

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO DE UNA FRAGUA A GAS PARA FORJA CON  
FINES DIDÁCTICO**

PRESENTADO POR:

**EDWIN ALEXANDER MONRROY MONTALVO**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2022

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR :

**M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIA GENERAL :

**Ing. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**Dr. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

SECRETARIO :

**Ing. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

DIRECTOR INTERINO :

**Ing. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Título :

**DISEÑO DE UNA FRAGUA A GAS PARA FORJA CON  
FINES DIDÁCTICO**

Presentado por :

**EDWIN ALEXANDER MONRROY MONTALVO**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores :

Ing. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES  
Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ

San Salvador, febrero de 2022

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores :

**Ing. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES**

**Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ**

## **DEDICATORIA**

Para mi Creador y Padre Jehová por darme sabiduría, capacidad mental y paciencia para terminar mi carrera. A mi madre Beesy Patricia Montalvo Ramos, mi hermano Cristopher Alexander Monrroy Montalvo, y mi prometida Gabriela Beatriz Madrid, por ser un pilar fuerte en mis logros académicos, brindarme el apoyo necesario para alcanzar la titánica meta y nunca desistir en sus esfuerzos para darme apoyo cuando más lo he necesitado.

*Edwin Alexander*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi madre por su esfuerzo, dedicatoria, paciencia y atención. Por su gran muestra de amor al apoyarme incondicionalmente hasta el fin de mi carrera y más allá.

A mi núcleo familiar por estar pendiente de mí y echarme una mano cuando más lo he necesitado.

A mi prometida Gabriela Madrid, por ser una persona única, confiable, sabia y audaz; por sus horas de apoyo, motivación y palabras de aliento y por ser la ayuda que llevó al feliz término este trabajo de graduación.

A mi hermano que me ha brindado ayuda y apoyo desde el comienzo de vida universitaria; y por compartir conmigo los disgustos y alegrías en esta carrera.

A los Docentes Asesores Dr. M.Sc. Jonathan Berríos Ortiz y al Ing. Francisco Alfredo De León Torres por darme la oportunidad, las asesorías y las ideas para realizar un trabajo guía para el área de conformado en caliente.

*Edwin Alexander*

# DISEÑO DE UNA FRAGUA A GAS PARA FORJA CON FINES DIDÁCTICO

Estudiante: Br. Edwin Alexander Monrroy Montalvo<sup>1</sup>  
Docente Asesor: Ing. Francisco Alfredo De León Torres<sup>2</sup>  
Docente Asesor: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz<sup>3</sup>  
Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,  
Universidad de El Salvador

## RESUMEN

Se ha realizado una investigación teórica para conocer los componentes de las fraguas a gas y su funcionamiento. Así, una fragua es un equipo que aplica calor directamente a los metales para elevar la temperatura hasta la temperatura de forja para su conformación en caliente. En esta fragua el metal que se calienta se encuentra en el interior de una cámara de combustión. El material se posiciona en el interior de la cámara de combustión cuadrada que está formada internamente por un revestimiento refractario y externamente por una carcasa de lámina galvanizada. La potencia mínima requerida por la fragua para calentar una barra de acero SAE 1045 con una temperatura de forja de 910 °C, se determinó mediante un análisis energético, dando un valor de 5.1 kW al utilizar un cilindro de gas propano con una capacidad de 35 lb con lo cual se obtuvo un flujo volumétrico de consumo de gas propano de 0.59 lb/h para una duración de 67 horas de operación continua. Esta fragua opera independiente de una conexión eléctrica para ser usada en todo lugar que no disponga de energía eléctrica por medio de un quemador atmosférico.

Palabras claves: Fragua a gas, Horno y Conformado.

---

1 [ingalex.monrroy@icloud.com](mailto:ingalex.monrroy@icloud.com)  
2 [francisco.deleon@ues.edu.sv](mailto:francisco.deleon@ues.edu.sv)  
2 [jonathan.berrios@ues.edu.sv](mailto:jonathan.berrios@ues.edu.sv)

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	2
1.1. Reseña histórica de la fragua.....	2
1.2. Definición de fragua.....	3
1.3. Tipos de fraguas.....	4
1.3.1. Fragua artesanal.....	4
1.3.2. Fragua a gas.....	5
1.4. Elementos de la fragua a gas.....	7
1.4.1. Quemadores.....	7
1.4.2. Llama.....	10
1.4.3. Materiales refractarios.....	12
1.4.4. Tubería de conducción de gas.....	13
1.4.5. Regulador de presión de gas.....	14
1.4.6. Válvulas.....	15
1.4.7. Cilindro de gas propano (GL).....	17
1.5. Forjado.....	18
1.5.1. Tipología de la forja.....	19
1.5.2. Aplicaciones.....	20
1.5.3. Tipos de tratamientos térmicos con fraguas.....	21
1.5.4. Efectos de la forja.....	23
1.5.5. Fundamentos matemáticos.....	23
1.6. Análisis de costos.....	25
1.7. Seguridad.....	26
2. DISEÑO MECÁNICO Y ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE UNA FRAGUA A GAS PARA FORJA DE METALES.....	27
2.1. Generalidades sobre la fragua a gas.....	27
2.2. Marco normativo.....	28

	Pág.
2.3. Proceso de diseño de una fragua.....	29
2.3.1. Descripción de la fragua.....	30
2.3.2. Recomendaciones para el diseño de una fragua a gas.....	32
2.4. Sistemas que componen la fragua a gas.....	36
2.4.1. El sistema de alimentación.....	36
2.4.2. Sistema de medición de temperatura.....	38
2.4.3. Sistema de calentamiento.....	38
2.4.4. Sistema de aislamiento térmico.....	39
2.4.5. Sistema de control de presión.....	39
2.4.6. Sistema de puesta en marcha.....	40
2.5. Parámetros de diseño.....	40
2.6. Consideraciones de diseño.....	41
2.7. Cálculos de diseño.....	42
2.8. Transferencia de calor.....	42
2.8.1. Requerimientos energéticos.....	43
2.8.2. Análisis energético en el acero.....	43
2.8.3. Pérdidas por conducción, convección y radiación.....	45
2.9. Potencia del quemador.....	52
2.10. Varilla roscada para unión de ladrillos con carcasa metálica.....	54
2.11. Análisis mecánico en las soldaduras de la fragua.....	61
2.11.1. Soldadura carcasa.....	61
2.11.2. Soldadura de carcasa metálica con tapadera frontal y posterior. ....	65
2.11.3. Soldadura del tubo sujetador del quemador con la carcasa metálica.....	67
3 ANÁLISIS DE COSTOS.....	73
3.1. Costos directos.....	73
3.2. Costos indirectos.....	74
3.3. Costos totales.....	76
3.4. Alternativas que reducirían el costo de construcción de una fragua a gas.....	77

	Pág.
4. MANUAL DE ENSAMBLE, OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD DE UNA FRAGUA A GAS.....	80
4.1. Manual de ensamble.....	80
4.1.1. Orden de ensamble.....	82
4.2. Manual de inicio.....	91
4.2.1. Manual de uso de fragua a gas.....	92
4.3. Manual de mantenimiento.....	94
4.4. Seguridad.....	95
4.4.1. Generalidades.....	95
 CONCLUSIONES.....	 98
 RECOMENDACIONES.....	 99
 REFERENCIAS.....	 100
 ANEXOS.....	 103
Anexo A.1: Cotización del quemador.....	103
Anexo A.2: Cotización de materiales.....	104
Anexo A.3: Planos de Fragua a gas propano.....	105

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Propiedades del gas propano comercial.....	12
Tabla 2.1. Observaciones del horno a reutilizar.....	31
Tabla 2.2. Parámetros para el diseño de la fragua.....	41
Tabla 2.3. Diámetro de áreas de roscas métricas de paso grueso y fino.....	56
Tabla 2.4. Parámetros del sujetador de potencia seleccionado.....	56
Tabla 2.5. Dimensiones de roscas hexagonales.....	57
Tabla 2.6. Espesor de arandela en sistema métrico.....	57
Tabla 2.7. Clases métricas de propiedad mecánica de pernos.....	60
Tabla 2.8. Esfuerzos en las soldaduras.....	71
Tabla 2.9. Comparación de los esfuerzos permisibles y los esfuerzos de las cargas obtenidos.....	71
Tabla 2.10. Propiedades de los electrodos.....	72
Tabla 3.1. Costos directos.....	74
Tabla 3.2. Costos indirectos.....	75
Tabla 3.3. Costos totales.....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.1. Fragua artesanal de la época de la colonia localizada en la Ciudad de Ilobasco, en el departamento de Cabañas, El Salvador.....	3
Fig. 1.2. Cámara de combustión de una fragua artesanal a carbón.....	5
Fig. 1.3. Fragua a gas.....	6
Fig. 1.4. F Tipo de quemadores: a) Quemador atmosférico 3F; b) Quemador atmosférico 4F; c) Quemador aire forzado; y d) Quemador air forzado “Wok”.....	8
Fig. 1.5. El esquema de un quemador atmosférico: 1) Válvula de paso; 2) Boquilla; 3) Ingreso primario de aire; 4) Tubo mezclador; y 5) Difusor... ..	9
Fig. 1.6. Quemador de aire forzado con válvula tipo mariposa en el punto A como regulador de caudal de aire; en sentido horario disminuye y en sentido anti horario aumenta.....	9
Fig. 1.7. Diferentes tipos de llama en un mechero Bunsen: 1) Válvula de admisión de aire cerrada; 2) Válvula de admisión de aire a medio abrir; 3) Válvula de admisión de aire al 90%; y 4) Válvula de admisión de aire al 100%.....	10
Fig. 1.8. Tipos de arcilla para fabricación de material refractario.....	13
Fig. 1.9. Mangueras para conexiones de sistemas a gas.....	14
Fig. 1.10. Manómetro para gas utilizado en la industria.....	15
Fig. 1.11. Válvula de control hombre-macho.....	16
Fig. 1.12. Válvula de bola.....	17
Fig. 1.13. Partes de un cilindro de gas.....	18
Fig. 1.14. Varillas cuadradas sometidas a forja.....	19
Fig. 1.15. Hierro dulce forjado para ornamentación.....	21
Fig. 2.1. Modelo 3D fragua a gas.....	29
Fig. 2.2. Horno eléctrico que se utilizará para su reconversión a fragua a gas propano.....	30
Fig. 2.3. Instrucciones para conexión de un quemador.....	37
Fig. 2.4. Diagrama de transferencia de calor por conducción de las paredes de la fragua.....	46
Fig. 2.5. Diagrama rectangular para transferencia de calor con paredes isotérmicas.....	49
Fig. 2.6. Perfil de transferencia de calor por radiación.....	51

	Pág.
Fig. 2.7	Sujetador de potencia no permanente..... 55
Fig. 2.8.	Carcasa metálica de la fragua.....61
Fig. 2.9.	Cálculo del centroide de una placa.....62
Fig. 2.10.	Soldadura entre tapadera y carcasa metálica.....65
Fig. 2.11.	Tubo con carcasa metálica.....68
Fig. 4.1.	Ensamble general.....81
Fig. 4.2.	Colocación de los ladrillos refractarios.....82
Fig. 4.3.	Agujeros para instalar las varillas roscadas a lo largo de los ladrillos.....82
Fig. 4.4.	Estructura final de fragua con cemento refractario aplicado.....83
Fig. 4.5.	Carcasa metálica de la fragua.....84
Fig. 4.6.	Instalación de la estructura metálica.....84
Fig. 4.7.	Tapa metálica frontal.....85
Fig. 4.8.	Tapa metálica posterior.....85
Fig. 4.9.	Colocación de sujetador del quemador.....86
Fig. 4.10.	Agujero para acople de quemador con tubo metálico.....86
Fig. 4.11.	Instalación de las varillas roscadas transversalmente a la fragua.....87
Fig. 4.12.	Estructura metálica para la fragua.....87
Fig. 4.13.	Soporte superior para la fragua.....88
Fig. 4.14.	Instalación de la fragua con el soporte metálico.....88
Fig. 4.15.	Soporte para colocación del tanque de gas.....89
Fig. 4.16.	Cinturón de seguridad del tanque de gas.....89
Fig. 4.17.	Instalación de llantas.....90
Fig. 4.18.	Colocación del tanque de gas sobre la estructura de soporte de la fragua.....90
Fig. 4.1.	Láminas de seguridad para aislar el cilindro de gas..... 91

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

A:	Área
Ad:	Área roscada
$A_s$ :	Área de la superficie
Cp:	Capacidad calorífica
D:	Diámetro
E:	Coefficiente de elongación
$F_{forja}$ :	Fuerza de forja
h:	Constante del material por convección
H:	Altura
$h_i$ :	Altura inicial
$h_f$ :	Altura final
ISO	International Organization for Standardization
k:	Coefficiente del material por conducción
$k$ :	Constante pro conducción
$K_f$ :	Coefficiente de forja
$L_T$ :	Longitud total
m:	Masa
MINEC	Ministerio de Economía
$\dot{m}$ :	Flujo másico
n:	Coefficiente de endurecimiento del material
$Rt_{cond}$ :	Resistencia térmica de conducción
$Rt_{conv}$ :	Resistencia termina por convección
P:	Potencia
Q:	Calor
$Q_{cond}$ :	Calor por conducción
$Q_{conv}$ :	Calor por convección
$Q_{rad}$ :	Calor por radiación
SAE	Society of Automotive Engineers
t:	Tiempo
T:	Temperatura
UNC	Unified Coarse Pitch Threads
V:	Volumen
$\Delta T$ :	Delta de temperatura
$\Delta X$ :	Delta de espesor
$\varepsilon$ :	Constante por radiación
$\eta$ :	Eficiencia
$\mu$ :	Coefficiente de fricción
$\sigma_f$ :	Esfuerzo de fluencia
$\Phi_{gas}$ :	Flujo volumétrico

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación denominado Diseño de un Fragua a gas con fines didáctico tiene también como finalidad que sea funcional y económico. Para ello, se realizó una investigación bibliográfica exhaustiva para adquirir las competencias y los requerimientos del trabajo de graduación.

Desde tiempos remotos, la necesidad de conformar los metales ha sido una de las prioridades de la humanidad para hacer piezas que mejoren el estilo de vida. Por tal motivo, la fragua ha formado parte del taller del herrero para la creación de piezas. Con la ayuda de la fragua se desarrolla el proceso de forja que consiste en calentar el metal para después con la ayuda de un yunque y martillos metálicos se martillaba hasta poderlo conformar. Este proceso se repetía hasta que la pieza quedara lista. Debido a sus aplicaciones, se ha investigado formas de diseñar una fragua de forma más compacta y portátil, y que a su vez no depende del uso de carbón para reducir los tiempos de encendidos y un mejor control de temperatura sobre el material.

En el diseño de la fragua se pusieron en práctica los conocimientos adquiridos a través de los años cursados en la universidad, teniendo como resultado un éxito en la correcta aplicación de los fundamentos teóricos. Es trascendental recalcar que hubo habilidades que se tuvieron que adquirir y aprender a lo largo del proyecto, como de igual manera, hubo personas con vasta experiencia en el área que brindaron su ayuda y asesoría con el cual el éxito y la eficiencia con que se desarrolló el trabajo fueron maximizadas.

Por último, con este trabajo se pone en evidencia el deseo de los estudiantes de ingeniería mecánica por realizar futuros laboratorios para incrementar las habilidades y beneficio para su integración laboral. También, para todos los maestros y asesores de cátedra de la Escuela de Ingeniería Mecánica, y por último, para la sociedad salvadoreña interesados en el proyecto.

## **1. MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se presenta las consideraciones generales que se deben de tomar en cuenta para el diseño de una fragua a gas para forja con fines didácticos; para lo cual se requerirá del conocimiento de qué es una fragua y forja. Cabe mencionar que es necesario poseer un conocimiento de los metales para forja, sus propiedades mecánicas y térmicas, aleaciones, temperaturas de forja y aplicaciones, materiales de construcción, quemadores, seguridad y protección del medio ambiente. Se seleccionarán los materiales para el diseño. Por lo tanto, en el siguiente capítulo se le introduce al lector en los aspectos más relevantes para el desarrollo adecuado y el entendimiento de las partes y elementos para el diseño de una fragua a gas propano.

### **1.1. RESEÑA HISTÓRICA DE LA FRAGUA**

La fragua antigua era un armazón construido principalmente de piedras y ladrillos formando una base en donde se pone carbón, donde el herrero trabajaba para fundir metales y forjar hierro, actividad que muchas veces compensaba las labores agrícolas, ganaderas y militares [1].

En muchos pueblos la presencia de un herrero era necesaria para el afilado o construcción de materiales de labranza, herrado de las caballerías y otros en función a las necesidades de la población. Las fraguas se solían instalar en pequeños espacios dentro de las viviendas o fuera de ellas, donde los materiales que se tenían que contar eran: pinzas, tijeras, martillo, punzones yunque, tenazas, carbón y otras herramientas para trabajar el metal [1].

En Centroamérica, no hay registros de los comienzos de este oficio en la región. Sin embargo, durante la época de la colonia y con la tecnología de los españoles, estos enseñaron a los pueblos indígenas con la técnica de fundición y forja que fue mayormente utilizada para la elaboración de herramientas de cocina, ganadería, armas, así como elementos decorativos, etc. La forja y la

fundición dentro de este ámbito tienen una estrecha relación ya que las dos tienen como objetivo principal el calentamiento controlado del metal para su conformación, pues el herrero tenía conocimientos de herrería y forja. En el siglo XX surgieron los primeros talleres de herreros que con su técnica y conocimiento brindaban piezas únicas al ser transformada de una manera única [1].

## 1.2. DEFINICIÓN DE FRAGUA

Una fragua como se presenta en la Fig. 1.1, es un fogón que se usa principalmente para proceso de forja de metales. Generalmente es una estructura de ladrillo o piedra, cubierta de rejillas, en la cual se aviva el fuego pasando una corriente de aire horizontal por medio de un fuelle manual o mecánico; también, el término fragua proviene del latín y significa fabricación. Forjar se usa como verbo tanto en el sentido directo de forjar un metal [1].



Fig. 1.1. Fragua artesanal de la época de la colonia localizada en la Ciudad de Ilobasco, en el departamento de Cabañas, El Salvador.

Entonces, una fragua es simplemente un horno abierto rodeado por piedras y barro por la cual se inyecta un flujo de aire por medio de un fuelle de hecho de cuero y tablas en su interior para reducir el tiempo de calentamiento y aumentar y mantener la temperatura para forjar metales en el taller de un herrero [1].

### **1.3. TIPOS DE FRAGUAS**

En un principio, la fragua era una artesanía local; es decir, su diseño y construcción dependían del herrero, ya que se basaban en los trabajos que el herrero podía elaborar [1]. Actualmente, con el desarrollo tecnológico, la constante búsqueda de contar con una fragua más eficiente, ecológica y fácil transportación, la fragua artesanal se ha rediseñado para obtener una fragua a gas más compacta, de fácil encendido y ecológica [2].

#### **1.3.1. FRAGUA ARTESANAL**

La fragua artesanal es típicamente fabricada de plancha metálica de un calibre promedio de 2.5 mm de espesor que sirve de bandeja, recubierta con arcilla refractaria mezclada con arena y aserrín, o en una base de ladrillo refractario para evitar que se deteriore la bandeja de trabaja como se presenta en la Fig. 1.2 [1]. El aire entra por unos ductos de tubo galvanizado de 3 pulgadas de diámetro, donde se encuentra el depósito de ceniza y el regulador de aire. El aire es generado por un fuelle que impulsa el aire dentro del carbón. En la actualidad, en vista de la demanda de trabajo, a algunas fraguas se les ha ensamblado un motor eléctrico de soplador de aire para mantener el fuego sin necesidad de estar accionando el fuelle y así, optimizar el trabajo [1].



Fig. 1.2. Cámara de combustión de una fragua artesanal a carbón.

### 1.3.2. FRAGUA A GAS

Las fraguas a gas como la que se presenta en la Fig. 1.3, comúnmente accionadas con gas propano, son utilizadas en herrerías de forja ornamental para calentar el hierro, hasta que esté maleable y poder moldearlo para conseguir las formas deseadas, trabajar los extremos de las varillas, fabricar herraduras, cuchillos, espadas, hachas, todo tipo de piezas de forja artística, esculturas en hierro y decoración de forja, muebles de hierro para jardín, sillas de forja, mesas de hierro forjado. Estas fraguas a gas son un buen sustituto de la fragua artesanal, al ser mucho más limpios, rápidos, eficientes y ecológicos [3].



Fig. 1.3. Fragua a gas [3].

La técnica y los avances tecnológicos, han permitido conceder a las fraguas de gas, un papel destacado en el uso y posibilidades que brindan su funcionamiento, siendo muy eficaces tanto por que los tiempos de mantenimiento se reducen, así como los costos. Además, su manejo es relativamente sencillo, ya que resulta fácil de regular la atmósfera interior del horno, simplemente variando la inyección de la mezcla de gas y aire, por lo que resulta muy útil para hacer reducciones, otra de las ventajas que se pueden destacar es que se puede alcanzar altas temperaturas en menos tiempo [3].

Las fraguas a gas están construidas con una armadura metálica que aguanta los ladrillos refractarios, ligeros en las paredes y pesados en la base. En algunos casos, pueden tener el interior recubierto con fibra refractaria o un revestimiento de cemento refractario, así se consigue un mayor aislamiento, un gasto menor de combustible y una disminución en el tiempo de mantenimiento, así como en el enfriamiento. Con las fraguas a gas se pueden realizar una

variedad de labores, así algunas de las labores más comunes de una fragua a gas son [3]:

- ✓ Enderezar piezas deformadas,
- ✓ Adelgazar piezas por medio de cargas repetitivos, hasta conseguir las tolerancias requeridas,
- ✓ Hacer cabezas en forma de remaches en la punta de las piezas, con el fin de unir las,
- ✓ Con la ayuda de punzones hacer agujeros de diferentes medidas,
- ✓ Formar ángulos de diferentes medidas,
- ✓ Formar curvas en piezas rectas, y
- ✓ Soldar piezas para formar sólo un molde.

En general, son relativamente fáciles de construir siempre que se disponga de los materiales y herramientas necesarias, es indispensable tener muy en cuenta la disposición de los quemadores y el sistema de tiro interior que puede ser directo o invertido [3].

Finalmente, es importante destacar que la llama no debe chocar con las piezas por lo que se tiene que realizar un estudio sobre cómo proteger las piezas de la llama [4].

## **1.4. ELEMENTOS DE LA FRAGUA A GAS**

Un elemento es cada uno de los componentes que integran un equipo o máquina. Se describirán los elementos más relevantes y su función para la elaboración del diseño de una fragua a gas [3].

### **1.4.1. QUEMADORES**

El quemador es un dispositivo que permite la mezcla del combustible con el aire (en el caso de los quemadores a base de hidrocarburos). El combustible

es inyectado a través de una boquilla y este se mezcla con el aire proveniente del exterior o de algún ventilador mediante el tubo de mezcla. El principio de operación es sencillo, pero se requiere conocer otro aspecto importante como la combustión [1].

Los quemadores son elementos que tienen como principal función el control de la presión del gas para la adecuada combustión [1].

Para el diseño de una fragua de combustión a gas se necesita mucho menos espacio para la combustión. Sin embargo, cada quemador debe tener suficiente espacio en la parte de enfrente, al menos 13 cm, para que el gas se quemara más o menos completamente antes de alcanzar la carga del horno y que no ocurra un punto frío; mayor temperatura después de la llama. Se pueden usar varios quemadores como los de la Fig. 1.4, pero se debe tomar en consideración su tipo para un mayor control y manejo del tiempo de mantenimiento de la pieza [1].

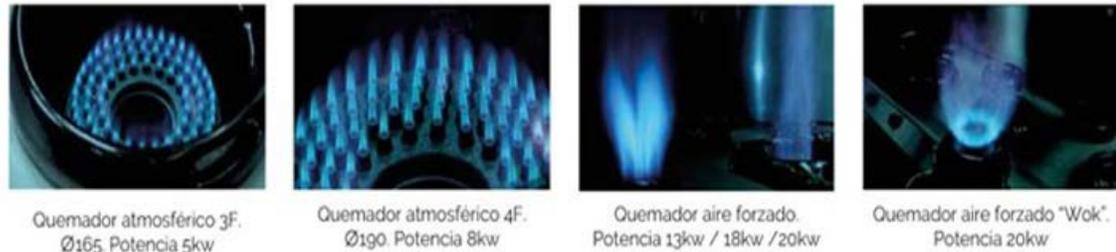


Fig. 1.4. Tipo de quemadores: a) Quemador atmosférico 3F; b) Quemador atmosférico 4F; c) Quemador aire forzado; y d) Quemador air forzado "Wok" [5].

Quemador atmosférico a gas. También llamado de aspiración como el que se presenta en la Fig. 1.5, el cual es el más sencillo. Así, este tipo de quemador consiste en un tubo de hierro fundido, en el cual se introduce el gas a través de un pequeño orificio en un tubo más pequeño por el que sale el flujo de gas, controlado por una válvula de paso. Cuando el gas entra al tubo de hierro fundido arrastra el aire a través de unas aberturas; mezclándose así el gas con el aire a medida avanzan por el tubo y se quema a la salida [4].

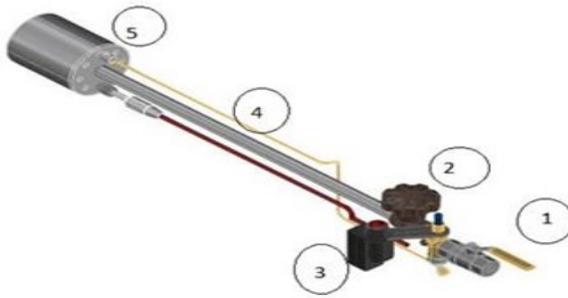


Fig. 1.5. El esquema de un quemador atmosférico: 1) Válvula de paso; 2) Boquilla; 3) Ingreso primario de aire; 4) Tubo mezclador; y 5) Difusor [5].

Quemador de aire forzado. Este tipo de quemador proporciona una excelente mezcla de aire-gas con un buen control de su proporción. Consta de un ventilador movido por un motor, el aire procedente pasa por una válvula de mariposa y entra al tubo donde se introduce el gas; estos se mezclan y son inyectados a la portilla del quemador donde arden. Los quemadores de aire forzado (ver, Fig. 1.6), son sensibles en su ajuste y pequeños cambios pueden producir diferencias notables en la atmósfera de mantenimiento y subida de temperatura[6].

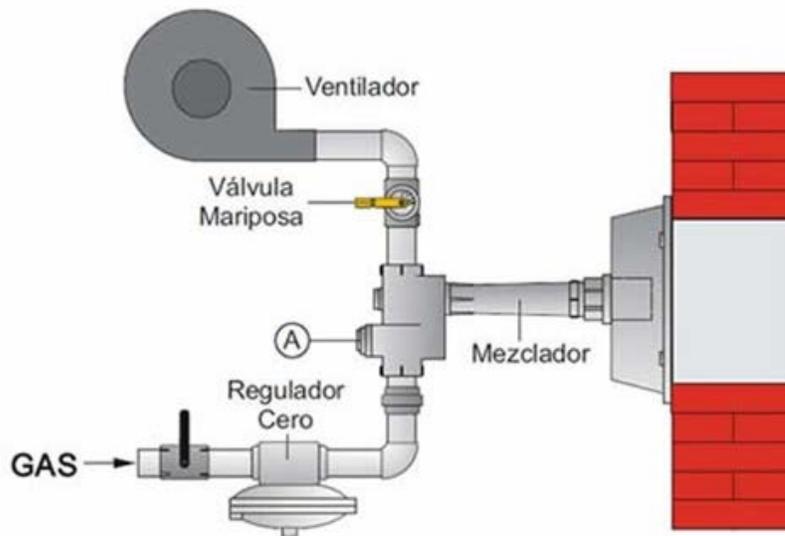


Fig. 1.6. Quemador de aire forzado con válvula tipo mariposa en el punto A como regulador de caudal de aire; en sentido horario disminuye y en sentido anti horario aumenta [6].

### 1.4.2. LLAMA

La llama es la manifestación visual de la reacción de combustión. La llama es provocada por la emisión de energía de los átomos de algunas partículas que se encuentran en los gases de la combustión, al ser excitados por el intenso calor generado en este tipo de reacciones. El color y la temperatura de la llama son dependientes del tipo de combustible involucrado en la combustión [5]. Con respecto a los hidrocarburos, el factor más importante que determina el color de la llama es el suministro de oxígeno y el alcance que cuentan con una cámara de premezclado oxígeno-combustible, este último también determina la tasa de combustión y la temperatura de la reacción. Para ilustrar este efecto se describirá los distintos cambios por los que atraviesa una llama en un mechero Bunsen como se presenta en la Fig. 1.7 [5].

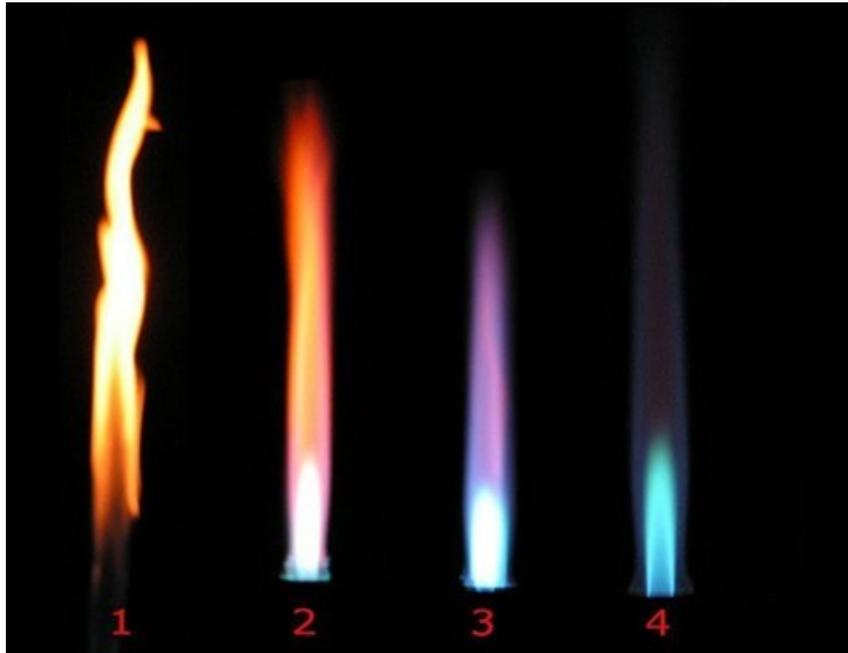


Fig. 1.7. Diferentes tipos de llama en un mechero Bunsen: 1) Válvula de admisión de aire cerrada; 2) Válvula de admisión de aire a medio abrir; 3) Válvula de admisión de aire al 90%; y 4) Válvula de admisión de aire al 100%[5].

En condiciones normales de gravedad y presión, la válvula de oxígeno está cerrada, la llama del mechero tiene un color amarillo (también llamada flama de seguridad) cuya temperatura esta alrededor de los 1,000 °C. Se generan partículas de hollín que quedan suspendidas en el aire. A medida que la válvula de oxígeno se abre levemente; la mezcla oxígeno-propano que se lleva a cabo reduce el hollín producido debido a que existe una combustión más completa; la reacción de combustión entre el oxígeno-propano genera la suficiente energía para ionizar las moléculas de gas en la flama lo cual deriva en un cambio notable del color de la llama de amarillo a anaranjado [2].

Cuando la válvula se encuentra medio abierta o un poco más, mayor cantidad de oxígeno se mezcla con el propano y la llama empieza a tomar un color azul disminuyendo aún más el hollín e incrementando la temperatura de la llama. Finalmente, la llave está completamente abierta y la mezcla oxígeno-propano alcanza la estequiometria llegando a elevar la temperatura de la llama al máximo (1,600 °C). La combustión estequiométrica (combustión completa) del combustible con el aire genera la mayor temperatura de la llama. Un exceso de aire/oxígeno la reduce al igual que la falta de este [2].

El poder calorífico del propano comercial es capaz de alcanzar las temperaturas de forja por lo que sus capacidades no son menores comparadas con otros combustibles. Debido a que en el mercado hay un amplio número de fabricantes y distribuidores, la fórmula de gas propano de las propiedades comerciales no es revelada, por lo que las cantidades de carbono como de hidrogeno de los diferentes proveedores no son información pública. Sin embargo, en la Tabla 1.1 se presenta un aproximado de las propiedades del gas propano comercial [2].

Tabla 1.1. Propiedades del gas propano comercial [2].

Propiedades aproximadas de gases GL (Propano Comercial C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )			
Gravedad específica a 60 °F	0.504	Calor latente de vaporización en el punto de ebullición	BTU por libra = 184
Punto inicial de ebullición a 14.7 psi, °F	-44.0		BTU por galón = 773
Peso por galón de líquido a 60 °F, lb	4.20	Calor total después de vaporización	BTU por pie cubico = 2,488
Calor específico de líquido a 60 °F, BTU/lb	0.630		BTU por libra= 24,548
Pies cúbicos por galón de vapor a 60 °F	36.38		BTU por galón = 91,502
Pies cúbicos por libra a 60 °F	8.66	Peso molecular	44.094
Temperatura de ignición en aire, °F	920-1120	Presión de vapor en psig	
Temperatura máxima de flama en aire, °F	3595	70 °F	127
Límite de flamabilidad en aire (Porcentaje de mezcla de aire-gas)	Baja-2.15	100 °F	196
	Alta-9.60	105 °F	210
		130 °F	287
Poder calorífico	PCI	46,650 kJ/kg	86,211 kJ/m <sup>3</sup>

### 1.4.3. MATERIALES REFRACTARIOS

En la práctica, un material refractario se refiere a la capacidad de ciertos materiales a resistir altas temperaturas sin deterioro de sus propiedades tanto físicas como químicas del medio que opera. En su mayoría, son materiales inorgánicos, no metálicos, porosos y heterogéneos, compuestos minerales termoestables, aglomerantes y aditivos en los cuales casi siempre se busca su funcionalidad de resistir altas temperaturas, arriba de 1,600 °C sin que se descomponga [7].

Los materiales a utilizar se deben elegir en función de las condiciones de operación; por ejemplo, los óxidos de aluminio (alúmina), de silicio (sílice) y

magnesio (óxido de magnesio) son los materiales refractarios más importantes. Otros óxidos que se encuentran generalmente en los materiales refractarios son el óxido de calcio (cal) y el dióxido de circonio (circonita) se utilizan cuando se tiene que soportar temperaturas extremadamente elevadas. Las arcillas refractarias como las que se presenta en la Fig. 1.8, se utilizan ampliamente en la fabricación de materiales refractarios, como puede ser la chamota. El carburo de silicio y el carbono son materiales refractarios de gran resistencia a altas temperaturas, pero arden en presencia de oxígeno si desaparece su protección de dióxido de silicio [8].



Fig. 1.8. Tipos de arcilla para fabricación de material refractario [8].

#### 1.4.4. TUBERÍA DE CONDUCCIÓN DE GAS

La tubería de conducción o también conocida de manera coloquial como manguera, es un tubo hueco flexible diseñado para transportar fluidos de un lugar a otro. Las mangueras que se presenta en la Fig. 1.9, son algunas de las más usadas para el diseño de hornos a gas o fraguas a gas que trabajan a temperaturas mayores que 900 °C; son de acero inoxidable o metálicas debido a que estos materiales las hace resistentes a fundirse o que se aplasten. Su

selección depende del tipo de aplicación que desempeñarán, desde transportar líquidos como agua o aceite, hasta gases como oxígeno o propano [9].



Fig. 1.9. Mangueras para conexiones de sistemas a gas [9].

#### 1.4.5. REGULADOR DE PRESIÓN DE GAS

Un regulador de gas como se presenta en la Fig. 1.10, es una válvula que se conecta a la tubería de conducción, que sirve para controlar el flujo de gas y mantenerlo a una presión adecuada y uniforme. Sin este dispositivo sería imposible utilizar los equipos de gas, ya que la presión de origen es muy alta. Para una mayor precisión se coloca un manómetro para tener un mayor control de la presión a inyectar y mejorar notablemente la mezcla gas-aire para obtener una buena combustión [10].

Existen dos tipos de reguladores: para gas natural y gas licuado de petróleo (GLP). En el caso de gas natural se usa un regulador de 22 milibares, y para GLP uno de 38 milibares [10].

Si el regulador de gas se utilizará en cilindros, se recomienda instalar uno de baja presión (gasto de 8 m<sup>3</sup>/h). No obstante, si el regulador de gas se utiliza en tanques estacionarios, se recomienda instalar uno de alta presión (gasto cúbico de 21 m<sup>3</sup>/h) [10].



Fig. 1.10. Manómetro para gas utilizado en la industria [10].

#### 1.4.6. VÁLVULAS

Las válvulas de los cilindros son dispositivos que permiten el llenado y vaciado con seguridad. De igual modo estas válvulas son un medio eficiente y seguro de inyección del flujo de gas dentro de un sistema. No están concebidas para controlar la presión. Las válvulas están hechas normalmente en forma de ángulo recto, que permite colocarle un tapón de seguridad [11].

Son dispositivos de control y seguridad de los más eficientes en un sistema de instalación de gas gracias a su diseño y materiales como se presenta en la Fig. 1.11. Existen distintos tipos de válvulas según su utilidad por lo que pueden detener, regular o iniciar el paso de gases [12].



Fig. 1.11. Válvula de control hombre-macho[12].

Las válvulas de gas son conocidas también como dispositivos de corte o llave de corte. Tanto su funcionamiento, como mecánica y materiales están estrictamente reguladas y deben cumplir con las normativas internacionales. Por eso las válvulas de gas deben cumplir con las características reunidas en la norma UNE EN 331 [12].

A continuación, se listan los diferentes tipos de válvulas que se utilizan para instalaciones receptoras de gas; estas son [12]:

- Válvulas hembra-macho,
- Válvulas macho-macho,
- Válvulas de contador recta macho-hembra,
- Válvulas de contador en escuadra macho-hembra, y
- Válvulas macho-macho.

Las válvulas de control se conectarán directamente al cilindro de gas para evitar fugas y tener un mayor control; se conectarán a un manómetro para regular la presión para obtener la llama adecuada que no quemará el material. Para evitar una llama espontánea en la cámara de combustión, a la salida del manómetro se conecta una válvula de bola macho-macho como se presenta en la Fig. 1.12, que evitará que al abrir la válvula del gas esté salga disparado dentro de la fragua [12].



Fig. 1.12. Válvula de bola [12].

#### **1.4.7. CILINDRO DE GAS PROPANO (GL)**

Es un envase diseñado para contener gases comprimidos o gases comprimidos licuados. Actualmente, existen 3 clase de cilindros: 3A (acero de alto carbón) para gas propano, 3AA (acero tratado con color) oxicorte y 3AL (aluminio) extintores. Los cilindros son producidos y probados de acuerdo a especificaciones del Departamento de Transporte de EUA (DOT) entre otras normas [11].

En general, los cilindros como se presenta en la Fig. 1.13, se componen de las partes siguientes: El cuello protector debe de tener una altura suficiente para que cuando se almacenen cilindros superpuestos, el fondo del cilindro superior quede a una distancia no menor de 10 mm de la válvula en posición abierta del cilindro inferior. El cuello debe cubrir un ángulo de  $270 \pm 15^\circ$  y en la parte inferior se deben hacer perforaciones semicirculares, rectangulares, cuadradas, etc., con un área mínima equivalente a  $170 \text{ mm}^2$  colocados en los tercios del desarrollo aro base válvula de apertura cuerpo del cilindro [11].



Fig. 1.13. Partes de un cilindro de gas [11].

## 1.5. FORJADO

El forjado es un proceso de conformación de metales por medio de deformación plástica de un metal, ocasionada por esfuerzos impuestos sobre éste, ya sea por impacto o por presión. El forjado es el primero de los procesos de tipo de compresión que obligan al metal a tomar cierta forma [13].

La forja, es un antiguo método de conformación de metales como la extrusión y la laminación. Considerada la extrusión como el primer proceso de moldeo de metales para piezas elaboradas por un herrero el cual es un proceso que puede ser realizado en caliente como se presenta en la Fig. 1.14, o en frío, en el cual la deformación se produce por cargas repetidas (martillazos) sobre una superficie plana de acero [1]. Esta característica de deformación de los metales y aleaciones por medio de enormes cargas ha generado dos principales formas: por presión continua, o por choques de martillos con el metal [13].

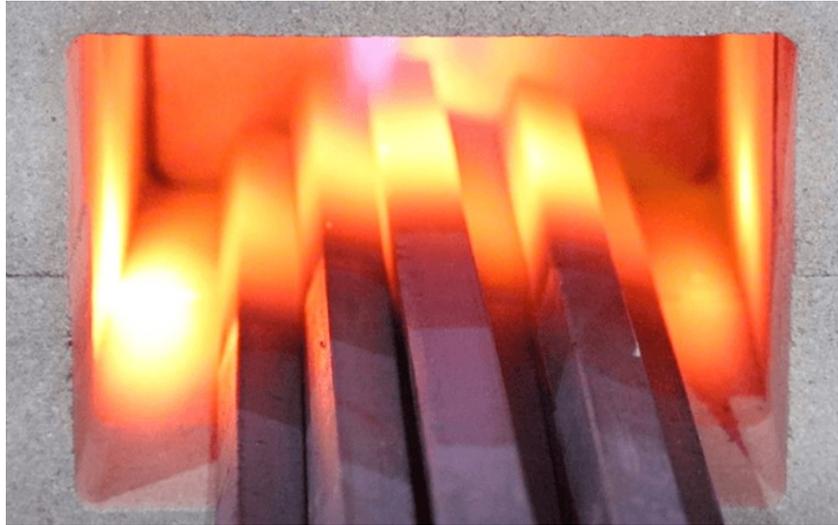


Fig. 1.14. Varillas cuadradas sometidas a forja [13].

Además, una de las ventajas del proceso del conformado de los metales por forja no produce arranque de viruta, con lo que se generará un ahorro en material en relación con otros procesos, como el maquinado [1].

### 1.5.1. TIPOLOGÍA DE LA FORJA

A través de los años, los herreros han visto la necesidad de incrementar la producción y la calidad de sus trabajos. Con la integridad metalúrgica surgieron nuevos comportamientos físicos y químicos de los elementos metálicos, enlaces metálicos, y sus aleaciones obligando a los herreros el desarrollo de nuevos tipos de forja, en los cuales se tienen como primordiales: forja libre, forja con estampa, forja isotérmica y recalcado, así [1]:

- a) **Forja libre.** Es el tipo de forja industrial más antiguo, este se caracteriza porque la deformación del metal no está limitada (es libre) por su forma o masa. Se maneja para fabricar piezas únicas o pequeños lotes de piezas, donde normalmente éstas son de gran tamaño. Además, este tipo de forja sirve como preparación de las preformas a manejar en forjas por estampa. También se puede encontrar como forja en dados abiertos [1].

- b) **Forja con estampa.** Este tipo de forja consiste en colocar la pieza entre dos matrices que al cerrarse conforman la pieza con la forma y dimensiones que se desean obtener de acuerdo a la cavidad que posee. Se maneja para fabricar grandes series de piezas cuyas dimensiones y geometrías pueden variar ampliamente. Las dimensiones de estas piezas van desde unos pocos milímetros de dimensiones y gramos de peso hasta varios metros y toneladas, y sus geometrías pueden ser simples o complejas. A medida que avanza el proceso, ya sea empleando martillos o prensas, el material se va deformando y adaptando a las matrices hasta que adquiere la geometría deseada. Este proceso se debe realizar con un cordón de rebaba que sirve para aportar la presión necesaria al llenar las zonas finales de la pieza, especialmente si los radios de acuerdo de las piezas son de pequeño tamaño y puede estar sin rebaba, dependiendo de si las matrices llevan incorporada una zona de desahogo para alojar el material sobrante (rebaba) o no [1].
- c) **Forja isotérmica.** La forja isotérmica es un tipo especial, en la cual la temperatura de los troqueles es significativamente superior a la manejada en procesos de forja convencional [1].
- d) **Recalcado.** También llamado forja de recalcado, es una operación de deformación en frío o en caliente, en la cual una parte o pieza de trabajo cilíndrica aumenta su diámetro y reduce su longitud. Debido a este tipo de aplicaciones, se producen más partes por recalcado que por cualquier otra operación de forjado [1].

### 1.5.2. APLICACIONES

Actualmente existen muchas aplicaciones de la forja en diferentes campos de la industria, como: construcción de piezas ornamentales, en el cual son únicas en su clase al ser elaboradas por la experiencia del herrero. Como ejemplo, se presenta en la Fig. 1.15, piezas únicas. En la industria, se forja

piezas en mazas utilizan patrones de las cuales se puede citar: pernos, rejas, tornillos, remaches piezas de autos, entre otros [13].



Fig. 1.15. Hierro dulce forjado para ornamentación [13].

### 1.5.3. TIPOS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS CON FRAGUAS

Una de las características de la fragua a gas es el poder alcanzar grandes temperaturas en periodos cortos de tiempo. A su vez, permite calentar el material de forma homogénea. Estas características son de gran importancia en los tratamientos térmicos al producir piezas con la temperatura deseada en un menor tiempo. Los diferentes tratamientos térmicos permiten a la pieza cambiar las propiedades mecánicas como la dureza, durabilidad, tenacidad entre otras [14].

Los tratamientos térmicos más conocidos en procesos de forja son: el recocido, normalizado, temple y finalmente el revenido. A continuación, se describen algunas características de estos tratamientos térmicos realizados por medio de una fragua, estos son [15]:

- **Recocido.** Es un tratamiento térmico cuyo objetivo principal es el ablandamiento del acero. Consisten en calentamientos a temperaturas adecuadas, seguidos generalmente de enfriamientos lentos.

- Normalizado. Es un tratamiento térmico que sirve para afinar la microestructura. También se usa siempre que se quiera eliminar los efectos de cualquier tratamiento térmico anterior. Es un tratamiento importante para los aceros como preparación para el temple, homogeneizando su estructura en toda la pieza después del forjado, y eliminando los efectos del sobrecalentamiento en el crecimiento del tamaño de grano [15].
- Temple. Se conoce al acero templado al que se le realiza un tratamiento térmico de endurecimiento, se le mejoran o aumentan sus propiedades mecánicas y dureza, aunque también su fragilidad. Si se calienta un acero a la temperatura de austenización, donde la estructura cristalina que tenía a temperatura ambiente se modifica, formando cristales sólo de austenita, y luego se enfría lentamente, la austenita se transformará en otras estructuras como la perlita y ferrita o cementita dependiendo del porcentaje de carbono. Pero si se calentara una barra de acero de pequeño espesor o diámetro a la temperatura de austenización, asegurando su completa austenización y se enfría rápidamente en agua, los cristales de austenita no tienen tiempo de transformarse en perlita, ni ferrita o cementita; obteniendo una nueva estructura en forma de agujas denominada martensita, y en algunos casos con cristales de austenita retenida que no han tenido tiempo para su transformación [15].
- Revenido. Al templar el acero este queda generalmente demasiado frágil. La fragilidad del acero templado se corrige por medio de un revenido, el cual es un tratamiento térmico que se realiza siempre después del temple y consiste en calentar el acero a una temperatura inferior a la temperatura eutectoide, mantenerlo un tiempo determinado y enfriarlo al aire. El objetivo no es eliminar los efectos del temple, sino modificarlos sacrificando dureza y resistencia mecánica durante el revenido, pero aumentar la tenacidad. De esta manera se aumenta la energía interna (resistencia al impacto) antes de romper la pieza por su elevada dureza y

baja ductilidad, disminuyendo su fragilidad. Eliminando también los esfuerzos internos que tienen los aceros templados después del enfriamiento brusco [15].

#### **1.5.4. EFECTOS DE LA FORJA**

Después del tratamiento térmico, las piezas forjadas adquieren propiedades de alta resistencia y tenacidad, la que se produce en el proceso de forjado, teniendo en cuenta ciertas características del material durante el proceso, las cuales son [1]:

- El material estará formado por pequeños cristales individuales conocidos como granos, los cuales también contienen impurezas que envuelven a los granos, a menor tamaño de estos, ocurre una mejora superficial, y las propiedades mecánicas del material [1].
- El afinamiento del grano por forja, se logra al golpear el material a una temperatura superior a la recristalización, produciendo una recristalización dinámica [1].
- El aplastamiento de los lingotes de metal, durante el forjado, las sopladuras o porosidades se evitan por el efecto combinado de las altas temperaturas y el proceso de forjado [1].

#### **1.5.5. FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS**

La complejidad del proceso de forja (plasticidad a alta temperatura, geometría variable, elevadas tasas de deformación) hace que los cálculos de presiones, fuerzas, deformaciones, temperaturas locales, etc., sean muy complejas [1].

El cálculo de fuerzas y esfuerzos en la forja de metales tiene como principal objetivo el desarrollo de equipo como prensas y martillos para forjar.

Las prensas hidráulicas o mecánicas ofrecen gran versatilidad y control de la fuerza de forja para una deformación homogénea del material. De forma contraria, los martillos ofrecen impactos sucesivos sobre el material, en donde la fuerza es controlada por la energía de la caída de la masa. Las siguientes ecuaciones definen el cálculo de las fuerzas y esfuerzos aplicados en la forja [1]:

**a) Fuerza en donde se realiza la forja.**

La fuerza necesaria para realizar la forja es como se presenta en la Ec. 1.1.

$$F_{\text{forja}} = \sigma_f \cdot K_f \cdot A \quad (1.1)$$

donde:  $\sigma_f$  es el esfuerzo de fluencia del material,

$K_f$  en forja con estampa, y

$A$  es el área proyectada de la pieza incluyendo la rebaba.

Así,  $K_f$  se obtiene de tablas; en forja libre,  $A$  es el área de contacto entre la matriz y la pieza por lo  $K_f$  se obtiene a partir de Ec. 1.2.

$$K_f = 1 + \frac{0.4 \cdot \mu \cdot D}{h} \quad (1.2)$$

donde:  $\mu$  es el coeficiente de rozamiento entre la pieza y la superficie,

$D$  es el diámetro de contacto, y

$h$  es la altura de la pieza.

**b) Cálculo del esfuerzo de fluencia.**

El esfuerzo de fluencia es el límite elástico de la pieza. A partir de este esfuerzo, se calcula la fuerza necesaria para conformar la pieza. Se calcula a partir de la Ec. 1.3.

$$\sigma_f = K \cdot e^n \quad (1.3)$$

donde: K es el coeficiente de resistencia del material (se obtiene de tablas), y  
n es el coeficiente de endurecimiento del material (se obtiene de tablas).

**c) Cálculo de la deformación.**

La deformación está dada por un cambio de las condiciones iniciales con respecto a las finales. En la forja, al no ser lineal este cambio, este se determina por medio de Ec. 1.4.

$$e = \ln \frac{h_i}{h_f} \quad (1.4)$$

donde:  $h_i$  es la altura inicial, y  
 $h_f$  es la altura final.

## **1.6. ANÁLISIS DE COSTOS**

A continuación, se da una breve introducción al tema de costos. Este a su vez será ampliamente detallado en el capítulo 3, del presente trabajo de grado [16]. Al momento de diseñar, se debe tomar en cuenta los costos directos e indirectos, puesto que pueden ser un factor crítico para que el proyecto pase de la fase de diseño a la fase de fabricación; todo dependerá del costo general proyectado. El término costo es una serie de gastos aplicada a diferentes circunstancias de un negocio o de una industria: como la compra de la materia prima, de las maquinarias y herramientas, de la fabricación de un bien, de una serie de operaciones para la obtención de un producto, del mantenimiento de los equipos, del transporte, del salario de los trabajadores, etc [1].

Hay muchos tipos de costos con los que corren los diseñadores al momento de diseñar un equipo para su futura ejecución los cuales se clasifican en relación al objeto de costo [1]:

- Costos directos, y
- Costos indirectos.

Posteriormente, se plantearán diferentes configuraciones de diseño de la fragua a gas en la que se pueden adicionar o suprimir elementos que elevaran o disminuirán el costo del proyecto dependiendo de los materiales que se necesiten para la especificación de diseño que se adapte a las necesidades [1].

## **1.7. SEGURIDAD**

En el presente trabajo, en el capítulo 4, se explorará a profundidad las diferentes medidas de seguridad que se deben tomar al operar la fragua. La seguridad del personal es una característica importante al momento del desarrollo de un equipo que trabajara a altas temperaturas como lo son calderas, hornos, fraguas, entre otros. La importancia recae en proteger principalmente al operario para evitar lesiones o accidentes. También detalla las medidas de seguridad que se deben tener para la adecuación del equipo en la zona de trabajo [1].

Posteriormente, en el capítulo 4, se busca describir las características en las protecciones que se necesitaran para el uso del equipo. La fragua deberá tener un buen proceso de funcionamiento, y deberá contar con la normativa respectiva para garantizar el bienestar físico del operario y de las instalaciones adyacentes [1].

## **2. DISEÑO MECÁNICO Y ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE UNA FRAGUA A GAS PARA FORJA DE METALES**

Para conformar adecuadamente el hierro y el acero se necesita controlar el calentamiento, particularmente, del acero SAE 1045 el cual se seleccionó para parametrizar el diseño y definir un valor de temperatura máximo. Dado que los aceros con menor porcentaje de carbono tienen un rango de temperatura en el mismo orden, así la fragua puede ser utilizada por igual, teniendo precaución de controlar la llama y la temperatura para no quemar dichos metales.

Para que la temperatura de la cámara de combustión pase rápidamente de una temperatura ambiente a una temperatura de forja entre un intervalo de 950 a 1,100 °C. Este capítulo tiene como objetivo diseñar una fragua que permita obtener la temperatura del proceso de una forma más rápida y controlada que con los hornos tradicionales de carbón, así no producirá las impurezas generadas por el carbón y se disminuirá los tiempos prolongados de encendido y calentamiento. Además, el horno diseñado tiene que permitir que se pueda utilizar para asistir otros procesos como de tratamientos térmicos.

### **2.1. GENERALIDADES SOBRE LA FRAGUA A GAS**

Muchos proyectos de fraguas a gas propano pueden ser encontrados en internet. Así, existe una gran cantidad de videos, fotos y artículos que describen lo fácil que puede ser diseñar y a su vez construir una fragua. Las fraguas a gas son comúnmente construidas en formas geométricas simples como los son un cilindro o un cubo [2]. Las paredes de ladrillos son revestidas en su exterior por medio refractarios y con fibra refractaria para un mayor aislamiento, o simplemente con fibra refractaria por su maleabilidad para figuras más complejas. Se refuerzan con una armadura metálica para proteger los elementos internos [17].

Una fragua puede ser calentada por un quemador atmosférico o por aire forzado. El quemador atmosférico es recomendado a nivel del mar y al mismo tiempo relativamente fácil de obtener en tiendas especializadas o de construir si se tiene el equipo adecuado para efectuar las pruebas de presión y fugas según norma [17].

Este tipo quemador es el indicado para fraguas, ya que se pueden alcanzar las temperaturas de forja sin necesidad de un soplador; puede ser fácilmente remplazado por uno más avanzado, así como agregar más quemadores si se requieren mayores temperaturas. Esto dependerá de la temperatura que se requiera alcanzar y las piezas que se forjarán. Se tiene que tomar en consideración que la cantidad de quemadores mínimos está dada por el espacio vacío de la cámara de combustión. En la industria de la forja, se utiliza un quemador por cada 5,700 cm<sup>3</sup> (350 pulg<sup>3</sup>) de espacio en la cámara de combustión para lograr alcanzar las temperaturas estándares de forja [2].

## **2.2. MARCO NORMATIVO**

Para el desarrollo de la propuesta de diseño de la fragua a gas de este trabajo de graduación, se han utilizado las normas siguientes, las cuales son [18]:

- Asociación Nacional para Normativas del uso de Productos Inflamables, NFPA [19]; y
- Seguridad y Manejo de Quemadores a Gas para Hornos y Calderas, ISO 23550:2011 [20].

### 2.3. PROCESO DE DISEÑO DE UNA FRAGUA

En el proceso de diseño y construcción de un prototipo (ver, Fig. 2.1) de fragua a gas propano para el proceso de forja de metales con fines didácticos para la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador es necesario tener en consideración diferentes variables de proceso como: la temperatura del metal base, velocidad de calentamiento, tamaño del metal, dimensionamiento de las piezas, seguridad, entre otras. El diseño debe satisfacer las variables citadas anteriormente para obtener satisfactoriamente el diseño final. En el desarrollo del diseño de la fragua se definirán principios básicos para el diseño, prototipo base, descripción de la fragua, parámetros de diseño, sistemas de la fragua, cálculos de diseño, pérdidas de calor, normas, entre otros aspectos. Se utilizará la herramienta CAD de modelación SOLIDWORKS 2020 versión académica con el fin de lograr la geometría inicial de cada una de las piezas y elementos que lo conforman, según antecedentes, para la posterior modelación 3-D del diseño parametrizada obteniendo una visión real de cada uno de los elementos logrando la adecuación de los elementos en el diseño final [21].

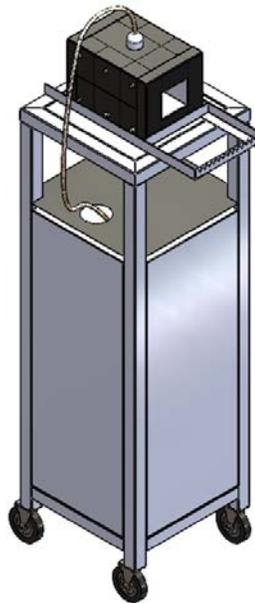


Fig. 2.1. Modelo 3D fragua a gas [21].

### 2.3.1. DESCRIPCIÓN DE LA FRAGUA

Como base del diseño de la fragua, se partirá de un horno eléctrico (ver, Fig. 2.2) que se encuentra fuera de funcionamiento y se puede reciclar sus partes para disminuir los costos totales de fabricación mediante la reutilización del horno o sus partes. Así, primeramente, se realizó un diagnóstico con el propósito de conocer las condiciones en las que se encuentra dicho horno para su posterior reestructuración y modificación para que preste un servicio o entre en funcionamiento con gas propano [21].

En caso de no contar con un horno para ser reciclado, este se puede sustituir ya sea por tanques de gas propano, oxígeno, entre otros. Así, estos deben ser debidamente purgados y lavados para remover todo remanente de gas antes del corte para su remodelación [21].



Fig. 2.2. Horno eléctrico que se utilizará para su reconversión a fragua a gas propano [21].

En la Tabla 2.1 se detalla las observaciones del horno que se realizaron durante la inspección visual. No se realizó ningún despiece que afecte el equipo o remoción de piezas dejando el equipo intacto y de la misma forma que se encontró. El equipo se usará como base modelo para el diseño exclusivamente; solo se detallarán las modificaciones que se deben realizar para convertir el horno en una fragua a gas; la reconstrucción se detalla, pero no se limita, a un cambio total de la estructura para que el horno se acople al diseño propuesto de la fragua. En capítulos posteriores, se detallarán las modificaciones que se deben realizar para una renovación [21].

Tabla 2.1. Observaciones del horno a reutilizar [21].

Especificaciones	Descripción
Modelo	Sin modelo
Forma	Rectangular
Dimensiones horno	Alto: 53 cm, Ancho: 49 cm, Largo: 61 cm
Estructura metálica exterior	Lámina de acero de 1/16 de pulg
Marco para sujeción de la estructura metálica	Ángulos acero dulce de 1 1/2 de pulg x 1/8 de espesor
Cámara de calentamiento	El interior cuenta con ladrillo cerámico y manta cerámica.
Dimensiones cámara de calentamiento	Alto: 20 cm Ancho: 20 cm Largo: 30 cm
Puerta	Manta refractaria recubierta con lámina metálica
Sistema de calentamiento	La resistencia presenta deterioro y no funciona. La termocupla no funciona.

Durante la inspección al equipo a remodelar, se tomaron las siguientes anotaciones:

➤ Conexiones eléctricas:

- No funciona

➤ Medidor de temperatura;

- Sensor y resistencia arruinados

➤ Observaciones Preliminares:

- Presenta deterioro en su piso y paredes internas de ladrillo refractario,
- Ladrillos refractarios con fisuras y quebrados,
- Oxidación en sus partes metálicas,
- Rodamientos oxidados,
- Termocupla dañada en su totalidad,
- Ausencia del sistema eléctrico del control de temperatura,
- Pernos oxidados,
- Manta refractaria en mal estado, y
- No presenta picaduras por efecto de la corrosión en la parte externa.

De lo anterior, se puede enlistar las actividades que deberán llevar a cabo para su reconversión. Así, la intervención a realizar:

- Desinstalar todo el sistema eléctrico, incluyendo termocupla y remoción de resistencias eléctricas.
- Refuerzo de parte externa con ángulos y platinas por la expansión y presión del gas caliente.
- Corte transversal para reducir volumen
- Refuerzo de parte externa con ángulos y platinas por la expansión y presión del gas caliente.
- Reemplazo de ladrillos refractarios quebrados.
- Relleno y revestimiento de las paredes del horno con fibra refractaria y cemento.
- Elaboración de pernos para sujeción de ladrillos refractarios
- Perforación en la parte superior para colocar quemador
- Pulido de la estructura para remover la placa de óxido y corrosión
- Cambio de rodamientos
- Pintar con pintura para altas temperaturas.

### **2.3.2. RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE UNA FRAGUA A GAS**

Una característica que comparten casi todas las fraguas con éxito es la forma sencilla y compacta del diseño; una figura geométrica simple a la cual se le puede realizar ampliaciones o modificaciones de tal manera que logre satisfacer la mayoría de trabajos y las temperaturas de forja en función de las necesidades del usuario. Los principales aspectos a considerar para el diseño de horno son el metal a forjar, el tipo de combustible, el tipo y cantidad de quemadores (en el caso de los hornos a gas y petróleo) y la disposición de la circulación de la llama [17].

Para cubrir las necesidades del diseño se identifican las consideraciones siguientes [17]:

- **Cuerpo de la fragua.** Debido a que este trabajo de graduación está propuesto con el fin de reutilizar un horno eléctrico, el cual tiene una forma rectangular. Las formas rectangulares son más eficientes para fraguas, ya que se adaptan mejor al espacio, permite una mejor distribución de las piezas dentro de la fragua para un calentamiento homogéneo. Desafortunadamente, esto conlleva a un mayor trabajo en el diseño de la estructura metálica; además, el quemador sólo se puede posicionado a ángulo de  $90^\circ$  porque existirán mayores pérdidas al no aprovechar el rebote de la llama, en consecuencia, las piezas no se calentarían de forma uniforme. Además, no se necesita el uso de la fibra cerámica, con lo cual se disminuyen los costos asociados a la misma, ni se desprenden partículas de la fibra que son nocivas a la salud. En cambio, se tiene a utilizar cemento refractario para tapar las grietas donde la llama podría escapar. Además, se suelen utilizar barras metálicas y tornillos que atraviesan los ladrillos para sujetarlos a la estructura lo que genera mayor estabilidad y permite en alguna media cargas de tracción generadas por flexión en el conjunto [22].

En cambio, las fraguas cilíndricas son beneficiosas cuando se reutiliza tanques de gas para aprovechar su estructura metálica; por su forma, el quemador se puede ubicar a  $45^\circ$  sobre la superficie metálica para un calentamiento por medio de una llama envolvente lo que incrementaría la temperatura interna de la fragua, por lo que evitaría las llamadas zonas frías dentro de la cámara de combustión de la fragua. En contraposición, no se pueden ocupar ladrillos refractarios para el diseño de la cámara de combustión por su complejidad de ajustar los ladrillos a la forma circular del cuerpo siendo necesario la fibra cerámica para dar su forma circular que además debe ser protegida con capas de sustancia refractaria llamada ITC-100 la cual se aplica directamente a la fibra cerámica para disminuir las partículas cerámicas cuando la fragua este en servicio. En la industria de la forja, se utilizan dos capas de fibra cerámica para tener mayor aislamiento y lograr las temperaturas de forja, pero a costo de menor espacio de trabajo para piezas más voluminosas como cabezas de martillos y hachas [22].

- **Cámara de combustión.** Para la construcción de la cámara de combustión, se apilarán 9 ladrillos con medidas de 228.6 x 114.3 x 63.5 mm (9 x 4.5 x 2.5 pulg) que corresponden al largo, ancho y alto, respectivamente. Este diseño terminó siendo de un volumen neto de la cámara igual a 3982.1 cm<sup>3</sup> (243 pulg<sup>3</sup>). Así, dado que el volumen es menor que 350 pulg<sup>3</sup>, se instalará un solo quemador que logrará las temperaturas adecuadas para forja de pequeñas probetas o barras de acero de hasta 4 pulg de diámetro [4].
- **Quemador.** Anteriormente, se especificó que se utilizará un quemador atmosférico a diferencia de una que funcione por aire forzado. El quemador de aire forzado es ineficiente y no cumple con los aspectos de diseño al utilizar una conexión eléctrica o acceso a energía eléctrica en zonas donde no haya. La portabilidad de la fragua a gas y su fácil utilización son aspectos importantes en el diseño de la misma. Cabe mencionar que el diseño del quemador será completamente omitido ya que no se cuenta con el equipo para pruebas de seguridad según la normativa ISO 23559:2011 para diseño, construcción y prueba [20]. Si se detallara los elementos necesarios para la conexión del sistema de alimentación. Como nota, la compra del quemador puede ser omitida en caso que se reúnan los requisitos para la construcción del quemador. De ser necesario, se puede referir a la norma mencionada para los pasos para su diseño, construcción y pruebas [23].
- **Ubicación del quemador.** Se refiere a dónde y cómo se colocará el quemador en la fragua. Se colocará en la parte superior perpendicular a la fragua en la que se taladrará un agujero en el centro de la pared superior; el primero con un diámetro menor a la boquilla del quemador que penetrará por toda la parte superior y el otro del diámetro de la boquilla del quemador para la instalación hasta la mitad del ladrillo superior generando un escudo alrededor del quemador. Esto, tiene como objetivo evitar que el quemador sobresalga a la cámara de combustión para protegerlo del impacto y rebote de la llama. Debido al impacto de la flama con la parte inferior, es recomendado dejar una distancia mínima de 13 cm desde la base hasta la

mitad de la parte del ladrillo superior para que uno, no se generen puntos fríos, y dos, para que la llama cuando impacte no haya carbonización de la boquilla y dañe el quemador [2].

- **Una buena circulación del aire y combustible.** Debido a la quema de combustible es necesario tener una ventilación para la adecuada expulsión de los gases de escape. El área mínima necesaria para la expulsión de los gases calientes es mayor que 7 veces el área del quemador. El quemador elegido tiene un área de  $11.6 \text{ cm}^2$  ( $1.8 \text{ pulg}^2$ ), la mínima ventilación es igual a  $80 \text{ cm}^2$  ( $12.4 \text{ pulg}^2$ ). El área proyectada de las salidas es igual a  $132 \text{ cm}^2$  ( $20.5 \text{ pulg}^2$ ) por dos, la parte frontal y trasera da como resultado una ventilación de  $265 \text{ cm}^2$  ( $41 \text{ pulg}^2$ ) suficiente para el escape de los gases [4].
- **Aislante térmico.** Un buen ladrillo térmico y una protección adecuada es esencial para alcanzar altas temperaturas de forja y con buenas propiedades de aislamiento para la retención de calor dentro de la cámara, al mismo tiempo de ser más económico y no desprender fibras como se mencionó anteriormente. No necesita de protección adicional de químicos y cuenta con una alta duración, así como resistencia al clima. Con un buen aislamiento se reduce el gasto excesivo de combustible y mejora en el tiempo de calentamiento de la forja [2].
- **Estructura metálica para protección de la fragua y sus componentes.** Ya que la llama puede salir por los espacios entre los ladrillos o rajaduras que se generan a altas temperaturas o en el curado de los materiales, se recubrirá externamente la fragua con una lámina de hierro la cual protegerá los materiales. La estructura se asegurará con ángulo de hierro que será soldado a la estructura por seguridad para posteriormente ser protegida de la corrosión y oxidación con pintura para altas temperaturas [2].
- **Soporte para piezas grandes.** Para aquellas piezas como tubos, barras de construcción, se dejará abierta la fragua de los lados frontal y posterior. Al lado frontal se soldará una bandeja endentada para mayor estabilidad en las

piezas y que no halla juego mientras se caliente el material. No se utilizará la puerta del horno a reciclar [24].

- **Pintura para recubrimiento del metal exterior.** El cuerpo debe ser pintado para protegerlo de la oxidación y corrosión. Se tienen muchas pinturas en el mercado que funcionan para aplicaciones de alta temperatura. Una pintura térmica de color negro con una resistencia de 650 °C, dará un acabado adecuado y protegerá la estructura del clima y la temperatura. El exterior estará sujeto a altas temperaturas, polvo y cambios de clima tropicales. La parte interior de la cámara de combustión será protegida por el contacto directo con las llamas con los ladrillos cerámicos por lo cual no necesitará una capa extra de algún producto para su protección [2].
- **Movilización de la fragua.** Debido a su tamaño y portabilidad es necesario un sistema de rodamiento. Un horno trabajará con altas temperaturas por lo que no se puede utilizar llantas de caucho o derivado debido a su poca resistencia a altas temperaturas y su grado de inflamabilidad. Se instalarán llantas de hierro a partir de tubo hueco de acero inoxidable de 3 pulg de diámetro, pulido para que no dañe el piso del laboratorio y que resistan el peso total del equipo [2].

## **2.4. SISTEMAS QUE COMPONEN LA FRAGUA A GAS**

Los sistemas de la fragua son todos los componentes por separado de las diferentes partes que controlaran el funcionamiento de la fragua [21].

### **2.4.1. EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN**

Consta de un cilindro de gas propano de 35 libra con una presión media de hasta 135 psi. Adema, para la conexión entre el quemador y el tanque de

propano se necesita un regulador de presión a la toma de gas, una válvula de paso, una manguera para conducir el gas, una válvula de bola, un Bushing para reducción de diámetros al conector del quemador como se presenta en la Fig. 2.3, el cual esquematiza las instrucciones de ensamble de estos componentes [25].

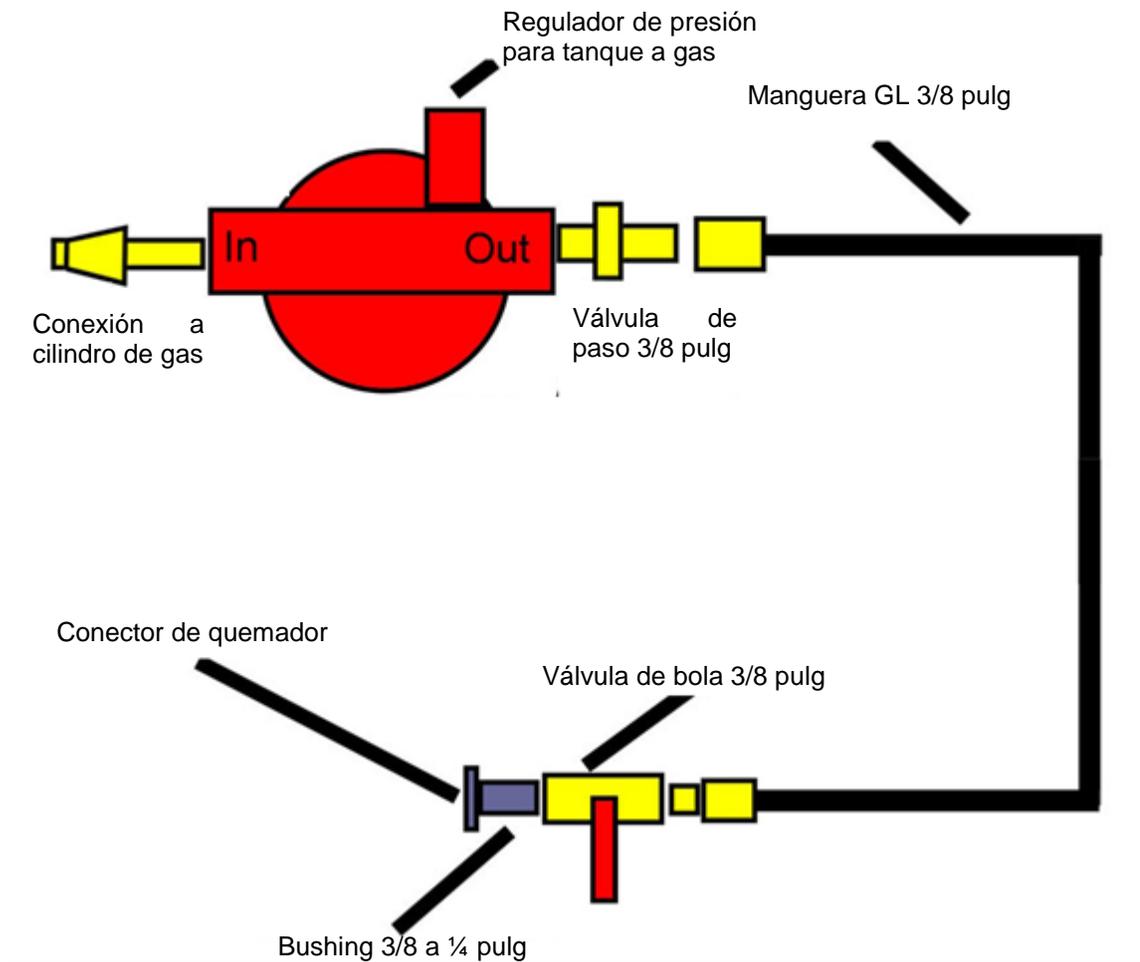


Fig. 2.3. Instrucciones para conexión de un quemador [25].

## **2.4.2. SISTEMA DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA**

El control de temperatura de la fragua se manejará por medio de un termómetro de pistola que mide con un intervalo de precisión desde -50 a 1,500 °C (-58 a 2,732 °F), con una tolerancia de  $\pm 2\%$  en promedio, la cual es más precisa que otros tipos de termómetros; es decir, se obtendrá una medición más precisa en la pieza. No se ocupará una termocupla ya que el sistema no es cerrado debido a que se busca una fácil evacuación de los gases de escape. Así, se controlará la temperatura de las piezas para asegurar el control de la temperatura durante el proceso [25].

## **2.4.3. SISTEMA DE CALENTAMIENTO**

El sistema de calentamiento está compuesto por un quemador. Como la fragua trabaja con el poder calorífico del propano a diferencia del carbón, un buen sistema de calentamiento tiene que ser utilizado para mantener un flujo de gas y calentamiento constante del propano [21].

Muchos tipos de quemadores se tienen disponibles en la industria para fraguas de propano y muchos planos para hacerlos en casa. Los quemadores pueden ser atmosféricos que trabajan con el Principio de Venturi al aumentar la velocidad con la disminución de la presión atmosférica [6].

Por el contrario, los quemadores por aire forzado utilizan un soplador que impulsa el aire hacia el quemador aumentando la velocidad. Los quemadores atmosféricos trabajan perfectamente a niveles del mar o pequeñas elevaciones y no requieren de un mecanismo para entregar el aire. Los quemadores por aire forzado son más explotados en aplicaciones a altas elevaciones debido al poco aire a elevadas distancias y la incapacidad de quemadores atmosféricos de entregar la cantidad adecuada de aire para una mezcla adecuada. Se puede decir que un quemador por aire forzado no cumple los requisitos de diseño. Debido a que el trabajo de graduación busca la portabilidad del equipo, una

baja inversión, y con fines didácticos, el quemador atmosférico es la elección. La fragua será utilizada a pequeñas elevaciones cercanas al mar por lo que la presión será suficiente para la mezcla con el propano [2]. Así, en el Anexo A.1 se presenta la cotización del quemador.

#### **2.4.4. SISTEMA DE AISLAMIENTO TÉRMICO**

El sistema de aislamiento está compuesto por varios componentes dentro de la carcasa metálica, entre los cuales se tienen: los ladrillos refractarios apilados de tal forma que dimensionan la fragua y la cámara de combustión. Se le harán agujeros en diferentes posiciones con una broca de 1/8 de pulg en donde se introducirán delgadas barras de acero estructura de 1/8 para sujetar los ladrillos con otros. Por otra parte, se sellarán con concreto refractario para evitar que la llama salga por las aberturas entre las uniones de los ladrillos perdiendo calor y eficiencia de la fragua. Pequeños pernos serán utilizados para unir la tapadera metálica con marco de la fragua para una buena sujeción [26].

#### **2.4.5. SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN**

Se necesita un regulador de presión y una válvula de paso para controlar la presión de operación que irá al quemador. Se necesita regular la presión del tanque en el intervalo de 3 a 35 psi. La válvula de paso es una medida de seguridad necesaria para evitar que el gas retorne al tanque al haber un cambio de presión. El regulador de presión no puede ser solo una simple llave de apertura ya que no llega a presiones de 0 psi [21].

#### **2.4.6. SISTEMA DE PUESTA EN MARCHA**

El procedimiento para la puesta en marcha consiste en abrir la válvula de gas, es esencial que se abra primero ésta y no la válvula de paso ya que de lo contrario el gas llegaría directamente lo cual podría causar un accidente. Seguidamente, se abre la válvula de paso para permitir que el gas recorra las mangueras hasta el quemador. Una vez llega el gas al quemador, se pone un papel enciende y después se abre el quemador para iniciar la combustión. También, se puede hacer con un soplete, chispero de piedra, pero se tiene que tener presente que la distancia desde la cámara a la llama sea como mínima el doble de la distancia para evitar accidentes [21].

#### **2.5. PARÁMETROS DE DISEÑO**

En el proceso de diseño es fundamental parametrizar como se detalla en la Tabla 2.2 el diseño a partir de las necesidades que cumplan con los parámetros de diseño, permitiendo la selección de los elementos. Cabe mencionar que estos parámetros no son únicos y pueden ser cambiados de acuerdo a las necesidades que se requieran en la fragua a construir [21].

Entonces, los parámetros son [21]:

- La fragua se diseñará a partir del reciclaje de un horno eléctrico que se encuentra en la Escuela de Ingeniería Mecánica,
- Metal a forjar,
- Ubicación e instalación del quemador,
- Área del quemador,
- Tipo de quemador,
- Temperatura máxima de operación,
- Ladrillo refractario,
- Cemento refractario,

- Gas propano,
- Área transversal para escape de gases,
- Tiempo de operación,
- Encendido de la fragua,
- Ubicación de la fragua, y
- Flujo de aire.

Tabla 2.2. Parámetros para el diseño de la fragua [27].

Parámetro	Especificación	Valor
SAE 1045	Composición química	0.4 – 0.5%C
	Temperatura de fusión	910 °C
	Temperatura promedio de forja	1200 °C
	Conductividad térmica	52 W/m °C
Ladrillo refractario	Material	Dióxido de silicio
	Dimensiones	0.2286 x 0.1143 x 0.0635 m
	Densidad	2400 kg/m <sup>3</sup>
	Conductividad térmica	0.75 W/m °C
Cemento refractario	Material	Alúmina
	Temperatura de trabajo	1649 °C
	Conductividad térmica	0.3 W/m °C
Quemador	Consumo de potencia	5.1 kW
Gas propano	Temperatura de combustión con aire	1075 °C
	Temperatura de combustión con oxígeno	1385 °C

## 2.6. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Para diseñar la fragua se tomaron las siguientes consideraciones para que opere de manera óptima [21].

- Para alcanzar la temperatura de forja el volumen de la cámara de combustión tiene que ser menor o igual que 350 pulg<sup>3</sup>;
- El tubo del quemador no debe de sobresalir en la cámara de combustión para evitar calentamiento;
- El quemador debe estar soldado en la parte superior sin huecos ni poros;

- La llama tiene que tener una distancia mínima de 13 cm para que no se generen puntos fríos. Se alcanzan mayores temperaturas después de la llama;
- La cámara de combustión debe de tener un área mínima de 50 cm<sup>2</sup> o 7 veces el área transversal de la boquilla del quemador para una adecuada ventilación y escape de los gases calientes producidos por la combustión y nunca debe de sellar herméticamente; y
- Se debe dejar curar por 15 días evitando cambios de temperatura en el concreto para que no se fracture, si se usa cemento refractario.

## **2.7. CÁLCULOS DE DISEÑO**

Se realizarán los cálculos de transferencia de calor correspondientes a la selección del quemado al cuantificar el total de pérdidas por los diferentes mecanismos de transferencia de calor. También, un análisis mecánico para el cálculo del peso, inercia, centro de masa, para la estructura externa [27].

## **2.8. TRANSFERENCIA DE CALOR**

Se efectuará un análisis termodinámico a la fragua para determinar los requerimientos energéticos necesarios y las pérdidas de calor al ambiente que interferirán en el incremento de temperatura para lograr la temperatura de forja del acero [27].

### **2.8.1. REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS**

La energía requerida para elevar la temperatura hasta lograr la temperatura de forja de cualquier metal puede ser simplificada si se presume que la conductividad térmica es transitoria y no varía en ciertos intervalos de temperatura. Se considera la capacidad calorífica del acero para calcular la cantidad de calor que se tienen que suministrar por unidad de masa para elevar la temperatura en una unidad [27].

El calor latente no se tomará en consideración para los análisis porque la cantidad de energía que se transferirá no busca cambiar el estado de las piezas. Dicho esto, se asumirá que las probetas estarán en estado sólido todo el tiempo y no se alcanzará el estado líquido [27].

### **2.8.2. ANÁLISIS ENERGÉTICO EN EL ACERO**

Para los cálculos se utilizará aceros simples al carbono los cuales se pueden definir de la siguiente manera: aleación hierro con carbono con un contenido de este último en el intervalo de 0.02 hasta el 2% con pequeñas cantidades de otros elementos que se consideran como impurezas tales como P, S, Mn, y Si [27].

Mediante el cambio de temperatura del elemento se puede determinar el calor necesario para elevar la temperatura del metal sin que tenga un cambio de estado por medio de la Ec. 2.1.

$$Q = m * C_p * \Delta T \quad (2.1)$$

Para el desarrollo de los cálculos se utilizó un acero al medio carbono SAE 1045 con una composición química de 0.45 % de C, en estado de entrega recocido, el cual presenta una capacidad calorífica de:

$$C_{p_{\text{acero}}} = 460 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

La cantidad de metal que se podrá forjar a la temperatura a la temperatura de forja está dada por la Ec. 2.2, en la cual, la masa es igual al volumen de la cámara de combustión por la densidad del acero. Así:

$$m_{\text{acero}} = \rho * V_{\text{cámara de combustión}} \quad (2.2)$$

Donde la densidad del acero SAE 1045 es  $\rho = 7.85 \text{ g/cm}^3$  ( $0.00785 \text{ kg/cm}^3$ ).  $V_{\text{cámara de combustión}}$  es igual a la multiplicación del largo, el ancho y el alto de la cámara de combustión.

Al sustituir los valores en la Ec. 2.2, se obtendrá el siguiente resultado:

$$m_{\text{acero}} = 0.00758 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} * 4479.8 \text{ cm}^3 \cong 34 \text{ kg}$$

Así, sustituyendo en la Ec. 2.1, se determina la cantidad de calor requerido para llevarlo a la temperatura de forja:

$$Q_{T_{\text{acero}}} = 34 \text{ kg} * 460 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} * (1200 \text{ °C} - 27 \text{ °C}) = 16781.72 \text{ kJ}$$

El valor del calor calculado es para el uso del volumen disponible en la cámara de combustión.

Si se supone que no hay pérdidas de ningún tipo y el sistema es estacionario el calor sería igual a la cantidad de energía necesaria para llevar el metal a la temperatura de forja dentro de la fragua. Pero en la realidad, los mecanismos de pérdidas de calor hacen que se requieran un análisis para determinar la energía total tomando en consideración los diferentes

mecanismos que generan pérdidas por calor en un sistema de volumen de control termodinámico [27].

El estudio de los diferentes mecanismos de transferencia de calor hace posible la determinación de las pérdidas de energía en forma de calor con el ambiente [27].

### **2.8.3. PÉRDIDAS POR CONDUCCIÓN, CONVECCIÓN Y RADIACIÓN**

Las pérdidas de calor de los objetos más calientes ocurren por tres mecanismos: conducción, convección y radiación. No se tienen material que pueda evitar por completo las pérdidas de calor, por tal razón las pérdidas de calor solo se pueden minimizar y no eliminar [27].

Una fragua se considera como un sistema abierto por el intercambio energético entre el sistema y los alrededores. La importancia de definir radica en la metodología de análisis para realizar los cálculos respectivos. La suma de las pérdidas de calor de los diferentes mecanismos de transferencia de calor dará como resultado la energía requerida del quemador para su posterior selección [27]:

a) **Pérdidas por conducción.** Las pérdidas por conducción (ver, Fig. 2.4) se producen cuando un cuerpo caliente entra en contacto con un cuerpo frío o de menor temperatura. Al producirse este fenómeno, el cuerpo frío absorbe el calor proveniente del cuerpo caliente hasta entrar en equilibrio convirtiéndose a su vez en un aislante que evita la pérdida ulterior de calor [28].

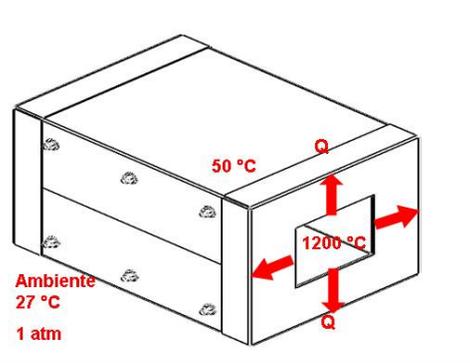


Fig. 2.4. Diagrama de transferencia de calor por conducción de las paredes de la fragua [27 y 28]

Se tendrán como pérdidas las que se tiene en las paredes y la carcasa metálica de la fragua. Además, se ignorarán las pérdidas en las esquinas y aristas. Debido a que el sistema se asume en condiciones estacionarias, se ocupará la Ec. 2.3, para determinar la transferencia de calor por conducción para estados estables.

$$Q_{\text{cond}} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (2.3)$$

Pérdida de calor en las paredes de la fragua. Las paredes forman un rectángulo compuesto por ladrillos refractarios cubiertos por una carcasa metálica. El calor se asumirá que entrará en una sola dirección desde la parte superior el cual logrará una temperatura interna de 1200 °C y se tendrá una temperatura exterior de 50 °C en la carcasa metálica. La temperatura ambiente será de 27 °C a una presión atmosférica constante. Las pérdidas de calor para una pared rectangular están dadas de acuerdo a la Ec. 2.4.

$$Q_{\text{cond}_{\text{paredes}}} = \frac{\Delta T}{R_{t_{\text{cond}}}} = \frac{T_1 - T_2}{R_{t_{\text{cond}}}} \quad (2.4)$$

$Rt_{cond}$ : es la resistencia térmica por las capas del horno y se calcula a partir de la Ec. 2.6. Puesto que los ladrillos refractarios y la placa metálica conforman la resistencia total:

$$Rt_{cond} = \frac{e}{kA} \quad (2.5)$$

Donde

$$A_{ladrillo} = 0.3429 \times 0.1143 = 0.1176 \text{ m}^2$$

$$A_{hierro} = 0.3429 \times 0.2413 = 0.0827 \text{ m}^2$$

$$e_{ladrillo} = 0.0635 \text{ m}$$

$$e_{hierro} = 0.00635 \text{ m}$$

$$k_{ladrillo} = 0.47 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$k_{hierro} = 50.2 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

Al sustituir los valores en la Ec. 2.5, las resistencias por las capas de los ladrillos refractarios y la placa metálica, se obtiene:

$$\text{Ladrillo cerámico: } R_1 = \frac{0.0635 \text{ m}}{\left(0.47 \frac{\text{W}}{\text{mK}}\right) * (0.3429 * 0.1143) \text{ m}^2} = 3.4472 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$\text{Placa metálica: } R_2 = \frac{0.00635 \text{ m}}{\left(50.2 \frac{\text{W}}{\text{mK}}\right) * (0.3429 * 0.2413) \text{ m}^2} = 382.8 \times 10^{-6} \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

Entonces, al sustituir en la Ec. 2.4, la pérdida de calor por una de las paredes de la fragua es igual a:

$$Q_{cond_{paredes}} = \left( \frac{T_c - T_f}{\Sigma Rt_{cond}} \right) = \left( \frac{1200 - 50}{3.4472 \frac{\text{W}}{\text{K}} + 382.8 \times 10^{-6} \frac{\text{W}}{\text{K}}} \right) = 232.05 \text{ W}$$

Por lo tanto, el calor total por conducción es cuatro veces el calor por una de las paredes ya que, por simetría, las paredes laterales, superior e inferior son iguales.

$$Q_{\text{total}_{\text{cond}}} = 4(232.05 \text{ W}) = 928.2 \text{ W}$$

b) **Pérdidas por convección.** Las pérdidas por convección se determinan al conocer los coeficientes de transferencia de calor ( $h$ ) de las superficies. Para su cálculo se hacen uso de las tablas de aire del libro de Transferencia de Calor, en el cual se observa que las propiedades del aire a la temperatura de la película entre la carcasa de acero y el aire circundante a temperatura ambiente como se presenta en la Fig. 2.5, y en condiciones estables son [28]:

- Temperatura de la cámara de combustión de 1200 °C,
- Temperatura exterior de la fragua de 50 °C,
- Temperatura ambiente de 27 °C,
- Ladrillo refractario  $h_{\text{int}} = 7.736 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ,
- Carcasa de acero  $h_{\text{ext}} = 5.0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , y
- Presión externa igual a la atmosférica 1 atm.

Las pérdidas de calor por convección en las paredes externas que están en interacción con el medio para un rectángulo están dadas por la Ec. 2.6.

$$Q_{\text{conv}} = h * A * \Delta T = hA(T_s - T_f) \quad (2.6)$$

Las pérdidas de calor por convección de las paredes delanteras y la cámara de combustión al frente que están expuestas al aire del medio se puede calcular por el método de resistencias como se presenta en la Ec. 2.7:

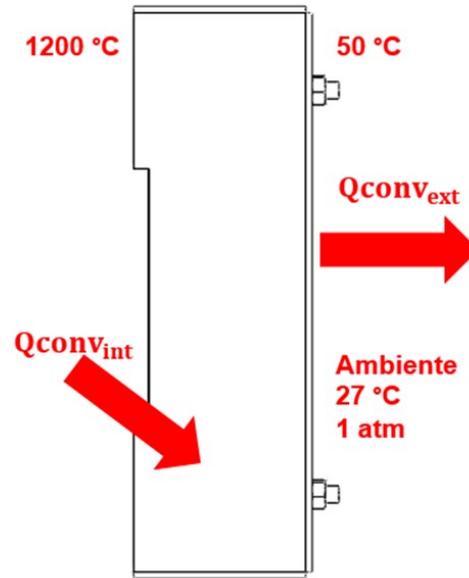


Fig. 2.5. Diagrama rectangular para transferencia de calor con paredes isotérmicas [28].

$$Q_{conv_{paredes}} = \frac{\Delta T}{Rt_{conv}} \quad (2.7)$$

$Rt_{conv}$  es la resistencia térmica por convección generada por las pérdidas entre las paredes exteriores de la fragua y la cámara de combustión se determinan con la Ec. 2.8.

$$Rt_{conv} = \frac{1}{hA} \quad (2.8)$$

La resistencia por convección interna y externa diferentes quedará de la siguiente forma:

$h_i$  es el coeficiente de convección interno debido a los ladrillos refractarios,

$A_i$  es el área interna de la fragua:  $0.1143 \times 0.3429 \text{ m}^2$ ,

$h_e$  es el coeficiente de convección de la capa externa metálica

$A_e$  es el área externa de la fragua  $0.2413 \times 0.3429 \text{ m}^2$ .

$$\text{Ladrillo refractario: } R_{int} = \frac{1}{h_i A_i} = \frac{1}{\left(7.736 \frac{W}{m^2 K}\right)(0.1143 * 0.3429 m^2)} = 3.2981 \frac{W}{K}$$

$$\text{Carcasa metálica: } R_{ext} = \frac{1}{h_e A_e} = \frac{1}{\left(5.0 \frac{W}{m^2 K}\right)(0.2413 * 0.3429 m^2)} = 2.4172 \frac{W}{K}$$

Con los valores de las resistencias térmicas por convección interna y externa, se sustituirán los valores en la Ec. 2.8, a las paredes compuestas por la fragua.

$$Q_{conv_{int}} = \frac{T_s - T_f}{R_{t_{conv}}} = \frac{1200 - 27 \text{ }^\circ\text{C}}{3.2981 \frac{W}{K}} = 355.66 \text{ W}$$

$$Q_{conv_{ext}} = \frac{T_s - T_f}{R_{t_{conv}}} = \frac{50 - 27 \text{ }^\circ\text{C}}{2.4172 \frac{W}{K}} = 112.94 \text{ W}$$

c) **Pérdidas por radiación.** Por último, se calcularán las pérdidas de calor por radiación entre la supervise de la fragua y los alrededores, y las paredes internar con los alrededores como se ve en la Fig. 2.6. [28].

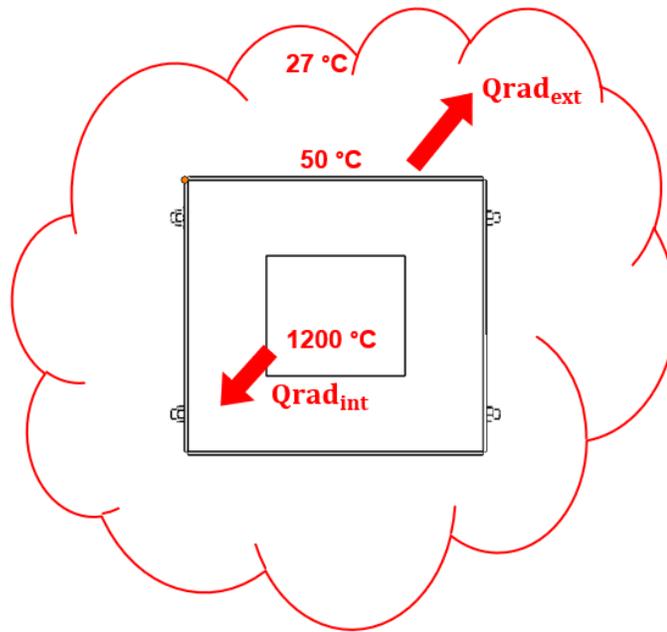


Fig. 2.6. Perfil de transferencia de calor por radiación [28].

La Ec. 2.9, determina las pérdidas de calor por radiación.

$$Q_{rad} = \varepsilon A_s (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad (2.9)$$

Donde:

$\varepsilon$  es la emisividad del material, y

$A_s$  es el área superficial de contacto.

La emisividad de la superficie se puede determinar si se toma en consideración que la capa metálica se pintará con pintura anticorrosiva resistente al calor; la emisividad común para este tipo de pinturas está entre 0.35 y 0.40. Por lo tanto:

$$Q_{rad_{ext}} = 0.35(0.2413 * 0.3429)m^2(50^4 - 27^4) = 52.74 \text{ W}$$

En el interior, se tiene el área formada por los ladrillos refractarios. Al estar abierto en la parte frontal como posterior. La emisividad de los ladrillos refractarios, al ser aisladores de calor es 0.97. Entonces, se obtiene:

$$Q_{rad_{int}} = 0.97(0.1143 * 0.14443)m^2(1200^4 - 27^4) = 163.71 \text{ W}$$

El calor requerido por el quemador es igual a la suma de las pérdidas de calor por conducción, convección y radiación, así:

$$Q_{quemador} = \Sigma Q = Q_{total_{cond}} + Q_{conv_{int}} + Q_{conv_{ext}} + Q_{rad_{ext}} + Q_{rad_{int}}.$$

$$Q_{quemador} = 928.205 \text{ W} + 242.56 \text{ W} + 112.94 \text{ W} + 52.74 + 163.71 \text{ W} = 1.5 \text{ kW}.$$

## 2.9. POTENCIA DEL QUEMADOR

Para poder conocer cuánto calor es suministrado por un quemador es necesario saber el flujo de combustible que se le provee a este, el cual debe ser lo suficiente para proveer calor a la carga y las pérdidas de energía a través del recubrimiento del horno y en los gases de escape. Por lo tanto, la potencia que el quemador debe ser capaz de suministrar está dada por la Ec. 2.10 [27].

$$P_{quemador} = \frac{Q_{quemador} + Q_{acero}}{\eta} \quad (2.10)$$

donde:  $\eta$  es la eficiencia del sistema.

Para forjar se usará un cilindro de gas propano igual a 35 libras para calcular el tiempo de operación se utilizará la Ec. 2.11.

$$\Phi_{\text{gas}} = \frac{\dot{m}_{\text{cilindro}}}{\rho_{\text{gas}}} \quad (2.11)$$

Para calcular el flujo másico ( $\dot{m}$ ) del quemador al utilizar gas propanos en condiciones de operación viene dado por la Ec. 2.12:

$$\dot{m} = \frac{Q_{\text{quemador}} + Q_{\text{acero}}}{\text{PCI} * \eta} \quad (2.12)$$

De la Tabla 1.1, se pueden ver los parámetros útiles del gas propano LP para realizar los cálculos se:

Composición química:  $\text{C}_3\text{H}_8$

Masa molar: 44 g/mol

Poder calorífico, PCI: 46,350 kJ/kg = 86,211 kJ/m<sup>3</sup>

Densidad relativa 15.56 °C a 1 atm (gas) = 1.86 kg/m<sup>3</sup> = 4.10 lb/m<sup>3</sup>

Al sustituir los valores en la Ec. 2.12, el flujo másico  $\dot{m}$  requerido es:

$$\dot{m} = \frac{1.5 \text{ kW} + 12.8 \text{ kW}}{46,350 \text{ kJ/kg} * 0.7} = 0.109 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 0.241 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Se espera que el acero alcance la temperatura en un tiempo de 67 horas o 241000 segundos una vez se ponga en funcionamiento la fragua. Por lo tanto, el flujo de calor requerido es:

$$Q_{\text{carga}} = \frac{Q_{\text{TFe-C}}}{t} = \frac{16890.95 \text{ kJ}}{241000 \text{ s}} = 12.8 \text{ kW}$$

Finalmente, la potencia del quemador está dada al sustituir los valores en la Ec. 2.11. Con un valor comercial de 0.7 para  $\eta$  de un gas propano, en el cual se consideran como pérdidas primarias: la fricción de las tuberías y rugosidad

del metal; y las pérdidas secundarias son: el estrechamiento de la tubería y los acoples como válvulas, Bushing, reductores de área.

$$P_{\text{quemador}} = \frac{1.5 \text{ kW} + 12.8 \text{ kW}}{0.7} = 15.1 \text{ kW} = 51,523 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

De la Ec. 2.11, el flujo volumétrico del gas es ( $\Phi_{\text{gas}}$ ) es:

$$\Phi_{\text{gas}} = \frac{0.241 \frac{\text{lb}}{\text{h}}}{4.10 \frac{\text{lb}}{\text{m}^3}} = 0.059 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} =$$

Se elige un cilindro de gas con una capacidad de 35 libras para determinar el tiempo de operación  $t$ . Al dividir la capacidad del cilindro entre el flujo másico, se obtiene:

$$t = \frac{m_{\text{gas}}}{\dot{m}_{\text{cilindro}}} = \frac{35 \text{ lb}}{0.241 \frac{\text{lb}}{\text{h}}} = 67 \text{ h} = 241,200 \text{ s}$$

## 2.10. VARILLA ROSCADA PARA UNIÓN DE LADRILLOS CON CARCASA METÁLICA

El cálculo de los parámetros para la varilla roscada se determina entre un símil con los tornillos de potencia. Se utilizan para la sujeción de dos piezas del mismo o diferente metal. Este tipo de varillas tienen una rosca de paso constante alrededor de todo su eje y son analizadas con el fin de delimitar la zona roscada donde ocurrirá la unión de los materiales [21].

Para una mejor sujeción de los ladrillos refractarios con la carcasa metálica, se utilizará un total de 6 varillas roscadas, 3 en la parte superior y 3 en la parte inferior con una longitud por varilla de 270 mm por un diámetro nominal

de  $\frac{1}{4}$  pulgada o 8 mm en sistema métrico cada una. Las variables para determinar el tipo de sujetador en contacto con los ladrillos y la carcasa metálica son como se presenta en la Fig. 2.6 [29].

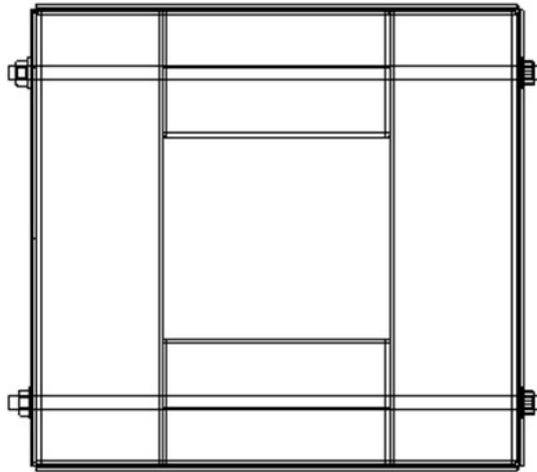


Fig. 2.7. Sujetador de potencia no permanente [29].

En la Tabla 2.3, se presenta los valores nominales de los diámetros y áreas de rosca métricas de paso grueso y fino para el análisis de esfuerzos de las varillas roscadas.

Para sostener el peso de los ladrillos y sujetar los ladrillos con la pieza metálica, se seleccionó una varilla roscada con un diámetro nominal de 8 mm y con los valores que se presentan en la Tabla 2.4:

Dado el diámetro nominal  $d$  y el paso  $p$ , se procede a determinar los siguientes elementos que completan la sujeción. El espesor de la tuerca está dado en la Tabla 2.5.

En el sistema métrico, la letra  $M$  es acompañada del diámetro nominal por lo que se expresa como  $M8$ . Así:

$H$  es el espesor de la tuerca igual a 5.7 mm, y

$W$  es el ancho de la tuerca igual a 13 mm.

Tabla 2.3. Diámetro de áreas de roscas métricas de paso grueso y fino [29].

Diámetro mayor nominal d, mm	Serie de paso Grueso			Serie de paso fino		
	Paso p, mm	Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , mm <sup>2</sup>	Área de diámetro menor $A_r$ , mm <sup>2</sup>	Paso p, mm	Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , mm <sup>2</sup>	Área de diámetro menor $A_r$ , mm <sup>2</sup>
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9		39.2	36.0
8	1.25	36.6	32.8	1	61.2	56.3
10	1.5	58.0	52.3	1.25	92.1	86.0
12	1.75	84.3	76.3	1.5	125	116
14	2	115	104	1.5	167	157
16	2.5	157	144	1.5	272	259
20	2.5	245	225	1.5	384	365
24	3.0	353	324	2	621	596
30	3.5	561	519	2	915	884
36	4	817	759	2	1260	1230
48	5	1120	1050	2	1670	1630
56	5.5	1470	1380	2	2300	22500
64	6	2030	1910	2	3030	2980
72	6	2680	2520	2	3860	3800
80	6	3460	3280	1.5	4850	4800
90	6	4340	4140	2	6100	6020
100	6	5590	5360	2	7560	7470
110	6	6990	6740	2	9180	9080

Tabla 2.4. Parámetros del sujetador de potencia seleccionado.

Diámetro mayor nominal d, mm	Serie de paso Grueso		
	Paso p, mm	Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , mm <sup>2</sup>	Área de diámetro menor $A_r$ , mm <sup>2</sup>
8	1.25	36.6	32.8

Tabla 2.5. Dimensiones de roscas hexagonales [29].

Tamaño nominal, mm	Ancho, W	Altura, H		
		Hexagonal regular	Gruesa ranurada	Contratuerca
M5	8	4.7	5.1	2.7
M6	10	5.2	5.7	3.2
M8	13	6.8	7.5	4.0
M10	16	8.4	9.3	5.0
M14	21	10.8	12.0	6.0
M16	24	12.8	14.1	7.0
M20	30	14.8	16.4	8.0
M24	36	18.0	20.3	10.0

Ahora, el espesor de la arandela se obtiene de la Tabla 2.6.

Tabla 2.6. Espesor de arandela en sistema métrico [29].

Tamaño del sujetador	Tamaño de la arandela	Diámetro		
		DI	DE	Espesor
M6	0.138	0.156	0.375	0.049
M8	0.164	0.188	0.438	0.049
M10	0.190	0.219	0.500	0.049
M12	0.216	0.250	0.562	0.065

Para este caso, el valor del espesor  $t$  de la arandela sería igual a 0.049 mm

La longitud del agarre  $l$  de la parte roscada es el espesor de todo el material apretado y el espesor de la arandela. Entonces:

$l$  es igual a 11 mm de longitud de agarre.

La longitud roscada  $L_T$  en serie métrica se determina por la Ec. 2.13.

$$L_T = 2d + 25 \text{ mm}, L > 200 \text{ mm} \quad (2.13)$$

Al sustituir los valores, se obtiene:

$$L_T = 2(8 \text{ mm}) + 25 \text{ mm} = 41 \text{ mm}$$

El material del perno debe de ser acero galvanizado para evitar que ocurra mayor atracción con el oxígeno. Por lo tanto:

El módulo de Young del acero es  $E_{\text{acero}}$  igual a 207 GPa.

$A_d$  es el área de la parte sin roscar el cual se calcula con la Ec. 2.14.

$$A_d = \frac{\pi d^2}{4} \quad (2.14)$$

Sustituyendo en la Ec. 2.14, se obtiene:

$$A_d = \frac{\pi * (0.008)^2}{4} = 5.02 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Con la Ec. 2.15, se calcula la longitud de la parte roscada en el agarre  $l_t$

$$l_t = L - L_T \quad (2.15)$$

Como la varilla es completamente roscada por todo su eje, el valor de la longitud sin rosca  $L_t$  es cero. Entonces, el valor  $l_t$  es igual a  $l$ , obteniendo:

$$l_t = 11 \text{ mm}$$

La fuerza que actúa sobre el tornillo es igual al peso del ladrillo cerámico. Para calcular el peso primero se debe saber la masa del ladrillo que es igual al producto de la densidad por el volumen como se presenta en la Ec. 2.16:

$$m_{\text{ladrillo}} = \rho V \quad (2.16)$$

Donde la densidad del ladrillo cerámico comercial es  $\rho = 2,400 \text{ kg/m}^3$ , y el volumen de un rectángulo viene dado por la Ec. 2.17:

$$V = LxLxL \quad (2.17)$$

Al multiplicar los lados de la fragua, se tiene un volumen igual a:

$$V = 0.2286 * 0.1143 * 0.0635 \text{ m} = 0.001659 \text{ m}^3$$

Entonces, utilizando la Ec. 2.16, se obtiene que la masa del ladrillo es:

$$m_{\text{ladrillo}} = 3.98 \text{ kg}$$

La fuerza que actúa sobre la varilla roscada es igual al peso del ladrillo refractario en la unión. Usando la Ec. 2.18, se puede calcular el peso del ladrillo al multiplicar la masa por la gravedad:

$$W_{\text{ladrillo}} = m_{\text{ladrillo}} * g \quad (2.18)$$

Al sustituir, se obtiene que el peso del ladrillo refractario es:

$$W_{\text{ladrillo}} = 3.98 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 39.06 \text{ N}$$

El esfuerzo sobre la rosca de la varilla es igual al peso por el área. De la Ec. 2.19, se determina el esfuerzo aplicado sobre el tornillo.

$$\sigma_{\text{ladrillo}} = \frac{W_{\text{ladrillo}}}{A_d} \quad (2.19)$$

Sustituyendo los valores en la Ec. 2.19, se obtiene:

$$\sigma_{\text{ladrillo}} = \frac{39.06 \text{ N}}{5.02 \times 10^{-5} \text{ m}^2} = 778.09 \text{ kPa o } 0.778 \text{ MPa}$$

La Tabla 2.7, muestra el esfuerzo máximo al que puede ser sometido el sujetador seleccionado para que resistir los esfuerzos, por lo que se seleccionara una varilla roscada clase 4.6.

Tabla 2.7. Clases métricas de propiedad mecánica de pernos [29].

Clases de propiedades	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, MPa	Resistencia mínima a la tensión, MPa	Resistencia mínima a la fluencia, MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	
10.9	M5+M36	830	1 040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
12.9	M1.3-M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	

## 2.11. ANÁLISIS MECÁNICO EN LAS SOLDADURAS DE LA FRAGUA

La forma más fácil de adaptar las partes metálicas para el ensamble de las piezas es por medio de soldaduras. Se ejecutará un análisis de soldadura en carga estática puesto que soportará el peso de la fragua [29].

### 2.11.1. SOLDADURA CARCASA

La soldadura en la carcasa es la unión de las placas metálicas en el exterior como se presenta en la Fig. 2.7.

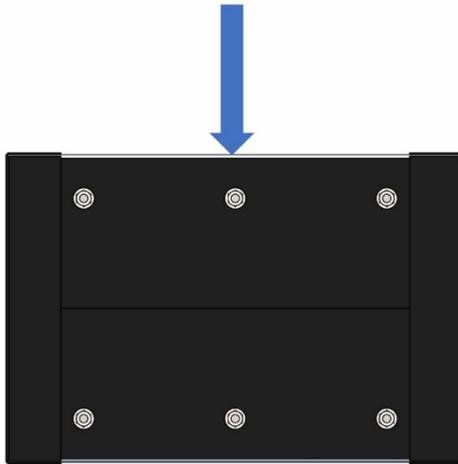


Fig. 2.8. Carcasa metálica de la fragua.

Considerando soldaduras en grupo, se aplica la fórmula de transferencia. Como se presenta en la Fig. 2.8, se lista el cálculo de las áreas entre las soldaduras y los segundos momentos de inercia.

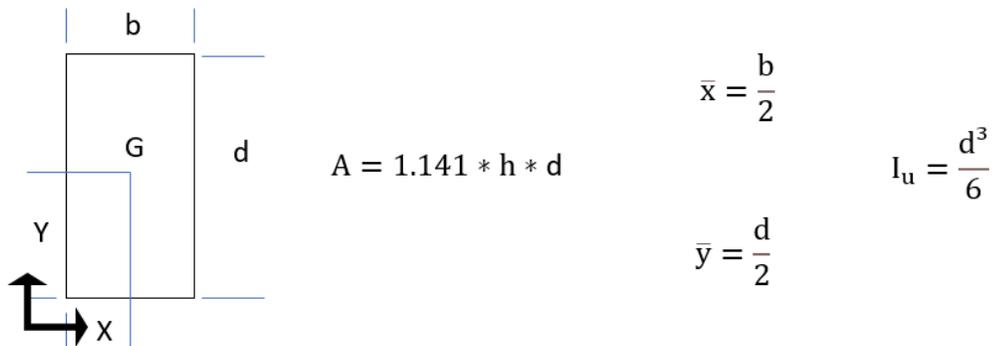


Fig. 2.9. Cálculo del centroide de una placa [29].

En la Ec. 2.20 se presenta el cálculo para el área en la soldadura:

$$A = 1.141 * h * d \tag{2.20}$$

donde: h es la altura del filete de la soldadura de 0.005 m, y d es la distancia entre soldadura de 0.395 m.

Sustituyendo en la Ec. 2.20, se obtiene que el área es igual a:

$$A = 1.141 * 0.005 \text{ m} * 0.395 \text{ m} = 2.79 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

De la Fig. 2.8, se tiene que las Ecs. 2.21 y 2.22, ubican el punto G de la soldadura en la dirección horizontal y vertical respectivamente.

$$\bar{x} = \frac{b}{2} \tag{2.21}$$

donde:  $\bar{x}$  es la distancia media en el eje X, y

b es la longitud del cordón de soldadura de 0.44 m.

Sustituyendo en la Ec. 2.21, se obtiene la ubicación del centroide horizontalmente, por lo que se obtiene:

$$\bar{x} = \frac{0.44 \text{ m}}{2} = 0.22 \text{ m}$$

La Ec. 2.22, ubica el centroide verticalmente.

$$\bar{y} = \frac{d}{2} \tag{2.22}$$

donde:  $\bar{y}$  es la distancia media en el eje Y, y

d es la distancia entre soldaduras igual a 0.395 m.

Sustituyendo en la Ec. 2.22, se obtiene que el centroide se ubica:

$$\bar{y} = \frac{0.395 \text{ m}}{2} = 0.197 \text{ m}$$

La distancia desde el centroide  $r$  de la soldadura se define mediante la Ec. 2.23:

$$r = d + h \tag{2.23}$$

donde: h es la garganta de la soldadura de 0.005 m, y

d es la distancia entre soldadura de 0.395 m.

Sustituyendo las variables en la Ec. 2.23, se obtiene:

$$r = 0.395 + 0.005 = 0.4 \text{ m}$$

Para el cálculo del segundo momento unitario de área ( $I_u$ ) se ocupará la Ec. 2.24:

$$J_u = \frac{d^3}{6} \quad (2.24)$$

Sustituyendo los valores se obtiene:

$$J_u = \frac{(0.395 \text{ m})^3}{6} = 0.01027 \text{ m}^3$$

Como el ancho de la garganta de una soldadura de filete es la relación entre el segundo momento de área  $J$  y el unitario  $J_u$ , el cual está dado por la Ec. 2.25:

$$J = 0.707 * h * J_u \quad (2.25)$$

Sustituyendo los valores de  $h$  y  $J_u$  en la Ec. 2.25, se obtiene:

$$J = 0.707 * 0.005 \text{ m} * 0.01027 \text{ m}^3 = 3.63 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

Ahora, se calculará el cortante primario  $\tau'$  con la Ec. 2.26:

$$\tau' = \frac{V}{A} \quad (2.26)$$

donde:  $V$  es la fuerza cortante por el peso de los ladrillos superiores y el quemador igual a 700 N.

Al sustituir  $V$  y  $A$  en la Ec. 2.27, se tiene:

$$\tau' = \frac{700 \text{ N}}{2.79 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 179.1 \text{ kPa}$$

Utilizando la Ec. 2.27 para calcular el segundo esfuerzo cortante nominal  $\tau''$ :

$$\tau'' = \frac{M * r}{J} \quad (2.27)$$

donde: M es el momento del soporte igual a 300.7 N·m.

Sustituyendo M, r y J en la Ec. 2.27, se obtiene:

$$\tau'' = \frac{(300.7 \text{ N} * \text{m}) * (0.445 \text{ m})}{3.63 \times 10^{-5} \text{ m}^4} = 3.52 \text{ MPa}$$

### 2.11.2. SOLDADURA DE CARCASA METÁLICA CON TAPADERA FRONTAL Y POSTERIOR

A continuación, se harán los cálculos respectivos para determinar los esfuerzos en las soldaduras a emplear en la unión de las tapaderas con la carcasa metálica como se presenta en la Fig. 2.9.

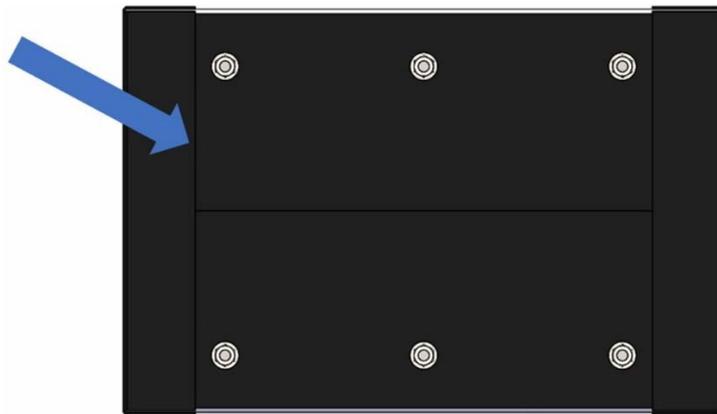


Fig. 2.10. Soldadura entre tapadera y carcasa metálica.

Se calculará el área del cordón en la soldadura carcasa con la tapadera frontal y posterior en donde se obtiene que:

h es la altura del cordón de la soldadura igual a 0.005 m,  
d es la distancia entre los cordones de soldadura igual a 0.392 m, y  
b es la longitud del cordón de soldadura igual a 0.44 m.

Entonces, al sustituir los valores en la Ec. 2.20, se obtiene el valor del área de soldadura A:

$$A = 1.141 * 0.005 \text{ m} * 0.392 \text{ m} = 2.23 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Al sustituir los valores de b y d en las Ecs. 2.21 y 2.22 para determinar  $\bar{x}$  y  $\bar{y}$  la ubicación del centroide de la soldadura, se obtiene:

$$\bar{x} = \frac{0.44 \text{ m}}{2} = 0.22 \text{ m}$$

$$\bar{y} = \frac{0.392}{2} = 0.197 \text{ m}$$

La distancia desde el centroide r de la soldadura está dada de la Ec. 2.23.

$$r = 0.392 + 0.005 = 0.397 \text{ m}$$

Para el cálculo del segundo momento unitario de área entre la carcasa y la tapadera, se ocupará la Ec. 2.28.

$$J_u = \frac{b * d^2}{2} \tag{2.28}$$

Al sustituir las variables, se obtiene:

$$J_u = \frac{0.44 \text{ m} * (0.392)^2}{2} = 0.034 \text{ m}^3$$

Como el ancho del filete de una soldadura es la relación entre el segundo momento de área J y el unitario  $J_u$ , el cual está dado por la Ec. 2.25:

$$J = 0.707 * 0.005 \text{ m} * 0.034 \text{ m}^3 = 0.0012 \text{ m}^4$$

Con la Ec. 2.28, se calculará el segundo esfuerzo cortante nominal  $\tau''$  entre la tapadera y la carcasa metálica:

$$\tau'' = \frac{(300.7 \text{ N} * \text{m}) * (0.397 \text{ m})}{0.00012 \text{ m}^4} = 994.81 \text{ kPa}$$

### **2.11.3. SOLDADURA DEL TUBO SUJETADOR DEL QUEMADOR CON LA CARCASA METÁLICA**

Finalmente, se calculará la soldadura a efectuar en la parte superior para la ubicación del quemador como se presenta en la Fig. 2.10.

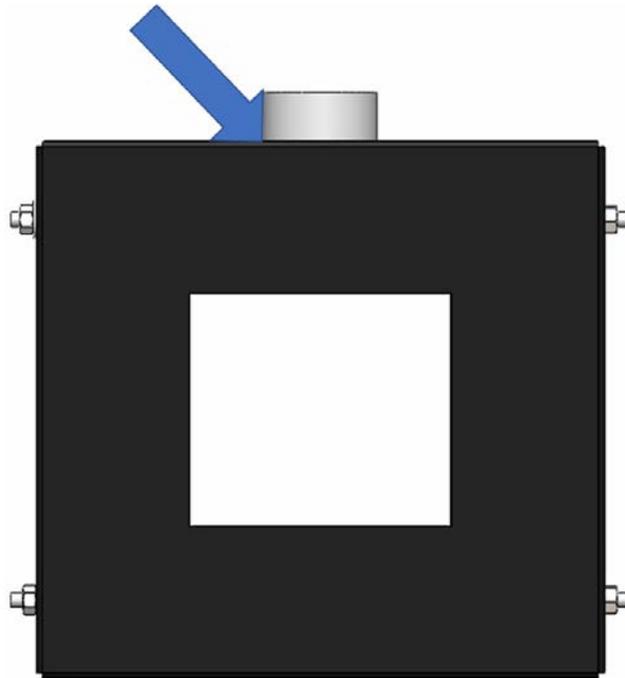


Fig. 2.11. Tubo con carcasa metálica.

Al igual que lo anterior, la Ec. 2.20 determina el área de la soldadura de la parte superior con el tubo metálico. Entonces se obtiene que:

$h$  es la altura del filete de la soldadura de 0.005 m, y  
 $d$  es la distancia entre soldadura de 0.03 m.

Por lo tanto, al sustituir los valores se obtiene que el área es igual a:

$$A = 1.141 * 0.005 \text{ m} * 0.03 \text{ m} = 17.11 \times 10^{-5} \text{ m}^2.$$

Las Ecs. 2.21 y 2.22 ubican el punto G de la soldadura en donde:

$b$  es la longitud del cordón de soldadura de 0.15 m, y  
 $d$  es la distancia entre soldaduras de 0.03 m.

$$\bar{x} = \frac{0.03 \text{ m}}{2} = 0.015 \text{ m}$$

$$\bar{y} = \frac{0.15 \text{ m}}{2} = 0.075 \text{ m}.$$

Para el cálculo del segundo momento unitario de área entre el tubo de sujeción del quemador y la carcasa, se ocupará la Ec. 2.29:

$$J_u = \frac{d * 3(b^2 + d^2)}{6} \quad (2.29)$$

donde: d es la distancia entre soldaduras de 0.03 m, y

b es la longitud del cordón de soldadura de 0.15 m.

$$J_u = \frac{0.15 * 3((0.03 \text{ m})^2 + (0.15 \text{ m})^2)}{6} = 6.310 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

El cortante primario  $\tau'$  con se obtiene a partir de la Ec. 2.26, donde:  
V es la fuerza cortante igual a 630 N

Al sustituir el valor V, se obtiene:

$$\tau' = \frac{630 \text{ N}}{17.11 \times 10^{-5} \text{ m}^2} = 3.682 \text{ MPa}$$

El segundo momento de área J y el unitario  $J_u$ , el cual está dado por la Ec. 2.30:

$$J = I_x + I_y \quad (2.30)$$

donde: b es la longitud del cordón de soldadura igual a 0.15 m, y

h es la altura del filete de soldadura igual a 0.005 m.

Entonces, al sustituir las variables por los valores, se obtiene:

$$I_x = \frac{h_1 * (d_1)^3}{12} = \frac{0.005m * (0.15m)^3}{12} = 1.41 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_y = \frac{d_1 * (h_1)^3}{12} = \frac{0.15m * (0.005m)^3}{12} = 1.56 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

Al sustituir, se obtiene que J es igual a:

$$J = 1.41 \times 10^{-6} \text{ m}^4 + 1.56 \times 10^{-9} \text{ m}^4 = 1.4015 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

El momento producido por los esfuerzos en la soldadura están dados de la Ec. 2.31

$$M = F * L \tag{2.31}$$

donde: F es la fuerza cortante de 630 N, y

L es la distancia perpendicular a la fuerza igual a 0.8 m.

Por lo tanto, se obtiene que:

$$M = 630 \text{ N} * 0.8 \text{ m} = 504 \text{ N} * \text{m}$$

Aplicando Pitágoras para determinar la distancia al centroide con la Ec. 2.32:

$$r = \sqrt{(G_x)^2 + (G_y)^2} \tag{2.32}$$

donde:  $G_x$  es la distancia al centroide en el eje X igual a 0.015 m, y

$G_y$  es la distancia al centroide en el eje Y igual a 0.075 m.

Entonces, la magnitud de la distancia al centroide es:

$$r = \sqrt{(0.015 \text{ m})^2 + (0.075 \text{ m})^2} = 0.076 \text{ m}$$

El segundo esfuerzo cortante nominal  $\tau''$  entre la tapadera y el tubo del quemador utilizando la Ec. 2.27:

$$\tau'' = \frac{(504 \text{ N} \cdot \text{m}) \cdot (0.076 \text{ m})}{1.4015 \times 10^{-6} \text{ m}^4} = 27.33 \text{ MPa}$$

Conociendo los esfuerzos producidos según la Tabla 2.8, en donde se presenta las diferentes soldaduras. Con estos datos se procederá a seleccionar el material de aporte capaz de soportar dichos requerimientos. Basados en la teoría se establece el factor de seguridad empleado para los diferentes casos, utilizando el código AWS.

Tabla 2.8. Esfuerzos en las soldaduras [29].

Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	n
Tracción	A tope	$0.60 \cdot S_y$	1.67
Aplastamiento	A tope	$0.90 \cdot S_y$	1.11
Flexión	A tope	$0.60-0.66 \cdot S_y$	1.52-1.67
Compresión simple	A tope	$0.60 \cdot S_y$	1.67
Cortante	A tope o de filete	$0.60 \cdot S_{ult}$	-

En la Tabla 2.9 se compara los esfuerzos permisibles con los esfuerzos obtenidos del análisis de soldadura realizado.

Tabla 2.9. Comparación de los esfuerzos permisibles y los esfuerzos de las cargas obtenidos [29].

Soldadura	Esfuerzo permisible	Esfuerzo obtenido
Carcasa metálica	207 MPa	3.52 MPa
Carcasa – Tapaderas	207 MPa	994.81 MPa
Carcasa metálica – Tubo metálico	114 MPa	27.33 MPa

Con los esfuerzos producidos en las soldaduras se procede a seleccionar el material de aporte apropiado para cada unión de la Tabla 2.10.

Tabla 2.10. Propiedades de los electrodos [29].

Número de electrodo AWS	Resistencia a la tensión ksi (MPa)	Resistencia a la fluencia ksi (MPa)	Elongación porcentual
E60XX	62 (472)	50 (345)	17-25
E70XX	70 (482)	57 (393)	22
E80XX	80 (551)	67 (462)	19
E90XX	90 (620)	77 (531)	14-17

En síntesis, basados en los cálculos se establece que se debe de usar electrodos con una denominación AWS igual a E70XX debido a que la resistencia a tensión y fluencia son las apropiadas para los requerimientos de diseño.

### **3. ANÁLISIS DE COSTOS**

El siguiente análisis de costos pretende dar una descripción general de todos los gastos realizados para obtener el valor de la inversión realizada en el diseño de la fragua [1].

Al producir un bien o prestar un servicio se genera siempre un costo, es decir un desembolso de dinero y también de esfuerzo en el que intervienen elementos como la materia prima y mano de obra. Precisamente, estos componentes que incluye el costo de un producto pueden ser directos o indirectos [2].

#### **3.1. COSTOS DIRECTOS**

Los costos directos se encuentran asociados con la elaboración o con el producto terminado, están vinculados a una sola actividad y es proporcional al producto; son fáciles de asignar y contabilizar [1]:

- Costo de materias primas para la elaboración del producto, y
- Costo de transporte de las materias primas y el producto.

En la Tabla 3.1 se presenta los diferentes materiales que forman parte de la construcción de la fragua. A su vez, se mencionan los materiales para las conexiones de gas propano al quemador. Estos son los costos directos de la propuesta de diseño de la fragua a gas diseñada [1].

La distribución de costos de los diferentes materiales representa una estimación del total de gasto. Debido a la inflación del mercado los precios tienden a cambiar por lo cual se dice que es una estimación, por lo cual se recomienda que antes de implementar su construcción se deben de actualizar las cotizaciones presentadas. Las cotizaciones se obtuvieron en el mes de octubre del año 2021 [30 y 31]. En el Anexo A.2 se presenta las cotizaciones de los materiales.

Tabla 3.1. Costos directos [1].

Materiales	Cantidad	Costo unitario, \$	Costo total, \$
Ladrillo refractario 9x2.1/2x4.1/2 pulg	9	4.05	36.45
Lámina galvanizada chapa 30 3x1 lisa	1	14.25	14.25
Tubo hueco de hierro 2 pulg	1	48.95	48.95
Hierro ángulo 1/4 x 2 pulg	1	44.50	44.50
Varilla roscada x 1/4 pulg	1	0.90	0.90
Disco de corte para metal 4 1/2 pulg	1	1.75	1.75
Disco de corte para concreto 4 1/2 pulg	1	2.10	2.10
Electrodos hierro dulce 3/32 pulg	3	2.05	6.15
Manguera de hule de 3/8 pulg	3	0.55	1.65
Quemador atmosférico 1.1/4 pulg	1	440.70	440.70
Tubo estructural cuadrado 1 pulg chapa 16	2	13.50	27.00
Rueda de hierro	4	5.80	23.20
Pintura spray para alta temperatura negra	2	4.30	8.60
Tuerca hexagonal 1/4 pulg UNC	8	0.05	0.40
Bushing reductor 3/8 a 1/4 pulg	1	0.50	0.50
0 - 15 psi manómetro para propano 2 pulg	1	6.50	6.50
Válvula de bola galvanizada 3/8 pulg	1	4.50	4.50
Cilindro de gas propano 35 LBS	1	22.69	22.69
Cemento refractario (1600 °C)	1	73.95	73.95
Abrazadera para manguera	6	0.25	1.50
Terminal para manguera 3/8 pulg X 1/4 pulg	2	0.90	1.80
Broca para concreto 1/4 x 6 pulg	1	3.30	3.30
Tubo de hierro perforado ¼ pulg	1	25.00	25.00
<b>Costos Directos Totales:</b>			<b>796.34</b>

### 3.2. COSTOS INDIRECTOS

Estos tipos de costo son aplicables o inciden en varias actividades, productos o a todo el proceso productivo de una empresa o taller. Como ejemplo de costos indirectos del proyecto se tienen [1 y 32]:

- Consumo de servicios básicos.
- Salarios, diseños, cotizaciones y otros.
- Acondicionamiento y mantenimiento de equipos y herramientas.

Se tomará un aspecto conservador para analizar los costos indirectos ya que no se cuenta con un listado de precios. Esto agregara complejidad adicional al proyecto al tener que determinar un costo bajo consideraciones.

El aspecto económico es uno de los más importantes ya que define las posibilidades de construcción del proyecto. Además, este trabajo busca un desarrollar a nivel académico, y tiene como proyección ofrecer una guía a los talleres con el fin de que se beneficien al elaborar sus propias fraguas a gas que satisfaga sus necesidades.

Los costos que se detallan en la Tabla 3.2 son una estimación diaria sobre la base de una jornada laboral de 8 horas en la cual se consideran todos los aspectos como los servicios básicos, internet, aire acondicionado, alquiler de local, entre otros, para la elaboración del proyecto. Además, se asume que los servicios prestados son a nivel de servicios profesionales, o lo que es lo mismo, el responsable del proyecto no pertenece a la nómina de la empresa y el pago de sus servicios se les hará un descuento del 10% en concepto de impuesto de renta (ISR) del pago total [33].

Tabla 3.2. Costos indirectos [1].

Días laborables	Tareas desarrolladas	Costo estimado por día, \$	Costo total, \$
5	Investigación científica	15.00	75.00
10	Cálculos mecánicos y energéticos	20.00	200.00
20	Diseño 3D y construcción de planos	25.00	500.00
5	Cotización de materiales	8.00	40.00
40	Costos Indirectos Totales	68.00	815.00

Una investigación teórica recopila toda la información del proyecto. Su tiempo es basado en la complejidad del proyecto y la facilidad de encontrar la información necesaria. Su costo está dado por el tiempo invertido en determinar qué información se puede o no usar para definir el proyecto. Esta guía disminuirá el tiempo consumido en la investigación al facilitar la información [1].

El diseño y análisis mecánico y térmico comprenden los parámetros que definirán dicha propuesta de diseño. Este costo es el más elevado debido a que se necesita la experticia de un desarrollador capacitado para llevar a cabo los análisis. Su costo se define sobre la base de su conocimiento más que por el tiempo invertido. Desde un análisis breve hasta un análisis extenso, el costo

está dado por el nivel de conocimiento que posee y la inversión que se hizo para adquirir el conocimiento [1] y [2].

Por otro parte, el trabajo fue contabilizado asumiendo los costos que le costaría a una empresa desarrollar dicho producto. El diseño 3D y los planos es de \$500.00 de los costos indirectos en lo que se incluye el pago de los diseñadores haciendo el trabajo, el uso del equipo y de las instalaciones necesarias [34]. La cotización tiene un costo más bajo ya que no se necesita mucho equipo. Además del producto y un empleado trabajando en turno regular. Su costo es se eleva por la cantidad de tiempo que se tardaría los diferentes proveedores en cotizar todos los materiales. Al ser un agente externo el costo es variable y el cual solo se puede estimar [2].

De esta manera, el costo indirecto total es de aproximadamente \$815.00. Este valor es el que un taller se ahorraría en concepto de investigación, diseño y análisis para la fabricación de una fragua a gas tomando este proyecto como base [2].

### 3.3. COSTOS TOTALES

Representan la suma de los costos directos e indirectos. En la Tabla 3.3 se presentan el total de costos que se estima para la producción de una fragua a gas que reúne los parámetros establecidos anteriormente [1].

Tabla 3.3. Costos totales [1].

Costos directos e indirectos	Costos, \$
Costos directos	796.34
Costos indirectos	815.00
Costo Total	1,645.64

El costo del proyecto es de \$1,245. 64. Este precio es bastante alto en comparación con los de las fraguas que están en el mercado internacional. Esto

es debido a que se determinó considerando los dos tipos de costos para determinar un costo total aproximado [2].

Cabe destacar, que una fragua con las mismas características se encuentra por un precio \$347.99 (300 EUR o) más los gastos de importación.

El costo del proyecto es considerablemente más alto debido a los costos asignados a los empleados. Además, el costo total se puede disminuir al reutilizar equipo y partes. En este caso, se cuenta con el chasis de un horno antiguo el cual puede ser reparado y remodelado para que se ajuste a los parámetros de la fragua, lo que significa que muchos materiales pueden ser reutilizados lo que disminuiría considerablemente el costo total [2].

Por otro lado, a futuro, en el caso de que se desea implementar la construcción de la fragua o dicho diseño se puede utilizar como base para adaptar a otros, el tiempo necesario para investigación, diseño y análisis se puede acortar a la mitad o a casi nada al utilizar la investigación y diseño realizado en este trabajo [2].

Alternativamente, una pequeña fragua puede ser comprada a un menor precio lo cual reduciría el costo general del proyecto. El precio por construir una fragua es considerablemente menor si parte de los materiales fueran más accesibles y se contara con todas las herramientas necesarias para su construcción. Aunque, si no se cuenta con todos de los materiales ni las herramientas, este se tiene que considerar parcialmente [2].

### **3.4. ALTERNATIVAS QUE REDUCIRÍAN EL COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE UNA FRAGUA A GAS**

El precio del proyecto se eleva debido a la planeación y el costo total. Si bien la utilización de otros materiales no es la recomendada, se pueden utilizar para reducir los costos del proyecto de acuerdo a las necesidades de terceros.

Como ejemplo, se podría reducir el precio de la fragua a gas para hacerlo más accesible eliminando los ladrillos refractarios y el concreto refractario; al

reciclar un cilindro de gas con un área mayor a los 50 cm<sup>2</sup> y cambiar el recubrimiento de ladrillos por manta refractaria se estima una reducción total de al menos \$54.95. Al ser más versátil que los ladrillos puede ser fácilmente a cualquier forma del recinto o inclusive cortada para que lo se logre la forma requerida. Tomar en cuenta que, al utilizar fibra refractaria, para evitar que se desprenda partículas cerámicas, debe ser recubierto con una solución de gel de sílice cerámico con un costo de \$18.00 lo que aumentará la rigidez de la fibra cerámica y proveerá un extra de protección [2].

El costo de los ladrillos, el concreto refractario, varilla roscada y demás materiales es de \$115, y de la fibra refractaria y el gel silico tiene un total de \$72.95. Esto daría un ahorro de aproximadamente \$42.95. Muy importante a tomar en cuenta es la disponibilidad de los materiales, Esto tienen que ser accesibles localmente para importar costos de importación. Para los en que se reutilice materiales deben ser verificados con anticipación para determinar su condición. El producto residual utilizado para otros equipos puede ser reutilizado para evitar la excesiva comprar del mismo material si ya se cuenta disponible [35].

Además, como otra alternativa adicional para reducir los costos en la construcción, es evitar la compra del quemador de un proveedor. Un quemador puede ser construido en su totalidad al comprar los materiales lo que el gasto total no superaría los \$25. Es decir, si el taller cuenta con el equipo para la construcción y prueba de equipos de gas se podría evitar el gasto al comprar uno a proveedores que lo venderían por el triple del precio lo que ahorraría al costo un aproximado de \$50 en costo directo. Ya que el presente trabajo presenta solo la fragua para un uso didáctico y como base de modelo para futuros diseños, el quemador será cotizado únicamente para referencia un valor de compra [35].

Una fragua es versátil, es decir, puede ser adaptada a las necesidades, Ya sea utilizar un quemador, dos, o hasta tres quemadores, todo depende de la potencia que se requiere y para qué tipo de material se requiera. Agregando a esto, al utilizar más quemadores, se incrementa el consumo de gas lo que

aumenta el costo. Una fragua debe ser diseñada de acuerdo a la potencia que se requiera. En caso de que se le quisiera añadir más quemadores a la fragua, este no se debería hacer ya que los materiales han sido adecuados de acuerdo al servicio por lo que si se llegara a sobrecargar se reduciría la vida útil produciendo piezas de mala calidad y un cambio adelantado a su análisis económico lo que llevaría a la pérdida de la inversión y que el monto inicial no se perdiera para el tiempo de estudio [35].

#### **4. MANUAL DE ENSAMBLE, OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD DE UNA FRAGUA A GAS**

En este capítulo, se detallan los manuales de ensamble, operación, mantenimiento. A su vez, se describen las normas de seguridad para el uso de la fragua. Todo equipo debe de tener un correspondiente manual para que el usuario puede identificar las diferentes partes que lo componen y su función para mitigar los accidentes. Las precauciones del equipo y el correcto uso para alargar la vida útil del equipo lo que aumentara el rendimiento de la inversión.

Todo equipo necesita un manual de seguridad el cual debe de cumplir con ciertas normas para que el equipo sea aceptable para su construcción y distribución.

##### **4.1. MANUAL DE ENSAMBLE**

El manual de ensamble es una representación gráfica de los pasos que se tienen que seguir para ensamblar las diferentes piezas de la fragua a gas como se presenta en la Fig. 4.1. Se describen las herramientas básicas y procesos para el ensamble. En este manual se explica con dibujos isométricos diseñados mediante un software base CAD SOLIDWORKS 2020, tal como se ensambla el equipo [21].

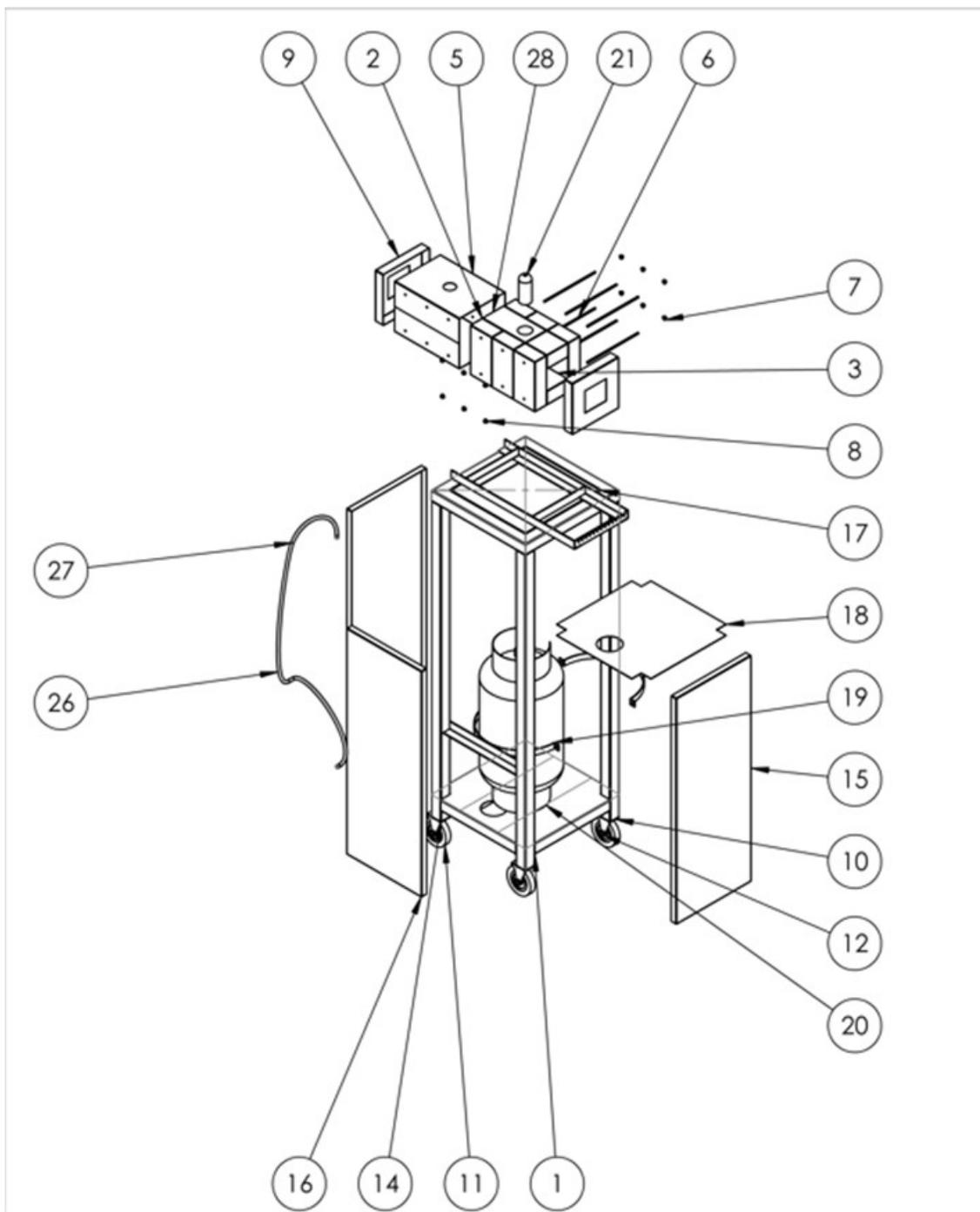


Fig. 4.1. Ensemble general.

#### 4.1.1. ORDEN DE ENSAMBLE

- 1) Colocación de los ladrillos refractarios. Apilar los ladrillos refractarios en forma rectangular. Recortar un ladrillo refractario exactamente por la mitad para completar la forma de la fragua como se presenta en la Fig. 4.2.

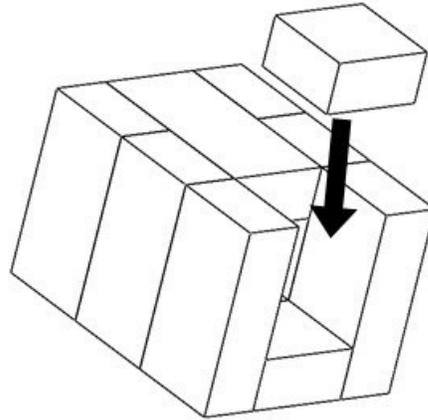


Fig. 4.2. Colocación de los ladrillos refractarios.

- 2) Perforar los extremos de los ladrillos refractarios laterales, superiores e inferiores con broca de  $\frac{1}{4}$  pulg para insertar la barra roscada que sostendrá la estructura. Comprobar que las varillas roscadas de  $\frac{1}{4}$  pulg pasen a través de cada una de los agujeros como se presenta en la Fig. 4.3.

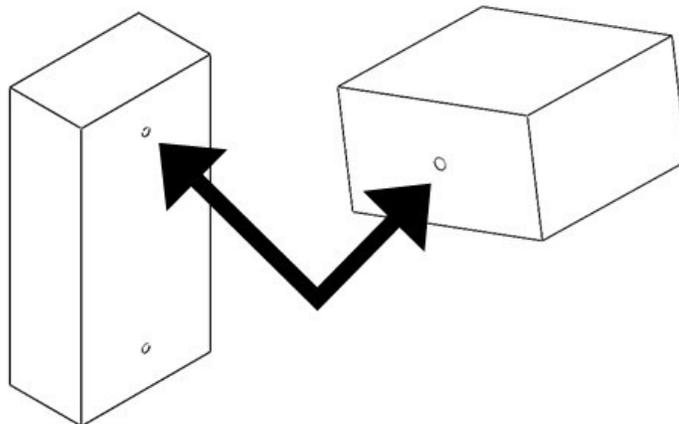


Fig. 4.3. Agujeros para instalar las varillas roscadas a lo largo de los ladrillos.

- 3) Unir los ladrillos como se presenta en la Fig. 4.4. Los ladrillos deben ser remojados para evitar que el cemento refractario se seque rápidamente. Aplicar una capa de 2 mm de espesor de cemento refractario en todas las uniones y grietas de los ladrillos para aislar la cámara de combustión. Es necesario dejar secar por un mínimo de 18 h para que el material tenga un buen curado para aumentar su vida útil.

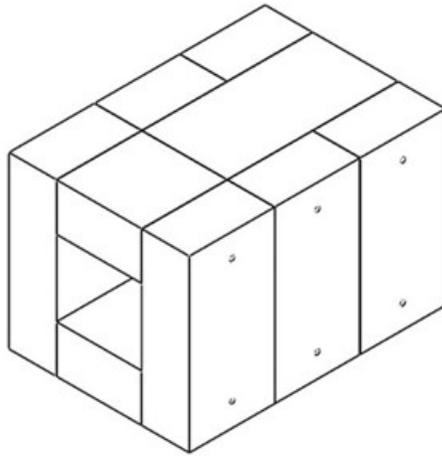


Fig. 4.4. Estructura final de fragua con cemento refractario aplicado.

- 4) Carcasa metálica para protección de los ladrillos refractarios de la fragua. A partir de una lámina de hierro chapa N° 30 se elabora una carcasa metálica la cual se le perfora un agujero en la parte superior donde se coloca el tubo de sujeción del quemador. Además, se perforan agujeros alrededor para la colocación transversal de las varillas roscadas que sujetan la estructura como se presenta en la Fig. 4.5.

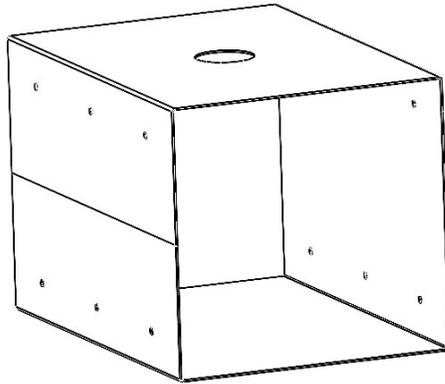


Fig. 4.5. Carcasa metálica de la fragua.

- 5) Ensamblar la carcasa metálica con la fragua como se presenta en la Fig. 4.6. Se introduce la carcasa metálica alrededor de la estructura de ladrillos refractarios.

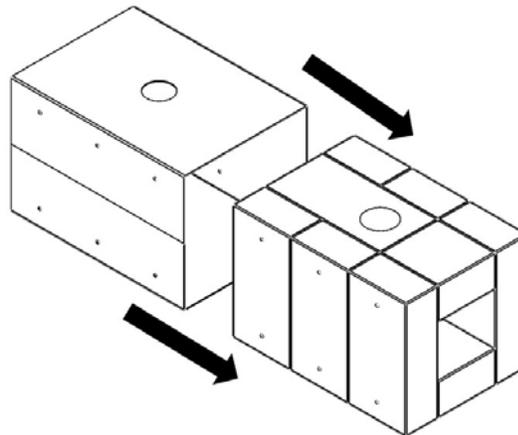


Fig. 4.6. Instalación de la estructura metálica.

- 6) Soldar tapadera metálica a la parte frontal de la fragua como indica la Fig. 4.7.

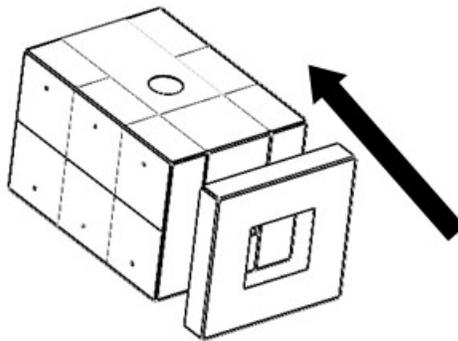


Fig. 4.7. Tapa metálica frontal.

- 7) Ahora que la tapadera frontal esta soldada, se suelda la tapadera metálica en la parte posterior de la fragua como se indica en la Fig. 4.8.

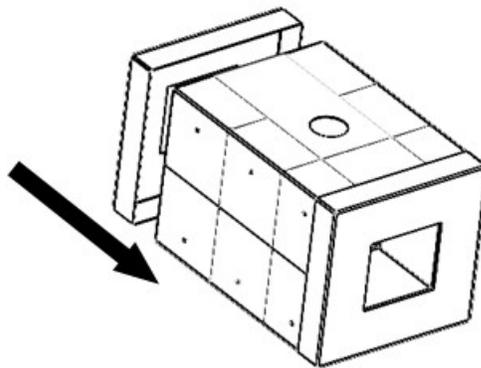


Fig. 4.8. Tapa metálica posterior.

- 8) La Fig. 4.9, indica la correcta instalación del tubo que sujetara el quemador. Se debe de cortar 6 pulg de tubo hueco metálico de 2 pulg de diámetro liso, que será posicionado en la parte superior de la fragua donde se introducirá la boquilla del quemador.

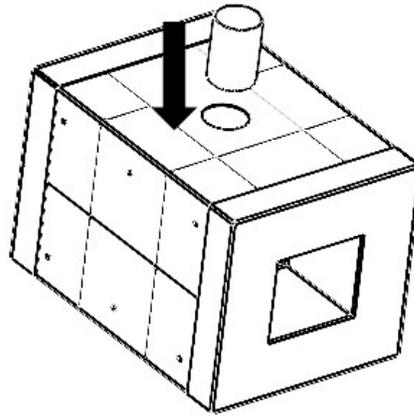


Fig. 4.9. Colocación de sujetador del quemador.

- 9) La boquilla del quemador no debe sobresalir de la cámara de combustión. Por tal motivo, la perforación se debe realizar en forma escalonada. Se debe dejar una distancia de aproximadamente 0.5 a 0.75 pulg lo cual soportará verticalmente el tubo y el peso del quemador como se indica en la Fig. 4.10.

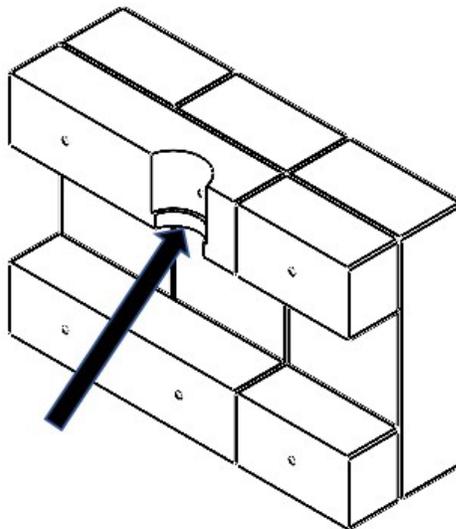


Fig. 4.10. Agujero para acople de quemador con tubo metálico.

- 10) En este punto, se insertan las varillas roscadas transversalmente a la estructura y se fijan con sus respectivas arandelas y tuercas como se indica en la Fig. 4.11.

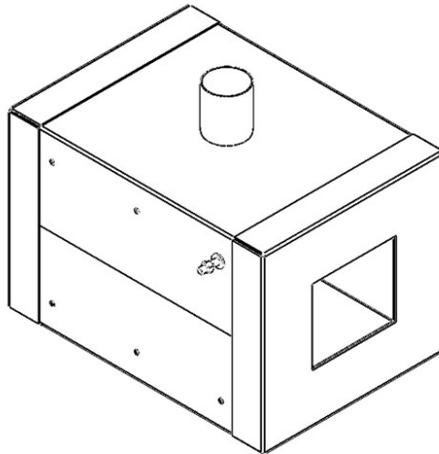


Fig. 4.11. Instalación de las varillas roscadas transversalmente a la fragua.

- 11) Una estructura metálica soportará la fragua. Se fabricará como se presenta en la Fig. 4.12, que se hará principalmente de ángulo metálico reciclado del horno a remodelar.

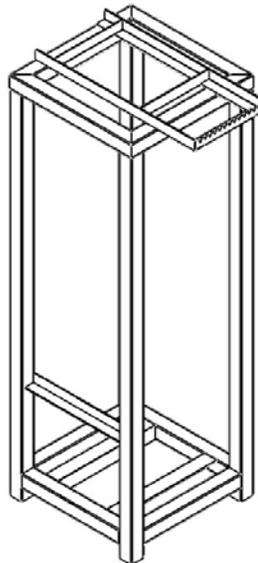


Fig. 4.12. Estructura metálica para la fragua.

- 12) Una lámina metálica se soldada para brindar apoyo a la fragua como se indica en la Fig. 4.13.

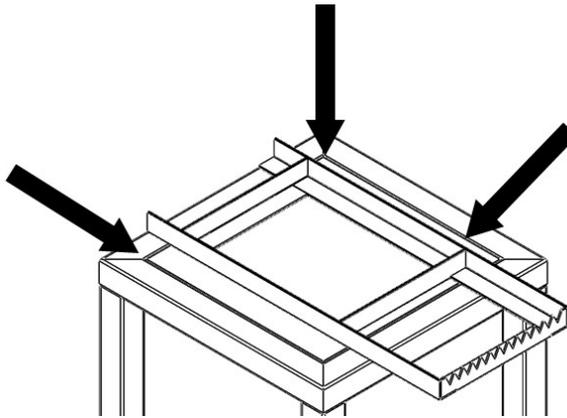


Fig. 4.13. Soporte superior para la fragua.

- 13) En la Fig. 4.14 se presenta la forma correcta de acoplar la fragua con la estructura metálica. Se posicionara la fragua verticalmente a la parte superior de la estructura metálica donde se asienta sobre la parte superior de estructura metálica.

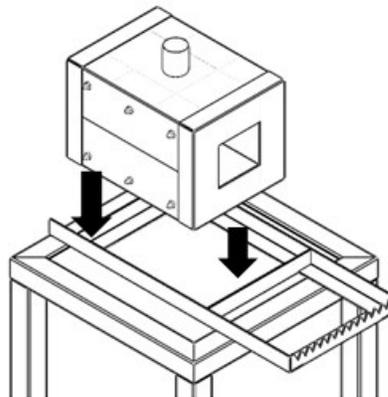


Fig. 4.14. Instalación de la fragua con el soporte metálico.

- 14) Al igual que en la parte superior, se instala una pieza de lámina metálica donde se pondrá el tanque de gas como indican las flechas de la Fig. 4.15.

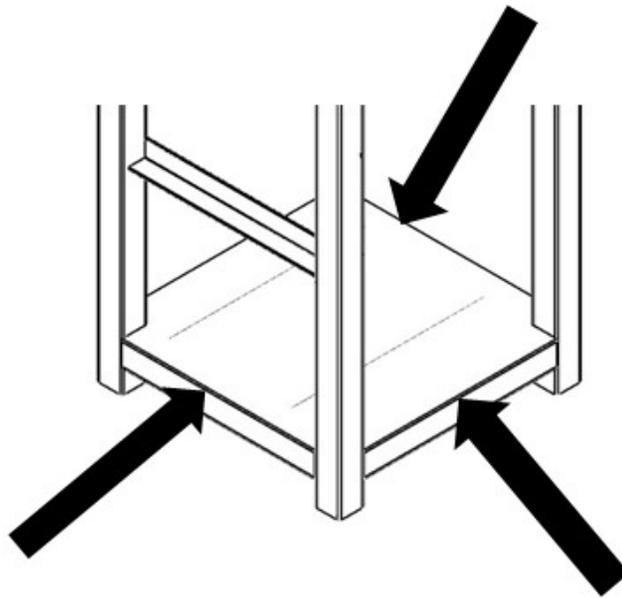


Fig. 4.15. Soporte para colocación del tanque de gas.

- 15) Para dar firmeza al tanque de gas, se debe hacer con la lámina metálica dos pletinas dobladas en forma de arco para envolver el cilindro tal y como se presenta en la Fig. 4.16. En caso que no se tenga pletina o lámina, se sugiere usar una cadena.

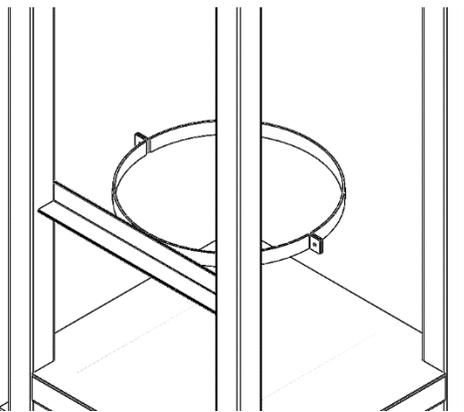


Fig. 4.16. Cinturón de seguridad del tanque de gas.

- 16) Una vez la estructura metálica esté terminada, se instalarán dos rodos fijos y dos rodos locos para el desplazamiento y de la fragua como se presenta en la Fig. 4.17.

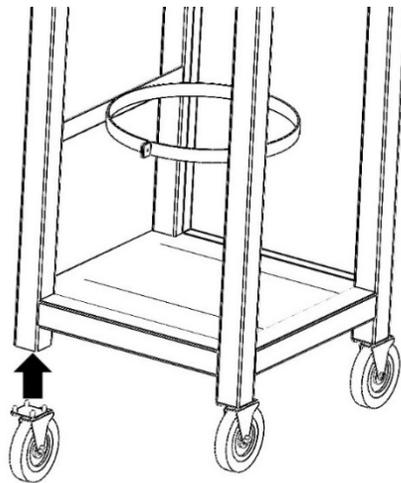


Fig. 4.17. Instalación de llantas.

- 17) Colocar el tanque de gas sobre el soporte soldado a la estructura metálica como se observa en la Fig. 4.18. Así se tiene completamente ensamblada la fragua a gas.

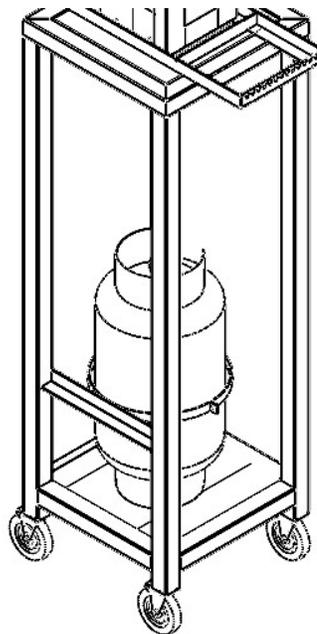
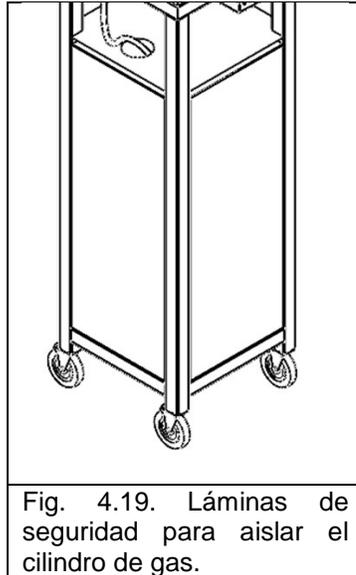


Fig. 4.18. Colocación del tanque de gas sobre la estructura de soporte de la fragua.

Para mayor seguridad, se instalará en medio de la fragua y el cilindro de gas con una lámina superior la que cual se puntera con soldadura. Además, con láminas laterales se aislará a los lados.



## 4.2. MANUAL DE INICIO

Antes de operar la fragua se recomienda leer el manual de operación en el que se detalla los pasos para su uso adecuado y evitar poner en riesgo el equipo y al operario. La operación de la fragua se detalla a continuación con los siguientes puntos [21]:

**Precauciones.** Para iniciar con el uso de la fragua a gas se recomienda leer primero el manual completo y así saber cómo se operar de manera correcta. También, es recomendable hacer uso del equipo de seguridad industrial para maniobrar de forma adecuada la fragua a gas; los elementos de protección personal son: botas, guantes, bata u overol, gafas y mascarilla industrial. Usar la conexión eléctrica correspondiente para evitar daños en el control [21].

**Encendido del equipo.** En el proceso de precalentamiento tener máxima precaución a la hora de encender la fragua. Primero abrir la llave de paso para que el gas llegue al manómetro; ajustar la presión del manómetro entre 3 a 5 psi. Para la ignición, ocupar un encendedor largo para hornos o arrojar un papel encendido dentro de la cámara de combustión. Abrir la llave del quemador para dejar escapar un poco de gas. Ajustar la presión del manómetro entre 10 a 15 psi para tener una llama con mezcla estequiométrica. Se establece un intervalo máximo de 3 min como mínimo para llegar a la temperatura de forja de 1250 °C [21].

Se recomienda cerrar la tapa trasera de la fragua para que el calentamiento sea más rápido al evitar pérdidas de calor [21].

**Riesgos del equipo.** En el proceso de forja tener máxima precaución cuando se introducen o sacan las piezas de la fragua, debido a las llamas que salen de la cámara de combustión. Introducir las piezas de manera paralela a la base de la fragua. Al extraer las piezas, se debe precalentar las tenazas para evitar choques térmicos [21].

#### **4.2.1. MANUAL DE USO DE FRAGUA A GAS**

Los pasos para el uso y operación de la fragua a gas se detallarán a continuación con los siguientes puntos [21]:

**Introducción de material.** Se debe iniciar ese proceso una vez la fragua llegue al punto de forja deseado para la máxima eficiencia. En este caso la mejor opción es introducir el material una vez la llama se haya estabilizado y la temperatura tenga la mínima variación. Para el caso del hierro, la temperatura es entre los 950 y 1,250 °C [21].

**Forja por esfuerzos repetitivos.** Una vez la pieza tenga la temperatura adecuada, se debe extraer y posicionar en un yunque para ser conformada. Dependiendo de la forma que se requiera, el herrero determinará la presión y el

número de colisiones que debe aplicar. Al ser un proceso empírico, dependerá de la experiencia del operario el trabajo de forja manual [21].

**Reinserción del material.** Al estar sometido a una transferencia de calor por conducción y convección, la pieza perderá calor por lo que su ductilidad disminuirá considerablemente. Antes que la pieza se agrieta se debe reintroducir en la fragua para lograr la temperatura de forja. Este proceso se repetirá hasta que se obtenga la forma adecuada [21].

**Control de temperatura.** Para el manejo del control de temperatura se debe utilizar un termómetro laser con un rango de medición mínimo de 1,300 °C o superior. Se descartó el uso de una termocupla debido a que para este equipo mide la temperatura promedio focalizada en el punto donde se encuentra. En hornos, al hacer cambios de temperatura lentos, al punto de ser cuasi estáticos, es altamente utilizada en la industria ya que mide la temperatura del área circundante. En una fragua, al estar inyectando calor por medio de llama, la temperatura es dinámica, por lo que el cambio es demasiado rápido para ser percibido por este componente. Por último, para los casos en los que se requiere más calor, basta con regular la llave del quemador, lo que aumentara la salida de gas que combustionara con el oxígeno. Procurar mantener en todo momento una llama estequiométrica para producir el cambio de temperatura en la pieza [21].

**Advertencias.** Por ningún motivo apague la fragua con agua para evitar dañar el equipo en su totalidad. Utilizar un extintor de incendios. Evite apagarla fragua cuando se encuentra a su máxima temperatura, se aconseja disminuir la temperatura progresivamente antes de apagarlo. No mover equipo cuando esté funcionamiento porque se podría caer al suelo, quebrando los ladrillos refractarios [21].

### 4.3. MANUAL DE MANTENIMIENTO

Es una serie de tareas estructuradas para proteger y alargar la vida útil del equipo y mantener un funcionamiento adecuado durante su servicio [21].

**Fragua a gas.** Para el caso de la fragua, el mantenimiento en su mayoría es rutinario y visual. Se recomienda una inspección después de cada fragua para descartar cualquier daño a los materiales al momento de la operación. Realizar revisiones anuales. Limpiar la boquilla del quemador con una escobilla de metal para limpiar cualquier desperdicio o rebaba que haya quedado adherida a las paredes de los ladrillos adyacentes a este antes y después de uso. Limpiar con un trapo la parte exterior de la fragua para quitar restos de grasas y otros líquidos que podrían dañar la estructura. En caso que durante la inspección se encuentre un agrietamiento en los ladrillos refractarios, proceder a sellar la grieta con cemento refractario y dejar secar por 20 h mínimo. Proceder a curar la fragua durante 16 horas continuar de funcionamiento. Este procedimiento es necesario para evitar posibles grietas o propagación en el futuro [21].

**Quegador atmosférico a gas propano LP.** Como todo equipo necesita de un adecuado mantenimiento para prevenir daños especificados por el fabricante. El quemador atmosférico a gas propano se fabrica de un material de alta resistencia mecánica y a la oxidación. De acuerdo al fabricante, se puede usar continuamente hasta por un máximo de 12 h sin que se deforme. Debido a la carbonización en la boquilla, se le debe dar un mantenimiento cada 4 meses para alargar su vida útil y mantener su funcionamiento [21]. En caso de mantenimiento preventivo o de funcionamiento se recomienda acudir a ANTECH EL SALVADOR, (503) 22687186 (503) 71602592 [36].

## **4.4. SEGURIDAD**

La seguridad tiene como característica principal la protección del operario. Es uno de los principales aspectos cuando se diseñan todos los equipos. Se debe incorporar todos los dispositivos de seguridad necesarios para el bienestar del operario que la utilizara y la protección de los componentes del equipo. La fragua debe tener un buen proceso de funcionamiento y contar con la normativa respectiva[1].

### **4.4.1. GENERALIDADES**

En toda operación de equipos de alta temperatura como hornos, calderas, fraguas, etc. Es de mucha importancia considerar los aspectos siguientes [1]:

a) Consideraciones:

- Nunca se debe dejar la fragua sin supervisión por largos períodos de tiempo, es importante que en caso de fuga la quema sea interrumpida inmediatamente.
- En caso de usar mangueras de material plástico éstas tienen fecha de caducidad, un máximo de 4 años de uso, después de ese tiempo deben ser reemplazados.
- Es más recomendable las mangueras metálicas o de acero inoxidable es más conveniente porque no poseen fecha de caducidad y son más resistentes a altas temperaturas, golpes o cortes.
- Siempre debe existir una buena ventilación en el lugar donde se instale; ya sea para la toma de aire para su combustión como también para la evacuación de gases quemados. Si el aire no circula en forma constante, se consume el oxígeno del aire con gran peligro para la vida de las personas.

- Se debe de disponer de un extintor de incendios. Además, este debe de ser cambiado anualmente o según fecha de expiración.
  - La llama tiene que tener una distancia mínima de 13 cm como mínimo para que no se genera punto frío; mayor temperatura después de la llama.
- b) Longitud de la tubería:
- Es recomendable instalar la manguera siempre a la vista, nunca empotradas. Esta forma de colocarlas es para acceder fácilmente en caso de fugas.
  - Si la manguera estuviese empotrada, se acumularía el gas con el riesgo de producir una explosión o envenenamiento por exposición al gas.
  - La manguera tiene que estar alejada un mínimo de 1 m y un máximo de hasta 3 m alejada de la fragua para evitar que cualquier escape de llama de la fragua entre en contacto con el cilindro de gas propano.
  - Las mangueras o tuberías de gas se deben disponer alejadas de cualquier elemento productor de chispas y se debe cuidar de situarlos en lugares protegidos, donde no reciban golpes o sufran deterioros.
- c) Gases de escape:
- Los humos producidos por la combustión de los gases son insalubres y muy molestos, se deben evacuar directamente al exterior.
  - No puede estar cerrada la fragua al 100% debido a que no cuenta con una chimenea para dicha función.
  - La cámara de combustión debe de tener un área mínima de 50 cm<sup>2</sup> para la salida de gases quemados. Nunca sellar herméticamente.
- d) Ubicación de la fragua y cilindro de gas:
- La fragua tiene que estar en un espacio alejado de las paredes; preferiblemente en un lugar con buena ventilación.
  - Evitar tener objetos adyacentes que puedan interferir con el funcionamiento como otro tipo de maquinaria o afecten la movilidad del operario

- El cilindro de gas debe estar colocado por lo menos 3 m del horno y separado por una pared para evitar riesgos.
- Meter cilindro en agua para evitar congelamiento y evitar que se incline para que no salga gas líquido.
- Utilizar un cilindro de 35 libras para un quemador con el fin de evitar que el cilindro se congele muy rápidamente.

e) Ventilaciones:

- Por razones de seguridad, y ante cualquier posible pérdida de gas no detectada, el lugar donde la fragua esté operando requerirá de una buena ventilación.
- La buena ventilación ayuda al escape de los gases y a la combustión de la llama.

f) Quemador:

- Siempre desconectar el quemador de la toma de gas.
- Antes de cada uso, verificar que no haya ninguna obstrucción en la salida del quemador
- Después de cada operación, primero, cerrar la llave del manómetro para evitar el paso de gas hacia la manguera. Después, dejar que todo el gas remanente en la manguera sea expulsado por el quemador. Por último, desconectar la manguera del quemador.
- El tubo del quemador no debe sobresalir de la cámara de combustión para evitar calentamiento.
- Para evitar que la llama salga por la entrada del quemador, este debe de ser soldado en la parte superior al tubo sin huecos ni poros. Se debe realizar un hueco en la parte superior en forma escalonado, es decir de diferentes diámetros para lograr esto.

## CONCLUSIONES

Con la finalización del desarrollo de la investigación se estableció que la información recopilada fue de gran importancia para la comprensión del funcionamiento, métodos de diseño y criterios de cada uno de los elementos que componen la propuesta de fragua a gas para fines didácticos. Con la ayuda del programa CAD Solid Works 2020, se modelaron todos los componentes previamente seleccionados para generar los planos de construcción, con el fin de observar su forma geométrica y asegurar que cumpliera con los requerimientos necesarios establecidos por los datos obtenidos en los cálculos y la aplicación del parámetro de diseño seleccionados lo que permitió que el diseño cumpliera con las especificaciones necesarias para la realización del proceso de forja.

Para el diseño del prototipo se pudo observar que se encontraban inconvenientes para adquirir los materiales de construcción específicamente como se obtenían de los resultados de los cálculos. Ya que algunos de estos elementos están fabricados en medidas estándar, o debido al difícil acceso, ya sea porque no se encuentra o su valor comercial es muy elevado. Con las recomendaciones dadas por el asesor se logró seleccionar los mejores materiales y procesos de fabricación para la construcción de la fragua. Un ejemplo de esto es el caso de los ladrillos refractarios utilizados para delimitar el cuerpo y el aislamiento interno los cuales están elaborados de un material refractario blanco el cual es menos aislante que los ladrillos refractarios rojos, por lo cual se utiliza una capa de cemento refractario para mejorar el aislamiento y disminuir las pérdidas de calor.

## RECOMENDACIONES

Para otra fragua, un cuerpo más grande, así como un segundo y la posibilidad de un tercer quemador expandiría las capacidades de la fragua. Con un cuerpo más grande, aunque sea solo utilizad dos ladrillos horizontales completos en lugar de partir una a la mitad, piezas más grandes se podrían forjar, pero se necesitaría un segundo quemador para un calentamiento homogéneo sobre las piezas. Un tercero o inclusive un cuarto alineado de frente en paralelo incrementa el poder emergentico dentro de la cámara de combustión.

La forma de la fragua favorece la portabilidad y facilita dentro del laboratorio para proyectos con fines didácticos o laboratorios de ensayos. Sin embargo, relocalizarla a otro lugar sería tedioso debido al peso. Si se cambiara los ladrillos refractarios por la misma cantidad de fibra refractaria y se protegiera, se podría disminuir el peso y el tamaño de la misma.

Soldar piezas delgadas o con poca área sería un desafío, pero siempre se pudiera dependiendo de la experiencia del técnico.

El quemador cotizado trabaja bien bajo los parámetros de diseño. En caso de que la forja se moviera a algún lugar elevado sobre el nivel del mar, considerar instalar un quemador con aire forzado por medio de una ventila para remplazar el quemador atmosférico.

Además, se puede adicionar un sistema de encendido por chispa eléctrico a la salida de la boquilla del quemador con lo que mejoraría la ignición, menos pérdida de gas y daría mayor seguridad. Actualmente, para encenderla se necesita un encendedor con un tubo largo para protección. Lastimosamente, encontrar y comprar un material que pudiera estar en todo momento a la salida del quemador sería demasiado costoso de implementar, por tal motivo se descartó la idea.

## REFERENCIAS

- [1] T. Quiñonez and A. Marciano, "Tecnología de construcción de una fragua y el forjado en el Instituto de Educación Superior Tecnológica Santiago Antúnez de Mayolo – Huancayo," *Univ. Nac. Cent. Perú*, 2019, Accessed: Sep. 17, 2020. [Online]. Available: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5388>
- [2] Davis, S. M. (n.d.). *Design, Construction, and Evaluation of a Gas Forge*. 43.
- [3] *Fragua de gas*. (n.d.). Retrieved February 8, 2021, from <https://es.wallapop.com/item/fragua-gas-201756131>
- [4] [PDF] *MANUAL DE FRAGUA A GAS PROPANO (Sistema de quemador)*—Free Download PDF. (n.d.). Retrieved January 20, 2021, from <https://silo.tips/download/manual-de-fragua-a-gas-propano-sistema-de-quemador>
- [5] Sergio Ramírez. (08:26:36 UTC). *Mechero Bunsen* [Education]. <https://www.slideshare.net/checoquimica/mechero-bunsen-presentation>
- [6] *Manual de Hornos ceramicos a Gas.pdf*. (n.d.). Retrieved February 2, 2021, from <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/6000/2/Manual%20de%20Hornos%20ceramicos%20a%20Gas.pdf>
- [7] Material refractario. (2020). In *Wikipedia, la enciclopedia libre*. [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Material\\_refractario&oldid=126964784](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Material_refractario&oldid=126964784)
- [8] Materiales refractarios. (2017, May 11). *MATERIALES CERÁMICOS Y COMPUESTOS*. <https://materialesceramicosblog.wordpress.com/2017/05/11/materiales-refractarios/>
- [9] Manguera. (2020). In *Wikipedia, la enciclopedia libre*. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Manguera&oldid=129019995>
- [10] *Qué es y cómo funciona un regulador de gas*. (2017, March 7). Heatwave. <https://www.heatwave.com.mx/noticias/regulador-de-gas/>
- [11] Alvaro Marmolejo. (14:46:09 UTC). *Cilindros de gas* [Tecnología]. <https://es.slideshare.net/alvaromarmolejo/cilindros-de-gas>
- [12] Arco, V. (n.d.). *Tipos de válvulas de gas seguras para instalaciones domésticas*. Retrieved February 4, 2021, from <http://blog.valvulasarco.com/tipos-de-valvulas-de-gas-seguras-para-instalaciones-domesticas>
- [13] ASALE, R.-, & RAE. (n.d.). *Forjado | Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Retrieved January 20, 2021, from <https://dle.rae.es/forjado>

- [14] *Recocido, templado, revenido—Curso: Tratamiento térmico del acero. Material de trabajo para los aprendices: 3. Aparatos y medios auxiliares.* (n.d.). Retrieved January 28, 2022, from <http://www.nzdl.org/cgi-bin/library?e=d-00000-00---off-0gtz--00-0---0-10-0---0---0direct-10---4-----0-11--11-en-50---20-about---00-0-1-00-0--4---0-0-11-10-0utfZz-8-00&cl=CL1.3&d=HASH014e32ed215adb38c797ca07.5&x=1>
- [15]. *...LA CIENCIA DE MATERIALES APLICADA A LA FORJA...* (n.d.). .....*LA CIENCIA DE MATERIALES APLICADA A LA FORJA...* Retrieved January 28, 2022, from <https://laboratoriodeforja2.wordpress.com/>
- [16] *Definición de costo—Definicion.de.* (n.d.). Definición.de. Retrieved February 2, 2021, from <https://definicion.de/costo/>
- [17] *Gas Forge Building Frequently Asked Questions.* (n.d.-a). Retrieved May 26, 2021, from <http://zoellerforge.com/faq.html>
- [18] *School me on burner angle please.* (n.d.). I Forge Iron. Retrieved May 4, 2021, from <https://www.iforgeiron.com/topic/54578-school-me-on-burner-angle-please/>
- [19] *NFPA.* (n.d.). Retrieved August 3, 2021, from <https://www.nfpa.org/>
- [20] *ISO - ISO 23550:2011—Safety and control devices for gas burners and gas-burning appliances—General requirements.* (n.d.). Retrieved May 5, 2021, from <https://www.iso.org/standard/57045.html>
- [21] Bautista, M. R. W., & Palma, J. C. N. (n.d.). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE HORNO PARA LA REALIZACIÓN DEL PROCESO STIR CASTING CON ALEACIONES DE ALUMINIO.* 171.
- [22] Quiñonez, T., & Marciano, A. (2019). Tecnología de construcción de una fragua y el forjado en el Instituto de Educación Superior Tecnológica Santiago Antúnez de Mayolo – Huancayo. *Universidad Nacional del Centro del Perú.* <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5388>
- [23] *Natural gas and propane installation code.* (n.d.). CSA Group. Retrieved May 27, 2021, from <https://www.csagroup.org/store/natural-gas-and-propane-installation-code/>
- [24] *Horno de Forja H3.* (n.d.). Prada Nargesa. Retrieved January 23, 2021, from <https://www.nargesa.com/es/maquinaria-industrial/horno-de-forja-h3>
- [25] *Gas Forge Building Frequently Asked Questions.* (n.d.-b). Retrieved January 28, 2022, from <http://zoellerforge.com/faq.html>
- [26] Morales, A. M. (1965). *Revestimientos refractarios monolíticos para calderas.* 16.
- [27] García, E. Y. F., & Núñez, R. E. O. (n.d.). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO DE CRISOL PARA ALEACIONES NO FERROSAS.* 159.
- [28] *Transferencia De Calor y Masa, 4ta ed. - Cengel -McGraw-Hill.pdf.* (n.d.).
- [29] *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley—R. Budynas, J. Nisbett—9na Edición.pdf.* (n.d.).
- [30] *Almacenes Vidrí | Ferreterías en El Salvador.* (n.d.). Retrieved November 1, 2021, from <https://www.vidri.com.sv>

- [31] *Burner flares, Gas Forge Parts, Gas forge Burners, Ceramic Blanket.* (n.d.). Retrieved July 28, 2021, from <http://zoellerforge.com/forgeparts.html>
- [32] *anvilfire.com—Blacksmiths and Metalworkers Resources for Artist Craftsmen.* (n.d.). Retrieved August 4, 2021, from <https://www.anvilfire.com/index.php>
- [33] Ministerio de Economía informa variaciones en los precios de los cilindros de Gas Licuado de Petróleo para noviembre 2021. (2021, October 30). *Ministerio de Economía.* <https://www.economia.gob.sv/2021/10/ministerio-de-economia-informa-variaciones-en-los-precios-de-los-cilindros-de-gas-licuado-de-petroleo-para-noviembre-2021/>
- [34] *Gas Forges: Building Your First Gas Forge: Anvilfire.com articles for metalworkers.* (n.d.). Retrieved November 1, 2021, from <https://www.anvilfire.com/21st-century-blacksmithing/forging/gas-burners/>
- [35] *ANTECH EL SALVADOR.* (n.d.). Retrieved November 1, 2021, from <https://www.antechsv.com/>







**ALMACENES VIDRI, S.A. DE C.V.**

SUCURSAL : SAN MIGUELITO

R.F.C. : 27

R.F.T. : 0210-191171-01-6

COTIZACION No. 60200043499

GIRO : FERRETERIA

DIRECCION : 29 C. P.L. Y LA. AVE. NTE. No. 297, BARRIO SAN MIGUELITO, SAN SALVADOR

EMAIL : a.vist@vidri.com.sv

TELEFONO : 2225 9900



Fecha	28/10/2021 17:09:13		
Cliente	CONSUMIDOR FINAL	NRF Cliente	
Direccion			CF
Atención a	CONSUMIDOR FINAL		
Vendedor	0002107 - HERNAN RAFAEL GRANADOS MARTEL	Validez Oferta	
Observaciones		Condición de pago	CONTADO

Datos Adicionales:

Sub Total	\$316.80
IVA	\$0.00
TOTAL	\$316.80

Precios incluyen IVA

\*\* Precios sujetos a cambio sin previo aviso \*\*

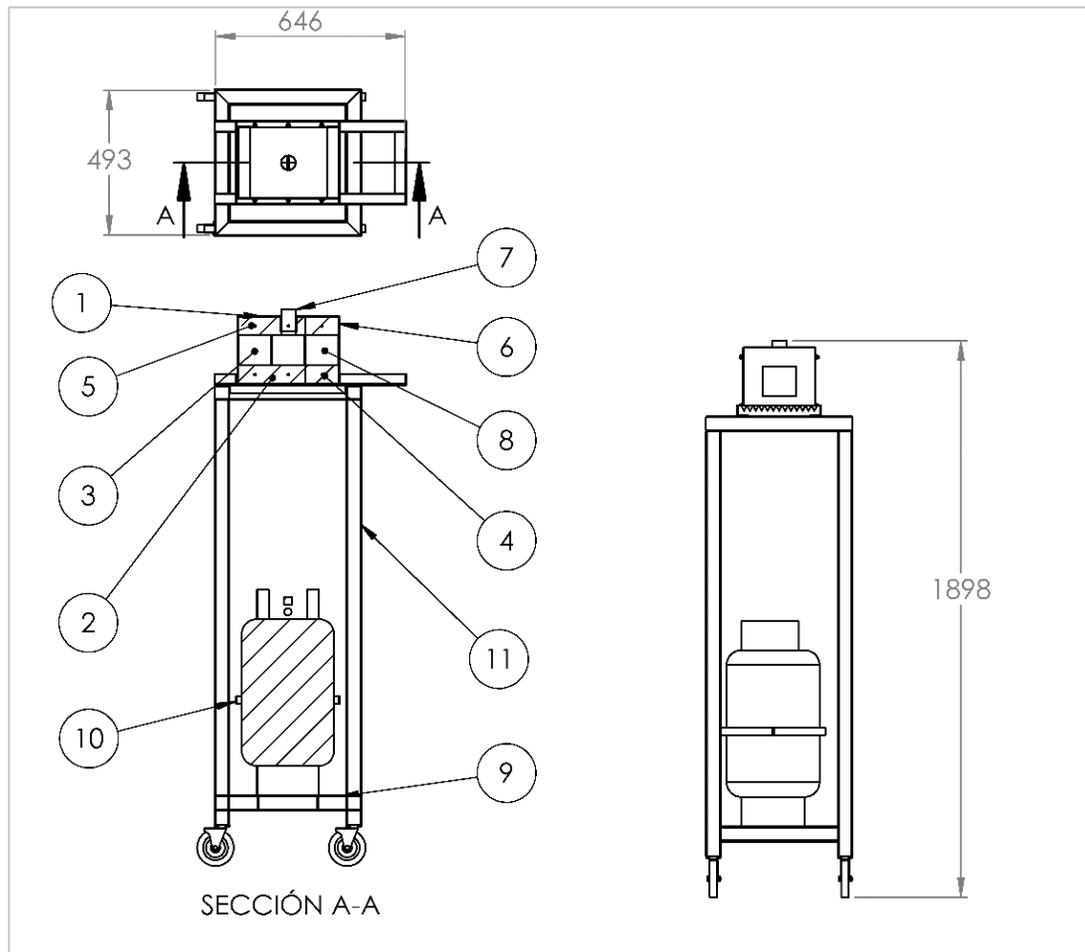
Vendedor  
Página 2/2

AUTORIZADO

ACEPTADO

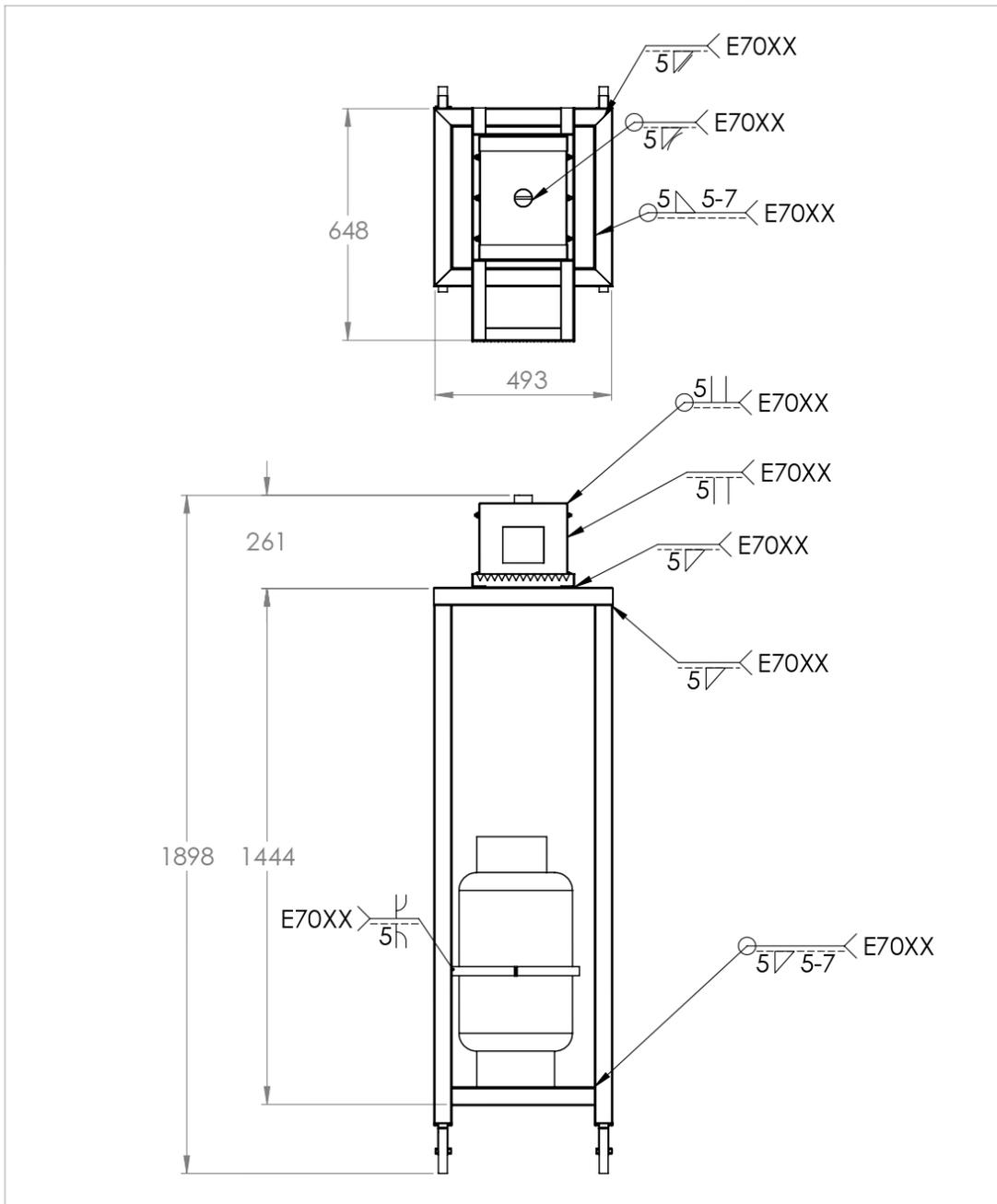
Consumidor Final

## **ANEXO A.3: PLANOS DE FRAGUA A GAS PROPANO**

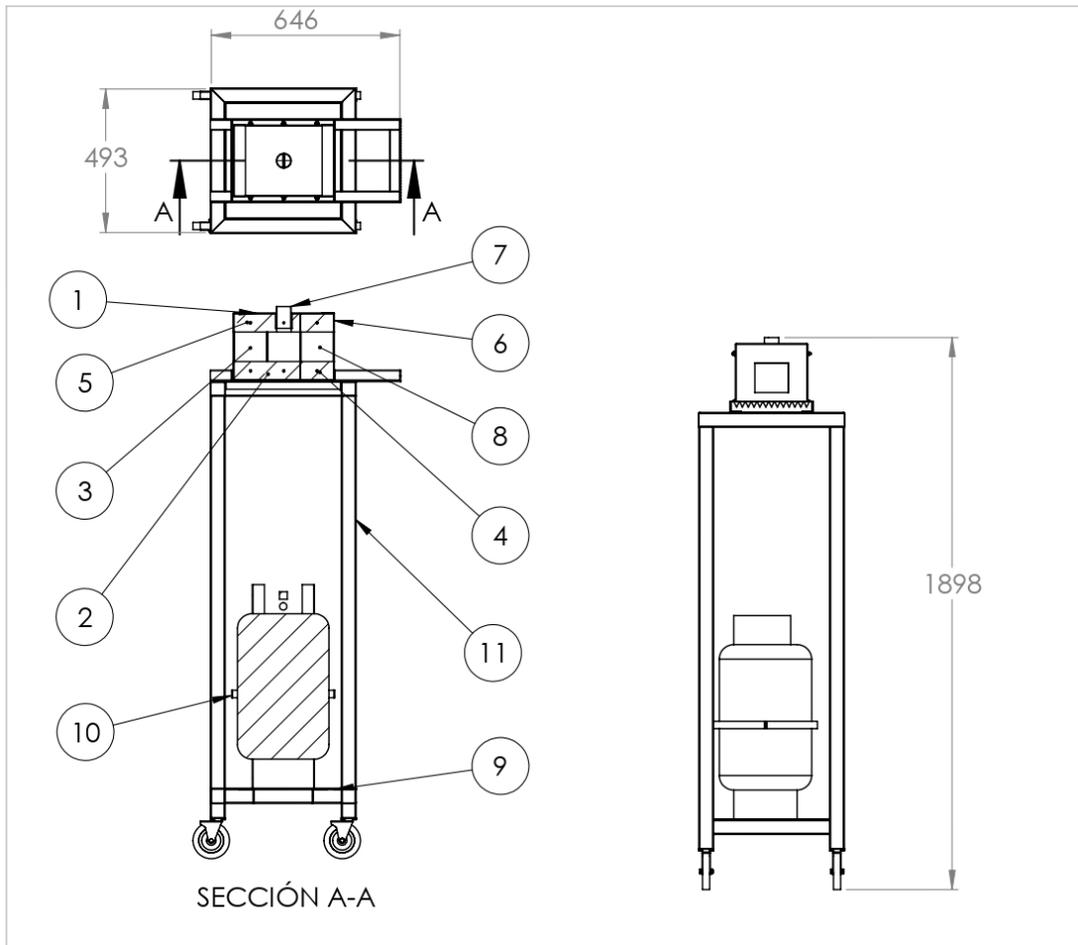


11	Estructura metálica	Hierro ángulo 2x1/4 pulg	Detalle 11
10	Cincho metálico	Lamina galvanizada chapa 30	Detalle 10
9	Soporte metálico	Lamina galvanizada chapa 30	Detalle 9
8	Cuerpo de fragua		Detalle 8
7	Tubo para quemador	Caño hueco 2 pulgadas	Detalle 7
6	Tapadera metálica	Lamina galvanizada chapa 30	Detalle 6
5	Ladrillo superior	Ladrillo refractario rectangular	Detalle 5
4	ladrillo mitad	Ladrillo refractario rectangular	Detalle 4
3	Pared lateral refractaria	Ladrillo refractario rectangular	Detalle 3
2	Base refractario	Ladrillo refractario rectangular	Detalle 2
1	Carcasa metálica	Lamina galvanizada chapa 30	Detalle 1
Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	ESPECIFICACIÓN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de una fragua a gas propano para fines didácticos	ESCALA: 1:20
DOCENTES ASESORES: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz Ing. Francisco Alfredo De León Torres		ESTUDIANTE: Edwin Alexander Monrroy Montalvo	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: 4/15	FECHA: Enero de 2022	Conjunto: cuerpo de fragua	

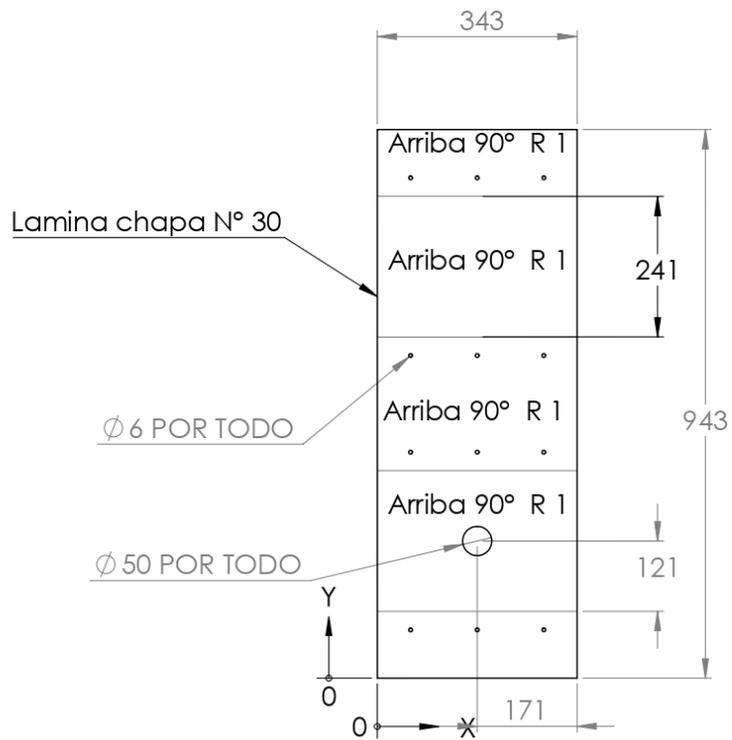


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de una fragua a gas propano para fines didácticos	ESCALA: 1:20
DOCENTES ASESORES: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz Ing. Francisco Alfredo De León Torres	ESTUDIANTE: Edwin Alexander Monrroy Montalvo	UNIDADES: milímetros
N° PLANO: 1/13	FECHA: Enero de 2022	Soldaduras: fragua a gas propano
		



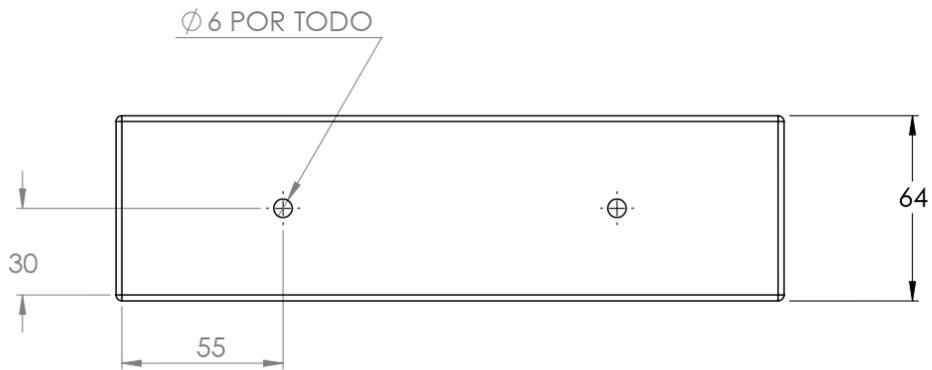
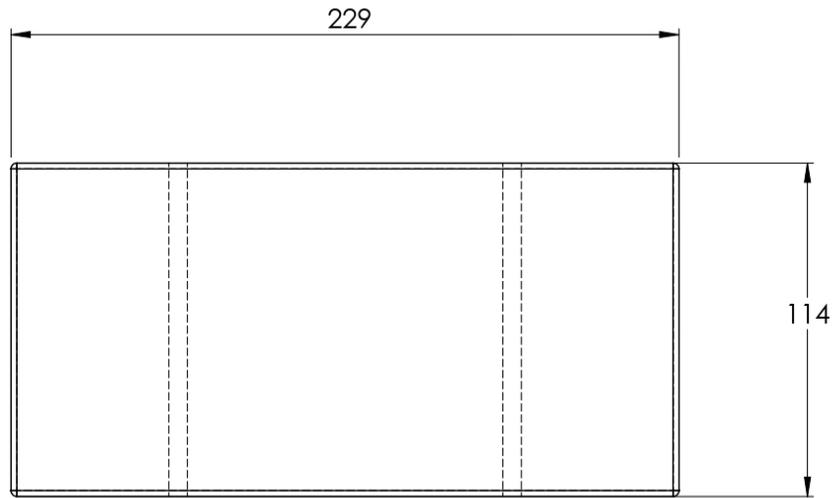
11	Estructura metálica	Hierro angulo 2x1/4 pulg	Detalle 11
10	Cincho metálico	Lamina galvanizada chapa 30	Detalle 10
9	Soporte metálico	Lamina galvanizada chapa 30	Detalle 9
8	Cuerpo de fragua		Detalle 8
7	Tubo para quemador	Caño hueco 2 pulgadas	Detalle 7
6	Tapadera metálica	Lamina galvanizada chapa 30	Detalle 6
5	Ladrillo superior	Ladrillo refractario rectangular	Detalle 5
4	Ladrillo mitad	Ladrillo refractario rectangular	Detalle 4
3	Pared lateral refractaria	Ladrillo refractario rectangular	Detalle 3
2	Base refractario	Ladrillo refractario rectangular	Detalle 2
1	Carcasa metálica	Lamina galvanizada chapa 30	Detalle 1
Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	ESPECIFICACIÓN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de una fragua a gas propano para fines didácticos	ESCALA: 1:20
DOCENTES ASESORES: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz Ing. Francisco Alfredo De León Torres		ESTUDIANTE: Edwin Alexander Monroy Montalvo	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: 2/13	FECHA: Enero de 2022	Conjunto: cuerpo de fragua	

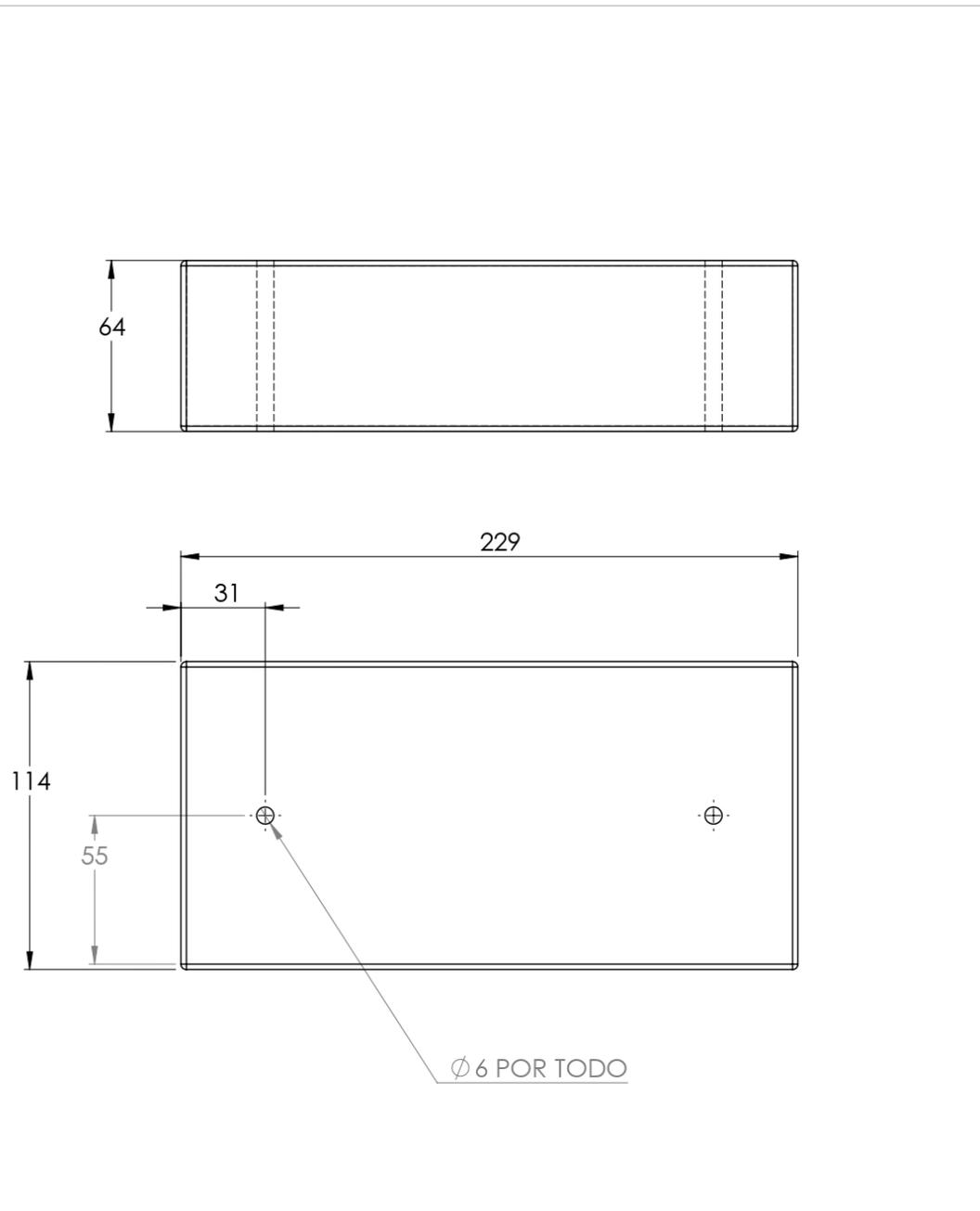


B	$\phi 50$ POR TODO	1
A	$\phi 6$ POR TODO	12
ETIQUETA	DIMENSIÓN	CANTIDAD
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de una fragua a gas propano para fines didácticos	ESCALA: 1:10
DOCENTES ASESORES: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz Ing. Francisco Alfredo De León Torres	ESTUDIANTE: Edwin Alexander Monroy Montalvo	UNIDADES: milímetros
N° PLANO: 3/13	FECHA: Enero de 2022	Detalle 1: Carcasa metálica

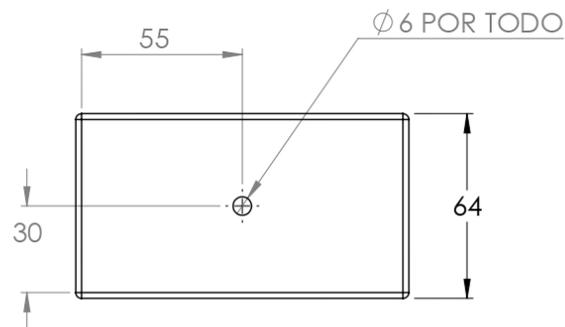
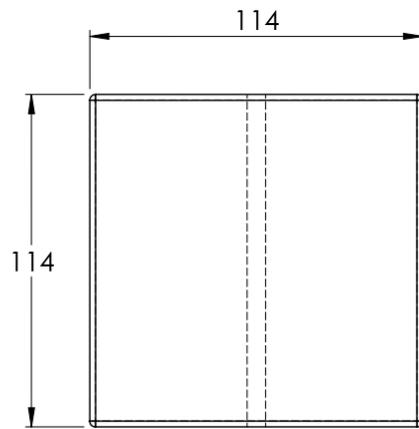




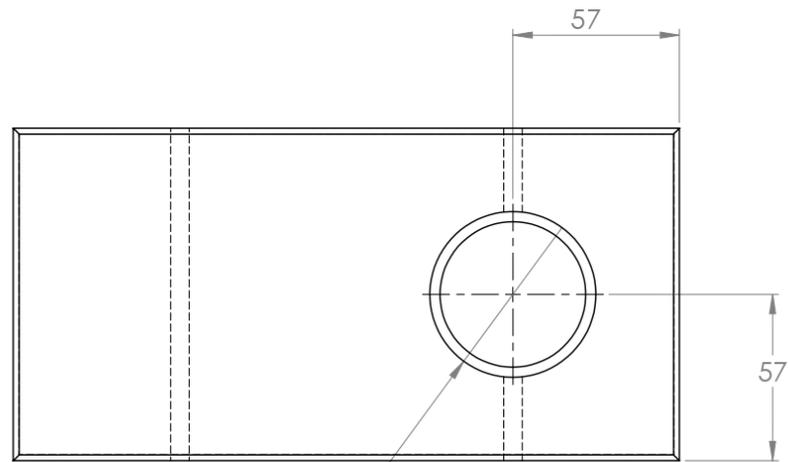
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de una fragua a gas propano para fines didácticos	ESCALA: 1:2
DOCENTES ASESORES: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz Ing. Francisco Alfredo De León Torres		ESTUDIANTE: Edwin Alexander Monrroy Montalvo	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: 4/13	FECHA: Enero de 2022	Detalle 2: Ladrillo inferior	



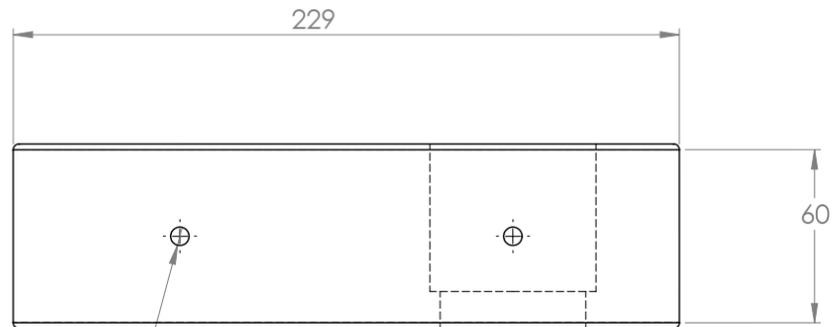
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de una fragua a gas propano para fines didácticos	ESCALA: 1:2
DOCENTES ASESORES: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz Ing. Francisco Alfredo De León Torres	ESTUDIANTE: Edwin Alexander Monrroy Montalvo	UNIDADES: milímetros
N° PLANO: 5/13	FECHA: Enero de 2022	Detalle 3: Ladrillo lateral



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de una fragua a gas propano para fines didácticos	ESCALA: 1:2
DOCENTES ASESORES: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz Ing. Francisco Alfredo De León Torres	ESTUDIANTE: Edwin Alexander Monroy Montalvo	UNIDADES: milímetros
N° PLANO: 6/13	FECHA: Enero de 2022	Detalle 4: Ladrillo mitad
		

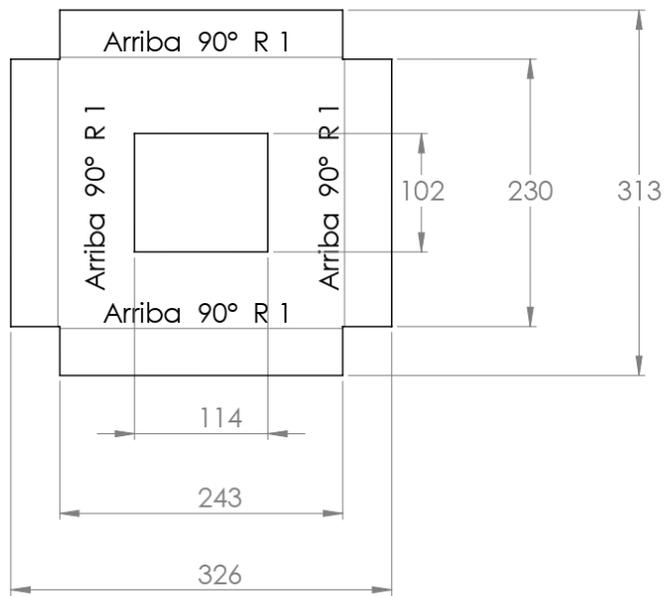


$\phi$  50 POR TODO  
 $\square$   $\phi$  57  $\nabla$  51

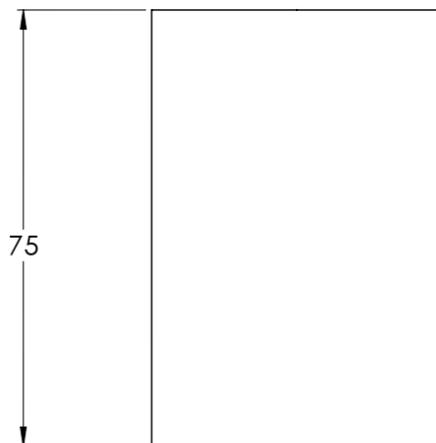
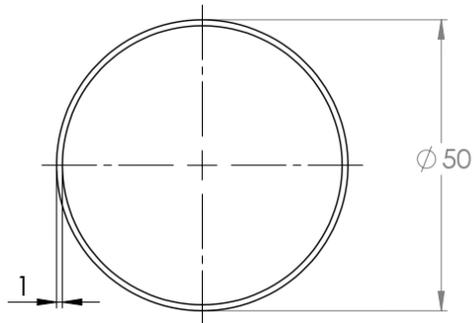


2 x  $\phi$  6 POR TODO

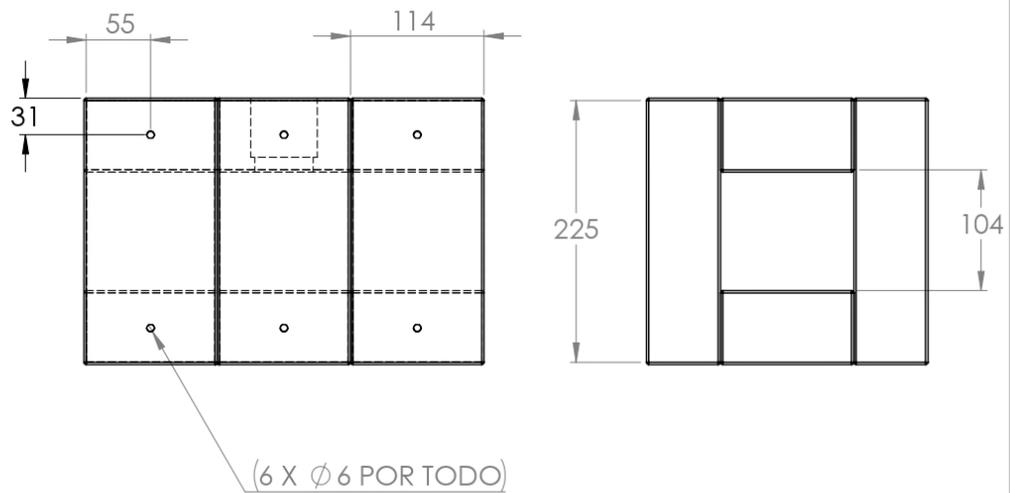
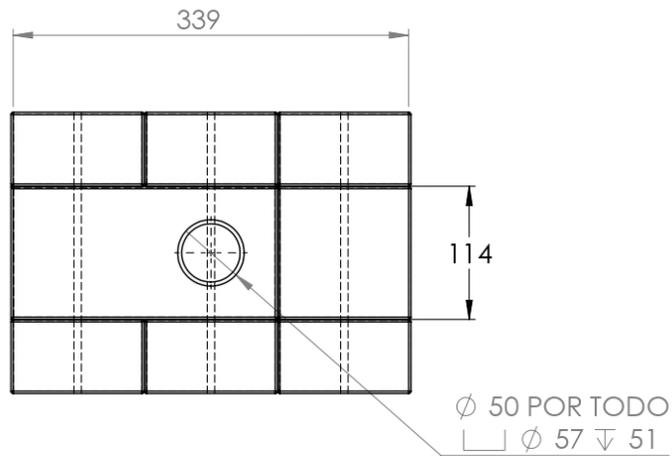
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de una fragua a gas propano para fines didácticos	ESCALA: 1:5
DOCENTES ASESORES: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz Ing. Francisco Alfredo De León Torres	ESTUDIANTE: Edwin Alexander Monroy Montalvo	UNIDADES: milímetros
N° PLANO: 7/13	FECHA: Enero de 2022	Detalle 5: Ladrillo superior



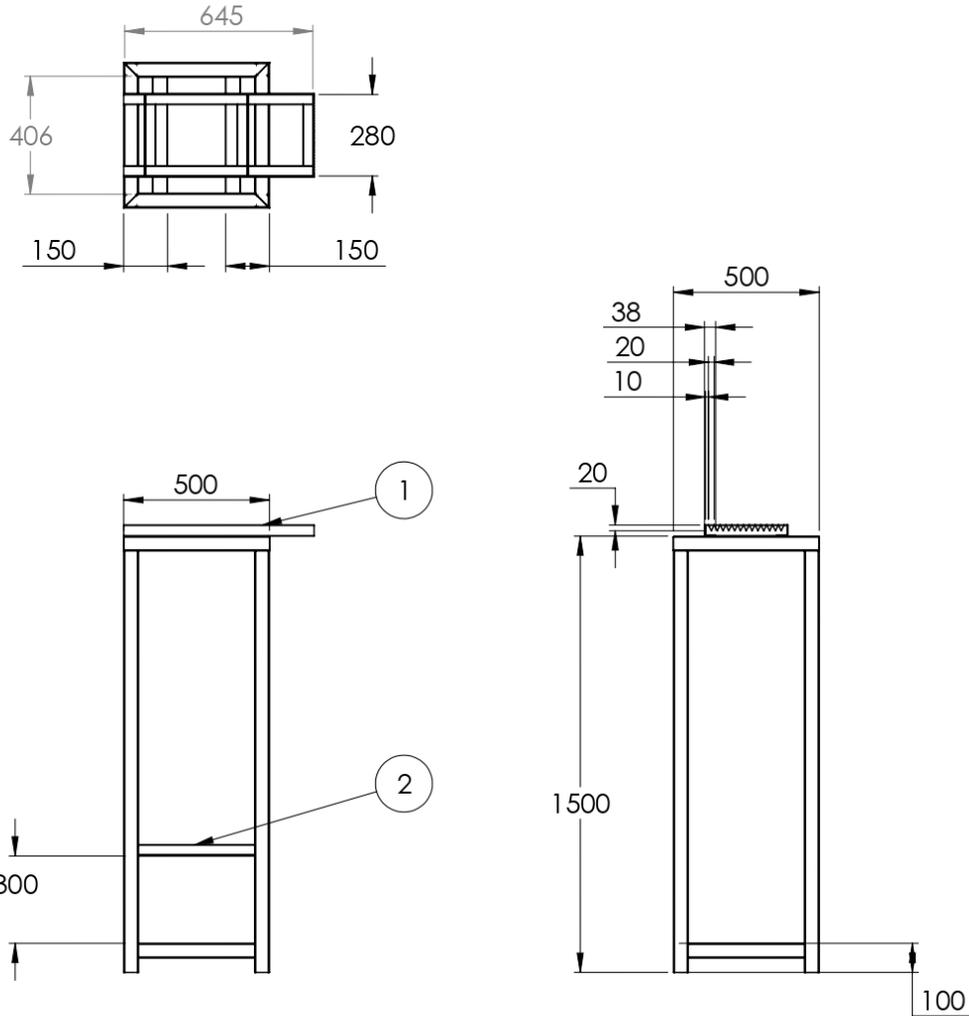
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de una fragua a gas propano para fines didácticos	ESCALA: <b>1:5</b>
DOCENTES ASESORES: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz Ing. Francisco Alfredo De León Torres		ESTUDIANTE: Edwin Alexander Monroy Montalvo	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: 8/13	FECHA: Enero de 2022	Detalle 6: Carcasa metálica frontal y trasera	



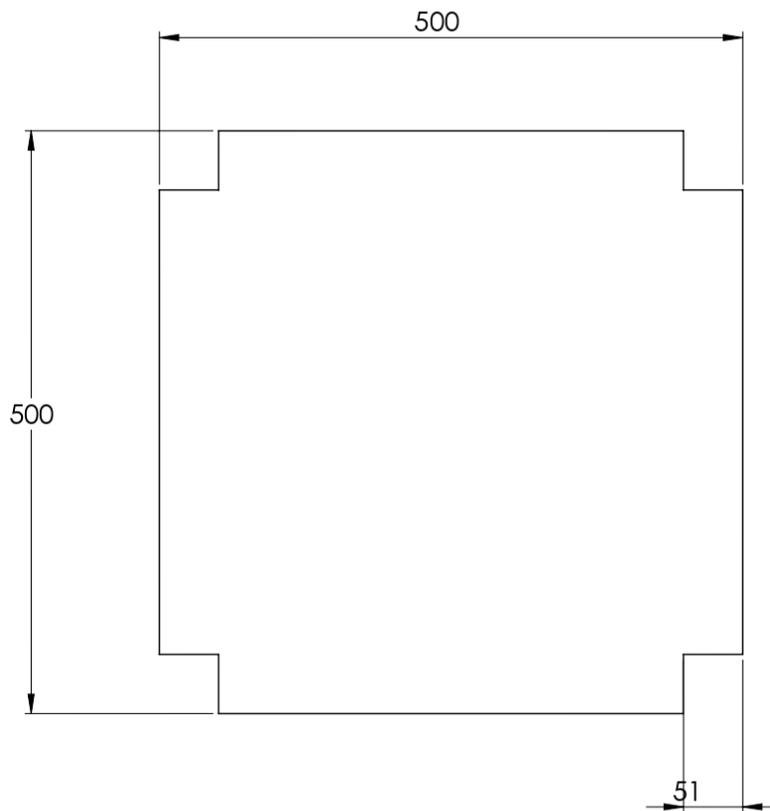
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de una fragua a gas propano para fines didácticos	ESCALA: 1:1
DOCENTES ASESORES: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz Ing. Francisco Alfredo De León Torres		ESTUDIANTE: Edwin Alexander Monrroy Montalvo	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: 9/13	FECHA: Enero de 2022	Detalle 7: Sujetador quemador	



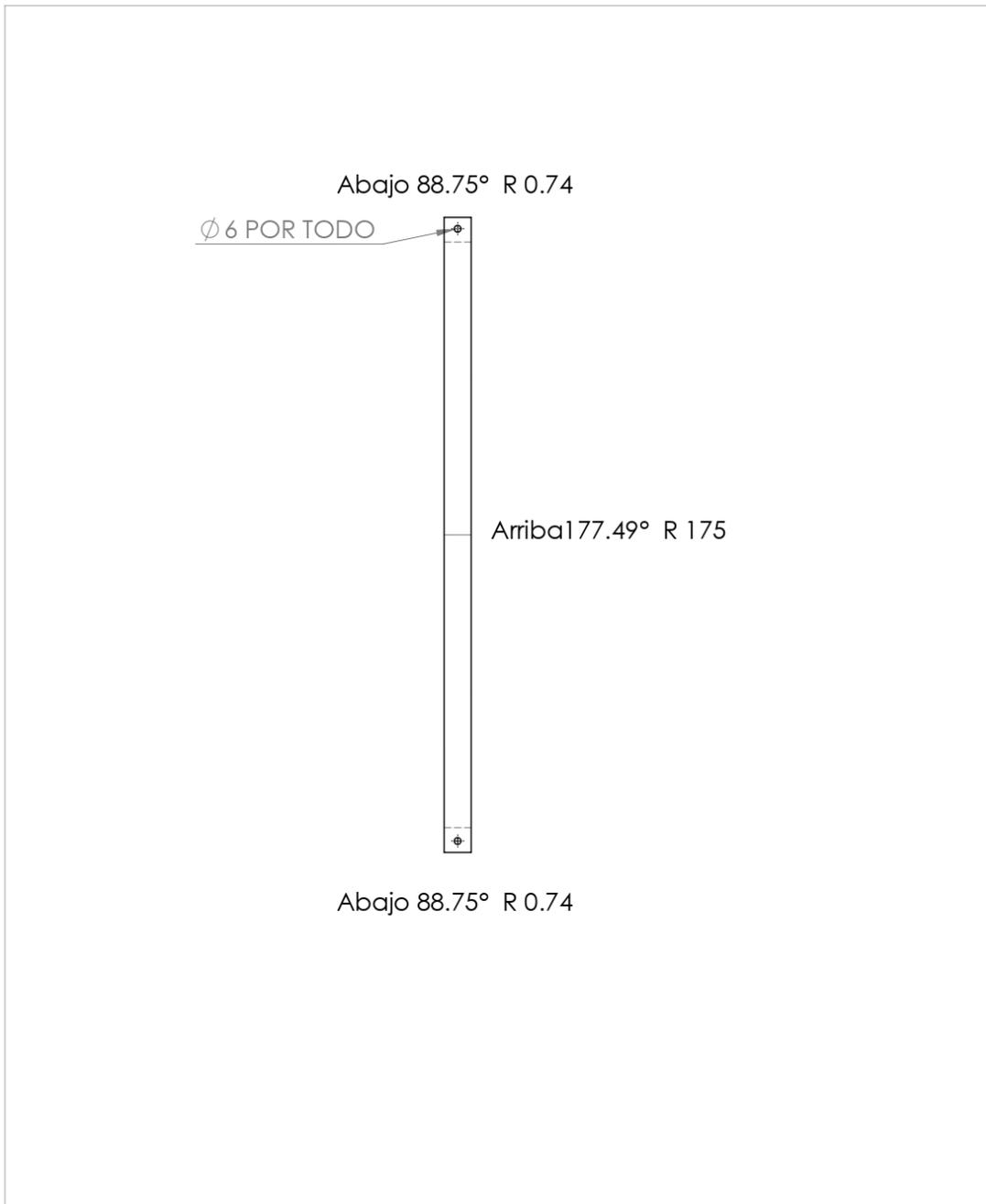
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de una fragua a gas propano para fines didácticos	ESCALA: 1:5
DOCENTES ASESORES: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz Ing. Francisco Alfredo De León Torres		ESTUDIANTE: Edwin Alexander Monroy Montalvo	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: 10/13	FECHA: Enero de 2022	Detalle 8: Fragua	



2	Sujetador de tanque de gas	lamina galvanizada chapa 30	Detalle 10
1	Lamina de soporte	lamina galvanizada chapa 30	Detalle 9
Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	ESPECIFICACIÓN
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de una fragua a gas propano para fines didácticos	ESCALA: 1:20
DOCENTES ASESORES: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz Ing. Francisco Alfredo De León Torres		ESTUDIANTE: Edwin Alexander Monroy Montalvo	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: 11/13	FECHA: Enero de 2022	Detalle 11: Estructura metálica	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de una fragua a gas propano para fines didácticos	ESCALA: 1:5
DOCENTES ASESORES: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz Ing. Francisco Alfredo De León Torres		ESTUDIANTE: Edwin Alexander Monroy Montalvo	UNIDADES: milímetros
N° PLANO: 12/13	FECHA: Enero de 2022	Detalle 9: Lamina metálica superior e inferior	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de una fragua a gas propano para fines didácticos	ESCALA: 1:5
DOCENTES ASESORES: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz Ing. Francisco Alfredo De León Torres	ESTUDIANTE: Edwin Alexander Monroy Montalvo	UNIDADES: milímetros
N° PLANO: 13/13	FECHA: Enero de 2022	Detalle 10. Sujetador de tanque de gas
		