



**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 DE UN QUEMADOR DE GAS TIPO VENTURI CON UNA
POTENCIA DE 20 KW PARA LOS LABORATORIOS DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA MECÁNICA”**

AUTOR: Loor Mosquera Carlos Iván.

TUTOR: Ing. Mg. Cabrera Anda Santiago Paúl.

AMBATO – ECUADOR

Abril – 2021

CERTIFICACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico. Con el tema **“DISEÑO DE UN QUEMADOR DE GAS TIPO VENTURI CON UNA POTENCIA DE 20 KW PARA LOS LABORATORIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA”**, elaborado por el señor Loor Mosquera Carlos Iván con cédula de ciudadanía: C.I. 1727257634, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Marzo 2021

Ing. Mg. Cabrera Anda Santiago Paúl
TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Loor Mosquera Carlos Iván**, con C.I. 1727257634, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema: **“DISEÑO DE UN QUEMADOR DE GAS TIPO VENTURI CON UNA POTENCIA DE 20 KW PARA LOS LABORATORIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA”**, así como ideas de diseño, observaciones, criterios, resultados, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Marzo 2021



Loor Mosquera Carlos Iván
C.I. 1727257634
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo 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 normas de la institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi proyecto técnico con fines de difusión pública, además, apruebo 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 presentando nuestros derechos de autores.

Ambato, Marzo 2021



Loor Mosquera Carlos Iván
C.I. 1727257634
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico realizado por el estudiante Loo Mosquera Carlos Iván, de la Carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: **“DISEÑO DE UN QUEMADOR DE GAS TIPO VENTURI CON UNA POTENCIA DE 20 KW PARA LOS LABORATORIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA”**.

Ambato, Marzo 2021

Para constancia firman:

Ing. Mg. Escobar Luna Luis Eduardo
Miembro Calificador

Ing. Mg. López Villacis Gonzalo Eduardo
Miembro Calificador

DEDICATORIA

A mis padres, Carlos y Benilde ya que ellos son mi bendición y son quienes con su ayuda y esfuerzo han permitido que llegue a cumplir mi sueño tan anhelado, son el pilar fundamental en mi vida personal y profesional.

A mis hermanas, Karla e Isabel que me ha brindado su cariño, consejos y apoyo para continuar con mi proyecto. A toda mi familia por su atención y oraciones que me han brindado para culminar y cumplir mis sueños y metas.

A mis amigos ya que ellos son mi segunda familia y han estado presente en todos mis triunfos y fracasos en el camino universitario.

AGRADECIMIENTO

En primero lugar, agradezco a Dios, sin él nada de este gran logro sería posible.

A mis padres por su amor, trabajo y paciencia en toda mi trayectoria universitaria, gracias porque son mi motor y merecen lo mejor del mundo por su amor y apoyo infinito.

A mis hermanas y sobrina por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral brindado.

A todos mis amigos que han hecho que el trabajo se realice con éxito, en especial aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos. Para mi mejor amigo Lenin Ibáñez que siempre ha estado conmigo en las buenas y en las malas, gracias por ese apoyo brindado.

Sin olvidar a mi tutor, Ing. Santiago Cabrera, por su apoyo moral y paciencia en la realización de mi proyecto y a todos los docentes de mi carrera por sus conocimientos impartidos, les agradezco por los buenos y malos momentos.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	xviii
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT	xxii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivos Específicos	3
1.3. Fundamentación teórica	3
1.3.1. Quemadores.....	3
1.3.2. Características de quemadores	4
1.3.3. Funciones del quemador.....	4
1.3.4. Clasificación de los quemadores	4

1.3.4.1. Según la presión en que se proporciona el suministro	4
1.3.4.1.1. Quemadores de muy baja presión.	5
1.3.4.1.2. Quemadores de media presión.	5
1.3.4.1.3. Quemadores de alta presión.	5
1.3.4.2. Según el punto de mezcla.....	5
1.3.4.2.1. Quemadores de mezcla previa o premezcla	5
1.3.4.2.2. Quemadores sin mezcla previa o llama de difusión	6
1.3.4.3. Según el suministro de aire	7
1.3.4.3.1. Quemadores de aire forzado.....	7
1.3.4.3.2. Quemador de aire inducido	8
1.3.4.3.3. Quemador de aire inductor	9
1.3.5. Quemadores de gas atmosféricos	10
1.3.5.1. Quemadores con llama blanca.....	10
1.3.5.2. Quemadores de llama azul.	11
1.3.6. Partes del quemador de gas atmosférico.	13
1.3.6.1. Inyector.....	13
1.3.6.2. Cámara de mezcla	14
1.3.6.3. Efecto Venturi	14
1.3.6.4. Cabeza del quemador	16
1.3.7. Funcionamiento del quemador atmosférico	16
1.3.7.1. Diagrama de funcionamiento de un quemador atmosférico.....	17
1.3.8. Combustibles	18
1.3.8.1. Combustibles gaseosos.....	19
1.3.8.2. Propiedades de los combustibles.....	20
1.3.8.2.1. Poder calorífico:	20
1.3.8.2.2. Poder calorífico superior:	20

1.3.8.2.3. Poder calorífico inferior:	20
1.3.8.2.4. Peso específico:	20
1.3.8.2.5. Densidad de un combustible:	20
1.3.8.3. Composición de los combustibles.	20
1.3.8.3.1. Gas fabricado.....	21
1.3.8.3.2. Gas natural.....	21
1.3.8.3.3. Biogas	21
1.3.8.3.4. Gas licuado de petróleo	22
1.3.8.3.4.1. Características del GLP	23
1.3.8.3.4.2. Aplicaciones	23
1.3.8.3.4.3. Ventajas del GLP.....	25
1.3.8.3.4.4. Desventajas.....	26
1.3.8.4. Combustión	26
1.3.8.4.1. Triángulo de la combustión.....	27
1.3.8.4.2. Condiciones para la combustión.....	29
1.3.8.4.3. Gases que intervienen en el proceso.....	30
1.3.8.5. Tipos de llama	32
1.3.8.5.1. Llamas de premezcla	32
1.3.8.5.1.1. Ventajas de las llamas de premezcla.	33
1.3.8.5.1.2. Inconvenientes de las llamas de premezcla.....	33
1.3.8.5.2. Llamas de difusión	33
1.3.8.5.2.1. Ventajas de las llamas de difusión.	33
1.3.8.5.2.2. Inconvenientes de la llama de difusión.	34
CAPÍTULO II	35
METODOLOGÍA	35
2.1. Selección de Materiales.....	35

2.1.1. Venturi.....	36
2.1.2. Soporte de la boca de entrada y salida del Venturi	37
2.1.3. Abrazaderas de la boca de entrada y de salida del Venturi	39
2.1.4. Regulador de aire primario.....	41
2.1.5. Acople roscado para la inyección de GLP	42
2.1.6. Soporte del conjunto de inyección del gas	43
2.1.7. Bushing.....	44
2.1.8. Válvula de bola.....	45
2.1.9. Acople espiga macho.....	46
2.2. Métodos.....	46
2.2.1. Tipo de investigación:	46
2.2.1.1. Bibliográfica:.....	46
2.2.1.2. Descriptiva:	47
2.2.1.3. Simulación:.....	47
2.2.2. Enfoque:	47
2.2.2.1. Cuantitativo:	47
2.3. Técnicas:.....	47
2.3.1. Observación:.....	47
2.3.2. Fichaje:	48
2.3.3. Software de diseño:	48
2.3.4. Software de simulación:	48
2.4. Parámetros de diseño y cálculos:.....	48
2.4.1. Parámetros de cálculo termodinámico	48
2.4.2. Parámetros de simulación.....	49
2.4.3. Parámetros de simulación de esfuerzo mecánico del material	51

CAPÍTULO III.....	52
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
3.1. Análisis y Discusión de los Resultados.....	52
3.1.1. Pérdidas por conducción, convección y radiación en la salida del Venturi	52
3.1.2. Resistencia térmica a la conducción entre la superficie interior y la superficie exterior a través de la pared el tubo Venturi	53
3.1.3. Resistencia térmica a la convección entre la superficie exterior y el ambiente a través del aire circundante	54
3.1.4. Resistencia térmica a la radiación entre la superficie exterior y el ambiente	56
3.2. Cálculos para verificar valores obtenidos	58
3.2.1 Resistencia conducción	58
3.2.2. Resistencia a la convección:.....	59
3.2.3. Resistencia a la radiación	61
3.2.4. Sistema de resistencias en paralelo:	62
3.3. Pérdida periférica de la boca	63
3.3.1. Cálculo de la longitud de la llama.	63
3.3.2. Caudal volumétrico GLP.....	65
3.3.3. Calor por radiación.....	66
3.4. Pérdida frontal de la boca.....	67
3.5. Cálculos de combustión	68
3.5.1. Cálculo relación aire combustible	69
3.5.2. Entalpía combustión	69
3.5.3. Calor teórico generado	70
3.6. Cálculo del flujo másico de GLP	71

3.7. Cálculo de la velocidad estimada a la salida del tubo Venturi.....	73
3.8. Cálculo del flujo de calor del aire caliente generado	75
3.9. Cálculo del flujo de calor a la salida del Venturi.	76
3.10. Cálculo de la eficiencia térmica del quemador	76
3.11. Pérdidas por inquemados sólidos.	77
3.12. Cálculos de diseño mecánico	78
3.12.1. Dilatación térmica en la salida del Venturi	78
3.12.2. Dilatación térmica lineal	78
3.12.3. Dilatación térmica diametral	79
3.13. Cálculos de diseño de cargas.....	80
3.14. Simulación del quemador	85
CAPÍTULO IV.....	96
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	96
4.1. Conclusiones	96
4.2. Recomendaciones.....	98
BIBLIOGRAFÍA	100
ANEXOS	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Quemador atmosférico con llama premezcla	6
Fig. 2 Quemador de difusión	6
Fig. 3 Mecanismo de estabilización de llama por recirculación.	7
Fig. 4 Quemador de aire forzado.	8
Fig. 5 Quemador de aire forzado.	8
Fig. 6 Quemador de aire inducido	9
Fig. 7 Quemador de aire inductor.	10
Fig. 8 Quemador de aire inductor con gas a la presión de la línea.	10
Fig. 9 Quemadores de llama blanca.	11
Fig. 10 Quemador atmosférico con llama azul.	12
Fig. 11 Quemadores del tipo Venturi	13
Fig. 12 Inyector	13
Fig. 13 Diferentes dispositivos de reglaje del aire primario a). Por brida; b). Por disco roscado; c). Por venturi regulable.	14
Fig. 14 Efecto Venturi.....	15
Fig. 15 Cabeza del quemador.....	16
Fig. 16 Diagrama de Funcionamiento de un Quemador Atmosférico.	18
Fig. 17 Composición del biogás	22
Fig. 18 Triangulo de la combustión.	27
Fig. 19 Fases de reacción de combustión.....	28
Fig. 20 Tipos de Combustión.....	29
Fig. 21 Estructura de una llama de premezcla.	33
Fig. 22 Configuraciones de llamas de difusión	34

Fig. 23 Llamas de premezcla (total y parcial) y de difusión.	34
Fig. 24 Selección de la potencia teórica.....	48
Fig. 25 Esquema de la región transversal a la salida del Venturi.	52
Fig. 26 Resistencia térmica del quemador tipo Venturi.....	57
Fig. 27 Esquema de las pérdidas en la periferia de la boca.....	63
Fig. 28 Diagrama de Sankey de pérdidas y energía útil en el quemador	78
Fig. 29 Distribución de cargas en el quemador.....	81
Fig. 30 Diagrama de reacciones del quemador	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Presiones críticas para gases combustibles	5
Tabla 2 Tipos de combustibles de acuerdo a su estado de agregación.	19
Tabla 3 Aplicaciones industriales del GLP.	24
Tabla 4 Propiedades físicas del GLP.	25
Tabla 5 Porcentaje de límites de inflamabilidad en el aire	30
Tabla 6 Características del Venturi	36
Tabla 7 Soportes del quemador.....	38
Tabla 8 Abrazaderas del quemador.....	40
Tabla 9 Regulador de aire primario	41
Tabla 10 Acople roscado para la inyección de gas combustible.....	42
Tabla 11 Soporte del conjunto de inyección del gas.....	43
Tabla 12 Características del bushing.....	45
Tabla 13 Válvula de bola	45
Tabla 14 Características del acople espiga macho	46
Tabla 15 Presión atmosférica en función de la altura	49
Tabla 16 Parámetros de entrada para la simulación CFD	50
Tabla 17 Parámetros de entrada para el análisis estático y térmico.....	51
Tabla 18 Datos conocidos del quemador en funcionamiento	52
Tabla 19 Valores finales calculados.....	57
Tabla 20 Datos obtenidos de entalpía de combustión.....	70
Tabla 21 Datos obtenidos de entalpía de combustión.....	71
Tabla 22 Datos de las pérdidas y de la energía útil.....	77
Tabla 23 Simulación del esfuerzo de Von Misses en el quemador.....	85
Tabla 24 Simulación del esfuerzo de Von Misses en las bases del quemador	86
Tabla 25 Simulación de la deformación resultante en el quemador	87

Tabla 26 Simulación de la dilatación térmica del quemador	88
Tabla 27 Simulación de la temperatura del quemador cuando está en contacto con la llama.....	89
Tabla 28 Simulación de la llama del quemador – Presión dinámica	90
Tabla 29 Simulación de la llama del quemador – Calor de la reacción de combustión	91
Tabla 30 Simulación de la llama del quemador – Entropía	92
Tabla 31 Simulación de la llama del quemador – Entalpía.....	93
Tabla 32 Simulación de la llama del quemador – Temperatura de la llama	94
Tabla 33 Simulación de la llama del quemador – Velocidad.....	95

GLOSARIO DE TÉRMINOS

T_i :	Temperatura al interior de la boca del tubo Venturi	K
T_e :	Temperatura al exterior de la boca del tubo Venturi	K
T_∞ :	Temperatura ambiente	K
T_f :	Temperatura de película	K
D_e :	Diámetro exterior de la boca del tubo Venturi	m
D_i :	Diámetro interior de la boca del tubo Venturi	m
r_e :	Radio exterior de la boca del tubo Venturi	m
r_i :	Radio interior de la boca del tubo Venturi	m
L :	Longitud de la boca del tubo Venturi	m
g :	Aceleración de la gravedad	$\frac{m}{s^2}$
Q :	Flujo de Calor	W
R_{cond} :	Resistencia térmica por conducción	$\frac{^\circ C}{W}$
h_{conv} :	Coefficiente de transferencia de calor por convección	$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
k :	Conductividad térmica del fluido	$\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$
Nu :	Número de Nusselt	-
Ra_D :	Número de Rayleigh	-
Pr :	Número de Prandtl	-
β :	Coefficiente de expansión volumétrica	$\frac{1}{K}$
γ :	Viscosidad cinemática del fluido	$\frac{m^2}{s}$

R_{Rad} :	Resistencia térmica por radiación	$\frac{^{\circ}C}{W}$
h_{rad} :	Coefficiente de transferencia de calor por radiación	$\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}$
ε :	Emisividad	-
σ :	Constante de Stefan Boltzman	$\frac{W}{m^2 \cdot K^4}$
R_{comb} :	Resistencia térmica combinada	$\frac{^{\circ}C}{W}$
h_{comb} :	Coefficiente de transferencia de calor combinado	$\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}$
S_{LP} :	Relación estequiométrica del Gas GLP	-
$S_{C_3H_8}$:	Relación estequiométrica corresponde al propano	-
$S_{C_4H_{10}}$:	Relación estequiométrica corresponde al butano	-
$\psi_{primario}$:	Cantidad de aire primario suministrado	-
L_f :	Longitud de la llama	m
\bar{h}_{o_f} :	Entalpía de formación a 25°C y 1 atm	$\frac{KJ}{Kmol}$
\bar{h} :	Entalpía de formación a T de reactivos o productos	$\frac{KJ}{Kmol}$
h° :	Entalpía de corrección	$\frac{KJ}{Kmol}$
Q_{Util} :	Flujo de calor útil	kW
$Q_{Entrada}$:	Flujo de calor de entrada	kW
η_{Ter} :	Eficiencia térmica	%
L_o :	Longitud original o inicial de la boca del tubo Venturi	m
D_o :	Diámetro original o inicial de la boca del tubo Venturi	m
α :	Coefficiente de dilatación térmica	$\frac{1}{^{\circ}C}$

ΔT :	Cambio de temperatura	$^{\circ}C$
n_d :	Factor de diseño	-
k^2 :	Radio de giro al cuadrado	m^2
c :	Distancia del centroide a la parte más externa del elemento	m
e :	Excentricidad de la carga aplicada	m

RESUMEN

La metodología que se planteó para el diseño fue de simulación en software utilizando el método de elementos finitos con elementos tipo Solid 185; además de técnicas como la observación y fichaje, para el diseño del quemador y anotación de resultados de los cálculos; el proyecto también es de tipo bibliográfico ya que se busca el sustento teórico para los cálculos y es descriptivo debido a que se detalla la eficiencia del quemador paso a paso. Los parámetros de diseño y simulación empleados fueron potencias, presiones, velocidades, diámetros y temperaturas con la finalidad de comprobar los resultados calculados junto con los obtenidos mediante software.

Otro objetivo fue la obtención de pérdidas térmicas por convección y radiación a través de cálculos y ecuaciones fundamentales de transferencia de calor que dio como resultado 0,073 kW; se analizaron también pérdidas periféricas de 0,13,6 kW, pérdidas frontales de 0,002 kW; pérdidas por inquemados de 0,7 kW; y otro tipo de pérdidas con un valor de 8,795 kW; luego del cálculo de las pérdidas se determinó que la energía útil del quemador corresponde a 10,294 kW que da como resultado un rendimiento térmico del 51,47 por ciento.

Se seleccionaron mediante catálogo los accesorios del quemador y se diseñaron los soportes y el Venturi considerando un material que rinda con las prestaciones térmicas.

Los datos obtenidos de la simulación corroboran los parámetros calculados y brindan una idea gráfica de cómo operará el quemador bajo las condiciones propuestas.

ABSTRACT

The methodology proposed for the design was software simulation using the finite element method with Solid 185 type elements; in addition to techniques such as observation and recording, for the design of the burner and annotation of the results of the calculations; The project is also of a bibliographic type since the theoretical support for the calculations is sought and it is descriptive because the efficiency of the burner is detailed step by step. The design and simulation parameters were: power, pressures, speeds, diameters and temperatures in order to verify the calculated results together with those obtained by software.

Another objective was to obtain thermal losses by convection and radiation through calculations and fundamental heat transfer equations that resulted in 0.073 kW; Peripheral losses of 0.13.6 kW, frontal losses of 0.002 kW were also analyzed; unburned losses of 0.7 kW; and other types of losses with a value of 8,795 kW; After calculating the losses, it was determined that the useful energy of the burner corresponds to 10,294 kW, which results in a thermal efficiency of 51.47 percent.

The burner accessories were selected from the catalog and the supports and the Venturi were designed considering a material that performs with the thermal performance.

The data obtained from the simulation corroborates the calculated parameters and provides a graphic idea of how the burner will operate under the proposed conditions.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

En una investigación efectuada en el año 2004 por Arrieta, García, Quilindo y Alberto [1] sobre la influencia de la altitud sobre la velocidad de deflagración del gas natural, se encontró que una mezcla rica de gas natural y aire funciona al 97% de metano, 1,39% de nitrógeno y 0,37% de dióxido de carbono bajo un régimen laminar. En el estudio se encontró que la velocidad de deflagración varía de una manera poco significativa en función de la altitud. Al disminuirse la presión atmosférica la velocidad de deflagración aumenta, mientras que, al disminuirse la temperatura, la velocidad de deflagración disminuye.

En el diseño y construcción del prototipo de un quemador de GLP de baja potencia para el proceso de secado agroindustrial efectuado por Jarrín y Bayas en 2019 [2], se determinó que la eficiencia del quemador fue del 70,7% en donde se aprovecha 7,8 kW de los 10,97 kW que ingresan en el quemador. Las pérdidas calculadas fueron de 11,7% que corresponde a 1,29 kW como inquemados, pérdidas no cuantificadas del 17,6% que corresponden a 1,93 kW por pérdidas de transferencia de calor por la parte posterior del quemador.

El diseño y construcción de un quemador de aire inductor efectuado por Martínez, Cardona, y Arrieta en 2001 [3], se siguió el procedimiento planteado por los autores en donde se encontraron las dimensiones necesarias para la construcción del quemador, la tasa de aireación apropiada para cada aplicación y una baja emisión de contaminantes como CO y CO₂. La amplia modulación de potencia de los quemadores de aire inductor fue de 1 a 8 máximos; y los quemadores de gas inductor tienen una modulación de potencia de 1 a 3 máximo.

Mediante el análisis numérico de la combustión en un quemador atmosférico tipo corona de aplicación doméstica efectuado por Cancino, Restrepo y Oliviera en 2007 [4] mostró

un modelo de turbulencia en donde se captaron zonas de recirculación en el dominio computacional, en donde se visualiza el flujo de productos y reactivos que pueden afectar la configuración de la llama.

En el estudio de emisiones de monóxido de carbono y metano en un quemador atmosférico de gas natural [5] se encontró que la configuración del quemador afecta las emisiones de CO y CH₄. En las configuraciones cilíndricas convergentes – divergentes las emisiones incrementan significativamente, mientras que en configuraciones sin este efecto convergente – divergente la ratio de aireación primaria es alto, mayores a 0,6; y no son suficientes para evitar la formación de CO en potencias mayores o iguales a 1,65 kW.

Algunas investigaciones realizan el estudio paramétrico de quemadores de gas de alta eficiencia y baja emisión, con el objetivo de determinar la influencia de parámetros importantes el flujo de turbulencia, altura de carga y llama de combustión semiconfinada, sobre la eficiencia térmica y las emisiones de un quemador de gas de flujo de turbulencia. Mostrando resultados que el quemador de flujo de turbulencia produce mayor eficiencia térmica y emite una concentración más baja que el quemador de flujo radial convencional [6]. El desarrollo de dispositivos para producir vacío mediante el efecto Venturi, compuestos por una carcasa que define a la cámara de succión.

En un trabajo desarrollado por Flanigan en el 2019 en su tesis para la obtención del Máster en Ciencias [7], realiza una exploración en quemadores de gas atmosférico, donde comúnmente se han empleado relaciones lineales para determinar la geometría y especificaciones de los diseños de estos componentes. Presentando un esquema para el diseño de estos quemadores de gas. Otras investigaciones presentan el diseño y evaluación experimental de seis mezcladores para un quemador de 1,5 kW de potencia térmica, usando gas licuado de petróleo. Analizando los parámetros de diseño para mejorar el desempeño de los quemadores domésticos.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Diseñar un quemador de gas tipo Venturi con una potencia de 20 kW para los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Establecer los parámetros de diseño del quemador de gas tipo Venturi.
- Determinar pérdidas térmicas por convección y radiación del quemador.
- Calcular el rendimiento térmico del quemador de gas.
- Diseñar los componentes mecánicos del quemador de gas.
- Realizar simulación térmica del quemador de gas.

1.3. Fundamentación teórica

1.3.1. Quemadores

Existen varios trabajos e investigaciones desarrolladas para producir mejores quemadores, lograr una mejor eficiencia energética a nivel del sistema, emisiones de CO₂, siendo prioridad para la industria actualmente, donde se han desarrollado diseños novedosos, partiendo desde cero, no de un diseño de quemador convencional, sino con el desarrollo de innovaciones que maximice los beneficios con técnicas de diseño para mejorar los quemadores fabricados. Siendo el trabajo desarrollado por Moosbrugger, Giuliani, Paulitsch y Andracher uno de ellos, progresando en el diseño de quemadores mediante fabricación aditiva con un enfoque monolítico y características adicionales.

Donde la principal función de los quemadores es realizar una reacción de combustión entre el combustible y el comburente de una manera controlada y regulable. Para que exista esta reacción, es necesario que exista una aportación equilibrada entre estos dos componentes para conseguir la potencia calórica, además es precisa la distribución de la zona de reacción y el movimiento de los productos de combustión para que exista un intercambio de carga eficiente desde estos productos al calor producido.

1.3.2. Características de quemadores

- Debe funcionar correctamente en un rango de variación de 0,25 a 1,25 veces la presión de diseño.
- Debe ser capaz de quemar completamente el gas.
- En el encendido, el paso de la llama de agujero en agujero, debe producirse rápidamente, en todo el quemador.
- El encendido, quemado y pagado debe ser completamente suave.
- Debe suministrar una distribución uniforme de calor a la superficie de calentamiento.
- No levantar las llamas lejos de las lumbreras o agujeros.

1.3.3. Funciones del quemador

Las funciones básicas del quemador son:

- Uso eficiente del combustible gaseoso suministrado para obtener la potencia térmica.
- Regular el caudal de aire y gas.
- Efectuar una mezcla uniforme de aire y combustible para conseguir los límites de inflamabilidad.
- Reducir las emisiones de monóxido de carbono, óxido nitroso y sin hollín.
- Mantener estable la llama sin la retrollama o desprendimiento de llama.

1.3.4. Clasificación de los quemadores

Existen múltiples tipos de quemadores de gas, se pueden clasificar según algunos criterios:

1.3.4.1. Según la presión en que se proporciona el suministro

Desde el punto de vista del orden de magnitud de la presión de suministro del gas combustible, se plantea la siguiente clasificación. [8]

1.3.4.1.1. Quemadores de muy baja presión.

Cuando la presión de suministro alcanza valores de hasta 0,1 bar se toma en cuenta como un fluido incomprensible. [8]

1.3.4.1.2. Quemadores de media presión.

Este tipo de quemadores trabajan en presiones mayores a 0,1 bar hasta por debajo del límite de la presión crítica [8] en la tabla 1 se presentan algunos valores de presión crítica de algunos gases.

1.3.4.1.3. Quemadores de alta presión.

En el caso de que la presión de suministro supere a la presión crítica, como se muestra en la tabla 1, en donde se especifican las presiones con respecto al tipo de gas empleado.

Tabla 1 Presiones críticas para gases combustibles [8]

GASES	PRESIÓN CRÍTICA RELATIVA (bar)
Gas manufacturado	0.876
Propano comercial	0.856
Butano comercial	0.752
Gas natural	0.741

1.3.4.2. Según el punto de mezcla

Desde el punto de vista de donde se efectúa la mezcla del gas y el aire se plantea la siguiente clasificación:

1.3.4.2.1. Quemadores de mezcla previa o premezcla

El gas y el aire primario se mezclan previamente en un mezclador antes de llegar a la zona de combustión. El aire secundario que llega a la zona de combustión por difusión proviene directamente desde la atmósfera.

La figura 1, muestra un quemador con llama de premezcla. En algunas aplicaciones la premezcla es total y no se requiere de aire secundario.

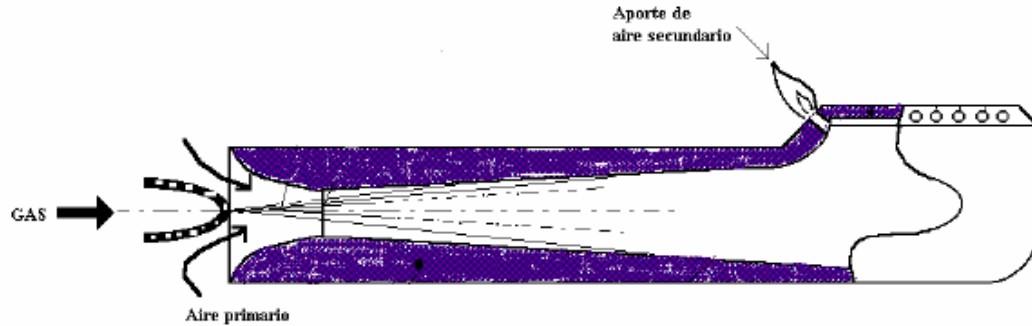


Fig. 1 Quemador atmosférico con llama premezcla [8]

1.3.4.2.2. Quemadores sin mezcla previa o llama de difusión

En este tipo de quemadores el combustible y el comburente son suministrados de manera independiente a la zona de combustión. La mezcla y la combustión ocurren al mismo tiempo.

La figura 2, presenta un quemador con llama de difusión. [8]

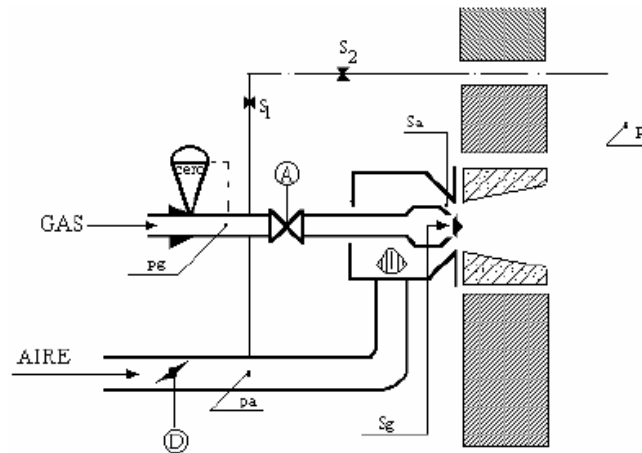


Fig. 2 Quemador de difusión [8]

Estos quemadores se encuentran principalmente en calderas. La mezcla y la estabilización de la llama es realizada por el siguiente efecto: Se presenta un flujo turbulento, y la llama se sostiene mediante un proceso de recirculación mediante un disco perforado. [8]

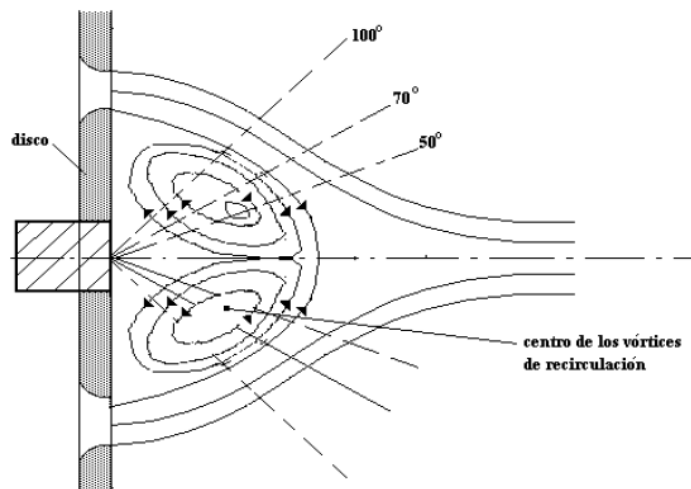


Fig. 3 Mecanismo de estabilización de llama por recirculación. [8]

1.3.4.3. Según el suministro de aire

Desde el punto de vista de la alimentación del aire se presenta la siguiente clasificación:

1.3.4.3.1. Quemadores de aire forzado

El ingreso de aire se efectúa de manera forzada mediante un ventilador para el suministro de aire total a la premezcla para la combustión sin emisiones de residuos tóxicos con una razón de aire de 1.05 a 1.1. [8]

El quemador de aire forzado se aplica en situaciones en las que se requiere un gran exceso de aire en la combustión, o en el caso de que exista un descenso brusco en la presión en la salida del quemador, además se aplica cuando es necesario obtener una combustión higiénica. [8]

El ventilador es montado a la entrada del Venturi o en el mecanismo mezclador, ver figuras 4 y 5. La mezcla entre el aire y el gas se puede realizar a través de las siguientes maneras: [8]

El gas es inyectado agua abajo, el cual se mezcla con el aire por turbulencia y el ventilador induce la corriente de la mezcla, figura 4

El aire y el gas son inyectados separadamente a un mecanismo mezclador, figura

5.

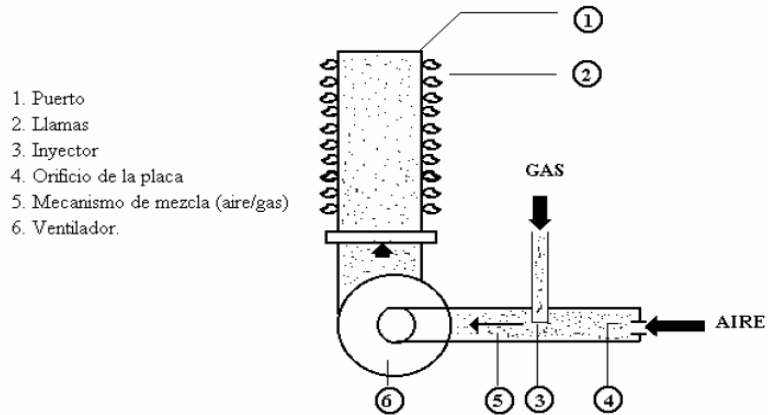


Fig. 4 Quemador de aire forzado. [8]

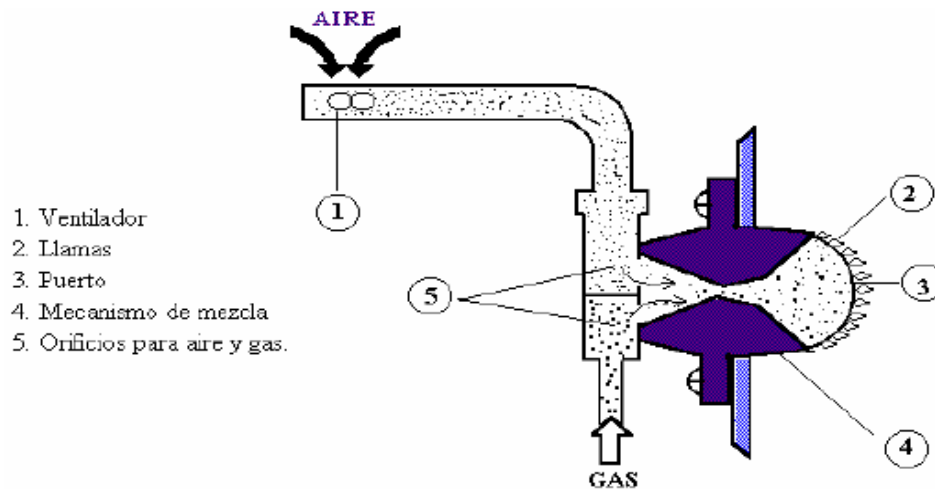


Fig. 5 Quemador de aire forzado. [8]

1.3.4.3.2. Quemador de aire inducido

El aire atmosférico es arrastrado por la corriente de gas; al expandirse ésta desde el inyector, su velocidad aumenta y la presión decrece, creándose una zona de presión negativa lo que permite la inducción de aire. Figura 6. [8]

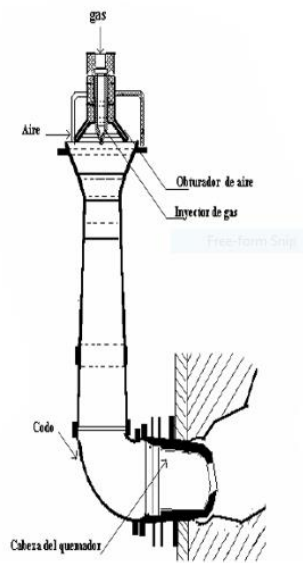


Fig. 6 Quemador de aire inducido [8]

1.3.4.3.3. Quemador de aire inductor

Puede ser utilizado para inducir la corriente de gas, que inicialmente se encuentra a presión atmosférica. Cuando se requieren grandes relaciones másicas de aire combustible, este tipo de quemador garantiza una operación fácil, y pueden alcanzarse variaciones de rata de flujo de 1 a 5 para una relación constante de aire a gas.

Para este sistema de inducción no se hace uso de la energía de presión del gas en la línea, usualmente se requiere de un gasto de energía para comprimir el aire. El gas inducido puede estar a una ligera presión diferente a la atmosférica para evitar cualquier infiltración accidental mientras el quemador está apagado. Este método presenta seguridad que no existe en los quemadores donde el fluido motriz es el gas. En la figura 7 se muestra un quemador de aire inductor. [8]

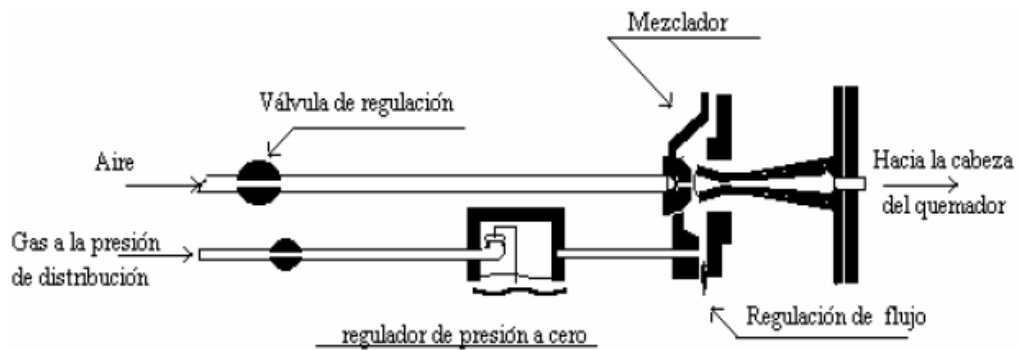


Fig. 7 Quemador de aire inductor. [8]

También se encuentran quemadores de aire inductor como se ve en la figura 8, donde el aire está a alta presión y el gas se introduce en el quemador a la presión que tiene en la línea. [8]

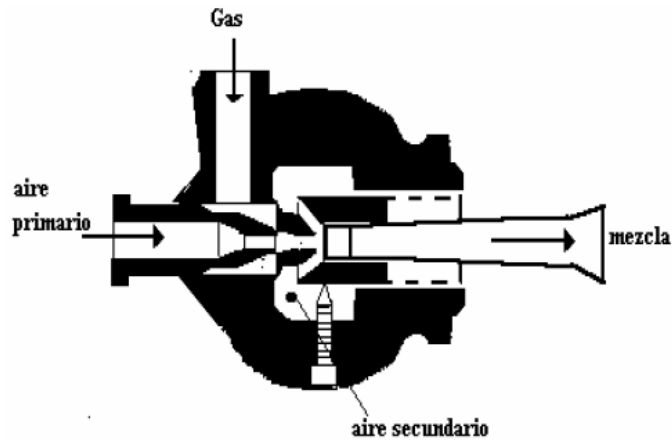


Fig. 8 Quemador de aire inductor con gas a la presión de la línea. [8]

1.3.5. Quemadores de gas atmosféricos

El quemador atmosférico es aquel que mezcla el gas con el oxígeno (comburente) contenido en el aire, esta mezcla se efectúa directamente sin que medie ningún tipo de ventilador ni cualquier otro dispositivo que impulse aire. Pueden ser: [9]

1.3.5.1. Quemadores con llama blanca

Son quemadores en los que se omite la mezcla de aire – combustible. Formados por un tubo cerrado por un extremo y abierto por el otro, que es por donde entra el gas

combustible, este a su vez, sale por una serie de orificios, regularmente espaciados y practicados en el tubo, según se observa en la figura 9.

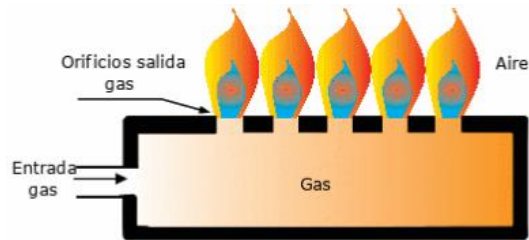


Fig. 9 Quemadores de llama blanca. [9]

Cuando el gas sale por los orificios al exterior, se mezcla con el aire, de modo más o menos perfecto, por tanto, con unos defectos que hacen que falte aire para la combustión. Normalmente los orificios son ranuras a fin de obtener llamas planas, en forma de mariposa, con lo que se aumenta la superficie de la llama de forma que se capte el máximo de aire secundario. En la actualidad no se utiliza este tipo de quemadores. Las llamas de este quemador son blancas, blandas, luminosas y desprenden monóxido de carbono y carbonilla. En la actualidad se suele utilizar solo para aparatos de iluminación. [9]

1.3.5.2. Quemadores de llama azul.

En ellos, el gas combustible atraviesa una pieza llamada inyector, que es desmontable y está compuesta por un material de latón. Al inyector, coloquialmente, se le llama chicle, su diámetro depende de: [9]

- ❖ Tipo de gas por su densidad relativa.
- ❖ Presión del gas a la entrada del inyector.
- ❖ Potencia calorífica que debe proporcionar el quemador.

El funcionamiento del quemador atmosférico de llama azul (figura 10) es el siguiente, una vez que el gas pasa por el inyector (que es el que regula el caudal de gas) entra en la cámara mezcladora, en ésta se produce un estrechamiento, produciéndose el efecto Venturi, por lo que la mezcla aire-gas aumentará la velocidad. Una vez que la mezcla llega a la cabeza, se mezclará con más aire del ambiente, produciendo una llama estable con un poder calorífico adecuado. [9]

El efecto Venturi consiste en que la presión de un fluido en movimiento sea menor en los lugares donde su velocidad sea mayor. Cuando pasa gas por el inyector, que normalmente hace de regulador del caudal de entrada en el mezclador que forma el cuerpo del quemador, se forman dos tipos de aire, uno será el aire primario, situado en la salida de gas del inyector, y otro será el aire secundario, que se forma cuando sale la llama del quemador. [9]

En los generadores de llamas blancas se emplearán gases de alto poder calorífico se producirían llamas blancas demasiado largas que se des prenderían con facilidad además se correría el riesgo de producir una mala combustión (combustión incompleta). Estos problemas obligaron a desarrollar unos quemadores, como el mechero Bunsen, en estos se produce una combustión completa mediante dos etapas: la primera se basa en una mezcla de aire primario antes de la combustión, la segunda se aporta aire secundario en la altura de la llama, mediante esto se obtiene llamas azules estables y de color azul debido a la combustión son completas. [9]

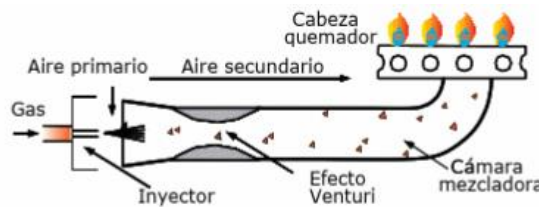


Fig. 10 Quemador atmosférico con llama azul. [9]

Quemadores atmosféricos Se utiliza este término, y también el de quemadores tipo Venturi (figura 11), para designar aquellos quemadores donde el gas inyectado a gran presión arrastra, por efecto Venturi, la corriente de aire, que se halla a presión atmosférica. Su margen de regulación es bastante limitado. Variaciones importantes en la presión, o caudal del gas provocan una mala mezcla y una combustión incorrecta. En la Figura se muestran dos tipos de quemadores tipo Venturi. [10]

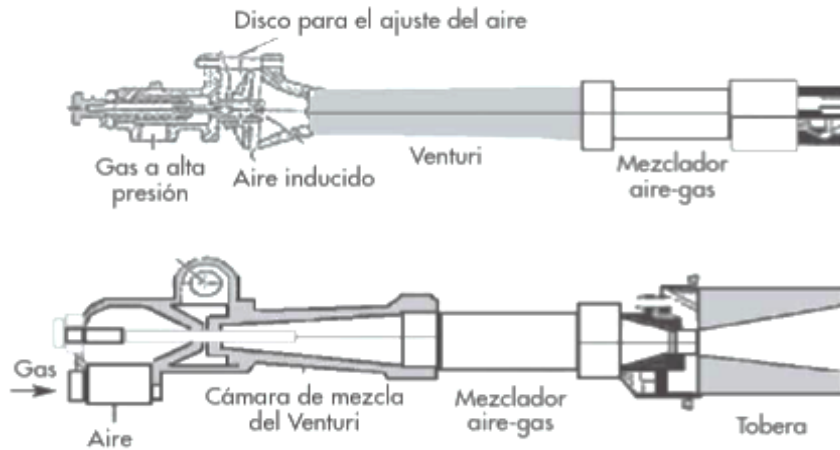


Fig. 11 Quemadores del tipo Venturi [10]

Varias investigaciones desarrolladas predicen la caída de presión en Venturi basados en un modelo de flujo y la capa límite, siendo un factor de vital importancia en los procesos de explotación y transportación del gas natural. Teniendo en cuenta el deslizamiento entre los fluidos, principalmente el gas y el líquido, ajustándose la proporción de espesor de desplazamiento en la sección transversal del Venturi.

1.3.6. Partes del quemador de gas atmosférico.

1.3.6.1. Inyector

El inyector es la pieza mediante la cual se fija la potencia del quemador. Tiene un orificio que determina el caudal de gas según la presión de alimentación como se aprecia en la figura 12. Cualquier modificación del diámetro del orificio provoca la variación de la potencia del quemador. Si un inyector funciona correctamente, no debe modificarse su calibre ya que podría dar origen a una combustión defectuosa. [10]

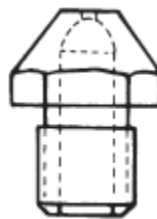


Fig. 12 Inyector [10]

1.3.6.2. Cámara de mezcla

La cámara de mezcla es el espacio donde se realiza la mezcla del aire primario y el gas, puede ser de diversas configuraciones como se aprecia en la figura 13. El aire primario entra en la cámara por la misma tobera que el gas o a través de unos agujeros practicados en las paredes del tubo, los cuales se llaman lumbreras. Las lumbreras pueden tener unos mecanismos que permiten regular la entrada de aire primario. El aire primario entra en la cámara de mezcla gracias al efecto Venturi. [10]

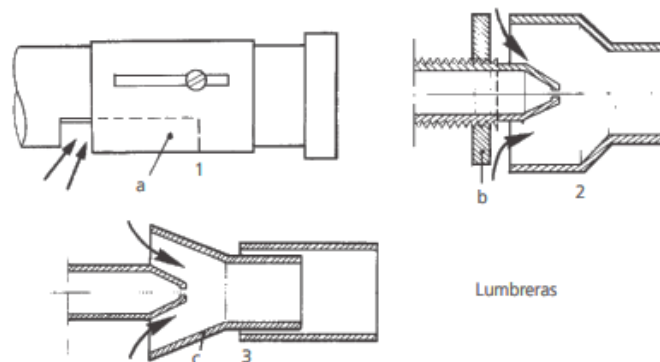


Fig. 13 Diferentes dispositivos de reglaje del aire primario a). Por brida; b). Por disco roscado; c). Por venturi regulable. [10]

1.3.6.3. Efecto Venturi

Un fluido que circule por un conducto horizontal de sección constante tiene la misma presión en todos sus puntos, ya que al ser horizontal la conducción, no hay diferencias de presión debidas a la altura. Cuando en una conducción horizontal hay una variación de sección, como el caudal es el mismo en toda su longitud debe cumplir que: [10]

$$\text{Caudal} = S_1 * V_1 = S_2 * V_2$$

Si la sección S es menor en un punto determinado de la conducción, la velocidad V aumenta en este punto en la misma proporción, porque el caudal debe mantenerse constante. [10]

En este caso se produce un efecto muy curioso, contrario a lo que pudiera esperarse por intuición. La presión que el fluido ejerce sobre el tubo en su parte angosta es inferior a la presión que ejerce el mismo fluido en la parte ancha del tubo. Es decir, la presión disminuye allí donde la velocidad aumenta en una conducción en la que no varíe su nivel como se aprecia gráficamente en la figura 14.

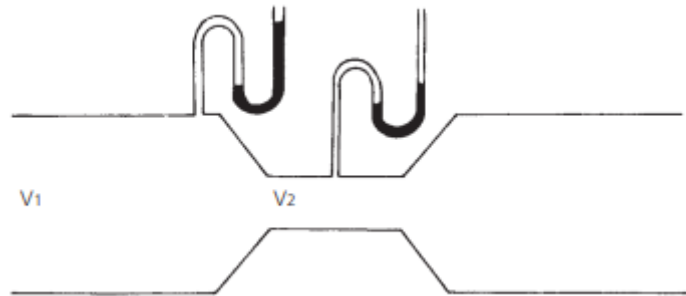


Fig. 14 Efecto Venturi

Veamos cual es la aplicación que tiene el efecto Venturi en los quemadores. El agujero del inyector es muy pequeño, y el gas cuando sale por éste lo hace a una velocidad muy elevada, lo que produce una depresión que absorbe aire que entra por las lumbreras mezclándose con el gas dentro del tubo.

Estudios experimentales y numéricos realizados, plantean que el Venturi ha sido ampliamente utilizado en la producción y la vida diaria debido a su estructura simple y bajo costo. Verificando la succión del tubo, las velocidades y la abertura rectangular, donde se presentan modelos mejorados basados en experimentos y simulaciones, dando la base para realizar el análisis dentro del tubo [11]. Otros trabajos presentan el análisis del efecto del diámetro de la tubería sobre la caída de presión con la relación de diámetro del mismo tipo, presión similar y una longitud de un Venturi de garganta larga. Demostrando que, siendo las condiciones de entradas, las mismas, el efecto sobre la caída de presión en el Venturi del diámetro de la tubería es prácticamente la misma.

1.3.6.4. Cabeza del quemador

En la cabeza del quemador se encuentran los orificios de salida de la mezcla gas-aire. Las cabezas de los quemadores pueden tener múltiples formas, las cuales dependen de la aplicación a la que se encuentren destinados. El diseño de la cabeza se realiza de forma que mantenga la estabilidad de la llama y no se produzcan fenómenos de desprendimiento o retroceso. [11].

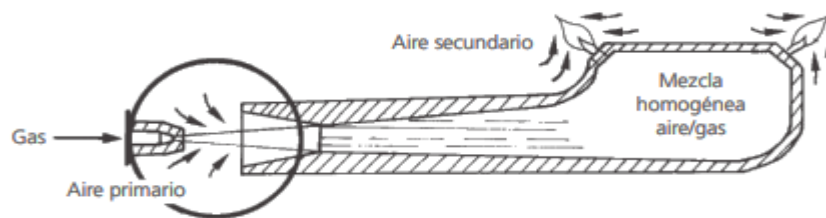


Fig. 15 Cabeza del quemador

Se denomina quemador atmosférico ya que el aire que se introduce en el quemador lo hace a la presión atmosférica y se denomina gas primario, como en la figura 15.

El diseño de estos quemadores es especial de forma que, sin necesidad de introducir el aire a presión mediante un ventilador, se consigue una combustión muy limpia y con elevado rendimiento. Son los más utilizados en las calderas y también en algunas calderas de pie de menor potencia.

1.3.7. Funcionamiento del quemador atmosférico

Como ya ha mencionado, un quemador atmosférico es aquel en el que el aire necesario para la combustión se introduce a la presión atmosférica. Sin embargo, se ha demostrado que el proceso de combustión se ve favorecido a medida que aumenta la presión con la que se alimenta el combustible y el aire en el quemador. En lo que se refiere al combustible, esta presión depende del tipo de gas que se utilice, si es propano su presión es de 37 mbar, si es butano 28 mbar y si se utiliza gas natural 20 mbar. [10]

El gas y el aire primario se mezclan en el cuerpo del quemador y salen al exterior por la corona, donde se capta el resto del aire que se necesita para la combustión (aire secundario). La premezcla se consigue gracias al efecto Venturi que tiene lugar en el quemador. Este se puede explicar mediante la ecuación de Bernoulli, que relaciona la velocidad con la presión estática y del que se deduce que a medida que aumenta la velocidad del fluido la presión estática disminuye. [10]

1.3.7.1. Diagrama de funcionamiento de un quemador atmosférico

Para cada quemador en particular puede ser trazado un diagrama similar al representado en la Figura 16. Las abscisas corresponden a la proporción de aire primario referido a la cantidad de aire estequiométrica (N) y las ordenadas al caudal calórico por unidad de área de los orificios de salida del quemador. [10]

La zona de funcionamiento satisfactorio del quemador está limitada por curvas límites que, si se sobrepasan, dan lugar a la aparición de alguno de los siguientes fenómenos indeseables:

- ❖ Desprendimiento de llama, como consecuencia de sobrepasar la velocidad crítica correspondiente.
- ❖ Retorno de llama, al reducirse el caudal calórico hasta valores inferiores al mínimo.
- ❖ Combustión incompleta, con la presencia de CO en los gases de la combustión, en proporciones superiores a las admisibles.
- ❖ Aparición de puntas amarillas que originan el fenómeno ya descrito.

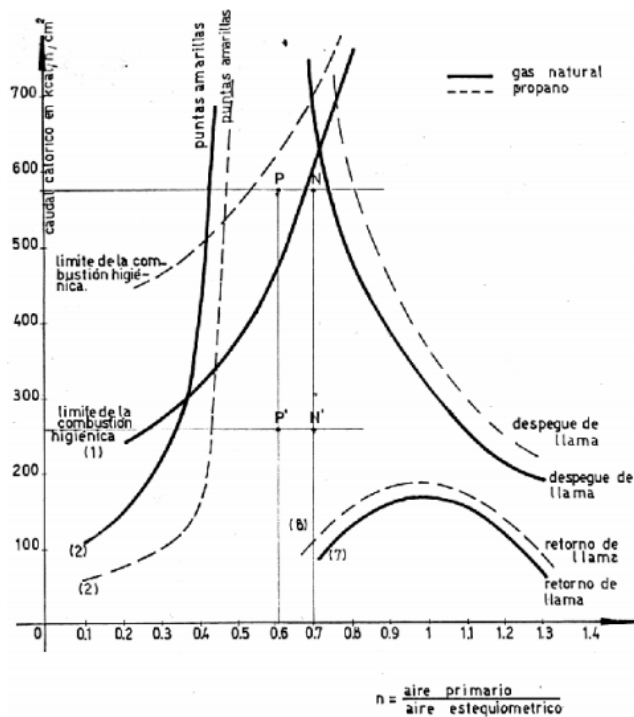


Fig. 16 Diagrama de Funcionamiento de un Quemador Atmosférico. [10]

El diagrama de funcionamiento de un quemador para gas natural (suponiéndolo compuesto por metano puro) y para propano (suponiéndolo compuesto por propano puro). El punto N corresponde al funcionamiento del quemador cuando se lo utiliza con gas natural, y el P se corresponde con el funcionamiento con propano. Las presiones a las que se inyecta el gas combustible son de 180 mm de columna de agua para el gas natural, y 280 mm de columna de agua para el propano. Si se utiliza el mismo quemador, no es posible que pueda funcionar indistintamente con cualquiera de los dos gases antes mencionados. Es decir, no son gases intercambiables. Para que pueda funcionar con propano resultaría necesario modificar el diseño del quemador, cambiando el inyector. [10]

1.3.8. Combustibles

Combustible es cualquier material capaz de liberar energía en forma de calor cuando reacciona con el oxígeno. Se componen fundamentalmente de carbono e hidrógeno, pero también pueden contener pequeñas cantidades de azufre (cuya combustión produce SO_2

que hidroliza y forma ácido sulfúrico, responsable de la denominada “lluvia ácida”), oxígeno e inertes, tales como humedad, cenizas, CO_2 y nitrógeno (cuya combustión produce óxidos de nitrógeno con efecto invernadero). [12]

1.3.8.1. Combustibles gaseosos

Son de forma y volumen variables, ejercen presión sobre las paredes del recipiente que los contiene. A este grupo pertenece el gas natural, uno de los combustibles menos contaminantes que, además de carecer de azufre en su composición, al momento de su combustión se reduce en un 57% el CO_2 que el carbón y en un 34% que el gasóleo. [12]

Tabla 2 Tipos de combustibles de acuerdo a su estado de agregación. [12]

GASEOSOS	RESIDUALES	➤ Fuel-gas
	GAS NATURAL	➤ Diferentes familias
	LICUADOS DEL PETRÓLEO	➤ Propano ➤ Butano
	ARTIFICIALES O ELABORADOS	➤ Gas de horno alto ➤ Gas de coquería ➤ Gas pobre ➤ Gas de agua ➤ Gases de gasógeno ➤ Gas ciudad
	BIOGAS	➤ Metano (50% - 70%) ➤ Dióxido de carbono ➤ Hidrógeno ➤ Nitrógeno ➤ Oxígeno ➤ Sulfuro de hidrógeno

1.3.8.2. Propiedades de los combustibles.

Las propiedades generales de los combustibles son: [2]

1.3.8.2.1. Poder calorífico: es el que aporta el combustible al momento de la combustión.

1.3.8.2.2. Poder calorífico superior (*HS*): Es la energía que desprende por unidad de combustible, en esta magnitud se aprovecha el calor latente de vaporización que se transfiere al vaporizarse, las unidades de este, son distintas y depende del tipo de combustible: líquidos, sólidos (*KWh/Kg*) y gaseosos (*KWh/Kg*). [2]

1.3.8.2.3. Poder calorífico inferior (*Hi*): Es la cantidad de energía por unidad de combustible, con la diferencia que o se aprovecha el calor latente de vaporización, sus unidades de medida son las mismas. [2]

1.3.8.2.4. Peso específico: Para el cálculo del peso específico de los combustibles se tiene como referencia para combustibles líquidos, una temperatura de $15^{\circ}C$, para combustibles gaseosos de $0^{\circ}C$. [2]

1.3.8.2.5. Densidad de un combustible: Para el cálculo de la densidad se realiza la relación entre peso específico del combustible, tomando como referencia otra sustancia. [2]

1.3.8.3. Composición de los combustibles.

Es fundamental poder indagar los parámetros y características de su combustión y proveer la posible emisión de productos nocivos o contaminantes. de modo genérico, tienen en su composición una serie de elementos químicos que determinan su comportamiento en el proceso de combustión. [13]

- ❖ Los combustibles contienen carbono (C) e hidrogeno (H), sea en forma libre o combinada en forma de hidrocarburo. Son los componentes principales para la obtención de energía térmica.

- ❖ Azufre (S) se producen compuestos de efecto perjudicial para el medio ambiente, se exige cada vez más la reducción de su presencia, aunque en ciertos combustibles esto representa una gran dificultad.
- ❖ Oxígeno (O) la combinación de carbono y el hidrógeno o bien esta libre en el combustible en el caso de mezclas aire - propano.

1.3.8.3.1. Gas fabricado

El gas fabricado es más ligero que el aire al igual que el gas natural, la densidad de este gas es de 0,6; el poder calorífico de este gas es de 4600 Kcal/m³. El proceso de producción de este gas, viene de la combustión de hulla para producir coque. [13]

1.3.8.3.2. Gas natural

La composición de este gas es de metano entre el 90% al 95%, el porcentaje restantes está constituido de otros hidrocarburos. El poder calorífico aproximado a la atmósfera es de 9190 Kcal/m³, asimismo la densidad del mismo es de 0.6. [13]

Alguna de las propiedades del gas natural es, que es incoloro e inodoro, lo que no le resta que sea peligroso ya que puede causar sofocación y en lugares cerrados puede causar explosiones. [13]

1.3.8.3.3. Biogas

Es un combustible gaseoso producto de la degradación natural del material orgánico por microorganismos en condiciones anaeróbicas, es un combustible renovable que puede usarse en muchas aplicaciones como también para producir electricidad, calor o como mover máquinas y vehículos. [14]

Su composición es principalmente metano como se aprecia en la figura 18, con cierta cantidad de dióxido de carbono y otras especies en menor cantidad como ácido sulfhídrico o amoníaco. Por lo tanto, se puede considerar como fuente de metano. [15]

Substancia		BG1
Humedad	% v/v	<2.0
Temperatura	°C	27+-2
LHV	MJ Nm-3	19.88
CH4	%	53+-8
CO2	%	44+-6.6
N2	%	1.9+-0.3
O2	%	0.4+-0.06
H	%	<0.5
NH3	mg Nm-3	11+-3.3
Cloro Total	mg Nm-3	<2.5
Flúor Total	mg Nm-3	<0.5
Sulfuro Total	mg Nm-3	856
Compuestos inorgánicos de cloro	mg Nm-3	<0.5
Compuestos inorgánicos de flúor	mg Nm-3	<0.5
H2SO4	mg Nm-3	24+-8
H2S	mg Nm-3	900 +- 270
Particulado	mg Nm-3	0.5 +- 0.15
Sílice	mg Nm-3	<0.4
Niebla Aceitosa	mg Nm-3	<0.5

Fig. 17 Composición del biogás [16]

La producción de biogás constituye una manera versátil de obtener energía renovable, ya que el metano que contiene se puede utilizar para reemplazar los combustibles fósiles en la generación de calor y energía. Para la producción de biogás, se aplican varios tipos de procesos que pueden clasificarse en sistemas de fermentación húmeda y seca. Los sistemas de digestión húmeda que se aplican con mayor frecuencia utilizan un digestor de tanque agitado vertical con diferentes tipos de agitadores dependiendo del origen de la materia prima. El biogás se utiliza principalmente en centrales eléctricas y térmicas combinadas basadas en motores. [16]

1.3.8.3.4. Gas licuado de petróleo

En un subproducto del petróleo o del gas natural. Consiste en butano licuado o propano licuado o una mezcla de los dos. Esto se consigue manteniéndolo a presión dentro de un tanque y este tiene un regulador de presión para el momento que sale el gas hacia el quemador. El propano gaseoso posee un poder calorífico de 21875 Kcal/m³ y una densidad de 1,52 mientras que el propano posee 28000 Kcal/m³ y una densidad de 2.01 por lo que se entiende que su peso es mayor que el del aire, otras características se muestran en la tabla 4. [13]

1.3.8.3.4.1. Características del GLP

- ❖ El GLP es un combustible limpio.
- ❖ No es tóxico, pero puede provocar asfixia.
- ❖ Puede ocasionar irritaciones en contacto con la piel y con los ojos.
- ❖ Es altamente inflamable, su combustión es muy rápida generando altas temperaturas.
- ❖ El GLP está compuesto, mayoritariamente, por propano y butano.
- ❖ El GLP se licúa a bajas presiones entre 60 y 120 psi aproximadamente, dependiendo de la mezcla propano – butano.
- ❖ Posee una gran capacidad de expansión, de estado líquido a gaseoso aumenta su volumen 270 veces aproximadamente.
- ❖ El GLP en estado gaseoso, es más pesado que el aire, por ello, en caso de fugas tiende a ubicarse o depositarse en lugares bajos. En estado líquido el GLP es más liviano que el agua.
- ❖ El GLP es un combustible que en determinados porcentajes con el aire forma una mezcla explosiva, presentando un Límite de Inflamabilidad para el propano entre 2.15 y 9.60% de gas en aire, y para el butano, entre 1.55 y 8.60% de gas en aire.
- ❖ El GLP producido de los líquidos de gas natural o de gases de refinería es incoloro e inodoro, por lo que para percibir su presencia en el ambiente se le añade un químico especial “agente odorante” denominado mercaptano.

1.3.8.3.4.2. Aplicaciones

El gas licuado de petróleo es un combustible que se utiliza en diversos sectores como:

Doméstico: cocinas, calentar agua de servicio, calefacción. Refrigeración, etc.

Industrial: en la industria es controlado fácilmente bajo sistemas de regulación es utilizado para alimentar hornos para tratamiento y corte de metales, vidrio y cerámica, en el planchado de ropa, en la purificación de grasas, tratamientos térmicos, pasteurización, imprenta, etc. Básicamente en industrias dedicadas a la elaboración de alimentos, bebidas

y tabacos, así como en las industrias químicas y de polímeros, en las cuales se usa como materia prima.

El GLP en el sector industrial tiene aplicaciones muy específicas y tradicionales, como la fuente de energía pura y limpia para generar calor de manera controlada; el GLP es frecuentemente utilizado en hornos industriales, procesos de calefacción, cerámica, fabricación de vidrio. Procesamiento de metales, secado de pintura, aerosoles y soldadura, entre otros como se resume en la tabla 3.

Tabla 3 Aplicaciones industriales del GLP. [17]

APLICACIONES INDUSTRIALES DEL GLP				
Automotriz	Cerámica	Vidrio	Química	Metalurgia
<ul style="list-style-type: none"> • Ensamble de piezas del mismo metal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ladrillos • Materiales para techos • Azulejos • Otros materiales para construcción • Artículos sanitarios y eléctricos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cristal óptico 	<ul style="list-style-type: none"> • Aerosoles 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustibles para soldaduras
<ul style="list-style-type: none"> • Control de Temperatura • Pureza del combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pureza del combustible 	<ul style="list-style-type: none"> • Control de temperatura. • Pureza del combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Propulsor del producto envasado • Pureza de la mezcla. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta temperaturas para derretir y fundir aleaciones y metales con la precisión requerida.

Tabla 4 Propiedades físicas del GLP. [17]

PROPIEDADES DEL GLP	
Peso Molecular	49,7
Temperatura de ebullición a 1 atm	-32,5°C
Temperatura de fusión	-167,9 °C
Densidad de los vapores (aire = 1) a 15,5 °C	2,01 (dos veces más pesado que el aire)
Presión de vapor a 21,1 °C	4500 mmHg
Relación de expansión (líquido a gas a 1 atm)	1 a 242 (un litro de Gas líquido se convierte en 242 litros de gas en fase vapor formando con el aire una mezcla explosiva de aproximadamente 11,000 litros)
Solubilidad en agua a 20 °C	Aproximadamente 0,0079 % en peso (insignificante, menos del 0,1 %)
Apariencia y color	Gas insípido e incoloro a temperatura y presión ambiente. Tiene un olorizante que le proporciona un olor característico, fuerte y desagradable.
Poder Calorífico	0,006192 Geal/litro

1.3.8.3.4.3. Ventajas del GLP

El GLP tiene una fuente de abastecimiento de energía en aplicaciones residenciales, comerciales e industriales en las que se puede mencionar.

- ❖ Alto poder calorífico comparado con otras fuentes de energía.
- ❖ Limpio en términos de emisiones de gases contaminantes.
- ❖ Se combustiona completo, por eso no produce hollín, lo que permite una mayor durabilidad de sus artefactos a gas y motores de su vehículo.
- ❖ Es fácil de transportarlo y almacenarlo por ello se lo licua, ya que, a condiciones ambientales, el GLP se encuentra en fase vapor.
- ❖ Amigable con el medio ambiente ya que reduce en un 68% las emisiones de óxido de nitrógeno y en 15% las emisiones de dióxido de carbono.
- ❖ Se reducen los costos de mantenimiento de los equipos de consumo.
- ❖ En aplicaciones vehiculares, contribuye en la duración del motor, ya que no desgasta tanto los cilindros y segmentos del motor, como otros combustibles, además que no posee componentes caros y complejos.

- ❖ Las averías de sistemas y equipos de GLP no son tan frecuentes y las reparaciones de estos sistemas son muy sencillas y fáciles de efectuar.
- ❖ Es un combustible económico, incluso en algunos países los gobiernos han optado por entregar subsidios y precios especiales para fomentar su utilización. [18]

1.3.8.3.4.4. Desventajas

Se han detectado varios problemas que incrementan el riesgo por su manejo en las instalaciones cuando no se toman las precauciones debidas, entre las que se pueden mencionar. [18]

- ❖ Si se lo maneja técnicamente es muy seguro, lo cual genera exceso de confianza en su manejo.
- ❖ Desconocimiento de Normas Técnicas vigentes al momento de proyectar, diseñar, planificar, instalar y mantener sistemas de GLP, lo cual deriva en malas aplicaciones.
- ❖ Falta de previsión en el diseño original de nuevas instalaciones para el espacio destinado al almacenamiento, por lo que los recipientes son instalados en sitios poco seguros.
- ❖ Falta de protección a los recipientes que contienen el combustible.
- ❖ Requiere poco mantenimiento, se produce descuido de los usuarios, los cuales hacen llegar al límite de la vida útil a los elementos de una instalación, provocando accidentes.
- ❖ Falta de inspección por parte de las autoridades competentes.

1.3.8.4. Combustión

El proceso de combustión es un grupo de reacciones de oxidación con desprendimiento de calor, la cual se genera entre dos elementos: el COMBUSTIBLE, que puede ser un sólido (Carbón, Madera, etc.), un líquido (Gasóleo, Fuel-Oil, etc.) o un gas (Natural, Propano, etc.) y el COMBURENTE, Oxígeno. [19]

1.3.8.4.1. Triángulo de la combustión.

La combustión se distingue de otros procesos de oxidación lenta, por ser un proceso de oxidación rápida y con presencia de llama; a su vez también se diferencia de otros procesos de oxidación muy rápida (detonaciones, deflagraciones y explosiones) por obtenerse el mantenimiento de una llama estable. [19]

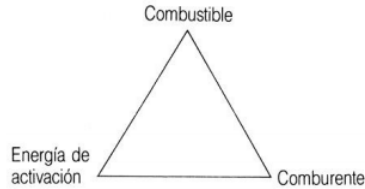
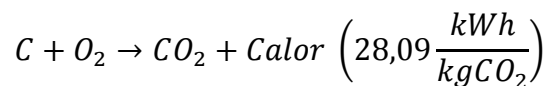


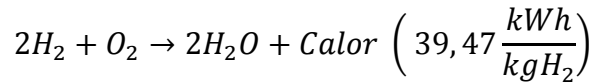
Fig. 18 Triangulo de la combustión. [19]

Estos tres factores se representan en el denominado triángulo de combustión (figura 19), cada uno es indispensable para que se produzca este fenómeno de la combustión, El comburente universal es el oxígeno, por lo que en la práctica se utiliza el aire como comburente, ya que está compuesto, prácticamente, por 21% Oxígeno (O₂) y 79% Nitrógeno (N₂); únicamente en casos especiales se utilizan atmósferas enriquecidas en oxígeno e incluso oxígeno puro (por ejemplo, en soldadura). La energía de activación es el elemento desencadenante de la reacción de combustión; en los quemadores habitualmente suele obtenerse mediante una chispa eléctrica entre dos electrodos, en las calderas individuales de gas se obtiene por llama piloto, tren de chispas, etc. [19]

La mayoría de los combustibles, al margen de que sean sólidos, líquidos o gaseosos, están compuestos, básicamente, por Carbono (C) e Hidrógeno (H); además de estos componentes principales tienen otros como Azufre (S), Humedad (H₂O), Cenizas, etc. [19]

Las reacciones de combustión son:





Los combustibles pueden definirse de la forma C_xH_y , dando lugar a las siguientes reacciones:

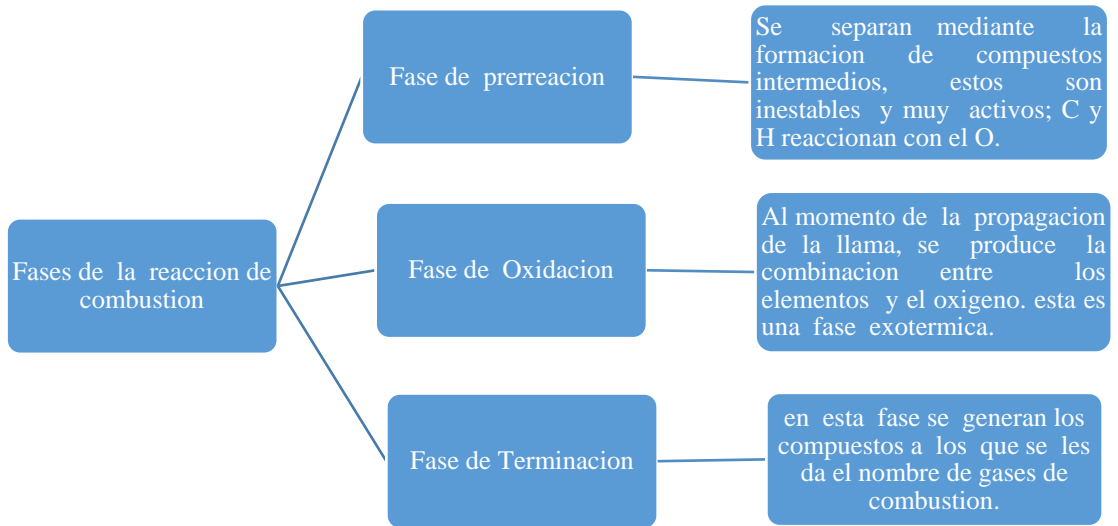
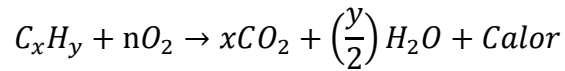


Fig. 19 Fases de reacción de combustión. [19]

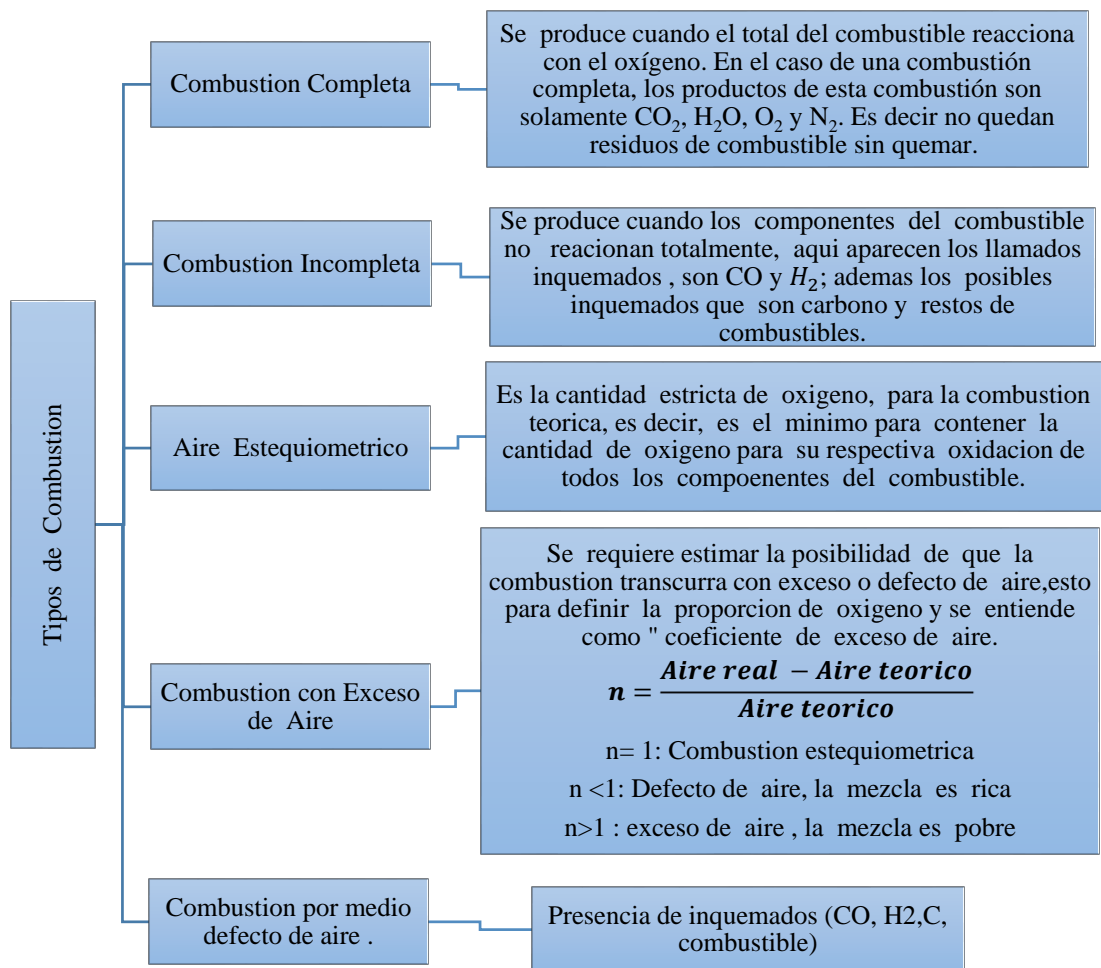


Fig. 20 Tipos de Combustión.

1.3.8.4.2. Condiciones para la combustión

El combustible debe alcanzar la denominada temperatura de ignición. Cuando ello ocurre, el combustible comienza a arder y se forma la llama, una zona donde ocurre una rápida oxidación del combustible, liberando gran cantidad de energía, y que se produce a altas temperaturas. [20]

Para cada combustible existen dos límites de inflamabilidad, fuera de los cuales la mezcla no es combustionable, estos límites se presentan en la tabla 5 a manera de resumen. Por debajo del límite inferior de inflamabilidad, la mezcla no es suficientemente rica en combustible, sobre el límite superior de inflamabilidad la mezcla es pobre en comburente

(aire). Algunos límites de inflamabilidad en el aire (expresados como porcentaje de combustible en la mezcla) se presentan en la tabla siguiente: [20]

Tabla 5 Porcentaje de límites de inflamabilidad en el aire

Combustible	Formula Química	Límite Inferior %	Límite Superior %
Metano	CH_4	5	14
Propano	C_3H_8	1,86	8,41
Butano	C_4H_{10}	2,37	9,5
Gas Natural			5 15

1.3.8.4.3. Gases que intervienen en el proceso

A continuación, se presentan los gases que intervienen el proceso de combustión de la llama, presentándose la relación de calor específico, masa molecular y el comportamiento a determinadas temperaturas, donde se obtienen las gráficas correspondientes a la viscosidad dinámica, calor específico y la conductividad térmica.

Butano: Es un hidrocarburo inflamable que gaseoso formado por cuatro átomos de carbono y diez de hidrógeno (C_4H_{10}). Es un gas incoloro e inodoro.

Propiedades físicas:

Densidad: 2,52 kg/m³; 0,00252 g/cm³

Masa molar: 58,08 g/mol

Punto de fusión: 134,9 K (-138 °C)

Punto de ebullición: 272,7 K (0 °C)

Temperatura crítica: 425 K (152 °C)

Viscosidad: 0.0074 cP (20 °C)

Índice de refracción (nD): 1.3326 (20 °C)

Propano: Es un gas incoloro e inodoro perteneciente a los hidrocarburos, al ser combustionado resulta una llama de color azul cuando se efectúa en condiciones normales. Su fórmula química es C_3H_8 .

Propiedades físicas:

Densidad: $1,83 \text{ kg/m}^3$; $0,00183 \text{ g/cm}^3$

Masa molar: 44 g/mol

Punto de fusión: $85,5 \text{ K}$ ($-188 \text{ }^\circ\text{C}$)

Punto de ebullición: $231,05 \text{ K}$ ($-42 \text{ }^\circ\text{C}$)

Temperatura crítica: $367,15 \text{ K}$ ($94 \text{ }^\circ\text{C}$)

Viscosidad: $0,2 \text{ cP}$ ($-40 \text{ }^\circ\text{C}$)

Índice de refracción (nD): $1,3407$ ($-42 \text{ }^\circ\text{C}$)

Oxígeno: es un gas incoloro e inodoro cuya fórmula molecular es O_2 forma parte del triángulo de combustión.

Propiedades físicas:

Densidad: $1,43 \text{ kg/m}^3$

Punto de fusión: $50,4 \text{ K}$

Punto de ebullición: $90,18 \text{ K}$

Entalpía de vaporización: $6,81 \text{ kJ/mol}$

Entalpía de fusión: $0,44 \text{ kJ/mol}$

Volumen molar: $17,36 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$

Dióxido de carbono: es un gas incoloro, además de encontrarse naturalmente en el entorno, también es un producto de la combustión cuando la reacción de combustión del carbono encuentra el suficiente oxígeno para transformarse en CO₂.

Propiedades físicas:

Densidad: 1,976 kg/m³; 0,001976 g/cm³

Masa molar: 44,01 g/mol

Punto de fusión: 194,7 K (-78 °C)

Punto de ebullición: 216 K (-57 °C)

Viscosidad: 0,07 cP a -78 °C

1.3.8.5. Tipos de llama

En investigaciones desarrolladas en la actualidad, con el diseño de herramientas eficientes para pronosticar el comportamiento de las llamas, su estructura y el límite de explosión para las llamas turbulentas y el metano premezcladas en condiciones de presión específicas se han implementado herramientas industriales eficaces y de fácil empleo para predecir el comportamiento de estas en una cámara de combustión y predecir en condiciones de alta presión y temperaturas. [20]

Dependiendo de cómo y dónde se realiza la mezcla aire-gas, las llamas se clasifican en:

- Llamas de premezcla
- Llamas de difusión

1.3.8.5.1. Llamas de premezcla

Cuando el aire y el gas se mezclan antes de la zona de combustión. Si el aire premezclado con el gas representa la cantidad total requerida en la combustión, se tiene una llama de premezcla total. Cuando el aire premezclado representa sólo una fracción del aire requerido, la llama se denomina de premezcla parcial. [21]

1.3.8.5.1.1. Ventajas de las llamas de premezcla.

- Concentra la fuente de calor.
- Reduce el volumen de la cámara de combustión.
- Se alcanzan mayores temperaturas de llama.
- No se presenta formación de depósito de carbono sobre las paredes. [21]

1.3.8.5.1.2. Inconvenientes de las llamas de premezcla.

- No es posible establecer la combustión en zonas de grandes longitudes.
- Se pueden presentar los fenómenos de desprendimiento de llama y retrollama (figura 22). [21]

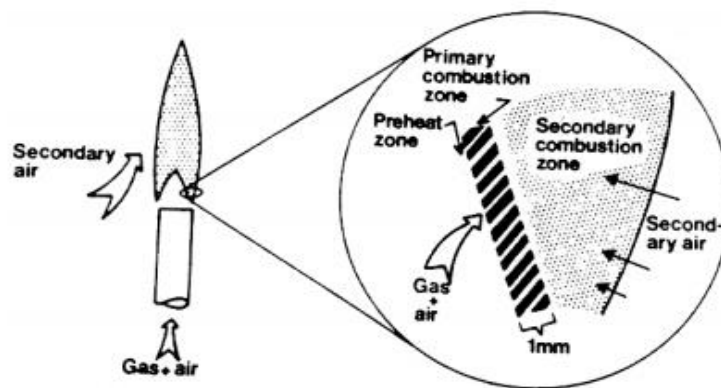


Fig. 21 Estructura de una llama de premezcla.

1.3.8.5.2. Llamas de difusión

Cuando el aire y el gas se mezclan justamente en la zona de combustión. En este caso el aire se difunde hacia la llama por difusión molecular o turbulencia. [21]

1.3.8.5.2.1. Ventajas de las llamas de difusión.

- En régimen laminar la llama tiene buenas propiedades radiantes, permitiendo obtener un rendimiento elevado.
- Se pueden obtener llamas de grandes longitudes, propiedad interesante en ciertos aparatos industriales.

- En los gases combustibles que tengan altos contenidos de hidrógeno, la llama soporta altas variaciones de caudal.
- El fenómeno de retrollama es imposible, dado que no existe premezcla del gas y el aire. [21]

1.3.8.5.2.2. Inconvenientes de la llama de difusión.

- La temperatura de llama es menos elevada que la de premezcla.
- Son llamas sensibles al contacto con las paredes, esto produce que puede llevar a la formación de residuos de carbono.
- Una desventaja de estas es que no se pueden utilizar al contacto con recipientes (Figura 23 y 24).

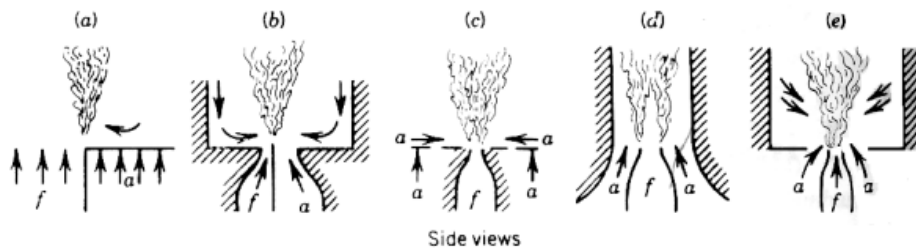


Fig. 22 Configuraciones de llamas de difusión [21]

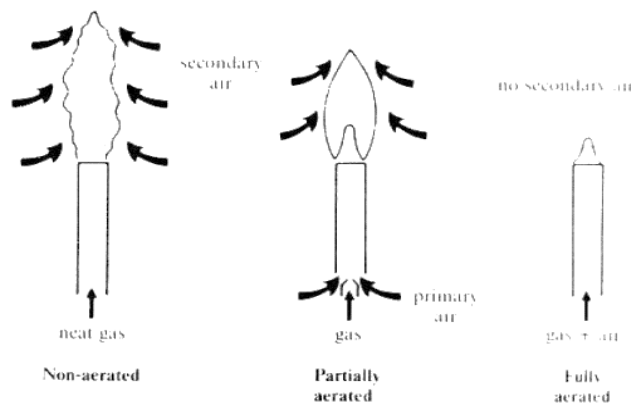


Fig. 23 Llamas de premezcla (total y parcial) y de difusión. [21]

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

Se establece la metodología del presente trabajo, a través de la aplicación de diferentes técnicas y estrategias con la finalidad de dar cumplimiento a los objetivos planteados.

En el caso del diseño del quemador, se aplican fórmulas de conductividad térmica para cuantificar las pérdidas de potencia calorífica, así como también las pérdidas en la periferia o boca del quemador; otros cálculos importantes son las reacciones de combustión y la relación de aire combustible. Y en el dimensionamiento de las bases del quemador se efectúa un análisis estático del peso y dilatación térmica.

En cuanto a la simulación se utiliza software de elementos finitos para conocer la deformación y el esfuerzo de Von Mises en las bases del quemador, dilataciones térmicas y transferencia de calor mediante un análisis térmico; utilizando el elemento Solid 185 para un análisis CFD se obtienen los valores de calor de combustión, entalpía, entropía, conductividad térmica y temperatura de la llama con los parámetros de diseño y valores calculados en la fase de diseño.

2.1. Selección de Materiales

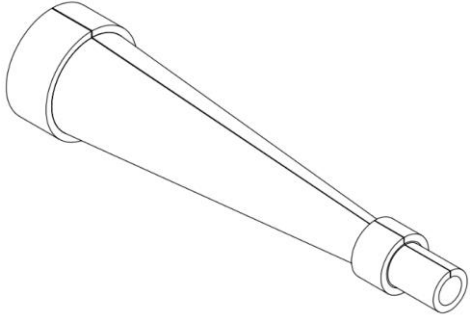
En esta sección se exponen las propiedades de los materiales que se consideraron para el diseño de las partes y accesorios del quemador, su composición química, propiedades físicas mecánicas, conductividad térmica, resistencia, entre otras especificaciones de cada uno de los materiales seleccionados.

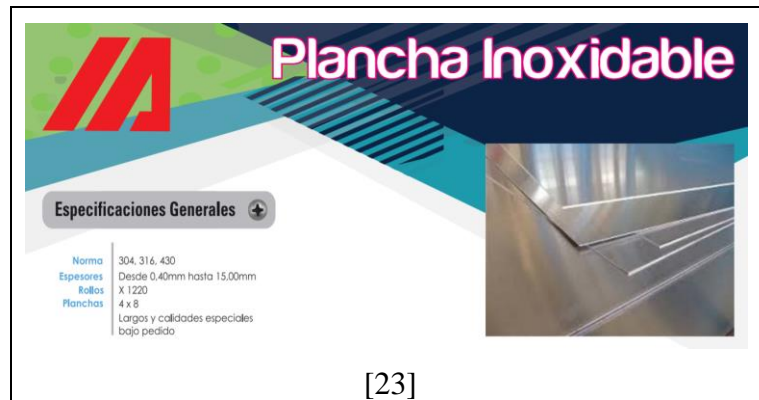
Los aceros generalmente presentan una buena resistencia a las altas temperaturas junto con una resistencia a la deformación por movimiento longitudinal y la agresión del medio donde se desempeñe. Por tales propiedades, se les emplea comúnmente en varias industrias, como la del tratamiento térmico para partes de hornos, rodillos, partes de quemadores, soporte para refractarios, entre otros accesorios.

2.1.1. Venturi

Es la región en donde se produce el efecto Venturi del quemador, además, direcciona la llama hacia la superficie. Debido a que es una zona de alta afectación térmica es susceptible a la corrosión por lo que se considera en el diseño un material inoxidable que además permita su fácil construcción, como es el caso del acero AISI 316 que brinda facilidad en el moldeo y soldabilidad [22] para darle la forma cónica característica del quemador planteado. A continuación, en la tabla 6 se muestra la configuración de la boca del quemador, así como las características del material que se planteó para el diseño, además de los detalles especificados en los planos.

Tabla 6 Características del Venturi

	
Material:	AISI 316
Composición química:	C ≤ 0.08% Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 16% – 18% Ni 10% – 14% Mo 2% – 2.5%
Peso específico a 20c (densidad):	7.95 – 7.98 (g/cm ³)
Módulo de elasticidad:	193 (GPa)
Resistencia a la tracción:	540 (MPa)
Soldabilidad:	Muy buena
Espesores disponibles de material:	0.4 – 15 mm
Material de catálogo:	

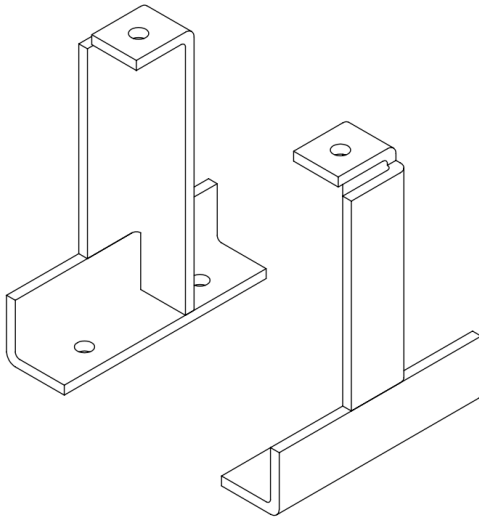


La construcción del conducto de combustión se realizará con plancha de acero inoxidable AISI 316 de 5 mm de espesor, la configuración del cono se llevará a cabo mediante el proceso de rolado, y soldadura GMAW utilizando un material de aporte ER – 308 L para lo cual es necesario cortar la plancha como se describe en los planos, las 3 partes roladas se unen mediante soldadura periférica conformando el conducto en forma de cono truncado.

2.1.2. Soporte de la boca de entrada y salida del Venturi

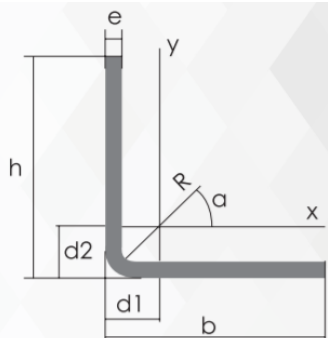
Estos elementos permiten asentar el quemador para encenderlo puesto que trabaja a elevadas temperaturas, es imprescindible evitar el contacto directo, las bases del quemador van empernadas en la superficie con pernos de cabeza hexagonal M5x20 para el caso del soporte de la boca de salida, mientras que para el caso de la boca de entrada M5x30. El material para la fabricación de los soportes es acero estructural ASTM A36, un proceso de corte, taladrado y soldado mediante el proceso SMAW utilizando material de aporte E 6011; para posteriormente aplicar una capa de pintura anticorrosiva. En la tabla 7 se presenta a detalle la configuración de los soportes y del material seleccionado.

Tabla 7 Soportes del quemador

	
Material:	ASTM A36
Composición química:	C (0,25 – 0,29%) Si (0,15 – 0,40%) Mn (0,6 – 1,2%) P máx (0,04%) S máx (0,05%)
Peso específico a 20c (densidad):	7.85 (g/cm ³)
Módulo de elasticidad:	200 (GPa)
Resistencia a la tracción:	400 - 500 (MPa)
Soldabilidad:	Muy buena
Presentación del material:	Ángulos
Material de catálogo:	

Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 1623
Calidad:	ASTM A36
Largo Normal:	6,00m y medidas especiales
Espesores:	Desde 2.00mm - 12mm
Acabado:	Acero Negro



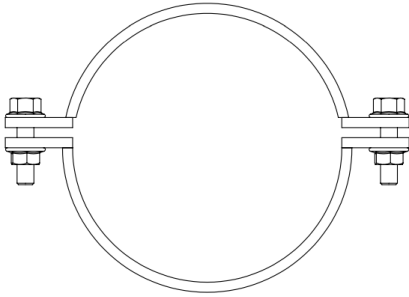

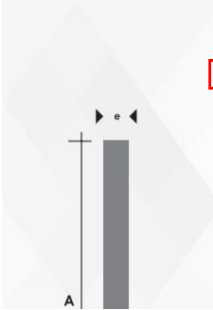
Descripción	b	h	e	Masa	Área	d1	d2	Ángulo a	Eje X - X		Eje Y - Y		Eje U - U			Eje V - V				
									Ix	Wx	rx	Iy	Wy	ry	Iu	Wu	ru	Iv	Wv	rv
									cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm
L 20x 2	20	20	2	0,57	0,73	0,60	0,60	45,00	0,28	0,20	0,62	0,28	0,20	0,62	0,46	0,32	0,79	0,10	0,14	0,37
L 20 x 3	20	20	3	0,81	1,03	0,65	0,65	45,00	0,38	0,28	0,60	0,38	0,28	0,60	0,63	0,45	0,78	0,12	0,17	0,34
L 25x 2	25	25	2	0,73	0,93	0,72	0,72	45,00	0,56	0,32	0,78	0,56	0,32	0,78	0,92	0,52	1,00	0,20	0,23	0,47
L 25x 3	25	25	3	1,05	1,33	0,78	0,78	45,00	0,78	0,45	0,77	0,78	0,45	0,77	1,30	0,74	0,99	0,26	0,30	0,45
L 30 x 2	30	30	2	0,88	1,13	0,85	0,85	45,00	1,00	0,46	0,94	1,00	0,46	0,94	1,63	0,77	1,20	0,37	0,35	0,57
L 30x 3	30	30	3	1,28	1,63	0,90	0,90	45,00	1,40	0,67	0,93	1,40	0,67	0,93	2,32	1,09	1,19	0,49	0,46	0,55
L 30x 4	30	30	4	1,65	2,10	0,95	0,95	45,00	1,76	0,86	0,91	1,76	0,86	0,91	2,93	1,38	1,18	0,58	0,55	0,52
L 40x 2	40	40	2	1,20	1,33	1,10	1,10	45,00	2,44	0,84	1,26	2,44	0,84	1,26	3,96	1,40	1,61	0,92	0,65	0,78

[24]

2.1.3. Abrazaderas de la boca de entrada y de salida del Venturi

Estos elementos generalmente se seleccionan del catálogo, sin embargo, los diámetros mínimos de algunos proveedores no cumplen con las especificaciones dimensionales del Venturi propuesto, por lo que el diseño de las abrazaderas se compone de platina de acero estructural ASTM A36 con la configuración necesaria para el diámetro de cada entrada, para lo cual se utiliza en la fabricación un proceso de corte, taladrado, rolado a 360° y soldadura SMAW con material de aporte E6011, en este caso también se debe aplicar una capa de pintura anticorrosiva; en la tabla 8 se presenta la configuración de las abrazaderas y del material seleccionado; para la sujeción de las abrazaderas al soporte se debe emplear pernos de cabeza hexagonal M5x20 y M5x30 para cada extremo del Venturi; así como también sus respectivas tuercas.

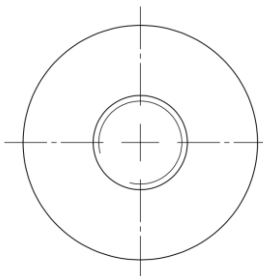

Tabla 8 Abrazaderas del quemador

																																																																																																
Material:	ASTM A36																																																																																															
Composición química:	C (0,25 – 0,29%) Si (0,15 – 0,40%) Mn (0,6 – 1,2%) P máx (0,04%) S máx (0,05%)																																																																																															
Peso específico a 20c (densidad):	7.85 (g/cm ³)																																																																																															
Módulo de elasticidad:	200 (GPa)																																																																																															
Resistencia a la tracción:	400 - 500 (MPa)																																																																																															
Soldabilidad:	Muy buena																																																																																															
Presentación del material:	Platinas																																																																																															
Material de catálogo:																																																																																																
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 2;"> <p style="text-align: center;">Especificaciones Generales:</p> <table border="1"> <tr> <td>Norma:</td> <td>NTE INEN 115</td> </tr> <tr> <td>Calidad:</td> <td>ASTM A36 - SAE J 403 1008</td> </tr> <tr> <td>Largo Normal:</td> <td>6.00m y medidas especiales</td> </tr> <tr> <td>Espesores:</td> <td>3mm a 20mm</td> </tr> <tr> <td>Acabado:</td> <td>Acero negro y galvanizado</td> </tr> </table> </div> </div>		Norma:	NTE INEN 115	Calidad:	ASTM A36 - SAE J 403 1008	Largo Normal:	6.00m y medidas especiales	Espesores:	3mm a 20mm	Acabado:	Acero negro y galvanizado																																																																																					
Norma:	NTE INEN 115																																																																																															
Calidad:	ASTM A36 - SAE J 403 1008																																																																																															
Largo Normal:	6.00m y medidas especiales																																																																																															
Espesores:	3mm a 20mm																																																																																															
Acabado:	Acero negro y galvanizado																																																																																															
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 4;"> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Denominación</th> <th colspan="2">Dimensiones</th> <th colspan="2">Peso</th> <th>Área</th> </tr> <tr> <th colspan="2">mm</th> <th>kg/m</th> <th>kg/6m</th> <th>cm2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PLT 12X3</td> <td>12</td> <td>3</td> <td>0,28</td> <td>1,70</td> <td>0,36</td> </tr> <tr> <td>PLT 12X4</td> <td>12</td> <td>4</td> <td>0,38</td> <td>2,45</td> <td>0,48</td> </tr> <tr> <td>PLT 12X6</td> <td>12</td> <td>6</td> <td>0,57</td> <td>3,40</td> <td>0,72</td> </tr> <tr> <td>PLT 19X3</td> <td>19</td> <td>3</td> <td>0,45</td> <td>2,68</td> <td>0,57</td> </tr> <tr> <td>PLT 19X4</td> <td>19</td> <td>4</td> <td>0,60</td> <td>3,58</td> <td>0,76</td> </tr> <tr> <td>PLT 19X6</td> <td>19</td> <td>6</td> <td>0,89</td> <td>5,37</td> <td>1,15</td> </tr> <tr> <td>PLT 25X3</td> <td>25</td> <td>3</td> <td>0,59</td> <td>3,53</td> <td>0,75</td> </tr> <tr> <td>PLT 25X4</td> <td>25</td> <td>4</td> <td>0,79</td> <td>4,71</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>PLT 25X3</td> <td>25</td> <td>6</td> <td>1,18</td> <td>7,07</td> <td>1,50</td> </tr> <tr> <td>PLT 25X12</td> <td>30</td> <td>3</td> <td>0,71</td> <td>4,24</td> <td>0,90</td> </tr> <tr> <td>PLT 30X4</td> <td>30</td> <td>4</td> <td>0,94</td> <td>5,65</td> <td>1,20</td> </tr> <tr> <td>PLT 30X6</td> <td>30</td> <td>6</td> <td>1,41</td> <td>8,47</td> <td>1,80</td> </tr> <tr> <td>PLT 30X9</td> <td>30</td> <td>9</td> <td>2,12</td> <td>12,71</td> <td>2,70</td> </tr> <tr> <td>PLT 30X12</td> <td>30</td> <td>12</td> <td>2,83</td> <td>16,95</td> <td>3,60</td> </tr> </tbody> </table> </div> </div>		Denominación	Dimensiones		Peso		Área	mm		kg/m	kg/6m	cm2	PLT 12X3	12	3	0,28	1,70	0,36	PLT 12X4	12	4	0,38	2,45	0,48	PLT 12X6	12	6	0,57	3,40	0,72	PLT 19X3	19	3	0,45	2,68	0,57	PLT 19X4	19	4	0,60	3,58	0,76	PLT 19X6	19	6	0,89	5,37	1,15	PLT 25X3	25	3	0,59	3,53	0,75	PLT 25X4	25	4	0,79	4,71	1,00	PLT 25X3	25	6	1,18	7,07	1,50	PLT 25X12	30	3	0,71	4,24	0,90	PLT 30X4	30	4	0,94	5,65	1,20	PLT 30X6	30	6	1,41	8,47	1,80	PLT 30X9	30	9	2,12	12,71	2,70	PLT 30X12	30	12	2,83	16,95	3,60
Denominación	Dimensiones		Peso		Área																																																																																											
	mm		kg/m	kg/6m	cm2																																																																																											
PLT 12X3	12	3	0,28	1,70	0,36																																																																																											
PLT 12X4	12	4	0,38	2,45	0,48																																																																																											
PLT 12X6	12	6	0,57	3,40	0,72																																																																																											
PLT 19X3	19	3	0,45	2,68	0,57																																																																																											
PLT 19X4	19	4	0,60	3,58	0,76																																																																																											
PLT 19X6	19	6	0,89	5,37	1,15																																																																																											
PLT 25X3	25	3	0,59	3,53	0,75																																																																																											
PLT 25X4	25	4	0,79	4,71	1,00																																																																																											
PLT 25X3	25	6	1,18	7,07	1,50																																																																																											
PLT 25X12	30	3	0,71	4,24	0,90																																																																																											
PLT 30X4	30	4	0,94	5,65	1,20																																																																																											
PLT 30X6	30	6	1,41	8,47	1,80																																																																																											
PLT 30X9	30	9	2,12	12,71	2,70																																																																																											
PLT 30X12	30	12	2,83	16,95	3,60																																																																																											
[25]																																																																																																

2.1.4. Regulador de aire primario

Es el componente que abre y cierra el paso de aire para la mezcla en el Venturi a través de un acople roscado; se fabrica con parte del material AISI 316 mediante un proceso de corte y roscado interno con especificación de rosca estándar 1/2" 20. La configuración del elemento se presenta en la tabla 9.

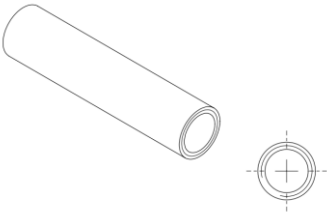

Tabla 9 Regulador de aire primario

	
Material:	AISI 316
Composición química:	C ≤ 0.08% Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 16% – 18% Ni 10% – 14% Mo 2% – 2.5%
Peso específico a 20c (densidad):	7.95 – 7.98 (g/cm ³)
Módulo de elasticidad:	193 (GPa)
Resistencia a la tracción:	540 (MPa)
Soldabilidad:	Muy buena
Espesores disponibles de material:	0.4 – 15 mm
Material de catálogo: <div style="text-align: center;">  </div>	
[23]	

2.1.5. Acople roscado para la inyección de GLP

Este elemento es un conducto o acople con roscado exterior con especificación de rosca estándar 1/2" 20 en bronce y perforado interno de 3/8". Sirve para el acople entre el soporte del conjunto de inyección de gas y el direccionamiento del gas de combustión hacia el Venturi; en la tabla 10 se presenta la configuración del elemento, así como también la especificación del material propuesto.

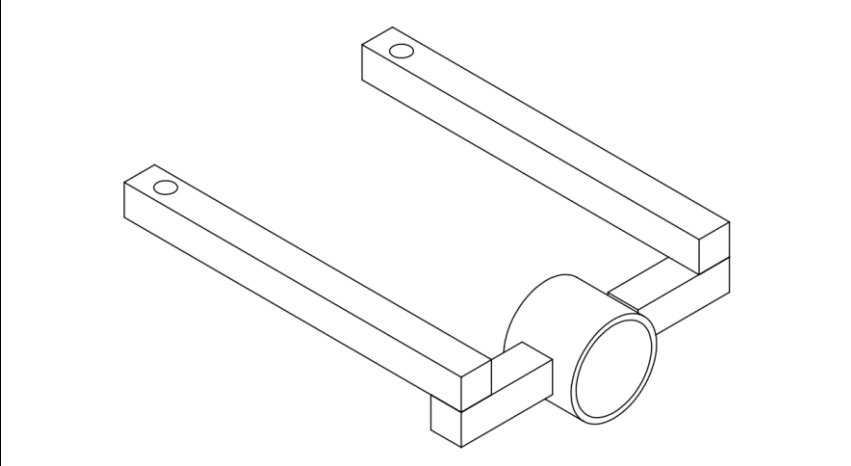
Tabla 10 Acople roscado para la inyección de gas combustible

	
Material:	Bronce
Composición química:	Cu ≤ 89 - 91% Fe ≤ 0,05% Pb ≤ 0,05% Zn 12,5% Ni 10% – 14% Mo 2% – 2.5%
Peso específico a 20c (densidad):	8,80 (g/cm ³)
Módulo de elasticidad:	115 (GPa)
Resistencia a la tracción:	3400 (kg/cm ²)
Presentación:	barras
Material de catálogo:	
[26]	

2.1.6. Soporte del conjunto de inyección del gas

Mediante este elemento se vincula el conjunto de inyección del gas combustible y el Venturi utilizando un tubo de acero estructural y varillas cuadradas de acero unidos mediante proceso de soldadura SMAW con material de aporte E6011. En la tabla 11 se describe la configuración del elemento, así como también del material seleccionado.

Tabla 11 Soporte del conjunto de inyección del gas

	
Material:	ASTM A36
Composición química:	C (0,25 – 0,29%) Si (0,15 – 0,40%) Mn (0,6 – 1,2%) P máx (0,04%) S máx (0,05%)
Peso específico a 20c (densidad):	7.85 (g/cm ³)
Módulo de elasticidad:	200 (GPa)
Resistencia a la tracción:	400 - 500 (MPa)
Soldabilidad:	Muy buena
Presentación del material:	Perfiles laminados
Material de catálogo:	



Especificaciones Generales:

Calidad:	ASTM A36
Largo Normal:	6.00m
Acabado:	Acero negro

*Otras calidades, otros largos y otros acabados previa consulta

VARILLA CUADRADA LISA





Denominación	Lado	Peso		Area
	A	kg/m	kg/6m	cm2
VCU 5/16	8.0	0.57	3.41	0.72
VCU 3/8	9.0	0.64	3.83	0.81
VCU 1/2	11.0	0.98	5.70	1.21
VCU 5/8	15.0	1.77	10.60	2.25
VCU 3/4	18.0	2.54	15.26	3.24
VCU 24.5	24.5	4.72	28.30	6.00

[27]

Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 2415
Calidad:	SAE J 403 1008
Acabado:	Acero negro o galvanizado
Largos:	6,00m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 7/8" a 3"
Espesores:	Desde 1,50mm a 3,00mm





(D) Diámetro	Espesor	Peso	Area	I	W	I
Pulgadas	mm	Kg/m	cm2	cm4	cm3	cm3
1"	1,50	0,88	1,13	0,81	0,64	0,85
1 1/4"	1,50	1,12	1,43	1,63	1,03	1,07
1 1/2"	1,50	1,35	1,72	2,89	1,52	1,30
1 3/4"	1,50	1,59	2,02	4,67	2,10	1,52
2"	1,50	1,82	2,32	7,06	2,78	1,74

[28]

2.1.7. Bushing

Es un acople o adaptador que permite la conexión mediante un roscado externo de $\frac{3}{4}$ " a un elemento con roscado interno de $\frac{1}{2}$ " que se une al soporte mediante un proceso de soldadura SMAW entre el tubo y el contorno externo del bushing. Es un elemento seleccionado de catálogo fabricado de acero galvanizado; las especificaciones se muestran en la tabla 12.

Tabla 12 Características del bushing

	CÓDIGO IMPOFREICO			
	NÚMERO DE PARTE	MP	FP	
	066195	6MP 4FP	3/8	1/4
	066200	8MP 4FP	1/2	1/4
	066205	8MP 6FP	1/2	3/8
	066215	12MP 8FP	3/4	1/2
	066179	16MP 8FP	1"	1/2
	066183	16MP 12FP	1"	3/4
	066185	20MP 12FP	1" 1/4	3/4
	066188	20MP 16FP	1" 1/4	1"
	066190	24MP 12FP	1" 1/2	3/4
	066191	24MP 16FP	1" 1/2	1"
	066192	24MP 20FP	1" 1/2	1" 1/4
	066193	32MP 20FP	2"	1" 1/4
066194	32MP 24FP	2"	1" 1/2	

[29]

Material:	Acero galvanizado
-----------	-------------------

2.1.8. Válvula de bola

Elemento que permite la apertura y cierre del flujo de gas combustible; se describe a detalle en la tabla 13 la selección del elemento, así como el material.

Tabla 13 Válvula de bola



IMPORTADORA FERRETERA INDUSTRIAL

Diámetros: Desde 1/2", Hasta
Clase: 150, 300, 600, 1500, 3000
Clase: 200 WOG, 1000 WOG, 2000 W
Tipo: 2 cuerpos 2pc, 3 cuerpos

Tipo: Esfera flotante, bola, , paso full, paso reducido, full port, reducer p
Operadas: Con volante, con operador, neumáticas, GEAR OPERATOR, NEUMATIC, palanca, con actua

Materiales: Inoxidable SS-304-SS316L, acero al carbón, acero forjado, hierro fundido, WCB, WCC, A105, A105N, F5, BRONCE, DUPLEX, CS, A-216, A182, A

Aplicaciones: Petróleo, Gas, Hidrocarbu
 Válvulas de Línea de Tuberías de Acuerdo a API 600 / 602 / 603 API
 A Prueba de Fuego de Acuerdo a API 6FA y API

VÁLVULAS / VALVES


[30]

Material:	Bronce
Norma:	API 6D
Diámetro:	3/4"

2.1.9. Acople espiga macho

Este acople permite la conexión entre la manguera del cilindro de gas y el conducto del transporte de gas hacia el quemador; este componente se selecciona mediante catálogo como se muestra en la tabla 14.

Tabla 14 Características del acople espiga macho

	<table border="1"> <thead> <tr> <th>CÓDIGO IMPOFREICO</th> <th>DIÁMETRO INTERNO DE MANGUERA</th> <th>ROSCA DEL TUBO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>110121</td><td>1/4"</td><td>1/18"</td></tr> <tr><td>110125</td><td>1/4"</td><td>1/4"</td></tr> <tr><td>110129</td><td>1/4"</td><td>3/8"</td></tr> <tr><td>110133</td><td>1/4"</td><td>1/2"</td></tr> <tr><td>110137</td><td>5/16"</td><td>1/8"</td></tr> <tr><td>110139</td><td>5/16"</td><td>3/8" A</td></tr> <tr><td>110141</td><td>5/16"</td><td>1/4"</td></tr> <tr><td>110141A</td><td>5/16"</td><td>14MM A</td></tr> <tr><td>110142</td><td>5/16"</td><td>1/2" A</td></tr> <tr><td>110143</td><td>3/8"</td><td>1/8"</td></tr> <tr><td>110144</td><td>5/16"</td><td>1/2"</td></tr> <tr><td>110145</td><td>3/8"</td><td>1/4"</td></tr> <tr><td>110149</td><td>3/8"</td><td>3/8"</td></tr> <tr><td>110153</td><td>3/8"</td><td>1/2"</td></tr> <tr><td>110157</td><td>1/2"</td><td>1/4"</td></tr> <tr><td>110161</td><td>1/2"</td><td>3/8"</td></tr> <tr><td>110165</td><td>1/2"</td><td>1/2"</td></tr> <tr><td>110166</td><td>5/8"</td><td>3/8"</td></tr> <tr><td>110167</td><td>5/8"</td><td>1/2"</td></tr> <tr style="border: 2px solid red;"><td>110165A</td><td>1/2"</td><td>3/4"</td></tr> </tbody> </table>	CÓDIGO IMPOFREICO	DIÁMETRO INTERNO DE MANGUERA	ROSCA DEL TUBO	110121	1/4"	1/18"	110125	1/4"	1/4"	110129	1/4"	3/8"	110133	1/4"	1/2"	110137	5/16"	1/8"	110139	5/16"	3/8" A	110141	5/16"	1/4"	110141A	5/16"	14MM A	110142	5/16"	1/2" A	110143	3/8"	1/8"	110144	5/16"	1/2"	110145	3/8"	1/4"	110149	3/8"	3/8"	110153	3/8"	1/2"	110157	1/2"	1/4"	110161	1/2"	3/8"	110165	1/2"	1/2"	110166	5/8"	3/8"	110167	5/8"	1/2"	110165A	1/2"	3/4"
	CÓDIGO IMPOFREICO	DIÁMETRO INTERNO DE MANGUERA	ROSCA DEL TUBO																																																													
	110121	1/4"	1/18"																																																													
	110125	1/4"	1/4"																																																													
	110129	1/4"	3/8"																																																													
	110133	1/4"	1/2"																																																													
	110137	5/16"	1/8"																																																													
	110139	5/16"	3/8" A																																																													
	110141	5/16"	1/4"																																																													
	110141A	5/16"	14MM A																																																													
	110142	5/16"	1/2" A																																																													
	110143	3/8"	1/8"																																																													
	110144	5/16"	1/2"																																																													
	110145	3/8"	1/4"																																																													
	110149	3/8"	3/8"																																																													
	110153	3/8"	1/2"																																																													
	110157	1/2"	1/4"																																																													
	110161	1/2"	3/8"																																																													
	110165	1/2"	1/2"																																																													
	110166	5/8"	3/8"																																																													
110167	5/8"	1/2"																																																														
110165A	1/2"	3/4"																																																														
[31]																																																																
Material:	Bronce																																																															

2.2. Métodos

2.2.1. Tipo de investigación:

2.2.1.1. Bibliográfica: Se realiza la búsqueda de sustentos teóricos que permitan el análisis de transferencia de calor, así como parámetros de funcionamiento del quemador atmosférico tipo Venturi; para lo cual se accede a repositorios digitales de tesis, artículos académicos, libros, patentes.

2.2.1.2. Descriptiva: Se elabora una caracterización del funcionamiento del dispositivo, además del análisis detallado de la eficiencia del quemador con gas GLP.

Para el diseño del quemador se utiliza un método de investigación no experimental, debido a que el diseño se basa en información bibliográfica para la obtención de parámetros de funcionamiento con los cuales se elaboran cálculos de transferencia de calor y de dimensionamiento de componentes específicos.

Se aplica ingeniería inversa para la obtención del dimensionamiento del quemador atmosférico con lo cual se toma un punto de partida para el análisis térmico.

2.2.1.3. Simulación: Se ejecuta un estudio bajo las condiciones propuestas para verificar el funcionamiento del quemador sin necesidad de construirlo, y así verificar la efectividad de los cálculos planteados.

Con el desarrollo de las herramientas computacionales, se pueden realizar análisis de comportamientos o procesos técnicos en equipos desarrollando simulaciones que emplean modelos CAD (Computer-aided design) y de esta manera efectuar estudios CAE (Computer-aided engineering).

2.2.2. Enfoque:

2.2.2.1. Cuantitativo: Se obtienen datos numéricos de variables de diseño que son cuantificables y medibles para describir los resultados del diseño propuesto y la simulación.

2.3. Técnicas:

2.3.1. Observación: Se emplea esta técnica como la principal para la aplicación de la ingeniería inversa y obtención de datos de dimensionamiento del dispositivo, para esto se efectúa una observación estructurada en donde se toman cuidadosamente las dimensiones de dispositivos similares.

2.3.2. Fichaje: En hojas de fichaje o recolección de datos se registran las dimensiones del dispositivo, así como también los cálculos manuales que se han efectuado. Al finalizar el estudio se elabora un informe con los parámetros más relevantes.

2.3.3. Software de diseño: Se utiliza como software de diseño SolidWorks mediante el cual se obtiene el modelo en 3D de cada componente del diseño planteado para su respectivo estudio y simulación.

2.3.4. Software de simulación: Se ejecutan las simulaciones con software de elementos finitos para la obtención del comportamiento del quemador, transferencia de calor y análisis mecánico estructural para el caso de los elementos específicos diseñados.

2.4. Parámetros de diseño y cálculos:

2.4.1. Parámetros de cálculo termodinámico

❖ Potencia

Es un parámetro de diseño mediante el cual parte el cálculo termodinámico, es el calor máximo que puede liberar el quemador al efectuarse la combustión del gas.

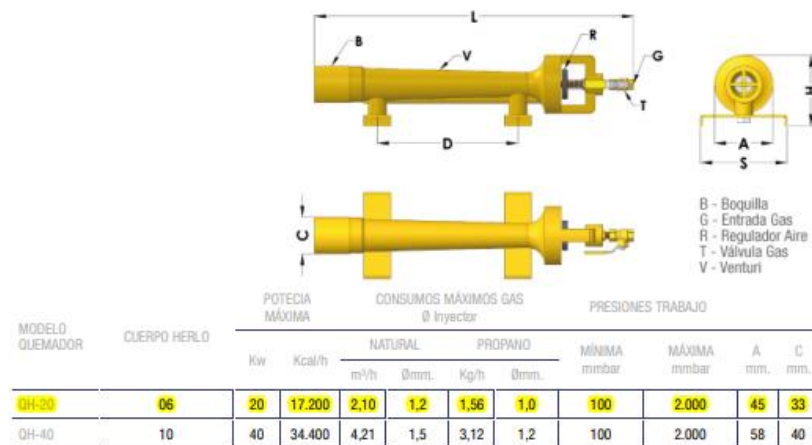


Fig. 24 Selección de la potencia teórica

❖ Presión atmosférica

También es un parámetro de diseño ya que se emplea este valor para conocer el flujo de calor de aire caliente, por tanto, para este caso se requiere utilizar el valor de la presión en función de la altura a la que se encuentra la ciudad de Ambato. En la tabla 17

Tabla 15 Presión atmosférica en función de la altura

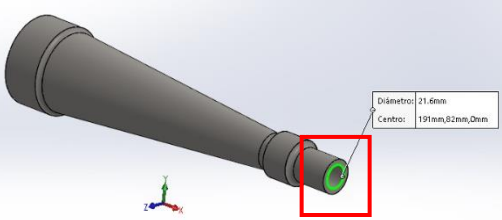
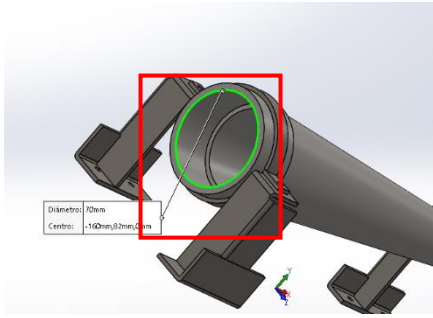
Altitud (m)	bares
0	1013
500	954
1000	898
1500	845
2000	795
2500	746
3000	701
3500	657
4000	616
4500	577
5000	540
5500	505

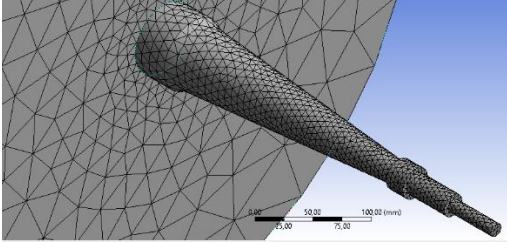
Fuente: [32]

2.4.2. Parámetros de simulación

En esta sección se toman en cuenta los parámetros utilizados para efectuar las simulaciones por elementos finitos mediante las cuales se verificaron algunos parámetros, además del cálculo de otras variables que se producen en la combustión. En la tabla 18 se presenta un resumen.

Tabla 16 Parámetros de entrada para la simulación CFD

Variable	Unidad	Valor
Entrada de Aire (caudal másico)	kg/s	0.02046
Entrada de Gas (Presión)	Pa	2757.9
Salida (presión)	Pa	Atmosférica.
<p data-bbox="537 621 805 653">Diámetro de entrada.</p> 	mm	21.6 mm
<p data-bbox="548 1052 797 1083">Diámetro de Salida</p> 	mm	70 mm

<p>Modelo mallado (Volumen finito)</p> 	<p>Masa = 283297.22 gramos</p> <p>Volumen = 283297.22 centímetros cúbicos</p> <p>Área de superficie =2496606.15 milímetros cuadrados</p> <p>Nodos: 4615</p> <p>Elementos:21080</p>
--	--

Fuente: Autor

2.4.3. Parámetros de simulación de esfuerzo mecánico del material

En el caso del esfuerzo mecánico, se consideraron las siguientes variables para el análisis en la simulación:

Tabla 17 Parámetros de entrada para el análisis estático y térmico

Variable	Unidad	Valor
Temperatura en la pared.	°C	259,47
Potencia Calorífica	W	72,96
Coefficiente de Convección	W(m ² K)	20
Fuerza (Peso del conducto de Combustión)	N	49.09

Fuente: Autor

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y Discusión de los Resultados

3.1.1. Pérdidas por conducción, convección y radiación en la salida del Venturi

En los cálculos térmicos, se considera como una zona crítica a analizar, la salida del Venturi; por lo que se realiza el cálculo térmico respectivo en esta zona como se describe en la figura 37.

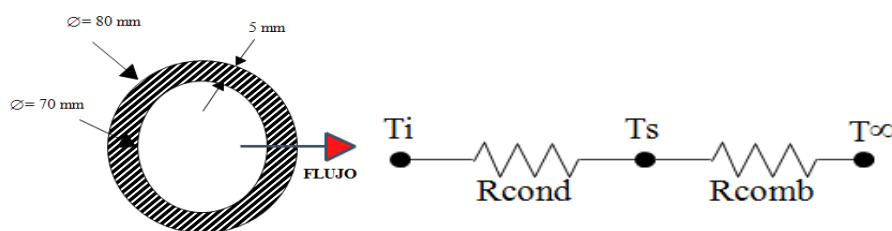


Fig. 25 Esquema de la región transversal a la salida del Venturi.

Fuente: Autor

Para iniciar el cálculo, se definen las condiciones conocidas, por lo que se estima una temperatura en el interior de las paredes de la salida del Venturi, Temperatura interna de 500°C, además la temperatura en las partes adyacentes del Venturi, Temperatura ambiente de 20°C.

Adicional a lo anteriormente planteado, se tienen las condiciones geométricas como diámetro interior, D_i igual a 0.07m y diámetro exterior, D_e igual a 0.08 m.

Los datos con los que se inicia el cálculo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 18 Datos conocidos del quemador en funcionamiento

Temperatura inicial	T_i (°C)	500
Temperatura ambiental	T_∞ (°C)	20
Diámetro interior	D_i (m)	0,07
Diámetro exterior	D_e (m)	0,08
Gravedad	g (m/s^2)	9,81

Longitud de la boca de salida.	L (m)	0,035
Constante de Stefan Boltzmann	$\sigma \left(\frac{W}{m^2 * K^4} \right)$	$5,670 \times 10^{-8}$

Fuente: Autor

Teniendo presente las condiciones anteriormente mencionadas y la naturaleza de este caso en particular, se tiene: Transferencia de calor por conducción (Rcond) entre la superficie interior y la superficie exterior a través de la pared el tubo Venturi; Transferencia de calor por convección entre la superficie exterior y el ambiente a través del aire circundante y Transferencia de calor por radiación entre la superficie exterior y el ambiente, esta última en paralelo a la transferencia anterior son (Rcomb).

Para analizar cada uno de los aspectos anteriormente mencionados, se aborda por el tema de resistencias térmicas, por la facilidad de análisis, es así que primero tenemos:

3.1.2. Resistencia térmica a la conducción entre la superficie interior y la superficie exterior a través de la pared el tubo Venturi

De acuerdo con el material del Tubo Venturi, se tiene un valor variable del coeficiente de transferencia de calor por conducción, con el que se obtiene la ecuación 1, para dicho coeficiente en el Anexo 1 (Transferencia de calor y masa, Tabla A-3) [33]

$$Q = \frac{T_i - T_e}{\frac{\ln(r_e/r_i)}{0,0293 * \pi * L * (4173,5154 - T_i - T_e)}} \quad (1)$$

En donde:

$Q =$ Transferencia de calor (W)

$T_i =$ Temperatura al interior del quemador (°C)

$T_e =$ Temperatura externa (°C)

$r_e =$ radio externo (m)

$r_i = \text{radio interno (m)}$

$L = \text{longitud (m)}$

De la cual se tiene la ecuación de la resistencia térmica que aplica para este caso

$$R_{cond} = \frac{\ln(r_e/r_i)}{0,0293 * \pi * L * (4173,5154 - T_i - T_e)} \quad (2)$$

Donde:

$$R_{cond} = \text{Resistencia térmica por conducción} \left(\frac{^\circ C}{W} \right)$$

Para el cálculo de la resistencia térmica por conducción, es necesario conocer la temperatura en el exterior del tubo Venturi.

3.1.3. Resistencia térmica a la convección entre la superficie exterior y el ambiente a través del aire circundante

En este caso, se trata de una convección natural, por lo que se empleará la siguiente fórmula.

$$R_{conv} = \frac{1}{h_{conv} * (2 * \pi * r_e * L)} \quad (3)$$

Donde:

$$R_{conv} = \text{Resistencia térmica por convección} \left(\frac{^\circ C}{W} \right)$$

$$h_{conv} = \text{coeficiente de transferencia de calor por convección} \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right)$$

$L = \text{longitud (m)}$

$r_e = \text{radio externo (m)}$

En la que el coeficiente de transferencia de calor por convección se calcula con la siguiente fórmula:

$$h_{Conv} = \frac{k}{D} * Nu \quad (4)$$

Donde:

k = conductividad térmica del fluido (W/m.°C)

D = diámetro (m)

Nu = Número de Nusselt

Para la misma, la fórmula del número de Nusselt es la siguiente:

$$Nu = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 * R_{aD}^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{8}} \right]^{\frac{1}{4}}} \right\}^2 \quad (5)$$

Donde:

R_{aD} = Número de Rayleigh

Pr = Número de Prandtl

El número de Rayleigh se obtiene con la siguiente fórmula:

$$R_{aD} = \frac{g * \beta * (Te - T_{\infty}) * D^3}{\gamma^2} * Pr \quad (6)$$

Te = Temperatura externa (°K)

T_{∞} = Temperatura ambiente (°K)

g = aceleración gravitacional $\left(\frac{m}{s^2} \right)$

β = coeficiente de expansión volumétrica $\left(\frac{1}{K} \right)$

γ = viscosidad cinemática del fluido $\left(\frac{m^2}{s} \right)$

El coeficiente de expansión volumétrica, el número de Prandtl, la viscosidad cinemática; dependen de la temperatura externa del tubo Venturi, por lo que el cálculo de la mayoría de los parámetros dependerá de conocer la temperatura en dicho punto.

3.1.4. Resistencia térmica a la radiación entre la superficie exterior y el ambiente

Al ser las condiciones de temperatura, similares al caso de la transferencia de calor por convección,

$$R_{Rad} = \frac{1}{h_{rad} * (2\pi * r_2 * L)} \quad (7)$$

$$R_{Rad} = \text{Resistencia térmica por radiación} \left(\frac{^\circ C}{W} \right)$$

$$h_{rad} = \text{coeficiente de transferencia de calor por radiación} \left(\frac{W}{m^2 C} \right)$$

Se considera un sistema en serie, por lo que el sistema tendría un equivalente de coeficientes de transferencia de calor, que sería la suma de los coeficientes a la convección y a la radiación; este última se calcula con la siguiente fórmula:

$$h_{Rad} = \varepsilon * \sigma * (T_e^2 + T_\infty^2) * (T_e + T_\infty) \quad (8)$$

$\varepsilon = \text{emisividad}$

$$\sigma = \text{constante de Stefan Boltzman} \left(5.670 \times \frac{10^{-8} W}{m^2 K^4} \right)$$

$T_e = \text{Temperatura desuperficie} (^\circ K)$

$T_\infty = \text{Temperatura ambiente} (^\circ K)$

Las resistencias se disponen de la manera como se muestra en la figura 39.

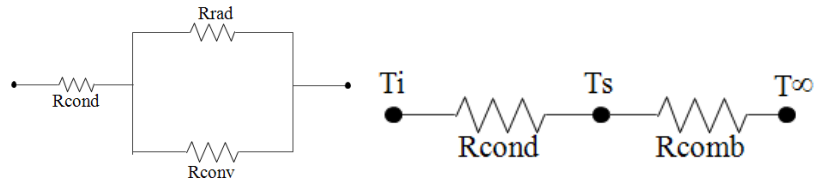


Fig. 26 Resistencia térmica del quemador tipo Venturi

Fuente: Autor

Una vez teniendo presente la problemática en este caso, se pretende efectuar un cálculo iterativo debido ya que, para la mayoría de parámetros, es necesario tener el valor de la temperatura exterior del tubo Venturi en la zona de análisis.

El ajuste en las iteraciones, se verá reflejado en el supuesto de un flujo de calor constante desde el interior del tubo Venturi, es así que se tendrá un flujo de igual valor tanto con las consideraciones a Conducción como con las consideraciones conjuntas de Convección y Radiación.

Las iteraciones se las realizan en una hoja de cálculo, para la facilidad de obtención de las mismas, se considera un valor de entrada a varias temperaturas para (T_s) que se definió en párrafos anteriores.

Es así que las consideraciones finales quedan determinadas de la forma como se plasman en la tabla 21.

Tabla 19 Valores finales calculados

T_s (°C)	498,8495
T_f (°C)	259,4247
β (1/K)	0,0019
k (W/m²°C)	0,0416
γ (m²/s)	$4,2138 \times 10^{-5}$
Prandtl	0,6944
ϵ emisividad	0,2056

Rayleigh	1762544,29
Nusselt	17,0150
h conv (W/m²°C)	8,8546
h rad (W/m²°C)	8,4668
R conv+rad (°C/W)	6,5631
Q conv + rad (W)	72,9607
R cond (°C/W)	0,0158
Q cond (W)	72,9607

3.2. Cálculos para verificar valores obtenidos

3.2.1 Resistencia conducción

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{0,0293 * \pi * L * (4173,5154 - T_1 - T_2)}} \quad (9)$$

$$Q = \frac{773,15 \text{ K} - 771,36583 \text{ K}}{\frac{\ln\left(\frac{0,08 \text{ m}}{0,07 \text{ m}}\right)}{0,0293 * \pi * 0,035 \text{ m} * (4173,5154 - 773,15 \text{ K} - 498,21583 \text{ K})}}$$

$$Q \text{ cond} = \frac{1,1505}{0,0158}$$

$$\mathbf{Q \text{ cond} = 72,9607 \text{ W}}$$

$$R_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{0,0293 * \pi * L * (4173,5154 - T_1(^{\circ}K) - T_2(^{\circ}k))} \quad (10)$$

$$R_{cond} = \frac{\ln(0,08 \text{ m}/0,07 \text{ m})}{0,0293 * \pi * 0,035 \text{ m} * (4173,5154 - 773,15 \text{ K} - 771,9995)}$$

$$R_{cond} = \frac{0,1335}{0,0293 * \pi * 0,035 \text{ m} * (4173,5154 - 773,15 \text{ K} - 771,9995 \text{ K})}$$

$$R_{cond} = \frac{0,1335}{0,0293 * \pi * 0,035 \text{ m} * (2628,3659)}$$

$$R_{cond} = 0,0158 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

3.2.2. Resistencia a la convección:

Temperatura de película (T_f): es la temperatura promedio de la temperatura de superficie T_s y la temperatura de flujo libre o ambiente T_{∞}

$$T_f = \frac{498,8495 \text{ }^{\circ}\text{C} + 20^{\circ}\text{C}}{2} \quad (11)$$

$$T_f = 259,4247 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Coefficiente de expansión volumétrica

$$\beta = \frac{1}{T}$$

$T =$ Temperatura termodinámica, T_f en grados Kelvin

$$\beta = \frac{1}{259,1079 + 273,15}$$

$$\beta = 0,0019 \frac{1}{\text{K}}$$

$$R_{ad} = \frac{g * \beta * (T_s - T_{\infty}) * D e^3}{\gamma^2} * P_r \quad (12)$$

$$R_{ad} = \frac{9.81 \frac{m}{s^2} * 0,0019 \frac{1}{K} * (771,36583 K - 293,15 K) * 0,08 m^3}{(4,2138 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s})^2} * 0,6944 \quad (13)$$

$$R_{ad} = 1762544,29$$

$$Nu = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 * R_{ad}^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{P_r} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad (14)$$

$$Nu = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 * (1762544,29)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{0,694} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

$$u = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 * 10,99065}{1,20671} \right\}^2$$

$$Nu = \{ 0,6 + 3,52477 \}^2$$

$$Nu = 17,02$$

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

$$h_{conv} = \frac{0,04161198 \left[\frac{W}{m * ^\circ C} \right]}{0,08 m} * 17,02 \quad (15)$$

$$h_{conv} = 8,8546 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

$$R_{Conv} = \frac{1}{h_{conv} * (2 * \pi * r_2 * L)} \quad (16)$$

$$R_{Conv} = \frac{1}{8,8529 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right] * (2 * \pi * 0,04 m * 0,035 m)}$$

$$R_{Conv} = 12,8388 \left[\frac{^\circ C}{W} \right]$$

3.2.3. Resistencia a la radiación

$$h_{Rad} = \varepsilon * \sigma * (T_s^2 + T_\infty^2) * (T_s + T_\infty) \quad (17)$$

$$h_{Rad} = 0,2055 * 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4} * ((771,36583 K)^2 + (293,15 K)^2) * (771,36583 K + 293,15 K)$$

$$h_{Rad} = 8,4461 \left[\frac{W}{m^2 * C} \right]$$

$$R_{Rad} = \frac{1}{h_{rad} * (2\pi * r_2 * L)} \quad (18)$$

$$R_{Rad} = \frac{1}{8,4668 \left[\frac{W}{m^2 * C} \right] * (2 * \pi * 0.04 m * 0,035 m)}$$

$$R_{Rad} = 13,4568 \left[\frac{C}{W} \right]$$

3.2.4. Sistema de resistencias en paralelo:

Se aplica la ley de Kirchhoff para la aplicación de resistencias en paralelo

$$\frac{1}{R_{comb}} = \frac{1}{R_{conv}} + \frac{1}{R_{rad}}$$

$$R_{comb} = \frac{R_{conv} * R_{rad}}{R_{conv} + R_{rad}} \quad (19)$$

$$R_{comb} = \frac{12,8388 \left[\frac{C}{W} \right] * 13,4268 \left[\frac{C}{W} \right]}{12,8388 \left[\frac{C}{W} \right] + 13,4268 \left[\frac{C}{W} \right]}$$

$$R_{comb} = \frac{172,3840 \left[\frac{C}{W} \right]^2}{26,2656 \left[\frac{C}{W} \right]}$$

$$R_{comb} = \frac{172,3840 \left[\frac{C}{W} \right]^2}{26,2656 \left[\frac{C}{W} \right]}$$

$$R_{comb} = 6,5631 \left[\frac{C}{W} \right]$$

$$h_{comb} = h_{conv} + h_{Rad} \quad (20)$$

$$h_{comb} = 8,8546 \left[\frac{W}{m^2 * C} \right] + 8,4668 \left[\frac{W}{m^2 * C} \right]$$

$$h_{Comb} = 17,3215 \left[\frac{W}{m^2 * C} \right]$$

$$Q_{comb} = 72,9607 W$$

La temperatura en el exterior del tubo Venturi es de **498,2158 °C**

El flujo de calor es de **72,9607 W**

3.3. Pérdida periférica de la boca

Se evalúan este tipo de pérdidas ya que afectan la distribución de energía útil en el quemador.

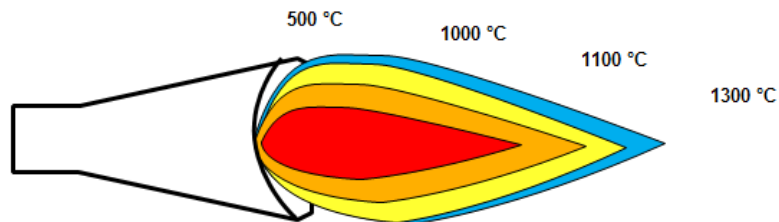


Fig. 27 Esquema de las pérdidas en la periferia de la boca

Fuente: [34]

3.3.1. Cálculo de la longitud de la llama.

Relación estequiometría del GLP.

En estas expresiones se muestra el balance entre reactivos y productos que intervienen en la combustión:

S_{LP} = Relación estequiometrica del Gas GLP.

$$S_{LP} = 0,6 S_{C_3H_8} + 0,4 S_{C_4H_{10}}$$

$S_{C_3H_8}$ = corresponde al propano

$S_{C_4H_{10}}$ = corresponde al butano

X = Número de átomos de Carbono

Y = Número de átomos de Hidrógeno

$$S_{C_3H_8} = 4,76 \left(X + \frac{Y}{4} \right)$$

$$S_{C_3H_8} = 4,76 \left(3 + \frac{8}{4} \right)$$

$$\mathbf{S_{C_3H_8} = 23,80}$$

$$S_{C_4H_{10}} = 4,76 * \left(X + \frac{Y}{4} \right)$$

$$S_{C_4H_{10}} = 4,76 * \left(4 + \frac{10}{4} \right)$$

$$\mathbf{S_{C_4H_{10}} = 30,94}$$

$$S_{LP} = 0,6 (23,80) + 0,4 (30,94)$$

$$\mathbf{S_{LP} = 26,656}$$

$$S_{LP \text{ Premezcla}} = \frac{1 - \psi_{\text{primario}}}{\psi_{\text{primario}} + \frac{1}{S_{LP}}}$$

Donde ψ_{primario} , es la cantidad de aire primario suministrado, el cual se estima del 25%.

$$S_{LP \text{ Premezcla}} = \frac{1 - 0,25}{0,25 + \frac{1}{26,656}}$$

$$S_{LP \text{ Premezcla}} = 2,609$$

3.3.2. Caudal volumétrico GLP

Establece la tasa de consumo de combustible bajo las condiciones de operación del sistema; relaciona el flujo másico con la densidad del combustible y se expresa en metros cúbicos por segundo.

T_{GLP} = Temperatura del gas antes de que combusione 15°C.

$$Q_{vol} = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

Donde:

$$Q_{vol} = \text{caudal volumétrico} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$\dot{m} = \text{Flujo masico} \left(\frac{kg}{s} \right)$$

$$\rho = \text{Densidad del vapor de combustible} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$Q_{vol} = \frac{5,146 \times 10^{-4}}{1,787}$$

$$Q_{vol} = 2,880 \times 10^{-4} m^3/s$$

$$L_f = \frac{1330 * Q_{vol} * \left(\frac{T_o}{T_{LP}}\right)}{\ln\left(1 + \frac{1}{S_{LP \text{ Mezcla}}}\right)}$$

$$L_f = \frac{1330 * 2,880 * 10^{-4} * \left(\frac{288}{280}\right)}{\ln\left(1 + \frac{1}{2,609}\right)}$$

$$L_f = 1,214 \text{ m}$$

3.3.3. Calor por radiación

Se tiene las condiciones circundantes a la lama, a la salida del tubo Venturi.

$$T_s = 1000 \text{ }^\circ\text{C} = 1273 \text{ K}$$

$$T_\infty = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$$

Además, se contempla el valor de la emisividad para el gas CO₂, de $\varepsilon = 0,003$

$$h_{RAD} = \varepsilon * \sigma * (T_s^2 + T_\infty^2) * (T_s + T_\infty)$$

$$h_{RAD} = 0,4548 \frac{W}{m^2 * C}$$

Con el cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación, estimamos la resistencia térmica respectiva.

$$R_{RAD} = \frac{1}{h_{RAD} (2 * \pi * r_s * L)}$$

$$R_{RAD} = \frac{1}{0,4548 * (2 * \pi * 0,04 * 1,214)}$$

$$R_{RAD} = 7,2072 \frac{^\circ\text{C}}{W}$$

$$Q_{RAD} = \frac{\Delta T}{R}$$

$$Q_{RAD} = \frac{1000 - 20}{7,2072}$$

$$Q_{RAD} = 135,975 W$$

3.4. Pérdida frontal de la boca

Se tiene las condiciones circundantes a la lama, a la salida del tubo Venturi.

$$T_s = 1300 \text{ } ^\circ\text{C} = 1573 K$$

$$T_\infty = 20 \text{ } ^\circ\text{C} = 293 K$$

Además, se contempla el valor de la emisividad para el gas CO₂, de $\varepsilon = 0,003$ [35]

$$h_{RAD} = \varepsilon * \sigma * (T_s^2 + T_\infty^2) * (T_s + T_\infty)$$

$$h_{RAD} = 0,8129 \frac{W}{m^2 * C}$$

Con el cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación, estimamos la resistencia térmica respectiva.

$$R_{RAD} = \frac{1}{h_{RAD} * A}$$

$$R_{RAD} = \frac{1}{0,4548 * 3,848 \times 10^{-3}}$$

$$R_{RAD} = 571,3386 \frac{^\circ\text{C}}{W}$$

$$Q_{RAD} = \frac{\Delta T}{R}$$

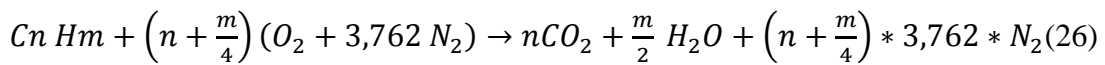
$$Q_{RAD} = \frac{1300 - 20}{7,2072}$$

$$Q_{RAD} = 2,240 W$$

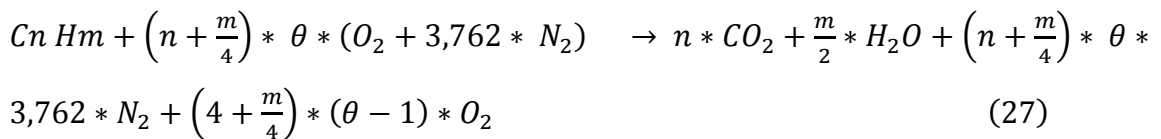
3.5. Cálculos de combustión

(Datos obtenidos Anexo 2 al 6) [36]

❖ Combustión Estequiométrica



❖ Combustión con exceso de aire

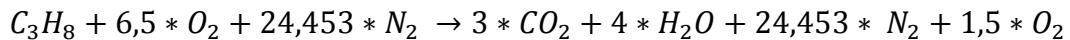
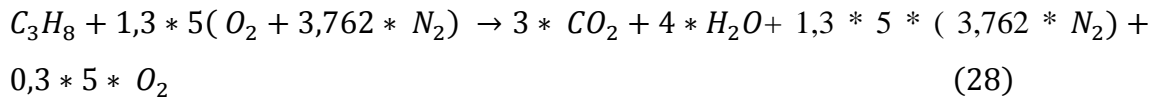


❖ Para aprovechar el combustible, se pone a punto la combustión

Se tiene un exceso de aire del 30%

$$\theta = 1,30$$

❖ Combustión del propano



3.5.1. Cálculo relación aire combustible

Masa Atómica

$$C \rightarrow 12,011 \text{ kg/kg mol}$$

$$H \rightarrow 1,008 \text{ kg/kg mol}$$

$$O \rightarrow 15,999 \text{ kg/kg mol}$$

$$N \rightarrow 14,007 \text{ kg/kg mol}$$

$$AC = \frac{m_{aire}}{m_{comb}} \quad (29)$$

$$m_{aire} = 24,453 * 2 * (14,007) + 6,5 * 2 * (15,999)$$

$$m_{aire} = 893,013$$

$$m_{comb} = 3 * (12,011) + 8 * (1,008)$$

$$m_{comb} = 44,097$$

$$AC = \frac{893,013}{44,097}$$

$$AC = 20,251 \frac{\text{kg aire}}{\text{kg comb}}$$

3.5.2. Entalpía combustión

$$\bar{h}_c = \sum N_p * \bar{h}_{f(p)} - \sum N_r * \bar{h}_{f(r)}$$

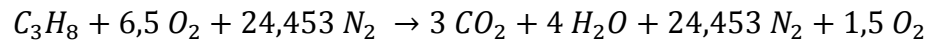
Donde: \bar{h}_c = Entalpía de combustión $[KJ/Kmol]$

N : numero de moles $[KJ/Kmol]$

\bar{h}_f : Entalpía de formación $[KJ/Kmol]$

Tabla 20 Datos obtenidos de entalpía de combustión

	\bar{h}_f a 293,15	\bar{h}_f a 773,15	N
C_3H_8	-103850	-	1
O_2	8537,106	-	6,5
N_2	8525,319	-	24,453
CO_2		30804,65	3
H_2O		26861,96	4
N_2		22870,60	24,453
O_2		23619,16	1,5



$$\bar{h}_c = H_{prad} - H_{react}$$

$$\bar{h}_c = 782735,73 - 160110,81$$

$$\bar{h}_c = \mathbf{622624,92 KJ}$$

Es una reacción endotérmica

3.5.3. Calor teórico generado

$$Q_{sal} = \sum Nr (\bar{h}_{of} + \bar{h} - h^{\circ})r - \sum Np (\bar{h}_{of} + \bar{h} - h^{\circ})r \quad (30)$$

Q_{sal} : Flujo de calor teórico

N : número de moles

\bar{h}_f : entalpía de formación a 25°C y 1 atm $[KJ/Kmol]$

\bar{h} : entalpía de formación a T de reacción o producto $[KJ/Kmol]$

h° : entalpía de corrección $[KJ/Kmol]$

Tabla 21 Datos obtenidos de entalpía de combustión

	\bar{h}_f 298,15	\bar{h} 293,15	\bar{h} 298,15	\bar{h} 773,15	N
C_3H_8	-103850	-	-	-	1
O_2	0	8537,106	8686,05	-	6,5
N_2	0	8525,319	8673,05	-	24,453
CO_2	-393520	-	6889,05	30804,65	3
H_2O	-285830	-	9908,65	26861,96	4
N_2	0	-	8673,05	22870,60	24,453
O_2	0	-	8686,05	23619,16	1,5

$$Q_{sal} = -108430,602 - (-1814744,845)$$

$$Q_{sal} = 1706314,243 \text{ KJ}/\text{Kmol } C_3H_8$$

3.6. Cálculo del flujo másico de GLP

De acuerdo a la potencia nominal de un quemador con similares características del quemador Venturi diseñado, se estima el flujo másico de GLP; es así que se toman las siguientes consideraciones:

Potencia máxima (catálogo, ver Anexo 7).

Cantidad de energía entregada antes de la combustión; expresada en kW

$$Q = 20 \text{ KW}$$

$$\text{Masa atómica combustible} \rightarrow 44,097 \frac{\text{Kg}}{\text{Kmol } C_3H_8}$$

$$Q_{sal} = \frac{1713756,94 \text{ KJ}/\text{Kmol } C_3H_8}{44,097 \text{ Kg}/\text{Kmol } C_3H_8} \quad (31)$$

$$Q_{sal} = 38863,345 \text{ KJ}/\text{Kg}$$

Con el flujo de calor por unidad de masa, se calcula el flujo másico.

$$\dot{Q}_{sal} = \dot{m}_{GLP} * Q_{sal} \quad (32)$$

Donde:

$$\dot{Q}_{sal} = \text{Transferencia de calor}$$

$$\dot{m}_{GLP} = \text{Flujo másico de GLP}$$

$$Q_{sal} = \text{Potencia del quemador antes de la combustión}$$

$$\dot{m}_{GLP} = \frac{\dot{Q}_{sal}}{Q_{sal}}$$

$$\dot{m}_{GLP} = \frac{20 \text{ KJ}/\text{s}}{38863,345 \text{ KJ}/\text{Kg}}$$

$$\dot{m}_{GLP} = 5,146 \times 10^{-4} \text{ Kg}/\text{s}$$

$$\dot{m}_{GLP} = 1,853 \text{ Kg}/\text{h}$$

Para garantizar un 25% de aire primario, se cuenta con un componente de regulación, de forma circular, de diámetro de 31,6 mm y espesor de 5 mm, con un orificio 12,7 mm, el

$V = \text{velocidad de salida del gas}$

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho \cdot V_1^2 + \rho * g * h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot V_2^2 + \rho * g * h_2$$

$$P_1 = \frac{1}{2} \rho \cdot V_2^2$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot P_1}{\rho}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 * 2800}{1,787}}$$

$$\mathbf{V_2 = 55,980 \text{ m/s}}$$

En el cuerpo del tubo Venturi, se tiene las secciones en la que existe una reducción de velocidad. Hay que tomar en cuenta el aporte del flujo de aire, el cual, tienen una proporción mayor al GLP, debido al exceso de aire que requiere la combustión.

Es así que se estima la velocidad de la mezcla a la entrada del Venturi de 83,97 m/s.

$$A_2 \cdot V_2 = A_3 \cdot V_3$$

$$V_3 = \frac{V_2 \cdot r_2^2}{r_3^2}$$

El radio a la entrada del Venturi es de 0,01098 m y a la salida es de 0,03148 m.

$$V_3 = \frac{111,96 \cdot 0,01098^2}{0,03148^2}$$

$$\mathbf{V_3 = 10,215 \text{ m/s}}$$

La velocidad de la mezcla a la salida del quemador es de 15,664 m/s

3.8. Cálculo del flujo de calor del aire caliente generado

Para determinar el flujo de calor, se emplea la ecuación del gas ideal, para calcular ciertos parámetros de la ecuación, se consideran las propiedades de la región en la que se pretende emplear el quemador.

$$P * A * V = \dot{m} * R * T \quad (34)$$

P : presión [KPa]

A : area [m^2]

V : velocidad [m/s]

\dot{m} : flujo másico

R : constante de los gases [$KPa * m^3 / Kg * K$]

T : temperatura [K]

Tenemos las siguientes consideraciones:

Se toma como parámetro de diseño que, para una altura de 2500 m, de la ciudad de Ambato

P : 74,695 KPa

r : 0,035 m

V : 10,215 m/s

R : $0,287 \frac{KJ}{Kg * K}$

T : 500 K

$$A = \pi r^2 \quad (35)$$

$$A = \pi * (0,035)^2$$

$$A = 3,8485 \times 10^{-3} m^2$$

El flujo másico del aire a la salida del Venturi queda de la siguiente manera:

$$\dot{m} = \frac{P * A * V}{R * T} \quad (36)$$

Donde:

$$\dot{m} = \text{flujo másico del aire} \left(\frac{kg}{s} \right)$$

$$\dot{m} = \frac{74,695 \text{ kPa} * 3,8485 \times 10^{-3} \text{ m}^2 * 10,215 \text{ m/s}}{0,287 * 500 \text{ K}}$$

$$\dot{m} = 0,02046 \text{ Kg/s}$$

3.9. Cálculo del flujo de calor a la salida del Venturi.

Teniendo el caudal másico del aire de acuerdo con las consideraciones anteriormente planteadas se tiene que el flujo de calor viene dado por la siguiente formula.

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

Donde:

$$h = \text{entalpía [KJ/Kg]}$$

$$Q = \text{Calor a la salida del quemador}$$

Para la estimación de dicha entalpía se tiene que la temperatura en las inmediaciones de la salida del tubo Venturi es de 500 K, para la misma, la entalpía es de 503,02 KJ/Kg.

$$Q = 0,02046 * 503,02$$

$$Q = 10,294 \text{ kW.}$$

3.10. Cálculo de la eficiencia térmica del quemador

Teniendo en cuenta que salida deseada es el calor útil, mientras que la entrada es el calor nominal o el calor que se puede obtener de la mezcla, tenemos la siguiente expresión.

$$\eta_{Ter} = \frac{Q_{Util}}{Q_{Entrada}} \quad (37)$$

$$\eta_{Ter} = \frac{10,294 \text{ kW}}{20 \text{ kW}}$$

$$\eta_{Ter} = 51,47 \%$$

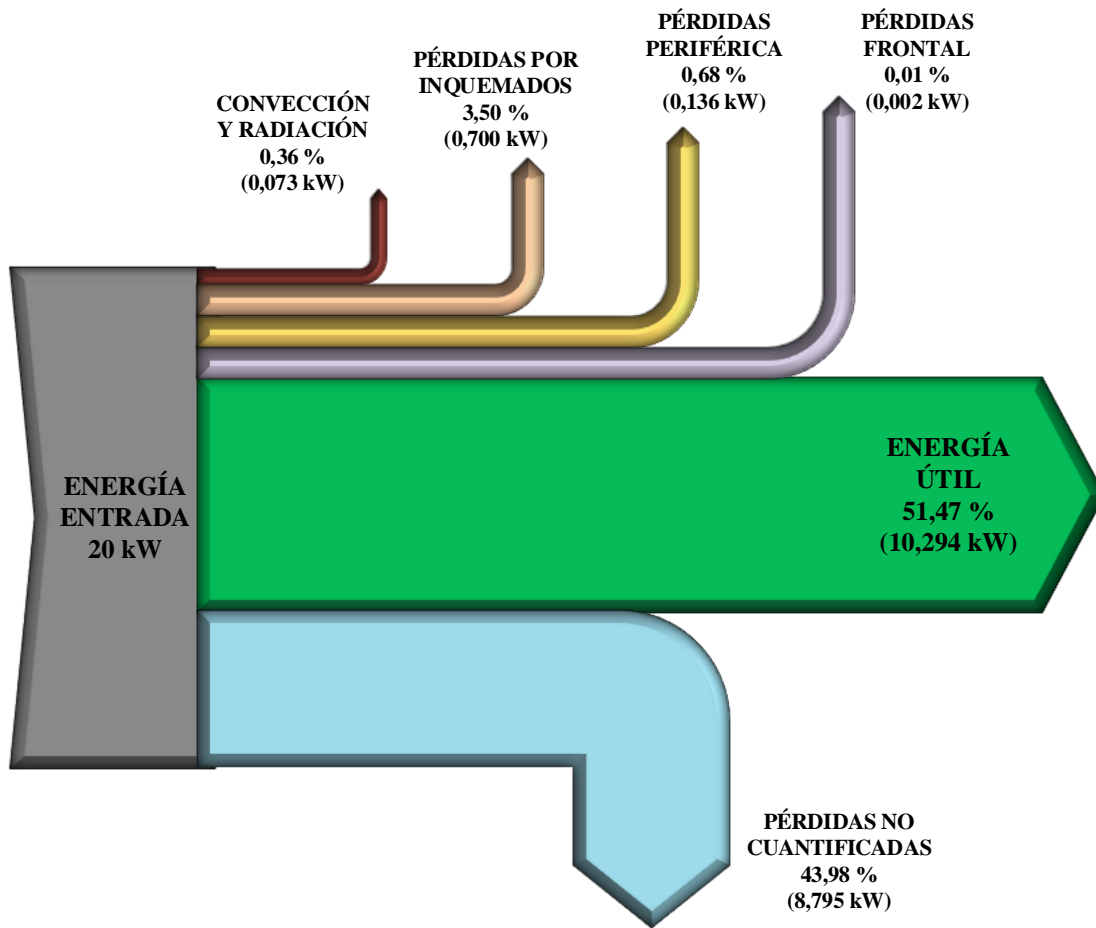
3.11. Pérdidas por inquemados sólidos.

Se estima una pérdida por inquemados sólidos catalogado como en un rango medio [37] ver Anexo 10, apreciando humos visibles característicos de una combustión regular. Esta estimación consideró un porcentaje de pérdida por inquemados del 3,50%, para este caso alcanzaría 700W como se muestra en el Diagrama de Sankey desarrollado, figura 43.

La síntesis de las pérdidas estimadas en cálculos anteriores y de la energía útil, se visualiza en la tabla 24.

Tabla 22 Datos de las pérdidas y de la energía útil

Energía Útil	10,294 kW
Pérdidas por Convección y Radiación	0,073 kW
Pérdida Periférica	0,136 kW
Pérdida Frontal	0,002 kW
Pérdida por Inquemados	0,700 kW
Otras pérdidas no Cuantificadas	8,795 kW
Energía de Entrada	20 kW



28 Diagrama de Sankey de pérdidas y energía útil en el quemador

Fig.

3.12. Cálculos de diseño mecánico

3.12.1. Dilatación térmica en la salida del Venturi

Se tiene interés en analizar la dilatación térmica en la zona que se considera de mayor exposición al cambio de temperatura.

Es así que se aplica la fórmula de dilatación térmica, tanto lineal como diametral.

3.12.2. Dilatación térmica lineal

Se tienen la siguiente fórmula:

$$\Delta L = \alpha * L_o * \Delta T \quad (24)$$

En donde:

L_o , es la longitud original o inicial,

α , es el coeficiente de dilatación térmica

ΔT , es el cambio de temperatura

Con el valor del coeficiente de dilatación térmica del acero igual a $11,7 \times 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$, se calcula el incremento de longitud o expansión térmica lineal.

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

$$\Delta L = 11,7 \times 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}} * 35 \text{ mm} * 480 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta L = \mathbf{0,1966 \text{ mm}}$$

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{0,1966 \text{ mm}}{35 \text{ mm}}$$

$$\frac{\Delta L}{L} = \mathbf{0,56 \%}$$

3.12.3. Dilatación térmica diametral

Se tienen la siguiente fórmula:

$$\Delta D = \alpha * D_o * \Delta T \quad (25)$$

En donde:

D_o , es el diámetro original o inicial,

α , es el coeficiente de dilatación térmica

ΔT , es el cambio de temperatura

Con el valor del coeficiente de dilatación térmica del acero igual a $11,7 \times 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$, se calcula el incremento de diámetro o expansión térmica diametral.

$$\Delta D = \alpha * D_o * \Delta T$$

$$\Delta D = 11,7 \times 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}} * 80 \text{ mm} * 480 ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta D = \mathbf{0,4493 \text{ mm}}$$

$$\frac{\Delta D}{D_o} = \frac{0,4493}{80}$$

$$\frac{\Delta D}{D_o} = \mathbf{0,56 \%}$$

3.13. Cálculos de diseño de cargas

$$\text{Masa del tubo venturi} = 2,967 \text{ kg}$$

$$\text{Masa de componentes varios} = 0,767 \text{ kg}$$

$$\text{Masa de todo el quemador} = 3,734 \text{ kg}$$

$$29,1083 = \frac{A+B}{2} * 0,368$$

$$A_1 = \pi * 0,04^2$$

$$158,1974 = A + B$$

$$A_1 = 5,0265 \times 10^{-3}$$

$$158,1974 = 3,628A + A$$

$$A * A_1 = B * A_2$$

$$\mathbf{A = 34,1827 \text{ N/m}}$$

$$A * \pi * 0,04^2 = B * \pi * 0,021^2$$

$$\mathbf{B = 124,2147 \text{ N/m}}$$

$$A * 1,6 \times 10^{-3} = B * 4,41 \times 10^{-4}$$

$$3,628 A = B$$

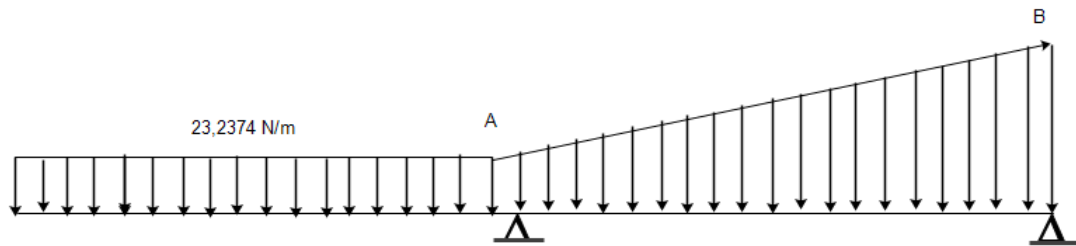


Fig. 29 Distribución de cargas en el quemador
Fuente: Autor

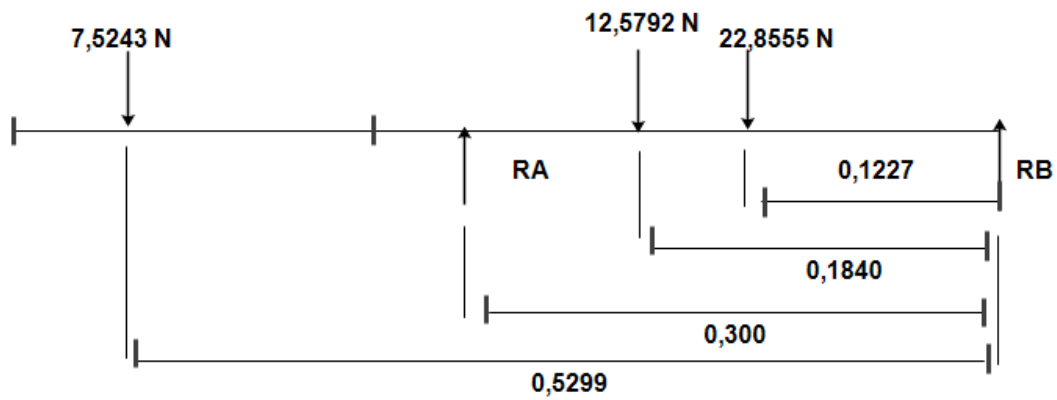


Fig. 30 Diagrama de reacciones del quemador
Fuente: Autor

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B = 7,5243 + 12,5792 + 22,8555$$

$$R_A + R_B = 42,9590 \text{ N}$$

$$\sum M_B = 0$$

$$0,3 * R_A = 0,5299(7,5243) + 0,1840(12,5792) + 0,1227(22,8555)$$

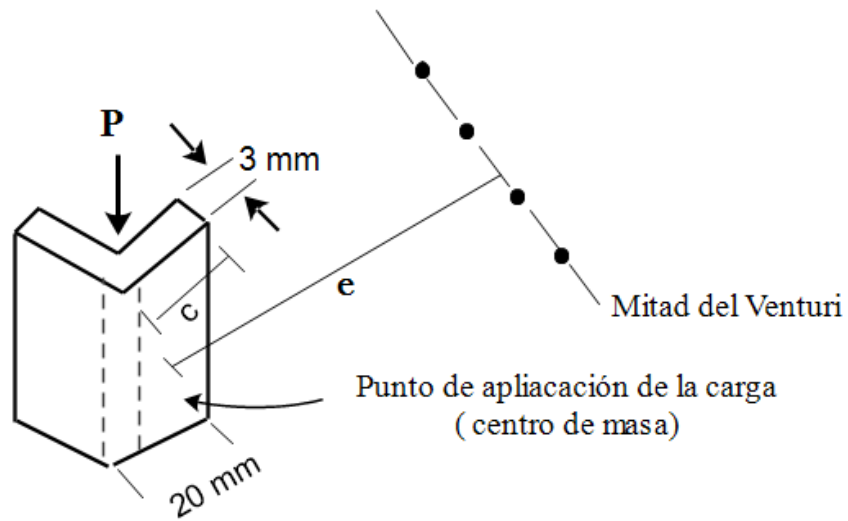
$$0,3 * R_A = 9,1061 N$$

$$R_A = 30,3536 N$$

$$R_B = 12,6054 N$$

Base en el punto A

Carga de 30,3536 N, a compresión.



Factor de diseño

$$k^2 = \frac{I}{A}$$

$$k^2 = \frac{1,5787 \times 10^{-9}}{1,0955 \times 10^{-4}}$$

$$k^2 = 1,441 \times 10^{-5} m^2$$

$$c = 0,01382 m$$

$$e = 0,04107 \text{ m}$$

$$A = 1,0955 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{P}{A} \left(1 + \frac{e \cdot c}{k^2} \right)$$

$$\sigma = 185792,789 * (40,388)$$

$$\sigma = 7,5038 \times 10^6 \text{ Pa}$$

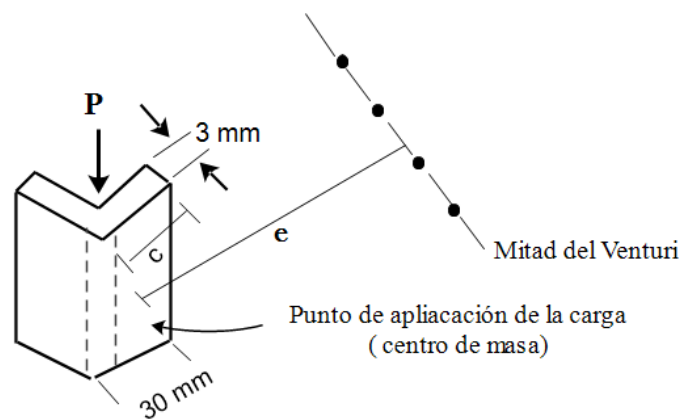
$$n_d = \frac{S_e}{\sigma}$$

$$n_d = \frac{250 \times 10^6}{7,5038 \times 10^6}$$

$$n_d = 33,316$$

Base en el punto B

Carga de 12,6034, a compresión.



Factor de diseño

$$k^2 = \frac{I}{A}$$

$$k^2 = \frac{5,7289 \times 10^{-9}}{1,6955 \times 10^{-4}}$$

$$k^2 = 3,379 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$c = 0,02132 \text{ m}$$

$$e = 0,06257 \text{ m}$$

$$A = 1,6955 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{P}{A} \left(1 + \frac{e \cdot c}{k^2} \right)$$

$$\sigma = 74334,415 * (40,479)$$

$$\sigma = 3,0090 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$n_d = \frac{S_e}{\sigma}$$

$$n_d = \frac{250 \times 10^6}{3,0090 \times 10^6}$$

$$n_d = \mathbf{83,084}$$

3.14. Simulación del quemador

Teniendo los cálculos desarrollados en el capítulo anterior, se presenta el análisis del comportamiento del quemador tomando como consideración las condiciones de trabajo en las que debe funcionar.

Tabla 23 Simulación del esfuerzo de Von Misses en el quemador



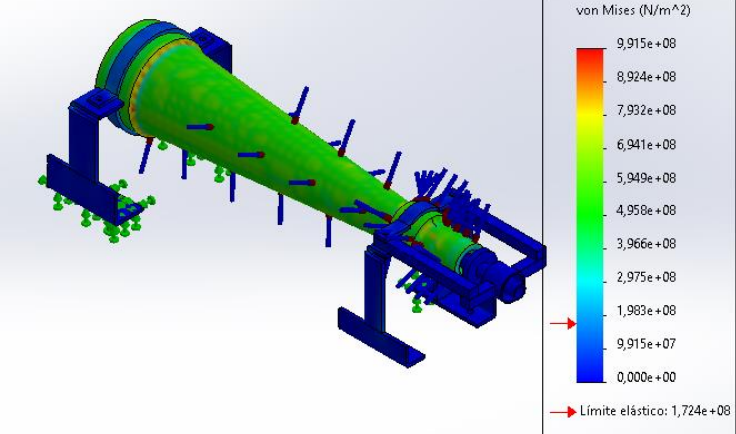
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Criterio:	Esfuerzo de Von Mises		
Características de la simulación:	Carga:	Geometría del mallado:	Tiempo de procesamiento:
	259,47°C	Tetraedros	5 minutos
N° de nodos:	24682	Tipo de análisis:	Estático
N° de elementos:	11438	Tipo de carga:	Térmica
Realizado por:	Carlos Loor	Revisado por:	Ing. Santiago Cabrera
Resultados de simulación:			
			
<p>Análisis: El valor máximo del esfuerzo de Von Mises considerando la carga térmica dio como resultado $9,915 \times 10^8$ y el esfuerzo mínimo bajo las mismas condiciones 0 N/m^2.</p>			

Tabla 24 Simulación del esfuerzo de Von Mises en las bases del quemador

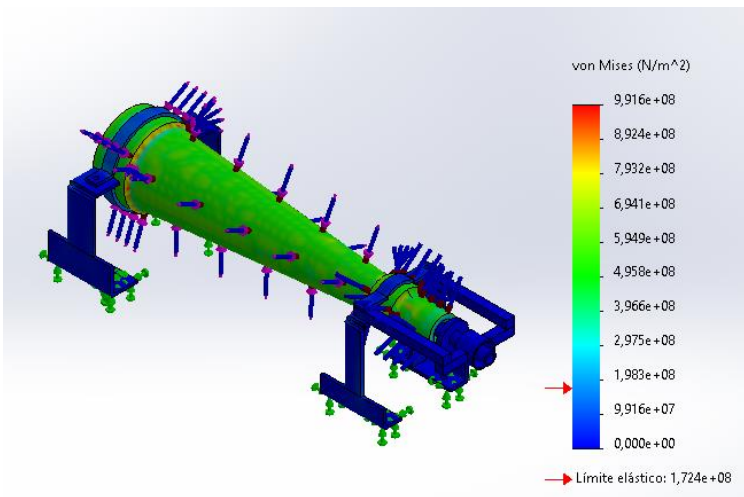
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Criterio:	Esfuerzo de Von Mises en las bases		
Características de la simulación:	Carga:	Geometría:	Tiempo de procesamiento:
	49,09 N	Tetraedros	5 minutos
N° de nodos :	24682	Tipo de análisis:	Estático
N° de elementos:	11438	Tipo de carga:	Carga distribuida
Realizado por:	Carlos Loor	Revisado por:	Ing. Santiago Cabrera
Resultados de simulación:			
Factor de seguridad: 49			
			
Análisis: El valor máximo del esfuerzo de Von Mises considerando la carga distribuida del peso del quemador dio como resultado $9,916 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ y el esfuerzo mínimo bajo las mismas condiciones 0 N/m^2 .			

Tabla 25 Simulación de la deformación resultante en el quemador

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Criterio:	Deformación resultante por la carga térmica		
Características de la simulación:	Carga:	Geometría:	Tiempo de procesamiento:
	259,47°C	Tetraedros	5 min
N° de nodos:	24682	Tipo de análisis:	Estático
N° de elementos	11438	Tipo de carga:	Térmica
Realizado por:	Carlos Loor	Revisado por:	Ing. Santiago Cabrera
Resultados de simulación:			
			
<p>Análisis: El valor máximo de la deformación resultante por la dilatación térmica considerando la carga térmica de 259,47°C dio como resultado 1.913×10^{-1} mm y la deformación resultante mínima bajo las mismas condiciones 1×10^{-30} mm.</p>			

Tabla 26 Simulación de la dilatación térmica del quemador



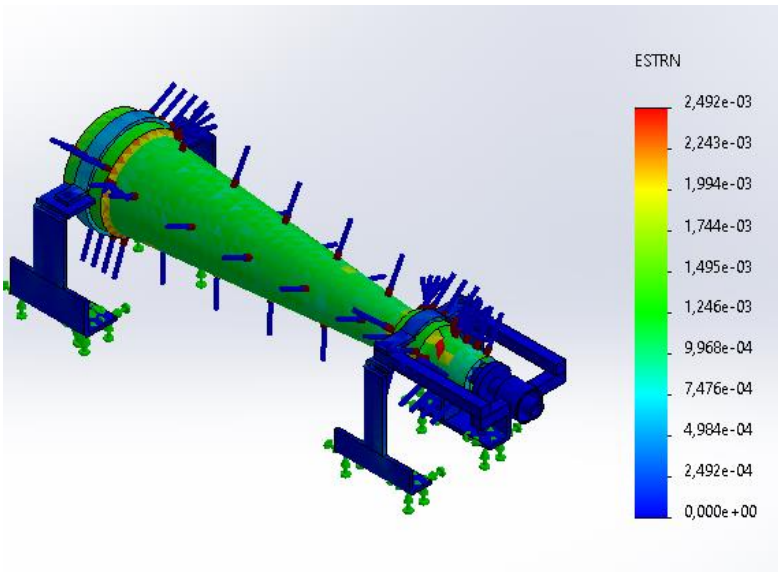
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Criterio:	Dilatación térmica		
Características de la simulación:	Carga:	Geometría:	Tiempo de procesamiento :
	259,47°C	Tetraedros	5 min
N° de nodos :	221653	Tipo de análisis:	Estático
N° de elementos	133767	Tipo de carga:	Térmica
Realizado por:	Carlos Loor	Revisado por:	Ing. Santiago Cabrera
Resultados de simulación:			
			
<p>Análisis: El valor máximo de la dilatación térmica se presenta en la periferia de la boca del quemador que corresponde a $2,492 \times 10^{-3}$ mm, mientras que la mínima dilatación térmica se presenta en la región de las bases del quemador y corresponde al valor de $2,492 \times 10^{-4}$ mm lo cual es imperceptible, es decir que las bases no tienen afectación térmica durante el proceso de combustión en el quemador.</p>			

Tabla 27 Simulación de la temperatura del quemador cuando está en contacto con la llama



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Criterio:	Comportamiento térmico en el quemador Venturi		
Características de la simulación:	Carga:	Geometría:	Tiempo de procesamiento:
	72,9607 W	Tetraedros	5 min
N° de nodos:	27144	Tipo de análisis:	Térmico
N° de elementos	12650	Tipo de carga:	Calor
Realizado por:	Carlos Loor	Revisado por:	Ing. Santiago Cabrera
Resultados de simulación:			
			
<p>Análisis: El valor máximo de la temperatura del quemador al estar expuesto al calor de 72,9607 W es de 832,7 °K.</p>			

Tabla 28 Simulación de la llama del quemador – Presión dinámica



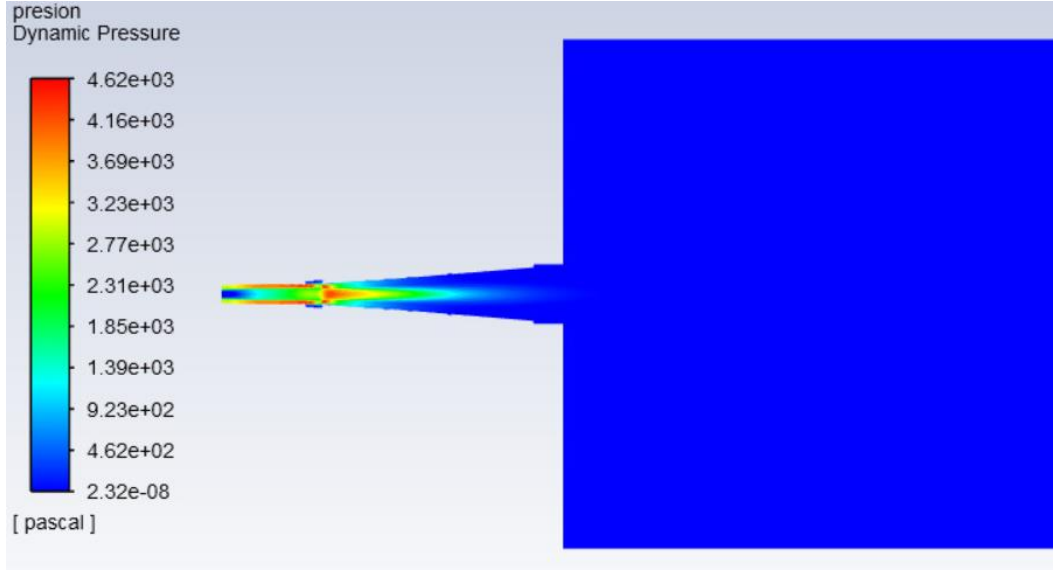
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Criterio:	Presión dinámica		
Características de la simulación:	Carga:	Geometría:	Tiempo de procesamiento:
	Reacción de combustión	Tetraedro	60 minutos
N° de nodos:	4615	Tipo de análisis:	CFD
N° de elementos:	21080	Tipo de elemento:	Solid185
Realizado por:	Carlos Loor	Revisado por:	Ing. Santiago Cabrera
Resultados de simulación:			
			
<p>Análisis: El valor máximo de la presión dinámica aplicando la reacción de combustión dio como resultado $4,62 \times 10^3$ Pa y la presión dinámica mínima bajo las mismas condiciones $4,62 \times 10^2$ Pa.</p>			

Tabla 29 Simulación de la llama del quemador – Calor de la reacción de combustión



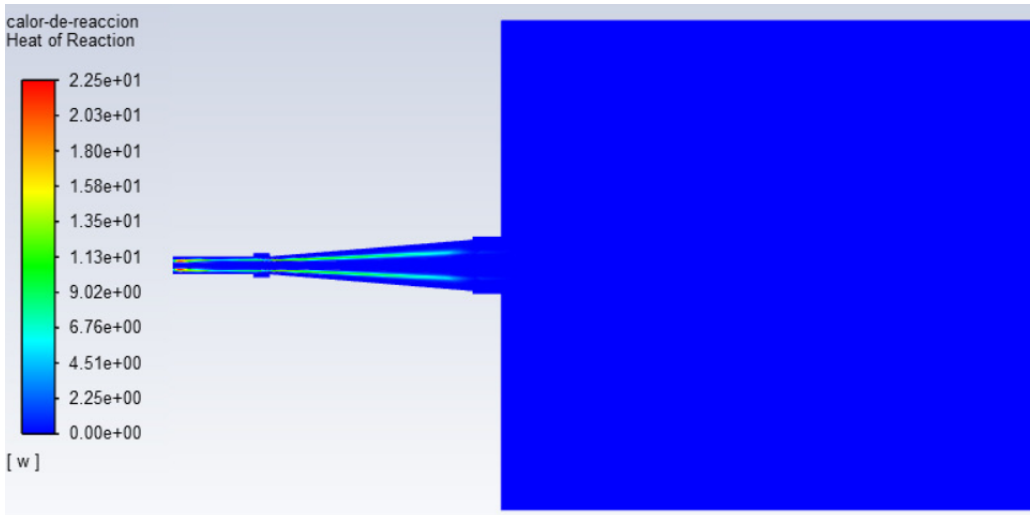
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Criterio:	Calor de la reacción de combustión		
Características de la simulación:	Carga:	Geometría:	Tiempo de procesamiento:
	Reacción de combustión	Tetraedro	60 minutos
N° de nodos:	4615	Tipo de análisis:	CFD
N° de elementos:	21080	Tipo de elemento:	Solid185
Realizado por:	Carlos Loor	Revisado por:	Ing. Santiago Cabrera
Resultados de simulación:			
			
<p>Análisis: El valor máximo del calor de la reacción de combustión dio como resultado $2,25 \times 10^1$ W y el calor de la reacción de combustión mínimo bajo las mismas condiciones es 2,25 W.</p>			

Tabla 30 Simulación de la llama del quemador – Entropía



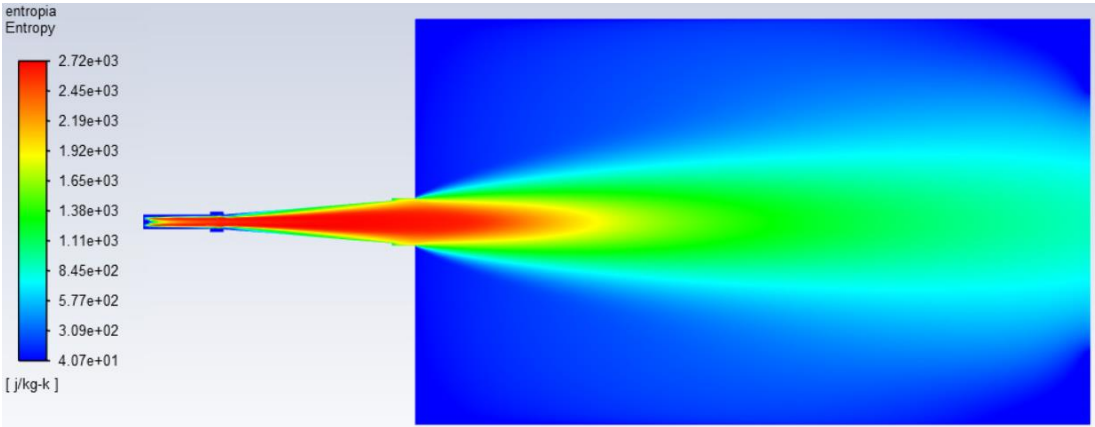
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Criterio:	Entropía		
Características de la simulación:	Carga:	Geometría:	Tiempo de procesamiento:
	Reacción de combustión	Tetraedro	60 minutos
N° de nodos:	4615	Tipo de análisis:	CFD
N° de elementos:	21080	Tipo de elemento:	Solid185
Realizado por:	Carlos Loor	Revisado por:	Ing. Santiago Cabrera
Resultados de simulación:			
 <p>The figure shows a 2D simulation of a flame jet. A color scale on the left indicates entropy values in J/kg-K, ranging from 4.07e+01 (blue) to 2.72e+03 (red). The flame jet originates from a burner on the left and extends to the right, with the highest entropy (red) concentrated in the core of the flame.</p>			
<p>Análisis: El valor máximo de la entropía resultante por la reacción de combustión dio como resultado $2,72 \times 10^3 \text{ J/kg } ^\circ\text{K}$ y la entropía resultante por la reacción de combustión mínima bajo las mismas condiciones es $4,07 \times 10^1 \text{ J/kg } ^\circ\text{K}$</p>			

Tabla 31 Simulación de la llama del quemador – Entalpía



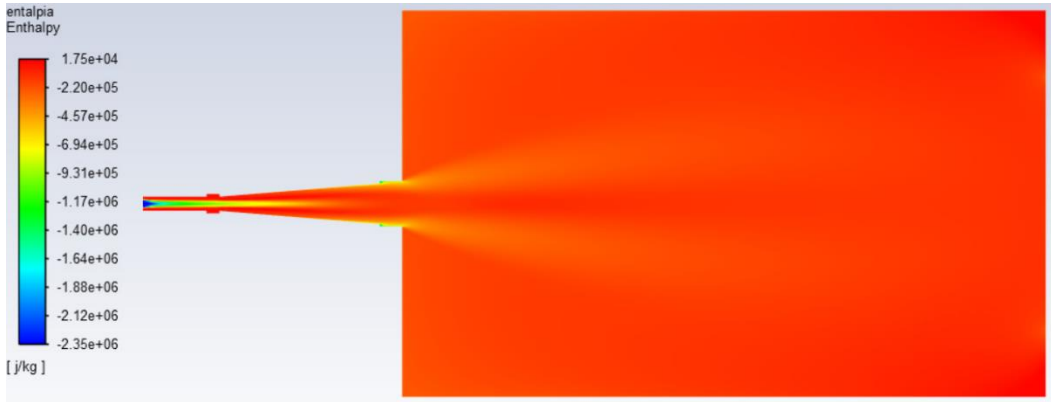
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Criterio:	Entalpía		
Características de la simulación:	Carga:	Geometría:	Tiempo de procesamiento:
	Reacción de combustión	Tetraedro	60 minutos
N° de nodos:	4615	Tipo de análisis:	CFD
N° de elementos:	21080	Tipo de elemento:	Solid185
Realizado por:	Carlos Loor	Revisado por:	Ing. Santiago Cabrera
Resultados de simulación:			
			
<p>Análisis: El valor máximo de la entalpía resultante por la reacción de combustión dio como resultado $1,75 \times 10^4 \text{ J/kg } ^\circ\text{K}$ y la entropía resultante por la reacción de combustión mínima bajo las mismas condiciones es $2,35 \times 10^6 \text{ J/kg } ^\circ\text{K}$</p>			

Tabla 32 Simulación de la llama del quemador – Temperatura de la llama



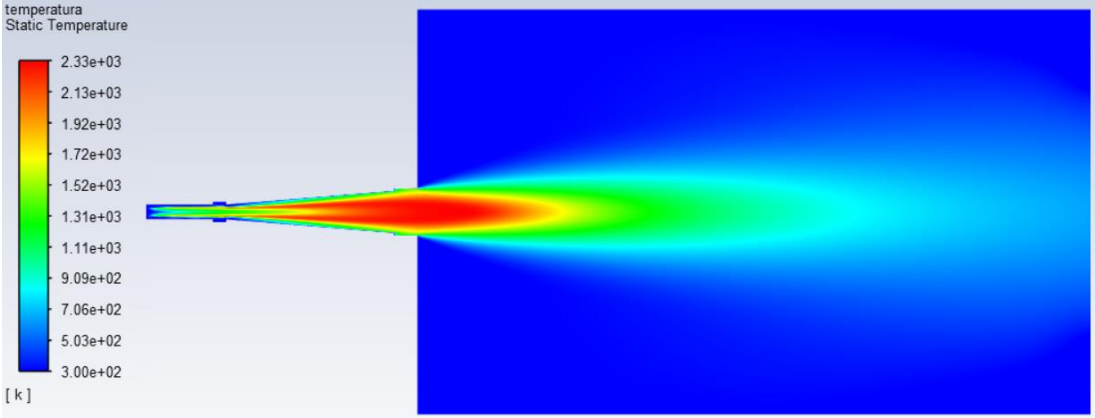


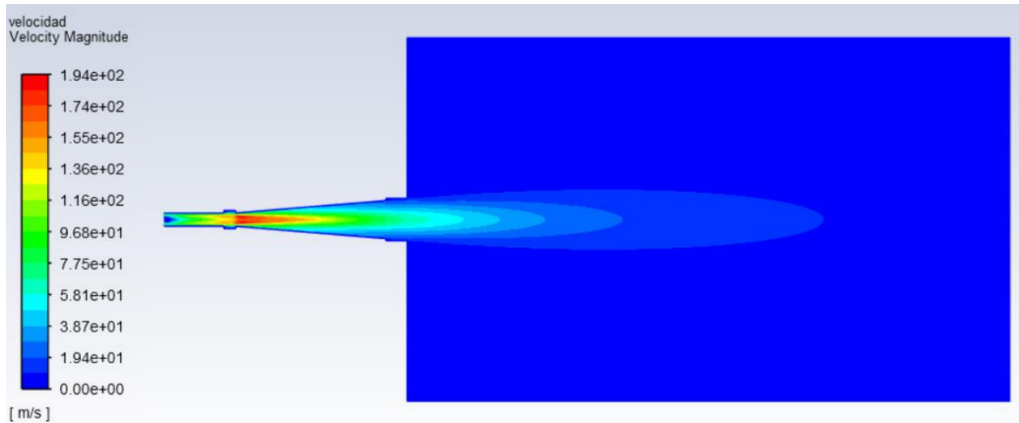
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Criterio:	Temperatura de la llama		
Características de la simulación:	Carga:	Geometría:	Tiempo de procesamiento:
	Reacción de combustión	Tetraedro	60 minutos
N° de nodos:	4615	Tipo de análisis:	CFD
N° de elementos:	21080	Tipo de elemento:	Solid185
Realizado por:	Carlos Loor	Revisado por:	Ing. Santiago Cabrera
Resultados de simulación:			
			
<p>Análisis: El valor máximo de la temperatura de la llama tomando en cuenta la reacción de combustión dio como resultado 2330 °K y la temperatura mínima por la reacción de combustión bajo las mismas condiciones es 503 °K. En la segunda gráfica se observa la longitud de la flama que aproximadamente corresponde a 1 m. aproximadamente.</p>			

Tabla 33 Simulación de la llama del quemador – Velocidad

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Criterio:	Velocidad		
Características de la simulación:	Carga:	Geometría:	Tiempo de procesamiento:
	Reacción de combustión	Tetraedro	60 minutos
N° de nodos:	4615	Tipo de análisis:	CFD
N° de elementos:	21080	Tipo de elemento:	Solid185
Realizado por:	Carlos Loor	Revisado por:	Ing. Santiago Cabrera
Resultados de simulación:			
			
<p>Análisis: El valor máximo de la velocidad dio como resultado 194 m/s, mientras que la velocidad mínima bajo las mismas condiciones es de 19,4 m/s.</p>			

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- ❖ Los parámetros de diseño iniciales para el funcionamiento del quemador fue una energía de entrada de 20 kW, temperatura de flama 500 °C; las dimensiones de la boca del quemador se consideraron como diámetro interior de 0,07 m y diámetro exterior de 0,08 m, una longitud de la boca del quemador de 0,035 m.
- ❖ Con la implementación del regulador de caudal de entrada de aire, con un área de captación de 657,59 mm², se garantiza el suministro del 25% de aire primario, el cual ayuda a tener una velocidad a la salida del tubo Venturi de 10,215 m/s, el regulador también ayudará a tener un exceso de aire del 30% para la combustión, cumpliendo las especificaciones del diseño previsto. El gas utilizado para el análisis es GLP, que corresponde a la combinación en su mayoría de propano y butano; este gas previo a la entrada del tubo tiene una regulación de presión a 2800 Pa.
- ❖ De acuerdo a los parámetros establecidos para el diseño, la energía útil entregada por el quemador es de 10,294 kW, esto nos brinda una eficiencia de 51,47%; asimismo existen pérdidas por convección y radiación de 72,96 W, pérdidas periféricas de 135,98 W, pérdidas frontales de 2,24 W, pérdidas por inquemados sólidos de 700 W y pérdidas no cuantificadas de 8,795 kW. Para el cálculo de las pérdidas periféricas y frontales en la llama, se consideró la emisividad del dióxido de carbono de 0,003, debido a que la presencia de ese gas en la superficie de la llama, provoca pérdidas por radiación; fuera de este gas, el calor mismo de la llama es empleado y cuantificado como energía útil. Se estimó que de acuerdo al ambiente en el que se tiene previsto poner en funcionamiento el quemador, existen condiciones que hace que la pérdida por convección sea natural, ya que no existen suficiente velocidad del aire, que haga que la transferencia de calor por convección sea forzada.

- ❖ Se diseñaron los componentes mecánicos y se evaluaron los que se consideraron críticos, estos fueron los soportes delantero y posterior del quemador, en los cálculos de diseño, se obtuvo un factor de diseño de 83,08 para el soporte posterior y de 33,32 para el soporte delantero; estos valores son, relativamente más altos de lo usual, lo cual se considera muy adecuados para las cargas previstas en el diseño garantizando así que cumpla su función.
- ❖ Para el diseño del quemador se establecieron parámetros específicos como el tipo de material a utilizarse para el Venturi y para los accesorios, puesto que es un elemento destinado para la fabricación nacional se consideraron catálogos locales para considerarlos en el diseño. Algunas de las consideraciones fundamentales para el diseño del quemador fueron la potencia de entrada de 20 kW, la presión atmosférica en función de la altura en la que funcionaría el quemador, esta corresponde a 0,4 PSI, relaciones estequiométricas del combustible utilizado que en este caso fue GLP, la geometría del Venturi para el cálculo de flujos máscicos y velocidades, y el peso del quemador para el cálculo de los soportes.
- ❖ En cuanto a los componentes mecánicos de control del quemador, corresponden a la válvula de bola que controla el flujo de GLP y el regulador de apertura y cierre de la entrada de aire primario. En el caso de la válvula, se seleccionó mediante catálogos una con prestaciones mecánicas de flujo de gas bajo la normativa API 6D de bronce de $\frac{3}{4}$ ”; mientras que para el caso del regulador se tomó en consideración un acople con roscado externo, estándar de $\frac{1}{2}$ ” que se une al resto de la línea de gas, en los planos se planteó el dimensionamiento de la para con rosca que recorre a través del acople con rosca externa.
- ❖ Para la simulación se optimizó el mallado para el análisis de dinámica de fluido computacional, el tamaño de elemento fue de 5 mm para optimizar el tiempo de cálculo en el computador, lo cual dio como resultado un número de nodos de 4615, mientras que la cantidad de elementos fue 21080; se utilizó un volumen de control para simular el ambiente en donde se desarrolla la flama a temperatura y presión normal. Las condiciones de frontera utilizadas en el modelo fueron la presión de entrada de GLP, y el flujo máscico de aire a la entrada cuyos valores fueron 0,4 Psi

y 0,02 kg/s respectivamente, la entrada de gas se sitúa en la geometría de la parte posterior del modelo planteado, en el conducto más pequeño, mientras que la entrada de aire es parte de la boca del quemador, es concéntrica con la entrada de gas y es ligeramente más amplia.

- ❖ En la simulación la longitud de llama verificada en los resultados fue de aproximadamente 1m, lo que se considera como un valor aproximado al calculado puesto que ese resultado fue de 1,2 m; la temperatura en la parte externa del quemador calculada fue de 498 °C, mientras que el valor obtenido de la simulación corresponde a 636 °C en la zona del exterior del Venturi. Otros parámetros obtenidos en la simulación fueron conductividad térmica, entalpía y entropía.
- ❖ Para el análisis estático y térmico se utilizó un modelo distinto al planteado para CFD, el cual se enfoca a detallar condiciones de frontera como apoyos, cargas y temperaturas, en el análisis térmico se utilizó el coeficiente de convección obtenido en los cálculos para obtener las temperaturas superficiales en las paredes de la boca del quemador y la dilatación térmica en sus elementos, por otro lado el análisis estático se enfocó en estudiar el comportamiento estructural del aparato bajo su propio peso y al mismo tiempo bajo la acción del calor.

4.2. Recomendaciones

- ❖ El material seleccionado para el diseño del quemador y sus accesorios debe cumplir con las características de resistencia a la corrosión debido a elevadas temperaturas y conductividad térmica que permita reducir las pérdidas por conducción.
- ❖ Construir un prototipo considerando varias especificaciones presentadas en esta investigación, como el dimensionamiento de los componentes del quemador.
- ❖ El análisis planteado en este estudio se base en el diseño de un solo modelo de quemador atmosférico tipo Venturi, se podría hacer un análisis de optimización del quemador planteando varios modelos con la finalidad de tomar en cuenta el gasto de GLP y así conocer cómo reducir el caudal del combustible para reducir también los costos involucrados en el uso del dispositivo.

- ❖ La entrada de aire es un parámetro sumamente importante en el diseño del quemador, para futuros estudios es recomendable realizar un modelo dinámico que permita variar el tamaño de la entrada de aire y conocer cómo influye en la eficiencia y rendimiento del quemador.
- ❖ Teniendo en cuenta el cuidado ambiental es adecuado diseñar quemadores que sean compatibles con el uso de bio-gas para ello es necesario estudiar los componentes químicos y reacciones que se presentan en este tipo de compuestos, para plantear modelos de simulación que permitan predecir su comportamiento mediante CFD.
- ❖ El número de iteraciones de cálculo en el ordenador debe ser el adecuado para llegar a una convergencia en el menor tiempo posible, para ello es necesario conocer e interpretar los gráficos que relacionan los resultados en función del tiempo hasta alcanzar un equilibrio o que los resultados se estabilicen, optimizando el consumo de recursos computacionales y el tiempo de análisis.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Amell Arrieta, J. M. García Posada, A. Quilindo Valencia y D. Henao Vallejo, «"Influencia de la altitud sobre la velocidad de deflagración del gas natural",» *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, vol. 32, n° diciembre, pp. 72-81, 2004.

- [2] A. G. Jarrín y J. L. B., «"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE QUEMADOR DE GLP DE BAJA POTENCIA PARA SECADO AGROINDUSTRIAL PARA USO EN LOS LABORATORIOS DE LA FICM",» Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2020.

- [3] M. C., C. M. y A. Amell, «Diseño y construcción de un quemador de aire inductor,» *Revista de la Facultad de Ingeniería*, vol. 24, pp. 58-72, 2001.

- [4] L. Cancho, A. Restrepo y O. M., «"Análisis numérico de la combustión en un quemador atmosferico tipo corona de aplicación domestica",» *Scientia Et Technica*, vol. 1, n° 35, 2007.

- [5] A. Amell, E. Gil y F. Cadavid, «"Emisiones de monóxido de carbono y metano en un quemador atmosférico de gas natural",» *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, vol. 18, n° Jun-Sept., 1999.

- [6] S. Hou, S. Chou y C. H., «"Parametric study of high-efficiency and low-emission gas burners",» *Advances in Materials Science and Engineering*, n° 154957, 2013.

- [7] B. Flanigan, «"An exploration in atmopsheric gas burners",» Masters Theses and Doctoral Dissertations, 2019.

- [8] A. Amell, E. Gil y F. Candavid, «"TECNOLOGÍA DE LA COMBUSTIÓN DE LOS GASES",» UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, Medellín, 1997.

- [9] S. Cano Pina, Instalador de Gas Categoría B. Conocimientos Técnicos., Lima, 2016.

- [10] A. Hernandez, «"QUEMADORES",» CONAIF- SEDIGAS, Madrid, 2008.
- [11] D. Ji, M. Zhang, T. W. Xu, L. K. y J. P., «"Experimental and numerical studies of the jet tube based on venturi effect",» *Vacuum*, vol. 111, pp. 25-31.
- [12] C. Barrera, V. Betoret, M. Castelló y É. Pérez, «"PRINCIPIOS BASICOS DE LA COMBUSTION",» Departamento de Tecnología de Alimentos, Madrid, 2001.
- [13] A. Sánchez, «"ANÁLISIS TÉRMICO PARA EVALUAR EFICIENCIA EN UN CALDERÍN PIROTUBULAR DE 2 BHP DEL LABORATORIO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA.",» Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2018.
- [14] Nicolae, N. Scarlat y F. Fahl, «Biogas : Developments and perspectives in Europe,» *Renewable Energy*, vol. 1, nº 1, pp. 457-472, 2018.
- [15] B. Hernandez y M. Martín, «Optimal Process Operation for Biogas Reforming to Methanol: Effects of Dry Reforming and Biogas Composition,» *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol. 55, nº 23, pp. 6677-6685, 2016.
- [16] P. Weiland, «Biogas production: Current state and perspectives,» *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 85, nº 4, pp. 849-860, 2016.
- [17] Y. Carranza y C. Romero, «"ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL GAS NATURAL CON RESPECTO A OTROS COMBUSTIBLES",» Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingenierías Químicas e Industrias Extractivas, México, 2013.
- [18] D. Venegas y C. Ayabaca, «"INSTALACION DE GAS LICUADO DE PETROLEO",» Academica Española, Madrid, 2017.
- [19] I. E. Brizuela y I. J. Loza, "Combustion", España: Departamento de Ingeniería Mecánica y Naval, 2003.

- [20] S. Akhtar, S. Pi y T. Shamim, «"Numerical investigation of flame structure and blowout limit for lean premixed turbulent methane-air flames under high pressure conditions",» *Applied Energy*, vol. 228, p. 21–32, 2018.
- [21] A. Andrés, «"TIPOS DE LLAMA",» *Grupo de Ciencia y Tecnología del Gas*, vol. II, n° 1, pp. 2-6, 2009.
- [22] Import Aceros, 2020. [En línea]. Available: <https://www.importaceros.com/producto/acero-inoxidable-316/>.
- [23] Importaceros, «Planchas de acero inoxidable,» 2020. [En línea]. Available: <http://importaceros.com/wp-content/uploads/2020/11/Catalogo-productos-Import-Aceros-2020.pdf>.
- [24] DIPAC, «Perfiles estructurales: ángulos doblados,» 2020. [En línea]. Available: <http://www.dipacmanta.com/perfiles/perfiles-estructurales/angulos-nacionales>.
- [25] DIPAC, «Perfiles laminados: Platinas,» 2020. [En línea]. Available: <http://www.dipacmanta.com/perfiles/perfiles-laminados/platinas>.
- [26] Importcom, «Bronces,» 2020. [En línea]. Available: https://www.importcom.com.ec/bronce_dulce.html.
- [27] DIPAC, «Perfiles laminados: Varilla cuadrada,» 2020. [En línea]. Available: <http://www.dipacmanta.com/varilla-cuadrada>.
- [28] DIPAC, «Tubo estructural redondo,» 2020. [En línea]. Available: <http://www.dipacmanta.com/tubos/tubos-estructurales/tubo-estructural-redondo-negro>.
- [29] Impofreico, «MP*FP Bushing,» 2020. [En línea]. Available: <http://www.impofreico.com/productos-internacionales-adaptadores.html>.
- [30] Impoferri, «Válvula de bola,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.imporferri.net/valvulas/v%C3%A1lvula-esf%C3%A9rica/>.

- [31] Impofreico, «B-3 Espiga X MPT,» 2020. [En línea]. Available: <http://www.impofreico.com/productos-internacionales-neplos.html>.
- [32] Arista Sur, «Presión atmosférica,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.aristasur.com/contenido/presion-atmosferica-y-variacion-de-oxigeno-en-altura>.
- [33] Y. Cengel y A. Ghajar, Transferencia de calor y masa: fundamentos y aplicaciones, Cuarta Edición: McGraw-Hill, 2011.
- [34] 100 Química, «Mechero Bunsen,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.100ciaquimica.net/labor/material/mechero.htm>.
- [35] G. Severino, Caracterización de la energía liberada por una llama de difusión al interior de un túnel a escala reducida, Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2012.
- [36] Y. Çengel y M. Boles, Termodinámica, Quinta Edición: McGraw-Hill, 2006.
- [37] P. Vicente Quiles, «"Balance energético en calderas",» Disponible en: <https://es.slideshare.net/fastbyron/balance-energetico-en-calderas>, Departamento de Ingeniería en Sistemas Industriales, Universidad Miguel Hernández.
- [38] F. Rojas, F. Jiménez y J. Soto, «"Análisis Teórico y Experimental de la Potencia, Eficiencia Térmica y Emisiones de Cocinas Industriales que usan Gas Licuado de Petróleo",» *Información tecnológica*, vol. 30, n° 4, pp. 301-310, 2019.
- [39] J. A. Álvarez Olivares, «"Diseño y evaluación experimental de mezcladores aire-gas combustible para un quemador de premezcla doméstico de 1.7 KW",» Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2018.

ANEXOS

Anexo 1. Propiedades de los metales sólidos.

868 APENDICE 1												
TABLA A-3												
Propiedades de metales sólidos												
Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), k(W/m · K)/C _p (J/kg · K)						
		ρ kg/m ³	C_p J/kg · K	k W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m ² /s	100	200	400	600	800	1 000	
Aluminio:												
Puro	933	2 702	903	237	97.1	302	237	240	231	218		
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2 770	875	177	73.0	482	798	949	1 033	1 146		
Aleación 195, fundido (4.5% Cu)		2 790	883	168	68.2	473	787	925	1 042	185		
Berilio:												
Puro	1 550	1 850	1 825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8	
						203	1 114	2 191	2 604	2 823	3 018	
Bismuto:												
Puro	545	9 780	122	7.86	6.59	112	120	127				
						190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85	
Boro:												
Puro	2 573	2 500	1 107	27.0	9.76	128	600	1 463	1 892	2 160	2 338	
Cadmio:												
Puro	594	8 650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7				
						198	222	242				
Cromo:												
Puro	2 118	7 160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4	
						192	384	484	542	581	616	
Cobalto:												
Puro	1 769	8 862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1	
						236	379	450	503	550	628	
Cobre:												
Puro	1 358	8 933	385	401	117	482	413	393	379	366	352	
						252	356	397	417	433	451	
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	1 293	8 800	420	52	14		42	52	59			
Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn)	1 104	8 780	355	54	17		41	65	74			
Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn)	1 188	8 530	380	110	33.9	75	95	137	149			
Constantán (55% Cu, 45% Ni)	1 493	8 920	384	23	6.71	17	19	360	395	425		
						237	362					
Germanio:												
Puro	1 211	5 360	322	59.9	34.7	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4	
						190	290	337	348	357	375	
Oro:												
Puro	1 336	19 300	129	317	127	327	323	311	298	284	270	
						109	124	131	135	140	145	
Iridio:												
Puro	2 720	22 500	130	147	50.3	172	153	144	138	132	126	
						90	122	133	138	144	153	
Hierro:												
Puro	1 810	7 870	447	80.2	23.1	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8	
						216	384	490	574	680	975	
Airmco (99.75% puro)		7 870	447	72.7	20.7	95.6	80.6	65.7	53.1	42.2	32.3	
						215	384	490	574	680	975	
Aceros al carbono:												
Simple al carbono (Mn \leq 1%, Si \leq 0.1%)		7 854	434	60.5	17.7			56.7	48.0	39.2	30.0	
								487	559	685	1 169	
AISI 1010		7 832	434	63.9	18.8			58.7	48.8	39.2	31.3	
								487	559	685	1 168	
Al carbono-silicio (Mn \leq 1%, 0.1% < Si \leq 0.6%)		7 817	446	51.9	14.9			49.8	44.0	37.4	29.3	
								501	582	699	971	

Anexo 2. Propiedades de gas ideal del nitrógeno.

TABLA A-18

Propiedades de gas ideal del nitrógeno, N₂

<i>T</i> K	\bar{h} kJ/kmol	\bar{u} kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol · K	<i>T</i> K	\bar{h} kJ/kmol	\bar{u} kJ/kmol	\bar{s}° 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 3. Propiedades de gas ideal del oxígeno.

TABLA A-19

Propiedades de gas ideal del oxígeno, O₂

T K	\bar{h} kJ/kmol	\bar{u} kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol · K	T K	\bar{h} kJ/kmol	\bar{u} kJ/kmol	\bar{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 4. Propiedades de gas ideal del dióxido de carbono.

TABLA A-20

Propiedades de gas ideal del dióxido de carbono, CO₂

T K	\bar{h} kJ/kmol	\bar{u} kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol · K	T K	\bar{h} kJ/kmol	\bar{u} kJ/kmol	\bar{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	30,135	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 5. Propiedades de gas ideal del hidrógeno.

TABLA A-22

Propiedades de gas ideal del hidrógeno, H₂

T K	\bar{h} kJ/kmol	\bar{u} kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol · K	T K	\bar{h} kJ/kmol	\bar{u} kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol · K
0	0	0	0	1440	42,808	30,835	177.410
260	7,370	5,209	126.636	1480	44,091	31,786	178.291
270	7,657	5,412	127.719	1520	45,384	32,746	179.153
280	7,945	5,617	128.765	1560	46,683	33,713	179.995
290	8,233	5,822	129.775	1600	47,990	34,687	180.820
298	8,468	5,989	130.574	1640	49,303	35,668	181.632
300	8,522	6,027	130.754	1680	50,622	36,654	182.428
320	9,100	6,440	132.621	1720	51,947	37,646	183.208
340	9,680	6,853	134.378	1760	53,279	38,645	183.973
360	10,262	7,268	136.039	1800	54,618	39,652	184.724
380	10,843	7,684	137.612	1840	55,962	40,663	185.463
400	11,426	8,100	139.106	1880	57,311	41,680	186.190
420	12,010	8,518	140.529	1920	58,668	42,705	186.904
440	12,594	8,936	141.888	1960	60,031	43,735	187.607
460	13,179	9,355	143.187	2000	61,400	44,771	188.297
480	13,764	9,773	144.432	2050	63,119	46,074	189.148
500	14,350	10,193	145.628	2100	64,847	47,386	189.979
520	14,935	10,611	146.775	2150	66,584	48,708	190.796
560	16,107	11,451	148.945	2200	68,328	50,037	191.598
600	17,280	12,291	150.968	2250	70,080	51,373	192.385
640	18,453	13,133	152.863	2300	71,839	52,716	193.159
680	19,630	13,976	154.645	2350	73,608	54,069	193.921
720	20,807	14,821	156.328	2400	75,383	55,429	194.669
760	21,988	15,669	157.923	2450	77,168	56,798	195.403
800	23,171	16,520	159.440	2500	78,960	58,175	196.125
840	24,359	17,375	160.891	2550	80,755	59,554	196.837
880	25,551	18,235	162.277	2600	82,558	60,941	197.539
920	26,747	19,098	163.607	2650	84,368	62,335	198.229
960	27,948	19,966	164.884	2700	86,186	63,737	198.907
1000	29,154	20,839	166.114	2750	88,008	65,144	199.575
1040	30,364	21,717	167.300	2800	89,838	66,558	200.234
1080	31,580	22,601	168.449	2850	91,671	67,976	200.885
1120	32,802	23,490	169.560	2900	93,512	69,401	201.527
1160	34,028	24,384	170.636	2950	95,358	70,831	202.157
1200	35,262	25,284	171.682	3000	97,211	72,268	202.778
1240	36,502	26,192	172.698	3050	99,065	73,707	203.391
1280	37,749	27,106	173.687	3100	100,926	75,152	203.995
1320	39,002	28,027	174.652	3150	102,793	76,604	204.592
1360	40,263	28,955	175.593	3200	104,667	78,061	205.181
1400	41,530	29,889	176.510	3250	106,545	79,523	205.765

Anexo 6. Propiedades de gas ideal del vapor de agua.

TABLA A-23

Propiedades de gas ideal del vapor de agua, H₂O

T K	\bar{h} kJ/kmol	\bar{u} kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol · K	T K	\bar{h} kJ/kmol	\bar{u} kJ/kmol	\bar{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 7. Potencia nominal (Cátalogo Hornos industriales Herlo - Herlogas)

QUEMADORES HERLO

CATACTERÍSTICAS TÉCNICAS

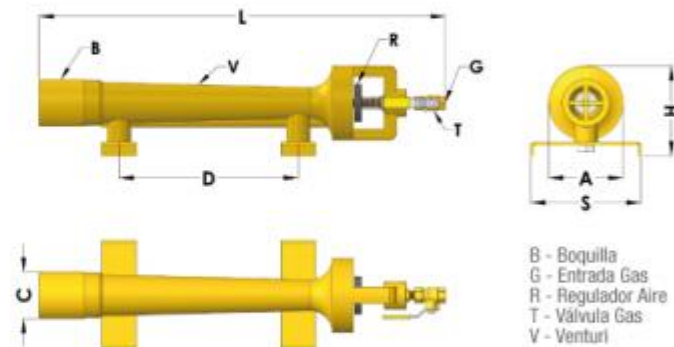
- Tipo de Quemador: Atmosférico
- Presión máxima de alimentación: 2,5 Bar
- Combustibles: Gas Natural o GLP
- Encendido manual
- Construcción robusta

EQUIPAMIENTO

- Válvula manual
- Soportes para su instalación (plegables)

REQUISITOS DE LA INSTALACIÓN

- Alimentación de Gas de 0,5 a 2 Bar



MODELO QUEMADOR	CUERPO HERLO	POTENCIA MÁXIMA		CONSUMOS MÁXIMOS GAS Ø inyector				PRESIONES TRABAJO			
		Kw	Kcal/h	NATURAL		PROPANO		MÍNIMA mbar	MÁXIMA mbar	A mm.	C mm.
				m ³ /h	Ømm.	Kg/h	Ømm.				
QH-20	06	20	17.200	2,10	1,2	1,56	1,0	100	2.000	45	33
QH-40	10	40	34.400	4,21	1,5	3,12	1,2	100	2.000	58	40
QH-80	15	80	68.800	8,42	2,25	6,25	1,75	100	2.000	85	55
QH-160	20	160	137.600	16,84	3,0	12,50	2,5	100	2.000	110	68
QH-320	25	320	275.200	33,68	4,25	25,0	3,25	100	2.000	140	82

Anexo 8. Propiedades de la atmósfera a gran altitud a 2500 m.

TABLA A-17

Propiedades de la atmósfera a gran altitud

Altitud, z, m	Temperatura, T, °C	Presión, P, kPa	Gravedad, g, m/s ²	Velocidad del sonido, c, m/s	Densidad, ρ , kg/m ³	Viscosidad, μ , kg/m · s	Conductividad térmica, k, 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
1 000	8.50	89.88	9.804	336.4	1.112	1.758×10^{-5}	0.0249
1 200	7.20	87.72	9.803	335.7	1.090	1.752×10^{-5}	0.0248
1 400	5.90	85.60	9.802	334.9	1.069	1.745×10^{-5}	0.0247
1 600	4.60	83.53	9.802	334.1	1.048	1.739×10^{-5}	0.0245
1 800	3.30	81.49	9.801	333.3	1.027	1.732×10^{-5}	0.0244
2 000	2.00	79.50	9.800	332.5	1.007	1.726×10^{-5}	0.0243
2 200	0.70	77.55	9.800	331.7	0.987	1.720×10^{-5}	0.0242
2 400	-0.59	75.63	9.799	331.0	0.967	1.713×10^{-5}	0.0241
2 600	-1.89	73.76	9.799	330.2	0.947	1.707×10^{-5}	0.0240
2 800	-3.19	71.92	9.798	329.4	0.928	1.700×10^{-5}	0.0239
3 000	-4.49	70.12	9.797	328.6	0.909	1.694×10^{-5}	0.0238
3 200	-5.79	68.36	9.797	327.8	0.891	1.687×10^{-5}	0.0237
3 400	-7.09	66.63	9.796	327.0	0.872	1.681×10^{-5}	0.0236
3 600	-8.39	64.94	9.796	326.2	0.854	1.674×10^{-5}	0.0235
3 800	-9.69	63.28	9.795	325.4	0.837	1.668×10^{-5}	0.0234
4 000	-10.98	61.66	9.794	324.6	0.819	1.661×10^{-5}	0.0233
4 200	-12.3	60.07	9.794	323.8	0.802	1.655×10^{-5}	0.0232
4 400	-13.6	58.52	9.793	323.0	0.785	1.648×10^{-5}	0.0231
4 600	-14.9	57.00	9.793	322.2	0.769	1.642×10^{-5}	0.0230
4 800	-16.2	55.51	9.792	321.4	0.752	1.635×10^{-5}	0.0229
5 000	-17.5	54.05	9.791	320.5	0.736	1.628×10^{-5}	0.0228
5 200	-18.8	52.62	9.791	319.7	0.721	1.622×10^{-5}	0.0227
5 400	-20.1	51.23	9.790	318.9	0.705	1.615×10^{-5}	0.0226
5 600	-21.4	49.86	9.789	318.1	0.690	1.608×10^{-5}	0.0224
5 800	-22.7	48.52	9.785	317.3	0.675	1.602×10^{-5}	0.0223
6 000	-24.0	47.22	9.788	316.5	0.660	1.595×10^{-5}	0.0222
6 200	-25.3	45.94	9.788	315.6	0.646	1.588×10^{-5}	0.0221
6 400	-26.6	44.69	9.787	314.8	0.631	1.582×10^{-5}	0.0220
6 600	-27.9	43.47	9.786	314.0	0.617	1.575×10^{-5}	0.0219
6 800	-29.2	42.27	9.785	313.1	0.604	1.568×10^{-5}	0.0218
7 000	-30.5	41.11	9.785	312.3	0.590	1.561×10^{-5}	0.0217
8 000	-36.9	35.65	9.782	308.1	0.526	1.527×10^{-5}	0.0212
9 000	-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

Fuente: U. S. Standard Atmosphere Supplements, U. S. Government Printing Office, 1966. Basadas en las condiciones medias redondeadas al año a 45° de latitud y varían con el momento del año y los patrones meteorológicos. Las condiciones al nivel del mar ($z = 0$) se toman como $P = 101.325$ kPa, $T = 15^\circ\text{C}$, $\rho = 1.2250$ kg/m³, $g = 9.80665$ m/s².

Anexo 9. Pérdidas por Inquemados Sólidos

ANÁLISIS DE LA COMBUSTIÓN

Pérdidas por combustión incompleta

PÉRDIDAS POR INQUEMADOS SÓLIDOS P_{is}

Inquemados sólidos producen opacidad de los gases de combustión. Medida mediante *Índice de Bacharrach*.

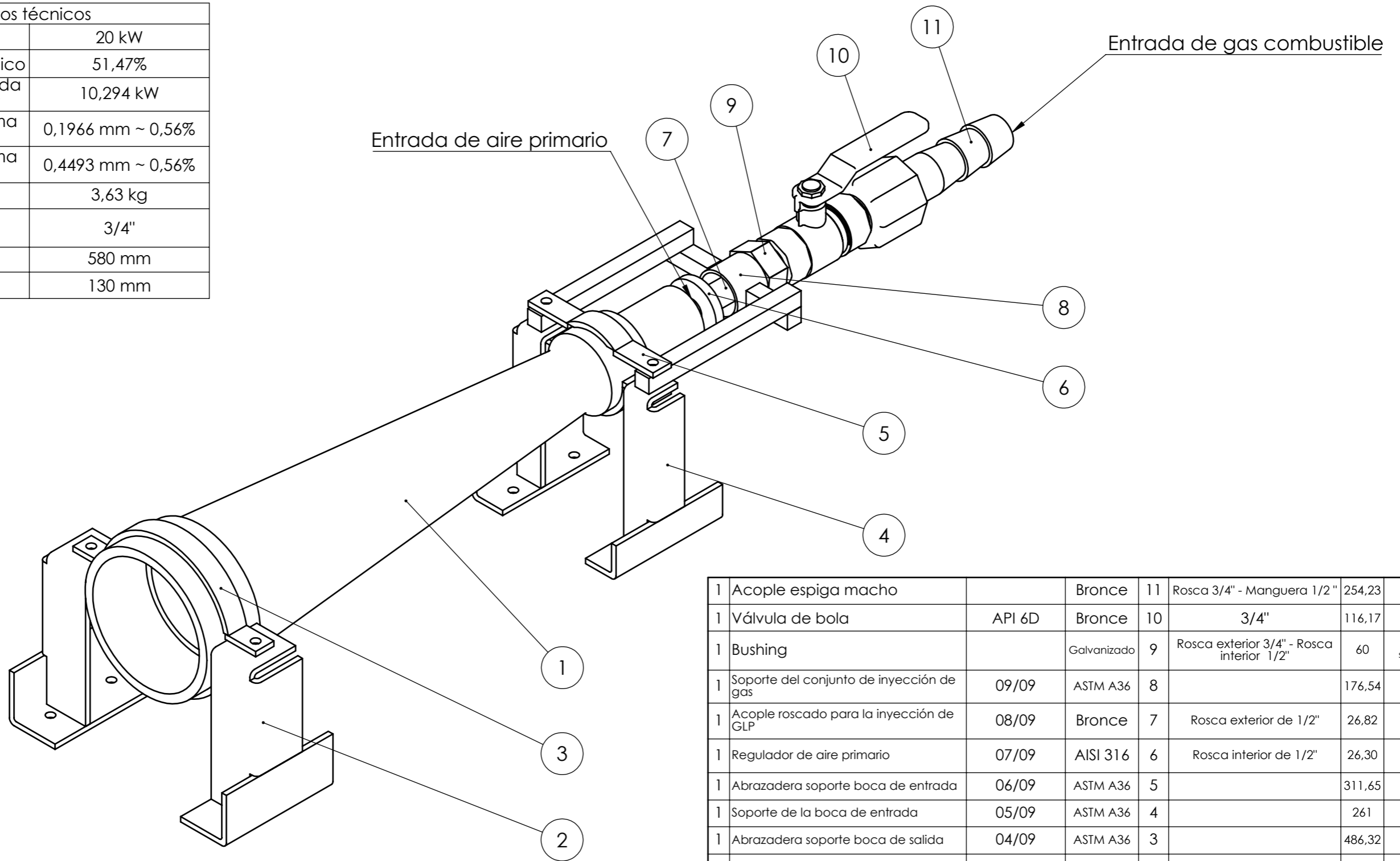
Bacharrach	Pérdidas (% PCI)	Características de la combustión
1	0,8	Excelente. Ausencia de Hollín
2	1,6	Buena. Hollín poco perjudicial
3	2,4	Mediana. Cierta cantidad de hollín. Limpieza anual
4	3,5	Pobre. Humo visible. Moderado a rápido ensuciamiento
5	4,6	Muy pobre. Ensuciamiento seguro. Varias limpiezas al año
6	5,7	Pobrísimas

Relación P_{is} (%) y la lectura de la opacidad OP (%)

$$P_{is}(\%) = \frac{21}{21 - O_2} \times \left(\frac{OP(\%)}{65} \right) \% \text{ del calor total}$$

Se producen principalmente en combustibles sólidos y en menor medida en combustibles líquidos y pueden ser entre el 2 y el 3 % del total.

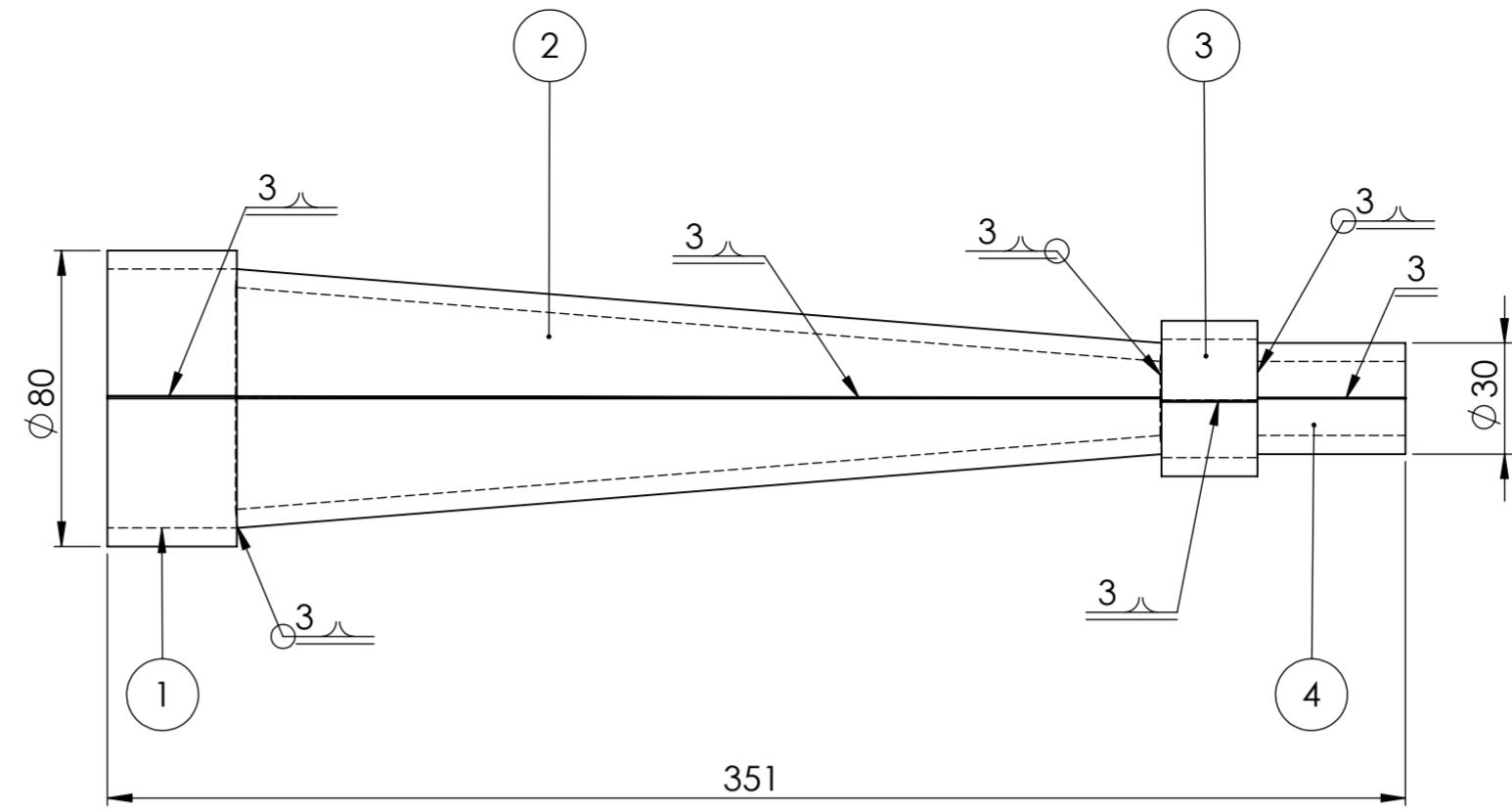
Datos técnicos	
Potencia	20 kW
Rendimiento térmico	51,47%
Potencia a la salida del quemador	10,294 kW
Dilatación máxima lineal	0,1966 mm ~ 0,56%
Dilatación máxima diametral	0,4493 mm ~ 0,56%
Peso total	3,63 kg
Diámetro de conexiones	3/4"
Longitud total	580 mm
Altura total	130 mm



1	Acople espiga macho		Bronce	11	Rosca 3/4" - Manguera 1/2"	254,23	
1	Válvula de bola	API 6D	Bronce	10	3/4"	116,17	
1	Bushing		Galvanizado	9	Rosca exterior 3/4" - Rosca interior 1/2"	60	Unión mediante soldadura al soporte
1	Soporte del conjunto de inyección de gas	09/09	ASTM A36	8		176,54	
1	Acople roscado para la inyección de GLP	08/09	Bronce	7	Rosca exterior de 1/2"	26,82	
1	Regulador de aire primario	07/09	AISI 316	6	Rosca interior de 1/2"	26,30	
1	Abrazadera soporte boca de entrada	06/09	ASTM A36	5		311,65	Fabricación
1	Soporte de la boca de entrada	05/09	ASTM A36	4		261	
1	Abrazadera soporte boca de salida	04/09	ASTM A36	3		486,32	Fabricación
1	Soporte de la boca de salida	03/09	ASTM A36	2		424,42	
1	Venturi	02/09	AISI 316	1		2190,39	
Nº de pieza	Denominación	Nº de Norma/ Dibujo	Material	Nº de orden	Nº del Modelo / Semiproducto	Peso g	Observaciones

Tolerancia:		Peso:		Material:			
±0.3		3633,12 g		AISI 316			
Fecha		Nombre		Denominación:			Escala:
Dibujó: 23/10/2020		Carlos Loor		Quemador atmosférico tipo Venturi			1:2
Revisó:		Ing. Santiago Cabrera		No. de lámina:			Registro:
Aprobó:		Ing. Santiago Cabrera		01 de 09			⊕ ⊞
U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA				(Sustitución)			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

N.º DE ELEMENTO	TAMAÑO DE SOLDADURA	SÍMBOLO	LONGITUD DE SOLDADURA	MATERIAL DE SOLDADURA	CANTIDAD
1	0.003	∩	40	ER 308 L - CO2	1
2	0.003	∩	219.3	ER 308 L - CO2	1
3	0.003	∩	250.8	ER 308 L - CO2	1
4	0.003	∩	26	ER 308 L - CO2	1
5	0.003	∩	100.25	ER 308 L - CO2	1
6	0.003	∩	35	ER 308 L - CO2	1
7	0.003	∩	93.99	ER 308 L - CO2	1

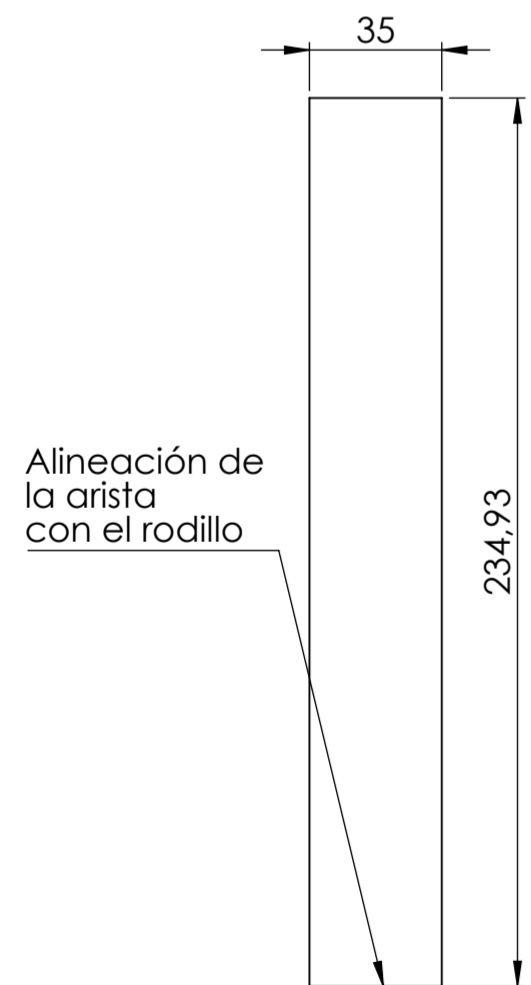
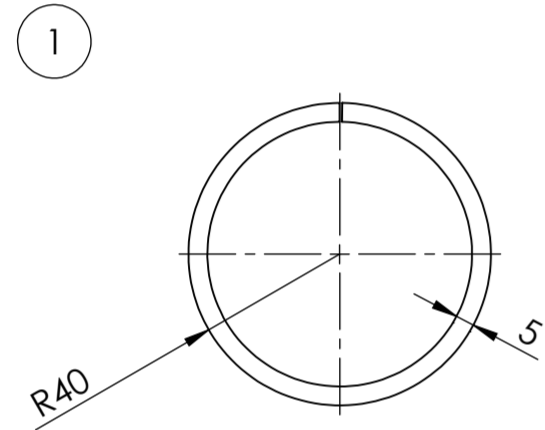


Eliminación de rebabas en los cordones de soldadura del proceso GMAW mediante amoladora.

N8 Pulido

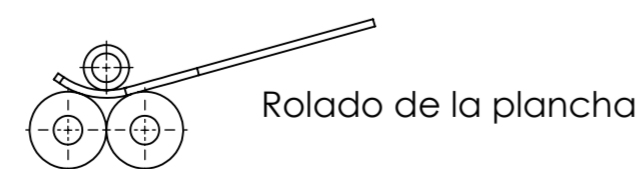
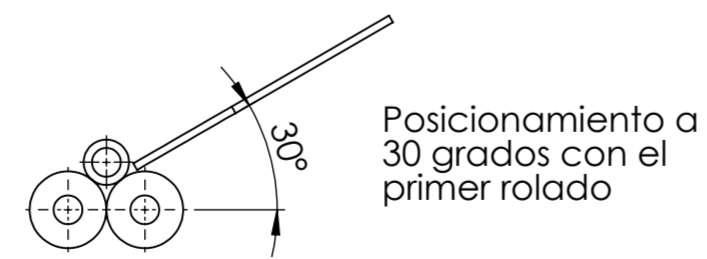
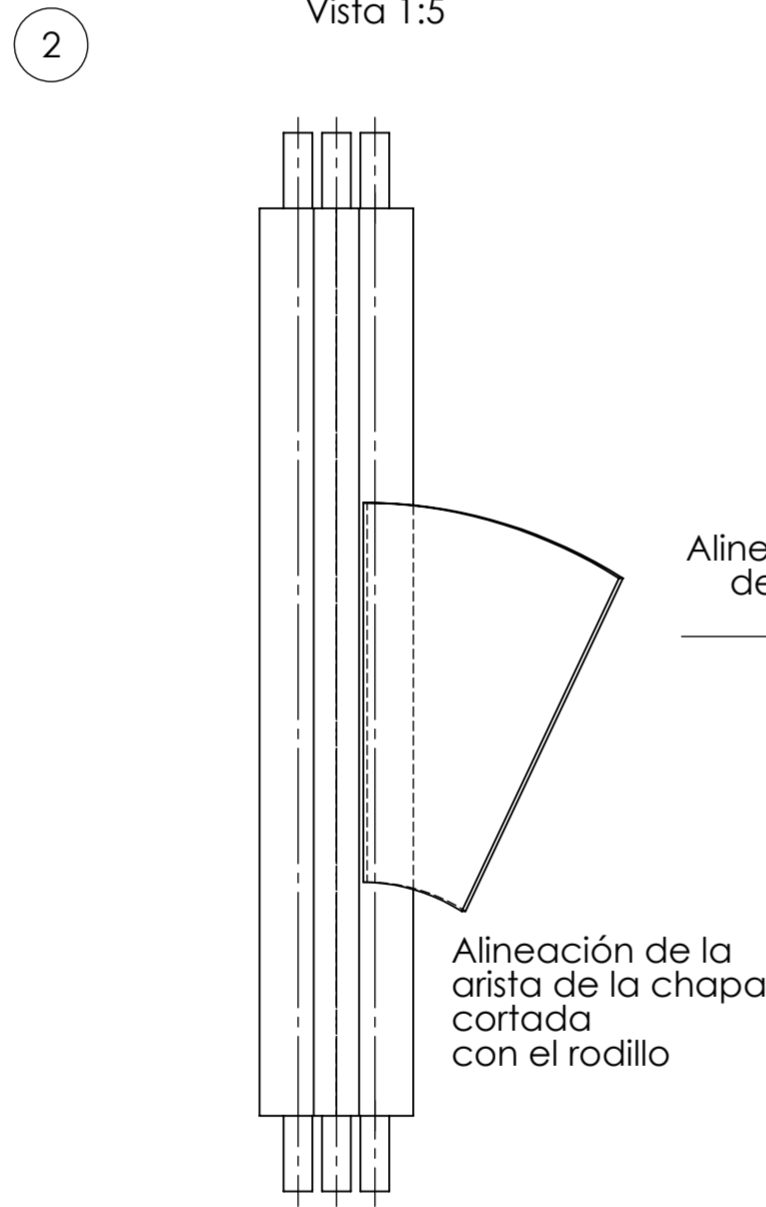
Proceso de fabricación:

- Corte con plasma de la chapa de acero AISI 316
- Pulido de aristas cortantes (eliminación de rebabas)
- Rolado de los cortes en la alineación especificada
- Unión mediante soldadura GMAW
- Eliminación de rebabas de soldadura mediante amoladora

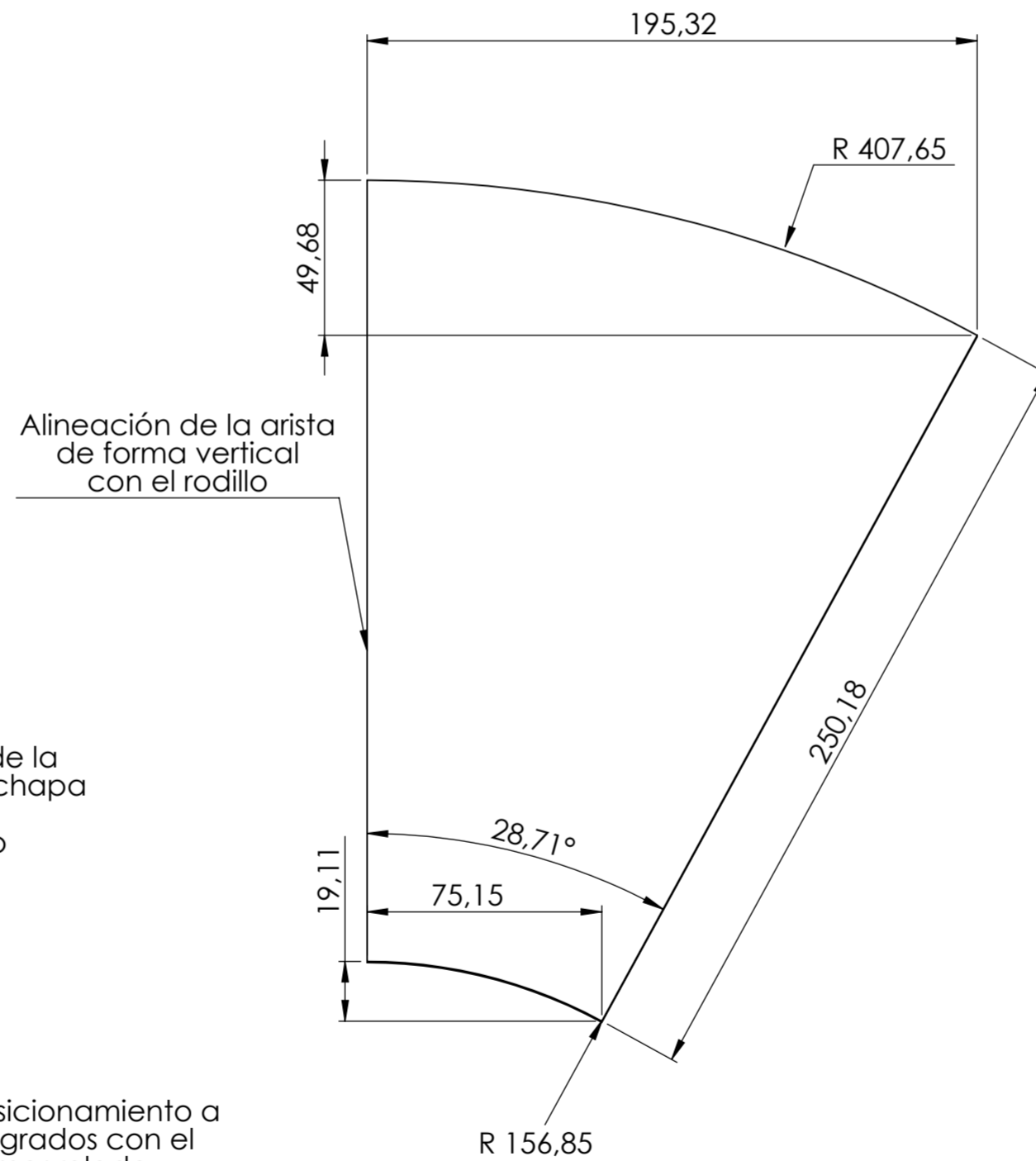


Vista de chapa AISI 316 desplegada
Proceso de rolado 360°

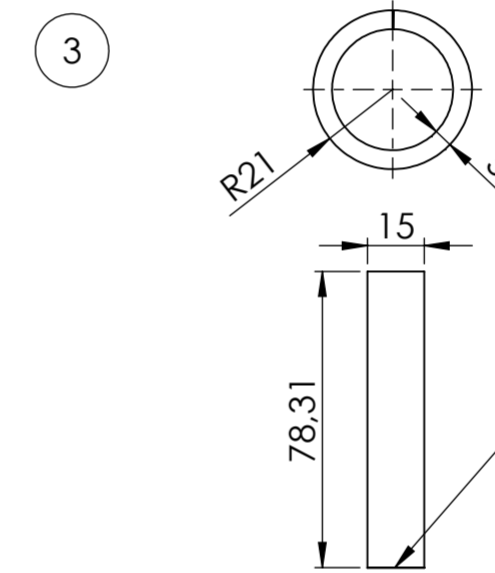
Proceso de rolado
Vista 1:5



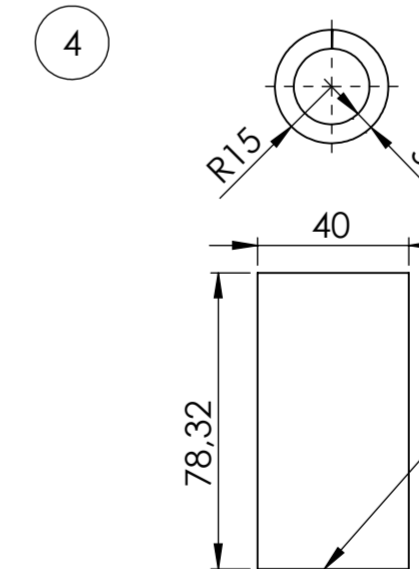
Retirar manualmente la plancha rolada y repetir el proceso alineando la arista verticalmente



Chapa de acero AISI 316 vista superior
Corte con plasma y eliminación de rebabas



Vista de chapa AISI 316 desplegada
Proceso de rolado 360°



Vista de chapa AISI 316 desplegada
Proceso de rolado 360°

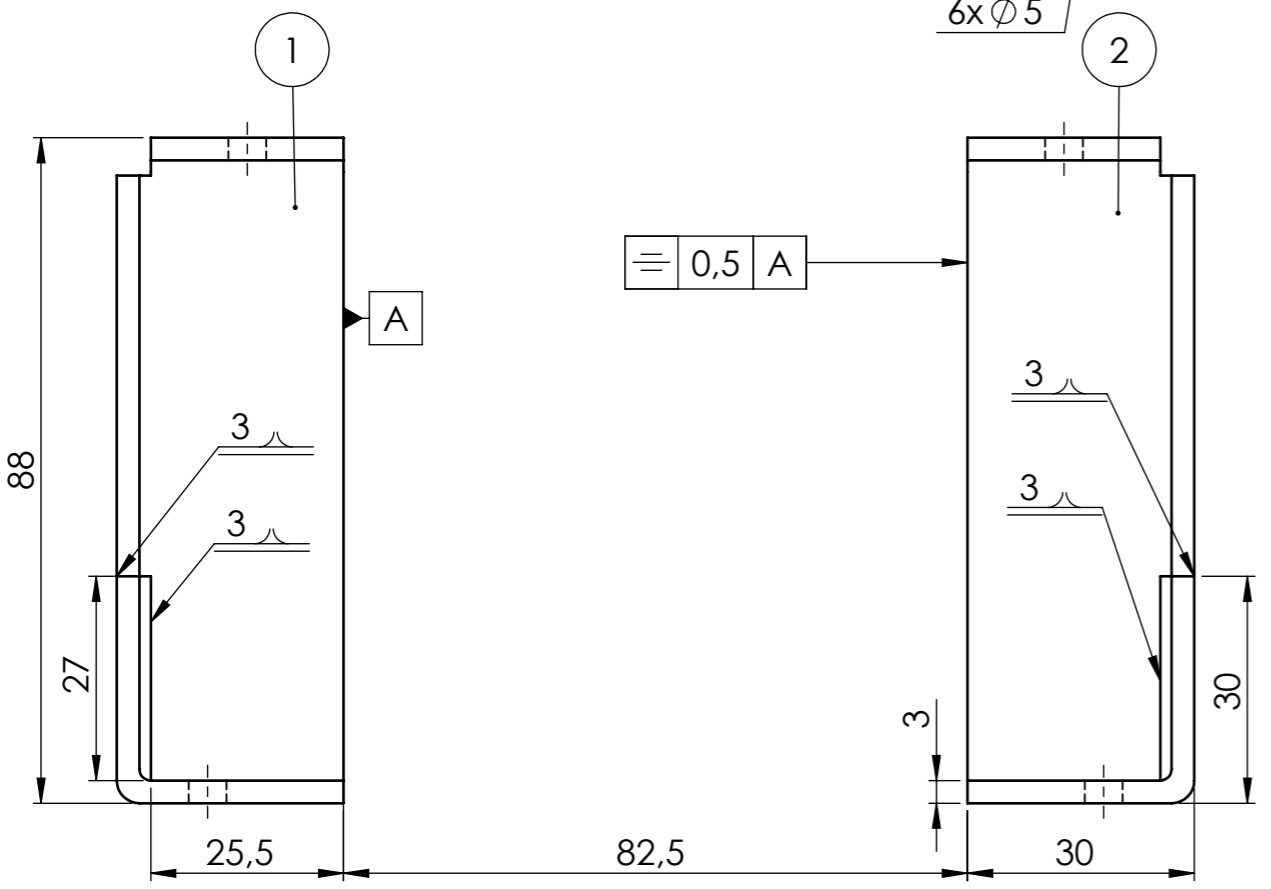
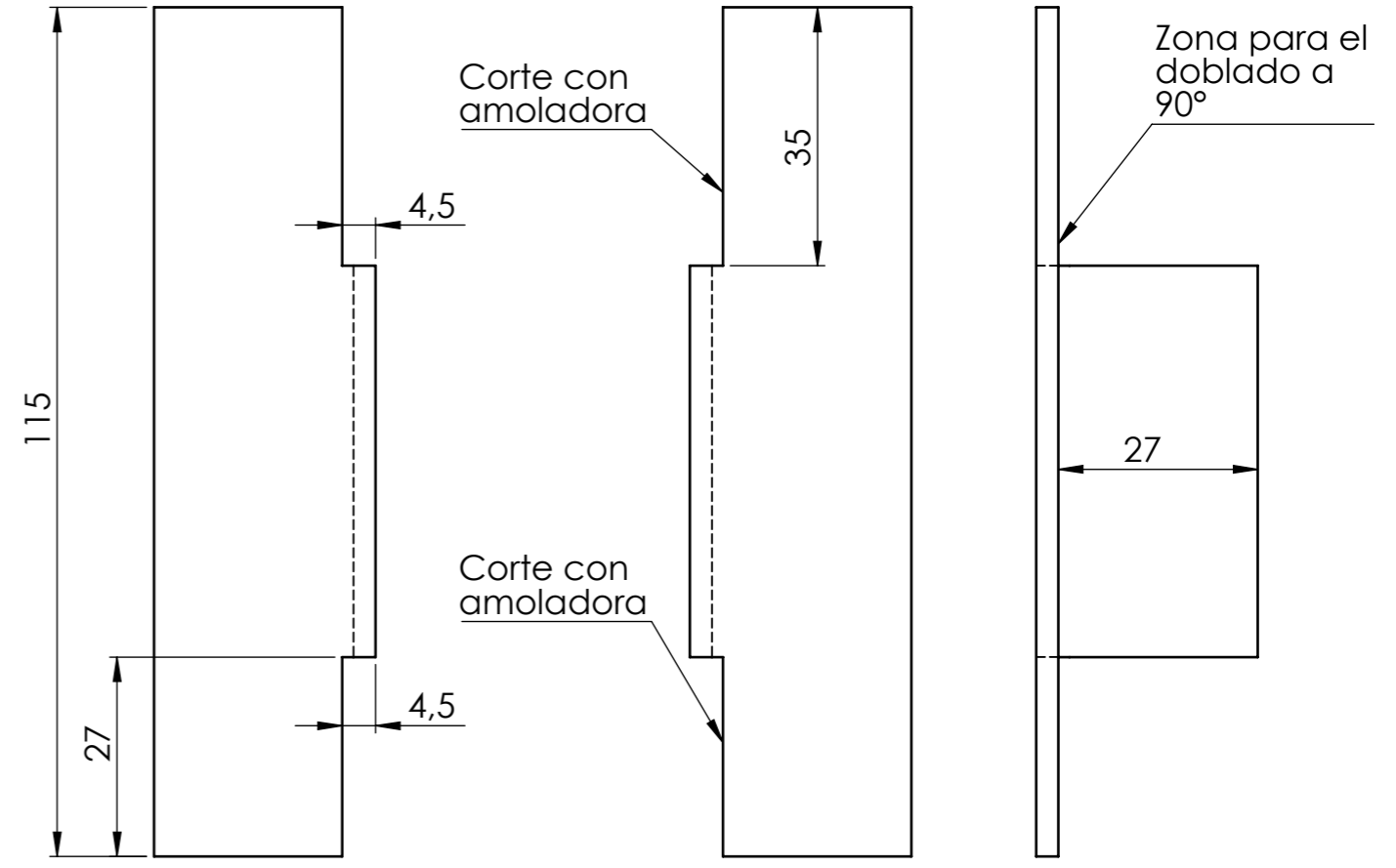
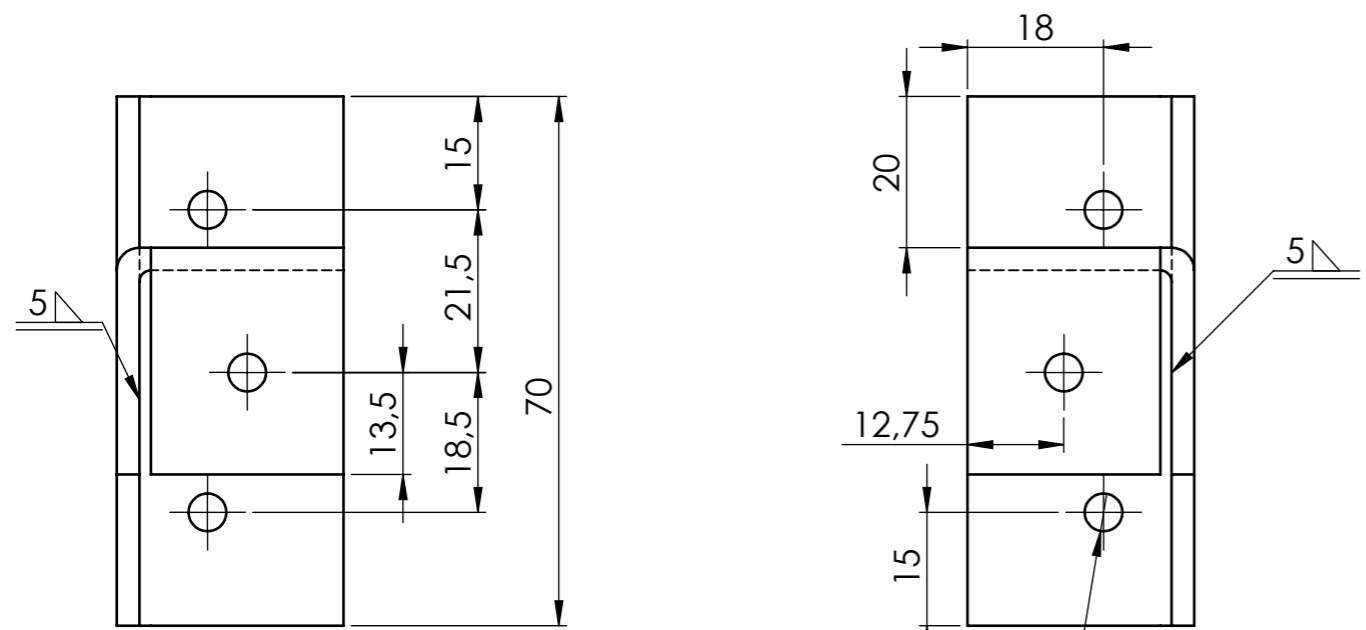
Tolerancia:	Peso:	Material:	AISI 316
Fecha:	Nombre:	Denominación:	Venturi
Dibujó:	14/11/2020		
Revisó:	5/12/2015		
Aprobó:	5/12/2015		
U.T.A.		No. de Lámina:	02 de 09
INGENIERÍA MECÁNICA		[Sustitución]	
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:



N.º DE ELEMENTO	TAMAÑO DE SOLDADURA	SÍMBOLO	LONGITUD DE SOLDADURA	MATERIAL DE SOLDADURA	CANTIDAD
1	3		27	E - 6011	4
2	5		25.5	E - 6011	2

Proceso:
 - Corte de los ángulos utilizando amoladora
 - Doblado a 90° en la zona cortada de 35 mm
 - Soldadura SMAW en las regiones mostradas
 - Taladrados M5
 - Pintura anticorrosiva aplicada con pistola

Pulido

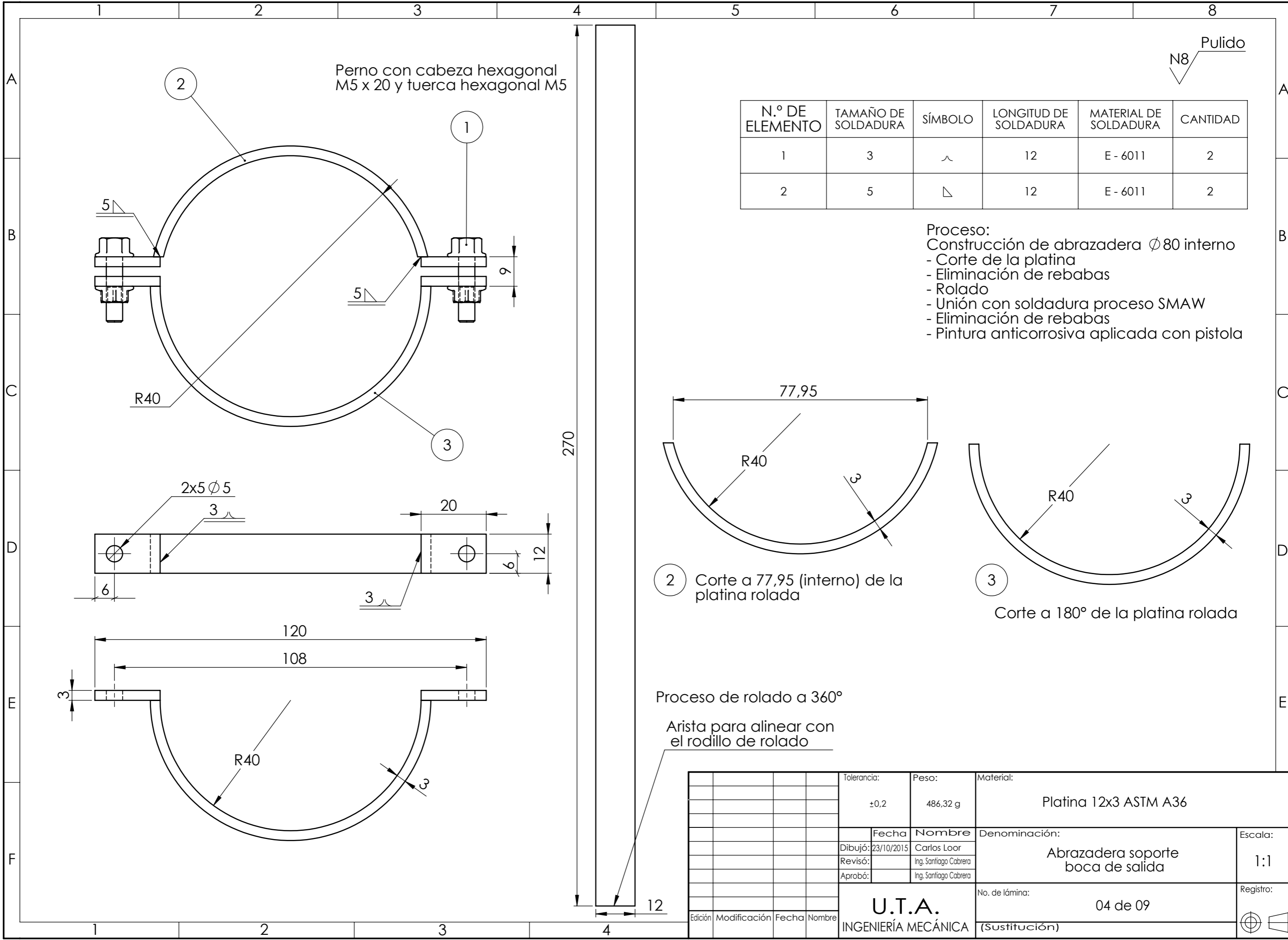


$\pm 0,5$ A

1 Ángulo vertical izquierdo 2 Ángulo vertical derecho

Elementos con las mismas operaciones de corte, doblado, soldadura y taladrado; cambia la orientación del ángulo.

Tolerancia:		Peso:		Material:	
±0,1		424,42 g		Ángulo ASTM A36	
Fecha		Nombre		Denominación:	
Dibujó: 23/10/2020		Carlos Loor		Soporte boca de salida	
Revisó:		Ing. Santiago Cabrera		Escala:	
Aprobó:		Ing. Santiago Cabrera		1:1	
U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA				No. de lámina:	
				03 de 09	
Edición		Modificación		Registro:	
				(Sustitución)	

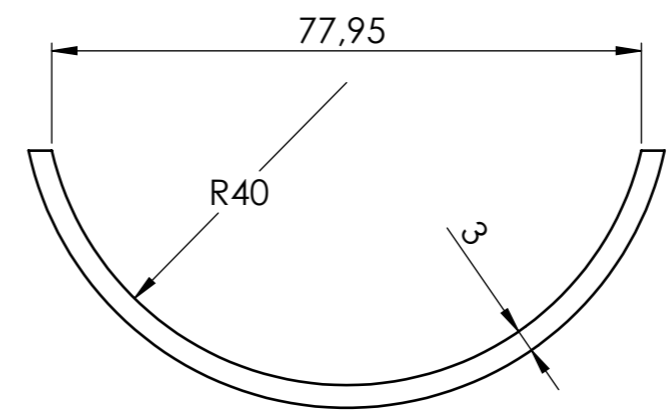


Perno con cabeza hexagonal M5 x 20 y tuerca hexagonal M5

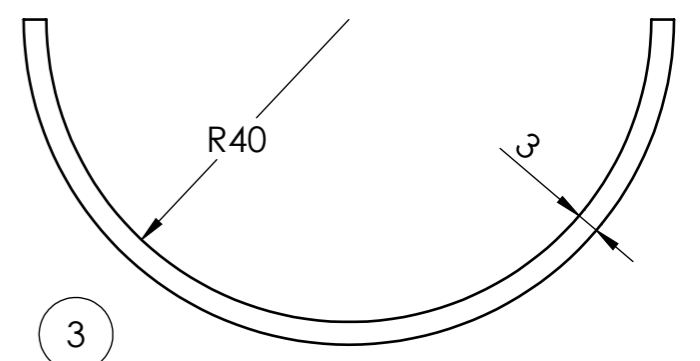
N8 Pulido

N.º DE ELEMENTO	TAMAÑO DE SOLDADURA	SÍMBOLO	LONGITUD DE SOLDADURA	MATERIAL DE SOLDADURA	CANTIDAD
1	3	∩	12	E - 6011	2
2	5	△	12	E - 6011	2

Proceso:
 Construcción de abrazadera $\phi 80$ interno
 - Corte de la platina
 - Eliminación de rebabas
 - Rolado
 - Unión con soldadura proceso SMAW
 - Eliminación de rebabas
 - Pintura anticorrosiva aplicada con pistola



2 Corte a 77,95 (interno) de la platina rolada



3 Corte a 180° de la platina rolada

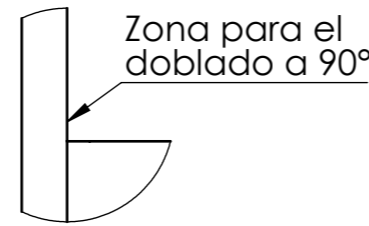
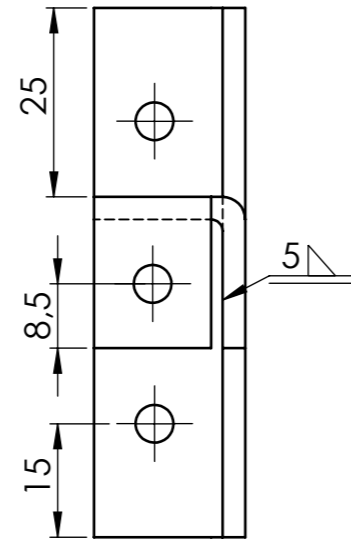
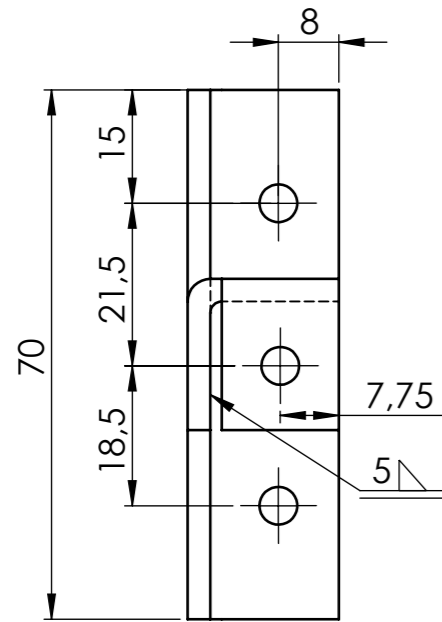
Proceso de rolado a 360°
 Arista para alinear con el rodillo de rolado

				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				±0,2	486,32 g	Platina 12x3 ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dibujó: 23/10/2015	Carlos Loor	Abrazadera soporte boca de salida	
				Revisó:	Ing. Santiago Cabrera	Escala:	
				Aprobó:	Ing. Santiago Cabrera	1:1	
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		No. de lámina:	Registro:
						04 de 09	(Sustitución)
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

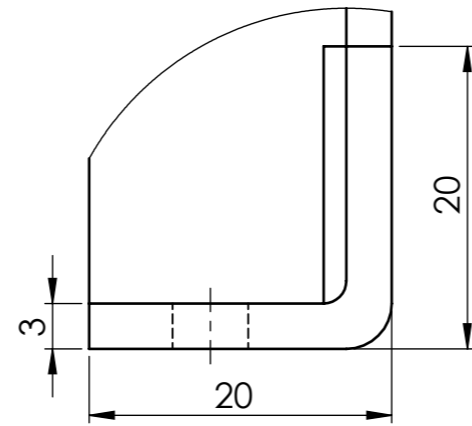
N.º DE ELEMENTO	TAMAÑO DE SOLDADURA	SÍMBOLO	LONGITUD DE SOLDADURA	MATERIAL DE SOLDADURA	CANTIDAD
1	3.00	∩	17	E- 6011	4
2	5	△	15.5	E - 6011	2

N8 Pulido

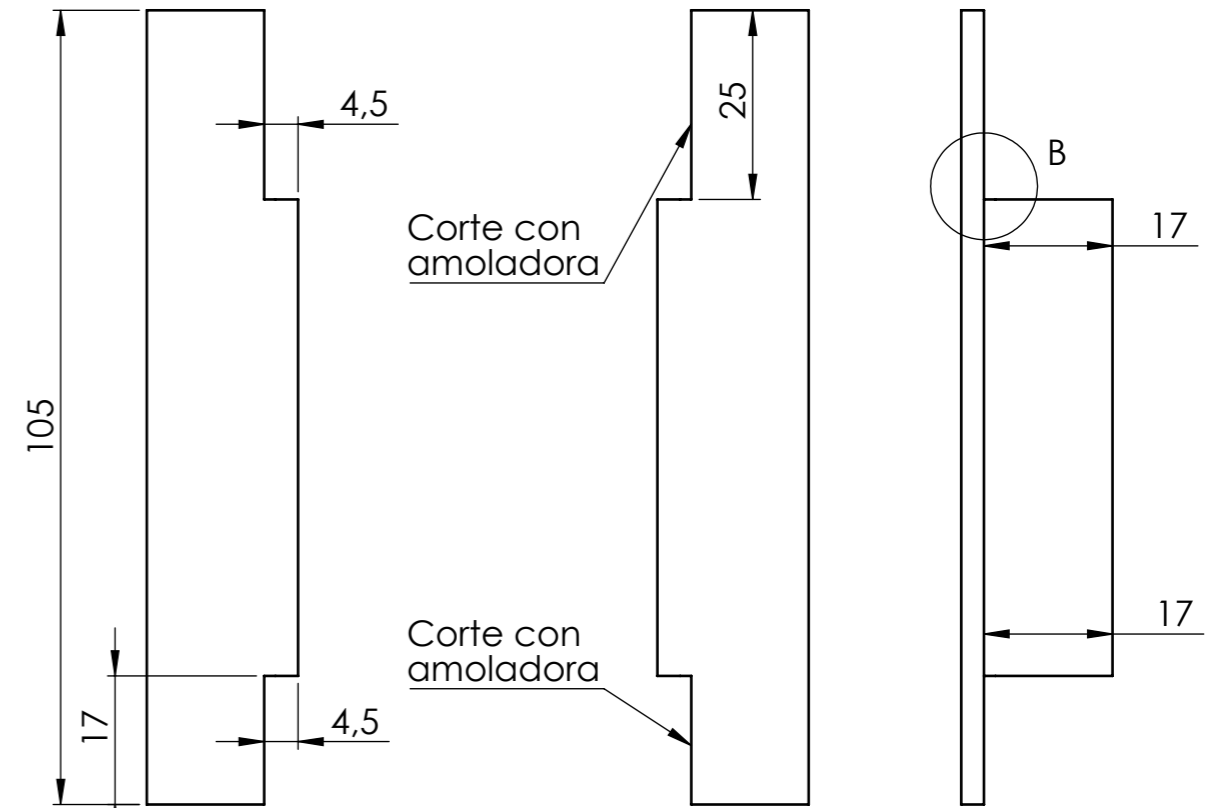
- Proceso:
- Corte de los ángulos utilizando amoladora
 - Doblado a 90° en la zona especificada en B
 - Soldadura SMAW en las regiones mostradas
 - Remoción de rebabas y limpieza
 - Taladrados M5
 - Pintura anticorrosiva aplicada con pistola



DETALLE B
ESCALA 2 : 1

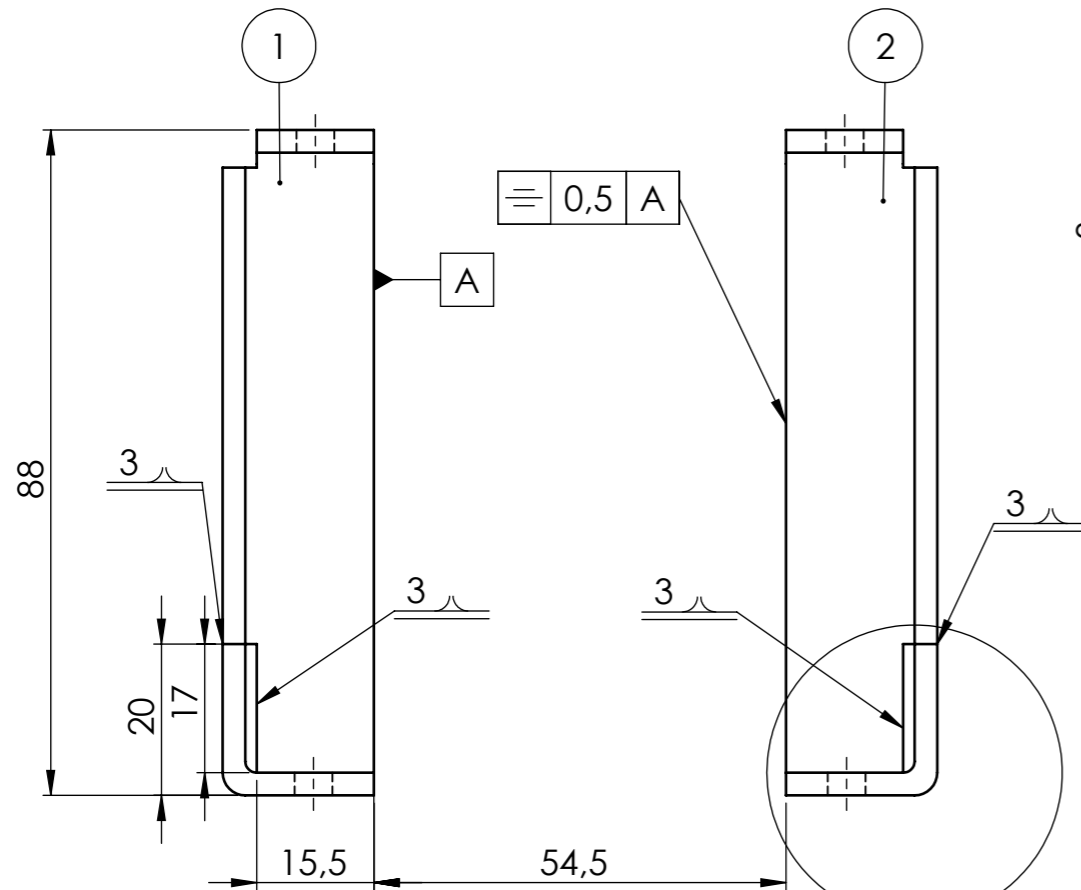


DETALLE A
ESCALA 2 : 1



- 1 Ángulo vertical izquierdo 2 Ángulo vertical derecho

Elementos con las mismas operaciones de corte, doblado, soldadura y taladrado; cambia la orientación del ángulo



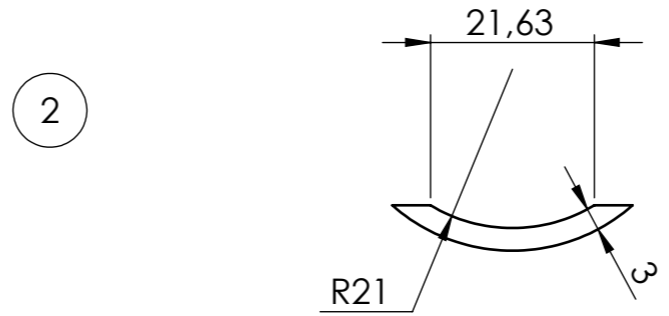
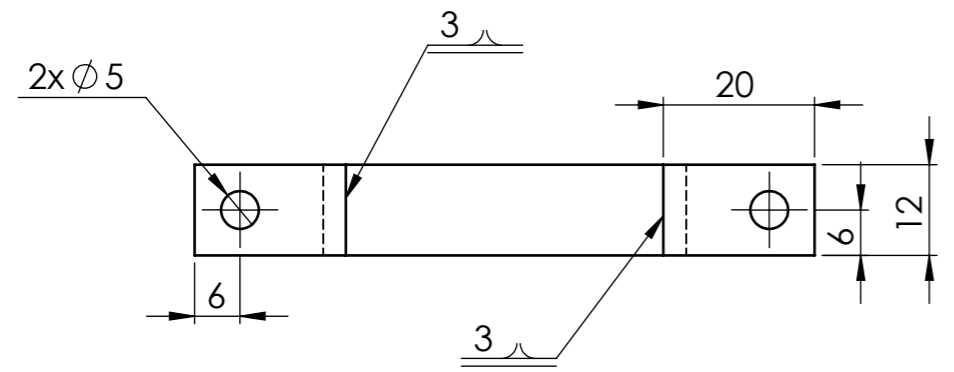
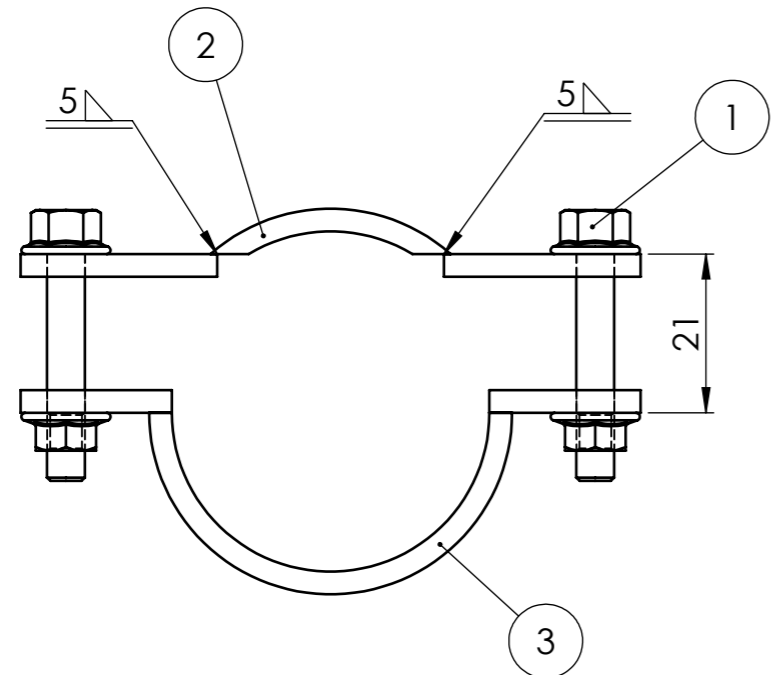
Tolerancia:		Peso:		Material:	
±0.1		261 g		Ángulo ASTM A36	
Fecha		Nombre		Denominación:	
Dibujó: 23/10/2020		Carlos Loor		Soporte Boca de entrada	
Revisó:		Ing. Santiago Cabrera		Escala:	
Aprobó:		Ing. Santiago Cabrera		1:1	
U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA				No. de lámina:	
				05 de 09	
Edición		Modificación		Registro:	

N8 Pulido

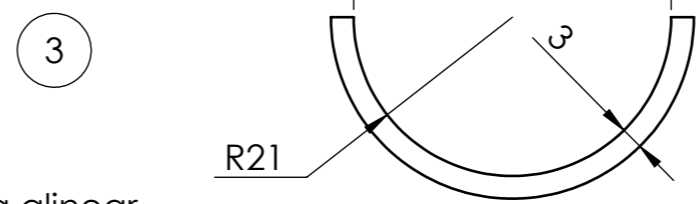
Perno con cabeza hexagonal
M5 x 30 y tuerca hexagonal M5

- Proceso:
 Construcción de abrazadera ϕ 42 interno
 - Corte de la platina
 - Eliminación de rebabas
 - Rolado
 - Unión con soldadura proceso SMAW
 - Eliminación de rebabas
 - Pintura anticorrosiva aplicada con pistola

N.º DE ELEMENTO	TAMAÑO DE SOLDADURA	SÍMBOLO	LONGITUD DE SOLDADURA	MATERIAL DE SOLDADURA	CANTIDAD
1	5		12	E-6011	2
2	3		12	E-6011	2

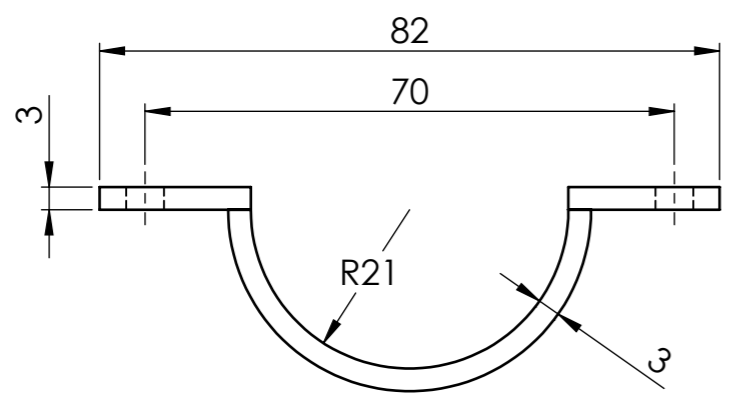
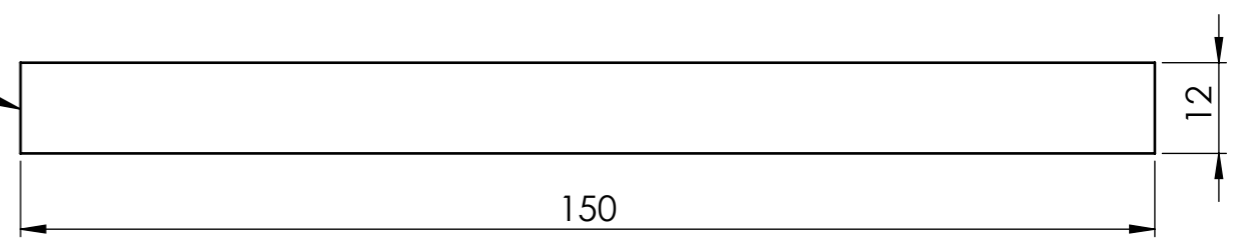


Corte a 21,63 (interno) de la platina rodada



Corte a 180° de la platina rodada

Arista para alinear con el rodillo para rolar



				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				±0,2	311,65 g	Platina 12x3 ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dibujó: 23/10/2015	Carlos Loor	Abrazadera soporte boca de entrada	
				Revisó:	Ing. Santiago Cabrera	Escala:	
				Aprobó:	Ing. Santiago Cabrera	1:1	
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		No. de lámina:	Registro:
						06 de 09	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

1

2

3

4

A

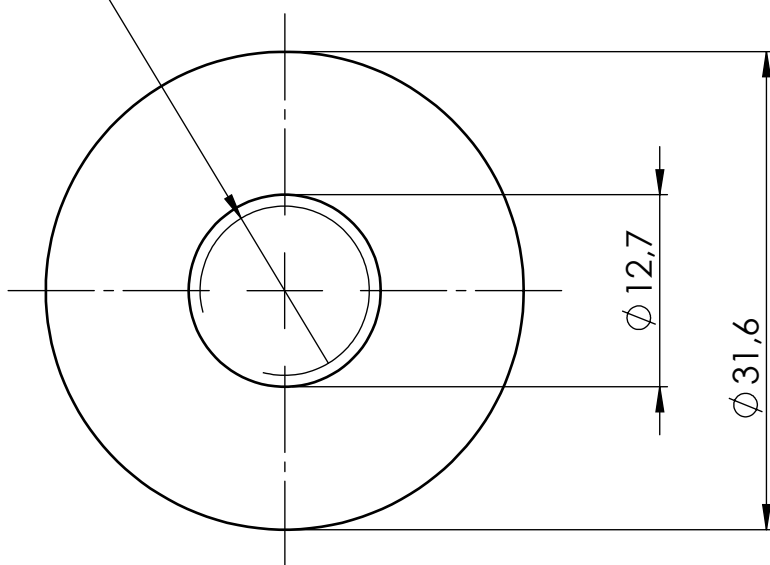
Proceso:

- Corte de con plasma
- Limpieza de rebabas
- Roscado en pulgadas

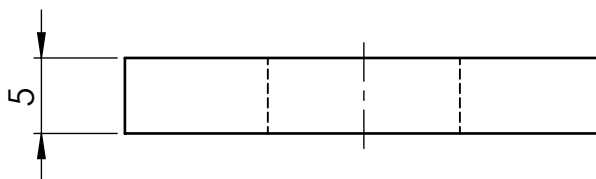
B

1/2-20 Roscas Standard
 ▽ por todo

C



D



E

				Tolerancia: ±0.2	Peso: 26,30 g	Material: AISI 316	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 23/10/2020	Carlos Loor	Regulador de aire primario	1:1
				Revisó:	Ing. Santiago Cabrera		
				Aprobó:	Ing. Santiago Cabrera		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		No. de lámina: 07 de 09	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

1

2

3

4

A

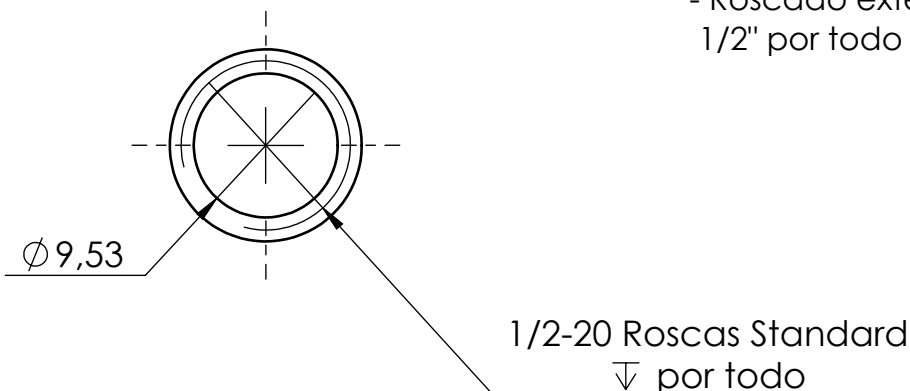
Proceso:

- Taladrado $\phi 3/8"$ por todo

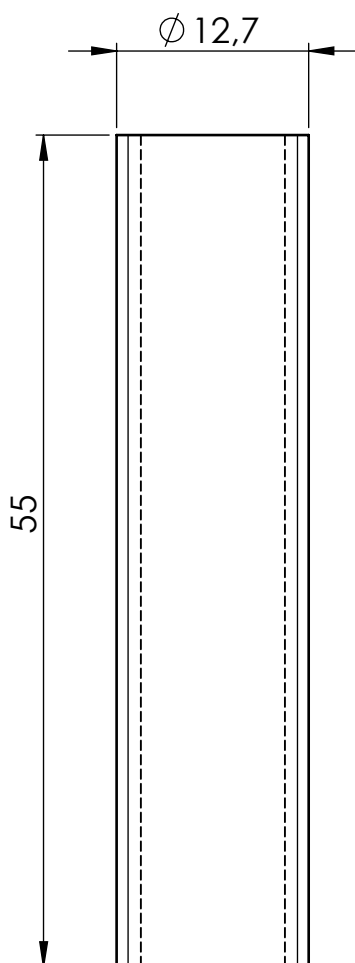
- Roscado exterior

 $1/2"$ por todo

B

1/2-20 Roscas Standard
↓ por todo

C



D

E

				Tolerancia: ± 0.2	Peso: 26,82 g	Material: Bronce	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 23/10/2020	Carlos Loor	Acople roscado para inyección de GLP	2:1
				Revisó:	Ing. Santiago Cabrera		
				Aprobó:	Ing. Santiago Cabrera		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		No. de lámina: 08 de 09	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

1

2

3

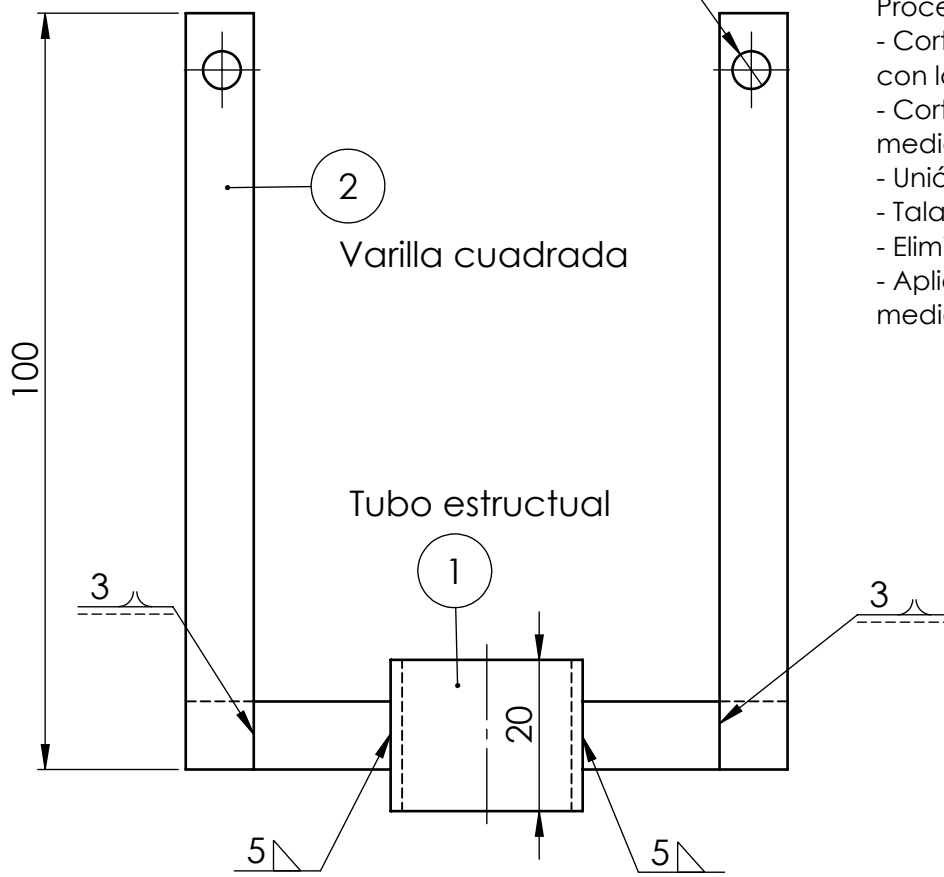
4

N8 Pulido

A

N.º DE ELEMENTO	TAMAÑO DE SOLDADURA	SÍMBOLO	LONGITUD DE SOLDADURA	MATERIAL DE SOLDADURA	CANTIDAD
1	5		9	E-6011	2
2	3		9	E-6011	2

B

2x $\phi 5$ 

Proceso:

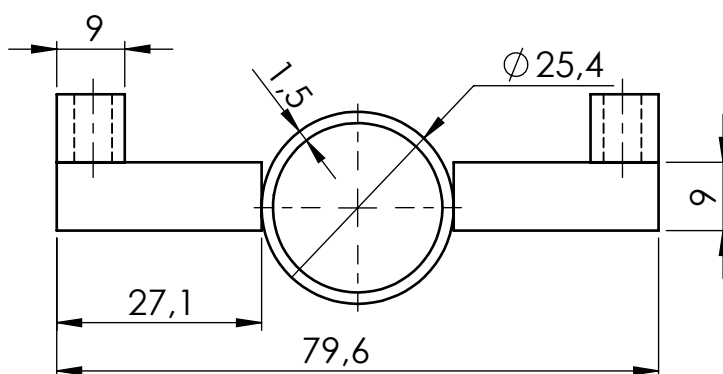
- Corte de la varilla cuadrada con las dimensiones especificadas
- Corte del tubo estructural con la medida acotada
- Unión mediante soldadura SMAW
- Taladrado M5
- Eliminación de rebabas
- Aplicación de pintura anticorrosiva mediante pistola

C

Tubo estructural

D

E



Tolerancia:

Peso:

Material:

±0.2

176,54 g

ASTM A36

Fecha Nombre

Denominación:

Escala:

Dibujó: 23/10/2020

Carlos Loor

Soporte del conjunto de inyección de gas

1:1

Revisó:

Ing. Santiago Cabrera

Aprobó:

Ing. Santiago Cabrera

U.T.A.

No. de lámina:

09 de 09

Registro:

Edición Modificación Fecha Nombre

INGENIERÍA MECÁNICA

(Sustitución)

