperatura mediante la tecnología de una cámara termográfica. [20]

1.3.12.1 Cámara termográfica

Es un instrumento de medición infrarrojo que tiene por objeto medir la intensidad de radiación emitida por la superficie de un objeto, es decir su temperatura. La temperatura detectada por la cámara termográfica se representa en una imagen de color la cual se muestra en el visualizador. [20]

Mediante esta cámara se puede medir cualitativa y cuantitativa según [10]:

Cualitativo: este método se puede obtener mediante la visualización de una variedad de colores obtenidos en la imagen de la cámara, el cual se puede apreciar los puntos en donde se presencia mayor cantidad de temperatura. [10]

Cuantitativo: este método se puede obtener mediante el punto infrarrojo que se apunta a la superficie a medir, determinado la temperatura exacta representada en el termograma de forma numérica. [10]

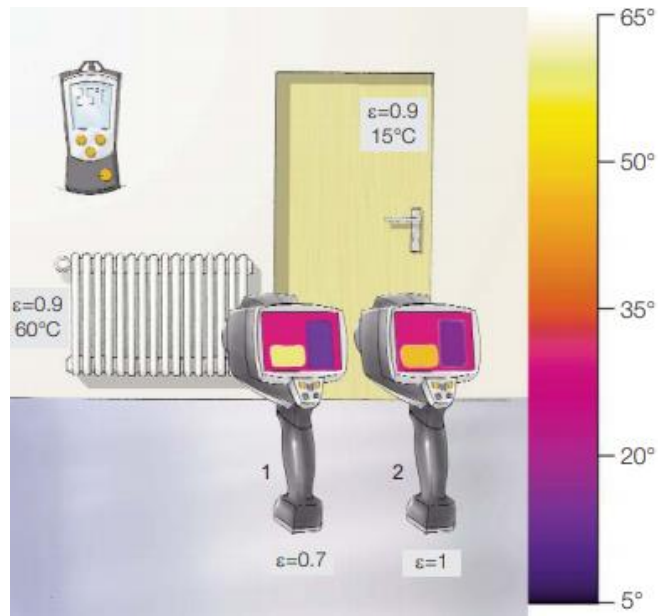


Figura 1. 24. Cámara termográfica. [20]

- **Factores de emisividad**

Tabla 1. 10 Factor de emisividad de materiales. [10]

Material	Emisividad	Material	Emisividad
Ladrillo	0.93 a 0.96	Textiles	0.90
Argamasa	0.89 a 0.91	Óxidos de hierro	0.78 a 0.82
Yeso	0.80 a 0.90	Óxidos de cobre	0.78
Mármol	0.94	Óxidos de cromo	0.81
Cerámica	0.90 a 0.94	Papel	0.70 a 0.94
Cristal	0.90 a 0.95	Madera	0.90
Nieve	0.83	Plástico	0.85 a 0.90
Hielo	0.96 a 0.98	Goma (negra)	0.98
Agua	0.92 a 0.96	Laca/barniz	0.80 a 0.95
Tierra	0.92 a 0.96	Mate	0.97
Arena	0.90	Carbón	0.96
Cemento	0.96	Piel(cuero)	0.75 a 0.80
Hormigón	0.94	Piel(humana)	0.98
Asfalto	0.90 a 0.98	Tela (negra)	0.98

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

Este capítulo se basa principalmente en consideraciones importantes para el diseño y fabricación del quemador de GLP, por lo que es necesario la construcción de un prototipo del quemador seleccionando los materiales más óptimos para su fabricación, además se describirán los métodos investigativos empleados para el presente proyecto técnico.

2.1 Materiales

El GLP es un combustible utilizado para varias aplicaciones, debido a las ventajas que este posee, como son: su alto poder calorífico, al momento de su combustión no produce agentes contaminantes al ambiente.

En cuanto a su manipulación se lo debe hacer con mucho cuidado, ya que es un hidrocarburo muy inflamable y explosivo, el riesgo de manipular GLP es muy alto, pero se lo puede minimizar dimensionando o seleccionando materiales afines para este combustible. El GLP generalmente se lo encuentra en forma gaseosa, pero para ser almacenado se lo transforma a un estado líquido con lo cual se incrementa su presión y disminuye su temperatura.

Para seleccionar los materiales estos deben ser compatibles con el tipo de combustible que se va a transportar o almacenar, además se debe considerar la relación del costo de los materiales con el tiempo de funcionamiento de los mismos. [21]

2.1.1 Materiales para transportar (tuberías)

Las tuberías que son utilizadas para el transporte de GLP deben ser compatibles con el combustible, su dimensionamiento debe ser el adecuado dependiendo del caudal que se va a transportar, así tenemos los siguientes materiales, Acero Galvanizado, su característica es la de brindar una barrera física catódica, lo previene la oxidación, provocado por agentes ambientales. El cobre brinda resistencia a la corrosión, pero no soportan grandes esfuerzos mecánicos por otra parte el polietileno posee gran resistencia a la corrosión, son de gran utilidad cuando se transporta GLP de una manera subterránea, se las utiliza en el uso doméstico “calefón”. [21]

2.1.2 Materiales aislantes

Son materiales los cuales disminuyen la transferencia de calor ya que son muy resistentes al paso de flujo de calor, mejorando el confort térmico, su conductividad térmica es baja. Para seleccionar un aislante no se debe hacer dependiendo de su conductividad ya que es parecida en todos los materiales, si no dependiendo de la resistencia que poseen al fuego y la temperatura máxima que soportan. De los aislantes inorgánicos de fibras minerales tenemos las siguientes características según [22]:

Lana de vidrio, principalmente compuesta de aglutinante y filamentos de vidrio, su manipulación es muy sencilla ya que es flexible, es más amigable con el ambiente ya que para su fabricación se puede utilizar vidrio que haya sido reciclado, es anti inflamatorio, por lo que no origina incendios. [22]

Tablero de Fibra Cerámica, es de fibra cerámica de alúmina AL_2O_3 , soporta altas temperaturas ($1000^{\circ}C$), su densidad ($300 - 600 \text{ Kg}/m_3$) dependiendo de su composición química, sus características principales que podemos mencionar son: resistente al choque térmico, fácil de mecanizar y cortar, resiste altas temperaturas, soporta la corrosión. [22]

2.1.3 Materiales cerámicos

El comportamiento del material cerámico está dado por su estructura, compuestos por combinaciones de materiales metálicos y no metálicos, son materiales que se encuentran estables en ambientes térmicos y químicos, se forman por enlaces covalentes e iónicos, los materiales formados por enlaces covalentes se caracterizan por dureza y soportar altas temperaturas de fusión. [23]

Tubo Cerámico de alúmina, utilizado principalmente en la industria eléctrica, mecánica, instrumentación, resiste altas temperaturas de trabajo ($1800^{\circ}C$), su dureza Rockwell depende de la pureza ($85 - 88$)Hr. [23]

2.1.4 Vidrio templado

Es un cristal que brinda seguridad, su obtención se da mediante tratamientos térmicos a altas temperaturas, o cual incrementa su resistividad a diferencia de los vidrios normales, cuando un vidrio templado se quiebra este se rompe en trozos pequeños a diferencia de los otros vidrios comunes.

2.1.5 Determinación de materiales y elementos del prototipo

Para la construcción del prototipo de quemador se utilizó materiales que permitirán determinar parámetros o valores necesarios para el correcto cálculo y diseño del prototipo de un quemador de GLP, estos materiales se detallan en la Tabla 2.1.

Tabla 2. 1 Materiales requeridos para el prototipo de un quemador. [Autores]

MATERIALES	
SISTEMA MECÁNICO	
Plancha de Tol galvanizado 1220x2440; e= 1 mm	Pernos inoxidable M6x25
Tubo cuadrado galvanizado 30x30x2	Rodelas inoxidables planas 6 mm
Ángulo ASTM A36 1/2x1/4	Rodela de presión 6 mm
Platina acero negro 1/2x1/8	Tornillo M5x50
Platina acero AISI 3/4x1/8	Tuerca M5
Platina acero AISI 40x3 mm de espesor	Perno galvanizado 1/2"x3"
Abrazaderas acero al carbono 1/2"	Tapón macho galvanizado 1/2"
Reductor de 1" a 1/2"	Válvula de paso esférica de 1/4"
Bushing 1/4"x1/2"	TEE hembra acero 1/2"
Neplos galvanizados 1/2"	Universal galvanizada 1/2"
Codos 90° galvanizados 1/2"	Tapón macho 1042 8MP 1/2"
Acople en cruz galvanizada 1/2"	Garrucha giratoria con ruedas de 3"
Pernos inoxidable M6x25	Manguera de gas 5/16; L=3000
Tuercas inoxidables M6	Codo 8MP 90° 1/2"
Tornillo triple pato cabeza de hongo 8x1/2	Unión 8FP 1/2"
Tuerca galvanizada 1/2"	Varilla roscada 1/2"
Válvula esférica 1/4"	Tuercas 1/2"
Acople de bronce macho con rosca NPT 1/4" con superficie estriada para manguera de caucho 5/16	Racord a 90° con rosca NPT 1/2" para manguera M8
Acople en T galvanizado 1/2"	Electrodo E310-16; 2,6Øx300 mm
Electrodo AGA 6011x1/8	Acople en cruz 8FP 1/2"
Neplo B-109 1/2"	Teflón
SISTEMA TÉRMICO	
Plancha de lana de vidrio/Aluminio 1,20x0,60	Vidrio de visor de llama
Tablero de fibra cerámica	Tubo de cerámica alúmina Ø 45 mm

2.2 Métodos

Para la realización de este proyecto técnico se utilizará los siguientes métodos:

2.2.1 Método experimental teórico

Podemos hablar que la investigación realizada es de tipo experimental, debido a que se realizó la construcción de prototipos con la finalidad de determinar parámetros óptimos requeridos en el diseño como la estimación de presiones de gas y aire, diámetro de inyectores, longitudes de llama, espesor de aislamiento térmico, tipo de material y diámetro del cilindro de fuego, con la cual se experimentó con diferentes tipos de inyectores, diferentes presiones y diferentes diámetros del cilindro de fuego.

2.2.2 Método comparativo

Este tipo de método se lo utilizó al momento de comparar varios modelos de quemadores elaborados por diferentes autores, con la finalidad de encontrar ventajas y desventajas que nos permitan determinar e implementar un diseño óptimo y adecuado al momento de construir nuestro quemador.

2.2.3 Método cuantitativo

Debido a la utilización de una gran cantidad de valores numéricos, el método cuantitativo fue de gran importancia en la elaboración del diseño de un prototipo de quemador de GLP, los cuales influyeron en la selección de materiales y componentes óptimos para construir.

2.2.4 Método bibliográfico

El método bibliográfico tuvo gran incidencia en la elaboración de este proyecto técnico ya que está basado en la recolección de información procedente de libros, revistas, artículos técnicos, normas, tesis de grado, etc. Las cuales tuvieron un valor significativo en la elaboración de nuestra investigación.

2.2.5 Método experimental práctico

Este método se tomará en cuenta debido a la construcción de prototipos para determinar componentes principales, diámetros de inyectores de GLP, diámetro y longitud del cilindro de fuego, espesores de aislamiento y parámetros de presión, color y forma de llama hasta obtener un funcionamiento óptimo

2.2.6 Método ordinal corregido de criterios ponderados

El método para seleccionar la mejor alternativa es el método ordinal de criterios ponderados por lo que facilitará una selección más viable entre las alternativas comparadas. Se necesita realizar tablas de criterios ponderados comparando cada uno de los criterios hasta obtener el resultado más viable.

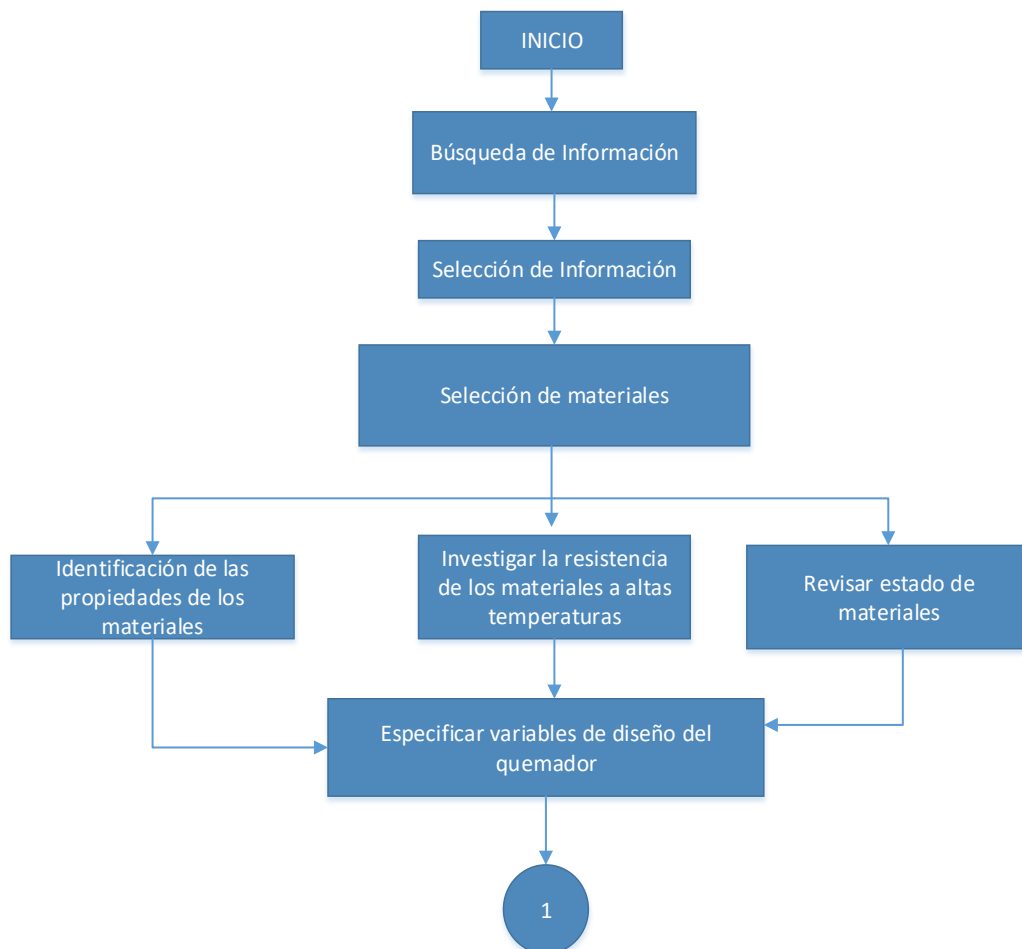
Se seleccionará el valor de 1 = cuando la solución de las filas es mayor a la solución de las columnas.

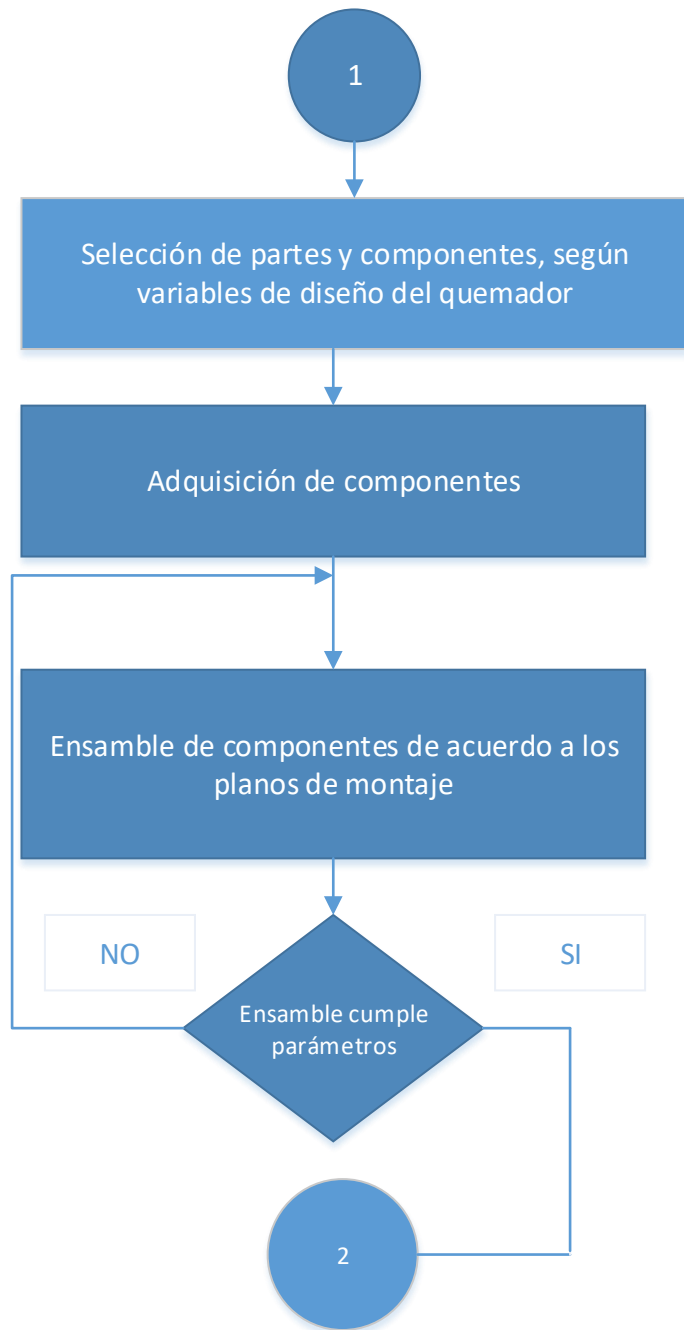
Cuando la solución de las filas es igual a las columnas este tendrá un valor de 0.5.

Se pondrá un valor de 0 cuando el valor de las filas es inferior al de las columnas.

Una vez calificada las soluciones se procederá a ejecutar la suma de los criterios, proporcionándole la unidad para que el criterio menor no sea igual a cero.

2.2.7 Método de proceso de fabricación





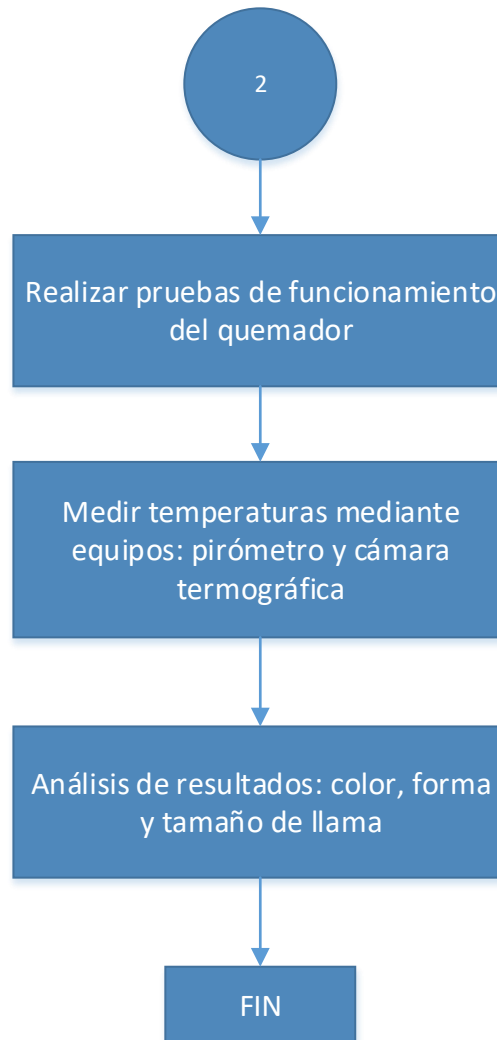


Figura 2. 1 Flujograma del proceso de fabricación de quemador de GLP. [Autores]

2.2.8 Método de análisis de deformación

Mediante este método se podrá determinar la deformación que sufrirá la estructura, para lo cual se realizará con la utilización de un software aplicando cargas en los perfiles, una vez establecido las cargas se procede a realizar el mallado automático en toda la estructura, posteriormente se obtendrá la deformación de la estructura del quemador de GLP.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

Para definir los resultados obtenidos en el diseño y construcción del quemador se determinó parámetros fundamentales como son: selección de la mejor alternativa de diseño del quemador, cálculos térmicos, cálculos de combustión y cálculos mecánicos, además se realizó la construcción del quemador de GLP ejecutando pruebas definitivas de funcionamiento, análisis termográfica y características de llama; obteniendo resultados satisfactorios en el funcionamiento correcto del quemador de GLP de baja potencia.

3.2 Selección de alternativas

3.2.1 Selección de la mejor alternativa de diseño

Para realizar la selección del diseño del quemador, se tomaron tres alternativas las mismas que se evaluaron dependiendo de diversos parámetros para su selección.

3.2.2 Alternativa I: Quemador premezcla tipo Venturi

Características:

- Puede ser fabricado de muchas maneras ya sea de forma recta, acodada, dependiendo de la necesidad del fabricante.
- Su llama es de color claro, corta, pero de gran poder calorífico.
- Al ser un quemador con premezcla, su combustión es limpia por lo cual la emisión de inquemados es muy baja.
- Es muy fácil de transportar de un lugar a otro debido a su diseño el cual es muy sencillo.

Tabla 3. 1 Alternativa I: quemador premezcla tipo Venturi. [Autores]



Componentes	Valor
Ventilador centrifugo	\$31.51,00
Válvula mariposa	\$78.03,00
Motor eléctrico	\$135,00
Carcasa AISI 304	\$120,00
Regulador de presión	\$42,00
Regulador gas	\$7.25
Manguera de gas	\$1.80
Cilindro de gas	\$1.60
Subtotal	\$417.19
Pintura	\$90
Mano de obra	\$400
Subtotal	\$490
TOTAL	\$ 907.19

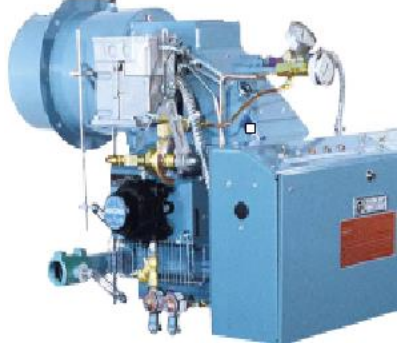
3.2.3 Alternativa II: Quemador de mezcla previa de llama larga.

Utiliza aire primario el mismo que se mezcla con el combustible para realizar la combustión

Características:

- Color de llama azul, de longitud considerable debido al suministro de aire a presión.
- No existe presencia de inquemados debido a su combustión completa.
- Estructura muy robusta debido a mandos automáticos, por lo cual su costo es muy elevado.

Tabla 3. 2 Alternativa II: quemador de mezcla previa de llama larga. [Autores]

	
Estructura:	Valor
Entrada de Aire	\$2000.00
Plato de entrada de gas	
Orificio de gas primario	
Orificio de Gas Secundario	
Tubo aire piloto	
Alojamiento del quemador	
Soporte de Montaje del motor	
Rueda del Soplador	
Cono de Entrada de Aire	
Mano de Obra	
Subtotal	\$3000,00
Componentes	Valor
Cabina de Control	\$600,00
Detector de Flama	\$150,00
Tubo detector de Flama	\$80,00
Ensamble de Placa Trasera	\$50,00
Sistema de Encendido	\$120,00
Motores	\$400,00
Montaje de Motor	\$80,00
Ventilador	\$150,00
Válvula de prueba de fugas	\$120,00
Válvula mariposa	\$78,00

Regulador de presión	\$42,00
Válvula Solenoide	\$48,00
Transformador de encendido de gas piloto	\$100,00
Subtotal	\$2018,00
TOTAL	\$5018,00

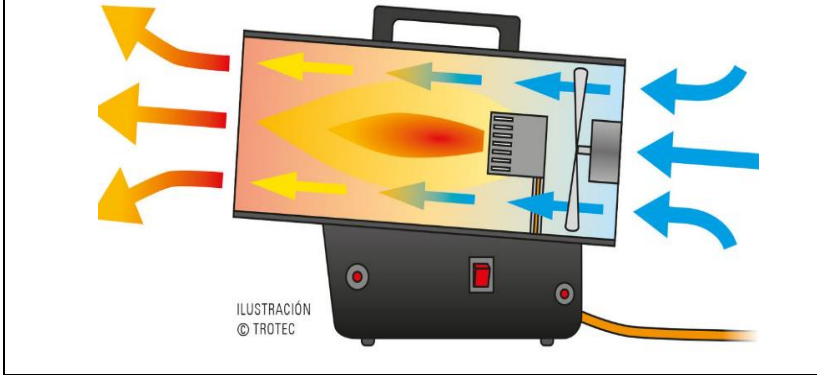
3.2.4 Alternativa III: Quemador de mezcla previa con inyectores.

Trabajan con aire primario, para que se mezcle con el combustible en la cámara de mezclado, y posteriormente se forme la llama, si se le añade más aire el cual es conocido como aire secundario.

Características:

- La llama presente en este quemador es de color azul, clara, con un poder calorífico alto.
- Al ser un quemador de premezcla su combustión es limpia, por lo cual la presencia de inquemados es nula.
- Rendimiento muy elevado
- Fácil de transportar

Tabla 3. 3 Alternativa III: quemador de mezcla previa con inyectores. [Autores]

	
Materiales:	Valor
Estructura	\$150,00
Carcasa	\$100,00
Ruedas	\$52,00
Subtotal	\$ 302,00

Componentes:	
Electroválvula	\$120,00
Sistema de Encendido	\$100,00
Visor de Llama	\$150,00
Ventilador	\$120,00
Motor eléctrico	\$135,00
Inyectores	\$50,00
Regulador de Gas	\$7.25
Cilindro de Gas	\$1.60
Manguera de Gas	\$1.80
Subtotal	\$685,65
Mano de Obra	\$600,00
Pintura	\$150,00
Subtotal	\$750,00
TOTAL	\$1737,65

Para seleccionar la mejor alternativa, se utilizará el método ordinal de criterios ponderados para lo cual se determinará los siguientes criterios:

Criterios a evaluar

- Costo
- Característica de llama
- Rendimiento
- Facilidad de trasladar de un lugar a otro

Descripción de criterios

- Costo: rentabilidad en función de su uso.
- Características de llama: Llama larga y de color azul, lo cual indica un gran poder calorífico.
- Rendimiento: No presencia de inquemados, que representa una mezcla correcta.
- Facilidad de traslado: Liviano y fácil de transportar.

Tabla 3. 4 Ponderación de cada criterio. [Autores]

Criterio	Costo	Característica de llama	Rendimiento	Facilidad de Traslado	$\Sigma + 1$	Ponderación
Costo		0.5	1	1	3.5	0.2
Característica de Llama	0.5		1	0	2.5	0.3
Rendimiento	1	1		0	3	0.3
Facilidad de traslado	1	0	0		2	0.2
				Suma	11	1

Tabla 3. 5 Evaluación del peso específico costo. [Autores]

Criterio	Alternativa I	Alternativa II	Alternativa III	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa I		1	1	3	0.35
Alternativa II	0		0	1	0.25
Alternativa III	0	1		2	0.4
			Suma	6	1

Tabla 3. 6.Evaluación del peso específico característica de llama. [Autores]

Criterio	Alternativa I	Alternativa II	Alternativa III	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa I		1	1	3	0.25
Alternativa II	0		0.5	1.5	0.4
Alternativa III	0.5	1		2.5	0.35
			Suma	7	1

Tabla 3. 7. Evaluación del peso específico rendimiento. [Autores]

Criterio	Alternativa I	Alternativa II	Alternativa III	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa I	1	0	0	1	0.2
Alternativa II	0	1	0.5	1.5	0.4
Alternativa III	0	0.5	1	1.5	0.4
			Suma	6	1

Tabla 3. 8 Evaluación del peso específico facilidad de traslado. [Autores]

Criterio	Alternativa I	Alternativa II	Alternativa III	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa I	1	0	0.5	1.5	0.4
Alternativa II	0.5	1	0	1.5	0.25
Alternativa III	0.5	0	1	1.5	0.35
			Suma	6.5	1

Tabla 3. 9 Ponderación de cada criterio. [Autores]

Criterio	Costo	Característica de llama	Rendimiento	Facilidad de Traslado	Σ	Prioridad
Alternativa I	0.07	0.075	0.06	0.12	0.325	3
Alternativa II	0.05	0.12	0.12	0.05	0.34	2
Alternativa III	0.08	0.105	0.12	0.07	0.375	1

De acuerdo a la selección de alternativas realizada en la Tabla 3.9, se obtuvo como mejor alternativa la III la cual corresponde al quemador de mezcla previa, por sus características de llama y rendimiento.

3.2.5 Selección de alternativas para alimentación aire primario

Para la selección de la alimentación del aire primario en el quemador se evaluará tres alternativas las cuales se tomará en cuenta ciertos parámetros importantes que ayudará a la evaluación y selección del quemador más óptimo.

Alternativa I: Aire primario con ventilador.

Alternativa II: Aire primario con soplador.

Alternativa III: Aire primario con compresor.

Criterios de selección

- Adquisición
- Montaje
- Mantenimiento
- Calidad

Descripción de criterios

Adquisición: Este criterio hace referencia a la facilidad comercial de los componentes del quemador, es decir la facilidad de encontrar los componentes en el stock del laboratorio.

Montaje: La estructura y partes del quemador sean fáciles de ensamblar e instalar.

Calidad: La seguridad y calidad de llama del quemador, debe ser la más óptima.

Mantenimiento: Los componentes del cual está conformado el quemador, debe ser fáciles de cambiar y reparar.

3.2.6 Valoración de alternativas

En la tabla 3.10, se presentará los criterios de selección de aire primario para el quemador de GLP.

Tabla 3. 10 Ponderación de cada criterio para selección de alternativas para alimentación aire primario. [Autores]

Criterio	Adquisición	Montaje	Calidad	Mantenimiento	$\Sigma + 1$	Ponderación
Adquisición		0.5	0	0.5	2	0.2
Montaje	0.5		0	1	2.5	0.3
Calidad	1	1		0.5	3.5	0.3
Mantenimiento	0.5	0	0.5		2	0.2
				Suma	10	1

Tabla 3. 11 Evaluación del peso específico adquisición. [Autores]

Criterio	Alternativa I	Alternativa II	Alternativa III	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa I		0	0	1	0.25
Alternativa II	1		0	2	0.25
Alternativa III	1	1		3	0.5
			Suma	6	1

Tabla 3. 12 Evaluación del peso específico de montaje. [Autores]

Criterio	Alternativa I	Alternativa II	Alternativa III	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa I		0.5	0	1.5	0.25
Alternativa II	0.5		0	1.5	0.35
Alternativa III	1	1		3	0.4
			Suma	6	1

Tabla 3. 13 Evaluación del peso específico de calidad. [Autores]

Criterio	Alternativa I	Alternativa II	Alternativa III	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa I		1	0	2	0.25
Alternativa II	0		0	1	0.25
Alternativa III	1	1		3	0.5
			Suma	6	1

Tabla 3. 14 Evaluación del peso específico de mantenimiento. [Autores]

Criterio	Alternativa I	Alternativa II	Alternativa III	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alternativa I		0.5	1	2.5	0.4
Alternativa II	0.5		1	2.5	0.4
Alternativa III	0	0		1	0.20
			Suma	6	1

Tabla 3. 15 Ponderación de cada criterio. [Autores]

Criterio	Adquisición	Montaje	Calidad	Mantenimiento	Σ	Prioridad
Alternativa I	0.05	0.075	0.075	0.08	0.28	3
Alternativa II	0.05	0.105	0.075	0.08	0.31	2
Alternativa III	0.1	0.12	0.15	0.04	0.41	1

De acuerdo con la Tabla 3.15 se obtuvo como mejor alternativa la III la cual corresponde al aire primario mediante compresor, por sus características de adquisición, montaje y calidad.

3.3 Cálculo térmico

3.3.1 Pérdidas de calor por convección natural

Para realizar el cálculo de convección, primero se debe calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección.

Como datos de partida tenemos $T_s = 84^{\circ}C$ y $T_f = 25^{\circ}C$ con las cuales calcularemos la temperatura de película promedio.

$$T_p = \frac{T_s + T_f}{2} \quad \text{Ec.3.1}$$

Donde:

T_p = Temperatura de película promedio [$^{\circ}C$]

T_s = Temperatura superficial [$^{\circ}C$]

T_f = Temperatura ambiente [$^{\circ}C$]

Datos:

$T_s = 84^{\circ}C$

$T_f = 25^{\circ}C$

$$T_p = \frac{T_s + T_f}{2}$$

$$T_p = 54.5^\circ\text{C}$$

Determinando la presión a las que nos encontramos aproximadamente de 1,018 atm y con la temperatura de película promedio, $T_p = 54.5^\circ\text{C}$ podemos obtener datos de conductividad térmica (k), viscosidad cinemática (ν) y número de Prandtl (P_r), interpolando en la tabla del Anexo A-1, obtenemos.

$$k = 0.0276785 \text{ W/m}^\circ\text{K}$$

$$\nu = 1.8421 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$P_r = 0.7216$$

Con los datos obtenidos del Anexo A-1, calculamos Reynolds.

Datos:

$$V = 1.9 \text{ m/s}$$

$$D = 0.4 \text{ m}$$

$$\nu = 1.8421 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$R_e = \frac{V * D}{\nu} \tag{Ec.3.2}$$

Donde:

R_e = Reynolds

V = Velocidad [m/s]

D = Diámetro [m]

ν = Viscosidad cinemática [m^2/s]

$$R_e = \frac{V * D}{\nu}$$

$$R_e = 41.26 \times 10^3$$

Al obtener Reynolds y Prandtl, calculamos el número de Nusselt, el cual viene dado por la siguiente fórmula.

Datos:

$$Re = 41.26 \times 10^3$$

$$Pr = 0.7216$$

$$Nu = 0.3 + \frac{0.62 * Re^{\frac{1}{2}} * Pr^{\frac{1}{3}}}{\left[1 + \left(\frac{0.4}{Pr}\right)^{\frac{2}{3}}\right]^{\frac{1}{4}}} * \left[1 + \left(\frac{Re}{282000}\right)^{\frac{5}{8}}\right]^{\frac{4}{5}} \quad \text{Ec.3.3}$$

$$Nu = 122.85$$

Luego de obtener los valores de las variables procedemos a calcular el coeficiente de convección.

$$h_{conv} = \frac{k * Nu}{D} \quad \text{Ec.3.4}$$

Donde:

h_{conv} = Coeficiente de transferencia de calor por convección. $[W/{}^{\circ}Km^2]$

k = conductividad térmica. $[W/m{}^{\circ}K]$

Nu = Número de Nusselt.

D = Diámetro. [m]

Datos:

$$k = 0.0276785 \text{ W}/m{}^{\circ}K$$

$$Nu = 122.85$$

$$D = 0.4 \text{ m}$$

$$h_{conv} = \frac{k * Nu}{D}$$

$$h_{conv} = 8.5 \text{ W}/{}^{\circ}Km^2$$

- **Resistencia por convección**

$$A = 2\pi rl \quad \text{Ec.3.5}$$

$$A = 0.75 \text{ m}^2$$

$$R_{con} = \frac{1}{h * A} \quad \text{Ec.3.6}$$

$$R_{con} = 0.157 \frac{\text{°K}}{\text{W}}$$

- **Resistencia del aislante**

K = *Ceficiente de conductividad térmica* $\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{K}$

Datos:

$$K = 0.044 \text{ W}/\text{m}^{\circ}\text{K}$$

$$r1 = 0.16 \text{ m}$$

$$r2 = 0.2 \text{ m}$$

$$R_{ais} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi Kl} \quad \text{Ec.3.7}$$

$$R_{ais} = 1.35 \frac{\text{°K}}{\text{W}}$$

3.3.2 Pérdidas de calor por radiación

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación h_r .

$$h_r = \varepsilon * \sigma * (T_s + T_a) * (T_s^2 + T_a^2) \quad \text{Ec.3.8}$$

Donde:

h_r = Coeficiente de transferencia de calor por radiación $[\text{W}/\text{m}^2\text{°K}]$

ε = Emisividad

σ = Constante de Stefan-Boltzmann $[\text{W}/\text{m}^2\text{°K}^4]$

T_s = Temperatura superficial $[\text{°K}]$

T_a = Temperatura ambiente [$^{\circ}K$]

Datos:

$\varepsilon = 0.7$ para acero

$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

$T_s = 84^{\circ}C = 357.15^{\circ}K$

$T_a = 25^{\circ}C = 298.15^{\circ}K$

$$h_r = \varepsilon * \sigma * (T_s + T_a) * (T_s^2 + T_a^2)$$

$$h_r = 5.63 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Para determinar el coeficiente combinado de transferencia de calor, se determina el coeficiente de transferencia de calor por convección y el coeficiente de transferencia de calor por radiación, para lo cual se utiliza la siguiente fórmula.

$$h_{combinado} = h_{conv} + h_r \quad \text{Ec.3.9}$$

Donde:

$h_{combinado}$ = Coeficiente combinado de transferencia de calor [$W/m^2\text{K}$]

h_{conv} = Coeficiente de transferencia de calor por convección [$W/m^2\text{K}$]

h_r = Coeficiente de transferencia de calor por radiación [$W/m^2\text{K}$]

Datos:

$h_{conv} = 8.5 \text{ W/}^{\circ}K\text{m}^2$

$h_r = 5.63 \text{ W/m}^2\text{K}$

$$h_{combinado} = h_{conv} + h_r$$

$$h_{combinado} = 14.13 \text{ W/}^{\circ}K\text{m}^2$$

Para obtener la \dot{Q}_{Total} se utilizará el coeficiente combinado de transferencia de calor el cual incluye los efectos tanto de convección como de radiación.

$$\dot{Q}_{Total} = h_{combinado} * A * (T_s - T_a) \quad \text{Ec.3.10}$$

Donde:

\dot{Q}_{Total} = Transferencia total de calor [W]

$h_{combinado}$ = Coeficiente combinado de transferencia de calor $[W/m^2\text{°K}]$

A = Área de la superficie [m^2]

T_s = Temperatura superficial [$^{\circ}K$] W

T_a = Temperatura ambiente [$^{\circ}K$]

Datos:

$$h_{combinado} = 14.13 \text{ W}/\text{°K}m^2$$

$$A = 0.75 \text{ m}^2$$

$$T_s = 84^{\circ}C = 357.15^{\circ}K$$

$$T_a = 25^{\circ}C = 298.15^{\circ}K$$

$$\dot{Q}_{Total} = h_{combinado} * A * (T_s - T_a)$$

$$\dot{Q}_{Total} = 625.25 \text{ W}$$

3.3.3 Pérdidas por inquemados sólidos

Datos:

$$B = 3$$

$$P = 0.4 * B^2 + 0.8B + 0.07 \quad \text{Ec.3.11}$$

Donde:

B = índice de bacharach

$$P = 0.4 * B^2 + 0.8B + 0.07$$

$$P = 6.07 \%$$

3.3.4 Cálculo de espesor de aislante

En nuestro proyecto colocamos un aislante de lana de vidrio de un espesor de 4cm con el cual disminuimos una temperatura de 487°C a 84°C. Pero si deseamos calcular otro tipo de espesor con el cual tratemos de disminuir más la temperatura debemos igual las siguientes ecuaciones.

$$\dot{Q}_{total} = \frac{T_{in} - T_s}{R_{ais}} \quad \text{Ec.3.12}$$

$$625.25 = \frac{487 - 84}{\frac{\ln(r_2/0.16)}{2\pi * 0.044 * 0.6}}$$

$$r_2 = e^{0.141} * 0.16$$

$$r_2 = 0.2 \text{ m}$$

Determinación del espesor.

t = Espesor

$$t = r_2 - r_1 \quad \text{Ec.3.13}$$

$$t = 0.04 \text{ m} \sim 4\text{cm}$$

Si se desea disminuir la temperatura de la superficie exterior, se deberá incrementar el espesor del aislante, para posteriores estudios se desarrolla la Tabla 3.16, con posibles espesores, manteniendo el mismo flujo de calor y la temperatura interior.

Tabla 3. 16 Determinación de espesores de aislamiento. [Autores]

$r_1(m)$	$r_2(m)$	$t = r_2 - r_1(m)$	$t (cm)$	$\dot{Q}_{Total}(W)$	$T_s^\circ C$
0.16	0.2	0.04	4cm	625.25	84
0.16	0.202	0.042	4.2cm	625.25	70
0.16	0.203	0.043	4.3cm	625.25	60
0.16	0.204	0.044	4.4cm	625.25	50

3.3.5 Flujo másico de GLP

Utilizando el medidor volumétrico que se encuentra en los laboratorios de la carrera de ingeniería mecánica, logramos obtener el consumo del quemador.

$$\dot{m}_{GLP} = 1.08 \text{ kg/h} = 3 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

3.3.6 Caudal volumétrico de GLP

Utilizando el medidor volumétrico obtuvimos el siguiente valor.

$$CV = 0.54 \text{ m}^3/\text{h}$$

3.3.7 Cálculo de presión al final de tramo (Renouard)

Para calcular la caída de presión al final del tramo, utilizamos la fórmula de RENDUARD para baja presión ($P < 5 \text{ kPa}$).

$$P_A^2 - P_B^2 = 250.76 * d_c * L_c * \frac{Q^{1.82}}{(D * 1000)^{4.82}} \quad \text{Ec.3.14}$$

Donde:

P_A = Presión absoluta en el origen del tramo [kPa]

P_B = Presión absoluta al final del tramo [kPa]

d_c = Densidad corregida [kg/m^3]

L_c = Longitud de cálculo de la conducción más un porcentaje por pérdidas [m]

Q = Caudal de gas en el tramo [m^3/h]

D = Diámetro de la tubería [m]

Datos:

$$P_B^2 = P_A^2 - 250.76 * d_c * L_c * \frac{Q^{1.82}}{(D * 1000)^{4.82}}$$

$P_A = 0.5 \text{ psi}$

$d_c = 0.580 \text{ m}^3/\text{h}$

Según el Manual CEPSA, se establece la longitud de cálculo para el GLP, estableciendo una pérdida del 20%, adicional a las líneas de conducción debido a que se encuentra diferentes accesorios como: reguladores, válvulas, codos, T, etc.

$$L_c = ((3.8 * 20\%) + 3.8) = 4.56 \text{ m}$$

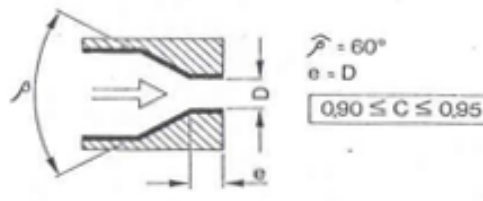
$$Q = 0.54 \text{ m}^3/h$$

$$D = 0.0127 \text{ m}$$

$$P_B = \sqrt{P_A^2 - 250.76 * d_c * L_c * \frac{Q^{1.82}}{(D * 1000)^{4.82}}}$$

$$P_B = 0.4989 \text{ psi} \approx 0.5 \text{ psi}$$

3.3.8 Diámetro del inyector



$$CV = 0.182 * C * D^2 * \sqrt{\frac{h}{d(273 + T)}} \quad \text{Ec.3.15}$$

Para dimensionar el inyector se debe calcular la densidad relativa.

$$d = \frac{d_{sustancia}}{d_{aire}} \quad \text{Ec.3.16}$$

$$d = 1.633$$

Donde:

CV = Caudal volumétrico por inyector $[m^3/h]$

C = Coeficiente de contracción

D = Diámetro del inyector $[mm]$

h = Presión efectiva del gas a la entrada del inyector. $[mm. c. a]$

d = Densidad relativa del gas

T = Temperatura del gas a la entrada del inyector.

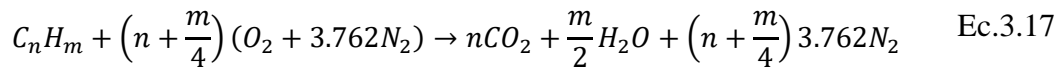
$$D = \sqrt{\frac{CV}{0.182 * C * \sqrt{\frac{h}{d * (273 * T)}}}}$$

$$D = 0.98 \text{ mm} \approx 1 \text{ mm}$$

3.3.9 Cálculos de combustión

Para realizar los cálculos de combustión se realizan balances estequiométricos con exceso de aire, utilizando el propano [C_3H_8] el cual, presenta la mayor cantidad de mezcla en el combustible GLP.

- Ecuación estequiométrica completa



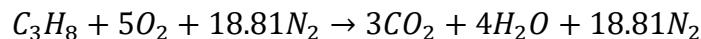
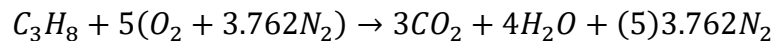
Donde:

C_nH_m = Hidrocarburos de composición general "[C_3H_8] combustible GLP"

n = Número de átomos de carbono

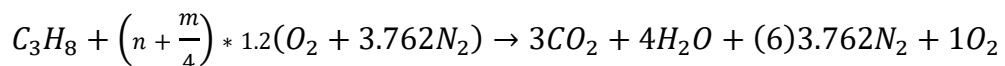
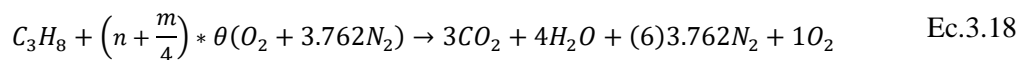
m = Número de átomos de hidrógeno

- Ecuación balanceada



➤ Combustión con exceso de aire 20%

θ = exceso de aire 1.2



- Ecuación balanceada



Después de igualar la ecuación estequiométrica se procede a calcular la relación aire combustible, para lo cual necesitaremos las masas atómicas de los elementos, la misma que se mostrara a continuación.

Tabla 3. 17 Masa atómica. [Autores]

Masa Atómica	
C	12[kg/kmol]
H	1.007[kg/kmol]
O	16[kg/kmol]
N	14.0067[kg/kmol]

3.3.10 Cálculo de la relación aire combustible

Donde:

m_{aire} = Masa de aire

m_{comb} = Masa del combustible

$$AC = \frac{m_{aire}}{m_{comb}} \quad \text{Ec.3.19}$$

$$AC = 18.71 \text{ kg aire} / \text{kg combustible}$$

Se determinó que se utiliza 18.71 kg aire para poder quemar cada kilogramo de combustible gaseoso, durante todo el proceso de combustión.

3.3.11 Flujo másico de aire mínimo necesario para la combustión

$$AC = \frac{m_{aire}}{m_{comb}}$$

$$m_{aire} = AC * m_{comb}$$

$$m_{aire} = 0.056 \frac{kg}{s}$$

Es decir, la cantidad mínima de aire requerida para realizar la combustión es de $0.056 \frac{kg}{s}$.

3.3.12 Cálculos de la entalpia de combustión

$$\bar{h}_C = \sum N_p \bar{h}_{f,p}^\circ - \sum N_r \bar{h}_{f,r}^\circ \quad \text{Ec.3.20}$$

Donde:

$$\bar{h}_C = \text{Entalpia de combustión} \left[\frac{kJ}{kmol} \right]$$

$$N_p = \text{Moles de los productos} \left[kmol \right]$$

$$\bar{h}_{f,p}^\circ = \text{Entalpia de formación de los productos} \left[\frac{kJ}{kmol} \right]$$

$$N_r = \text{Moles de los reactivos} \left[kmol \right]$$

$$\bar{h}_{f,r}^\circ = \text{Entalpia de formación de los reactivos} \left[\frac{kJ}{kmol} \right]$$



Tabla 3. 18 Entalpia de combustión. [Autores]

Sustancia	$\bar{h}_{f,r}^\circ$ (288.15°K)	$\bar{h}_{f,p}^\circ$ (760.15°K)	N (N. de moles)
C_3H_8	-103850 $\left(\frac{kJ}{kmol} \right)$	-	1 (kmol)
O_2	8388.798 $\left(\frac{kJ}{kmol} \right)$	-	6 (kmol)
N_2	8378.165 $\left(\frac{kJ}{kmol} \right)$	-	22.572 (kmol)
CO_2	-	20292.635 $\left(\frac{kJ}{kmol} \right)$	3 (kmol)
H_2O	-	26363.745 $\left(\frac{kJ}{kmol} \right)$	4 (kmol)
N_2	-	22464.68 $\left(\frac{kJ}{kmol} \right)$	22.572 (kmol)
O_2	-	23183.025 $\left(\frac{kJ}{kmol} \right)$	1 (kmol)

Es importante mencionar que se asigna valores de entalpia de deformación a todos los elementos estables (O_2 , N_2 , H_2 , C) un valor de cero. En un estado de referencia de 25°C y 1atm.

$$\bar{h}_c = H_{prod} - H_{react} \quad \text{Ec.3.21}$$

$$\bar{h}_c = \sum N_p \bar{h}_{f,p}^\circ - \sum N_r \bar{h}_{f,r}^\circ$$

$$\bar{h}_c = 561.08 \times 10^3 \text{ kJ/kmol } C_3H_8$$

Al obtener un valor positivo ($\bar{h}_c > 0$), la reacción es endotérmica, la cual nos indica que la energía de los productos es mayor a la de los reactivos.

3.3.13 Cálculo del calor teórico generado por la reacción de combustión

$$Q_{sal} + \sum N_p (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_p = \sum N_r (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_r \quad \text{Ec.3.22}$$

Donde:

$$Q_{sal} = \text{Flujo de calor teórico generado } [kJ/kg]$$

$$N_p = \text{Moles de los productos } [kmol]$$

$$N_r = \text{Moles de los reactivos } [kmol]$$

$$\bar{h}_f^\circ = \text{Entalpia de formación a } 25^\circ\text{C y } 1 \text{ atm } [kJ/kmol]$$

$$\bar{h} = \text{Entalpia de formación a temperatura de ingreso de reactivos } [kJ/kmol]$$

$$\bar{h} = \text{Entalpia de formación a temperatura de salida de productos } [kJ/kmol]$$

$$\bar{h}^\circ = \text{Entalpia de corrección } [kJ/kmol]$$



Para obtener los valores de las entalpias \bar{h}_f° la obtenemos del Anexo A-2, mientras que para obtener los valores de las entalpias de O_2 , N_2 , CO_2 , H_2O a las temperaturas indicadas se procede a interpolar los valores de los Anexos A-3, A-4, A-5, A-6 respectivamente.

Tabla 3. 19 Entalpias de formación. [Autores]

Sustancia	N [kmol]	\bar{h}_f° [kJ/kmol]	$\bar{h}(288.15^\circ K)$ [kJ/kmol]	$\bar{h}^\circ(298.15^\circ K)$ [kJ/kmol]	$\bar{h}^\circ(760.15^\circ K)$ [kJ/kmol]
C_3H_8	1	-103850	-	-	-
O_2	6	0	8388.795	8686.05	-
N_2	22.572	0	8378.165	8673.05	-
CO_2	3	-393520	-	9369.025	20292.635
H_2O	4	-241820	-	9908.65	26363.745
N_2	22.572	0	-	8673.05	22464.68
O_2	1	0	-	8686.05	23183.025

$$Q_{sal} = \sum N_r (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_r - \sum N_p (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_p$$

$$Q_{sal} = 1611124.93 \text{ kJ/kmol de } C_3H_8$$

$$Q_{sal} = \frac{1611124.93}{m_{comb}}$$

$$Q_{sal} = 36569.93 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_{sal} = \dot{m}_{GLP} * Q_{sal} \quad \text{Ec.3.23}$$

$$\dot{Q}_{sal} = 10.97 \text{ kW}$$

3.3.14 Cálculo del calor generado utilizando libro de Lorenzo Becco “Manual del Gasista”

Para determinar el flujo de calor generado por el quemador se utiliza el Manual del Gasista, mediante el diámetro del inyector podemos obtener un valor de calor, la Tabla 3.20, se puede ver en el Anexo-A9

Tabla 3. 20 Diámetro para inyectores de gas. [17]

Potencia Calorífica ($kcal/h$)	$h = 300 \text{ mm. c. a}$
3000	Diámetro: 1 mm

$$Q = 3.48 \text{ kW}$$

$$Q_{Total} = Q * \text{Número de Inyectores} \quad \text{Ec.3.24}$$

$$Q_{Total \text{ maxteórico}} = 13.92 \text{ kW}$$

3.3.15 Cálculo del flujo de calor del aire caliente generado por el quemador

Para calcular el flujo de calor que genera el quemador utilizaremos la ecuación de gas ideal, en el cual tomaremos algunas propiedades de la región en la cual se hizo las pruebas para determinar algunos datos en la fórmula.

$$PAV = \dot{m}RT \quad \text{Ec.3.25}$$

Donde:

P = Presión [kPa]

$A_{efectiva}$ = Área efectiva [m^2]

V = Velocidad [m/s]

\dot{m} = Flujo másico [kg/s]

R = Constante de los gases ideales $0,287 \left[\frac{kPa * m^3}{kg * ^\circ K} \right]$

T = Temperatura [$^\circ K$]

Para obtener la presión utilizamos el Anexo A-7, luego de conocer que la ciudad de Ambato se encuentra a una altitud de 2500 m.

Datos:

$P = 74.695 \text{ [kPa]}$

$V = 0.8 \text{ [m/s]}$

$R = 0.287 \left[\frac{kPa * m^3}{kg * ^\circ K} \right]$

$T = 760.15 \text{ [}^\circ K\text{]}$

$r = 0.16 \text{ m}$

$$A = \pi * r^2 \quad \text{Ec.3.26}$$

$$A = 0.08 \text{ m}^2$$

$$A_{efectiva} = A * 0.5 \quad \text{Ec.3.27}$$

$$A_{efectiva} = 0.04 \text{ m}^2$$

- **Cálculo del flujo másico**

$$\dot{m} = \frac{PAV}{RT}$$

$$\dot{m} = 0.01 \text{ kg/s}$$

- **Flujo de calor del aire caliente generado**

$$Q = \dot{m} * h \quad \text{Ec.3.28}$$

Donde

h = Entalpia a temperatura de funcionamiento $[kJ/kg]$

Datos:

$$h = 778.34 [kJ/kg]$$

Esta entalpia se la obtuvo interpolando los datos del Anexo A-8 y como dato de partida tenemos a la temperatura de $760.15^\circ K$

$$Q = \dot{m} * h$$

$$Q = 7.78 \text{ kW}$$

3.3.16 Cálculo del flujo de calor del aire caliente que escapa por la parte posterior

Para determinar el flujo de calor que escapa por la parte posterior utilizaremos la fórmula de gases ideales.

$$PAV = \dot{m}RT$$

Donde:

P = Presión $[kPa]$

$A_{efectiva}$ = Área efectiva $[m^2]$

V = Velocidad $[m/s]$

$$\dot{m} = \text{Flujo másico} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$R = \text{Constante de los gases ideales } 0,287 \left[\frac{kPa * m^3}{kg * ^\circ K} \right]$$

$$T = \text{Temperatura } [^\circ K]$$

Para obtener la presión utilizamos el Anexo A-7, luego de conocer que la ciudad de Ambato se encuentra a una altitud de 2500 m.

Datos:

$$P = 74.695 \text{ [kPa]}$$

$$V = 0.2 \text{ [m/s]}$$

$$R = 0.287 \left[\frac{kPa * m^3}{kg * ^\circ K} \right]$$

$$T = 343.75 [^\circ K]$$

$$r = 0.16 \text{ m}$$

$$A = \pi * r^2$$

$$A = 0.08 \text{ m}^2$$

$$A_{efectiva} = A * 0.2$$

$$A_{efectiva} = 0.016 \text{ m}^2$$

- **Cálculo del flujo másico**

$$\dot{m} = \frac{PAV}{RT}$$

$$\dot{m} = 0.0024 \text{ kg/s}$$

- **Pérdida de calor del aire caliente generado en la parte posterior**

$$Q = \dot{m} * h$$

Donde

$$h = \text{Entalpia a temperatura de funcionamiento} \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Datos:

$$h = 344.196 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Esta entalpia la obtuvimos interpolando los datos del Anexo A-8 y como dato de partida tenemos a la temperatura de $343.75^{\circ}C$.

$$Q = \dot{m} * h$$

$$Q = 0.83 \text{ kW}$$

3.4 Cálculo mecánico

3.4.1 Dilatación térmica en el cilindro de fuego

- Dilatación lineal

Datos:

$$L_o = 600 \text{ mm}$$

$$\Delta T = 462^{\circ}C$$

$$\alpha = 1.2 \times 10^{-5} \text{ } ^{\circ}C^{-1}$$

$$\Delta L = \alpha * L_o * \Delta T \quad \text{Ec.3.29}$$

Donde:

ΔL = Dilatación del recubrimiento

α = Coeficiente de dilatación térmica

L_o = Longitud del recubrimiento

ΔT = Variación de temperatura

$$\Delta L = \alpha * L_o * \Delta T$$

$$\Delta L = 3.33 \text{ mm}$$

- Porcentaje de dilatación lineal

$$\frac{\Delta L}{L_o} * 100 = 0.6\%$$

- Dilatación diametral

Datos:

$$D_o = 400 \text{ mm}$$

$$\Delta T = 462^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 1.2 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\Delta D = \alpha * D_o * \Delta T \quad \text{Ec.3.30}$$

$$\Delta D = 2.22 \text{ mm}$$

- Porcentaje de dilatación diametral

$$\frac{\Delta D}{D_o} * 100 = 0.6\%$$

Debido a la dilatación que sufre los materiales por las altas temperaturas los soportes no se deben ubicar a los extremos sino en los centros a una longitud de 242 mm.

3.4.2 Análisis de deformación

En la Figura 3.1, se aplica cargas en los perfiles el cual se efectuó con un valor de 290 N, correspondiente a la sumatoria de los pesos del cilindro de fuego, para observar la deformación que se genera en la estructura mediante el valor establecido.

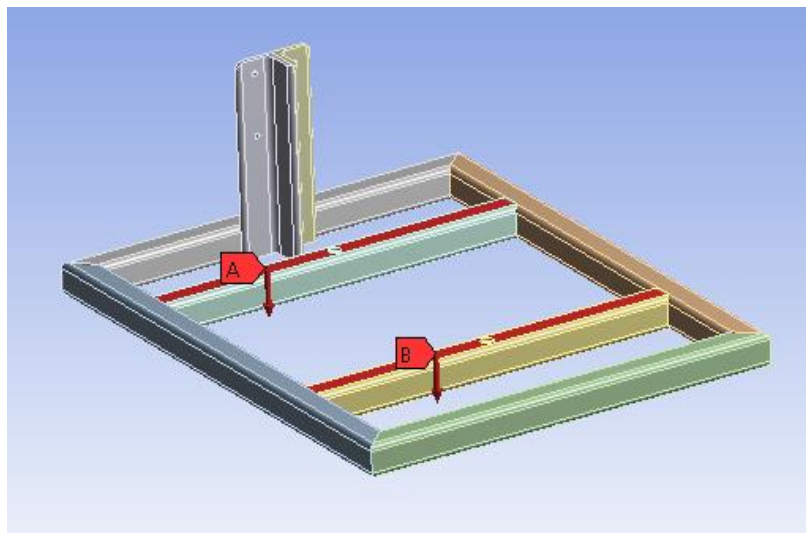


Figura 3. 1 Análisis de deformación mediante software. [Autores]

Luego de establecer las cargas en la estructura se procede a realizar el mallado automático en toda la estructura, como se muestra en la Figura 3.2.

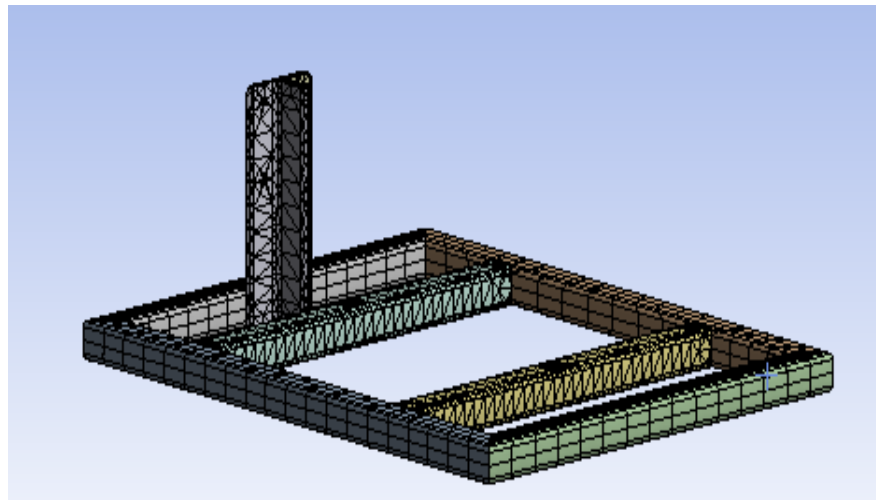


Figura 3. 2 Mallado de estructura. [Autores]

Posteriormente, se obtiene la deformación total de la estructura con un valor máximo de 0.015747 mm.

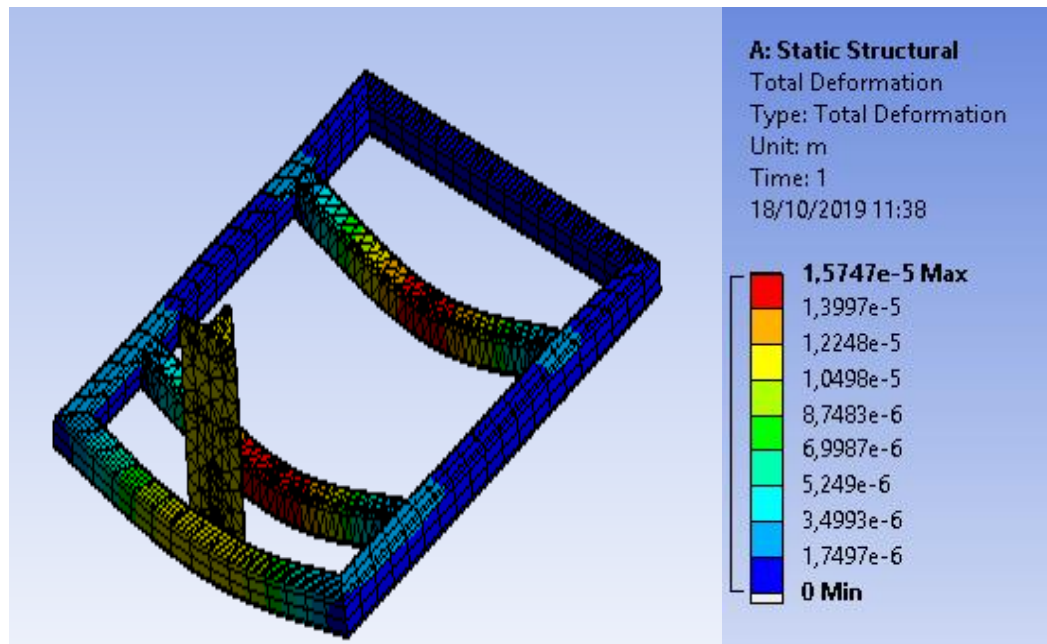


Figura 3. 3 Análisis de deformación máxima. [Autores]

3.5 Construcción del prototipo de un quemador de GLP

Para la construcción del prototipo de un quemador de GLP se construye sobre una base rectangular de tubo estructural cuadrado de largo= 540 mm, ancho = 431 mm, con la capacidad de soportar todo el peso del quemador y darle estabilidad del mismo, además se unieron dos ángulos de acero negro soldados a la estructura de la base con la

finalidad de soportar el tren de llama, la soldadura en todo el procedimiento se realizó en proceso SMAW con electrodos 6011, como se muestra en la Figura 3.4.



Figura 3. 4 Estructura de la base. [Autores]

Sobre los tubos cruzados de la base se perforará y se soldará con proceso SMAW con electrodos 6011 dos tuercas galvanizadas de ½ de pulgada que servirá posteriormente para colocar dos pernos roscadas galvanizadas como soporte del cilindro de fuego, como se muestra en la Figura 3.5.



Figura 3. 5 Ensamble de tuercas galvanizadas. [Autores]

Se construirá el soporte para el cilindro de fuego soldando con proceso SMAW con electrodos 6011 dos pernos galvanizados de ½ pulgada a dos platinas, la primera platina tendrá 234 mm de largo por 22 mm de ancho, mientras que la segunda será de 153 mm de largo por 22 mm de ancho, en la Figura 3.6, se observa el proceso de fabricación.

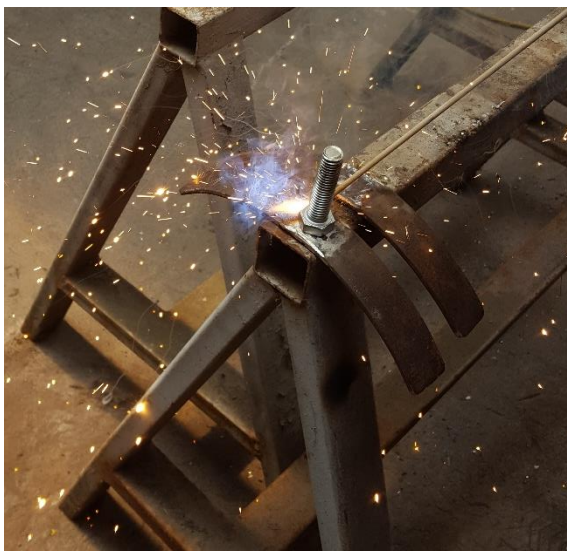


Figura 3. 6 Soporte de cilindro de fuego. [Autores]

En la estructura de la base se colocará una plancha galvanizada de 1 mm de espesor que cubrirá todo el contorno de la estructura la cual tendrá un largo de 540 mm por 431 mm de ancho, además en sus bordes se realizará un doblado hacia abajo a 90° con un R= 0.5 de 21 mm como se muestra en la Figura 3.7.



Figura 3. 7 Chapa de la base. [Autores]

Se colocará en los soportes el cilindro de fuego; para su construcción se utilizó dos planchas galvanizadas de 1 mm de espesor en la que se formó un total de cuatro cilindros barolados, el cilindro interior está formado por la unión de dos cilindros de 320 mm de diámetro unidos con una platina de acero AISI 304, mientras que el cilindro exterior está formado por la unión de dos cilindros de diámetro de 400 mm conjuntamente con una platina AISI 304, en la Figura 3.8, se muestra la construcción del cilindro de fuego.



Figura 3. 8 Construcción del cilindro de fuego. [Autores]

Para el aislamiento de los cilindros de fuego se utilizó una plancha de lana de vidrio de 4 cm de espesor la cual permitirá que el cilindro de fuego soporte altas temperaturas, en la Figura 3.9, se puede observar el proceso de construcción.



Figura 3. 9 Aislamiento térmico de cañón de fuego. [Autores]

En un tablero de fibra de cerámica aislante se cortará manualmente dos circunferencias de aislamiento cuyos radios externos será de 198 mm y radios internos de 160 mm respectivamente, los cuales se colocarán en la parte frontal y posterior de cada tramo. En la Figura 3.10, se observa la colocación de la fibra de cerámica.



Figura 3. 10 Fibra de cerámica aislante. [Autores]

Una parte fundamental del quemador de GLP es el visor de llama, fue colocado en la parte lateral del mismo el cual fue elaborado con un vidrio templado y un tubo de cerámica alúmina $\varnothing 45\text{ mm}$ además este se encuentra cubierto con una chapa metálica de acero galvanizado que sostendrá el vidrio templado, esto permitirá apreciar la forma, tamaño y longitud de llama. En la Figura 3.11, se puede observar la colocación del visor de llama en el quemador.

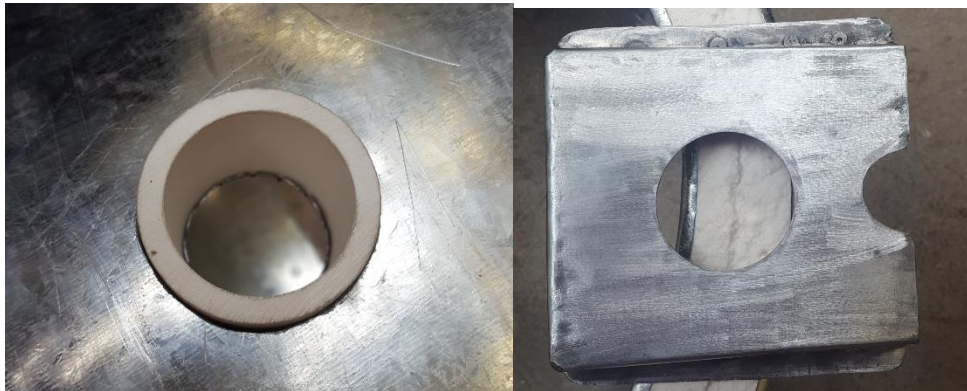


Figura 3. 11 Construcción del visor de llama. [Autores]

Una vez ensamblado todos los componentes y partes principales del quemador se procederán los acabados superficiales, en el cilindro de fuego se colocará una pintura especial que soporta altas temperaturas, además la tubería será de color amarillo debido a los colores de identificación de tuberías para combustibles. En la Figura 3.12, se observa el prototipo del quemador de GLP de baja potencia terminado.



Figura 3. 12 Prototipo de quemador de GLP. [Autores]

3.6 Pruebas de funcionamiento

3.6.1 Pruebas de funcionamiento preliminar

Para obtener un funcionamiento óptimo de un quemador de GLP de baja potencia se realizó varias pruebas y cambios en su diseño, estructura, tren de llama, inyectores los cuales ayudaron a determinar parámetros adecuados hasta obtener un quemador que entrega una eficiencia aceptable.

Para el diseño de los inyectores se comparó un inyector para diesel de 6 galones a 45° el cual posee un diámetro de 0.6 mm de salida de combustible con inyectores mecanizados tomando como referencia el libro de Lorenzo Becco “Manual del Gasista” el cual nos proporciona los parámetros de diseño para inyectores de GLP utilizados a presiones bajas.

En la Figura 3.13, se observa el tren de llama de GLP conformados por dos inyectores mecanizados y un inyector a diesel, además se muestra las pruebas de funcionamiento con este tipo de inyectores, en donde se puede apreciar que el inyector a diesel de 0.6 mm de diámetro su longitud de llama es demasiada corta, mientras que los inyectores mecanizados de 1 mm de diámetro según parámetros del libro de Lorenzo Becco “Manual del Gasista” tiene una llama aceptable con gran presencia de inquemados.



Figura 3. 13 Pruebas de funcionamiento con 3 inyectores. . [Autores]

Tratando de mejorar el calor de aire útil, color, forma y tamaño de llama se cambia el material, configuración y número de inyectores además se implementó un cilindro de acero galvanizado con $\varnothing = 28 \text{ cm}$, en la Figura 3.14, se puede observar que el color de llama en su mayoría es amarillo lo que significa que no existe una combustión buena, formando gran presencia de inquemados y hollín en el interior del cilindro de fuego.



Figura 3. 14 Prueba de funcionamiento con cilindro de fuego $\varnothing = 28 \text{ cm}$. [Autores]

Otra prueba que se realizó con el objetivo de obtener una combustión buena, fue modificar el diseño del cilindro de fuego, realizando cuatro perforaciones de forma de elipse en la parte posterior del cilindro tratando de incrementar el ingreso de aire

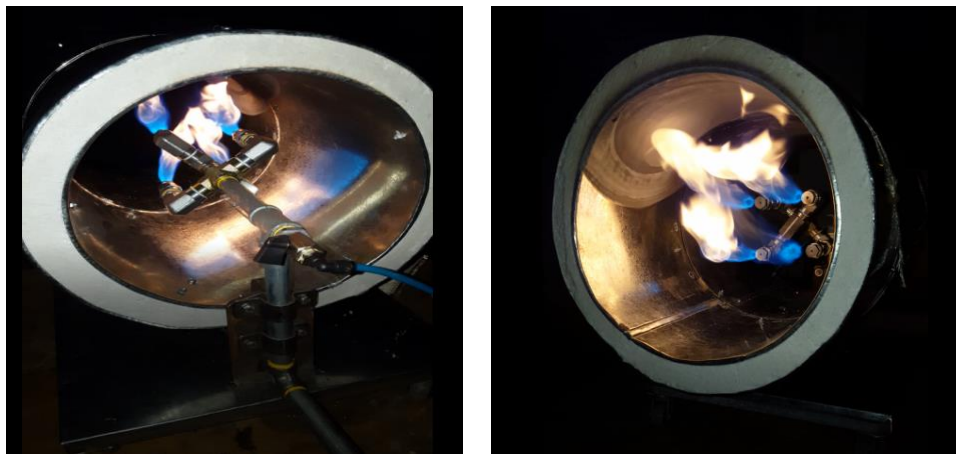
primario para disminuir la presencia de inquemados y mejorar el color y forma de llama, sin embargo, no se obtuvo los resultados deseados.



Figura 3. 15 Modificación del cilindro de fuego. [Autores]

3.6.2 Pruebas de funcionamiento definitivo

Luego de realizar las pruebas necesarias para llegar a obtener el prototipo de un quemador de GLP deseado, se realizó cambios permanentes en el dimensionamiento del cilindro de fuego aumentando su \varnothing interior= 32 cm. Para mejorar la combustión, forma, color, longitud de llama y disminuir la presencia de inquemados se añadió una entrada de aire primario la cual es suministrada por un compresor que se encuentra ubicado en los laboratorios de la FICM, además el aire que se encuentra en el ambiente sirve como aire secundario lo cual ayuda a mejor la mezcla combustible-comburente mejorando notablemente la eficiencia del quemador y entregando mayor calor de aire útil. En la Figura 3.16, se puede observar el prototipo final del quemador de GLP.



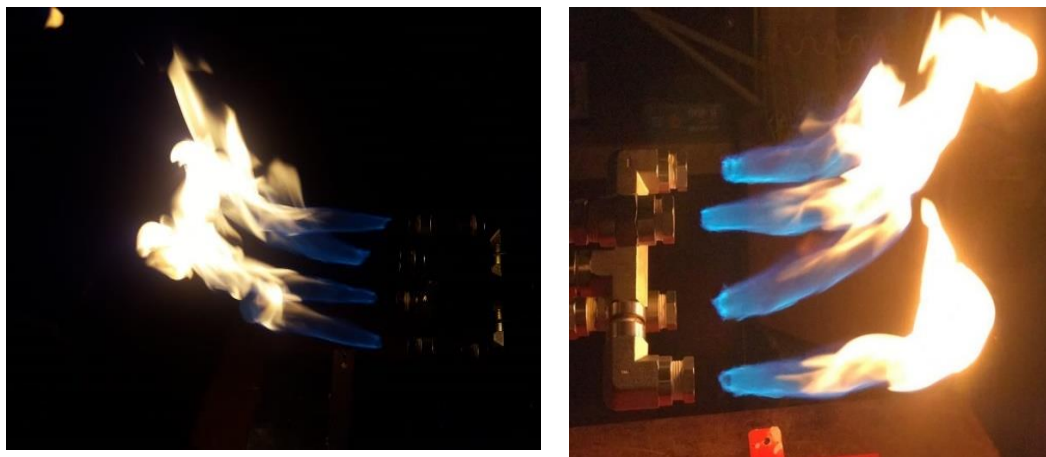


Figura 3. 16 Funcionamiento del prototipo final del quemador de GLP. [Autores]

3.6.3 Funcionamiento

- Conectar la alimentación de combustible al regulador que se encuentra en los laboratorios, con el cual se puede regular la presión a la que sale el GLP.
- Conectar la alimentación del quemador (manguera) al medidor de consumo de GLP, para poder controlar la presión de salida.
- Conectar la alimentación del comburente (aire) al acople del quemador para obtener la mezcla en los tramos de fluido, la presión a la que el aire debe salir aproximadamente debe ser de 1 Psi.
- Encender el quemador mecánicamente, los pasos para su encendido se describen a continuación:
 1. La apertura de 1/8 de la llave de GLP, para evitar posibles quemaduras del operario.
 2. El encendido debe ser en pilotaje, colocando un mechero a la salida de los cuatro inyectores.
 3. Incrementar la apertura de la llave de GLP a 1/4 de su capacidad.
 4. Abrir la válvula de apertura de aire, a 1/4 de su capacidad, con el objetivo de obtener un adecuado pre mezcla entre el combustible – comburente.
 5. Aumentar la apertura de la llave de GLP a 1/2 de su capacidad total, posteriormente regular la válvula de entrada de aire a 1/2 de su capacidad total, obteniendo así una pre mezcla óptima, verificando que la llama tenga una forma, color y longitud requerida.

Precauciones de seguridad

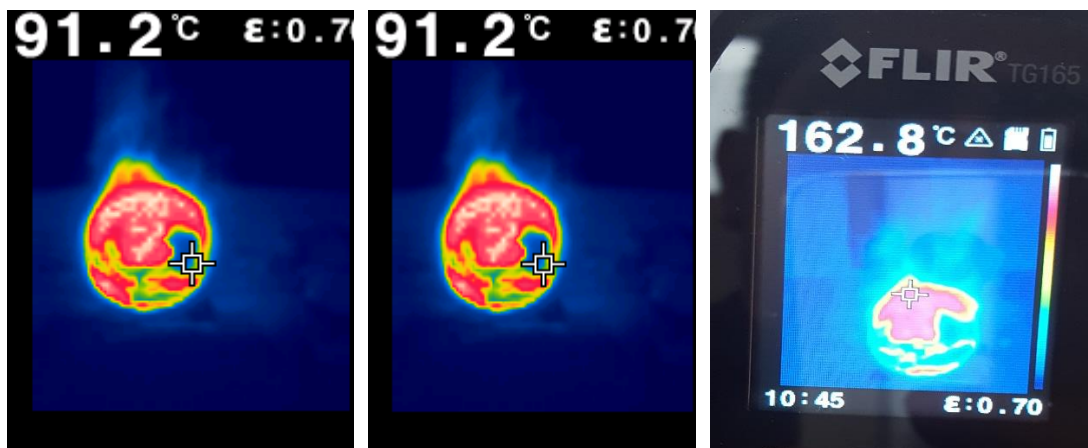
- Verificar antes de encender el quemador no se encuentre rodeado de materiales inflamables.
- Colocarse equipos de seguridad (guantes, mascara de seguridad), al momento de encender el quemador.
- Al momento que el quemador se encuentra en funcionamiento, no se debe colocar las manos en el cilindro de fuego.
- Evitar enfriar bruscamente el visor de llama, para prevenir fisuras en el mismo.

3.7 Análisis termográfico

Para realizar mediciones térmicas se utilizó la cámara Flir TG165, la cual ayuda en el proyecto para identificar las zonas más calientes y las más frías en el quemador, es importante mencionar que la cámara solo detecta mediciones inferiores a los 400°C, por lo que fue necesario utilizar un pirómetro para detectar la temperatura en ciertas zonas en las que la cámara no podrá usarse.

3.7.1 Variación de temperatura con respecto al tiempo a presión 0.5 psi

En la Figura 3.17, se muestra las imágenes que se tomaron con la cámara termográfica cuando se encendió el quemador y luego de haber transcurrido algún tiempo, en el cual se puede identificar las zonas más calientes de color blanco, y las zonas más frías de color azul.



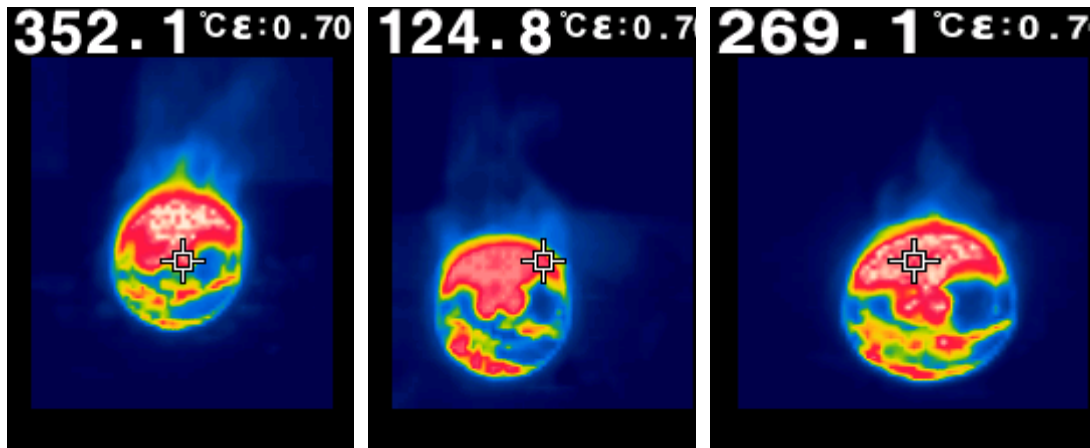


Figura 3. 17 Medición de temperaturas del quemador con la cámara térmica a baja presión. [Autores]

Tabla 3. 21 Recolección de datos. [Autores]

Tiempo (min)	Temperatura (°C)
3	91,2
7	124,8
13	231,4
17	352,1

Mediante los datos obtenidos en la Tabla 3.21, se procede a graficar una curva la cual nos da una idea de cómo se comporta la temperatura en el quemador, en la Figura 3.18, se muestra una curva exponencial, que nos indica que la temperatura se incrementa cada vez más es decir se encuentra en función del tiempo, estos datos fueron obtenidos al trabajar con una presión baja (0,5 psi).

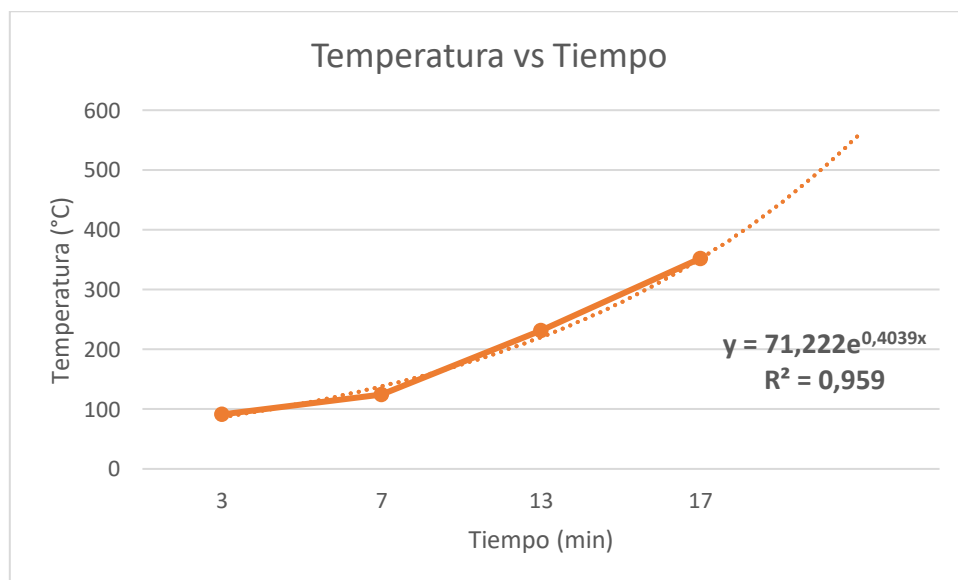


Figura 3. 18 Variación de temperatura en función del tiempo. [Autores]

Se obtiene que el incremento de temperatura a un modelo de crecimiento exponencial lo cual concuerda con los modelos de transferencia de calor transitorio.

Debido a que la cámara termográfica tiene una capacidad de medición de hasta 400°C, se utilizó el pirómetro con el cual obtuvimos una temperatura de 487°C con la cual se realizó los cálculos del quemador de GLP.

3.7.2 Variación de temperatura con respecto al tiempo a presión 1.45 psi

En la Figura 3.19, se muestran imágenes termográficas, las mismas que fueron tomados al momento que inicio la combustión en el quemador, y luego de haber transcurrido un tiempo prudente.

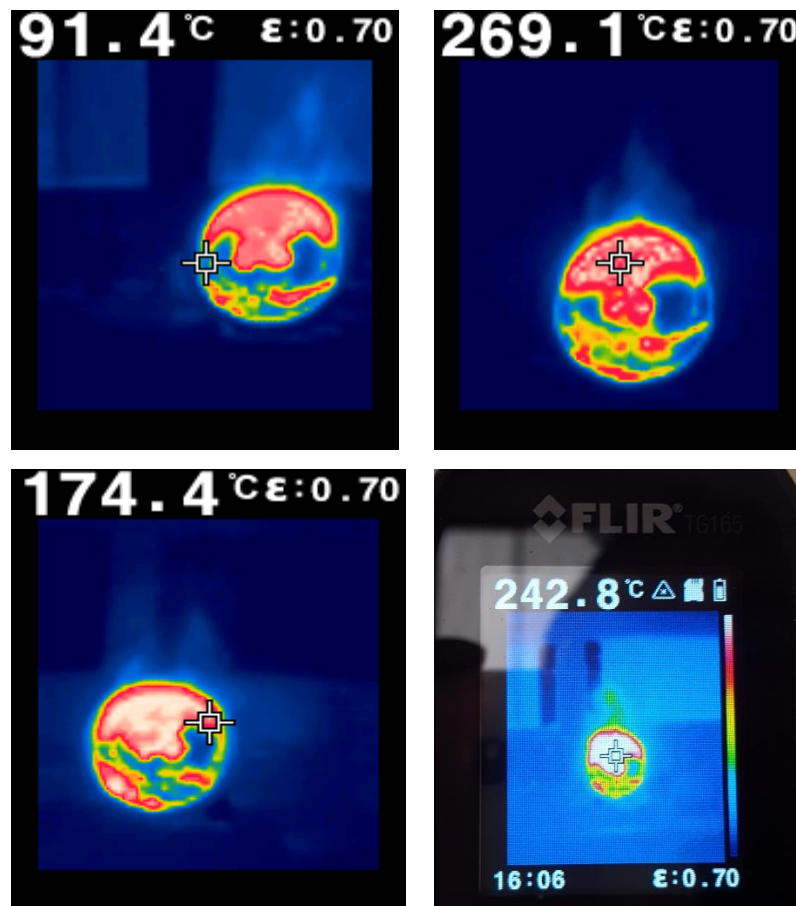


Figura 3. 19 Temperaturas tomadas con la cámara termográfica a presión de 1.45 psi. [Autores]

Tabla 3. 22 Recolección de datos. [Autores]

Tiempo (min)	Temperatura (°C)
3	91,4
7	174,4
13	269,1
17	362

Mediante la utilización de la Tabla 3.22, nos permite realizar una gráfica para observar cómo se comporta la temperatura luego de incrementar la presión de salida del GLP a 1.45 psi, su temperatura incrementa, pero de similar manera la curva que se forma en la Figura 3.20, es exponencial lo que nos indica que la temperatura incrementara si su tiempo de encendido igual incrementa.

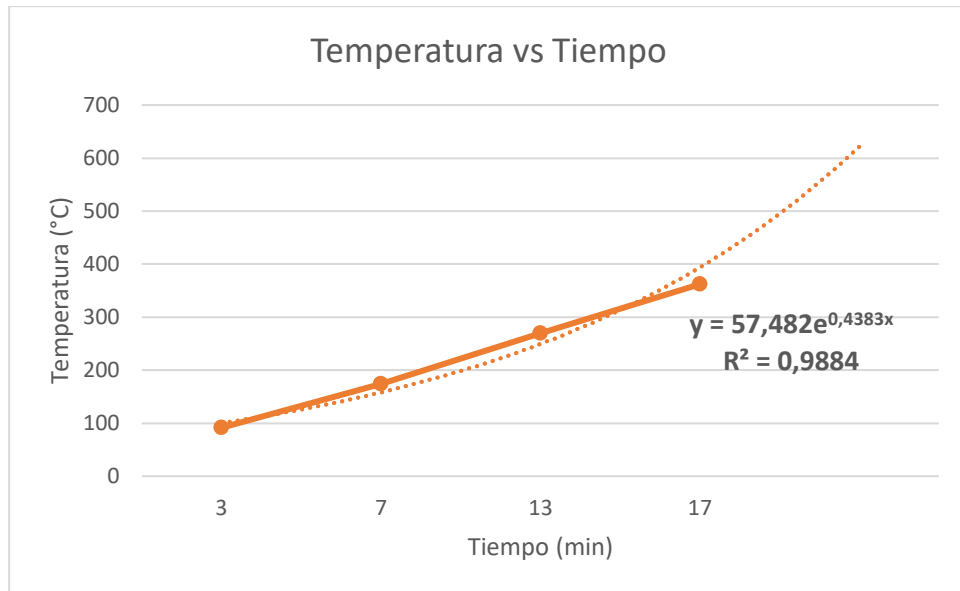


Figura 3. 20 Variación de temperatura en función del tiempo. [Autores]

3.8 Eficiencia generada por el quemador de GLP

En la Figura 3.21, se muestra la cantidad de energía útil que genera el quemador luego de disminuir las pérdidas combinadas por convección y radiación (0.62525 kWh), además pérdidas por inquemados (0.665 kWh), pérdidas no cuantificadas (1.1 kWh) y adicional tenemos pérdidas de flujo en la parte posterior (0.8883 kWh) obteniendo una energía útil de 7.8 kWh con eficiencia del 70.7% .

EFICIENCIA GENERADA POR EL QUEMADOR DE GLP

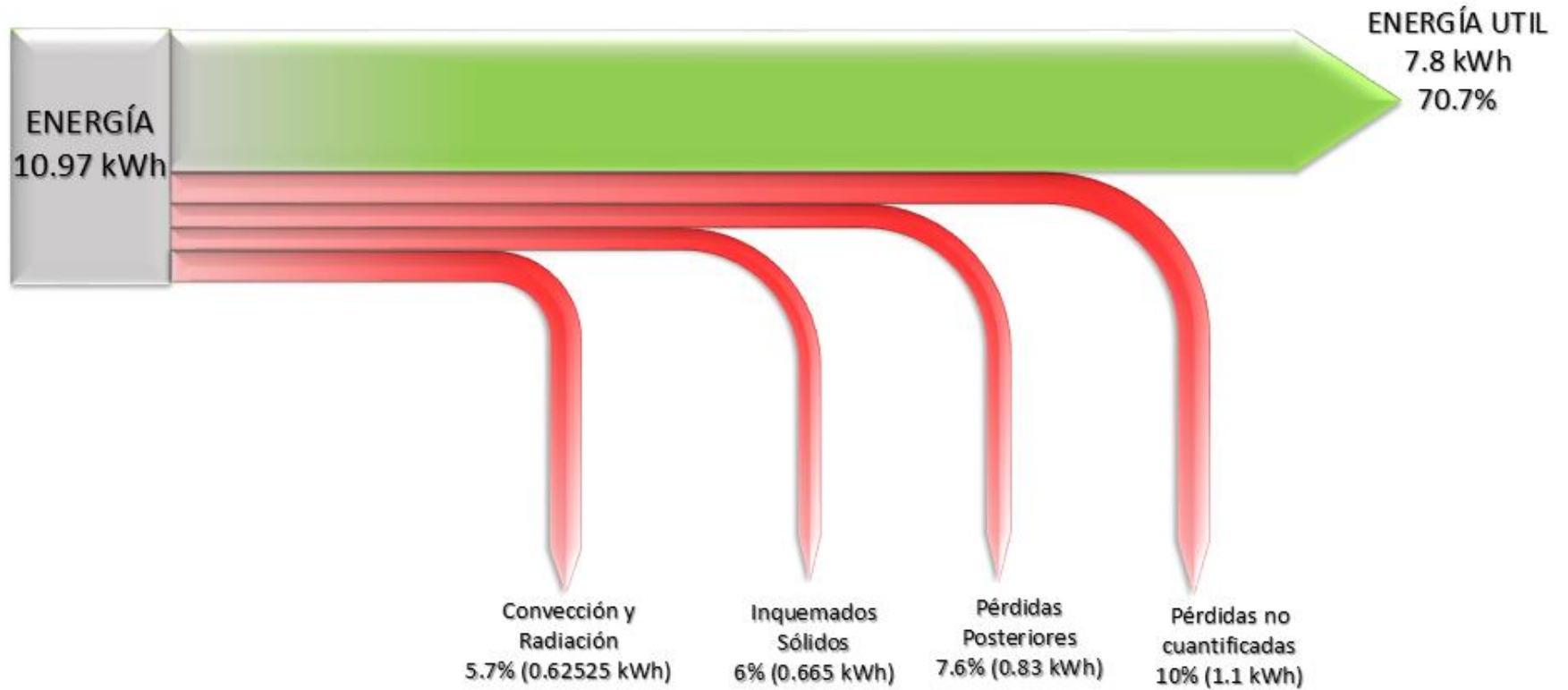


Figura 3. 21 Diagrama de Sankey de energía útil generada por el quemador. [Autores]

3.8.1 Cálculo de eficiencia del quemador

Datos:

$$Q_{util} = 7.81 \text{ kW}$$

$$Q_{entra} = 10.98 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{Q_{util}}{Q_{entra}} \quad \text{Ec.3.31}$$

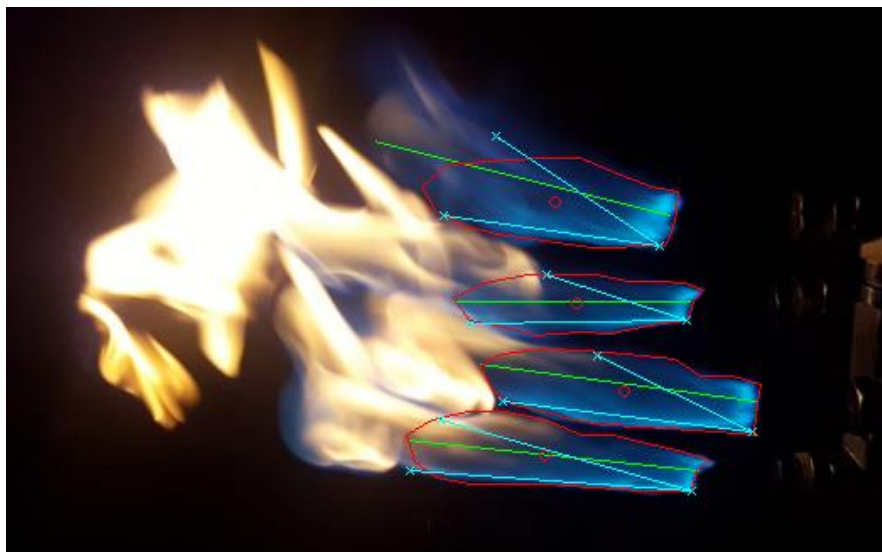
$$\eta = 70.8\%$$

3.9 Análisis de parámetros de llama

Mediante la utilización de software para análisis de imágenes se pudo analizar los parámetros característicos de la llama azul obtenidas en el quemador de GLP como: longitud, área y ángulos de llama; se analizó a potencia baja y media en la salida de cada inyector de GLP verificando diversos tamaños en la longitud de llama.

- **Potencia baja: 0.5 psi**

A potencia baja con una presión de 0.5 psi, se pudo verificar la longitud, área y los ángulos de llama azul en los 4 inyectores de gas. Se observa una llama uniforme con una longitud entre de 11.8 cm a 15.2 cm, las áreas están entre 28.5 cm^2 a 43.1 cm^2 y sus ángulos están entre 11.6° a 25.8° . En la Figura 3.22, se observa los parámetros mencionados.



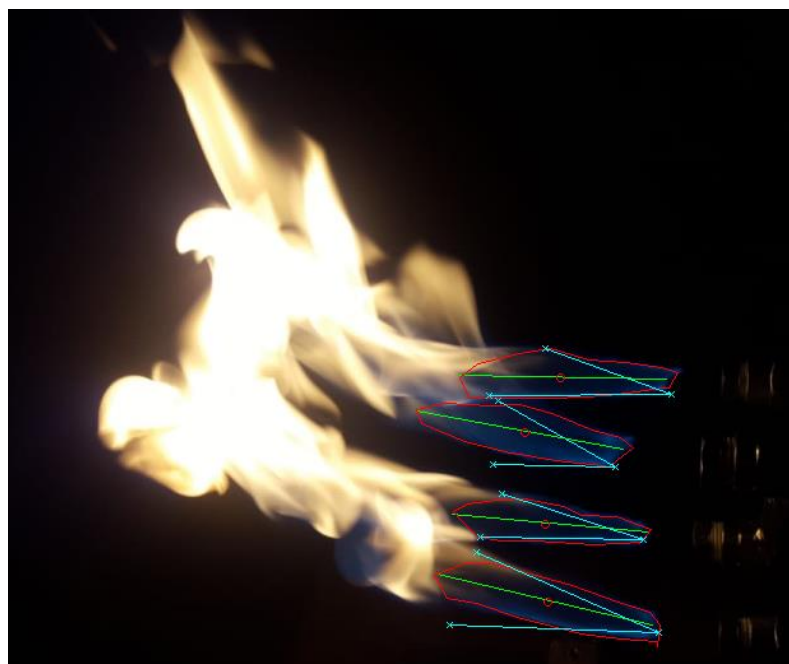
Measurements list						
Measurem...	Area	Perime...	Length	Angle	Radius	Unit
Unit			389,603			pix...
Length			14,677			cm
Length			13,963			cm
Length			11,898			cm
Length			15,227			cm
Area	40,514	33,243	15,242			cm
Area	41,792	32,131	14,265			cm
Area	28,555	26,963	12,496			cm
Area	43,163	29,485	12,829			cm
Angle				11,632		
Angle				19,130		
Angle				18,915		
Angle				25,821		

Statistics						
Tool	Measure	n	Mean	SD	Min	Max
Length	Length	4	13,9415	1,4571	11,898	15,227
Angle	Angle	4	18,8747	5,7960	11,632	25,821
Area	Area	4	38,5060	6,7219	28,555	43,163
	Perimeter	4	30,4553	2,8118	26,963	33,243
	Length	4	13,7081	1,2786	12,496	15,242

Figura 3. 22 Longitud, área y ángulos de llama a la salida de cada inyector a potencia baja. [Autores]

- **Potencia media: 1.45 psi**

Se pudo determinar en la Figura 3.23, el análisis de longitud, área y los ángulos de llama azul en la salida de los 4 inyectores a potencia media de 1.45 psi; al triplicar la presión el área azul se redujo un 50%, mientras que el área amarillase incremento, dando como resultado una longitud que va entre los 9.7 cm a 10.8 cm, sus áreas están entre 14.5 cm^2 a 21.2 cm^2 , además los ángulos de llama azul están entre 17° a 28.2° .



Measurements list						
Measurem...	Area	Perime...	Length	Angle	Radius	Unit
Unit			318,908			pix...
Length			10,878			cm
Length			9,702			cm
Length			10,297			cm
Length			10,286			cm
Area	21,213	25,098	11,523			cm
Area	14,552	20,956	9,760			cm
Area	18,831	22,913	10,826			cm
Area	18,273	22,991	10,727			cm
Angle				21,681		
Angle				17,074		
Angle				28,282		
Angle				20,384		

Statistics						
Tool	Measure	n	Mean	SD	Min	Max
Length	Length	4	10,2908	0,4800	9,702	10,878
Angle	Angle	4	21,8553	4,7034	17,074	28,282
Area	Area	4	18,2173	2,7560	14,552	21,213
	Perimeter	4	22,9893	1,6919	20,956	25,098
	Length	4	10,7091	0,7250	9,760	11,523

Figura 3. 23 Análisis de longitud área y perímetro de llama azul a potencia baja. [Autores]

• Análisis de llama

Se dio como resultado que la potencia baja de 0.5 psi es la mejor opción, debido a los resultados evidenciados en la Tabla 3.23, la longitud y área de llama azul es más grande a comparación con los análisis a una potencia media, de igual forma al aumentar la presión a 1.45 psi el área de llama amarilla se duplica.

Por lo tanto, el quemador a presión de 0.5 psi presenta una cantidad mínima de inquemados lo que beneficia en su eficiencia y calor de aire útil.

Tabla 3. 23 Características de llama azul a potencia baja y media. [Autores]

CARACTERISTICAS DE LLAMA			
PRESIÓN BAJA (0.5 psi)		PRESIÓN MEDIA (1.45 psi)	
Llama Azul		Llama Azul	
Longitud	11.8 a 15.2 cm	Longitud	9.7 a 10.8 cm
Área	28.5 a 43.1 cm^2	Área	14.5 a 21,2 cm^2

3.10 Manual de mantenimiento

Revisión mecánica

- Revisión de inyectores de GLP
- Revisión del tren de llama (Accesorios Galvanizados).

- Revisión de cilindro de fuego
- Revisión visor de llama

Revisión neumática

- Válvula esférica
- Válvula de paso aire esférica
- Manguera neumática

Revisión térmica

- Revisión de aislamiento de lana de vidrio
- Revisión de tablero de fibra de cerámica
- Tubo de cerámica alúmina
- Revisión manguera de gas

Revisión superficial

- Revisión de acabado superficial (pintura)

Tabla 3. 24 Manual de mantenimiento para accesorios tren de llama. [Autores]


REVISIÓN MECÁNICA-ACCESORIOS TREN DE LLAMA	
EQUIPO: QUEMADOR DE GLP	
COMPONENTES: ACCESORIOS GALVANIZADOS	
<ul style="list-style-type: none"> • Desmontar los codos, neplos, neplos perdidos, uniones, uniones en T, uniones en cruz y limpiar las impurezas internas, verificar su desgaste, sólo de ser necesario cambiar los accesorios. • Volver a montar los accesorios colocando teflón. Es recomendable no usar grasa o líquidos selladores. Se debe tener cuidado de no dañar la rosca de los accesorios. • Se recomienda apretar fuertemente todos los accesorios para evitar fugas de aire y gas. 	
	
TIEMPO: 1.5 HORAS FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO: BIMESTRAL	

Tabla 3. 25 Manual de mantenimiento para inyectores de GLP. [Autores]

REVISIÓN MECÁNICA-INYECTORES DE GLP	
EQUIPO: QUEMADOR DE GLP	
COMPONENTES: INYECTORES	
<ul style="list-style-type: none"> • Limpiar las impurezas, escorias internas de los inyectores, verificar su desgaste, sólo de ser necesario cambiar los inyectores. • Volver a montar los inyectores colocando teflón. Es recomendable no usar grasa o líquidos selladores. Se debe tener cuidado de no dañar la rosca del inyector. Se recomienda no sobrepasar el apriete máximo permitido por la llave al colocar el inyector. 	
	
TIEMPO: 1 HORA FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO: MENSUAL	

Tabla 3. 26 Manual de mantenimiento para cilindro de fuego. [Autores]

REVISIÓN MECÁNICA-CILINDRO DE FUEGO	
EQUIPO: QUEMADOR DE GLP	
COMPONENTES: CILINDRO DE FUEGO	
<ul style="list-style-type: none"> • Limpiar las impurezas, escorias internas de los inyectores, verificar sus desgastes, sólo de ser necesario cambiar los inyectores. • Volver a montar los inyectores colocando teflón. Es recomendable no usar grasa o líquidos selladores. Se debe tener cuidado de no dañar la rosca del inyector. Se recomienda no sobrepasar el apriete máximo permitido por la llave al colocar el inyector. 	
	
TIEMPO: 3 HORAS FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO: SEMESTRAL	

Tabla 3. 27 Manual de mantenimiento para visor de llama. [Autores]

REVISIÓN MECÁNICA-VISOR DE LLAMA
EQUIPO: QUEMADOR DE GLP
COMPONENTES: VISOR DE LLAMA
<ul style="list-style-type: none"> • Aflojar el tornillo que sujeta el vidrio templado utilizando un destornillador tipo estrella. • Revisar desgaste, rayones y fisuras en el vidrio que impidan la visualización de la llama. • Limpiar con alcohol y guaipe todo el contorno del vidrio. Sólo si es necesario cambiar el vidrio templado. • Volver a montar el vidrio con su respectivo tornillo de sujeción.

TIEMPO: 30 MINUTOS FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO: SEMESTRAL

Tabla 3. 28 Manual de mantenimiento para válvula de aire. [Autores]


REVISIÓN MECÁNICA-VÁLVULA ESFÉRICA
EQUIPO: QUEMADOR DE GLP
COMPONENTES: VÁLVULA ESFÉRICA
<ul style="list-style-type: none"> • Revisar impurezas, escoria y pedazos de teflón en su interior. • Volver a montar la válvula utilizando teflón. Se recomienda realizar el apriete suavemente para evitar deformaciones y fracturas en la llave de apertura y cierre de aire.

TIEMPO: 1 HORA FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO: BIMESTRAL

Tabla 3. 29 Manual de mantenimiento para asilamiento con lana de vidrio. [Autores]

REVISIÓN MECÁNICA-AISLAMIENTO CON LANA DE VIDRIO	
EQUIPO: QUEMADOR DE GLP	
COMPONENTES: AISLAMIENTO CON LANA DE VIDRIO	
<ul style="list-style-type: none"> • Aflojar los tornillos del anillo de refuerzo del cilindro para poder separarlo en dos partes. • Verificar que la fibra de vidrio no tenga algún tipo de fisura o desgaste por las altas temperaturas emitidas por el quemador. • Volver a montar los cilindros de fuego con su respectivo anillo de refuerzo. 	
	
TIEMPO: 3 HORAS FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO: SEMESTRAL	

Tabla 3. 30 Manual de mantenimiento para pintura. [Autores]

REVISIÓN MECÁNICA-PINTURA	
EQUIPO: QUEMADOR DE GLP	
COMPONENTES: CILINDRO DE FUEGO Y ESTRUCTURA	
<ul style="list-style-type: none"> • Aflojar los pernos de las placas de sujeción del cilindro, el anillo de refuerzo y desmontarlo en dos partes. • Aflojar los pernos de sujeción de las abrazaderas y retirar el tren de llama del quemador. • Revisar manchas, falla de brillo, descaacaciones, agrietamientos e incluso señales de oxidación. • Lijar y limpiar con thinner el contorno de los cilindros y estructura del quemador y volver a pintar. 	
	
TIEMPO: 4 HORAS FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO: ANUAL	

3.11 Presupuesto final

Para la realización de este proyecto se detalla a continuación el presupuesto generado para la construcción del quemador de GLP de baja potencia.

➤ Materiales

Tabla 3. 31 Costo de la estructura de la base. [Autores]

SISTEMA MECÁNICO			
Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio total (\$)
Plancha de Tol galvanizado 1220x2440; e=1 mm	2	29.7	59.4
Tubo cuadrado galvanizado 30x30x2	1	17.4	17.4
Angulo acero negro 1/2x1/4	1	4.8	4.8
Platina Inoxidable AISI 304; 3/4x1/8	1	16.3	16,3
Platina Inoxidable AISI 304; 40x2 mm de espesor	1	31	31
Platina acero negro 1/2x1/8	1	2.3	2.3
Pernos inoxidables M6x25	4	0.15	0.6
Rodelas inoxidables planas 6 mm	4	0.03	0.12
Tuercas inoxidables M6	4	0.03	0.12
Rodela de presión 6 mm	4	0.03	0.12
Tornillo triple pato cabeza de hongo 8x1/2	10	0.01	0.1
Tornillo M5x50	19	0.05	0.95
Tuerca M5	57	0.02	1.14
Tuerca galvanizada 1/2"	2	0.09	0.18
Perno galvanizado 1/2"x3"	2	0.3	0.6
Electrodo AGA 6011x1/8	3	1.65	4.95
Electrodo E310-16; 2,6∅x300 mm	3	3.8	11.4
Garrucha giratoria con ruedas de 3"	4	6.9	27.6
Subtotal			179.08

Tabla 3. 32 Costo del quemador. [Autores]

SISTEMA TÉRMICO			
Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Plancha de lana de vidrio/Aluminio 1,20x0,60	2	7.8	15.6
Vidrio de visor de llama	2	24	48
Tablero de fibra cerámica	2	28	56

Tubo de cerámica alúmina Ø 45 mm	2	20	40
Alquiler cámara termográfica	1	200	200
Válvula esférica 1/4"	1	4.5	4.5
Racord a 90° con rosca NPT 1/2" para manguera M8	1	1.8	1.8
Válvula de paso esférica de 1/4"	1	4	4
Acople de bronce macho con rosca NPT 1/4" con superficie estriada para manguera de caucho 5/16	1	4,35	4,35
Reductor de 1" a 1/2"	1	0.62	0.62
Bushing 1/4"x1/2"	2	0.35	0.7
Unión galvanizada 1/2"	1	0.34	0.34
Neplo Galvanizado 1/2"x2	3	0.39	1.17
Codo Galvanizado a 90° 1/2 "	1	0.4	0.4
Acople en T galvanizado 1/2"	1	0.57	0.57
Tapón macho galvanizado 1/2"	3	0.31	0.93
Universal galvanizada 1/2"	1	1.55	1.55
Abrazadera 1/2" doble	2	0.8	1.6
Acople en cruz galvanizada 1/2"	1	1.4	1.4
Teflón	1	0.54	0,54
Ventilador	1	70	70
Soplador	1	45	45
Manguera de gas 5/16; L=3000	3	1.9	5.7
Manguera neumática M8; L=3000	3	0.88	2,64
Subtotal			507.41

Tabla 3. 33 Costo elementos normalizados de alta presión. [Autores]

ACOPLES DE ALTA PRESIÓN			
Material	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio total (\$)
Acople en cruz 8FP 1/2"	1	6.2	6.2
Codo 8MP 90° 1/2"	4	2.5	10
Neplo B-109 1/2"	4	1.8	7.2
Unión 8FP 1/2"	2	1.65	3.3
Tapón macho 1042 8MP 1/2"	5	1,4	7
TEE hembra acero 1/2"	1	3.8	3,8
Subtotal			37.5

Tabla 3. 34 Costo total del quemador. [Autores]

COSTO DEL QUEMADOR	VALOR (\$)
Costo de materiales	723.99
Mano de obra	800
TOTAL	1523.99

Tabla 3. 35 Costo total de proyecto. [Autores]

COSTO TOTAL DEL PROYECTO	
Descripción	Valor (\$)
Pasajes	120
Alimentación	150
Material de papelería	150
Imprevistos	150
Costo total del quemador	1523.99
TOTAL	2093.99

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Para seleccionar la mejor alternativa de diseño, se tomaron en cuenta varios criterios como: costo, rendimiento, característica de llama y su facilidad para ser trasladado, siendo la mejor alternativa un quemador de mezcla previa “pre-mezcla”, utilizando aire primario inyectado mediante un compresor, además utiliza aire secundario del ambiente, al realizarse la pre-mezcla mejora considerablemente la combustión, disminuyendo la presencia de gases, hollín y elevando su rendimiento, mejorando notablemente las características de llama que se forma.
- Se realizó la selección de materiales apropiados para transportar GLP desde el cilindro hasta el quemador donde se realiza la combustión, utilizando neplos de acero galvanizado de ½ pulgada, tomando en cuenta sus características anticorrosivas, estos se acoplan mediante uniones roscadas a los cuales se les colocó compuestos anaeróbicos no endurecibles facilitando su mantenimiento, en la llama producida existe presencia mínima de humedad por tal motivo el cilindro de fuego se fabricó de acero galvanizado por su gran resistencia a la corrosión, además como material aislante se utilizó lana de vidrio por su flexibilidad y resistencia a altas temperaturas, conjuntamente se empleó un tablero de fibra cerámica debido a su resistencia corrosiva, facilidad de mecanizar y cortar, soportando temperaturas de hasta 1000°C y choques térmicos, para el visor de llama se utilizó un tubo cerámico de alúmina que soporta temperaturas de fusión de 1800°C y un vidrio templado el cual soporta temperaturas de hasta 700°C.
- Debido al peso que soporta la estructura del quemador se utilizó perfiles cuadrados (30x30x2), la misma que sufre una deflexión de 0.015747 mm, adicionalmente se diseñó los inyectores utilizando como referencia (Lorenzo Becco), con un diámetro de 1mm se esperó obtener 13.92 kW de calor útil, aunque finalmente el valor obtenido es de 10.98 kW.
- Para evaluar el correcto funcionamiento del quemador se comparó la generación de llama, utilizando cañones de fuego de distinto diámetro, las primeras pruebas realizadas se hizo con un cañón de 28 cm de diámetro obteniendo mayor cantidad

de llama amarilla, sin embargo, los mejores resultados se presentaron al utilizar un cañón de diámetro de 32 cm, además en pruebas preliminares se utilizó inyectores de 0.6 mm de diámetro obteniendo una longitud de llama corta mientras que al incrementar su diámetro a 1 mm se obtuvo una longitud de llama aceptable.

- Analizando termográficamente, se mostró una creciente exponencial en el comportamiento de las temperaturas de la llama en el quemador, la temperatura se incrementa dependiendo del tiempo que permanezca encendido el quemador, a una presión de 0.5 psi se obtuvo temperaturas de 91,2°C hasta 352,1°C, mientras que al encender el quemador a una presión mayor de 1.45 psi, tenemos la misma distribución en la curva pero las temperaturas se incrementan obteniendo temperaturas de 91,4°C hasta 362°C, es decir a mayor presión mayor temperatura.
- Se analizó la forma y color de llama del quemador mediante la utilización del software, partiendo de un tiempo de 5 minutos de combustión hasta llegar a un tiempo máximo de 17 minutos a una potencia baja de 0.5 psi, alcanzando un rango de funcionamiento óptimo debido a los resultados obtenidos en su longitud de llama azul entre 11.8 a 15.2 cm, área de 28.5 a 43.1 a cm^2 y un ángulo de llama entre 11.6° a 25.8°, además se evidenció la presencia mínima de inquemados lo que beneficia la eficiencia y poder calorífico del quemador de GLP.
- Se cuantificó la eficiencia del quemador en un 70.7% aprovechando 7.8 kW de los 10.97 kW que ingresan en el quemador, para lo cual se calculó pérdidas por transferencia de calor y por la presencia de inquemados sólidos de 11.7 % (1.29 kW), además de pérdidas no cuantificadas, perdidas de calor que sale por la parte posterior del quemador de 17.6% (1.93 kW), este flujo de aire caliente aprovechado, será de utilidad para realizar secado agroindustrial.

4.2 Recomendaciones

- Realizar la construcción del quemador de GLP en un taller mecánico que posea de máquinas y herramientas que cumpla y garantice la correcta fabricación del quemador, además que la soldadura en la estructura del quemador debe certificar que soportara los esfuerzos ejercidos por el quemador.
- Es importante purgar antes de encender el quemador, ya que en el tren de llama suele existir aire y residuos de gas lo que ocasiona al momento de poner en marcha una drástica salida de llama.

- En la cámara termográfica se debe seleccionar correctamente la emisividad (0.7) según el material y recubrimiento que se va a medir, para lo cual existe un manual donde podemos encontrar una tabla de emisividades de diferentes materiales.
- Al momento de realizar las mediciones termográficas hay que tomar en cuenta la distancia de separación entre el operario y quemador, es recomendable realizar las mediciones a 1 m de distancia para obtener un alto enfoque y medidas correctas.
- Al instante de ejecutar pruebas termográficas en el quemador, es recomendable utilizar una tela de lana de vidrio sobre el cilindro del quemador, debido a que refleja la luz del sol y corporal lo que podría ocasionar la obtención de mediciones de temperatura erráticas.
- Para evitar accidentes del operario al momento de encender el quemador, se debe verificar que a sus alrededores no existan materiales inflamables que puedan ocasionar incendios, explosiones etc.
- Evitar golpes bruscos en el visor de llama ya que este podría tender a fisurarse debido a las altas temperaturas que este está sometido durante el funcionamiento del quemador.
- El operario debe utilizar protecciones de seguridad para evitar quemaduras.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Ruz, «Diseño, Construcción y pruebas de un quemador de gas,» Octubre 2008. [En línea]. Available: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103287/ruz_a.pdf?sequence=3&isAllowed=y. [Último acceso: 28 Junio 2019].
- [2] J. C. Serrano y Y. A. Carranza, «ANÁLISIS TEÓRICO DE LA COMBUSTIÓN EN QUEMADORES DE GAS NATURAL,» *Scientia et Technica*, vol. 3, n° 29, p. 5, 2005.
- [3] D. Espín y R. Méndez, «DISEÑO DE UN QUEMADOR INDUSTRIAL DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO PARA SECADO DE GRANO DE MAÍZ,» Agosto 2013. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6648/1/CD-5029.pdf>. [Último acceso: 28 Junio 2019].
- [4] J. Tibaquirá, M. Carmona y A. Acosta, «DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN QUEMADOR DE ACPM DE ALTA PRESION TIPO CAÑÓN,» *Scientia et Technica*, vol. 2, n° 22, p. 6, 2003.
- [5] J. Agudelo Gómez y W. Salinas Blanco, «ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE QUEMADORES DE PREMEZCLACION AIRE INDUCTOR, PARA SU APLICACIÓN A LA PEQUEÑA Y MEDIANA INDUSTRIA EN COLOMBIA,» 2010. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/21818823-Estudio-teorico-experimental-de-quemadores-de-premezcla-con-aire-inductor-para-su-aplicacion-a-la-pequena-y-mediana-industria-en-colombia.html>. [Último acceso: 25 Junio 2019].
- [6] J. Holman, Transferencia de calor, Octava ed., Madrid: Mc Graw Hill, 1999.
- [7] F. P. Incropera y D. P. De Witt, Fundamentos de Transferencia de Calor, Cuarta ed., México: Pearson, 1999.
- [8] Y. A. Cengel y A. J. Ghajar, TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA, Cuarta ed., México: Mc Graw Hill, 2011.
- [9] J. Dominguez Cerdeira, «Guía Básica Calderas Industriales Eficientes,» 2012. [En línea]. Available: http://recursosbiblio.url.edu.gt/publicjlg/biblio_sin_paredes/fac_ing/Quimica/cald_efi_indus.pdf?fbclid=IwAR0GtpGN_VTfDatoXxT92YR1pv4ek7BRDo-dI4i-Qd8WejCwZwmEIRvZIWU. [Último acceso: 16 Junio 2019].
- [10] A. Sanchez, Análisis térmico para evaluar eficiencia en un calderín pirotubular de BHP del laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica, Ambato: Tesis, 2018.

- [11] Z. Cedeño y M. Villacrés, ESTIMACIÓN DEL PERJUICIO AL ESTADO CAUSADO POR EL SUBSIDIO OTORGADO AL CONSUMO DEL GAS LICUADO DE PETRÓLEO O GLP EN EL ECUADOR Y LA INCIDENCIA DE SU COMERCIO IRREGULAR HACIA COLOMBIA Y PERÚ, Quito: Tesis, 2013.
- [12] D. Venegas y C. Ayabaca, Instalaciones de gas licuado de petróleo, Madrid: Académica Española, 2017.
- [13] V. Rivero, ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL DE LOS AISLAMIENTOS TÉRMICOS EN LA CONSTRUCCIÓN, Coruña: Tesis, 2016.
- [14] P. Tipler, Física Preuniversitaria, vol. 1, Barcelona: REVERTÉ, S.A, 2006.
- [15] J. Barat Baviera, A. Albors Sorolla, P. Fito Maupoey y A. Grau, Introducción al secado de alimentos por aire caliente, Valencia: Universidad Politecnica de Valencia, 2001.
- [16] E. Brizuela y J. C. Loza, «International Combustion RoBTAS Low NOx burner,» Buenos Aires, 2003.
- [17] J. Lorenzo Becco, Manual del Gasista, vol. 15, Madrid, 1980.
- [18] M. Márquez Martínez, Combustión y Quemadores, España: Pol Creuheras, 2005.
- [19] «COMBUSTION,QUEMADORES,CONTROLES Y SISTEMAS DE SEGURIDAD DE LLAMA,» [En línea]. Available: http://recursosbiblio.url.edu.gt/publicjlg/biblio_sin_paredes/fac_ing/Manu_cald/cap/11.pdf. [Último acceso: Junio 2019].
- [20] TESTO AG, «Termografía guia de bolsillo,» Septiembre 2008. [En línea]. Available: http://www.ait-orsenor.com/testo_guia.pdf. [Último acceso: Junio 2019].
- [21] D. Venegas, C. Ayabaca, S. Celi, J. Rocha y E. Mena, «Factores para seleccionar tuberías de conducción de gas licuado de petróleo,» *Ingenius*, nº 19, 2018.
- [22] M. Velásquez, Materiales aislantes sostenibles, Badajoz: Tesis, 2015.
- [23] E. Rocha, Introducción a los materiales cerámicos, México: UAM-Azcapotztlco, 2004.
- [24] J. N. R. Budynas, "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley", Mc Graw Hill, Mexico, 2010.

ANEXOS

Anexo A-1: Determinar conductividad térmica, viscosidad cinemática y número de Prandtl.

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Anexo A-2: Entalpía de deformación

TABLA A-26

Entalpía de formación, función de Gibbs de formación y entropía absoluta a 25°C, 1 atm

Sustancia	Fórmula	\bar{h}_f° kJ/kmol	\bar{g}_f° kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol · K
Acetileno	$C_2H_2(g)$	+226,730	+209,170	200.85
Agua	$H_2O(\ell)$	-285,830	-237,180	69.92
Alcohol etílico	$C_2H_5OH(g)$	-235,310	-168,570	282.59
Alcohol etílico	$C_2H_5OH(\ell)$	-277,690	-174,890	160.70
Alcohol metílico	$CH_3OH(g)$	-200,670	-162,000	239.70
Alcohol metílico	$CH_3OH(\ell)$	-238,660	-166,360	126.80
Amoniaco	$NH_3(g)$	-46,190	-16,590	192.33
Benceno	$C_6H_6(g)$	+82,930	+129,660	269.20
<i>n</i> -butano	$C_4H_{10}(g)$	-126,150	-15,710	310.12
Carbón	$C(s)$	0	0	5.74
Dióxido de carbono	$CO_2(g)$	-393,520	-394,360	213.80
<i>n</i> -dodecano	$C_{12}H_{26}(g)$	-291,010	+50,150	622.83
Etano	$C_2H_6(g)$	-84,680	-32,890	229.49
Etileno	$C_2H_4(g)$	+52,280	+68,120	219.83
Hidrógeno	$H_2(g)$	0	0	130.68
Hidrógeno	$H(g)$	+218,000	+203,290	114.72
Hidróxilo	$OH(g)$	+39,460	+34,280	183.70
Metano	$CH_4(g)$	-74,850	-50,790	186.16
Monóxido de carbono	$CO(g)$	-110,530	-137,150	197.65
Nitrógeno	$N_2(g)$	0	0	191.61
Nitrógeno	$N(g)$	+472,650	+455,510	153.30
<i>n</i> -octano	$C_8H_{18}(g)$	-208,450	+16,530	466.73
<i>n</i> -octano	$C_8H_{18}(\ell)$	-249,950	+6,610	360.79
Oxígeno	$O_2(g)$	0	0	205.04
Oxígeno	$O(g)$	+249,190	+231,770	161.06
Peróxido de hidrógeno	$H_2O_2(g)$	-136,310	-105,600	232.63
Propano	$C_3H_8(g)$	-103,850	-23,490	269.91
Propileno	$C_3H_6(g)$	+20,410	+62,720	266.94
Vapor de agua	$H_2O(g)$	-241,820	-228,590	188.83

Anexo A-3: Propiedades del oxígeno.

TABLA A-19

Propiedades de gas Ideal del oxígeno, O₂

<i>T</i> K	\bar{h} kJ/kmol	u kJ/kmol	s° kJ/kmol · K	<i>T</i> K	\bar{h} kJ/kmol	u kJ/kmol	s° kJ/kmol · K
0	0	0	0	600	17,929	12,940	226.346
220	6,404	4,575	196.171	610	18,250	13,178	226.877
230	6,694	4,782	197.461	620	18,572	13,417	227.400
240	6,984	4,989	198.696	630	18,895	13,657	227.918
250	7,275	5,197	199.885	640	19,219	13,898	228.429
260	7,566	5,405	201.027	650	19,544	14,140	228.932
270	7,858	5,613	202.128	660	19,870	14,383	229.430
280	8,150	5,822	203.191	670	20,197	14,626	229.920
290	8,443	6,032	204.218	680	20,524	14,871	230.405
298	8,682	6,203	205.033	690	20,854	15,116	230.885
300	8,736	6,242	205.213	700	21,184	15,364	231.358
310	9,030	6,453	206.177	710	21,514	15,611	231.827
320	9,325	6,664	207.112	720	21,845	15,859	232.291
330	9,620	6,877	208.020	730	22,177	16,107	232.748
340	9,916	7,090	208.904	740	22,510	16,357	233.201
350	10,213	7,303	209.765	750	22,844	16,607	233.649
360	10,511	7,518	210.604	760	23,178	16,859	234.091
370	10,809	7,733	211.423	770	23,513	17,111	234.528
380	11,109	7,949	212.222	780	23,850	17,364	234.960
390	11,409	8,166	213.002	790	24,186	17,618	235.387
400	11,711	8,384	213.765	800	24,523	17,872	235.810
410	12,012	8,603	214.510	810	24,861	18,126	236.230
420	12,314	8,822	215.241	820	25,199	18,382	236.644
430	12,618	9,043	215.955	830	25,537	18,637	237.055
440	12,923	9,264	216.656	840	25,877	18,893	237.462
450	13,228	9,487	217.342	850	26,218	19,150	237.864
460	13,525	9,710	218.016	860	26,559	19,408	238.264
470	13,842	9,935	218.676	870	26,899	19,666	238.660
480	14,151	10,160	219.326	880	27,242	19,925	239.051
490	14,460	10,386	219.963	890	27,584	20,185	239.439
500	14,770	10,614	220.589	900	27,928	20,445	239.823
510	15,082	10,842	221.206	910	28,272	20,706	240.203
520	15,395	11,071	221.812	920	28,616	20,967	240.580
530	15,708	11,301	222.409	930	28,960	21,228	240.953
540	16,022	11,533	222.997	940	29,306	21,491	241.323
550	16,338	11,765	223.576	950	29,652	21,754	241.689
560	16,654	11,998	224.146	960	29,999	22,017	242.052
570	16,971	12,232	224.708	970	30,345	22,280	242.411
580	17,290	12,467	225.262	980	30,692	22,544	242.768
590	17,609	12,703	225.808	990	31,041	22,809	242.120

Anexo A-4: Propiedades del nitrógeno.

TABLA A-18							
Propiedades de gas ideal del nitrógeno, N ₂							
T	\bar{h}	u	s°	T	\bar{h}	u	s°
K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/kmol · K	K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/kmol · K
0	0	0	0	600	17,563	12,574	212.066
220	6,391	4,562	182.639	610	17,864	12,792	212.564
230	6,683	4,770	183.938	620	18,166	13,011	213.055
240	6,975	4,979	185.180	630	18,468	13,230	213.541
250	7,266	5,188	186.370	640	18,772	13,450	214.018
260	7,558	5,396	187.514	650	19,075	13,671	214.489
270	7,849	5,604	188.614	660	19,380	13,892	214.954
280	8,141	5,813	189.673	670	19,685	14,114	215.413
290	8,432	6,021	190.695	680	19,991	14,337	215.866
298	8,669	6,190	191.502	690	20,297	14,560	216.314
300	8,723	6,229	191.682	700	20,604	14,784	216.756
310	9,014	6,437	192.638	710	20,912	15,008	217.192
320	9,306	6,645	193.562	720	21,220	15,234	217.624
330	9,597	6,853	194.459	730	21,529	15,460	218.059
340	9,888	7,061	195.328	740	21,839	15,686	218.472
350	10,180	7,270	196.173	750	22,149	15,913	218.889
360	10,471	7,478	196.995	760	22,460	16,141	219.301
370	10,763	7,687	197.794	770	22,772	16,370	219.709
380	11,055	7,895	198.572	780	23,085	16,599	220.113
390	11,347	8,104	199.331	790	23,398	16,830	220.512
400	11,640	8,314	200.071	800	23,714	17,061	220.907
410	11,932	8,523	200.794	810	24,027	17,292	221.298
420	12,225	8,733	201.499	820	24,342	17,524	221.684
430	12,518	8,943	202.189	830	24,658	17,757	222.067
440	12,811	9,153	202.863	840	24,974	17,990	222.447
450	13,105	9,363	203.523	850	25,292	18,224	222.822
460	13,399	9,574	204.170	860	25,610	18,459	223.194
470	13,693	9,786	204.803	870	25,928	18,695	223.562
480	13,988	9,997	205.424	880	26,248	18,931	223.927
490	14,285	10,210	206.033	890	26,568	19,168	224.288
500	14,581	10,423	206.630	900	26,890	19,407	224.647
510	14,876	10,635	207.216	910	27,210	19,644	225.002
520	15,172	10,848	207.792	920	27,532	19,883	225.353
530	15,469	11,062	208.358	930	27,854	20,122	225.701
540	15,766	11,277	208.914	940	28,178	20,362	226.047
550	16,064	11,492	209.461	950	28,501	20,603	226.389
560	16,363	11,707	209.999	960	28,826	20,844	226.728
570	16,662	11,923	210.528	970	29,151	21,086	227.064
580	16,962	12,139	211.049	980	29,476	21,328	227.398
590	17,262	12,356	211.562	990	29,803	21,571	227.728

Anexo A-5: Propiedades del dióxido de carbono.

TABLA A-20

Propiedades de gas ideal del dióxido de carbono, CO₂

<i>T</i> K	\bar{h} kJ/kmol	\bar{u} kJ/kmol	s° kJ/kmol · K	<i>T</i> K	\bar{h} kJ/kmol	\bar{u} kJ/kmol	s° kJ/kmol · K
0	0	0	0	600	22,280	17,291	243.199
220	6,601	4,772	202.966	610	22,754	17,683	243.983
230	6,938	5,026	204.464	620	23,231	18,076	244.758
240	7,280	5,285	205.920	630	23,709	18,471	245.524
250	7,627	5,548	207.337	640	24,190	18,869	246.282
260	7,979	5,817	208.717	650	24,674	19,270	247.032
270	8,335	6,091	210.062	660	25,160	19,672	247.773
280	8,697	6,369	211.376	670	25,648	20,078	248.507
290	9,063	6,651	212.660	680	26,138	20,484	249.233
298	9,364	6,885	213.685	690	26,631	20,894	249.952
300	9,431	6,939	213.915	700	27,125	21,305	250.663
310	9,807	7,230	215.146	710	27,622	21,719	251.368
320	10,186	7,526	216.351	720	28,121	22,134	252.065
330	10,570	7,826	217.534	730	28,622	22,522	252.755
340	10,959	8,131	218.694	740	29,124	22,972	253.439
350	11,351	8,439	219.831	750	29,629	23,393	254.117
360	11,748	8,752	220.948	760	20,135	23,817	254.787
370	12,148	9,068	222.044	770	30,644	24,242	255.452
380	12,552	9,392	223.122	780	31,154	24,669	256.110
390	12,960	9,718	224.182	790	31,665	25,097	256.762
400	13,372	10,046	225.225	800	32,179	25,527	257.408
410	13,787	10,378	226.250	810	32,694	25,959	258.048
420	14,206	10,714	227.258	820	33,212	26,394	258.682
430	14,628	11,053	228.252	830	33,730	26,829	259.311
440	15,054	11,393	229.230	840	34,251	27,267	259.934
450	15,483	11,742	230.194	850	34,773	27,706	260.551
460	15,916	12,091	231.144	860	35,296	28,125	261.164
470	16,351	12,444	232.080	870	35,821	28,588	261.770
480	16,791	12,800	233.004	880	36,347	29,031	262.371
490	17,232	13,158	233.916	890	36,876	29,476	262.968
500	17,678	13,521	234.814	900	37,405	29,922	263.559
510	18,126	13,885	235.700	910	37,935	30,369	264.146
520	18,576	14,253	236.575	920	38,467	30,818	264.728
530	19,029	14,622	237.439	930	39,000	31,268	265.304
540	19,485	14,996	238.292	940	39,535	31,719	265.877
550	19,945	15,372	239.135	950	40,070	32,171	266.444
560	20,407	15,751	239.962	960	40,607	32,625	267.007
570	20,870	16,131	240.789	970	41,145	33,081	267.566
580	21,337	16,515	241.602	980	41,685	33,537	268.119
590	21,807	16,902	242.405	990	42,226	33,995	268.670

Anexo A-6: Propiedades del vapor de agua

TABLA A-23

Propiedades de gas Ideal del vapor de agua, H₂O

T K	\bar{h} kJ/kmol	a kJ/kmol	s° kJ/kmol · K	T K	\bar{h} kJ/kmol	a kJ/kmol	s° kJ/kmol · K
0	0	0	0	600	20,402	15,413	212.920
220	7,295	5,466	178.576	610	20,765	15,693	213.529
230	7,628	5,715	180.054	620	21,130	15,975	214.122
240	7,961	5,965	181.471	630	21,495	16,257	214.707
250	8,294	6,215	182.831	640	21,862	16,541	215.285
260	8,627	6,466	184.139	650	22,230	16,826	215.856
270	8,961	6,716	185.399	660	22,600	17,112	216.419
280	9,296	6,968	186.616	670	22,970	17,399	216.976
290	9,631	7,219	187.791	680	23,342	17,688	217.527
298	9,904	7,425	188.720	690	23,714	17,978	218.071
300	9,966	7,472	188.928	700	24,088	18,268	218.610
310	10,302	7,725	190.030	710	24,464	18,561	219.142
320	10,639	7,978	191.098	720	24,840	18,854	219.668
330	10,976	8,232	192.136	730	25,218	19,148	220.189
340	11,314	8,487	193.144	740	25,597	19,444	220.707
350	11,652	8,742	194.125	750	25,977	19,741	221.215
360	11,992	8,998	195.081	760	26,358	20,039	221.720
370	12,331	9,255	196.012	770	26,741	20,339	222.221
380	12,672	9,513	196.920	780	27,125	20,639	222.717
390	13,014	9,771	197.807	790	27,510	20,941	223.207
400	13,356	10,030	198.673	800	27,896	21,245	223.693
410	13,699	10,290	199.521	810	28,284	21,549	224.174
420	14,043	10,551	200.350	820	28,672	21,855	224.651
430	14,388	10,813	201.160	830	29,062	22,162	225.123
440	14,734	11,075	201.955	840	29,454	22,470	225.592
450	15,080	11,339	202.734	850	29,846	22,779	226.057
460	15,428	11,603	203.497	860	30,240	23,090	226.517
470	15,777	11,869	204.247	870	30,635	23,402	226.973
480	16,126	12,135	204.982	880	31,032	23,715	227.426
490	16,477	12,403	205.705	890	31,429	24,029	227.875
500	16,828	12,671	206.413	900	31,828	24,345	228.321
510	17,181	12,940	207.112	910	32,228	24,662	228.763
520	17,534	13,211	207.799	920	32,629	24,980	229.202
530	17,889	13,482	208.475	930	33,032	25,300	229.637
540	18,245	13,755	209.139	940	33,436	25,621	230.070
550	18,601	14,028	209.795	950	33,841	25,943	230.499
560	18,959	14,303	210.440	960	34,247	26,265	230.924
570	19,318	14,579	211.075	970	34,653	26,588	231.347
580	19,678	14,856	211.702	980	35,061	26,913	231.767
590	20,039	15,134	212.320	990	35,472	27,240	232.184

Anexo A-7: Propiedades atmosféricas a gran altitud

TABLA A-16

Propiedades de la atmósfera a gran altitud

Altitud, m	Temperatura, °C	Presión, kPa	Gravedad g, m/s ²	Velocidad del sonido, m/s	Densidad, kg/m ³	Viscosidad μ , kg/m · s	Conductivi- dad térmica, W/m · K
0	15.00	101.33	9.807	340.3	1.225	1.789×10^{-5}	0.0253
200	13.70	98.95	9.806	339.5	1.202	1.783×10^{-5}	0.0252
400	12.40	96.61	9.805	338.8	1.179	1.777×10^{-5}	0.0252
600	11.10	94.32	9.805	338.0	1.156	1.771×10^{-5}	0.0251
800	9.80	92.08	9.804	337.2	1.134	1.764×10^{-5}	0.0250
1000	8.50	89.88	9.804	336.4	1.112	1.758×10^{-5}	0.0249
1200	7.20	87.72	9.803	335.7	1.090	1.752×10^{-5}	0.0248
1400	5.90	85.60	9.802	334.9	1.069	1.745×10^{-5}	0.0247
1600	4.60	83.53	9.802	334.1	1.048	1.739×10^{-5}	0.0245
1800	3.30	81.49	9.801	333.3	1.027	1.732×10^{-5}	0.0244
2000	2.00	79.50	9.800	332.5	1.007	1.726×10^{-5}	0.0243
2200	0.70	77.55	9.800	331.7	0.987	1.720×10^{-5}	0.0242
2400	-0.59	75.63	9.799	331.0	0.967	1.713×10^{-5}	0.0241
2600	-1.89	73.76	9.799	330.2	0.947	1.707×10^{-5}	0.0240
2800	-3.19	71.92	9.798	329.4	0.928	1.700×10^{-5}	0.0239
3000	-4.49	70.12	9.797	328.6	0.909	1.694×10^{-5}	0.0238
3200	-5.79	68.36	9.797	327.8	0.891	1.687×10^{-5}	0.0237
3400	-7.09	66.63	9.796	327.0	0.872	1.681×10^{-5}	0.0236
3600	-8.39	64.94	9.796	326.2	0.854	1.674×10^{-5}	0.0235
3800	-9.69	63.28	9.795	325.4	0.837	1.668×10^{-5}	0.0234
4000	-10.98	61.66	9.794	324.6	0.819	1.661×10^{-5}	0.0233
4200	-12.3	60.07	9.794	323.8	0.802	1.655×10^{-5}	0.0232
4400	-13.6	58.52	9.793	323.0	0.785	1.648×10^{-5}	0.0231
4600	-14.9	57.00	9.793	322.2	0.769	1.642×10^{-5}	0.0230
4800	-16.2	55.51	9.792	321.4	0.752	1.635×10^{-5}	0.0229
5000	-17.5	54.05	9.791	320.5	0.736	1.628×10^{-5}	0.0228
5200	-18.8	52.62	9.791	319.7	0.721	1.622×10^{-5}	0.0227
5400	-20.1	51.23	9.790	318.9	0.705	1.615×10^{-5}	0.0226
5600	-21.4	49.86	9.789	318.1	0.690	1.608×10^{-5}	0.0224
5800	-22.7	48.52	9.785	317.3	0.675	1.602×10^{-5}	0.0223
6000	-24.0	47.22	9.788	316.5	0.660	1.595×10^{-5}	0.0222
6200	-25.3	45.94	9.788	315.6	0.646	1.588×10^{-5}	0.0221
6400	-26.6	44.69	9.787	314.8	0.631	1.582×10^{-5}	0.0220
6600	-27.9	43.47	9.786	314.0	0.617	1.575×10^{-5}	0.0219
6800	-29.2	42.27	9.785	313.1	0.604	1.568×10^{-5}	0.0218
7000	-30.5	41.11	9.785	312.3	0.590	1.561×10^{-5}	0.0217
8000	-36.9	35.65	9.782	308.1	0.526	1.527×10^{-5}	0.0212
9000	-43.4	30.80	9.779	303.8	0.467	1.493×10^{-5}	0.0206
10,000	-49.9	26.50	9.776	299.5	0.414	1.458×10^{-5}	0.0201
12,000	-56.5	19.40	9.770	295.1	0.312	1.422×10^{-5}	0.0195
14,000	-56.5	14.17	9.764	295.1	0.228	1.422×10^{-5}	0.0195
16,000	-56.5	10.53	9.758	295.1	0.166	1.422×10^{-5}	0.0195
18,000	-56.5	7.57	9.751	295.1	0.122	1.422×10^{-5}	0.0195

Anexo A-8: Propiedades del aire

TABLA A-17

Propiedades de gas ideal del aire

<i>T</i> K	<i>h</i> kJ/kg	<i>P_r</i>	<i>u</i> kJ/kg	<i>v_r</i>	<i>s^o</i> kJ/kg · K	<i>T</i> K	<i>h</i> kJ/kg	<i>P_r</i>	<i>u</i> kJ/kg	<i>v_r</i>	<i>s^o</i> kJ/kg · K
200	199.97	0.3363	142.56	1707.0	1.29559	580	586.04	14.38	419.55	115.7	2.37348
210	209.97	0.3987	149.69	1512.0	1.34444	590	596.52	15.31	427.15	110.6	2.39140
220	219.97	0.4690	156.82	1346.0	1.39105	600	607.02	16.28	434.78	105.8	2.40902
230	230.02	0.5477	164.00	1205.0	1.43557	610	617.53	17.30	442.42	101.2	2.42644
240	240.02	0.6355	171.13	1084.0	1.47824	620	628.07	18.36	450.09	96.92	2.44356
250	250.05	0.7329	178.28	979.0	1.51917	630	638.63	19.44	457.78	92.84	2.46048
260	260.09	0.8405	185.45	887.8	1.55848	640	649.22	20.64	465.50	88.99	2.47716
270	270.11	0.9590	192.60	808.0	1.59634	650	659.84	21.86	473.25	85.34	2.49364
280	280.13	1.0889	199.75	738.0	1.63279	660	670.47	23.13	481.01	81.89	2.50985
285	285.14	1.1584	203.33	706.1	1.65055	670	681.14	24.46	488.81	78.61	2.52589
290	290.16	1.2311	206.91	676.1	1.66802	680	691.82	25.85	496.62	75.50	2.54175
295	295.17	1.3068	210.49	647.9	1.68515	690	702.52	27.29	504.45	72.56	2.55731
298	298.18	1.3543	212.64	631.9	1.69528	700	713.27	28.80	512.33	69.76	2.57277
300	300.19	1.3860	214.07	621.2	1.70203	710	724.04	30.38	520.23	67.07	2.58810
305	305.22	1.4686	217.67	596.0	1.71865	720	734.82	32.02	528.14	64.53	2.60319
310	310.24	1.5546	221.25	572.3	1.73498	730	745.62	33.72	536.07	62.13	2.61803
315	315.27	1.6442	224.85	549.8	1.75106	740	756.44	35.50	544.02	59.82	2.63280
320	320.29	1.7375	228.42	528.6	1.76690	750	767.29	37.35	551.99	57.63	2.64737
325	325.31	1.8345	232.02	508.4	1.78249	760	778.18	39.27	560.01	55.54	2.66176
330	330.34	1.9352	235.61	489.4	1.79783	780	800.03	43.35	576.12	51.64	2.69013
340	340.42	2.149	242.82	454.1	1.82790	800	821.95	47.75	592.30	48.08	2.71787
350	350.49	2.379	250.02	422.2	1.85708	820	843.98	52.59	608.59	44.84	2.74504
360	360.58	2.626	257.24	393.4	1.88543	840	866.08	57.60	624.95	41.85	2.77170
370	370.67	2.892	264.46	367.2	1.91313	860	888.27	63.09	641.40	39.12	2.79783
380	380.77	3.176	271.69	343.4	1.94001	880	910.56	68.98	657.95	36.61	2.82344
390	390.88	3.481	278.93	321.5	1.96633	900	932.93	75.29	674.58	34.31	2.84856
400	400.98	3.806	286.16	301.6	1.99194	920	955.38	82.05	691.28	32.18	2.87324
410	411.12	4.153	293.43	283.3	2.01699	940	977.92	89.28	708.08	30.22	2.89748
420	421.26	4.522	300.69	266.6	2.04142	960	1000.55	97.00	725.02	28.40	2.92128
430	431.43	4.915	307.99	251.1	2.06533	980	1023.25	105.2	741.98	26.73	2.94468
440	441.61	5.332	315.30	236.8	2.08870	1000	1046.04	114.0	758.94	25.17	2.96770
450	451.80	5.775	322.62	223.6	2.11161	1020	1068.89	123.4	776.10	23.72	2.99034
460	462.02	6.245	329.97	211.4	2.13407	1040	1091.85	133.3	793.36	23.29	3.01260
470	472.24	6.742	337.32	200.1	2.15604	1060	1114.86	143.9	810.62	21.14	3.03449
480	482.49	7.268	344.70	189.5	2.17760	1080	1137.89	155.2	827.88	19.98	3.05608
490	492.74	7.824	352.08	179.7	2.19876	1100	1161.07	167.1	845.33	18.896	3.07732
500	503.02	8.411	359.49	170.6	2.21952	1120	1184.28	179.7	862.79	17.886	3.09825
510	513.32	9.031	366.92	162.1	2.23993	1140	1207.57	193.1	880.35	16.946	3.11883
520	523.63	9.684	374.36	154.1	2.25997	1160	1230.92	207.2	897.91	16.064	3.13916
530	533.98	10.37	381.84	146.7	2.27967	1180	1254.34	222.2	915.57	15.241	3.15916
540	544.35	11.10	389.34	139.7	2.29906	1200	1277.79	238.0	933.33	14.470	3.17888
550	555.74	11.86	396.86	133.1	2.31809	1220	1301.31	254.7	951.09	13.747	3.19834
560	565.17	12.66	404.42	127.0	2.33685	1240	1324.93	272.3	968.95	13.069	3.21751
570	575.59	13.50	411.97	121.2	2.35531						

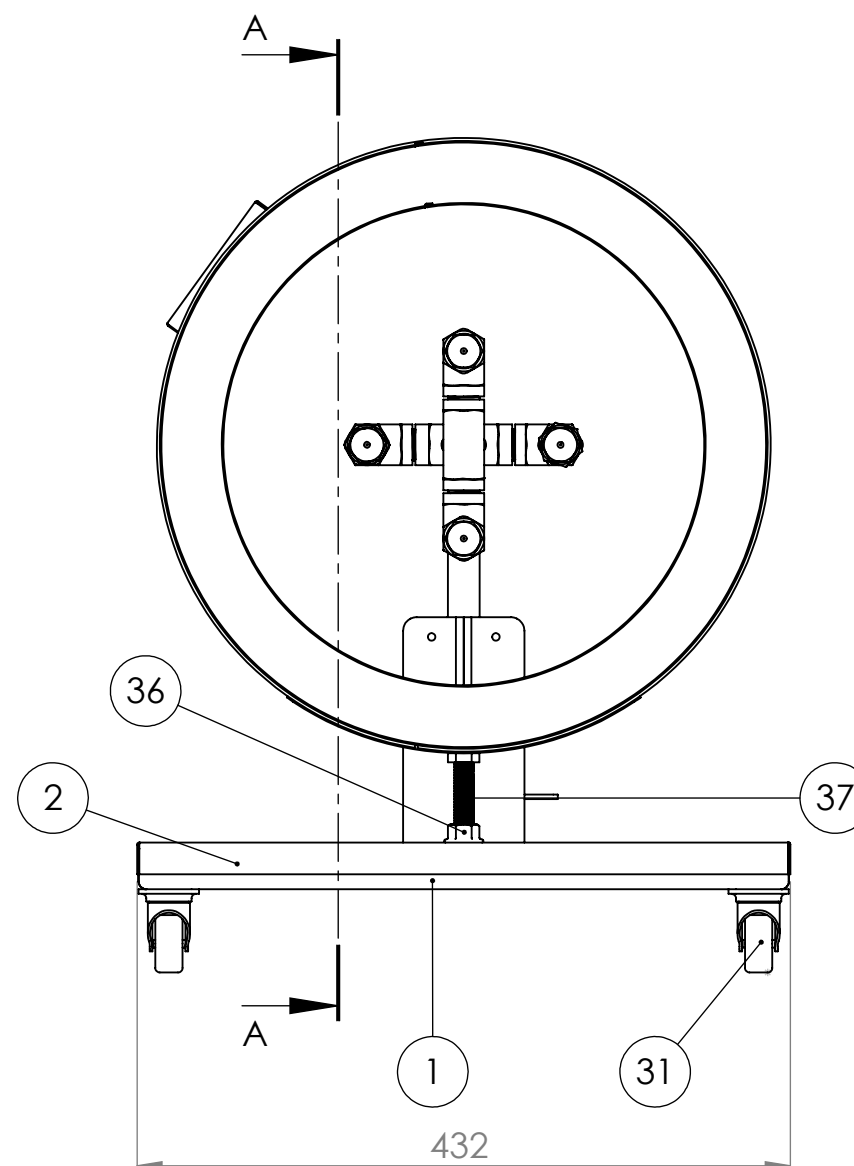
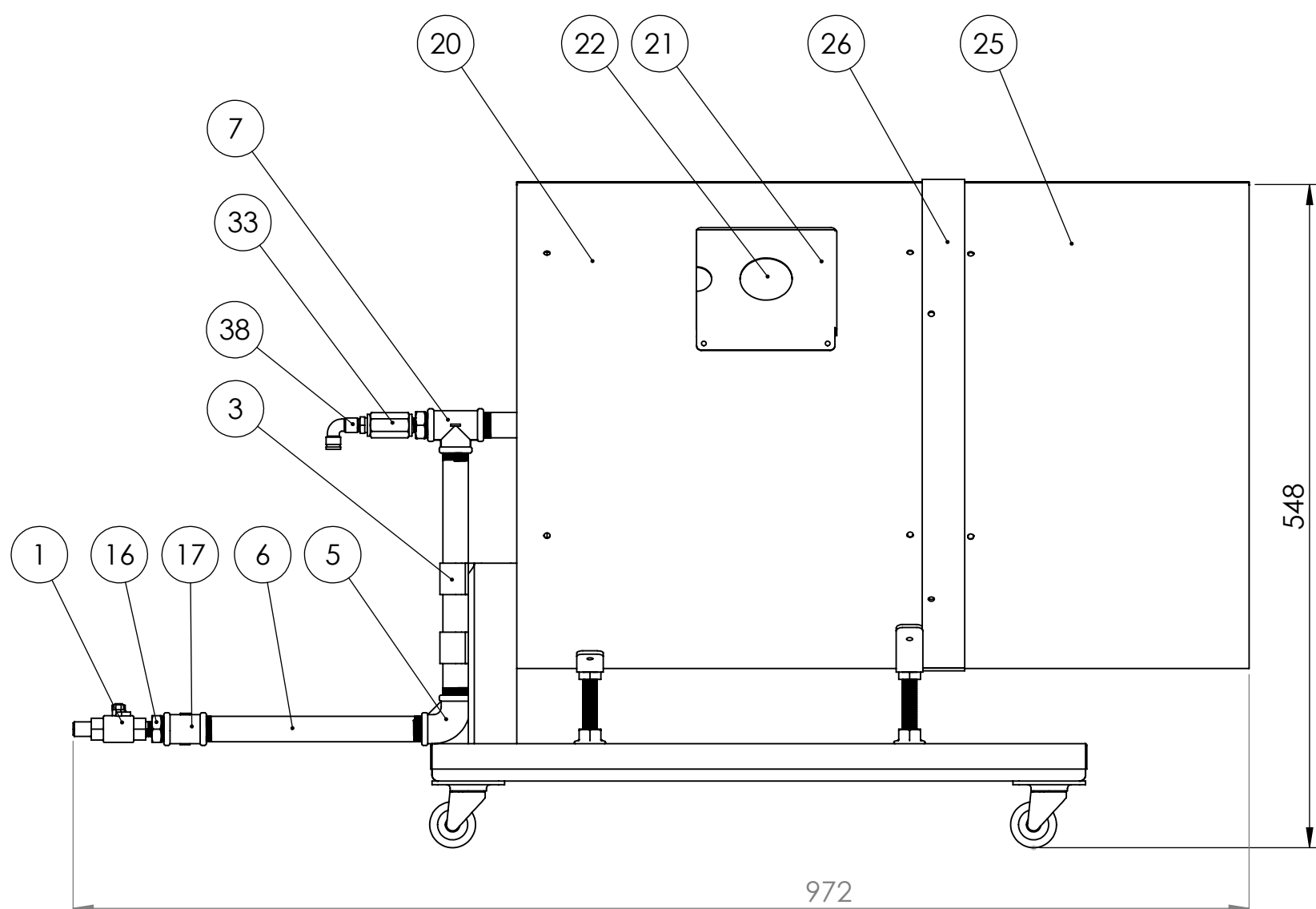
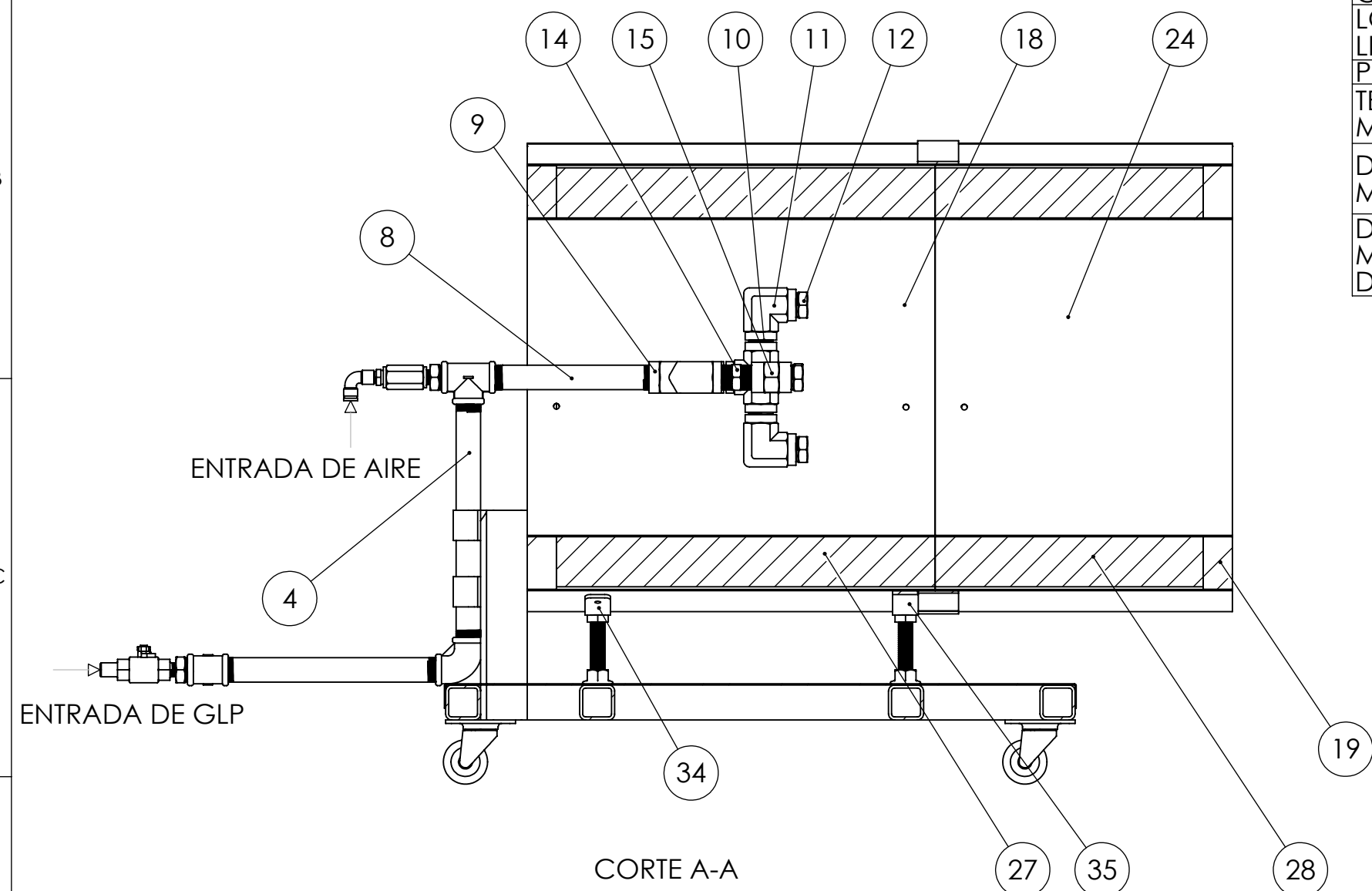
Anexo A-9: Diámetro de inyectores

TABLA I: GLP						
DIÁMETROS (D) EN mm PARA INYECTORES DE GAS A MUY BAJA PRESIÓN (MAX. 500 mmc.a.						
Potencia calorífica (kcal/h)	Presión relativa del gas en entrada del quemador					
	h=300 mmc.a.a		h=370 mmc.a.a		h=370 mmc.a.a	
1.000	0,58	0,55	0,55	0,52	0,51	0,48
1.500	0,71	0,67	0,67	0,64	0,62	0,59
2.000	0,82	0,78	0,77	0,74	0,72	0,68
2.500	0,91	0,87	0,86	0,82	0,8	0,76
3.000	1	0,95	0,95	0,9	0,88	0,84
3.500	1,08	1,03	1,02	0,98	0,95	0,9
4.000	1,16	1,1	1,09	1,04	1,01	0,96
4.500	1,23	1,17	1,16	1,11	1,07	1,02
5.000	1,29	1,23	1,22	1,17	1,13	1,08
5.500	1,36	1,29	1,28	1,22	1,19	1,13
6.000	1,42	1,35	1,34	1,28	1,24	1,18
6.500	1,47	1,4	1,39	1,33	1,29	1,23

PLANOS

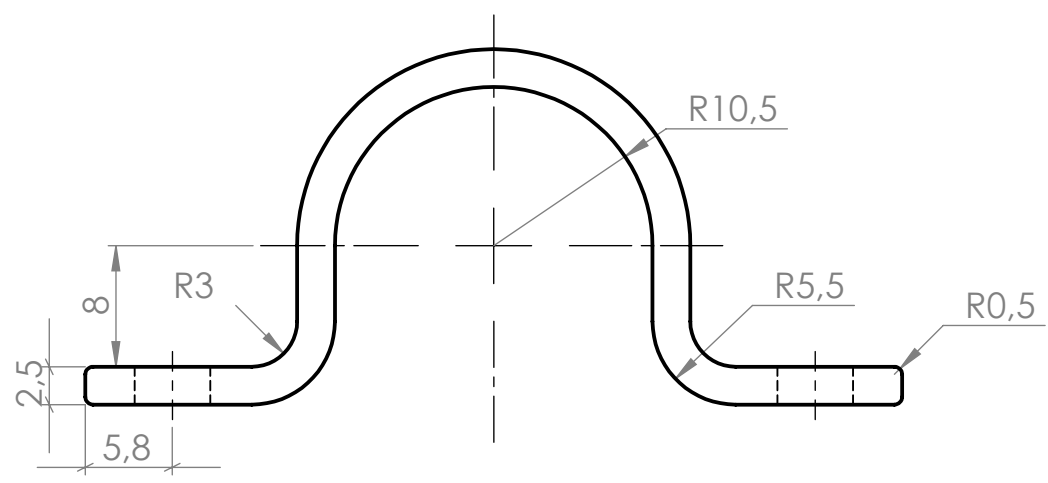
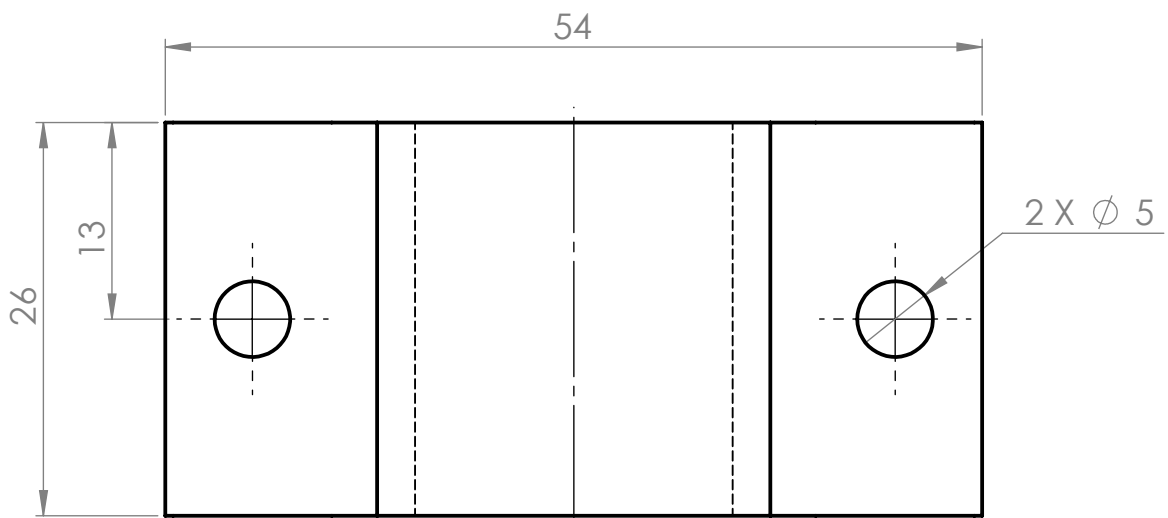
- RECOMENDACIONES DE MONTAJE**
- Al momento de montar los accesorios del tren de llama colocar teflón para que no existan fugas de gas
 - El apriete de los accesorios no debe sobrepasar el esfuerzo máximo
 - Evitar aislar y romper los tornillos de la abrazadera del tramo 2
 - Prevenir el contacto brusco de las periferias del visor de llama

DATOS TÉCNICOS		
PRESIÓN GLP	0.5	Psi
CAUDAL GLP	0.54	m3/h
LONGITUD DE LLAMA	11.77	cm
PRESIÓN AIRE	1	Psi
TEMPERATURA MÁXIMA	490.2	C
DILATACIÓN MÁXIMA LINEAL	3.33 mm - 0.6%	
DILATACIÓN MÁXIMA DIAMETRAL	2.22 mm - 0.6%	



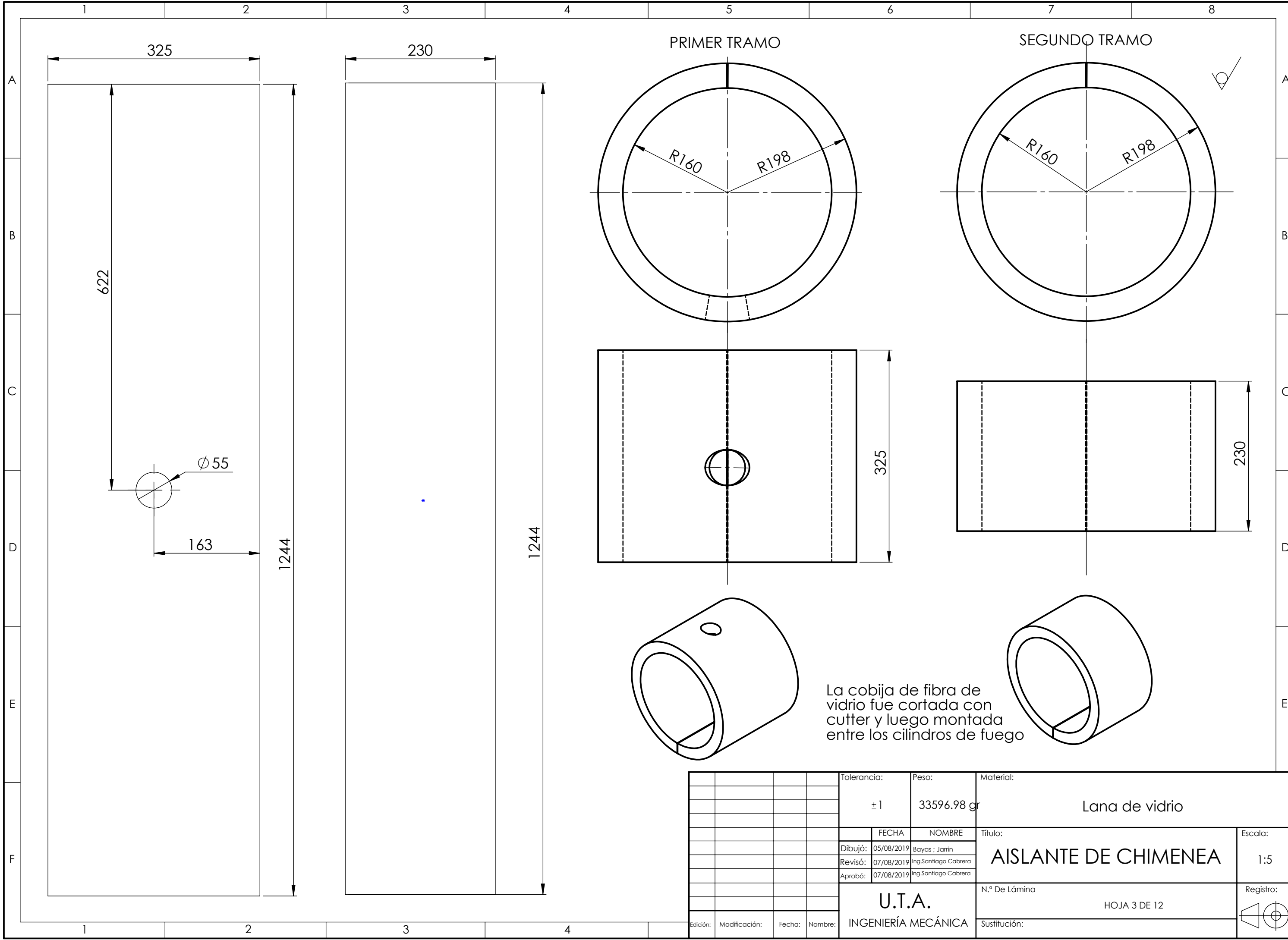
N.º DE PIEZAS	DENOMINACIÓN	MATERIAL	N.º DE ORDEN	PESO	OBSER.
1	CODO ACOPLE PARA AIRE		38		
2	VARILLA DE SOPORTE	ASTM A36 Acero	37	52.89	
2	TUERCA EXAGONAL	Acero estructural	36		M12 X 1.75
1	PLACA DE CILINDRO 2	Acero ASTM A36	35	132.33	
1	PLACA DE CILINDRO 1	Acero ASTM A36	34	84.72	
1	VÁLVULA PARA AIRE		33		
1	VÁLVULA PARA GAS		32		
4	RUEDA		31		
4	SOPORTE		30		
4	BASE		29		
1	FIBRA DE VIDRIO 2	Fibra de vidrio-A	28	23951.50	
1	FIBRA DE VIDRIO 1	Fibra de vidrio-A	27	33596.98	
1	ANILLO DE REFUERZO	Acero inoxidable AISI 304	26	690.48	
1	CILINDRO 2 EXT	Acero galvanizado	25	2536.26	
1	CILINDRO 2 INT	Acero galvanizado	24	2020.01	
1	TUBO PARA VISOR	Aleación de zinc AC41A fundida	23	221.01	
1	VIDRIO TEMPLADO	Material <sin especificar>	22	45.97	INEN 2067:1996
1	CHAPA DE LA MIRILLA	Acero galvanizado	21	123.33	
1	CILINDRO 1 EXT	Acero galvanizado	20	3461.16	
2	ANILLO REFRACTARIO	PP homopolímero	19	1054.97	
1	CILINDRO 1 INT	Acero galvanizado	18	2753.24	
1	ACOPLE HEMBRA TUBULAR		17		
2	REDUCTOR		16		
2	ACOPLE HEMBRA		15		
2	ACOPLE MACHO		14		
2	UNION		13		
4	INYECTOR DE GLP	Acero inoxidable	12	49.92	
4	CODO		11		
1	DISYUNCIÓN		10		
1	CRUZETA		9		
1	TRAMO 3 D=1/2" L=medir en solid	Hierro	8	171.19	DIN 2440
1	DISYUNCIÓN TUBULAR		7		
1	TRAMO 1 D=1/2" L=medir en solid	Hierro	6	223.79	DIN 2440
1	CODO TUBULAR		5		
1	TRAMO 2 D=1/2" L=medir en solid	Hierro	4	246.66	DIN 2440
2	ABRAZADERA	Acero inoxidable AISI 304	3	40.90	
1	CHAPA DE LA BASE	Acero Galvanizado	2	2133.38	
1	ESTRUCTURA DE LA BASE	Acero ASTM A36	1	6419.27	

Tabla de LDM					
Tolerancia:	Peso:	Material:			
± 1	gr	VARIOS			
FECHA	NOMBRE	Título:		Escala:	
05/08/2019	Bayas ; Jarin	QUEMADOR DE GLP		1:5	
Revisó:	Ing. Santiago Cabrera	N.º De Lámina		Registro:	
07/08/2019	Ing. Santiago Cabrera	HOJA 1 DE 12		U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA	
Aprobó:	Ing. Santiago Cabrera	Sustitución:			
07/08/2019	Ing. Santiago Cabrera				



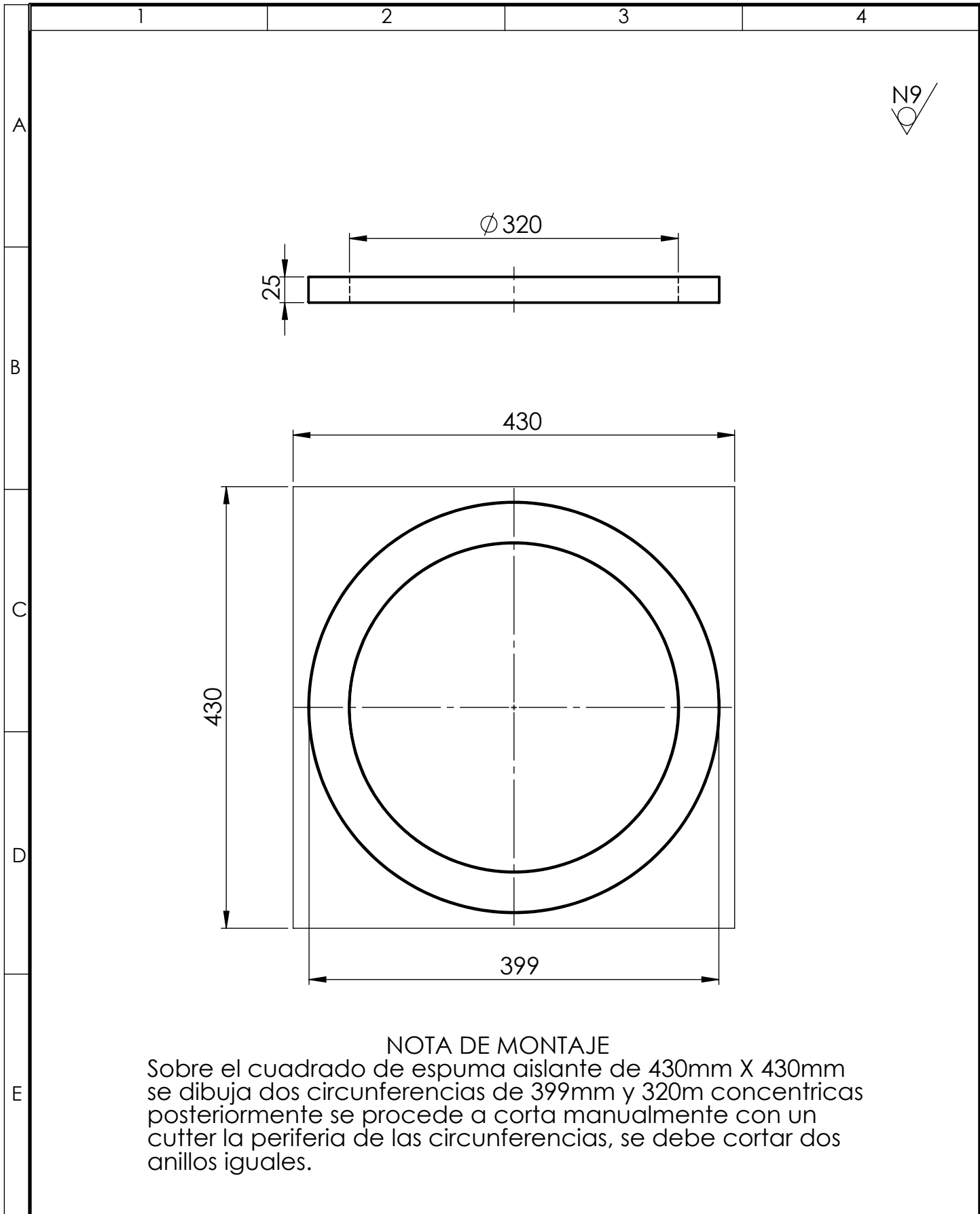
NOTA DE MONTAJE
Se construirán dos abrazaderas

				Tolerancia: ±1	Peso: 40.90 gr	Material: Acero Inoxidable AISI 304	
				FECHA	NOMBRE	Título: ABRAZADERA	
				Dibujó: 05/08/2019	Bayas ; Jarrin	Escala: 2:1	
				Revisó: 07/08/2019	Ing.Santiago Cabrera		
				Aprobó: 07/08/2019	Ing.Santiago Cabrera		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE Lámina: HOJA 2 DE 12	Registro :
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:			Sustitución:	



La cobija de fibra de vidrio fue cortada con cutter y luego montada entre los cilindros de fuego

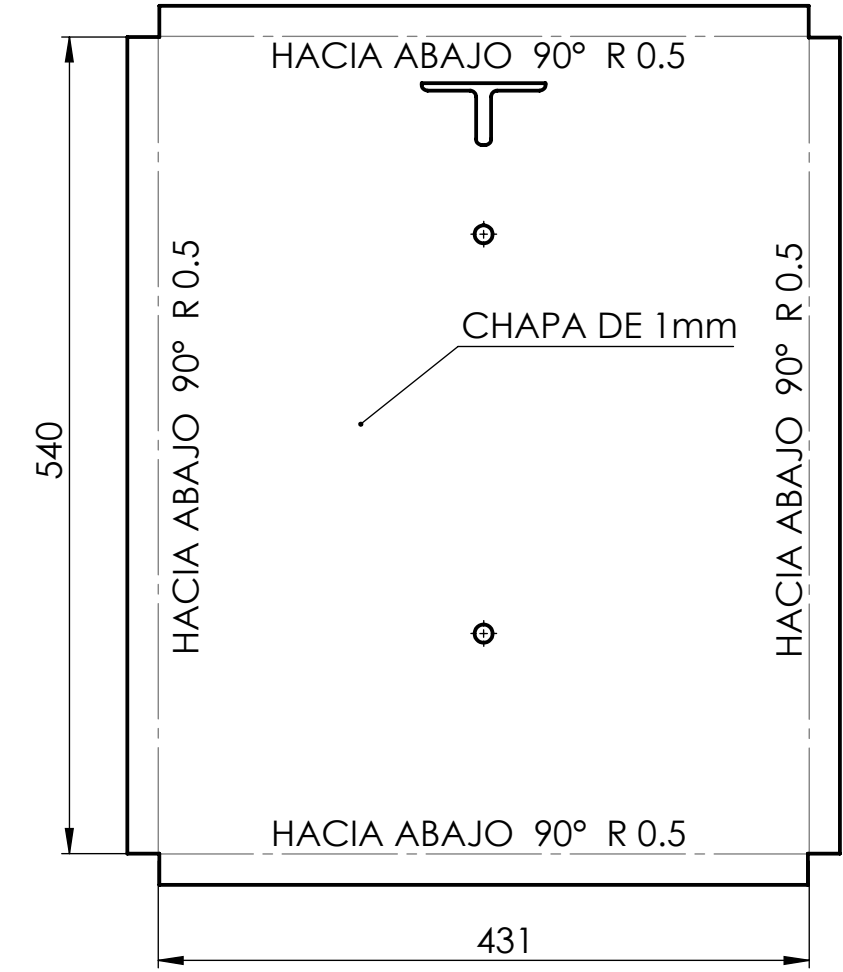
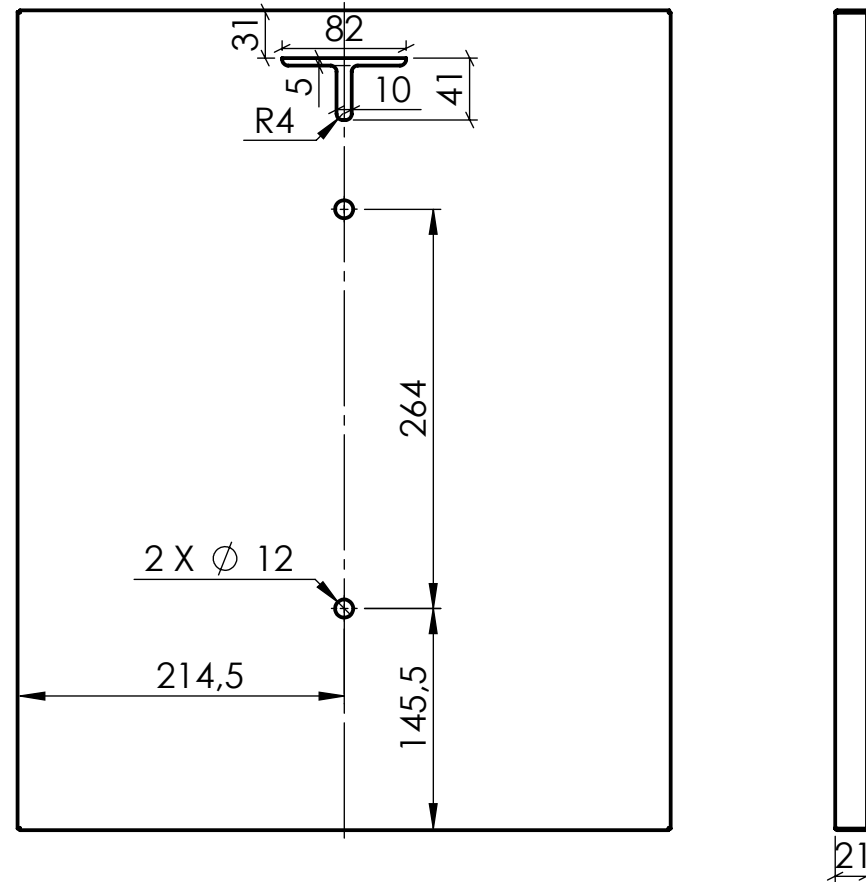
				Tolerancia:	Peso:	Material:			
				±1	33596.98 gr	Lana de vidrio			
					FECHA	NOMBRE	Título:		Escala:
				Dibujó:	05/08/2019	Bayas ; Jarrin	AISLANTE DE CHIMENEA		1:5
				Revisó:	07/08/2019	Ing.Santiago Cabrera			
				Aprobó:	07/08/2019	Ing.Santiago Cabrera			
				U.T.A.			N.º De Lámina		Registro:
							INGENIERÍA MECÁNICA		
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:				Sustitución:		



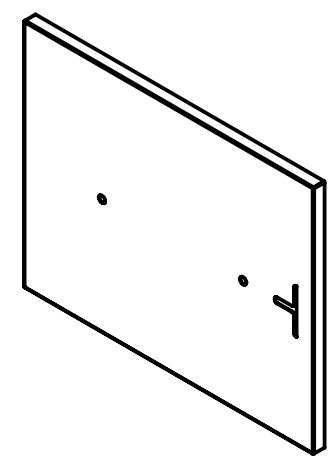
NOTA DE MONTAJE

Sobre el cuadrado de espuma aislante de 430mm X 430mm se dibuja dos circunferencias de 399mm y 320m concéntricas posteriormente se procede a cortar manualmente con un cutter la periferia de las circunferencias, se debe cortar dos anillos iguales.

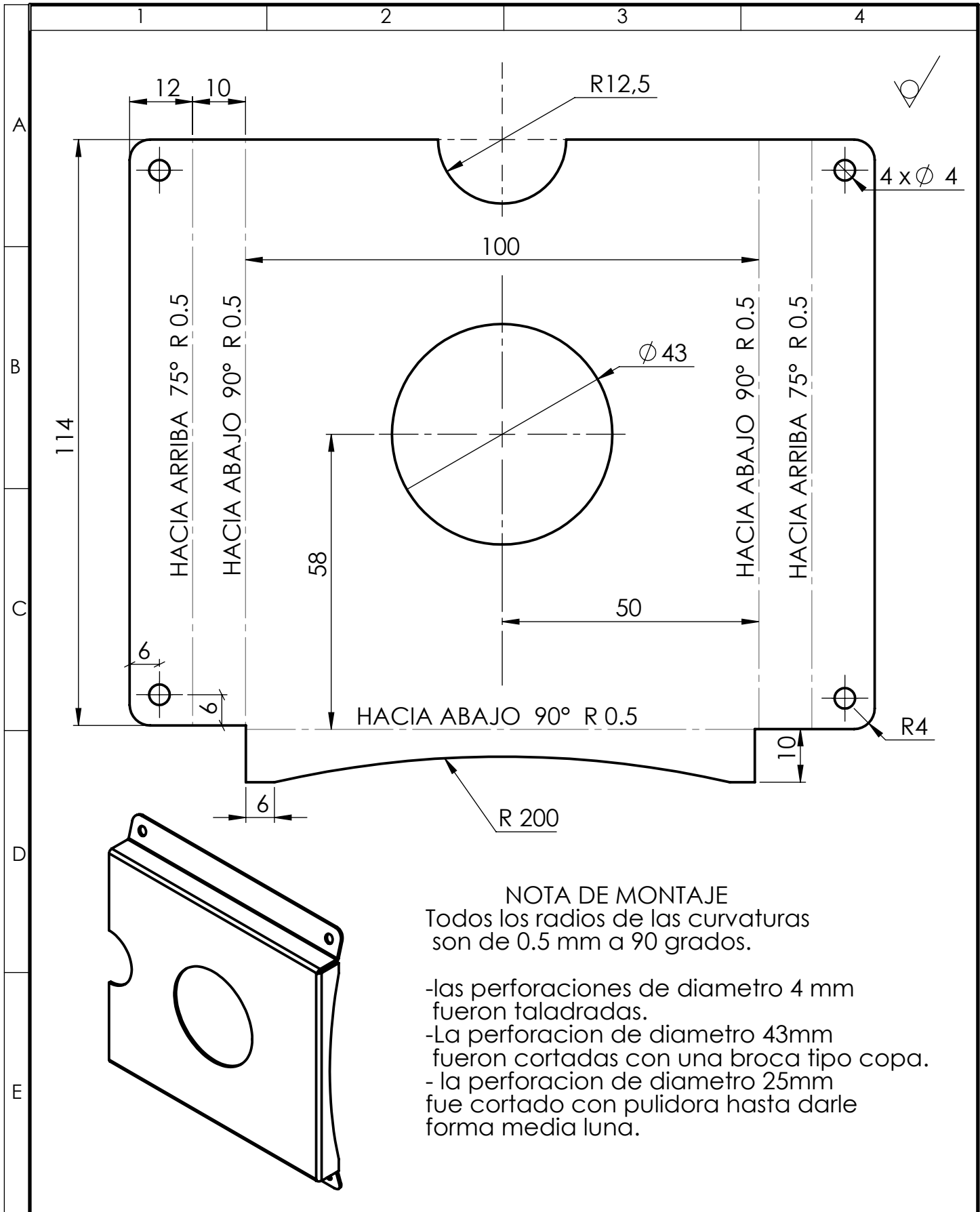
				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				±1	1054.97 gr	ESPUMA AISLANTE (PP homopolímero)	
				FECHA		Título:	Escala:
				Dibujó:			
				ANILLO AISLANTE			
				Revisó:		N.º DE Lámina:	Registro :
				Aprobó:			
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		HOJA 4 DE 12	
Edición: Modificación: Fecha: Nombre:						Sustitución:	



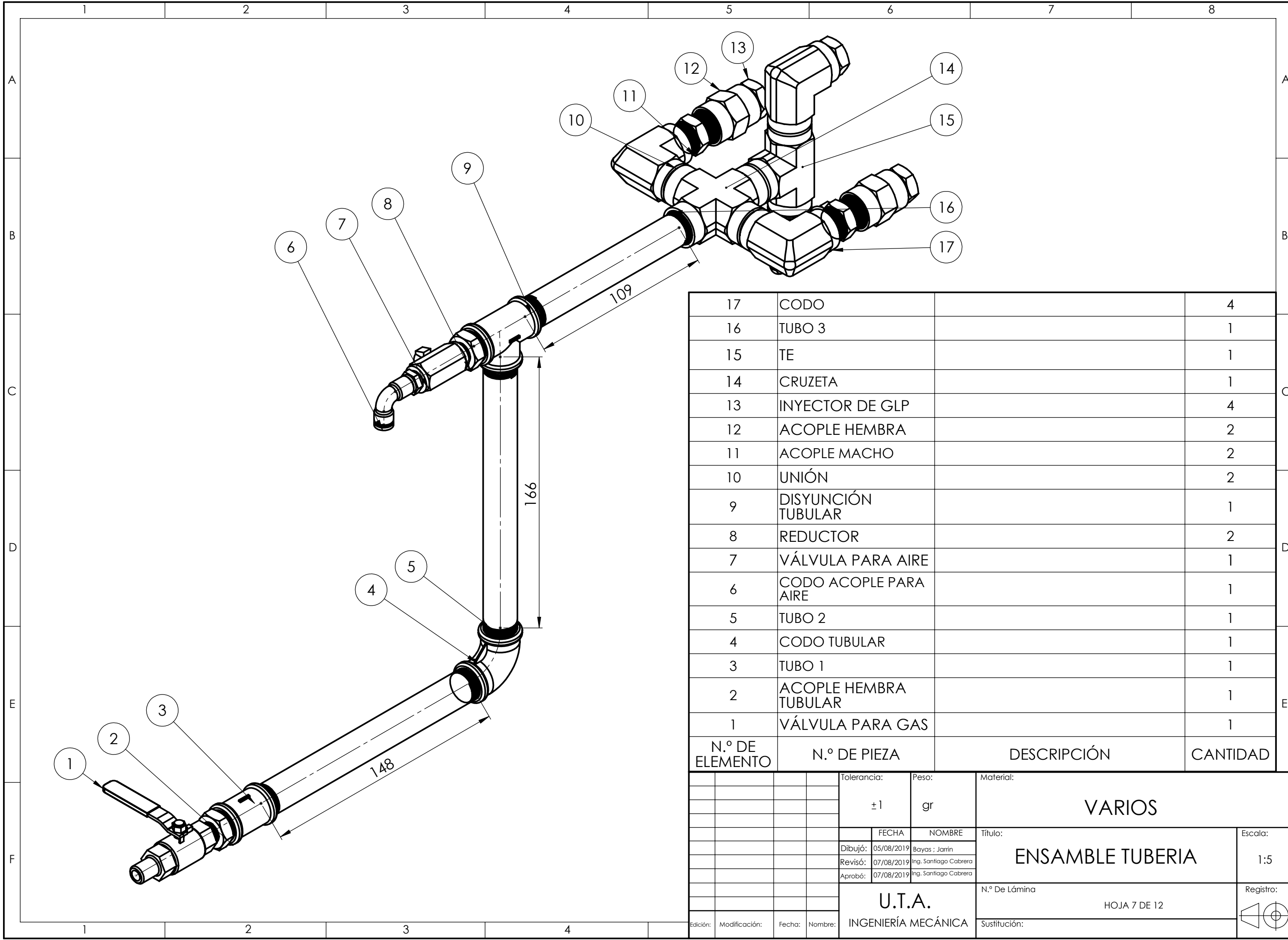
NOTA DE MONTAJE
 Todos los radios de curvatura de los dobleces son de 0.5mm a 90 grados



				Tolerancia:	Peso:	Material:		
				±1	2133.38 gr	Acero galvanizado		
				FECHA	NOMBRE	Título:		Escala:
				Dibujó: 05/08/2019	Bayas ; Jarrin	CHAPA PARA LA BASE		1:5
				Revisó: 07/08/2019	Ing.Santiago Cabrera			
				Aprobó: 07/08/2019	Ing.Santiago Cabrera			
				U.T.A.		N.º De Lámina		Registro:
				INGENIERÍA MECÁNICA		HOJA 5 DE 12		
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:			Sustitución:		

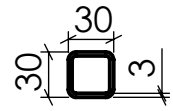
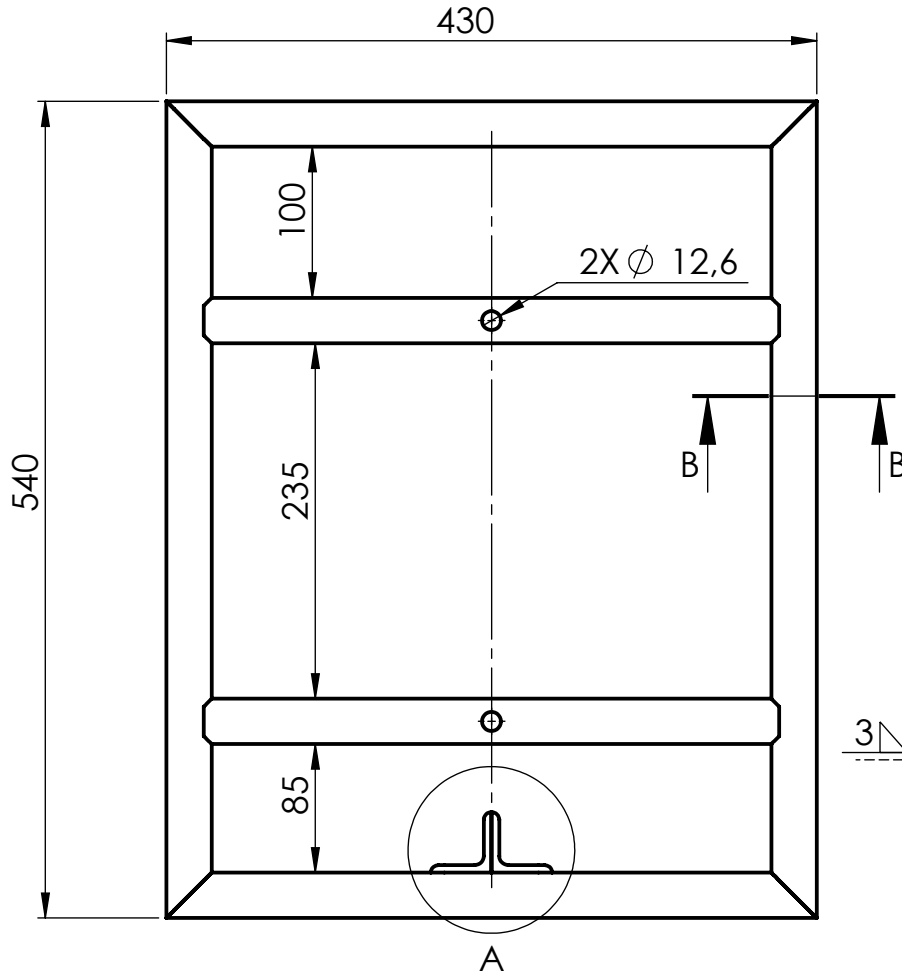


				Tolerancia:	Peso:	Material:		
				±1	123.33 gr	Acero galvanizado AISI 304		
				FECHA	NOMBRE	Título:		
				Dibujó: 05/08/2019	Bayas ; Jarrín	CHAPA PARA LA MIRILLA		
				Revisó: 07/08/2019	Ing.Santiago Cabrera	Escala:		
				Aprobó: 07/08/2019	Ing.Santiago Cabrera	1:2		
				U.T.A.		N.º DE Lámina:		
				INGENIERÍA MECÁNICA		HOJA 6 DE 12		
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:	Sustitución:				Registro :

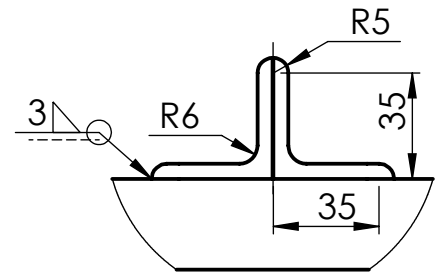


17	CODO		4
16	TUBO 3		1
15	TE		1
14	CRUZETA		1
13	INYECTOR DE GLP		4
12	ACOPLE HEMBRA		2
11	ACOPLE MACHO		2
10	UNIÓN		2
9	DISYUNCIÓN TUBULAR		1
8	REDUCTOR		2
7	VÁLVULA PARA AIRE		1
6	CODO ACOPLE PARA AIRE		1
5	TUBO 2		1
4	CODO TUBULAR		1
3	TUBO 1		1
2	ACOPLE HEMBRA TUBULAR		1
1	VÁLVULA PARA GAS		1
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD

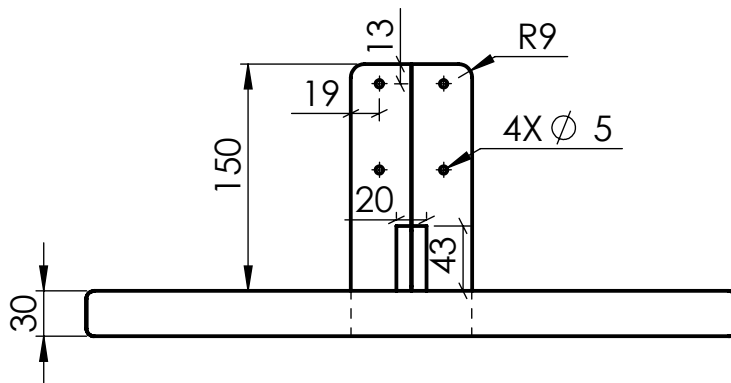
Tolerancia:		Peso:		Material:	
±1		gr		VARIOS	
FECHA		NOMBRE		Título:	
Dibujó: 05/08/2019		Bayas ; Jarrin		ENSAMBLE TUBERIA	
Revisó: 07/08/2019		Ing. Santiago Cabrera		Escala:	
Aprobó: 07/08/2019		Ing. Santiago Cabrera		1:5	
U.T.A.				N.º De Lámina	
INGENIERÍA MECÁNICA				HOJA 7 DE 12	
Edición:		Modificación:		Registro:	
Fecha:		Nombre:		Sustitución:	



SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 5



DETALLE A
ESCALA 2 : 5



Toda la estructura esta soldada por proceso Smaw con electrodo 6011

				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				±1	6419.27 gr	Acero galvanizado	
				FECHA	NOMBRE	Título:	Escala:
				Dibujó: 05/08/2019	Bayas ; Jarrín	ESTRUCTURA DE LA BASE	1:5
				Revisó: 07/08/2019	Ing.Santiago Cabrera		
				Aprobó: 07/08/2019	Ing.Santiago Cabrera		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE Lámina:	Registro :
						HOJA 8 DE 12	
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:	Sustitución:			

1

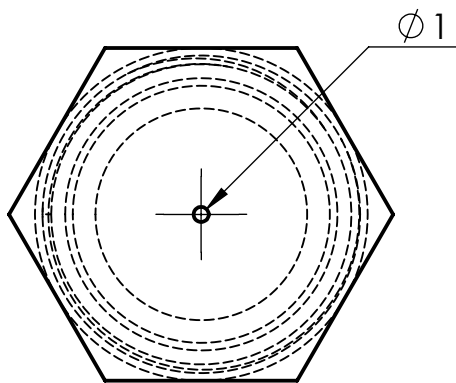
2

3

4

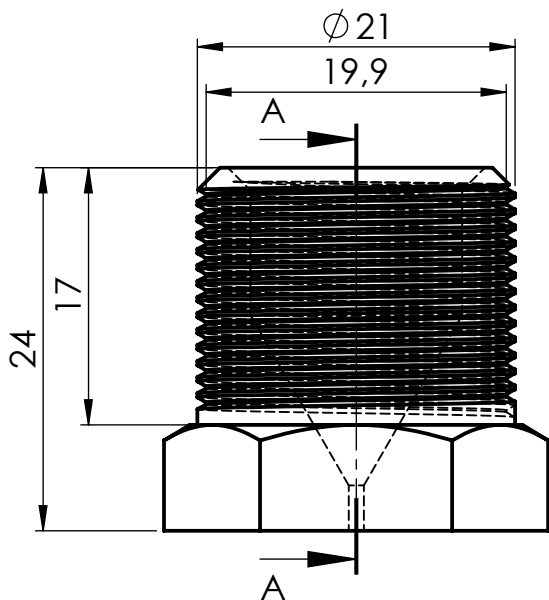
N6

A

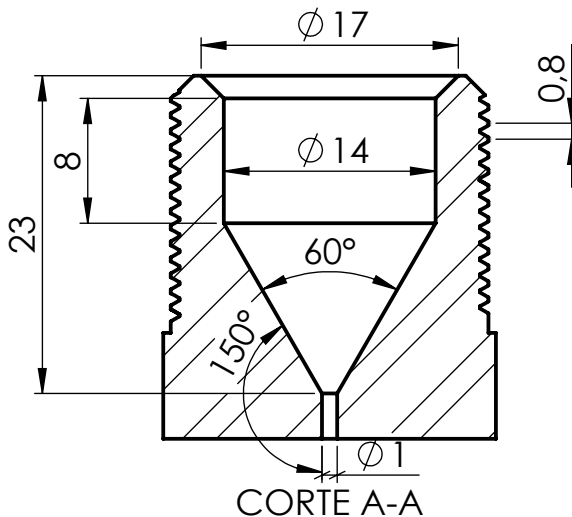


B

C

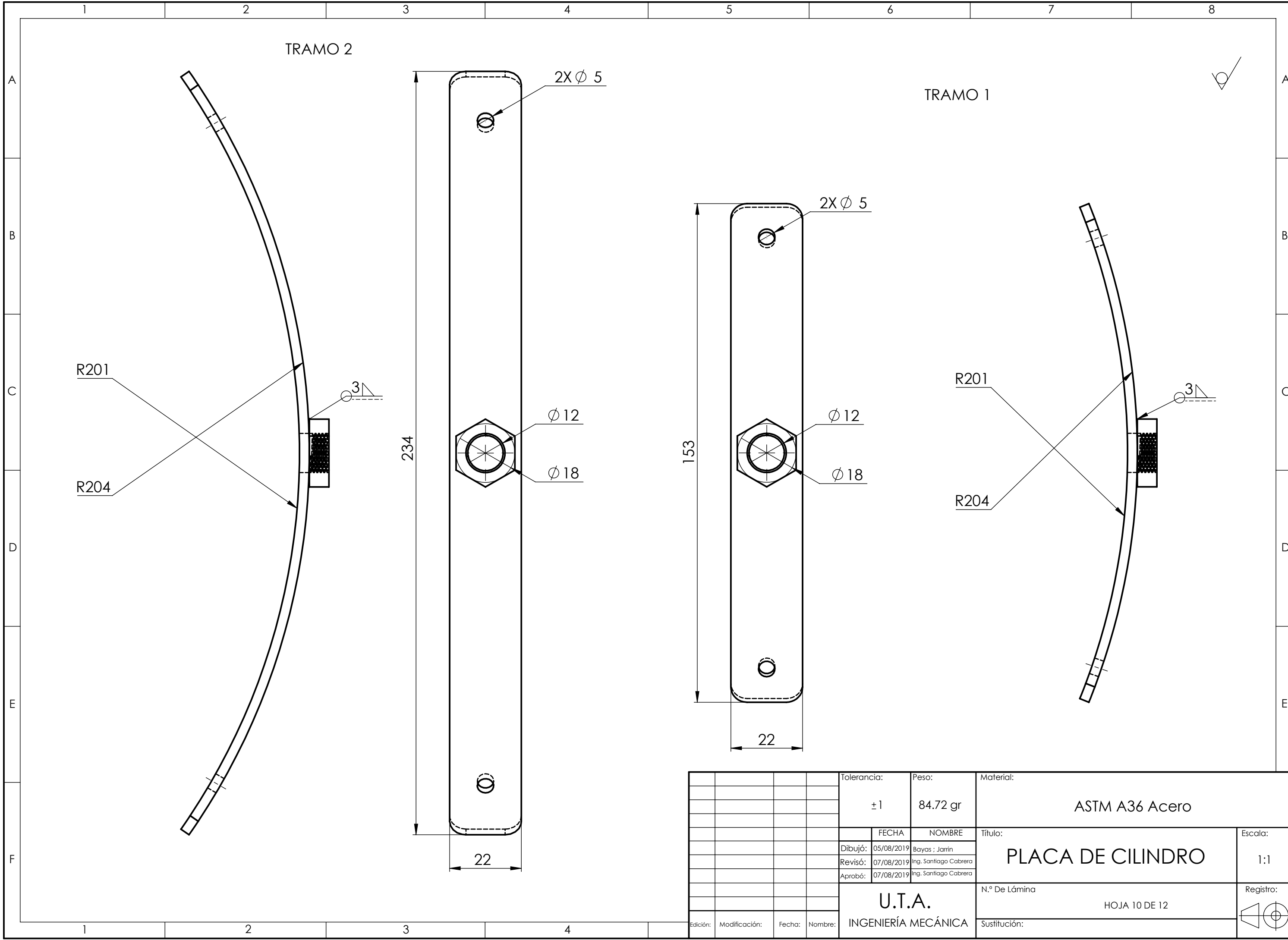


D



E

				Tolerancia: ± 1	Peso: 49.92 gr	Material: ACERO INOXIDABLE			
								FECHA	NOMBRE
								Dibujó: 05/08/2019	Bayas ; Jarrín
								Revisó: 07/08/2019	Ing.Santiago Cabrera
								Aprobó: 07/08/2019	Ing.Santiago Cabrera
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE Lámina: HOJA 9 DE 12		Escala: 2:1	
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:			Sustitución:		Registro :	



R201

R204

R201

R204

TRAMO 2

TRAMO 1

234

153

2X Ø 5

2X Ø 5

Ø 12

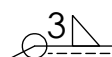
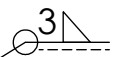
Ø 18

Ø 12

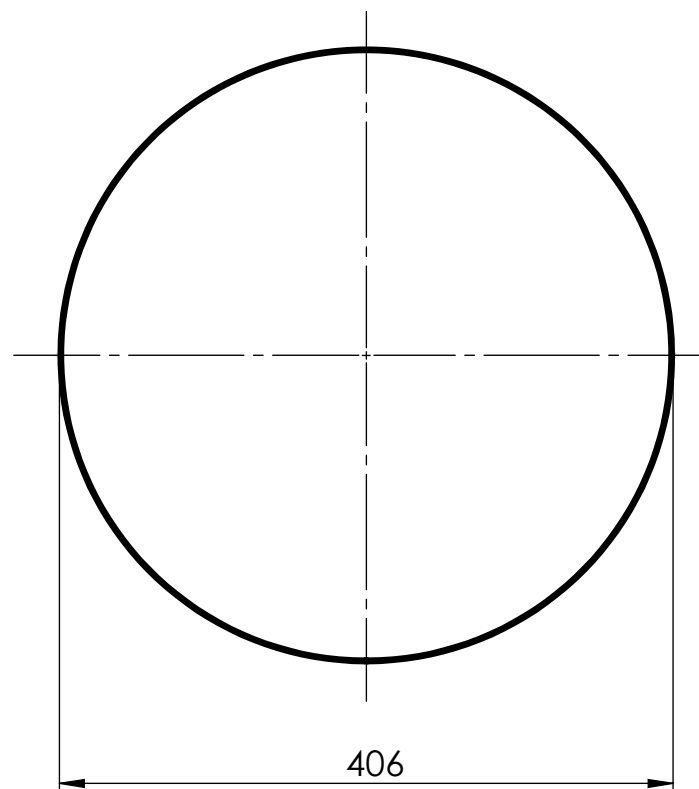
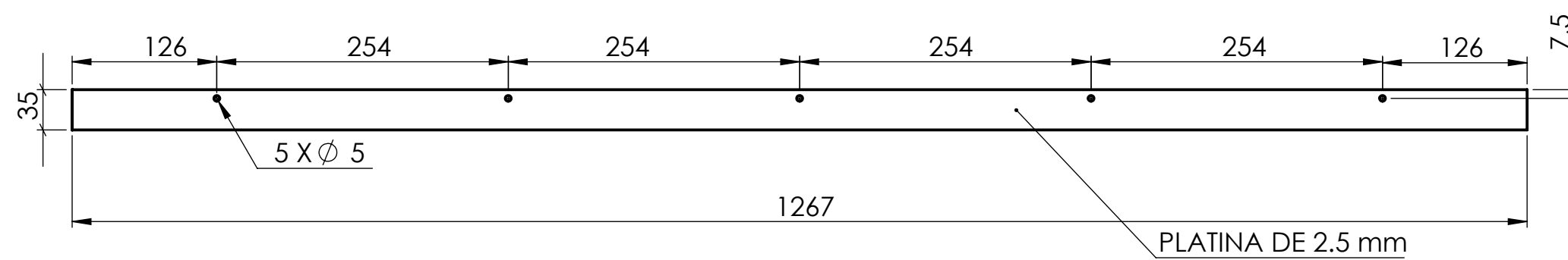
Ø 18

22

22



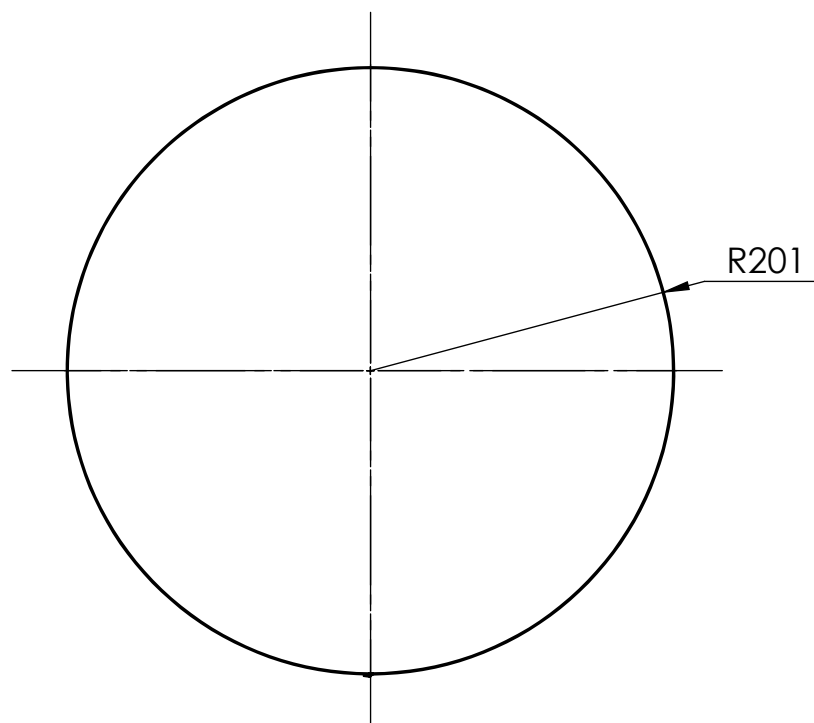
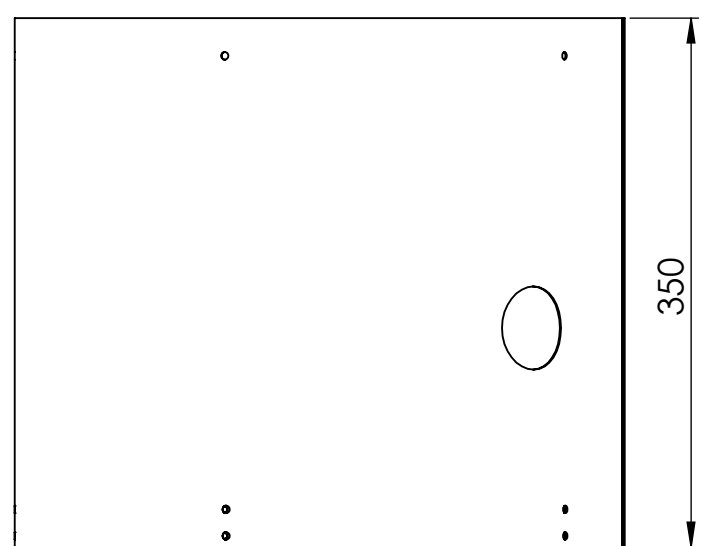
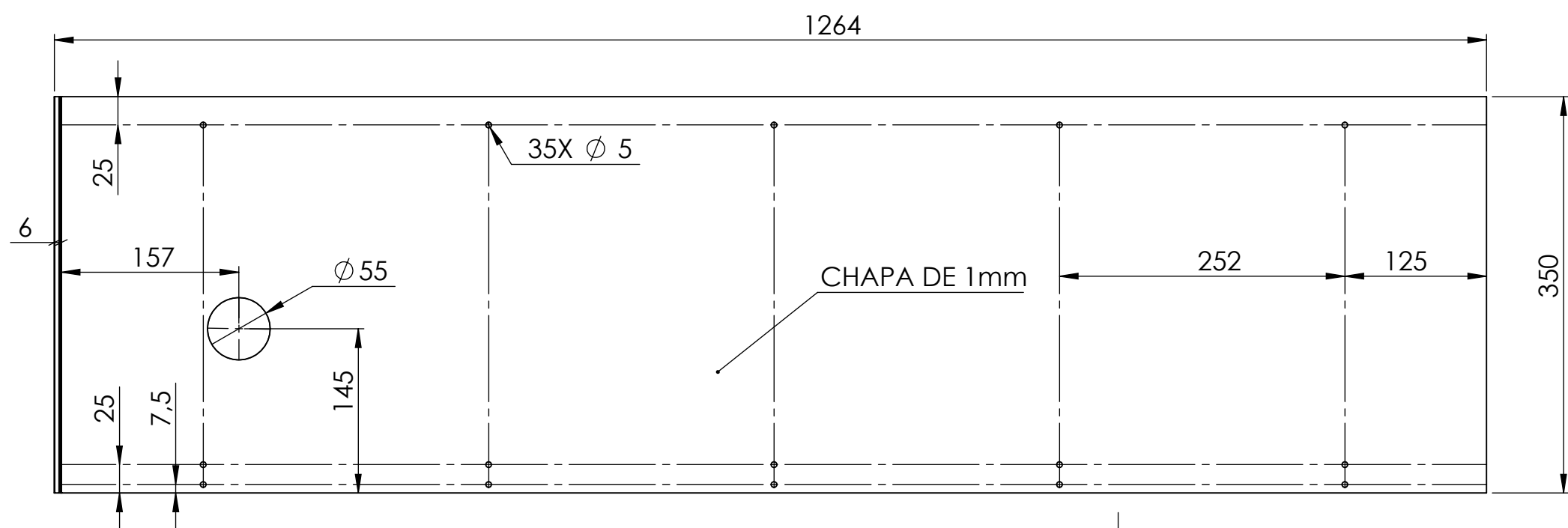
				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				±1	84.72 gr	ASTM A36 Acero	
				FECHA	NOMBRE	Título:	
				Dibujó: 05/08/2019	Bayas ; Jarrin	PLACA DE CILINDRO	
				Revisó: 07/08/2019	Ing. Santiago Cabrera	Escala:	
				Aprobó: 07/08/2019	Ing. Santiago Cabrera	1:1	
				U.T.A.		N.º De Lámina	
				INGENIERÍA MECÁNICA		HOJA 10 DE 12	
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:	Sustitución:		Registro:	



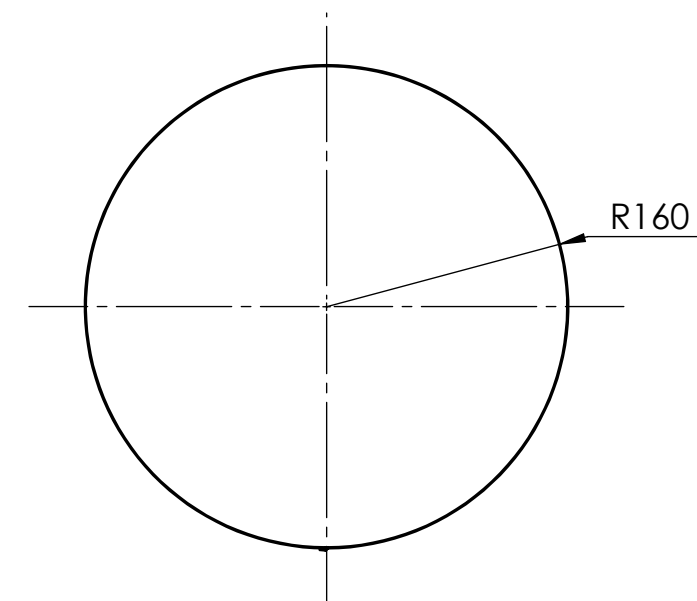
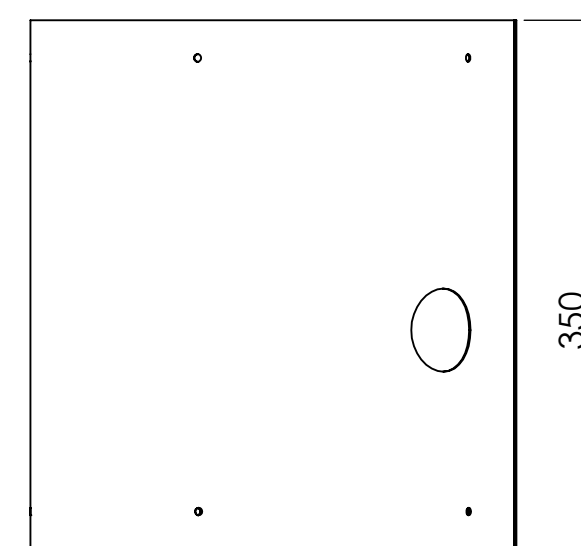
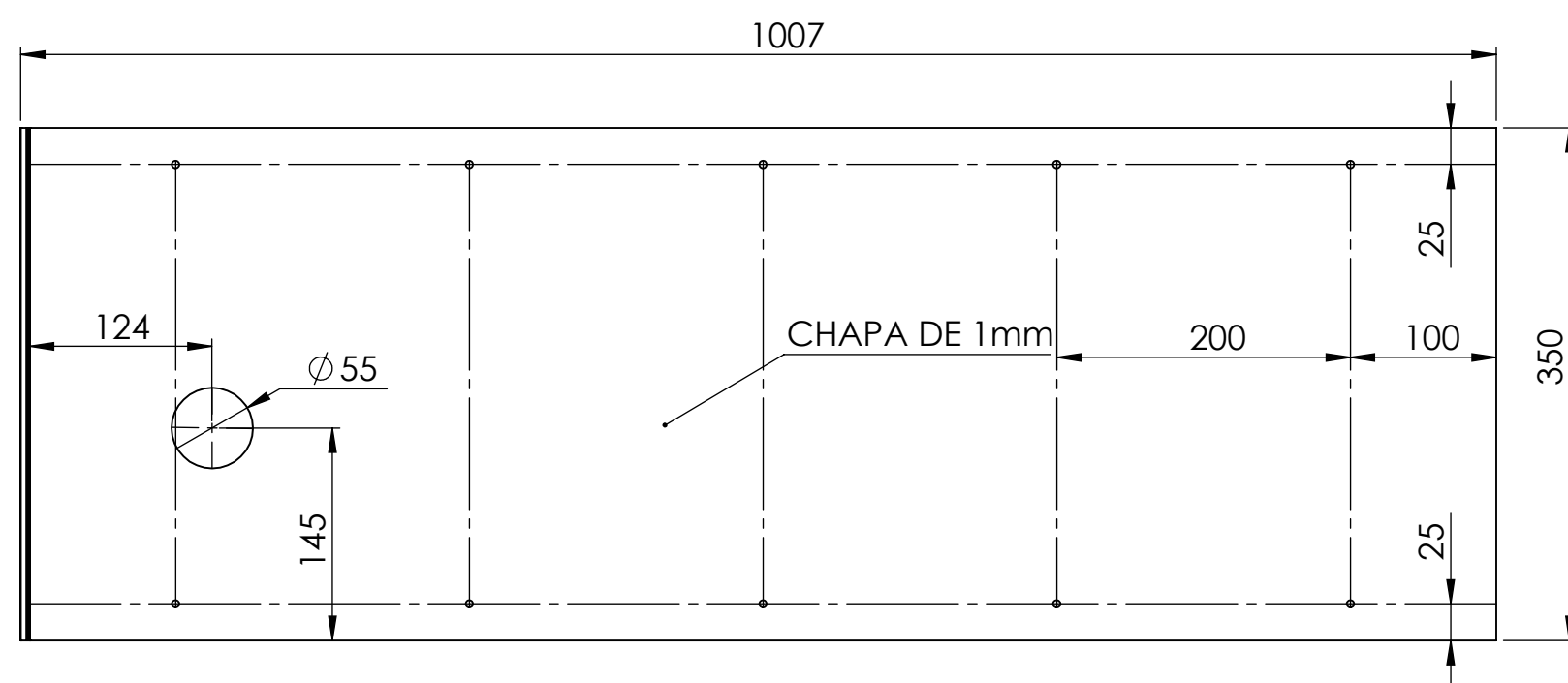
NOTA DE MONTAJE
 Luego de cortar una platina de 35mm de ancho por 1267mm de largo realizamos 5 perforaciones de 5mm de diametro y procedemos a barolar la platina hasta darle forma de anillo y unir los extremos con proceso de soldadura SMAW

				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				± 1	690.48 gr	ACERO INOXIDABLE AISI 304	
					FECHA	NOMBRE	Título:
				Dibujó:	05/08/2019	José Bayas	ANILLO DE REFUERZO
				Revisó:	07/08/2019	Ing.Santiago Cabrera	
				Aprobó:	07/08/2019	Ing.Santiago Cabrera	
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º De Lámina	Registro:
						HOJA 11 DE 12	
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:			Sustitución:	

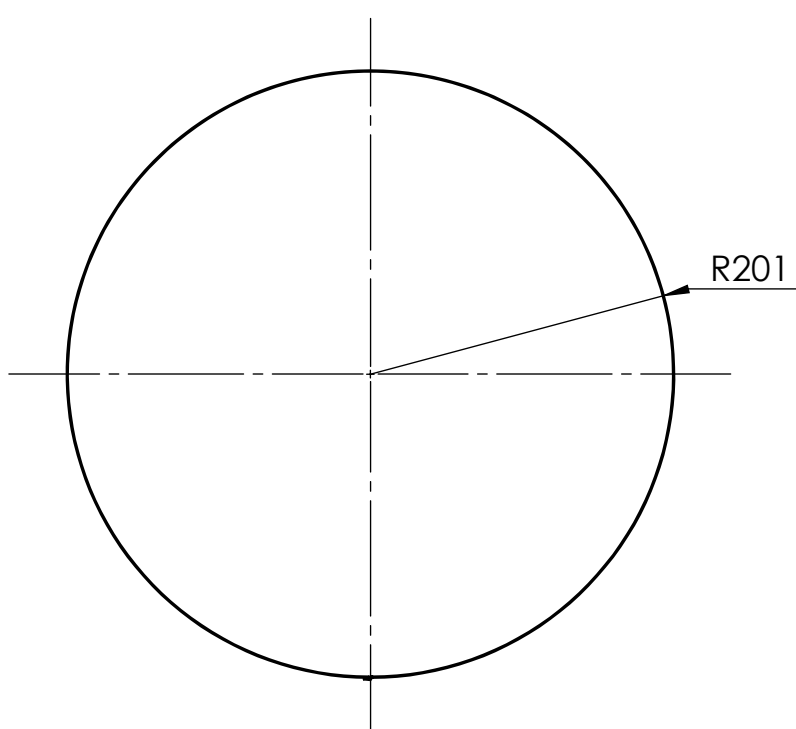
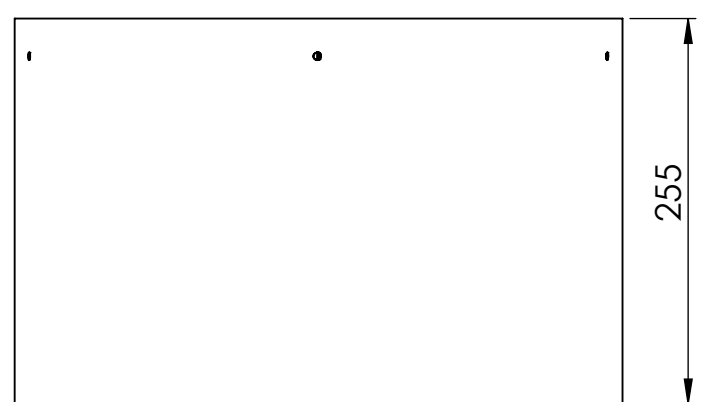
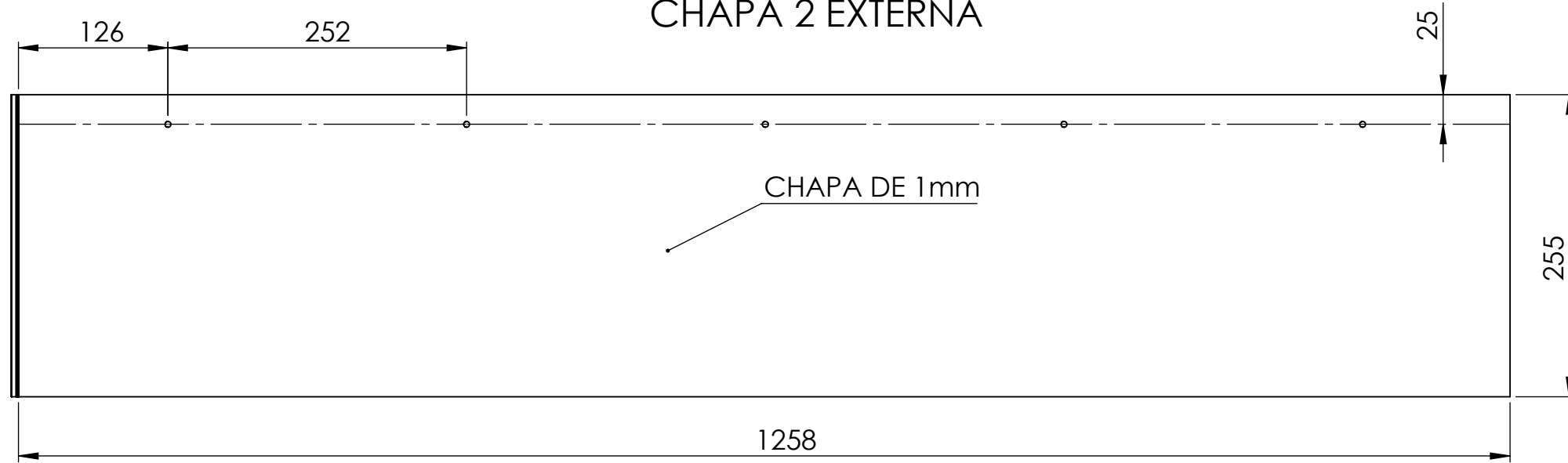
CHAPA 1 EXTERNA



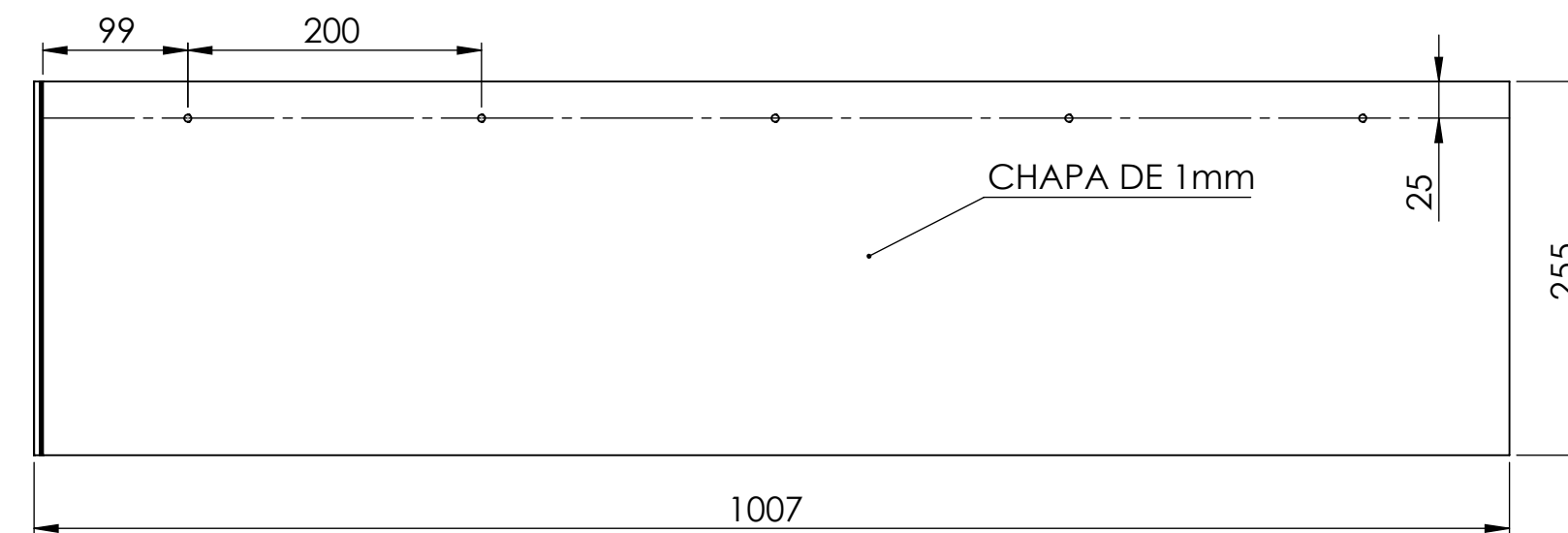
CHAPA 1 INTERNA



CHAPA 2 EXTERNA



CHAPA 2 INTERNA



Tolerancia:		Peso:		Material:	
± 1		3461.06 gr		Acero galvanizado	
FECHA:		NOMBRE:		Título:	
05/08/2019		Bayas ; Jarin		CILINDRO DE FUEGO	
Revisó:		Ing. Santiago Cabrera		Escala:	
07/08/2019				1:5	
Aprobó:		Ing. Santiago Cabrera		N.º De Lámina:	
				HOJA 12 DE 12	
Edición:		Modificación:		Fecha:	
Nombres:		U.T.A.		Registro:	
		INGENIERÍA MECÁNICA		Sustitución:	

N6