



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE HORNO A  
GAS PARA REDUCIR EL TIEMPO DE COCCIÓN DE CERÁMICA,  
PARA EL TALLER DE CERÁMICA JALLPA-PUCARA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. CESAR ELOY MORALES HUARACALLO**

**Bach. ADAN BETO QUISPE JAHUIRA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2022**



## DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres Mercedes Morales Ticona y mi madre Rosa Huaracallo Condori, a Dios porque ha estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento.

Depositando su entera confianza sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad.

Dedico también a mis familiares y amigos que estuvieron presentes brindándome su apoyo incondicional.

*Cesar Eloy Morales Huaracallo*



## DEDICATORIA

Con especial respeto, cariño y amor a mis padre Feliciano Quispe y a mi Madre Gabina Jahuirá que en paz descanse, por sus consejos, y compromiso en mi educación, quienes en todo momento confiaron en mí y me apoyaron incansable e incondicionalmente en el inicio, trayecto y culminación de esta importante etapa de mi vida personal y profesional.

*Adan Beto Quispe Jahuirá*



## AGRADECIMIENTO

Tengo la satisfacción de expresar mi agradecimiento a todos los docentes de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA – UNA PUNO, quienes colaboraron con mi formación profesional. Así también a los jurados y asesor que hicieron posible la culminación de este proyecto. Agradezco de forma especial al taller Jallpa Pucara por brindarme la oportunidad de ser parte de una gran familia, quienes colaboraron para el desarrollo y culminación del presente proyecto.

*Cesar Eloy Morales Huaracallo*

A la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, en especial a los docentes ingenieros de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica por el conocimiento compartido en mi preparación profesional. A mis familiares y amigos que colaboraron en la ejecución de este proyecto y con su apoyo y consejos me ayudaron a no desistir en su culminación y logro de esta meta.

*Adan Beto Quispe Jahuirra*



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 17**

**ABSTRACT..... 18**

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 19

1.1.1. Problema general ..... 19

1.1.2. Problemas específicos..... 20

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN ..... 20

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 21

1.3.1. Objetivo general. .... 21

1.3.2. Objetivos específicos. .... 21

1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 21

1.4.1. Hipótesis general ..... 21

1.4.2. Hipótesis específicas..... 21

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN ..... 23

2.2 MARCO TEÓRICO ..... 23



2.2.1 Cerámica .....	23
2.2.2 Arcilla .....	25
2.2.3 Hornos .....	26
2.2.3.1 Hornos cerámicos .....	27
2.2.3.2 Hornos de cámara a gas.....	27
2.2.4 El hogar (cámara) .....	28
2.2.5 Chimenea .....	28
2.2.6 Caldeo directo e indirecto.....	29
2.2.7 Combustibles.....	29
2.2.7.1 Clasificación de los combustibles.....	30
2.2.7.2 Características técnicas de los combustibles.....	31
2.2.8 Combustión.....	32
2.2.9 Ladrillos refractarios.....	33
2.2.9.1 Ladrillos refractarios con alto contenido en alúmina.....	34
2.2.9.2 Ladrillos refractarios con alto contenido de sílice .....	34
2.2.10 Cementos refractarios .....	34
2.2.11 Tuberías rígidas de cobre.....	34
2.2.12 Válvulas de paso .....	35
2.2.13 Válvula de regulación de presión.....	36
2.2.14 Quemadores para horno .....	36
2.2.14.1 Quemadores de aire soplado .....	37
2.2.14.2 Quemadores de inducción atmosférica.....	37
2.2.15 Manómetro de presión .....	37
2.2.16 Sensor de temperatura.....	38
2.2.16.1 Termocuplas .....	38



2.2.16.2	Termocupla tipo (K).....	39
2.2.16.3	Cable de extensión para termopar tipo (K) .....	40
2.2.17	Controladores de temperatura .....	40
2.2.18	Ecuaciones matemáticas para el diseño del prototipo de horno a gas. ....	41
2.2.18.1	Volumen de un paralelepípedo rectangular.....	41
2.2.18.2	Vantidad de calor .....	41
2.2.18.3	Coeficiente de transferencia de calor por convección.....	42
2.2.18.4	Temperatura de película .....	42
2.2.18.5	Número de grashof .....	43
2.2.18.6	Número de rayleigh.....	44
2.2.18.7	Número de prandtl.....	44
2.2.18.8	Número de nusselt.....	45
2.2.18.9	Razón de transferencia de calor .....	45
2.2.18.10	Resistencia térmica por conducción .....	47
2.2.18.11	Potencia térmica total requerida .....	47
2.2.18.12	Eficiencia .....	48
2.2.18.13	Consumo de combustible .....	48
2.2.18.14	Flujo de combustible .....	49
2.2.18.15	Aire teórico – coeficiente de exceso de aire .....	49
2.2.18.16	Flujo de aire .....	50
2.2.18.17	Flujo de los productos de la combustión .....	50

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1	TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	52
3.1.1	Tipo de investigación.....	52



3.1.2 Ubicación del proyecto de investigación.....	52
3.1.3 Diseño de la investigación.....	54
3.2 INGENIERÍA DE DISEÑO DEL PROTOTIPO DE UN HORNO A GAS PARA CERÁMICA .....	54
3.2.1 Introducción.....	54
3.2.2 Parámetros técnicos requeridos para el diseño .....	54
3.2.2.1 Tipo de horno .....	55
3.2.2.2 Temperatura ambiente.....	55
3.2.2.3 Temperatura en el interior del horno.....	55
3.2.2.4 Tiempo de cocción .....	56
3.2.2.5 Combustible empleado.....	56
3.2.3 Dimensionamiento de la cámara interna del horno .....	56
3.2.4 Materiales para las paredes del horno.....	57
3.2.4.1 Material aislante .....	57
3.2.4.2 Revestimiento externo.....	58
3.2.5 Diseño térmico del horno .....	58
3.2.5.1 Potencia necesaria para calentar la cerámica .....	58
3.2.5.2 Coeficiente de transferencia de calor por convección.....	60
3.2.5.3 Pérdidas de calor en el horno .....	72
3.2.5.4 Cálculo del calor total perdido .....	78
3.2.5.5 Cálculo de la potencia térmica total requerida.....	78
3.2.5.6 Cálculo de la eficiencia del horno.....	79
3.2.5.7 Consumo de combustible.....	79
3.2.5.8 Flujo de combustible .....	79
3.2.5.9 Aire teórico – coeficiente de exceso de aire.....	80





3.2.5.10	Cálculo del flujo de aire y flujo de los productos de la combustión .....	82
3.2.6	Selección de accesorios. ....	84
3.2.6.1	Selección de quemador .....	84
3.2.6.2	Selección de la termocupla e indicador de temperatura.....	85
3.2.6.3	Selección de kit de válvula de regulación de presión.....	86
3.2.6.4	Selección de tubería. ....	86
3.2.6.5	Selección del ventilador .....	87
3.3	CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN .....	88
3.3.1	Corte y unión de la estructura del prototipo de horno. ....	88
3.3.2	Corte y perforación de la carcasa del prototipo de horno. ....	90
3.3.3	Unión de las planchas para el recubrimiento del prototipo de horno .....	91
3.3.4	Construcción de las paredes interiores del prototipo de horno.....	92
3.3.5	Montaje del sistema de gas .....	93
3.3.6	Instalación de la termocupla .....	94
3.3.7	Prototipo de horno instalado.....	95

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1	RESULTADOS .....	96
4.1.1	Condiciones físicas .....	96
4.1.2	Parámetros de funcionamiento .....	96
4.1.3	Protocolo de pruebas del horno y del material .....	96
4.2	RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS REGISTRADOS.....	98
4.2.1	curva tiempo-temperatura de operación del prototipo de horno a gas.....	98
4.2.2	Curva tiempo-consumo de combustible del prototipo de horno a gas. ....	101
4.2.3	Interpretación de resultados.....	103



4.3 DISCUSIÓN.....	104
4.4 GUÍA DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.....	105
<b>V CONCLUSIONES .....</b>	<b>107</b>
<b>VI RECOMENDACIONES .....</b>	<b>109</b>
<b>VII REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>112</b>

**Área:** Mecánica.

**Tema:** Diseño y construcción de un prototipo de horno a gas

**Fecha de sustentación:** 04 de abril del 2022



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 1:</b> Fases del proceso cerámico .....	24
<b>Figura N° 2:</b> Hornos cerámicos. ....	27
<b>Figura N° 3:</b> Clasificación de los combustibles. ....	30
<b>Figura N° 4:</b> Esquema del proceso de combustión.....	33
<b>Figura N° 5:</b> Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de una pared plana de dos capas sujeta a convección sobre ambos lados .....	46
<b>Figura N° 6:</b> Ubicación geográfica del proyecto de investigación.....	53
<b>Figura N° 7:</b> Dimensiones de la cámara interna del horno.....	57
<b>Figura N° 8:</b> Dimensiones externas del horno para cerámica .....	61
<b>Figura N° 9:</b> Distribución de temperaturas en el interior del horno .....	67
<b>Figura N° 10:</b> Paredes compuestas del horno para cerámica .....	72
<b>Figura N° 11:</b> Pared compuesta posterior del horno para cerámica .....	73
<b>Figura N° 12:</b> Pared compuesta lateral del horno para cerámica .....	75
<b>Figura N° 13:</b> Pared compuesta superior del horno para cerámica .....	77
<b>Figura N° 14:</b> Quemador .....	84
<b>Figura N° 15:</b> Termocupla bulbo recto tipo “K” .....	85
<b>Figura N° 16:</b> Pirómetro digital-universal.....	85
<b>Figura N° 17:</b> Kit regulador de presión .....	86
<b>Figura N° 18:</b> Tubería flexible.....	87
<b>Figura N° 19:</b> Ventilador .....	87
<b>Figura N° 20:</b> medición y Corte del acero angular con amoladora eléctrica.....	89
<b>Figura N° 21:</b> Soldadura por arco eléctrico .....	89
<b>Figura N° 22:</b> Corte y perforación de la plancha de acero .....	90
<b>Figura N° 23:</b> Doblado de las aristas de la plancha.....	91



<b>Figura N° 24:</b> Sujeción y soldado del recubrimiento del horno .....	91
<b>Figura N° 25:</b> Tipo de ladrillo refractario .....	92
<b>Figura N° 26:</b> Construcción de la base y paredes del horno.....	93
<b>Figura N° 27:</b> Montaje del quemador .....	93
<b>Figura N° 28:</b> Montaje de la red de gas .....	94
<b>Figura N° 29:</b> Montaje de la termocupla .....	94
<b>Figura N° 30:</b> (prototipo de horno a gas instalado) .....	95
<b>Figura N° 31:</b> Pruebas de funcionamiento del prototipo .....	97
<b>Figura N° 32:</b> Curva de comportamiento del horno con el material .....	99
<b>Figura N° 33:</b> Curva de comportamiento del horno con el material .....	100
<b>Figura N° 34:</b> Curva de comportamiento del consumo de combustible del horno .....	102
<b>Figura N° 35:</b> Curva de comportamiento del consumo de combustible del horno .....	103



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N° 1:</b> Características físico químicas del gas natural y GLP. ....	32
<b>Tabla N° 2:</b> Rango de temperaturas de las termocupas según su aleación.....	39
<b>Tabla N° 3:</b> Medición de la temperatura del prototipo de horno.....	98
<b>Tabla N° 4:</b> Medición de la temperatura del prototipo de horno.....	100
<b>Tabla N° 5:</b> Medición del consumo del combustible.....	101
<b>Tabla N° 6:</b> Medición del consumo del combustible.....	102



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

$V$	: Volumen.
$A$	: Ancho.
$B$	: Largo.
$H$	: Altura.
$Q_c$	: Cantidad de calor.
$m_c$	: Masa de la cerámica.
$C_{p-c}$	: Calor específico de la cerámica.
$T_i$	: Temperatura inicial de la cerámica cruda.
$T_{fc}$	: Temperatura final requerida en la cerámica.
$h$	: Coeficiente de transferencia de calor por convección.
$Nu$	: Número de Nusselt.
$k$	: Conductividad térmica del fluido.
$L_c$	: Longitud característica de la superficie.
$T_f$	: Temperatura de película.
$T_s$	: Temperatura del fluido en la superficie.
$T_\infty$	: Temperatura del fluido en el borde exterior de la capa.
$Gr_L$	: Número de Grashof.
$g$	: Aceleración gravitacional.
$\beta$	: Coeficiente de expansión volumétrica.
$\nu$	: Viscosidad cinemática del fluido.
$Ra_L$	: Número de Rayleigh.
$Pr$	: Número de Prandtl.
$\nu_d$	: Difusividad de la cantidad de movimiento.



- $\alpha$  : Difusividad molecular del calor
- $\dot{Q}_L$  : Razón de transferencia de calor
- $R_T$  : Resistencias térmicas por convección y conducción a través de paredes planas de capas múltiples
- $T_3$  : Temperatura de la pared exterior del horno
- $\Delta T_{v-0}$  : Variación de la temperatura entre la pared exterior del horno y la temperatura promedio del aire en el exterior del horno.
- $T_{\infty 0}$  : Temperatura promedio del aire en el exterior del horno.
- $T_{f0}$  : Temperatura de la película en la capa límite exterior del horno.
- $T_{\infty 1}$  : Temperatura del aire en el interior del horno.
- $T_{\infty 2}$  : Temperatura del aire en el exterior del horno.
- $R_{cond}$  : Resistencias térmicas por conducción.
- $L$  : Espesor de la pared plana.
- $k$  : Conductividad térmica promedio.
- $A$  : Sección transversal del material.
- $P_T$  : Potencia térmica total requerida.
- $P_u$  : Potencia requerida en el horno para calentar la cerámica.
- $\dot{Q}_{LT}$  : Pérdidas de calor totales a través de las paredes.
- $\varepsilon$  : Eficiencia.
- $\dot{m}_c$  : gasto de combustible (consumo).
- $H_{ci}$  : Poder calorífico del gas GLP.
- $\dot{V}_c$  : Flujo de combustible.
- $V_e$  : Volumen específico del combustible.
- $C_4H_{10}$  : Butano.
- $C_3H_8$  : Propano.



$n$  : Número de moles.

$M$  : Masa molar.

$\dot{m}_a$  : gasto de aire.

$r_{a/c}$  : gasto de aire.

$\dot{m}_c$  : gasto de aire.

$\dot{V}_a$  : flujo de aire.

$V_a$  : volumen específico del aire.

$\dot{m}_p$  : gasto másico de los productos.

$\dot{V}_p$  : flujo de los productos.

$\delta_p$  : densidad de los productos.

$C_a$  : cantidad de aire.

$C_p$  : cantidad de gases de escape.

GLP : Gas licuado de petróleo

OSINERGMIN : Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería





## RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo general “Diseñar y construir un prototipo de un horno a gas para reducir el tiempo de cocción de cerámica, para el taller de cerámica Jallpa Pucara.” (ubicado en la localidad de Pucará, distrito de Pucará, provincia de Lampa, departamento de Puno, Perú), y como objetivos específicos, Determinar los parámetros técnicos para el diseño y construcción de un prototipo de horno a gas para la cocción de cerámica, Realizar pruebas de funcionamiento del prototipo de horno a gas para la cocción de cerámica, Realizar una guía de funcionamiento del equipo. La ingeniería que se desarrolló en la presente investigación se encuentra enmarcada en una investigación aplicada y experimental. Se concluye que El prototipo de horno a gas para cerámica tiene un espacio físico interno con las siguientes dimensiones largo 350 mm., ancho 320 mm. y alto 320 mm., Las dimensiones externas son: largo 490 mm., ancho 460 mm. y alto 460 mm., en donde el elemento que proporciona la energía que ha de calentar, es un sistema de combustión con gas licuado de petróleo (GLP). Y otra conclusión importante son las dos pruebas realizadas, la primera realizada con una presión constante de 8psi. en un tiempo de 150 minutos se alcanzó a la temperatura de 913 °C, y con 10 psi en un tiempo de 75 minutos se alcanzó a la temperatura de 918°C. por lo que se puede afirmar que a una mayor presión de gas menor tiempo de alcance a la temperatura deseada.

**Palabras Clave:** Cerámica, Combustible, Horno a gas, Temperatura, Transferencia de calor.



## ABSTRACT

The general objective of this thesis work is "Design and build a prototype of a gas oven to reduce the firing time of ceramics, for the Jallpa Pucara ceramics workshop." (located in the town of Pucará, district of Pucará, province of Lampa, department of Puno, Peru), and as specific objectives, determine the technical parameters for the design and construction of a prototype gas oven for firing ceramics, Carry out functional tests of the gas oven prototype for firing ceramics. Carry out an operating guide for the equipment. The engineering that was developed in the present investigation is framed in an applied and experimental investigation. It is concluded that the prototype gas kiln for ceramics has an internal physical space with the following dimensions length 350 mm, width 320 mm. and height 320 mm., The external dimensions are: length 490 mm., width 460 mm. and 460 mm high, where the element that provides the energy to be heated is a combustion system with liquefied petroleum gas (LPG). And another important conclusion is the two tests carried out, the first carried out with a constant pressure of 8psi. in a time of 150 minutes the temperature of 913 °C was reached, and with 10 psi in a time of 75 minutes the temperature of 918 °C was reached. so it can be stated that a higher gas pressure reduces the time it takes to reach the desired temperature.

**Key Words:** Ceramic, Fuel, Gas oven, Temperature, Heat transfer.



# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad en que vivimos, en un mundo de globalización y dentro de lo que se refiere al desarrollo tecnológico gracias a los medios de comunicación y al internet tenemos una amplia información en todos los campos.

Dentro de la industria de la cerámica, como actividad productiva en nuestro país, posee características definidas, desarrollándose en forma espontánea y empírica, con bajos montos de inversión, uso de tecnologías tradicionales, predominio de habilidad manual, basada en la capacidad creativa del artesano y con una limitada división del trabajo. Esta situación ubica al sector artesanal en desventaja en relación con otras actividades económicas.

Los talleres de cerámica del Distrito de Pucará, Provincia de Lampa, Región de Puno no son ajenos a todas estas problemáticas.

Es por esto que el taller de cerámica Jallpa Pucara. apuesta por el avance tecnológico y capacitación profesional. Con el único afán de reducir el tiempo y costo de operación de cocción de cerámica y mejorar la producción de las piezas de cerámica, y brindar un mejor producto al consumidor final.

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

#### **1.1.1. Problema general**

¿Es posible diseñar y construir un prototipo de un horno a gas para reducir el tiempo de cocción de cerámica, para el taller de cerámica Jallpa Pucara?



### 1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cómo influye la determinación de los parámetros técnicos en el diseño y construcción de un prototipo de horno a gas para la cocción de cerámica?
- ¿Cuáles son los resultados de las pruebas de funcionamiento del prototipo de un horno a gas para la cocción de cerámica?
- ¿En qué medida favorece la realización de una guía de funcionamiento del equipo?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En el taller de cerámica Jallpa-Pucara (Ubicado en el distrito de Pucará), los procesos de cocción de los productos cerámicos se realizan actualmente de manera convencional y empírica, se dice empírica, por la falta de soporte técnico a nivel del proceso y de equipamiento, esto da como consecuencia bajo rendimiento en la producción de la cerámica.

Es por esto la importancia de aportar con el diseño y construcción de un prototipo de horno a gas para reducir el tiempo de cocción de cerámica, así como la optimización del consumo energético, sin olvidar las condiciones de seguridad y ambiental, que permitan tener un alto rendimiento del prototipo.

Es claro saber que un horno para cerámica, fuera del país tiene un precio alto y si a esto añadimos su importación, hace que su adquisición sea más difícil por cuestiones económicas. Existe la capacitación con conocimientos de ingeniería y tecnología que van a resolver este inconveniente.

Para lograr tener alta competitividad es necesario no olvidar el aspecto del impacto ambiental, y es por eso que el combustible que se pretende emplear como es el gas, el cual no contamina en alto grado el ambiente, además el mal servicio que brinda la



concesionaria de energía eléctrica (Electro Puno S.A.A.) en el sector, hace que optemos este tipo de combustible. En este sentido el taller de cerámica Jallpa Pucara podrá mejorar el tiempo de cocción y la calidad de sus productos.

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. Objetivo general.**

Diseñar y construir un prototipo de un horno a gas para reducir el tiempo de cocción de cerámica, para el taller de cerámica Jallpa Pucara.

#### **1.3.2. Objetivos específicos.**

- Determinar los parámetros técnicos para el diseño y construcción de un prototipo de horno a gas para la cocción de cerámica.
- Realizar pruebas de funcionamiento del prototipo de horno a gas para la cocción de cerámica.
- Realizar una guía de funcionamiento del equipo.

### **1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.4.1. Hipótesis general**

El diseño y construcción de un prototipo de horno a gas nos permitirá demostrar la reducción del tiempo de cocción de cerámica, para el taller de cerámica Jallpa Pucara.

#### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- Mediante los conocimientos es posible demostrar los parámetros técnicos de diseño y construcción de un prototipo de horno a gas para la cocción de cerámica.



- La realización de pruebas de funcionamiento del prototipo de un horno a gas para la cocción de cerámica, nos permitirá obtener el tiempo de cocción de la cerámica.
- Con las pruebas realizadas y los resultados obtenidos, es posible realizar una guía de funcionamiento del prototipo del horno a gas para la cocción de cerámica.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

MAZÓN F. (2009), realizo la investigación: “Rehabilitación de un horno a gas para cerámica”. Tesis presentada a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico. Concluye que, el gasto de combustible depende de la presión de trabajo, destaca también que el aumento de la temperatura depende de la presión de trabajo y el exceso de aire que contribuyen los ventiladores son muy importantes en la combustión.

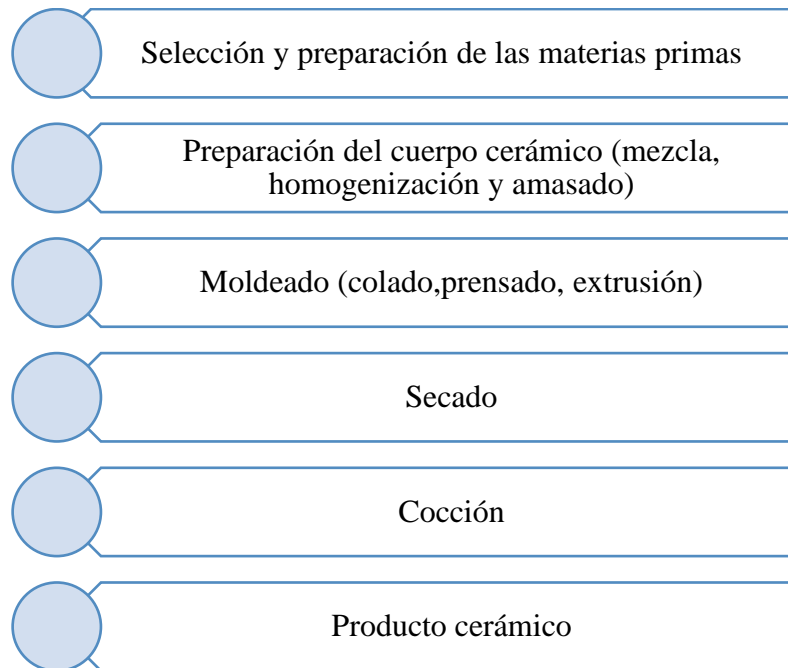
Sánchez S. (2013), afirma que la construcción del horno no debe ser rígida, ya que debe permitir la dilatación de los materiales que se han utilizado. Por ello generalmente se mantiene en perfecta unión mediante tirantes, aros, u otros mecanismos de hierro.

#### 2.2 MARCO TEÓRICO

##### 2.2.1 Cerámica

El término cerámica proviene de la palabra griega Kerameicos, que significa de barro. Los productos cerámicos son artículos hechos por el hombre, que han sido primero moldeados o modelados usando un amplio número de minerales y rocas, y luego permanentemente endurecidos por el calor. (Galán & Aparicio, 2006, pág. 31)

El proceso cerámico consta de cinco etapas:



**Figura N° 1:** Fases del proceso cerámico

Elaborado por el equipo de trabajo

Como resultado de todos los procesos mencionados, se obtiene el producto cerámico, que deberá pasar controles de calidad. Todas las etapas son importantes, pero es sin duda la cocción la más crítica e interesante, tanto desde un punto de vista básico, por cuanto supone un conjunto de reacciones del mayor interés científico, como aplicado porque en esta etapa se consigue realmente el producto cerámico final. El proceso de cocción se realiza a temperaturas superiores a los 800°C, cuando la mayoría de los minerales comunes que entran a formar parte de la pasta son inestables. A estas temperaturas unos minerales se transforman en polimorfos de alta y otros funden parcial o totalmente y se producen reacciones entre los distintos fundidos o reaccionan con los más resistentes, y se neoforman fases estables ante las nuevas condiciones termodinámicas. Con el enfriamiento, más o menos rápido, se produce en general una congelación del equilibrio alcanzado a alta temperatura y coexisten antiguos minerales,





que soportan la elevación de la temperatura, junto con otros neoformados (ahora metaestables) y fases vítreas que no llegan a cristalizar. Este proceso de sinterización es el que proporciona realmente el producto cerámico duro y resistente (Galán & Aparicio, 2006, pág. 31).

### 2.2.2 Arcilla

La arcilla es una roca sedimentaria formada por partículas muy finas (>50% es <2  $\mu\text{m}$ ), que mezclada con agua es plástica, que endurece con el secado y cocción, y que contiene filosilicatos y otros minerales que le imparte las mismas propiedades (minerales de la arcilla). Las arcillas tienen otros minerales diferentes de los anteriores, que se denominan minerales asociados (cuarzo, feldespatos, calcita, pirita) y ciertas fases asociadas no cristalinas, que pueden o no impartir plasticidad. El origen de las arcillas puede ser marino, lacustre o continental, de cualquier edad, si bien las principales materias primas se encuentran en los terrenos terciarios y cuaternarios, que no han sufrido metamorfismo y conservan mejor sus propiedades plásticas. Las reservas de arcilla a nivel mundial son ilimitadas y debido a su bajo costo se usan preferentemente los yacimientos más próximos a las industrias y pequeños artesanos. Estas arcillas reciben la denominación de arcillas comunes y su papel en la preparación del cuerpo cerámico es múltiple y consiste en: impartir la plasticidad necesaria para su moldeo, mejorar las propiedades mecánicas, mejorar las propiedades de la suspensión, y aportar los componentes para la formación de fases líquidas y cristalinas durante la cocción. (Galán & Aparicio, 2006, pág. 33)

Las propiedades principales de la arcilla son:

- **Plasticidad:** Mediante la adición de una cierta cantidad de agua, la arcilla puede adquirir la forma que uno desee. Esto puede ser debido a la figura del grano (cuanto



más pequeña y aplanada), la atracción química entre las partículas, la materia carbonosa, así como una cantidad adecuada de materia orgánica.

- **Merma:** Debido a la evaporación del agua contenida en la pasta se produce un encogimiento o merma durante el secado.
- **Refractariedad:** Todas las arcillas son refractarias, es decir resisten los aumentos de temperatura sin sufrir variaciones, aunque cada tipo de arcilla tiene una temperatura de cocción.
- **Porosidad:** El grado de porosidad varía según el tipo de arcilla. Esta depende de la consistencia más o menos compacta que adopta el cuerpo cerámico después de la cocción. Las arcillas que cuecen a baja temperatura tienen un índice más elevado de absorción puesto que son más porosas.
- **Color:** Las arcillas presentan coloraciones diversas después de la cocción debido a la presencia en ellas de óxido de hierro, carbonato cálcico.

### 2.2.3 Hornos

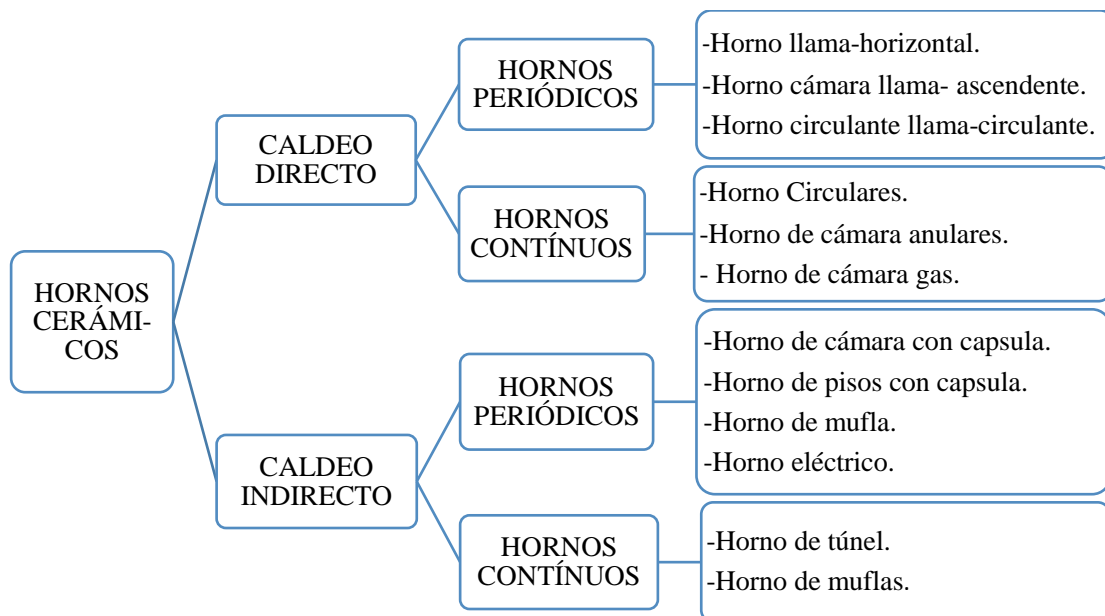
El proceso de cocción de la arcilla es muy antiguo, y se remonta al momento en que el hombre controló el fuego y lo utilizó para cocinar sus alimentos, al tiempo que descubrió que los recipientes de arcilla seca que había modelado se endurecían al someterse al fuego. (Sánchez Molina & Díaz García, 2011, pág. 34)

El horno es una cámara cerrada destinada a la producción de calor, y se transmite directa o indirectamente a una masa sólida o fluida con el fin de producir en ella una transformación física o química en un producto. Existen una gran variedad y tipos de acuerdo con la manera en la que generan el calor y con la función a la que se destinan.

### 2.2.3.1 Hornos cerámicos

El horno es la pieza fundamental en las empresas de producción cerámica; en su interior la arcilla pasa de ser maleable y dúctil a ser un material duro de larga duración por el efecto del calor aplicado. El material a transformar se denomina carga. La forma externa del material estará determinada por las operaciones previas de conformado (extrusión, prensado o vaciado), y sufre cambios físicos y químicos dentro del horno, el cual actúa como un reactor a temperatura elevada. (Sánchez Molina & Díaz García, 2011, pág. 47)

En este tipo de hornos se pueden clasificar en varios grupos, según su forma de trabajo:



**Figura N° 2:** Hornos cerámicos.

Fuente: (Mazón Fierro, 2009)

### 2.2.3.2 Hornos de cámara a gas.

Los hornos alimentados por gas son muy utilizados a pesar de que su costo inicial es elevado; entre las ventajas de este tipo de hornos tenemos el bajo costo de



mantenimiento, alta disponibilidad del equipo (reparaciones escasas), permite la obtención de distintas condiciones atmosféricas en su interior, la mayoría de estos hornos alcanza fácilmente los 1400 °C y pueden resistir condiciones de reducción (atmósfera rica en CO), aunque estas se produzcan en todos los ciclos de quema. Se utiliza el gas licuado de petróleo (GLP) y gas natural (mezcla de gases metano, propano y butano). (Sánchez Molina & Díaz García, 2011, pág. 52)

#### **2.2.4 El hogar (cámara)**

El hogar es la parte del horno donde se produce la combustión. Según el tipo de horno, los combustibles usados pueden ser leña, carbón vegetal o mineral, de aceite pesado o de gas. En el caso de los hornos que usan combustibles sólidos, van provistos de una parrilla y un depósito donde se recogen los detritus y las cenizas. Los quemadores de aceite pesado están provistos de mecheros de presión, que pulverizan el aceite. Los pequeños hornos de gas usan unos quemadores del tipo Bunsen. En los hornos industriales que usan gas para su combustión, el gas y el aire pueden mezclarse en un canal de alimentación con el fin de que la llama adquiera su máximo potencial energético. (Mazón Fierro, 2009, pág. 37)

#### **2.2.5 Chimenea**

Se definen como chimenea a los conductos construidos para dar salida a la atmósfera libre a gases resultantes de una combustión o de una reacción química para su dispersión en el aire ambiente.

Para determinar las características de una chimenea es imprescindible conocer el tipo de fluido que se espera que circule por ella. Normalmente se trata de humos producto de la combustión de combustibles fósiles (carbón, derivados líquidos o gaseosos del petróleo), madera, etc., en aire ambiente.



### **2.2.6 Caldeo directo e indirecto.**

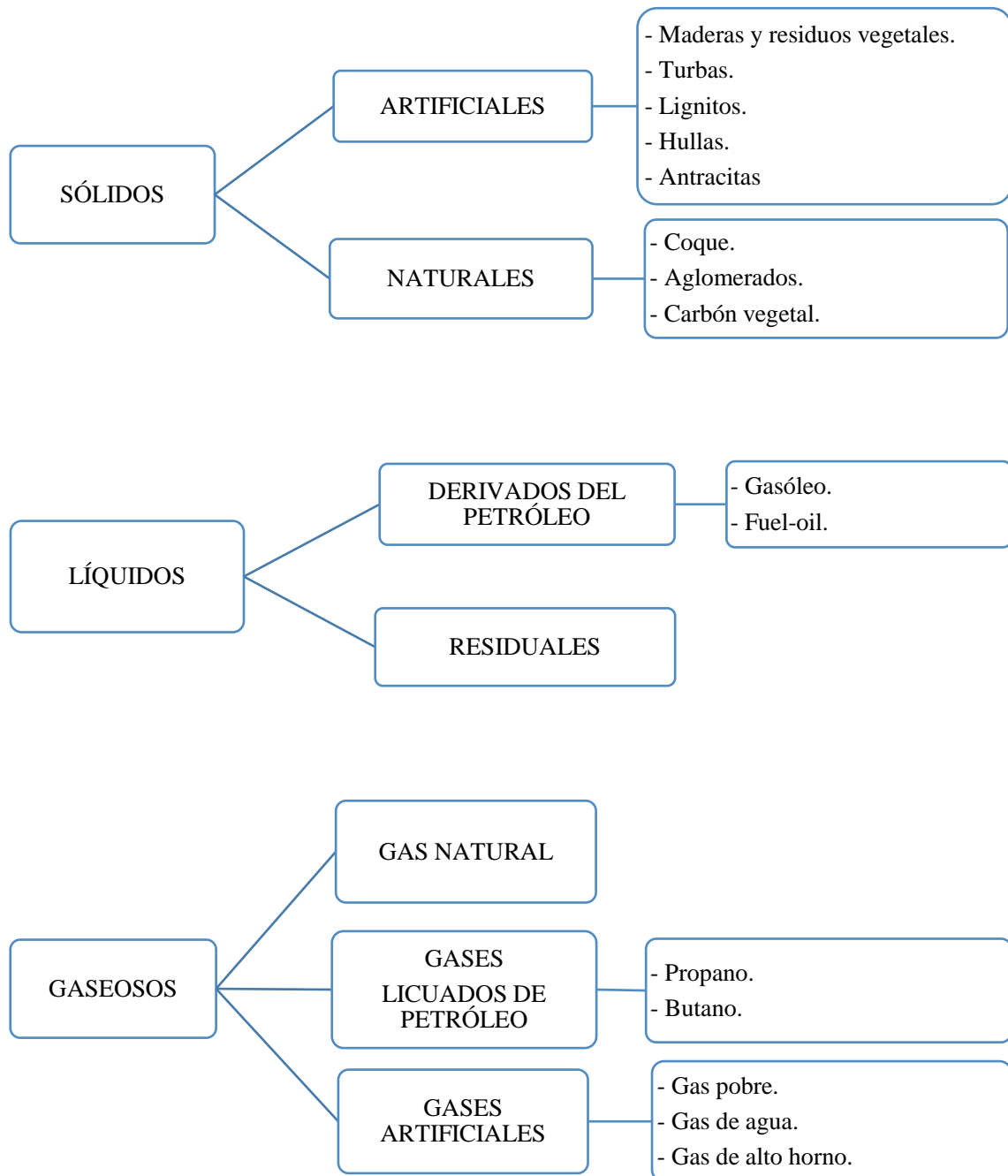
Los hornos de caldeo directo o llama directa son los que se emplean para cocer manufacturas bastas, normalmente sin barniz, como pueden ser ladrillos, tejas macetas de pasta de arcilla y chamota, algunos tubos etc. Los objetos aquí cocidos pueden someterse a la llama directa.

Los hornos de caldeo indirecto o llama indirecta son los empleados en el caso de que las manufacturas estén barnizadas ya que, las mismas, no deben exponerse a la llama directa, humo o cenizas, pues influiría negativamente en el resultado final, por lo que, los objetos cocidos o coccionados en este tipo de hornos, deben aislarse en cápsulas cerradas que se colocan una encima de otra, o bien se emplea un horno que tenga un departamento interior, donde las llamas no tengan ningún tipo de incidencia dentro de esta cámara y solamente, las llamas incidirán en las paredes exteriores de este compartimiento calentando el interior de la cámara. El caldeo indirecto requiere siempre un mayor consumo térmico. (Mazón Fierro, 2009, pág. 36)

### **2.2.7 Combustibles.**

Se entiende como combustible. A cualquier material que puede quemarse para liberar energía recibe el nombre de combustible. La mayoría de los combustibles conocidos se componen principalmente de hidrógeno y carbono. Reciben el nombre de combustibles hidrocarburos y se denotan por la fórmula general  $C H_m$ . Los combustibles hidrocarburos existen en todas las fases, y algunos son el carbón, la gasolina y el gas natural. (Cengel & Boles, 2009, pág. 768)

### 2.2.7.1 Clasificación de los combustibles.



**Figura N° 3:** Clasificación de los combustibles.

Fuente: (Mazón Fierro, 2009)



### **2.2.7.2 Características técnicas de los combustibles.**

Los sistemas productores de calor pueden utilizar diferentes clases de combustibles, ya sean sólidos, líquidos o gaseosos, en dependencia de la disponibilidad que exista en la región, los que pueden diferenciarse, por sus propiedades físico-químicas, las cuales determinan las características constructivas y técnicas de los diferentes elementos que constituyen la instalación destinada para la producción de calor. Como características técnicas se puede señalar, la composición elemental del combustible, composición técnica aproximada, el valor calórico, viscosidad, densidad, calor específico, conductividad, temperatura mínima de ignición, límites de inflamabilidad; En correspondencia con el estado físico del combustible (sólidos, líquidos o gaseosos), serán las características a considerar, no solamente en el quemado, sino en la transportación, preparación y requerimiento global de la generación de calor para garantizar una explotación eficiente y segura. (Mazón Fierro, 2009, pág. 39).

El GN y el GLP tienen similitudes en cuanto a su origen y aplicaciones, pero su composición, obtención, procesamiento, transporte y comercialización son diferentes, y esto da lugar a sustantivas diferencias en su manipulación y precios. También tienen similitudes en cuanto a su relación con el medio ambiente ya que ambos son combustibles limpios y menos contaminantes que otros de similar origen (OSINERMIMN, 2011).

**Tabla N° 1:** Características físico químicas del gas natural y GLP.

Propiedad	Gas natural	GLP
Composición	90% Metano	60% Propano 40% Butano
Fórmula química	CH <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
Gravedad específica (vapor)	0,60	Entre 1,56 y 2,05
Poder calorífico	9 200 kcal/m <sup>3</sup> (**)	22 244 Kcal/m <sup>3</sup> 6 595 Kcal/l 11 739 Kcal/Kg
Presión de suministro	21 mbar (***)	50 mbar
Estado físico	- Gaseoso sin límite de compresión - Líquido a -160°C y a presión atmosférica	Líquido a 20°C Con presión manométrica de 2.5 bar
Color/olor	Incoloro/Inodoro	Incoloro/Inodoro

(\*) Corresponde a características predominantes de ambos combustibles (\*\*\*) mbar (mili bar): milésima parte del bar.

(\*\*) Kcal/m<sup>3</sup>: Kilocalorías por m<sup>3</sup> = 4,18684 x 10<sup>3</sup> J/m<sup>3</sup>.

Fuente: (OSINERMIMN, 2011)

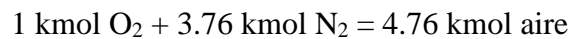
### 2.2.8 Combustión.

La combustión es una reacción química durante la cual se oxida un combustible y se libera una gran cantidad de energía; el oxidante empleado con mayor frecuencia en los procesos de combustión es el aire, por obvias razones (es gratuito y se consigue fácilmente). El oxígeno puro, O<sub>2</sub>, se emplea como oxidante sólo en algunas aplicaciones especializadas, como el corte y la soldadura, donde no se puede utilizar aire. En consecuencia, son pertinentes unas cuantas palabras acerca de la composición del aire. (Cengel & Boles, 2012, pág. 773).

En una base molar o volumétrica, el aire seco está compuesto por 20.9 por ciento de oxígeno, 78.1 por ciento de nitrógeno, 0.9 por ciento de argón y pequeñas cantidades de dióxido de carbono, helio, neón e hidrógeno. En el análisis de los procesos de



combustión, el argón en el aire se trata como nitrógeno, en tanto que los gases que existen en cantidades muy pequeñas se descartan. De modo que el aire seco puede considerarse aproximadamente como 21 por ciento de oxígeno y 79 por ciento de nitrógeno en números molares. Por consiguiente, cada mol de oxígeno que entra a una cámara de combustión será acompañado por  $0.79/0.21=3.76$  mol de nitrógeno. (Cengel & Boles, 2012, pág. 773)



**Figura N° 4:** Esquema del proceso de combustión.

Elaborado por el equipo de trabajo

### 2.2.9 Ladrillos refractarios

Es un material cerámico que posee una serie de características especiales y cuyas propiedades permiten que pueda soportar temperaturas muy elevadas, sin embargo, estos deben soportar una temperatura en específica sin sufrir ningún tipo de deterioro en sus condiciones internas como, por ejemplo, la corrosión.

Los ladrillos refractarios utilizados son de dos tipos, según su contenido de arcillas con sílices o alúminas. Sus características les permiten soportar temperaturas muy elevadas, aunque ambos se comportan de diferente manera. (Crespo, 2011)



### **2.2.9.1 Ladrillos refractarios con alto contenido en alúmina**

Estos ladrillos tienen un coeficiente de dilatación térmica muy bajo, por lo cual están preparados para soportar altas temperaturas y luego se enfrían sin llegar a presentar dilataciones o deformaciones significativas que lo afecten. (Crespo, 2011)

### **2.2.9.2 Ladrillos refractarios con alto contenido de sílice**

Estos ladrillos pueden soportar altas temperaturas, y a diferencia de los anteriores, se dilatan de manera considerable cuando son sometidos a fases alternativas y continuas de calor y frío. Dichos cambios bruscos de temperatura los afecta de tal modo, que finalmente los desintegra. Se los emplea en aquellos sitios donde las temperaturas altas son continuas. (Crespo, 2011)

### **2.2.10 Cementos refractarios**

Es un material adicionado con aluminatos de calcio y minerales ricos en alúmina, ambos triturados a un tamaño de micras para mantener la fineza misma del cemento. Estos cementos sintetizan y les dan propiedades cerámicas a sus componentes, mientras aumenta la temperatura a la que son sometidos; que contienen cerca del 30 a 35 % de materia refractaria, como la alúmina y magnesio en su composición química. Se les dio un uso estructural en sus comienzos, ya que tenían la ventaja que el concreto que era producto de estos cementos, contaba con un fraguado rápido, alcanzando simultáneamente su resistencia total, lo cual aligeraba el tiempo de construcción. (López Enrique, 2016, pág. 05)

### **2.2.11 Tuberías rígidas de cobre**

Tuberías rígidas de cobre sirve para la conducción de flujos por ser un material fuerte, ligero y resistente a la corrosión, utilizándose en el aire acondicionado de aire, refrigeración industrial y comercial, calefacción e instalaciones de gas y agua.



Su pared lisa y fabricación sin costura permiten un continuo flujo constante durante su vida útil y una resistencia perfecta ante las presiones internas de trabajo. (Cuesta García, 2018, pág. 56)

Las tuberías rígidas de cobre se fabrican en diversas dimensiones, longitudes, diámetros y espesores de pared, Los 3 tipos estándar de tubos de cobre más utilizados son el “M”, “L” y “K”:

- Tipo “M”: Es el más ligero y se utiliza en aplicaciones de baja presión como sistemas de distribución de agua y servicios de agua subterránea.
- Tipo “L”: Se utiliza en sistemas de refrigeración, aire acondicionado, plomería interior y conducción de vapor o agua caliente.
- Tipo “K”: Es el más grueso y soporta presiones más altas, generalmente son para uso industrial donde las presiones de trabajo son severas.

### **2.2.12 Válvulas de paso**

La finalidad de estas en la red es la de suspender el flujo de gas, aislando los equipos y artefactos con el objeto de que se pueda hacer un corte del suministro de gas en caso de mantenimiento o emergencia siendo su principal característica el cierre rápido en 1/4 de vuelta. Estas válvulas deben seleccionarse de acuerdo con la presión de operación de la red y deben cumplir con la Norma técnica peruana.

La norma técnica aplicable para la válvula de servicio es la ANSI B16.33, y para el rango de presión indicado en el capítulo 3 de la NTP 111.011. Las válvulas de corte deben cumplir con la EN 331 o la ANSI B16.44. En ambos tipos de válvulas también puede cumplir con una norma técnica equivalente, o norma técnica internacional de reconocida aplicación aprobada por la Entidad Competente. (NTP, 2006, pág. 19)



### **2.2.13 Válvula de regulación de presión**

Los reguladores de presión son aparatos que reduce la presión del fluido que recibe y la mantiene constante independientemente de los caudales que permite pasar y de la variación de la presión aguas arriba del mismo, dentro de los rangos admisibles. La regulación puede efectuarse en una o varias etapas. (NTP, 2006, pág. 13)

La regulación puede desarrollarse en una o varias etapas dependiendo de condiciones de suministro y la capacidad del regulador o reguladores instalados, una regulación del gas mal diseñada, puede genera ruidos superiores a los 80-85 decibeles, además de cambio bruscos en la temperatura del gas (efecto Joule-Thomson, pérdida de 0.5 °C por cada Bar regulado) lo que ocasiona la condensación de agua. (Cuesta García, 2018, pág. 59)

### **2.2.14 Quemadores para horno**

Los quemadores son dispositivos que permiten realizar la reacción de combustión entre combustible y el comburente de manera controlada y regulable, asegurando la aportación adecuada de ambos para conseguir la potencia calorífica especificada, distribuyendo la zona de reacción (llamas) y la circulación de los productos de la combustión de modo que se transfiera a la carga del modo más eficiente posible todo el calor producido (Garcia Mena, 2011, pág. 03)

Existe una gran variedad de quemadores que se pueden clasificar en dos familias:

- Quemadores de aire soplado.
- Quemadores de inducción atmosférica.



#### **2.2.14.1 Quemadores de aire soplado**

En estos quemadores el aire necesario para la combustión completa del gas, es generalmente introducido por un ventilador o a presión.

#### **2.2.14.2 Quemadores de inducción atmosférica.**

En estos quemadores el aire atmosférico es inducido por medio de una depresión que se origina por el flujo de gas que sale del inyector y el estrechamiento en el Venturi. Únicamente se emplean para combustibles gaseosos.

Una parte del aire necesario para la combustión (Aire primario) se induce en el propio quemador por el chorro de gas salido de un inyector (efecto Venturi); el aire restante (Aire Secundario) se obtiene por difusión del aire ambiente alrededor de la llama. En este tipo de quemadores se tienen combustiones con altos índices de exceso de aire (Garcia Mena, 2011, pág. 03).

#### **2.2.15 Manómetro de presión**

Un manómetro de presión es un indicador analógico utilizado para medir la presión de un gas o líquido, como agua, aceite o aire. A diferencia de los transductores de presión tradicionales, estos son dispositivos analógicos con un dial circular y un puntero accionado mecánicamente que han estado en uso durante décadas. Los manómetros digitales cuentan con una pantalla digital y características adicionales, tales como incorporación de alarmas y analógica, digital o retransmisión inalámbrica del valor indicado. Los manómetros digitales de presión se fabrican a menudo en un soporte de alojamiento de proceso que es similar en tamaño y forma a los manómetros analógicos tradicionales, haciéndolos intercambiables. (Cuesta García, 2018, pág. 69)



## 2.2.16 Sensor de temperatura

Los termopares son los sensores de temperatura utilizados con mayor frecuencia porque son sensores precisos relativamente, económicos que pueden operar en un amplio rango de temperaturas. Un termopar se crea cuando dos metales diferentes se juntan y el punto de contacto produce un pequeño voltaje de circuito abierto como una función de temperatura. Puede usar este voltaje termoeléctrico, conocido como voltaje Seebeck para calcular la temperatura. Para pequeños cambios en temperatura, el voltaje es aproximadamente lineal; se puede escoger entre diferentes tipos de termopares asignados con letras mayúsculas que indican su composición de acuerdo al American National Standards Institute (ANSI). Los tipos de termopares más comunes incluyen B, E, K, N, R, S. (National Instruments, 2012)

### 2.2.16.1 Termocuplas

Una termocupla es un transductor de temperatura, constituido por dos conductores (alambres), que desarrollan una fuerza electromagnética que es función de la diferencia de temperatura entre sus uniones, una caliente ubicada en el lugar a medir temperatura, y una fría tomada como referencia. Las termocuplas se fabrican con metales puros o sus aleaciones, y se usan para medir temperaturas que van desde los aproximadamente 80 grados hasta aproximadamente los 1800 grados centígrados, con termocuplas estándares, con aleaciones especiales pueden llegarse a temperaturas superiores a los 3000 grados centígrados. (Villafañe, 2005)

A pesar de los avances efectuados con otros sensores de temperatura, las termocuplas continúan siendo los más usados debido al intervalo de temperatura en el cual pueden utilizarse, su bajo costo y su versatilidad, la desventaja más relevante es que

las termocuplas miden diferencias de temperatura y no temperatura absoluta, por lo que debe usarse una junta de referencia.

**Tabla N° 2:** Rango de temperaturas de las termocuplas según su aleación.

Tipo	Denominación	Composición / Símbolo	Rango de Temperatura	Diámetro del Alambre	F.E.M. en MV
B	Platino Rodio 30% Platino Rodio 6%	Pt Rh 30% Pt Rh 6 %	0 – 1500 (1800)	0,35 – 0,5	0 – 10,094 (13,85)
R	Platino Rodio 13% Platino	Pt Rh 13% Pt	0 – 1400 (1700)	0,35 – 0,5	0 – 16,055 (20,215)
S	Platino Rodio 10% Platino	Pt Rh 10% Pt	0 – 1300 (1600)	0,35 – 0,5	0 – 13,155 (15,576)
J	Hierro Constantan	Fe – Cu.Ni.	-200 – 700 (900)	3	- 7,89 – 39,130 (51,485)
K	Níquel Cromo – Níquel Chromel - Alumel	Ni.Cr - Ni.	0 – 1000 (1300)	2-3	0 – 41,269 (52,398))
T	Cobre Constantan	Cu - Cu.Ni.	-200 – 370 (400)	0.5	-5,60 14,86 (20,86)
E	Níquel Cromo – Constantan	Ni.Cr - Cu.Ni.	-200 – 700 (900)	3	-9,83 - 53,11 (68,78)

Fuente: (Villafañe, 2005)

### 2.2.16.2 Termocupla tipo (K)

La termocupla Tipo K se la conoce también como la termocupla Chromel - Alumel. El Chromel es una aleación de aproximadamente 90% de níquel y 10% de cromo, el Alumel es una aleación de 95% de níquel, más aluminio, silicio y manganeso, razón por la que la norma IEC la especifica NiCr - Ni. La Tipo K es la termocupla que más se utiliza en la industria, debido a su capacidad de resistir mayores temperaturas. (Villafañe, 2005)



### **2.2.16.3 Cable de extensión para termopar tipo (K)**

El cable de extensión para termopar es un tipo especial de cable utilizado para realizar extensiones de termopares desde el punto de medición hasta equipos de instrumentación y control. El cable termopar es indispensable para lograr un sistema de medición confiable ya que transporta eficientemente las pequeñas señales eléctricas generadas por un termopar en operación. Existen cables para cada tipo de calibración utilizadas en los sensores, es decir, tipo J, tipo K, tipo T, etcétera. Así como existen diferentes tipos de calibres según el sensor utilizado se cuentan con diferentes tipos de aislantes según la temperatura máxima de operación. El cable de extensión termopar tipo K está compuesto por aleaciones metálicas que seguirán el transporte seguro de la señal desde un punto A hasta uno B. En seguida se muestra la composición por elemento del cable termopar tipo K. (Tei, 2021)

- Níquel-Cromo y Níquel-Aluminio.
- Elemento positivo: Níquel-Cromo (Cromel).
- Elemento negativo: Níquel-Aluminio (Alumel).
- Magnéticamente sensible: Níquel-Cromo (Alumel).
- Elemento positivo: Aislante parcial amarillo.
- Elemento negativo: Aislante parcial rojo

### **2.2.17 Controladores de temperatura**

Los controladores de temperatura son equipos indispensables para mantener procesos industriales a temperaturas correctas según el método. Los controladores de temperatura automatizan métodos de producción para garantizar procesos conforme a las directrices de manufactura de un producto, utilizar un controlador facilita la tarea de mantener la temperatura a rangos deseables según cada proceso.





Para tener un sistema de controlador de temperatura se requiere además el uso de sensores de temperatura como los termopares y los RTD, estos elementos miden la variable y transportan la señal hasta las entradas de los controladores, éstos últimos son los encargados de activar o desactivar elementos pasivos (resistencias eléctricas) o actuadores (alarmas, cierres de elementos, etc). Antes de seleccionar un control de temperatura es indispensable garantizar que el termopar o el RTD a utilizar satisface los requerimientos de montaje y temperatura. (Tei, 2021).

## 2.2.18 Ecuaciones matemáticas para el diseño del prototipo de horno a gas.

### 2.2.18.1 Volumen de un paralelepípedo rectangular

El volumen puede calcularse multiplicando la longitud por la anchura y luego por la altura de un paralelepípedo rectangular como se muestra a continuación.

$$V = (A * B * H)m^3 \dots \dots \dots (Ec. 2.1)$$

Donde:

V : volumen.

A : ancho.

B : largo.

H : altura.

### 2.2.18.2 Vantidad de calor

“Se llama así, a la cantidad de calor que gana o pierde un cuerpo o sustancia al ponerse en contacto con otro cuerpo que se encuentra a diferente temperatura, cuya ecuación está dada por” (Lauro Gamarra, 2011).

$$Q_c = m_c * c_{p-c} * (T_{fc} - T_i) \dots \dots \dots (Ec. 2.2)$$



Donde:

$Q_c$  : cantidad de calor.

$m_c$  : masa de la cerámica, (kg).

$C_{p-c}$  : calor específico de la cerámica, 836 J/kg K= 836 J/kg°C (ver anexo A).

$T_i$  : temperatura inicial de la cerámica cruda, (20°C).

$T_{fc}$  : temperatura final requerida en la cerámica, (900°C).

### 2.2.18.3 Coeficiente de transferencia de calor por convección

Es un parámetro que se determina en forma experimental y cuyo valor depende de todas las variables que influyen sobre la convección, como la configuración geométrica de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido, las propiedades de éste y la velocidad masiva del mismo. (Cengel & Ghajar, 2011)

$$h = \frac{N_u * k}{L_c} \dots \dots \dots (Ec. 2.3)$$

Donde:

$h$  : coeficiente de transferencia de calor por convección.

$N_u$  : número de Nusselt.

$K$  : conductividad térmica del fluido, (W/m.°C).

$L_c$  : longitud característica de la superficie, (m).

### 2.2.18.4 Temperatura de película

“Es el promedio aritmético de las temperaturas de la superficie y del fluido libre, definida como” (Cengel & Ghajar, 2011, pág. 421).



$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \dots \dots \dots (Ec. 2.4)$$

Donde:

$T_f$  : temperatura de película (°C).

$T_s$  : temperatura del fluido en la superficie, (°C).

$T_\infty$  : temperatura del fluido en el borde exterior de la capa, °(C).

### 2.2.18.5 Número de grashof

“El número de Grashof, el cual es un número adimensional que representa la razón de las fuerza de flotabilidad con respecto a las fuerzas viscosas, que actúan sobre el fluido, rige el régimen de flujo en la convección natural” (Cengel & Ghajar, 2011, pág. 526).

$$Gr_L = \frac{g * \beta * (T_s - T_\infty) * L_C^3}{\nu^2} \dots \dots \dots (Ec. 2.5)$$

Donde:

$Gr_L$  : número de Grashof.

$g$  : aceleración gravitacional, (m/s<sup>2</sup>).

$\beta$  : coeficiente de expansión volumétrica, 1/K (  $\beta=1/T$  para los gases deales).

$T_s$  : temperatura del fluido en la superficie, (°C).

$T_\infty$  : temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie, (°C).

$L_C$  : longitud característica de la configuración geométrica, (m).

$\nu$  : viscosidad cinemática del fluido, (m<sup>2</sup>/s).



### 2.2.18.6 Número de rayleigh

“El número de Rayleigh por sí mismo puede considerarse como la razón de las fuerzas de flotabilidad y los productos de las difusividades térmica y de cantidad de movimiento” (Cengel & Ghajar, 2011, pág. 527).

$$Ra_L = Gr_L * Pr \dots \dots \dots (Ec. 2.6)$$

Donde:

$Ra_L$  : número de Rayleigh.

$Pr$  : número de Prandtl.

$Gr_L$  : número de Grashof.

### 2.2.18.7 Número de prandtl

“La mejor manera de describir el espesor relativo de las capas límite de velocidad y térmica es por medio del parámetro número de Prandtl adimensional, definido como” (Cengel & Ghajar, 2011, pág. 384)

$$Pr = \frac{v_d}{\alpha} \dots \dots \dots (Ec. 2.7)$$

Donde:

$Pr$  : número de Prandtl.

$v_d$  : difusividad de la cantidad de movimiento.

$\alpha$  : difusividad molecular del calor.

### 2.2.18.8 Número de nusselt

“El número de Nusselt representa el mejoramiento de la transferencia de calor a través de una capa de fluido como resultado de la convección en relación con la conducción a través de la misma capa” (Cengel & Ghajar, 2011, pág. 528).

$$Nu_v = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 * Ra_L^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \dots \dots \dots (Ec. 2.8a)$$

$$Nu_h = 0,27 * Ra_L^{1/4} \dots \dots \dots (Ec. 2.8b)$$

Donde:

Nu : número de Nusselt.

$Ra_L$  : número de Rayleigh.

$Pr$  : número de Prandtl.

La aplicación de la fórmula del número de Nusselt depende de la geometría del cuerpo a tratar, es así que, para cuerpos verticales planos el número de Nusselt se encuentra determinado por la ecuación (Ec. 2.8a). Y para cuerpos horizontales planos, se encuentra determinado por la ecuación (Ec. 2.8b), esto de acuerdo a la tabla del anexo B.

### 2.2.18.9 Razón de transferencia de calor

Se llama a la cantidad de calor transferido por unidad de tiempo. Para el caso de paredes planas de capas múltiples esta se obtiene de dividir la diferencia de temperatura que existe entre las dos superficies a las temperaturas conocidas entre la resistencia térmica total que presentan ambas. (Cengel & Ghajar, 2011, pág. 141)

Como se muestra en la (figura 5), la rapidez de transferencia de calor en estado estacionario a través de las paredes planas compuestas del horno para cerámica, expuestas a convección natural tanto en el interior como en el exterior del horno, como indica la siguiente ecuación.

$$\dot{Q}_L = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{\sum R_T} \dots \dots \dots (Ec. 2.9)$$

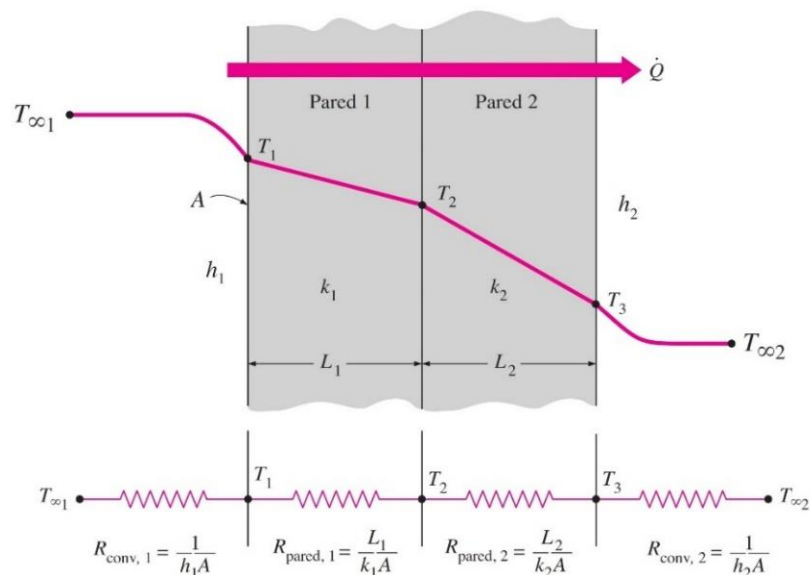
Donde:

$\dot{Q}_L$  : rapidez de transferencia de calor desde el interior del horno hacia el medio ambiente, (W).

$R_T$  : resistencias térmicas por convección y conducción a través de paredes planas de capas múltiples, ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ).

$T_{\infty 1}$  : temperatura del aire en el interior del horno, ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$T_{\infty 2}$  : temperatura del aire en el exterior del horno, ( $^{\circ}\text{C}$ ).



**Figura N° 5:** Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de una pared plana de dos capas sujeta a convección sobre ambos lados

Fuente: (Cengel & Ghajar, 2011)

### 2.2.18.10 Resistencia térmica por conducción

Es la resistencia térmica de la pared en contra de la conducción de calor o simplemente la resistencia a la conducción de la pared. La resistencia térmica de un medio depende de la configuración geométrica y de las propiedades térmicas del medio. (Cengel & Ghajar, 2011, pág. 137)

$$R_{cond} = \frac{L}{k * A} \dots \dots \dots (Ec. 2.10)$$

Donde:

$R_{cond}$  : resistencia térmica por conducción.

$L$  : espesor de la pared plana, (m).

$k$  : conductividad térmica promedio, W/(m\*K)

$A$  : sección transversal del material, (m<sup>2</sup>).

### 2.2.18.11 Potencia térmica total requerida

La potencia térmica total ( $P_T$ ) requerida para mantener el horno a la temperatura requerida durante el tiempo de cocción de la cerámica, se obtiene sumando la potencia requerida en el horno para calentar la cerámica, más las pérdidas de calor totales a través de las paredes. (Cengel & Ghajar, 2011)

$$P_T = P_u + \dot{Q}_{LT} \dots \dots \dots (Ec. 2.11)$$

Donde:

$P_T$  : potencia térmica total requerida, (W).

$P_u$  : potencia requerida en el horno para calentar la cerámica, (W).

$\dot{Q}_{LT}$  : pérdidas de calor totales a través de las paredes, (W).

### 2.2.18.12 Eficiencia

La eficiencia de un horno es el porcentaje del calor liberado en la llama que es absorbido por el fluido calentado. Las fuentes de la ineficiencia son: las pérdidas de calor en las paredes del horno y las pérdidas en los gases producidos

$$\varepsilon = \frac{P_u}{P_u + \dot{Q}_{LT}} \dots \dots \dots (Ec. 2.12)$$

Donde:

$\varepsilon$  : eficiencia.

$P_u$  : potencia requerida en el horno para calentar la cerámica, W (calor útil).

$\dot{Q}_{LT}$  : pérdidas de calor totales a través de las paredes, W

### 2.2.18.13 Consumo de combustible

El consumo de combustible o el gasto de combustible ( $m_c$ ), se calculan en base al consumo calórico del horno, y el poder calórico inferior del combustible, para esto se utiliza la siguiente ecuación.

$$\dot{m}_c = \frac{P_T}{H_{ci}} \dots \dots \dots (Ec. 2.13)$$

Donde:

$\dot{m}_c$  : Gasto de combustible (consumo) Kg/h.

$P_T$  : Potencia térmica total requerida (consumo calorífico del horno) Kcal/h.

$H_{ci}$  : Poder calorífico del gas GLP es de 47063 BTU/kg = 11867.613 kcal/kg

(ver tabla del anexo C)





### 2.2.18.14 Flujo de combustible

$$\dot{V}_c = \dot{m}_c * V_e \dots \dots \dots (Ec. 2.14)$$

Donde:

$\dot{V}_c$  : flujo de combustible (m<sup>3</sup>/h).

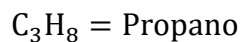
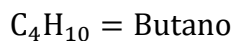
$V_e$  : volumen específico del combustible (0.49256 m<sup>3</sup>/kg).

$\dot{m}_c$  : gasto de combustible (consumo) Kg/h.

### 2.2.18.15 Aire teórico – coeficiente de exceso de aire

“Es la cantidad de aire necesaria y suficiente para asegurar la combustión completa de una unidad de combustible. Cuando una unidad de combustible está mezclada con un volumen de aire igual al teórico, se define como mezcla estequiométrica” (Cengel & Boles, 2012, pág. 776).

Pero en la práctica esto resulta imposible, por lo que se necesita más oxígeno del teórico necesario para la oxidación.



- Número total de moles:

$$n_T = n_{CO_2} + n_{H_2O} + n_{N_2} \dots \dots \dots (Ec. 2.15)$$

- Análisis volumétrico de los productos de la combustión:

$$y_i = \frac{n_i}{n_T} = \frac{P_i}{P_T} \dots \dots \dots (Ec. 2.16)$$

- Relación aire-combustible.



$$r_{a/c} = \frac{n_{aire}}{n_{comb}} \dots \dots \dots (Ec. 2.17)$$

$$r_{a/c} = \frac{n_{aire} * M_{aire}}{n_{comb} * M_{comb}} \dots \dots \dots (Ec. 2.18)$$

Donde:

$n$  : número de moles.

$M$  : masa molar en Kg/K mol.

### 2.2.18.16 Flujo de aire

- Flujo de aire:

$$\dot{V}_a = \dot{m}_a * V_a \dots \dots \dots (Ec. 2.19)$$

- El gasto de aire:

$$\dot{m}_a = r_{a/c} * \dot{m}_c \dots \dots \dots (Ec. 2.20)$$

Donde:

$\dot{m}_a$  : gasto de aire en Kg<sub>a</sub>/h.

$r_{a/c}$  : relación aire-combustible.

$\dot{m}_c$  : gasto de combustible en Kg<sub>c</sub>/h.

$\dot{V}_a$  : flujo de aire en m<sup>3</sup>/h.

$V_a$  : volumen específico del aire en m<sup>3</sup>/Kg<sub>a</sub>

### 2.2.18.17 Flujo de los productos de la combustión

- El flujo de los productos:

$$\dot{V}_p = \frac{\dot{m}_p}{\delta_p} \dots \dots \dots (Ec. 2.21)$$



- El gasto de los productos de la combustión:

$$\dot{m}_p = \dot{m}_a + \dot{m}_c \dots \dots \dots (Ec. 2.22)$$

- En función de la cantidad de combustible que se suministra, la cantidad de aire que ingresa es:

$$C_a = \frac{\dot{V}_a}{\dot{m}_c} \dots \dots \dots (Ec. 2.23)$$

- Cantidad de gases de escape es:

$$C_p = \frac{\dot{V}_p}{\dot{m}_c} \dots \dots \dots (Ec. 2.24)$$

Donde:

$\dot{m}_p$  : gasto másico de los productos en Kg./hr.

$\dot{V}_p$  : flujo de los productos en m<sup>3</sup>/hr.

$\delta_p$  : densidad de los productos en Kg/m<sup>3</sup>

$C_a$  : cantidad de aire en m<sup>3</sup>/Kg.

$C_p$  : cantidad de gases de escape en m<sup>3</sup>/kg.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1 Tipo de investigación

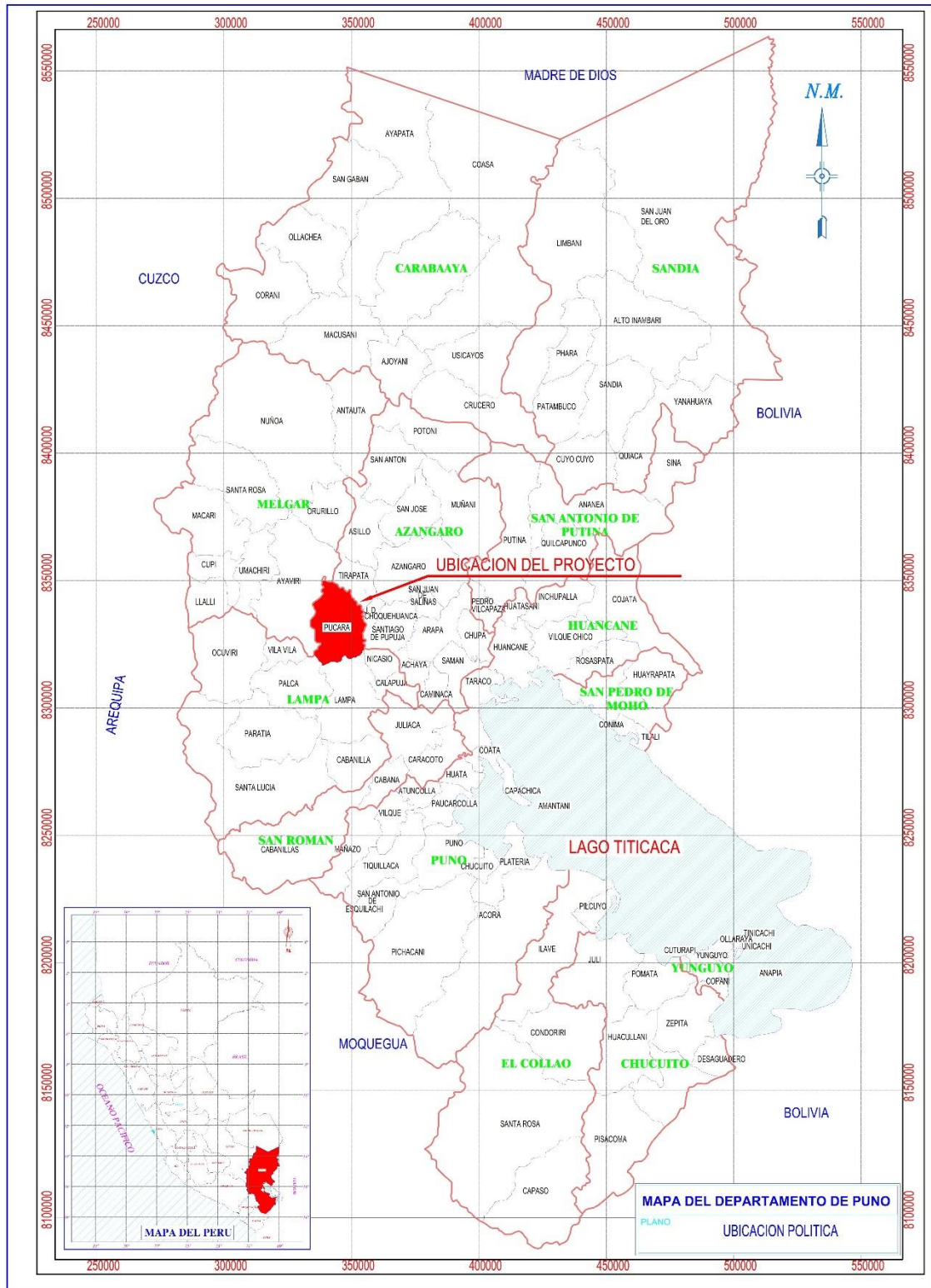
El presente trabajo de tesis titulado “diseño y construcción de un prototipo de horno a gas para reducir el tiempo de cocción de cerámica, para el taller de cerámica Jallpa-Pucara” se encuentra enmarcada en una investigación aplicada y experimental.

Por la naturaleza experimental, en nuestro proyecto de investigación no es necesario considerar la población ni la determinación de una muestra representativa de la población.

##### 3.1.2 Ubicación del proyecto de investigación

El estudio de diseño y construcción de un prototipo de horno a gas para reducir el tiempo de cocción, tendrá como ámbito de estudio las instalaciones del taller de cerámica Jallpa Pucara, ubicado en la localidad de Pucará, distrito de Pucará provincia de Lampa, departamento de Puno.

La localidad de Pucará está situada a 61 km al norte de Juliaca, al borde de la carretera que conduce al Cuzco, a 3875 msnm, en el sur del Perú.



**Figura N° 6:** Ubicación geográfica del proyecto de investigación.

Elaborado por el equipo de trabajo



### **3.1.3 Diseño de la investigación**

Una vez que se precisó el planteamiento del problema, se definió el alcance de la investigación, es decir el diseño y construcción del prototipo, visualizamos la manera práctica y concreta de cumplir los objetivos, trazados el diseño que se refiere el plan o estrategia para cumplir el objetivo de la tesis.

Nuestra investigación abarcó dos aspectos. La ingeniería de diseño y construcción del prototipo del horno a gas, que abarcó todas las fases del diseño mecánico. La validación experimental del prototipo de horno a gas se dio través de las pruebas que se realizaron en el prototipo de horno de gas y los resultados experimentales que se obtuvieron.

## **3.2 INGENIERÍA DE DISEÑO DEL PROTOTIPO DE UN HORNO A GAS PARA CERÁMICA**

### **3.2.1 Introducción**

En este capítulo se presenta un resumen completo de la metodología aplicada para realizar un buen diseño del prototipo de horno a gas para cerámica, considerando los materiales más apropiados para su construcción, sus propiedades físicas y mecánicas, con el objetivo que cumpla con los requerimientos funcionales y de seguridad exigidos para su adecuado funcionamiento bajo condiciones críticas de operación. El diseño inicial del prototipo de horno a gas para cerámica se basa en los requerimientos de los fabricantes de cerámica y de las características técnicas de hornos semejantes disponibles en el mercado.

### **3.2.2 Parámetros técnicos requeridos para el diseño**

En base a los requerimientos funcionales del horno, establecido por el proceso productivo de cerámica y de las características técnicas necesarias para proporcionar las



ventajas de calidad, funcionalidad y seguridad exigidos para este tipo de equipos, es necesario que el prototipo de horno cumpla con los siguientes parámetros de diseño.

### **3.2.2.1 Tipo de horno**

De los diferentes tipos de hornos que se utilizan para la fabricación de cerámica se selecciona un prototipo de horno a gas de forma rectangular con tapa frontal, debido a que, en comparación con otros, éste presenta varias ventajas como: menos contaminación, menor costo de instalación, menor volumen ocupado, facilidad y precisión de control y operación, fácil acceso para la carga y descarga del material cerámico como para las operaciones de mantenimiento y limpieza.

### **3.2.2.2 Temperatura ambiente**

En vista a que el funcionamiento del prototipo del horno no va a ser a la intemperie, sino en un ambiente cerrado y de acuerdo con la ubicación geográfica donde se instalará el horno en el distrito de Pucará, por lo que se considera una temperatura promedio del aire en el exterior del horno  $T_{\infty o} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### **3.2.2.3 Temperatura en el interior del horno**

La temperatura al interior del horno es  $T_{\infty i} = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$  Se tomó este valor de temperatura, debido a que los procesos de obtención de cerámica que va a realizar el taller de cerámica Jallpa Pucara van desde un rango de  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se ha considerado un excedente en la temperatura que llega a  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$  para no negar la posibilidad de que a futuro desarrollen otro tipo de producto en la obtención de la cerámica, que requiera mayor temperatura que la actual.



#### **3.2.2.4 Tiempo de cocción**

Considerando los procesos que se van a llevar a cabo para la cocción de la cerámica y en función del tiempo necesario para alcanzar la temperatura máxima en el interior del horno que presentan equipos semejantes, se establece un tiempo de  $T_c = 3:00 \text{ horas (10800 segundos)}$ .

#### **3.2.2.5 Combustible empleado**

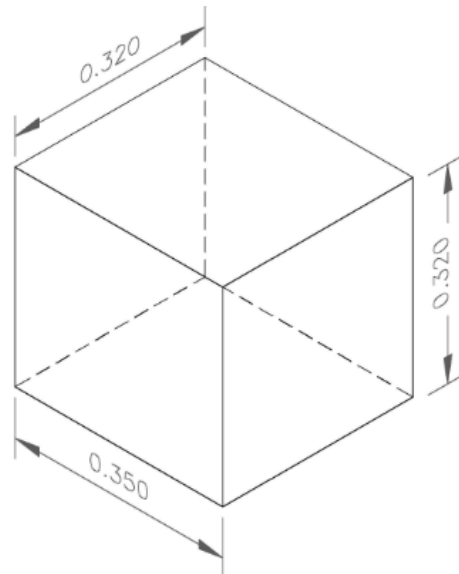
El combustible empleado es el gas licuado de petróleo (GLP). Debido a que existe mayor acceso a este combustible en el lugar del proyecto (distrito de Pucará), y su costo es accesible en el mercado, son algunos de los motivos de la utilización de este combustible.

#### **3.2.3 Dimensionamiento de la cámara interna del horno**

El principal factor que determina el dimensionamiento de la cámara interna del horno es la carga que este va a manejar. Además, con el objetivo de facilitar el proceso de construcción del prototipo de horno a gas, se consideró los tamaños estándar del ladrillo refractario, y se determinaron las dimensiones que permiten evitar tener que realizar cortes en los ladrillos.

Como se muestra en la figura 7, en base a los parámetros anteriores, se determina que la cámara interna del prototipo de horno a gas debe tener las siguientes dimensiones: 0.35 m. De largo, 0.32 m. De ancho y 0.32m. De alto.





**Figura N° 7:** Dimensiones de la cámara interna del horno.

Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.2.4 Materiales para las paredes del horno

La producción de cerámica, requiere temperaturas elevadas en el interior del horno, mientras que en exterior es necesario que las temperaturas sean lo suficientemente baja como para no representar un peligro para el personal que labore en sus cercanías. Por lo que se exige que las paredes del horno se fabriquen con materiales aislantes que soporten altas temperaturas (900 °C) y garanticen que el interior del horno se mantenga a dicha temperatura.

Además, es indispensable proteger al material aislante de los efectos perjudiciales del medio ambiente y de cargas o impactos externos, por lo tanto, se requiere un material de recubrimiento externo de las paredes del horno. Por lo tanto, las paredes del horno estarán constituidas por los siguientes materiales:

#### 3.2.4.1 Material aislante

Para las paredes del horno se empleará ladrillo refractario de alta refractariedad (1450°C) de 32 mm de espesor (1.1/4”), (SCHEMIN PERU S.A., 2021)

### 3.2.4.2 Revestimiento externo

Como material para el recubrimiento externo se utilizará chapa metálica de acero (LAF LISA 1.5 mm de espesor), con el fin de proteger el material refractario.

### 3.2.5 Diseño térmico del horno

Para analizar el comportamiento térmico del horno y de los materiales a utilizar en su fabricación, bajo condiciones extremas de funcionamiento, se realizaron varios cálculos, hasta llegar al diseño óptimo del mismo. Para ejecutar dichos cálculos se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se asume régimen estacionario.
- Se desprecia la transferencia de calor por radiación dentro del horno.
- Se asume una temperatura ambiente de 20 ° C.

#### 3.2.5.1 Potencia necesaria para calentar la cerámica

En base a las dimensiones internas del horno (ver figura N° 07), se calcula el volumen de la cámara interna ( $V_{int}$ ), el cual se obtiene a partir de la ecuación (Ec. 2.1).

$$V_{int} = (A * B * H)m^3$$

$$V_{int} = (0.32 * 0.35 * 0.32)m^3$$

$$V_{int} = 0.0358 m^3$$

Para determinar la carga máxima de cerámica a calentar en el horno, se considera que, bajo condiciones extremas de funcionamiento. Máximo el 50% del volumen de la cámara interna se encuentra ocupado con material cerámico, entonces, el volumen máximo de material cerámico ( $V_{cer}$ ) en el interior de horno, viene dado por:

$$V_{cer} = ((50\%) * V_{int})m^3$$



$$V_{cer} = (0.5 * 0.0358)m^3$$

$$V_{cer} = 0.0179 m^3$$

La masa máxima de cerámica ( $m_c$ ) en el interior de horno es:

$$m_c = \rho_c * V_{cer}$$

Donde:  $\rho_c$  densidad de la cerámica = 2300 kg/m<sup>3</sup> (ver anexo A)

$$m_c = 2300 \frac{kg}{m^3} * 0.0179 m^3$$

$$m_c = 41.17 kg$$

Cantidad de calor necesario para el calentamiento y cocción de la cerámica (carga), se obtiene a partir de la ecuación (Ec. 2.2):

$$Q_c = m_c * c_{p-c} * (T_f - T_i)$$

$$Q_c = 41.17 kg * 836 \frac{J}{kg \text{ } ^\circ C} * (900 - 20)^\circ C$$

$$Q_c = 30287945.6J$$

$$Q_c = 30.288 * 10^6 J = 30.288 MJ$$

La potencia requerida en el horno para calentar la cerámica, se obtiene a partir de la cantidad de calor necesario para el calentamiento de la carga, dividido para el tiempo necesario para alcanzar la temperatura máxima en el interior del horno:

$$P_{cal} = \frac{Q_c}{t_c}$$

$$P_{cal} = \frac{30.288 * 10^6 J}{10800 s}$$

$$P_{cal} = 2804.439 W = 2.804 kW$$



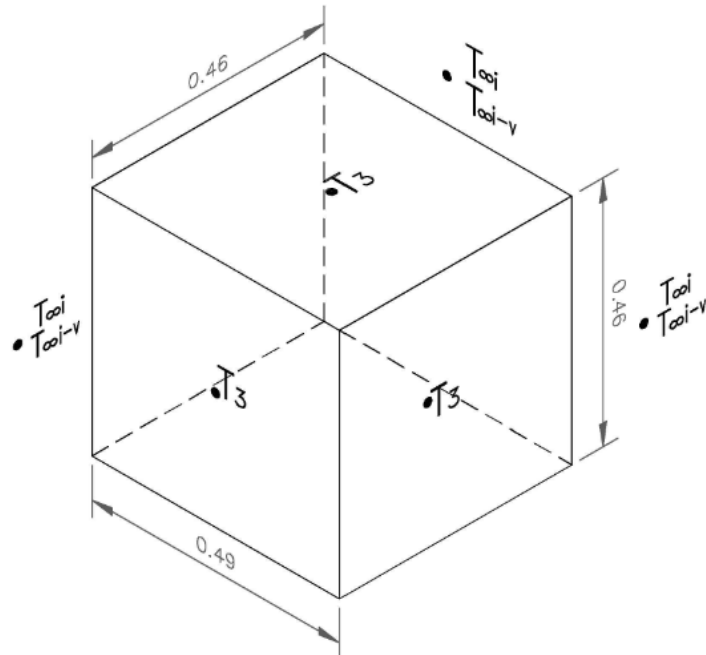
### 3.2.5.2 Coeficiente de transferencia de calor por convección

El principal mecanismo de transferencia de calor, tanto para las paredes exteriores como las interiores del horno para cerámica, constituye la transferencia de calor por convección natural.

A continuación, se determina el coeficiente de transferencia de calor por convección en las diferentes paredes del horno.

#### - Coeficiente de transferencia de calor por convección en las paredes verticales exteriores del horno

La temperatura máxima de la pared exterior del horno ( $T_3$ ) no debe ser mayor a 80 °C, (En vista que actual mente en el horno convencional con el que cuenta el taller de cerámica Jallpa Pucara, la temperatura en la pared externa del horno llega aproximada mente a 120 °C. por ese entender se toma un valor inferior a este. y puesto que el operador deberá trabajar con los equipos de protección personal adecuados para dicho trabajo). entonces, la diferencia de temperatura entre el sólido y el fluido en el exterior ( $\Delta T_{V-0}$ ), viene dado por (ver figura 8):



**Figura N° 8:** Dimensiones externas del horno para cerámica

Elaborado por el equipo de trabajo

$$\Delta T_{V-0} = T_3 - T_{\infty 0}$$

$$\Delta T_{V-0} = 80 \text{ } ^\circ\text{C} - 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{V-0} = 60 \text{ } ^\circ\text{C} = 333 \text{ k}$$

Donde:

$\Delta T_{V-0}$  : variación de la temperatura entre la pared exterior del horno y la temperatura promedio del aire en el exterior del horno,  $^\circ\text{C}$

$T_3$  : temperatura de la pared exterior del horno  $80^\circ\text{C}$

$T_{\infty 0}$  : temperatura promedio del aire en el exterior del horno  $20^\circ\text{C}$

A partir de esta diferencia de temperatura, se determina la temperatura de la película

en la capa límite exterior del horno ( $T_{f0}$ ), dada por la ecuación (Ec. 2.4).



$$T_{f0} = \frac{1}{2}(T_3 + T_{\infty 0})$$

$$T_{f0} = \frac{1}{2}(80 \text{ } ^\circ\text{C} + 20 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$T_{f0} = 50 \text{ } ^\circ\text{C} = 323 \text{ K}$$

A partir del resultado obtenido revisamos la tabla del anexo D, se obtienen las propiedades del aire a la temperatura de la película:

- Conductividad térmica  $k_0 = 0.02735 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$
- Viscosidad cinemática  $\nu_0 = 1.798 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
- Número de Prandtl  $Pr_0 = 0.7228$

El coeficiente de expansión volumétrica ( $\beta_0$ ) para el aire externo, viene dado por:

$$\beta_0 = \frac{1}{T_{f0}}$$

$$\beta_0 = \frac{1}{323 \text{ K}}$$

$$\beta_0 = 3.959 * 10^{-3} \text{ K}$$

Determinando la longitud característica de la configuración geométrica del horno ( $L_{c-0v}$ ) se determina de la siguiente forma:

$$L_{c-v} = H + 2L_1 + 2L_2$$

Donde:

$L_{c-0v}$  : altura característica de la pared vertical exterior.

H : altura del interior del horno = 0.32 m



$L_1$  : espesor de la pared (ladrillo refractario =  $2 * 0.032$  m, junta ladrillo y ladrillo =  $0.004$  m de cemento refractario).

$L_2$  : espesor de la chapa de acero =  $0.0015$  m.

$$L_{c-0v} = 0.32m + (2 * 0.068m) + (2 * 0.0015m)$$

$$L_{c-0v} = 0.46m$$

El régimen de flujo en la convección natural se mide mediante el número de Grashof para las paredes verticales exteriores del horno, y este se calcula a partir de la ecuación (Ec. 2.5).

$$Gr_{L-0v} = \frac{g * \beta_0 * \Delta T_{V-0} * (L_{c-0v})^3}{\nu_0^2}$$

$$Gr_{L-0v} = \frac{9.81 \frac{m}{s^2} * \frac{1}{323 K} * 333 K * (0.46m)^3}{(1.798 * 10^{-5})^2 \frac{m^4}{s^2}}$$

$$Gr_{L-0v} = 3045122994.82 = 3.045 * 10^9$$

La relación entre la difusividad de la cantidad de movimiento y la difusividad térmica, viene dado por el número de Rayleigh para las paredes verticales exteriores del horno, se obtiene de la ecuación (Ec. 2.6)

$$Ra_{L-0v} = Gr_{L-0v} * Pr_0$$

$$Ra_{L-0v} = (3.045 * 10^9) * 0.7228$$

$$Ra_{L-0v} = 2201014900.66 = 2.201 * 10^9$$

La correlación empírica del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre superficies verticales, se obtiene a partir de la ecuación (Ec. 2.8a)



$$Nu_{0v} = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 * (Ra_{L-0v})^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{Pr_0} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu_{0v} = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 * (2.201 * 10^9)^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{0.7228} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu_{0v} = 157.284$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección en las paredes verticales exteriores del horno ( $h_{\infty 0-v}$ ), viene dado por la ecuación (Ec. 2.3).

$$h_{\infty 0-v} = \frac{Nu_{0v} * k_0}{L_{C-v}}$$

$$h_{\infty 0-v} = \frac{157.284 * 0.02735 \frac{W}{m * K}}{0.46 m}$$

$$h_{\infty 0-v} = 9.352 \frac{W}{m^2 * K} = 9.352 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Donde:

$k_0$  : conductividad térmica del aire en el exterior del horno,  $W/(m \cdot ^\circ C)$

$L_{C-v}$  : altura de la pared vertical del horno = 0.46 m.

**- Coeficiente de transferencia de calor por convección en las paredes horizontales exteriores del horno**

Al igual que para las paredes verticales exteriores, la diferencia de temperatura entre el sólido y el fluido en el exterior ( $\Delta T_{h-0}$ ) es  $60^\circ C$  (333 K), y la temperatura de la película en la capa límite de aire en el exterior del horno ( $T_{f0}$ ) es  $50^\circ C$  (323 K).





Determinando la longitud característica de la pared horizontal del horno ( $L_{c-h}$ ).

para tal fin revisamos la tabla del (anexo B), mediante el cual se determina:

$$L_{c-h} = \frac{A_s}{p}$$

Donde:

$L_{c-h}$  : longitud característica de la pared horizontal, m (ver tabla del anexo B)

$A_s$  : área de la superficie de transferencia de calor,  $m^2$

$p$  : perímetro de la superficie de transferencia de calor, m

$$L_{c-h} = \frac{(0.46 * 0.49) m^2}{((2 * 0.46) + (2 * 0.49)) m}$$

$$L_{c-h} = 0.119 m$$

El número de Grashof para las paredes horizontales exteriores del horno se obtiene a partir de la ecuación (Ec. 2.5):

$$Gr_{L-0h} = \frac{g * \beta_0 * \Delta T_{H-0} * (L_{c-h})^3}{v_0^2}$$

$$Gr_{L-0h} = \frac{9.81 \frac{m}{s^2} * \frac{1}{323 K} * 333K * (0.119 m)^3}{(1.798 * 10^{-5} m^2/s)^2}$$

$$Gr_{L-0h} = 52719614.745 = 5.272 * 10^7$$

El número de Rayleigh para las paredes horizontales exteriores del horno, viene dada

por la ecuación (Ec. 2.6)

$$Ra_{L-0h} = Gr_{L-0h} * Pr_0$$



$$Ra_{L-0h} = (5.272 * 10^7) * 0.7228$$

$$Ra_{L-0h} = 38105737.538 = 3.811 * 10^7$$

La correlación empírica del número promedio de Nusselt para la convección natural en las superficies horizontales del horno, se obtiene a partir de la ecuación (Ec. 2.8b).

$$Nu_{oh} = 0.27 * (Ra_{L-0h})^{1/4}$$

$$Nu_{oh} = 0.27 * (3.811 * 10^7)^{1/4}$$

$$Nu_{oh} = 21.213$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección en las paredes horizontales exteriores del horno ( $h_{\infty 0-h}$ ), viene dado por la ecuación (Ec. 2.3)

$$h_{\infty 0-h} = \frac{Nu_{oh} * k_0}{L_{C-h}}$$

$$h_{\infty 0-h} = \frac{21.213 * 0.02735 \frac{W}{m * k}}{0.119m}$$

$$h_{\infty 0-h} = 4.876 \frac{W}{m^2 * k} = 4.876 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

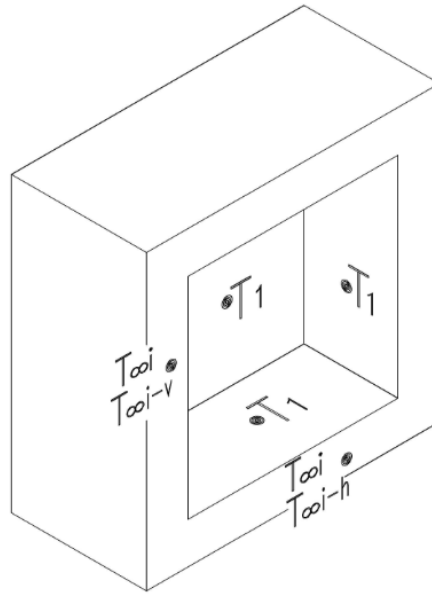
Donde:

$k_0$  : conductividad térmica del aire en el exterior del horno,  $W/(m \cdot ^\circ C)$

$L_{C-0h}$  : longitud característica de las paredes horizontales del horno, 0.119 m.

- **Coefficiente de transferencia de calor por convección en las paredes verticales interiores del horno**

Temperatura de la pared interna viene dado por (ver figura 9):



**Figura N° 9:** Distribución de temperaturas en el interior del horno

Elaborado por el equipo de trabajo

$$\Delta T_{V-i} = T_{\infty i} - T_1$$

$$T_1 = T_{\infty i} - \Delta T_{V-i}$$

$$T_1 = 900^\circ\text{C} - 450^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 450^\circ\text{C} = 723\text{ K}$$

Donde:

$T_1$  : temperatura de la pared interior del horno °C

$T_{\infty i}$  : temperatura máxima requerida en el interior 900°C

$\Delta T_{V-i}$  : diferencia de temperatura en el interior de horno 450°C

La temperatura de la película en la capa límite de aire en el interior del horno ( $T_{fi}$ )

se encuentra dada por la ecuación (Ec. 2.4)

$$T_{fi} = \frac{1}{2}(T_{\infty i} + T_1)$$



$$T_{fi} = \frac{1}{2} (900 \text{ } ^\circ\text{C} + 450 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$T_{fi} = 675 \text{ } ^\circ\text{C} = 948 \text{ K}$$

A partir del resultado obtenido revisamos la tabla del anexo D, mediante el cual se obtienen las propiedades del aire en el interior del horno a temperatura de la película  $T_{fi} = 675 \text{ } ^\circ\text{C}$ , en vista que no se tiene valores para esta temperatura en la tabla del anexo D, se determina mediante la interpolación:

- Conductividad térmica  $k_i = 0.06459 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$
- Viscosidad cinemática  $\nu_i = 1.0876 * 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$
- Número de prandtl  $Pr_i = 0.707825$

El coeficiente de expansión volumétrica ( $\beta_i$ ) para el aire en el interior del horno, viene dado por:

$$\beta_i = \frac{1}{T_{fi}}$$

$$\beta_i = \frac{1}{948 \text{ K}}$$

El número de Grashof para las paredes verticales en el interior del horno, se calcula a partir de la ecuación (Ec. 2.5).

$$Gr_{L-iv} = \frac{g * \beta_i * \Delta T_{v-i} * (L_{c-iv})^3}{\nu_i^2}$$

$$Gr_{L-iv} = \frac{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \frac{1}{948 \text{ K}} * 723 \text{ K} * (0.32 \text{ m})^3}{(1.0876 * 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s})^2}$$

$$Gr_{L-iv} = 20725761.893 = 2.073 * 10^7$$

Donde:

$L_{c-iv}$  : altura característica de la pared vertical interior el horno = 0,32m.

El número de Rayleigh para las paredes verticales en el interior del horno, se obtiene de la ecuación (Ec. 2.6)

$$Ra_{L-iv} = Gr_{L-iv} * Pr_i$$

$$Ra_{L-iv} = 2.073 * 10^7 * 0.707825$$

$$Ra_{L-iv} = 14670212.412 = 1.467 * 10^7$$

La correlación empírica del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre superficies verticales interiores del horno, se obtiene a partir de la ecuación (Ec. 2.8a)

$$Nu_{iv} = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 * (Ra_{L-iv})^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{Pr_i} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu_{iv} = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 * (1.467 * 10^7)^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{0.707825} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu_{iv} = 34.807$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección en las paredes verticales interiores del horno ( $h_{\infty i-v}$ ), viene dado por la ecuación (Ec. 2.3).

$$h_{\infty i-v} = \frac{Nu_{iv} * k_i}{L_v}$$



$$h_{\infty i-v} = \frac{34.807 * 0.06459 \frac{W}{m * k}}{0.32 m}$$

$$h_{\infty i-v} = 7.026 \frac{W}{m^2 * k} = 7.26 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Donde:

$k_i$  : conductividad térmica del aire en el interior del horno,  $W/(m \cdot ^\circ C)$

$L_v$  : altura de la pared vertical del horno = 0,32 m.

**- Coeficiente de transferencia de calor por convección en las paredes horizontales interiores del horno**

Determinando la longitud característica de la pared horizontal del horno ( $L_{c-h}$ ), para tal fin revisamos la tabla del (anexo B), mediante el cual se determina:

$$L_{c-h} = \frac{A_s}{p}$$

Donde:

$L_{c-h}$  : longitud característica de la pared horizontal, (ver tabla del anexo B)

$A_s$  : área de la superficie de transferencia de calor,  $m^2$

$p$  : perímetro de la superficie de transferencia de calor, m

$$L_{c-h} = \frac{0.35 * 0.32 m^2}{((2 * 0.35) + (2 * 0.32)) m}$$

$$L_{c-h} = 0.084m$$

El número de Grashof para las paredes horizontales interiores del horno se obtiene a partir de la ecuación (Ec. 2.5)



$$Gr_{L-ih} = \frac{g * \beta_i * \Delta T_{H-i} * (L_{C-h})^3}{v_i^2}$$

$$Gr_{L-ih} = \frac{9.81 \frac{m}{s^2} * \frac{1}{948K} * 723K * (0.084 m)^3}{(1.0876 * 10^{-4} m^2/s)^2}$$

$$Gr_{L-ih} = 374885.314 = 3.749 * 10^5$$

El número de Rayleigh para las paredes horizontales interiores del horno, viene dada por la ecuación (Ec. 2.6)

$$Ra_{L-ih} = Gr_{L-ih} * Pr_i$$

$$Ra_{L-ih} = 3.749 * 10^5 * 0.707825$$

$$Ra_{L-ih} = 265353.198 = 2.654 * 10^5$$

La correlación empírica del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre las superficies horizontales interiores de horno, se obtiene a partir de la ecuación (Ec. 2.8b)

$$Nu_{ih} = 0.27 * (Ra_{L-ih})^{1/4}$$

$$Nu_{ih} = 0.27 * (2.654 * 10^5)^{1/4}$$

$$Nu_{ih} = 6.128$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección en las paredes horizontales interiores del horno ( $h_{\infty i-h}$ ), viene dado por la ecuación (Ec. 2.3)

$$h_{\infty i-h} = \frac{Nu_{ih} * k_i}{L_{C-h}}$$

$$h_{\infty i-h} = \frac{6.128 * 0.06459 \frac{W}{m * K}}{0.084m}$$

$$h_{\infty i-h} = 4.712 \frac{W}{m^2 * k} = 4.712 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Donde:

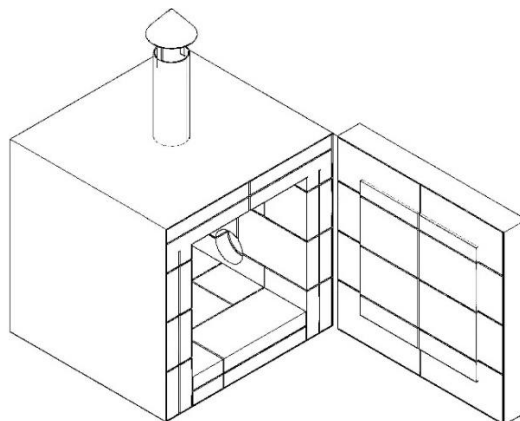
$k_i$  : conductividad térmica del aire en el interior del horno,  $W/(m \cdot ^\circ C)$

$L_{C-h}$  : longitud característica de las paredes horizontales del horno, 0.084m.

### 3.2.5.3 Pérdidas de calor en el horno

El calor que se genera dentro del horno se transfiere tanto al material cerámico a calentar como a sus paredes. La acumulación de calor en las paredes, exige un consumo mayor de energía, por lo que, es conveniente determinar las pérdidas de calor a través de las paredes del horno.

En régimen estable la transmisión de calor a través de las paredes ocurre mediante dos procesos: por convección desde los gases de combustión a las paredes interiores, y conducción en sus seis paredes tanto del ladrillo refractario y en la plancha metálica, no se consideró la transferencia de calor por radiación por que el espacio entre las llamas que desprenden los quemadores y el espacio dentro del horno es muy reducido y por lo tanto es despreciable, la plancha metálica tiene un espesor de 1.5 mm, es por esto que se despreció su resistencia térmica.



**Figura N° 10:** Paredes compuestas del horno para cerámica

Elaborado por el equipo de trabajo

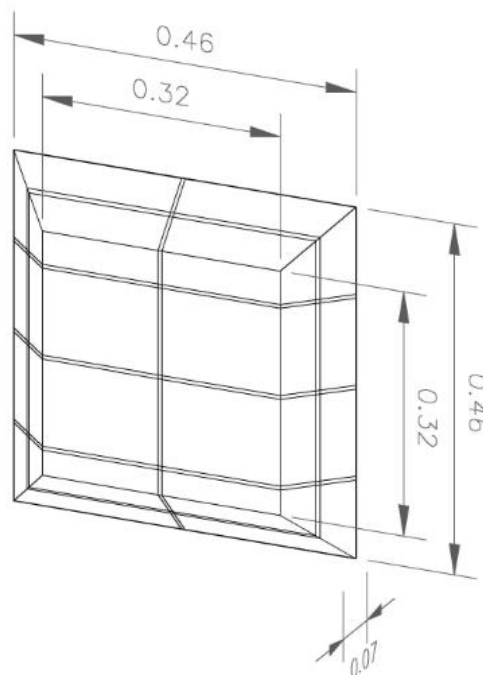


- **Pérdidas de calor en las paredes frontal y posterior del horno**

Del análisis de la (figura 11), se determina que, el área promedio de la pared frontal y de la pared posterior, está dada por:

$$A_{med1} = \frac{1}{2} [(0,32 * 0.32) + (0.46 * 0.46)]m^2$$

$$A_{med1} = 0.157m^2$$



**Figura N° 11:** Pared compuesta posterior del horno para cerámica

Elaborado por el equipo de trabajo

La rapidez de transferencia de calor a través de la pared frontal y la pared posterior, se obtiene a partir de la ecuación. (Ec.2.9)

$$\dot{Q}_L = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{\sum R_T}$$

Para nuestro caso será de la siguiente forma:

$$\dot{Q}_{L1} = \frac{T_{\infty i} - T_{\infty 0}}{\frac{1}{h_{\infty i-v} * A_{med1}} + \frac{L_1}{k_1 * A_{med1}} + \frac{L_2}{k_2 * A_{med1}} + \frac{L_3}{k_3 * A_{med1}} + \frac{L_4}{k_4 * A_{med1}} + \frac{1}{h_{\infty 0-v} * A_{med1}}}$$
$$\dot{Q}_{L1} = \frac{(900 - 20)^{\circ}\text{C}}{\left( \frac{1}{7.026 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}} + \frac{0.032\text{m}}{1.046 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}} + \frac{0.004\text{m}}{0.25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}} + \frac{0.032\text{m}}{1.046 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}} + \frac{0.0015\text{m}}{58 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}} + \frac{1}{9.352 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}} \right) * 0.157\text{m}^2}$$
$$\dot{Q}_{L1} = 423.195\text{W}$$

Donde:

$k_1 = k_3$ : conductividad térmica del ladrillo refractario, 1.046 W/m °C (ver anexo E).

$k_2$ : conductividad térmica del cemento refractario, 0.250 W / m °C (ver anexo E).

$k_4$ : conductividad térmica del acero, 58.00 W / m °C (ver anexo E)

$L_1 = L_3$ : espesor de ladrillo refractario, 0.032m.

$L_2$ : espesor de la junta de ladrillo y ladrillo, 0.004m.

$L_4$ : espesor de la chapa de acero, 0.0015m.

$h_{\infty i-v}$  : coeficiente de transferencia de calor por convección en las paredes verticales interiores del horno.

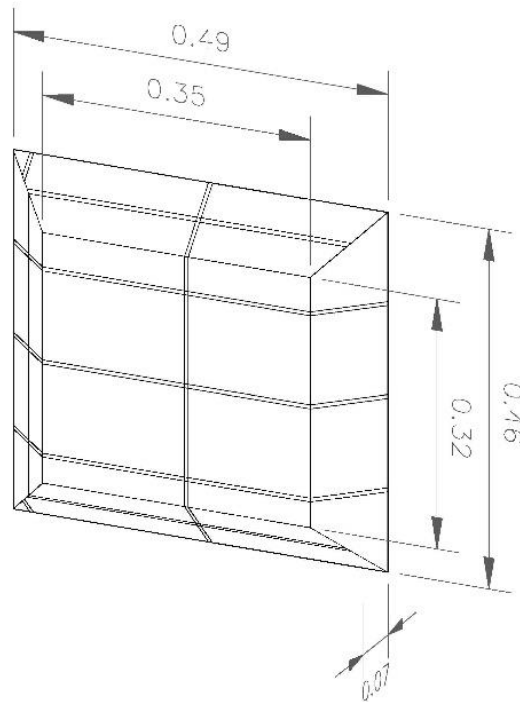
$h_{\infty 0-v}$  : coeficiente de transferencia de calor por convección en las paredes verticales exteriores del horno.

#### - Pérdidas de calor en las paredes laterales del horno

De acuerdo con la (figura 12), el área promedio de la pared lateral derecha y de la pared lateral izquierda del horno, es:

$$A_{med2} = \frac{1}{2} [(0,32 * 0.35) + (0.46 * 0.49)]\text{m}^2$$

$$A_{med1} = 0.169m^2$$



**Figura N° 12:** Pared compuesta lateral del horno para cerámica

Elaborado por el equipo de trabajo

La rapidez de transferencia de calor a través de la pared lateral izquierda y la pared lateral derecha, se obtiene de la siguiente ecuación (Ec. 2.9):

$$\dot{Q}_L = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{\sum R_T}$$

Para nuestro caso será de la siguiente forma:

$$\dot{Q}_{L2} = \frac{T_{\infty i} - T_{\infty 0}}{\frac{1}{h_{\infty i-v} * A_{med1}} + \frac{L_1}{k_1 * A_{med1}} + \frac{L_2}{k_2 * A_{med1}} + \frac{L_3}{k_3 * A_{med1}} + \frac{L_4}{k_4 * A_{med1}} + \frac{1}{h_{\infty 0-v} * A_{med1}}}$$

$$\dot{Q}_{L2} = \frac{(900 - 20)^{\circ}C}{\left( \frac{1}{7.026 \frac{W}{m^2^{\circ}C}} + \frac{0.032m}{1.046 \frac{W}{m^2^{\circ}C}} + \frac{0.004m}{0.25 \frac{W}{m^2^{\circ}C}} + \frac{0.032m}{1.046 \frac{W}{m^2^{\circ}C}} + \frac{0.0015m}{58 \frac{W}{m^2^{\circ}C}} + \frac{1}{9.352 \frac{W}{m^2^{\circ}C}} \right) * 0.169m^2}$$

$$\dot{Q}_{L2} = 455.541W$$



Donde:

$k_1 = k_3$ : conductividad térmica del ladrillo refractario, 1.046 W/m °C (ver anexo E).

$k_2$  : conductividad térmica del cemento refractario, 0.250 W / m °C (ver anexo E).

$k_4$  : conductividad térmica del acero, 58.00 W / m °C (ver anexo E)

$L_1 = L_3$ : espesor de ladrillo refractario, 0.032m.

$L_2$  : espesor de la junta de ladrillo y ladrillo, 0.004m.

$L_4$  : espesor de la chapa de acero, 0.0015m.

$h_{\infty i-v}$  : coeficiente de transferencia de calor por convección en las paredes verticales interiores del horno.

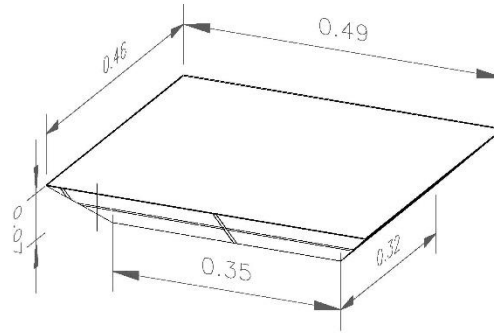
$h_{\infty 0-v}$  : coeficiente de transferencia de calor por convección en las paredes verticales exteriores del horno.

#### - Pérdidas de calor en las paredes superior e inferior del horno

En base a la (figura 13), se determina el área promedio de la pared superior y de la pared inferior del horno de cerámica:

$$A_{med3} = \frac{1}{2} [(0,35 * 0.32) + (0.49 * 0.46)]m^2$$

$$A_{med3} = 0.169m^2$$



**Figura N° 13:** Pared compuesta superior del horno para cerámica

Elaborado por el equipo de trabajo

La rapidez de transferencia de calor a través de la pared lateral izquierda y la pared lateral derecha, se obtiene de la siguiente ecuación (Ec. 2.9)

$$\dot{Q}_L = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{\sum R_T}$$

Para nuestro caso será de la siguiente forma:

$$\dot{Q}_{L3} = \frac{T_{\infty i} - T_{\infty 0}}{\frac{1}{h_{\infty i-h} * A_{med1}} + \frac{L_1}{k_1 * A_{med1}} + \frac{L_2}{k_2 * A_{med1}} + \frac{L_3}{k_3 * A_{med1}} + \frac{L_4}{k_4 * A_{med1}} + \frac{1}{h_{\infty 0-h} * A_{med1}}}$$

$$\dot{Q}_{L3} = \frac{(900 - 20)^\circ\text{C}}{\left( \frac{1}{4.712 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}} + \frac{0.032\text{m}}{1.046 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}} + \frac{0.004\text{m}}{0.25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}} + \frac{0.032\text{m}}{1.046 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}} + \frac{0.0015\text{m}}{58 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}} + \frac{1}{4.876 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}} \right) * 0.169\text{m}^2}$$

$$\dot{Q}_{L3} = 300.735\text{W}$$

Donde:

$k_1 = k_3$ : conductividad térmica del ladrillo refractario, 1.046 W/m °C (ver anexo E).

$k_2$  : conductividad térmica del cemento refractario, 0.250 W / m °C (ver anexo E).



$k_4$  : conductividad térmica del acero, 58.00 W / m °C (ver anexo E)

$L_1 = L_3$ : espesor de ladrillo refractario, 0.032m.

$L_2$  : espesor de la junta de ladrillo y ladrillo, 0.004m.

$L_4$  : espesor de la chapa de acero, 0.0015m.

$h_{\infty i-h}$  : coeficiente de transferencia de calor por convección en las paredes horizontales interiores del horno.

$h_{\infty 0-h}$  : coeficiente de transferencia de calor por convección en las paredes horizontales exteriores del horno.

### 3.2.5.4 Cálculo del calor total perdido

La pérdida de calor total ( $\dot{Q}_{LT}$ ) a través de la seis paredes compuestas del horno para cerámica es:

$$\dot{Q}_{LT} = (2 * \dot{Q}_{L1}) + (2 * \dot{Q}_{L2}) + (2 * \dot{Q}_{L3})$$

$$\dot{Q}_{LT} = (2 * 423.195W) + (2 * 455.541W) + (2 * 300.735W)$$

$$\dot{Q}_{LT} = 2358.942W$$

$$\dot{Q}_{LT} = 2.358KW$$

### 3.2.5.5 Cálculo de la potencia térmica total requerida

La potencia térmica total ( $P_T$ ) requerida (consumo calorífico del horno) para mantener el horno a 1000°C durante un tiempo de cocción de la cerámica, se obtiene de la ecuación (Ec.2.11), sumando la potencia requerida en el horno para calentar la cerámica, más las pérdidas de calor totales a través de las paredes.

$$P_T = P_{cal} + \dot{Q}_{LT}$$



$$P_T = 2.804KW + 2.358KW$$

$$P_T = 5.162KW$$

### 3.2.5.6 Cálculo de la eficiencia del horno.

La eficiencia del horno es la relación del calor útil entre el calor útil más el calor total para ello utilizamos la ecuación (Ec. 2.12)

$$\varepsilon = \frac{P_{cal}}{P_{cal} + \dot{Q}_{LT}}$$

$$\varepsilon = \frac{2.804KW}{2.804KW + 2.358KW}$$

$$\varepsilon = 0.54 = 54\%$$

### 3.2.5.7 Consumo de combustible.

El consumo de combustible, o el gasto de combustible se calcula en base al consumo calórico del horno, y el poder calórico inferior del combustible, para ello se utiliza la ecuación (Ec. 2.13)

$$\dot{m}_c = \frac{P_T}{H_{ci}}$$

$$\dot{m}_c = \frac{5.162 \text{ kW}}{11867.613 \text{ kcal/kg}}$$

$$\dot{m}_c = \frac{4438521.13 \text{ cal/h}}{11867.613 \text{ kcal/kg}}$$

$$\dot{m}_c = 0.374 \text{ kg/h}$$

### 3.2.5.8 Flujo de combustible

El flujo de combustible (GLP), se determina mediante la ecuación (Ec. 2.14)



$$\dot{V}_c = \dot{m}_c * V_e$$

$$\dot{V}_c = 0.374 \text{kg/h} * 0.49256 \text{m}^3/\text{kg}$$

$$\dot{V}_c = 0.184 \text{ m}^3/\text{h} = 0.0511 \text{l/s}$$

Donde:

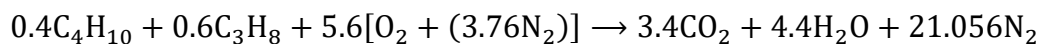
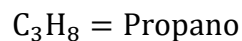
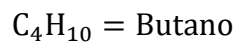
$\dot{V}_c$  : flujo de combustible ( $\text{m}^3/\text{h}$ ).

$V_e$  : volumen específico del combustible ( $0.49256 \text{ m}^3/\text{kg}$ ).

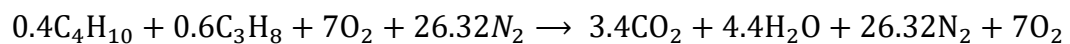
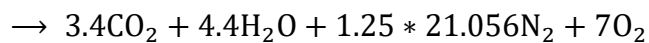
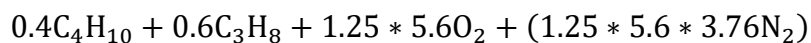
$\dot{m}_c$  : gasto de combustible (consumo)  $\text{Kg}/\text{h}$ .

### 3.2.5.9 Aire teórico – coeficiente de exceso de aire

Se requiere un 25% de exceso de aire para lograr una combustión completa asegurada.



Con un exceso de aire del 25 % es decir 125% de aire obtendremos:



Análisis volumétrico de los productos de la combustión. Para este fin se utilizará la ecuación (Ec. 2.16)

$$y_i = \frac{n_i}{n_T} = \frac{P_i}{P_T}$$





Siendo el número total de moles de los productos de la combustión:

$$n_T = n_{CO_2} + n_{H_2O} + n_{N_2} + n_{O_2}$$

$$n_T = 3.4 + 4.4 + 26.32 + 7$$

$$n_T = 41.12 \text{ moles}$$

El análisis volumétrico de los productos de la combustión es:

$$y_i = \frac{n_i}{n_T} = \frac{P_i}{P_T}$$

$$y_{CO_2} = \frac{3.4}{41.12} = 0.083$$

$$y_{H_2O} = \frac{4.4}{41.12} = 0.107$$

$$y_{N_2} = \frac{26.32}{41.12} = 0.640$$

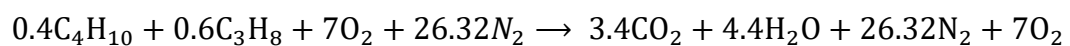
$$y_{O_2} = \frac{7}{41.12} = 0.170$$

Relación aire-combustible:

En base molar para 125% de aire teórico para este fin se utilizará la ecuación (Ec.

2.17)

$$r_{a/c} = \frac{n_{aire}}{n_{comb}}$$



$$r_{a/c} = \frac{7 + 26.32}{0.4 + 0.6} = 33.32 \frac{\text{moles}_{aire}}{\text{moles}_{comb}}$$

$$r_{c/a} = \frac{1}{33.32} = 0.03 \frac{\text{moles}_{comb}}{\text{moles}_{aire}}$$



En base de masa para este fin se utilizará la ecuación (Ec. 2.18).

$$r_{a/c} = \frac{n_{\text{aire}} * M_{\text{aire}}}{n_{\text{comb}} * M_{\text{comb}}}$$

A partir de la tabla del anexo (F) se tiene la masa molar para las siguientes sustancias:

$$\text{Butano } C_4H_{10} \text{ donde } M = 58.124 \frac{\text{kg}}{\text{k mol}}$$

$$\text{Propano } C_3H_8 \text{ donde } M = 44.097 \frac{\text{kg}}{\text{k mol}}$$

$$\text{Aire donde } M = 28.97 \frac{\text{kg}}{\text{k mol}}$$

$$r_{a/c} = \frac{33.32 * 28.97}{0.4 * 58.124 + 0.6 * 44.097} = 19.419 \frac{\text{kg}_{\text{aire}}}{\text{kg}_{\text{comb}}}$$

$$r_{c/a} = \frac{1}{19.419} = 0.051 \frac{\text{kg}_{\text{comb}}}{\text{kg}_{\text{aire}}}$$

### 3.2.5.10 Cálculo del flujo de aire y flujo de los productos de la combustión

El gasto de aire se determina mediante la ecuación (Ec. 2.20)

$$\dot{m}_a = r_{a/c} * \dot{m}_c$$

$$\dot{m}_a = 19.419 \frac{\text{kg}_{\text{aire}}}{\text{kg}_{\text{comb}}} * 0.374 \frac{\text{kg}_{\text{comb}}}{h}$$

$$\dot{m}_a = 7.263 \frac{\text{kg}_{\text{aire}}}{h}$$

El Flujo de aire calculamos con la ecuación (Ec. 2.19)

$$\dot{V}_a = \dot{m}_a * V_a$$

$$\dot{V}_a = 7.263 \frac{\text{kg}_{\text{aire}}}{h} * 0.80 \text{ m}^3/\text{kg}$$



$$\dot{V}_a = 5.81 \text{ m}^3/\text{h}$$

Con estos datos encontramos el gasto de los productos de la combustión, con la ecuación (Ec. 2.22).

$$\dot{m}_p = \dot{m}_a + \dot{m}_c$$

$$\dot{m}_p = 0.374 \text{ kg/h} + 7.263 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_p = 7.637 \text{ kg/h}$$

Para determinar el flujo de los productos se tiene que la densidad de, ( $\text{CO}_2=1.775 \text{ kg/m}^3$ ), ( $\text{O}_2=1.292 \text{ kg/m}^3$ ), ( $\text{N}_2=1.13 \text{ kg/m}^3$ ), ( $\text{H}_2\text{O}=0.0231 \text{ kg/m}^3$ ), ver (anexo G).

$$\delta_p = y_{\text{CO}_2} * \delta_{\text{CO}_2} + y_{\text{O}_2} * \delta_{\text{O}_2} + y_{\text{N}_2} * \delta_{\text{N}_2} + y_{\text{H}_2\text{O}} * \delta_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$\delta_p = 0.083 * 1.775 + 0.107 * 1.292 + 0.640 * 1.13 + 0.170 * 0.0231$$

$$\delta_p = 1.013 \text{ kg/m}^3$$

De la ecuación (Ec.2.21) se tiene que el flujo de los productos es:

$$\dot{V}_p = \frac{\dot{m}_p}{\delta_p}$$

$$\dot{V}_p = \frac{7.637 \text{ kg/h}}{1.013 \text{ kg/m}^3}$$

$$\dot{V}_p = 7.54 \text{ m}^3/\text{h}$$

De la ecuación (Ec. 2.23) la cantidad de aire que ingresa en función de la cantidad de combustible que se suministra, es:

$$C_a = \frac{\dot{V}_a}{\dot{m}_c}$$

$$C_a = \frac{5.81 \text{ m}^3/\text{h}}{0.374 \text{ kg/h}}$$

$$C_a = 15.535 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Utilizando la ecuación (Ec. 2.24) la cantidad de gases de escape es:

$$C_p = \frac{\dot{V}_p}{\dot{m}_c}$$

$$C_p = \frac{7.54 \text{ m}^3/\text{h}}{0.374 \text{ kg/h}}$$

$$C_p = 20.160 \text{ m}^3/\text{kg}$$

### 3.2.6 Selección de accesorios.

#### 3.2.6.1 Selección de quemador

Se conoce que el horno va a llegar a una temperatura de 900°C, y por su simplicidad y bajo costo se utilizará un quemador de inducción atmosférica (mezcla atmosférica de gas y aire), desarmable para fácil limpieza, puede operar en cualquier posición horizontal o vertical y a cualquier presión de gas GLP o gas natural.



**Figura N° 14:** Quemador

Fuente: (<https://www.pypesa.com/producto/quemadores-tipo-soplete>)

### 3.2.6.2 Selección de la termocupla e indicador de temperatura.

Una de las condiciones determinantes para la selección de la termocupla, es conocer la temperatura máxima que va alcanzar el horno, en este caso la temperatura va a ser de 900 °C. para el valor de la temperatura requerida, nos damos cuenta que una termocupla tipo “K” es la óptima para nuestra necesidad, debido a que su rango de funcionamiento es de 0 a 1300°C.

Las señales captadas por este sensor de temperatura, tienen que ser expresadas en un indicador, así que una vez seleccionada la termocupla, procedemos a seleccionar el indicador de temperatura.



**Figura N° 15:** Termocupla bulbo recto tipo “K”

Fuente: (<https://www.alutal.com.br/es/termopar>)



**Figura N° 16:** Pirómetro digital-universal

Fuente: (<https://www.yycj.com/xmt-9000series.html>)

### 3.2.6.3 Selección de kit de válvula de regulación de presión.

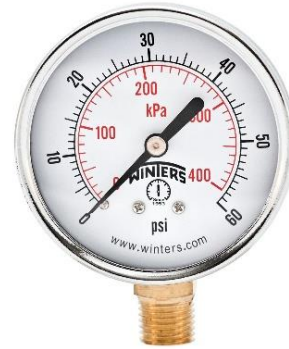
Se seleccionó el regulador de presión marca FISHER 67CH debido a que, se quiere mantener una presión de trabajo de 0-15 psi.



Regulador de presión  
Fisher 67CH



Accesorio adaptador  
POL giratorio con  
asientos de metal



Medidor de prueba para  
presión de línea de  
dispositivo

**Figura N° 17:** Kit regulador de presión

Fuente: ([www.mako.com.mx/wp-content/uploads/2020/02/Catalogo-Fisher-LP-31](http://www.mako.com.mx/wp-content/uploads/2020/02/Catalogo-Fisher-LP-31))

### 3.2.6.4 Selección de tubería.

#### a) Tubería flexible.

El diámetro de la tubería es de 1/4" y la presión de trabajo es de máximo 10psi con estos parámetros se escogió la tubería flexible de polietileno (manguera de alta presión, presión de trabajo 400 psi), de fabricación brasileña.



**Figura N° 18:** Tubería flexible

Fuente: (<https://www.mangueras-de-gas-industrial>)

#### **b) Tubería rígida**

Para la entrada al quemador se necesita utilizar tubería rígida se escogió la de cobre y un diámetro de 1/16".

#### **3.2.6.5 Selección del ventilador**

Para la selección del ventilador necesitamos conocer el consumo de aire, que está calculado en el capítulo 3, y que es igual a 5.81m<sup>3</sup>/h, por lo que se eligió un ventilador de una capacidad 2.3m<sup>3</sup>/min. De 6 velocidades, con las siguientes características eléctricas, 220-240V, 50-60Hz, 600W, 100-13000 r/min. De marca MAKUTE.



**Figura N° 19:** Ventilador

Fuente: ([https://es.made-in-china.com/co\\_ykmakute/product\\_Makute-600W-Industrial-Blower-Fan-with-Ce-GS-PB004-\\_egshggysg.html](https://es.made-in-china.com/co_ykmakute/product_Makute-600W-Industrial-Blower-Fan-with-Ce-GS-PB004-_egshggysg.html))

### **3.3 CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN**

En esta parte del trabajo se tratará lo concerniente a la construcción del prototipo de un horno a gas, para lo cual se detalla paso a paso la elaboración del mismo. En el título “ingeniería de diseño del prototipo de un horno a gas para cerámica”, se trató de manera detallada la selección de los materiales a utilizar, para posteriormente proceder a la parte constructiva.

En base a los requerimientos funcionales del horno, establecido por el proceso productivo de cerámica y de las características técnicas necesarias para proporcionar las ventajas de calidad, funcionalidad y seguridad exigidos para este tipo de equipos, se ha realizado un diseño funcional para el mismo, de acuerdo a esto se basan los materiales con los cuales se va a construir la estructura.

Cabe destacar que, para la construcción de la estructura del horno, tanto la parte técnica como la parte de seguridad al momento de la construcción deben estar sólidamente fundamentados para de esta manera construir y también salvaguardar la integridad personal.

#### **3.3.1 Corte y unión de la estructura del prototipo de horno.**

Para la estructura se utilizará, fierro angular de acero ASTM A36/A36M y NTP 350.400 (anexo H), cuya sección transversal está formada por dos alas de igual longitud, en ángulo recto de 25x25x3 mm.

En la parte inicial se tomará las medidas del prototipo del horno a gas (largo, ancho y alto), una vez obtenidas estas medidas, pasamos a cortar el acero angular con la ayuda de una amoladora eléctrica, disco delgado de corte de metal y un tornillo de banco.

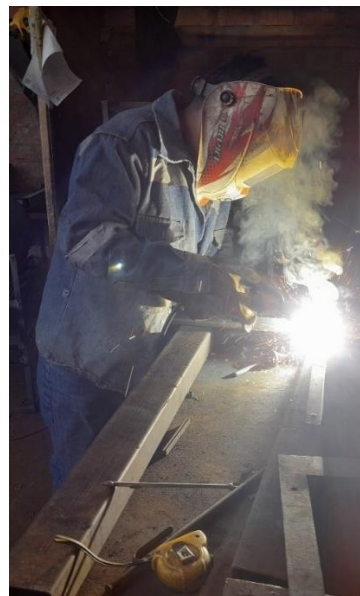




**Figura N° 20:** medición y Corte del acero angular con amoladora eléctrica

Elaborado por el equipo de trabajo

Una vez cortado el acero laminado angular, se da lugar a la unión de las piezas con soldadura de arco eléctrico para la unión de metales. Mediante la aplicación de calor intenso, el metal en la unión entre las dos partes se funde y causa que se entremezclen directamente, o más comúnmente con el metal de relleno fundido intermedio.



**Figura N° 21:** Soldadura por arco eléctrico

Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.3.2 Corte y perforación de la carcasa del prototipo de horno.

Para la carcasa se utilizará chapa metálica de acero de 1.50x1200x2400 mm. Fabricado bajo la norma técnica (ASTM A1008/A1008M Tipo B y dimensiones según JIS G3141-2011. Ver anexo I), con la finalidad de que sea un recubrimiento que brinde tanto durabilidad como protección al material aislante, debido a la alta fragilidad de este último.

En la parte inicial se tomará las medidas del perímetro del horno, para de esta manera conseguir la longitud a cubrir por la plancha metálica, una vez cortada la plancha se procede a señalar cada cara a cubrir en las paredes del horno, tomando en cuenta los lugares en los que se va a perforar debido a que se debe ubicar la entrada del quemador.



**Figura N° 22:** Corte y perforación de la plancha de acero

Elaborado por el equipo de trabajo

Una vez cortada y perforada la plancha, se da lugar al doblado de la plancha, valiéndonos de una máquina-herramienta. Para este caso mediante una dobladora, en cada una de las aristas, de esta manera encajen de la manera más exacta posible con los ladrillos. Para así evitar pérdidas de calor, que es lo que más se quiere evitar para el caso de hornos que alcancen elevadas temperaturas como se ve en la siguiente imagen.



**Figura N° 23:** Doblado de las aristas de la plancha

Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.3.3 Unión de las planchas para el recubrimiento del prototipo de horno

Una vez que la plancha se encuentre doblada en sus tres aristas, se procede a soldar la última arista. Antes de continuar con el proceso de soldadura, se debe tener a presión la plancha de acero (ver figura 23), en el punto el cual se va a realizar la soldadura. Para evitar que la plancha se pandee. Por tanto, también el proceso de soldadura, debe ser ejecutado de manera correcta y eficiente.



**Figura N° 24:** Sujeción y soldado del recubrimiento del horno

Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.3.4 Construcción de las paredes interiores del prototipo de horno.

Para la construcción de las paredes interiores del horno, se utilizará ladrillo de alta refractariedad de 42% de alúmina de 229x114x32 mm. (ver anexo J), Los ladrillos rectangulares se utilizaron también para el techo y la base del horno.

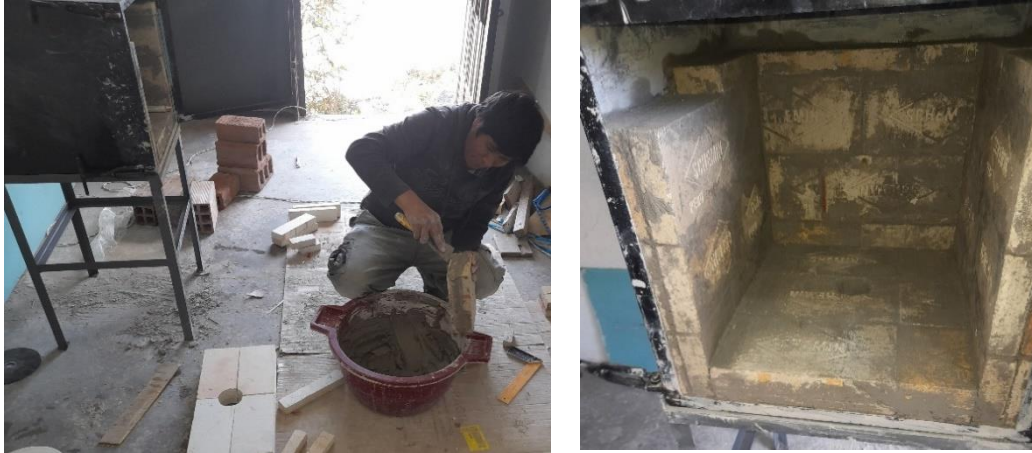


**Figura N° 25:** Tipo de ladrillo refractario

Elaborado por el equipo de trabajo

Se procede con la construcción de la base y las paredes laterales del horno, en primera instancia se procede a cortar el exceso de ladrillo, para posteriormente dejar en la medida deseada a construir y para las uniones entre ladrillos se utiliza el cemento refractario como se puede apreciar a continuación.



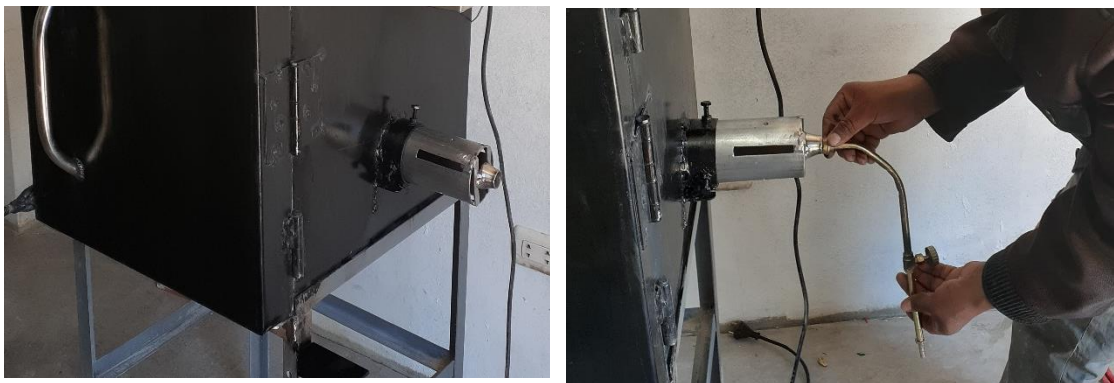


**Figura N° 26:** Construcción de la base y paredes del horno

Elaborado por el equipo de trabajo

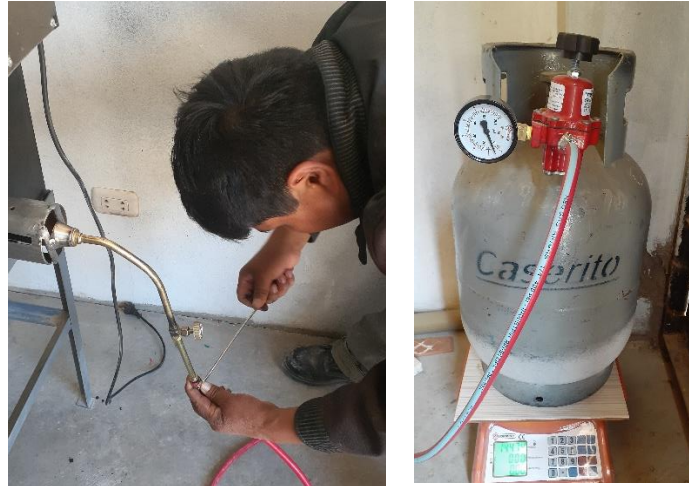
### 3.3.5 Montaje del sistema de gas

El quemador fue probado antes de ser instalado, el sistema de tubería fue diseñado de tal manera que pudiera retirarse para el mantenimiento del quemador según la requiera.



**Figura N° 27:** Montaje del quemador

Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura N° 28:** Montaje de la red de gas

Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.3.6 Instalación de la termocupla

La termocupla al ser el elemento que censa la temperatura en el interior del horno (a una temperatura máxima de 900 °C) debe estar correctamente aislada, razón por la cual se la instala en una bornera de cerámica. Su ubicación en el interior del horno debe ser en un espacio que le permita censar correctamente la temperatura y a la vez no afecte el ingreso de material a hornear.



**Figura N° 29:** Montaje de la termocupla

Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.3.7 Prototipo de horno instalado

Las partes esenciales del prototipo de horno a gas diseñado, se encuentran ya ensambladas, y el paso final fue la conexión entre el cilindro de gas (GLP) y el sistema de quemador.



**Figura N° 30:** (prototipo de horno a gas instalado)

Elaborado por el equipo de trabajo



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 RESULTADOS

##### 4.1.1 Condiciones físicas

El prototipo de horno a gas para cerámica tiene un espacio físico interno con las siguientes dimensiones: largo 350 mm., ancho 320 mm. y alto 320 mm.

Las dimensiones externas del prototipo de horno a gas son las siguientes: largo 490 mm., ancho 460 mm. y alto 460 mm.

El quemador de gas que eleva la temperatura dentro del prototipo de horno, está ubicado en la parte lateral derecha del prototipo de horno.

##### 4.1.2 Parámetros de funcionamiento

Los parámetros de funcionamiento del prototipo de horno a gas para la cocción de la cerámica, son los siguientes, temperatura de calentamiento 900 °C, tiempo de operación 3:00 horas, presión de gas de 8 psi. y 10 psi.

##### 4.1.3 Protocolo de pruebas del horno y del material

Antes de realizar las pruebas se debe tener en cuenta las siguientes condiciones:

- Verificar y evitar que no exista fugas de calor por ranuras desde el interior del prototipo de horno hacia el exterior.
- Verificar que no exista fuga de gas.
- Comprobar el tiempo de calentamiento del prototipo de horno a gas (cocción).





- Hermeticidad del horno



- Prueba de cocción de cerámica



- Horno en funcionamiento

**Figura N° 31:** Pruebas de funcionamiento del prototipo

Elaborado por el equipo de trabajo

## 4.2 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS REGISTRADOS

Para determinar el buen funcionamiento del horno, se realizaron varias pruebas. Se inició obteniendo las curvas características del horno con los parámetros de tiempo, temperatura y consumo de combustible y se graficó dos curvas la primera es tiempo-temperatura y la segunda tiempo-consumo de combustible, la primera experiencia se estableció a una presión de gas de 8 psi y posteriormente se obtuvo las curvas con 10 psi, se asumió estos valores de presión de gas aleatoriamente.

### 4.2.1 curva tiempo-temperatura de operación del prototipo de horno a gas.

A una presión de gas constante de 8psi.

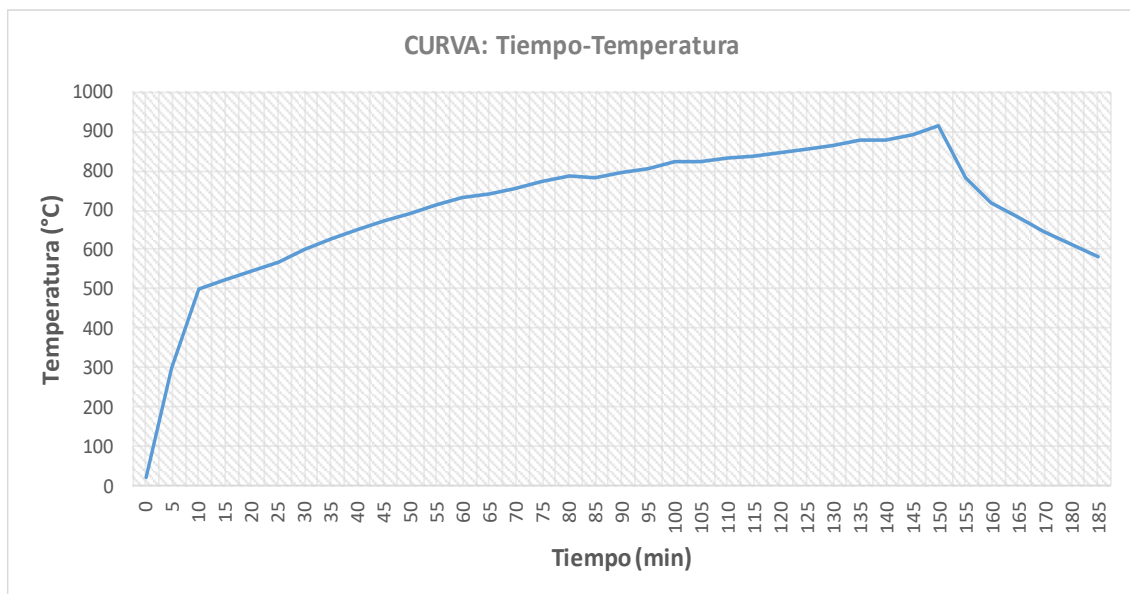
**Tabla N° 3:** Medición de la temperatura del prototipo de horno

Item.	Tiempo (min.)	Temperatura (°C)
1	0	20
2	5	300
3	10	500
4	15	520
5	20	544
6	25	570
7	30	601
8	35	627
9	40	650
10	45	672
11	50	692
12	55	713
13	60	730
14	65	741
15	70	757
16	75	772
17	80	785
18	85	783
19	90	798
20	95	806
21	100	822
22	105	825
23	110	830
24	115	838

(continuación...)

25	120	844
26	125	856
27	130	864
28	135	878
29	140	880
30	145	890
31	150	913
32	155	780
33	160	719
34	165	680
35	170	644
36	180	615
37	185	582

Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura N° 32:** Curva de comportamiento del horno con el material

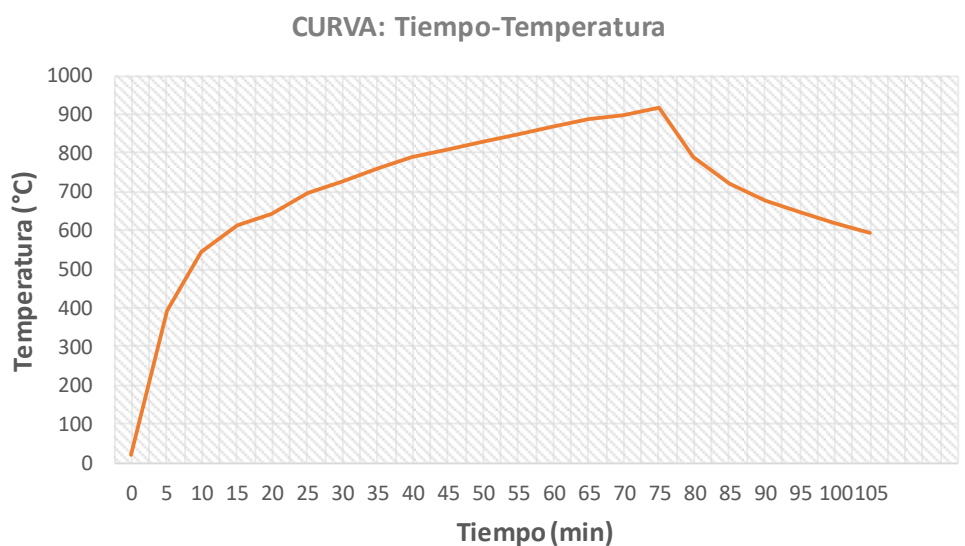
Elaborado por el equipo de trabajo

A una presión de gas constante de 10psi.

**Tabla N° 4:** Medición de la temperatura del prototipo de horno

Item.	Tiempo (min.)	Temperatura (°C)
1	0	20
2	5	394
3	10	547
4	15	613
5	20	645
6	25	696
7	30	724
8	35	763
9	40	790
10	45	810
11	50	831
12	55	850
13	60	870
14	65	887
15	70	899
16	75	918
17	80	790
18	85	723
19	90	679
20	95	647
21	100	620
22	105	595

Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura N° 33:** Curva de comportamiento del horno con el material

Elaborado por el equipo de trabajo



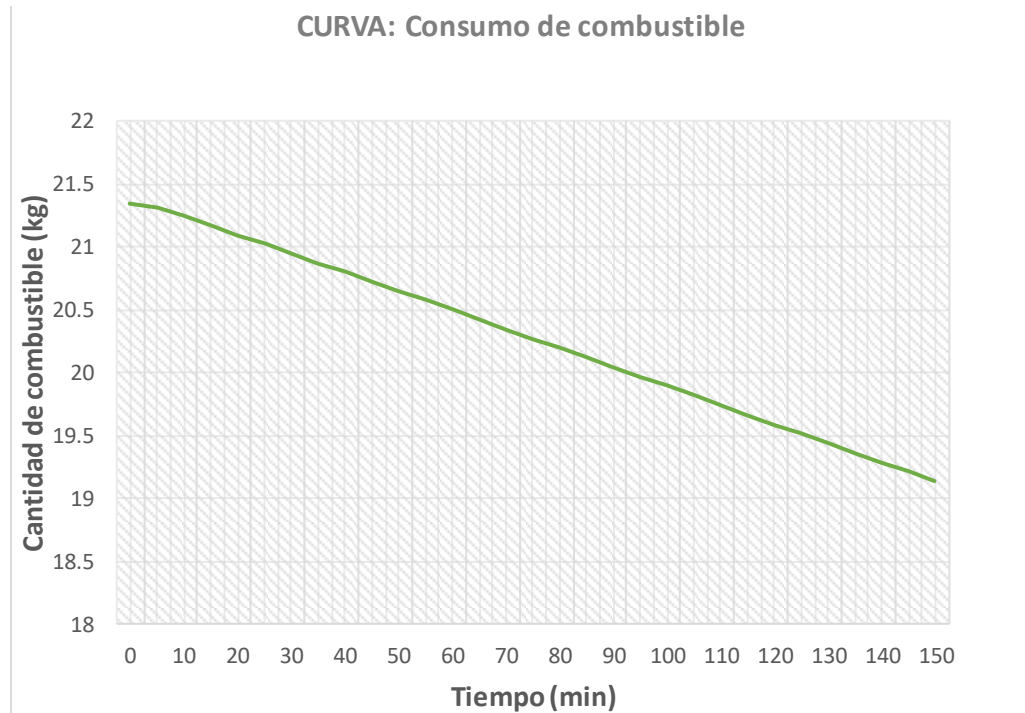
#### 4.2.2 Curva tiempo-consumo de combustible del prototipo de horno a gas.

A una presión de gas constante de 8psi.

**Tabla N° 5:** Medición del consumo del combustible

Item.	Tiempo (min.)	Consumo (kg.)
1	0	21.346
2	5	21.316
3	10	21.242
4	15	21.166
5	20	21.096
6	25	21.02
7	30	20.95
8	35	20.872
9	40	20.8
10	45	20.724
11	50	20.648
12	55	20.574
13	60	20.502
14	65	20.426
15	70	20.348
16	75	20.27
17	80	20.196
18	85	20.118
19	90	20.046
20	95	19.968
21	100	19.892
22	105	19.814
23	110	19.738
24	115	19.66
25	120	19.585
26	125	19.51
27	130	19.432
28	135	19.36
29	140	19.286
30	145	19.209
31	150	19.134

Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura N° 34:** Curva de comportamiento del consumo de combustible del horno

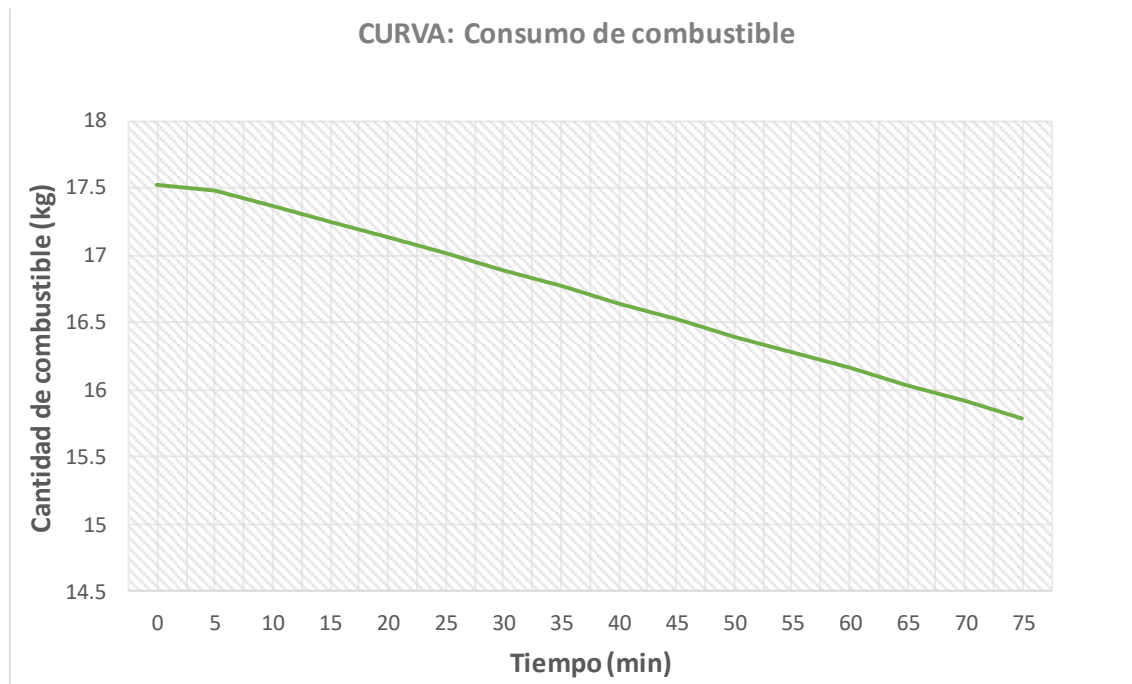
Elaborado por el equipo de trabajo

A una presión de gas constante de 10psi.

**Tabla N° 6:** Medición del consumo del combustible

Item	Tiempo (min.)	Consumo (kg.)
1	0	17.53
2	5	17.48
3	10	17.37
4	15	17.252
5	20	17.134
6	25	17.012
7	30	16.888
8	35	16.766
9	40	16.644
10	45	16.522
11	50	16.4
12	55	16.278
13	60	16.156
14	65	16.034
15	70	15.912
16	75	15.79

Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura N° 35:** Curva de comportamiento del consumo de combustible del horno

Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.2.3 Interpretación de resultados.

De la curva tiempo-temperatura, podemos deducir que existe claramente tres zonas establecidas, la primera de calentamiento rápido que es cuando la temperatura presenta incrementos muy altos, en un lapso de tiempo corto hasta llegar a una temperatura de estabilización, es aquí donde da inicio la segunda zona en donde existen incrementos de temperatura más bajos hasta alcanzar su punto máximo, dependiendo de la presión de gas con la que se esté trabajando, y una tercera zona de enfriamiento que se tiene cuando el quemador es apagado y deja de funcionar, ahí se presenta una disminución acelerada de la temperatura hasta llegar a un punto, en el cual existe una permanencia de la temperatura, se puede decir que se repite la secuencia que se dio durante el proceso de calentamiento.

Haciendo una comparación de las dos experiencias la primera realizada con una presión de gas constante de 8psi. en un tiempo de 150 minutos se alcanzó a la temperatura



de 913 °C, y con 10 psi en un tiempo de 75 minutos se alcanzó a la temperatura de 918°C. por lo que se puede afirmar que, a una mayor presión de gas, menor tiempo para alcanzar la temperatura deseada.

Antes de analizar la curva tiempo-consumo se tiene que mencionar que se cuenta con un cilindro de gas GLP que lo alimenta, y para la obtención de esta curva se mantuvo sobre una balanza el cilindro, mientras el equipo operaba. Como primer asunto, se puede decir que se graficó una curva para el consumo de combustible del quemador.

Una conclusión importante es que el gasto de combustible depende de la presión de trabajo y tiempo, con 8psi a 150 minutos el consumo total del combustible, fue de 2.212 kg y con 10 psi y a 75 minutos el consumo total de combustible es de 1.74 kg, hay que destacar también que el aumento de la temperatura depende la presión de trabajo.

### 4.3 DISCUSIÓN

Al desarrollar las pruebas realizadas de funcionamiento del prototipo de horno a gas de dimensiones internas: largo 350 mm, ancho 320 mm y alto 320 mm, con un quemador ubicado en la parte lateral derecha a 10cm de la base; a una presión de gas constante de 8psi, la temperatura se eleva lentamente llegando a 913 °C en un tiempo de 150 minutos; posteriormente la prueba se realiza a presión de gas constante de 10psi, la temperatura en el interior del prototipo de horno se eleva de manera rápida, llegando a 918°C en un tiempo de 75minutos. Por lo tanto, se concluye que a mayor presión del combustible la temperatura en el interior del prototipo de horno se incrementa en un menor tiempo esto debido a que obtenemos una llama de mayor potencia y de un color azul intenso; respecto al combustible, el consumo depende de la presión de gas y el tiempo. Conforme a esto se realiza la comparación con la conclusión de MAZÓN FIERRO, Guido Javier (2009), con las dimensiones internas del horno: largo 780 mm,





ancho 560 mm y alto 640 mm, con dos quemadores ubicados en el parte lateral derecho e izquierdo. En el que indica en su estudio que a una presión de gas constante de 3psi y con un tiempo de 90 minutos alcanzo a una temperatura de 850°C; y a una presión de gas constante de 8psi y con un tiempo de 50 minutos alcanzó a una temperatura de 1007°C, hay que destacar también que el aumento de la temperatura depende de la presión de trabajo y el aporte de aire que contribuyen los ventiladores. En comparación, podemos afirmar que, a mayor dimensión interna del horno a gas, se requiere mayor cantidad de: quemadores, combustible, exceso de aire y más tiempo de operación para alcanzar la temperatura deseada.

#### **4.4 GUÍA DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.**

En esta parte se va a describir los pasos a seguir para el funcionamiento del prototipo de horno.

- Se acciona el switch de energía eléctrica.
- Se enciende el indicador de temperatura y censamos el mismo al valor que deseemos llegar y que no debe exceder: los 900 °C.
- Conectar el tanque del gas a la manguera de alimentación y situarlo a una distancia prudencial que da la longitud de la manguera de alta presión.
- Fijar en la válvula reguladora de presión mínimo 0.5 psi.
- Para el encendido del quemador se necesita que la válvula reguladora de presión, esté en un valor bajo.
- Se moviliza la válvula general que está conectada a la salida de la válvula reguladora de presión.
- Se acerca el chispero a la salida del quemador.



- Se da apertura la válvula principal del quemador, que se encuentra en la parte inferior dejamos que fluya una pequeña cantidad de gas y acercamos el chispero, para que se forme la llama.
- Cuando el indicador de temperatura llegue al valor deseado se activa un timbre el cual alertará al operario para que éste proceda a controlar la temperatura, quitando el suministro de combustible.
- Para mantener por algún tiempo la temperatura en valor requerido debemos variar la presión del combustible.
- Cuando ya se ha terminado el proceso de cocción, cerramos la válvula del quemador y éste se apagará. La temperatura del horno descenderá, y cuando llegue a los 50 °C, nivel que ya no es peligroso, el operador podrá abrir la puerta.
- Verificar que todo esté apagado y cerrado debidamente para evitar contratiempos.
- Se extrae la cerámica del interior del prototipo y se verifica su calidad de cocción.



## V. CONCLUSIONES

**PRIMERO:** De los resultados obtenidos, podemos afirmar que el diseño y construcción del prototipo de horno a gas propuesto, para reducir el tiempo de cocción de cerámica, para el taller de cerámica Jallpa Pucara, cumple con todas las condiciones de cálculos propuestos.

**SEGUNDO:** los parámetros técnicos requeridos para el diseño y construcción del prototipo de horno a gas, se obtuvieron en base a los requerimientos funcionales del horno, establecidos por el proceso productivo de cerámica, y de las características técnicas necesarias para proporcionar las ventajas de calidad, funcionalidad y seguridad exigidos para este tipo de equipos, como son el tipo de horno (de combustión a gas), temperatura ambiente veinte grados celsius (esto porque el prototipo de horno a gas va a operar en un ambiente cerrado), temperatura en el interior del horno novecientos grados celsius (esto en vista que la cerámica se cociona en un rango de seiscientos a ochocientos grados celsius, se ha considerado un excedente para no negarle la posibilidad de que a futuro desarrollen otro tipo de producto en la obtención de la cerámica, que requiera mayor temperatura que la actual), tiempo de cocción tres horas y el combustible a emplear es gas licuado de petróleo (.debido a que existe mayor acceso a este combustible en el lugar del proyecto).

**TERCERO:** Una vez realizadas las pruebas se pudo obtener la temperatura deseada de novecientos grados celsius, en un tiempo de tres horas. La temperatura del prototipo de horno a gas se distribuye de forma homogénea ya que el quemador fue ubicado de manera estratégica para que se aproveche al máximo la potencia de la llama, el calor que se transmite hacia las paredes externas del prototipo de horno a gas es mínimo, debido a que el diseño de las dimensiones del aislamiento de las paredes nos



permite tener una temperatura de ochenta grados celsius con lo que se evita que el operador sufra quemaduras.

**CUARTO:** Se realizó la guía de funcionamiento del prototipo de horno a gas, en donde se detalla los pasos a seguir para la operación y funcionamiento del equipo, y así evitar algún contratiempo que se pueda presentar en la operación.



## VI. RECOMENDACIONES

**PRIMERO:** Se deberá iniciar el proceso de cocción de cerámica en el prototipo de horno, cumpliendo con las normas mínimas de seguridad industrial aplicadas para este tipo de proceso. Y así seguir la siguiente metodología: Conocer los parámetros usados en cada proceso de funcionamiento, verificar que todos los elementos necesarios para realizar el proceso se encuentren disponibles y en buen estado, mantener el interior del horno y el espacio de trabajo limpio y ordenado para evitar accidentes. El horno debe ubicarse para su manipulación en lugares ventilados y secos debido a que la humedad puede producir daños en los instrumentos mecánicos, eléctricos y electrónicos. Se necesita una plataforma refractaria para poder, dar cocción a otros productos que no requieran que la llama del quemador sea aplicada directamente a la pieza, y para poder utilizar todo el espacio interior del horno.

**SEGUNDO:** Para lograr un control de temperatura más exacto, se tiene que dar un mantenimiento continuo a la termocupla ya que es el dispositivo de comunicación entre el sistema de calentamiento y el de control.

**TERCERO:** Para la operación del horno es necesario seguir una secuencia descrita en el capítulo cuarto. La cual puede constituir un manual preliminar de operación aplicable a una futura comercialización del horno.

**CUARTO:** Para mejorar el sistema de funcionamiento del horno se debe proponer la automatización del sistema de encendido y el control de temperatura, así como el uso de métodos de adquisición de datos para las medidas de las temperaturas en las diferentes partes del horno.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aisla Perú Aislamientos Térmicos y acústicos. (06 de julio de 2021). Obtenido de Manta de Fibra Cerámica: <https://aislaperu.com/producto/manta-de-fibra-ceramica/>
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2009). *Termodinámica sexta edición*. México: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica Séptima Edición*. México: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES. S.A. DE C.V.
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa*. México D.F.: McGraw Hill.
- Crespo, J. (25 de Mayo de 2011). *Materiales Refractarios*. Obtenido de scribd: <http://es.scribd.com/doc/56233329/Materiales-refractarios>
- Cuesta García, Y. E. (2018). *Guía técnica para el diseño de una red de gas natural para uso industrial, aplicando la norma técnica Colombiana*. Bucaramanga - Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Galán, E., & Aparicio, P. (2006). *Materias primas para la industria cerámica*. Universidad de Sevilla, 18.
- García Mena, J. (2011). *Diseño de Quemadores*. La Paz Bolivia: Infocal.
- Lauro Gamarra, A. G. (10 de enero de 2011). Obtenido de física y termodinámica: <https://fisicaidued.blogspot.com/search?q=Cantidad+de+calor>
- López Enrique, W. E. (2016). *Diseño de concreto refractario utilizando residuos de ladrillos de barro cocido*. Guatemala.
- Mawhinney, T. (1976). *Hornos Industriales. 2da. ed.* México: Urmo.



Mazón Fierro, G. J. (2009). *Rehabilitación de un horno a gas para cerámica*. Riobamba-Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

National Instrumens. (27 de junio de 2012). Obtenido de National Instrumens:  
<http://www.ni.com/white-paper/10635/es/>

NTP. (2006). *Gas Natural Seco. Sistema de tuberías para instalaciones internas residenciales y comerciales*. Lima - Perú.

OSINERMIMN. (2011). *Gas natural y su diferencia con el GLP*. Lima: Teps Group.

Sánchez Molina, J., & Díaz García, J. I. (2011). *Introducción a los hornos utilizados en la industria cerámica tradicional*. Bucaramanga - Colombia: Universidad Francisco De Paula Santander.

Sánchez Sánchez , V. (2013). *Proyecto para la construcción de un horno cerámico de combustión mixta: gas propano y combustibles vegetales*. Valencia.

SCHEMIN PERU S.A. (05 de 11 de 2021).

[https://www.scheminperu.com//producto/ladrillo-refractario-1.1/4/uso-domestico-\(decorativo\)/ladrillos-refractarios](https://www.scheminperu.com//producto/ladrillo-refractario-1.1/4/uso-domestico-(decorativo)/ladrillos-refractarios).

Tei. (15 de julio de 2021). Obtenido de <http://teii.com.mx/cable-termopar-k.html>

Villafañe, E. (2005). Obtenido de

[http://www.facultad.efn.uncor.edu/webs/departamentos/electrotecnia/cat/eye\\_archivos/apuntes/a\\_practico/Cap%206%20Pco.pdf](http://www.facultad.efn.uncor.edu/webs/departamentos/electrotecnia/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/Cap%206%20Pco.pdf)



## ANEXOS

### ANEXO A

TABLA: Parámetros térmicos de algunos materiales

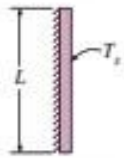
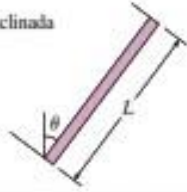
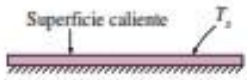
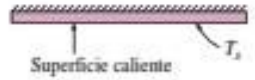



Material	Densidad	Calor específico	Conductividad	Efusividad
	kg/m <sup>3</sup>	J/(kg·K)	W/m·K	(W s <sup>1/2</sup> )/(cm <sup>2</sup> K)
Acero (Me6)	7.850	460	47-58	1,30-1,45
Aluminio (Me2)	2.700	909	209-232	2,26-2,39
Cerámica gres (Ce)	2.300	836	0,8-1,3	0,124-0,158
Cerámica porcelánica (Ce)	2.350	921	0,81	0,1324
Linóleo (F1)	535.000	1.4	0,081	0,055
Madera de haya (M2)	800.000	1.34	0,143	0,0392
Madera de roble	850.000	2.386	0,209	0,0651
Vidrio (V1)	2.700	833	0,81	0,1350
Yeso (R1)	1.800	837	0,81	0,1104
Mármol (P1)	2.400	879	2,09	0,2099
<b>Cerámica porcelánica (Ce)</b>	<b>2.350</b>	<b>921</b>	<b>0,81</b>	<b>0,1324</b>

Fuente: (<https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/5803/6693>)



## ANEXO B

TABLA: Correlaciones empíricas del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre superficies

TABLA 9-1			
Correlaciones empíricas del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre superficies			
Configuración geométrica	Longitud característica $L_c$	Intervalo de Ra	Nu
Placa vertical 	$L$	$10^4 - 10^9$ $10^{10} - 10^{13}$ Todo el intervalo	$Nu = 0.59Ra^{1/4}$ (9-19) $Nu = 0.1Ra^{1/3}$ (9-20) $Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387Ra^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{3/4}]^{1/4}} \right\}^2$ (9-21) (compleja pero más exacta)
Placa inclinada 	$L$		Utilícen las ecuaciones de la placa vertical para la superficie superior de una placa fría y la superficie inferior de una placa caliente  Reemplácese $g$ por $g \cos \theta$ para $0 < \theta < 60^\circ$
Placa horizontal (Área superficial $A$ y perímetro $p$ ) a) Superficie superior de una placa caliente (o superficie inferior de una placa fría)  b) Superficie inferior de una placa caliente (o superficie superior de una placa fría) 	$A_p/D$	$10^4 - 10^7$ $10^7 - 10^{11}$  $10^5 - 10^{11}$	$Nu = 0.54Ra^{1/4}$ (9-22) $Nu = 0.15Ra^{1/3}$ (9-23)  $Nu = 0.27Ra^{1/4}$ (9-24)
Cilindro vertical 	$L$		Un cilindro vertical puede tratarse como una placa vertical cuando  $D \geq \frac{35L}{Gr_L^{1/4}}$
Cilindro horizontal 	$D$	$Ra_D \leq 10^{12}$	$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.559/Pr)^{3/4}]^{1/4}} \right\}^2$ (9-25)
Esfera 	$D$	$Ra_D \leq 10^{11}$ $(Pr \geq 0.7)$	$Nu = 2 + \frac{0.589Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.469/Pr)^{3/4}]^{1/4}}$ (9-26)

Fuete: ÇENGEL, Yunus A. y Ghajar J. Afshin, “transferencia de calor y masa”, 4ª

edición, McGraw-Hill, 2011. Tabla 9-1



## ANEXO C

TABLA: Propiedades del GLP

		Propano	GLP	Butano
<b>COMPOSICION (%Vol.)</b>				
Propanos	%	100.00	60.00	0.00
Butanos	%	0.00	40.00	100.00
<b>PROPIEDADES FISICO/QUIMICAS</b>				
Presión de Vapor a 37.8 °C	psig	208	160	70.00
Presión de Vapor a 0.0 °C	psig	70.00	48	15
Punto de Ebullición @ 1 Atm	°C	-42.1	-25.5	-0.5
<b>Líquido:</b>				
Gravedad Especifica @ 60/60°F (Agua=1)	---	0.5083	0.5389	0.5847
Densidad @ 15 °C	kg/gal	1.922	2.038	2.211
<b>Vapor:</b>				
Densidad Relativa (Aire = 1)	---	1.5225	1.7162	2.0068
<b>INFLAMABILIDAD</b>				
Límite Inferior (LEL), % Vol. Aire	%	2.00	1.80	1.50
Límite Superior (UEL), % Vol. Aire	%	9.50	9.30	9.00
<b>COMBUSTION</b>				
Volumen Aire/Gas para combustión (Ideal)		23.86	26.72	31.02
Poder Calorifico	BTU / kg	47,375	47,063	46,596
Poder Calorifico (Vapor @ 15°C)	BTU / m3	88,353	98,940	114,544
Poder Calorifico (Líquido @ 60°F)	BTU / gal	90,823	95,657	102,909

Fuente: (Osinermin)

## ANEXO D

TABLA: Propiedades del aire a 1 atm de presión

**TABLA A-15**

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

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

Nota: Para los gases ideales, las propiedades  $c_p$ ,  $k$ ,  $\mu$  y Pr son independientes de la presión. Las propiedades  $\rho$ ,  $\nu$  y  $\alpha$  a una presión  $P$  (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de  $\rho$ ,  $\nu$  y  $\alpha$  a la temperatura dada, por  $P$  y al dividir  $\nu$  y  $\alpha$  entre  $P$ .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1984, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

Fuete: ÇENGEL, Yunus A. y John M. CIMBALA, “Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones”, 4ª edición, McGraw-Hill, 2011. Tabla A-15.



## ANEXO E

TABLA: De conductividad térmica de algunos materiales

TABLA 3-2-1 TABLA DE CONDUCTIVIDADES TERMICAS		
MATERIALES	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	CONDUCTIVIDAD TERMICA k [=] J/s.m.gC
<b>1-MATERIALES AISLANTES</b>		
ASBESTO PULVERIZADO	130	0.04600
CORCHO, PLACAS	145	0.04200
FIBRA DE VIDRIO	80	0.03500
FIBRA DE MADERA	600	0.11000
HULESPUMA	20	0.03600
LANA MINERAL, PLACA RIGIDA	180	0.04200
PERLITA	65	0.04200
POLIESTIRENO, PLACA	15	0.03700
POLIURETANO, ESPUMA	30	0.02600
POLIURETANO, PLACA RIGIDA	30	0.02000
VERMICULITA	100	0.06500
<b>2-MATERIALES PARA CONSTRUCCION</b>		
ASBESTO-CEMENTO, PLACA	1360	0.25000
ASFALTO	1600	0.43000
CARTON ASFALTICO	1100	0.14000
CLORURO DE POLIVINILO EXP.	25	0.04000
CONCRETO	2300	1.80000
ENCALADO	1800	0.81000
LADRILLO AISLANTE		0.14644
LADRILLO REFRACTARIO		1.04600
LADRILLO ROJO		0.62760
MORTERO CEMENTO-ARENA	2000	0.63000
MORTERO CON VERMICULITA	500	0.18000
MORTERO CON ARCILLA EXP.	750	0.25000
TABIQUE	2200	1.30000
TABIQUE	1800	0.96000
TABIQUE	1500	0.65000
TABLARROCA (YESO-CARTON)	950	0.16000
VERMICULITA, APLANADO	640	0.20000
VIDRIO SENCILLO	2200	0.93000
VIDRIO SENCILLO	2700	1.16000
YESO, APLANADO	1280	0.46000
<b>3-GASES</b>		
AIRE		0.02400
ARGON		0.01632
HELIO		0.14226
HIDROGENO		0.14000
OXIGENO		0.02300
<b>4-MADERA</b>		
MADERA BLANDA	610	0.13000
MADERA DURA	700	0.15000
TRIPLAY	530	0.14000
VIRUTA PENSADA	400	0.16000
<b>5-METALES</b>		
ACERO	7830	58.00000
ACERO INOXIDABLE	7800	46.50000
ALUMINIO	2675	220.00000
BRONCE	1000	64.00000
COBRE	8938	350.00000
HIERRO GALVANIZADO	1500	46.50000
LATON		108.78400
MERCURIO		8.36800
PLATA		407.00000
PLOMO		34.00000
ZINC	6860	110.00000

Fuete: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/7609/Capitulo3>.



## ANEXO F

TABLA: Masa molar, constante de gas y propiedades del punto crítico

TABLAS DE PROPIEDADES, FIGURAS Y DIAGRAMAS (UNIDADES SI)

TABLA A-1

Masa molar, constante de gas y propiedades del punto crítico

Sustancia	Fórmula	Masa molar, <i>M</i> kg/kmol	Constante de gas, <i>R</i> kJ/kg · K*	Propiedades del punto crítico		
				Temperatura, K	Presión, MPa	Volumen, m <sup>3</sup> /kmol
Agua	H <sub>2</sub> O	18.015	0.4615	647.1	22.06	0.0560
Aire	—	28.97	0.2870	132.5	3.77	0.0883
Alcohol etílico	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	46.07	0.1805	516	6.38	0.1673
Alcohol metílico	CH <sub>3</sub> OH	32.042	0.2595	513.2	7.95	0.1180
Amoniaco	NH <sub>3</sub>	17.03	0.4882	405.5	11.28	0.0724
Argón	Ar	39.948	0.2081	151	4.86	0.0749
Benceno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78.115	0.1064	562	4.92	0.2603
Bromo	Br <sub>2</sub>	159.808	0.0520	584	10.34	0.1355
<i>n</i> -Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.124	0.1430	425.2	3.80	0.2547
Cloro	Cl <sub>2</sub>	70.906	0.1173	417	7.71	0.1242
Cloroforno	CHCl <sub>3</sub>	119.38	0.06964	536.6	5.47	0.2403
Cloruro metílico	CH <sub>3</sub> Cl	50.488	0.1647	416.3	6.68	0.1430
Criptón	Kr	83.80	0.09921	209.4	5.50	0.0924
Diclorodifluorometano (R-12)	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	120.91	0.06876	384.7	4.01	0.2179
Diclorofluorometano (R-21)	CHCl <sub>2</sub> F	102.92	0.08078	451.7	5.17	0.1973
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	44.01	0.1889	304.2	7.39	0.0943
Dióxido de sulfuro	SO <sub>2</sub>	64.063	0.1298	430.7	7.88	0.1217
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.070	0.2765	305.5	4.48	0.1480
Etileno	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.054	0.2964	282.4	5.12	0.1242
Helio	He	4.003	2.0769	5.3	0.23	0.0578
<i>n</i> -Hexano	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.179	0.09647	507.9	3.03	0.3677
Hidrógeno (normal)	H <sub>2</sub>	2.016	4.1240	33.3	1.30	0.0649
Metano	CH <sub>4</sub>	16.043	0.5182	191.1	4.64	0.0993
Monóxido de carbono	CO	28.011	0.2968	133	3.50	0.0930
Neón	Ne	20.183	0.4119	44.5	2.73	0.0417
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	28.013	0.2968	126.2	3.39	0.0899
Óxido nitroso	N <sub>2</sub> O	44.013	0.1889	309.7	7.27	0.0961
Oxígeno	O <sub>2</sub>	31.999	0.2598	154.8	5.08	0.0780
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44.097	0.1885	370	4.26	0.1998
Propileno	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42.081	0.1976	365	4.62	0.1810
Tetracloruro de carbono	CCl <sub>4</sub>	153.82	0.05405	556.4	4.56	0.2759
Tetrafluoroetano (R-134a)	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F	102.03	0.08149	374.2	4.059	0.1993
Triclorofluorometano (R-11)	CCl <sub>3</sub> F	137.37	0.06052	471.2	4.38	0.2478
Xenón	Xe	131.30	0.06332	289.8	5.88	0.1186

\* La unidad en kJ/kg · K es equivalente a kPa · m<sup>3</sup>/kg · K. La constante de gas se calcula de  $R = R_u / M$ , donde  $R_u = 8.31447$  kJ/kmol · K y  $M$  es la masa molar.

Fuente: K. A. Kobe y R. E. Lynn, Jr., *Chemical Review* 52 (1953), pp. 117–236; y ASHRAE, *Handbook of Fundamentals* (Atlanta, GA: Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento de Aire, Inc., 1993), pp. 16.4 y 36.1.

Fuete: ÇENGEL, Yunus A., Michael A. Boles y Mehmet Kanoglu “Termodinámica”, 9<sup>a</sup> edición, McGraw-Hill, 2019. Tabla A-1.

## ANEXO G

TABLA: Agua saturada

Tabla C.4 Propiedades de diversos gases ideales a 25 °C, 100 kPa* (SI)							
Gas	Fórmula química	Masa molecular	R (kJ/kg-K)	P (kg/m <sup>3</sup> )	C <sub>p0</sub> (kJ/kg-K)	C <sub>v0</sub> (kJ/kg-K)	K = C <sub>p</sub> /C <sub>v</sub>
Vapor	H <sub>2</sub> O	18,015	0,4615	0,0231	1,872	1,410	1,327
Acetileno	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26,038	0,3193	1,05	1,699	1,380	1,231
Aire	—	28,97	0,287	1,169	1,004	0,717	1,400
Amoniaco	NH <sub>3</sub>	17,031	0,4882	0,694	2,130	1,642	1,297
Argón	Ar	39,948	0,2081	1,613	0,520	0,312	1,667
Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,124	0,1430	2,407	1,716	1,573	1,091
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	44,01	0,1889	1,775	0,842	0,653	1,289
Monóxido de carbono	CO	28,01	0,2968	1,13	1,041	0,744	1,399
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30,07	0,2765	1,222	1,766	1,490	1,186
Etanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	46,069	0,1805	1,883	1,427	1,246	1,145
Etileno	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	29,054	0,2964	1,138	1,548	1,252	1,237
Helio	He	4,003	2,0771	0,1615	5,193	3,116	1,667
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	2,016	4,1243	0,0813	14,209	10,085	1,409
Metano	CH <sub>4</sub>	16,043	0,5183	0,648	2,254	1,736	1,299
Metanol	CH <sub>3</sub> OH	32,042	0,2595	1,31	1,405	1,146	1,227
Neón	Ne	20,183	0,4120	0,814	1,03	0,618	1,667

\* O presión de saturación si es menor a 100 kPa.

Tabla C.4 (continuación) Propiedades de diversos gases ideales a 25 °C, 100 kPa* (SI)							
Gas	Fórmula química	Masa molecular	R (kJ/kg-K)	P (kg/m <sup>3</sup> )	C <sub>p0</sub> (kJ/kg-K)	C <sub>v0</sub> (kJ/kg-K)	K = C <sub>p</sub> /C <sub>v</sub>
Óxido nítrico	NO	30,006	0,2771	1,21	0,993	0,716	1,387
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	28,013	0,2968	1,13	1,042	0,745	1,400
Óxido nitroso	N <sub>2</sub> O	44,013	0,1889	1,775	0,879	0,690	1,274
n-Octano	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114,23	0,07279	0,092	1,711	1,638	1,044
Oxígeno	O <sub>2</sub>	31,999	0,2598	1,292	0,922	0,662	1,393
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44,094	0,1886	1,808	1,679	1,490	1,126
R-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	120,914	0,06876	4,98	0,616	0,547	1,126
R-22	CHClF <sub>2</sub>	86,469	0,09616	3,54	0,658	0,562	1,171
R-32	CF <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	52,024	0,1598	2,125	0,822	0,662	1,242
R-125	CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	120,022	0,06927	4,918	0,791	0,721	1,097
R-134a	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F	102,03	0,08149	4,20	0,852	0,771	1,106
Dióxido de azufre	SO <sub>2</sub>	64,059	0,1298	2,618	0,624	0,494	1,263
Trióxido de azufre	SO <sub>3</sub>	80,053	0,10386	3,272	0,635	0,531	1,196

\* O presión de saturación si es menor a 100 kPa.

Fuete: Juan Gabriel Barbosa Saldaña, Claudia del Carmen Gutiérrez Torres y José Alfredo Jiménez Bernal “Termodinámica para ingenieros” primera edición, grupo editorial patria s.a.de c.v. 2015.

## ANEXO H

### Hoja técnica ángulos estructurales (Aceros Arequipa)

## PERFILES

### Ángulos Estructurales



#### NORMAS TÉCNICAS

- Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36M y NTP 350.400
- Tolerancias Dimensionales:
- Sistema Inglés: ASTM A6 / A6M y NTP 241.105.
- Sistema Métrico: ISO 657 / V y NTP 241.105.



#### USOS

En la fabricación de estructuras de acero para plantas industriales, almacenes, techados de grandes luces, industrial naval, carrocerías, torres de transmisión. También se utiliza para la fabricación de puertas, ventanas, rejas, etc.



#### PRESENTACIÓN

Se comercializa en longitudes de 6 metros. Se suministra en paquetes de 1 t.



#### PROPIEDADES MECÁNICAS

Límite de Fluencia mínimo = 250 MPa (2,530 kg/cm<sup>2</sup>) mínimo  
Resistencia a la Tracción = 400 - 550 MPa (4,080 - 5,620 kg/cm<sup>2</sup>)\*  
Alargamiento en 200 mm

Espesores:  
2.0 mm, 2.5 mm, 3.0 mm, 1/8", 3/32",  
4.5 mm y 3/16" = 15.0% mínimo  
6.0 mm = 17.0% mínimo  
1/4" = 17.5% mínimo  
5/16", 3/8" y 1/2" = 20.0% mínimo  
Soldabilidad = Buena

\* Para los espesores de 2.0 mm a 2.5 mm, la resistencia a la tracción mínima es de 340 MPa.



#### DIMENSIONES

Sistema Métrico (mm)	Sistema Inglés (pulgadas)
20 x 20 x 2.0	2 x 2 x 5/16
20 x 20 x 2.5	2 1/2 x 2 1/2 x 5/16
20 x 20 x 3.0	3 x 3 x 3/16
25 x 25 x 2.0	5 x 5 x 3/8
25 x 25 x 2.5	5 x 5 x 1/2
25 x 25 x 3.0	6 x 6 x 3/8
25 x 25 x 4.5	6 x 6 x 1/2
30 x 30 x 2.0	
30 x 30 x 2.5	
30 x 30 x 3.0	
30 x 30 x 4.5	
38 x 38 x 2.0	

### Ángulos Estructurales de Calidad Dual



#### DIMENSIONES

##### Sistema Inglés (pulgadas)

1 1/2 x 1 1/2 x 3/32
1 1/2 x 1 1/2 x 1/8
1 1/2 x 1 1/2 x 3/16
1 1/2 x 1 1/2 x 1/4
2 x 2 x 1/8
2 x 2 x 3/16
2 x 2 x 1/4
2 x 2 x 3/8
2 1/2 x 2 1/2 x 3/16
2 1/2 x 2 1/2 x 1/4
2 1/2 x 2 1/2 x 3/8
3 x 3 x 1/4
3 x 3 x 5/16
3 x 3 x 3/8
3 x 3 x 1/2
4 x 4 x 1/4
4 x 4 x 5/16
4 x 4 x 3/8
4 x 4 x 1/2



#### NORMAS TÉCNICAS

- Composición Química y Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36M, ASTM A572/A572M, NTP 350.400 y NTP 350.408.
- Tolerancias Dimensionales: ASTM A6/A6M y NTP 241.105.



#### USOS

Para la fabricación de estructuras de acero en plantas industriales, almacenes, techados de grandes luces, industrial naval, carrocerías, torres de transmisión. También se pueden utilizar para la fabricación de puertas, ventanas, rejas, etc.



#### PRESENTACIÓN

Se comercializa en longitudes de 6 m. Se suministra en paquetes de 1 t.



#### PROPIEDADES MECÁNICAS

Límite de Fluencia mínimo = 345 MPa (3,520 kg/cm<sup>2</sup>)  
Resistencia a la Tracción = 450 - 550 MPa (4,590 - 5,620 kg/cm<sup>2</sup>)  
Alargamiento en 200 mm:  
3/32", 1/8" y 3/16" = 15.0% mínimo  
1/4" = 17.5% mínimo  
5/16", 3/8" y 1/2" = 20.0% mínimo  
Soldabilidad = Buena



## ANEXO I

### Hoja Planchas de acero LAF (Aceros Arequipa)

#### Planchas y Bobinas Laminadas en Frío

#### PRODUCTOS PLANOS

#### Planchas y Bobinas LAF



DIMENSIONES NOMINALES	
PLANCHAS LAF (LAF A 1008 TB)	BOBINAS (BLAF A 1008 TB)
0.30 x 1,200 x 2,400 mm	0.30 x 905 mm
0.40 x 905 x 2,400 mm	0.30 x 1,200 mm
0.40 x 1,200 x 2,400 mm	0.40 x 905 mm
0.45 x 1,200 x 2,400 mm	0.40 x 1,200 mm
0.50 x 1,200 x 2,400 mm	0.50 x 905 mm
0.55 x 1,200 x 2,400 mm	0.55 x 1,200 mm
0.60 x 1,200 x 2,400 mm	0.60 x 910 mm
0.70 x 1,200 x 2,400 mm	0.60 x 1,200 mm
0.75 x 1,200 x 2,400 mm	0.70 x 1,200 mm
0.80 x 1,200 x 2,400 mm	0.75 x 1,200 mm
0.85 x 1,200 x 2,400 mm	0.80 x 1,200 mm
0.90 x 1,200 x 2,400 mm	0.85 x 1,200 mm
0.95 x 1,200 x 2,400 mm	0.90 x 1,200 mm
1.00 x 1,200 x 2,400 mm	0.95 x 1,200 mm
1.15 x 1,200 x 2,400 mm	1.00 x 1,200 mm
1.20 x 1,200 x 2,400 mm	1.15 x 1,200 mm
1.45 x 1,200 x 2,400 mm	1.20 x 1,200 mm
1.50 x 1,200 x 2,400 mm	1.45 x 1,200 mm
1.90 x 1,200 x 2,400 mm	1.50 x 1,200 mm
1.95 x 1,200 x 2,400 mm	1.90 x 1,200 mm
2.00 x 1,200 x 2,400 mm	1.95 x 1,200 mm
	2.00 x 1,200 mm

#### NORMAS TÉCNICAS

ASTM A1008/A1008M Tipo B y Dimensiones según JS G3141-2011.

#### USOS

En partes expuestas donde se requiere un buen acabado superficial, como por ejemplo: muebles, tubos, paneles, carrocerías, artefactos electrodomésticos, etc.

#### PRESENTACIÓN

• ACABADO: Las planchas y bobinas laminadas en frío son aceitadas con bordes de laminación.

• EMPAQUETADO DE PLANCHAS: Se entregan paquetes de 3TM.

• BOBINAS: Se entregan con peso mínimo de 4TM aproximadamente.

#### PROPIEDADES MECÁNICAS

Límite de Fluencia mínimo = 140 - 275 MPa (1,410 - 2,810 kg/mm<sup>2</sup>) (referencial).  
Alargamiento en 50 mm = 30.0% mínimo (referencial).

#### Planchas y Bobinas Zincadas

#### NORMAS TÉCNICAS

JISG 3302 o equivalente ASTM A653 / A 653M.

#### PROPIEDADES MECÁNICAS

Calidad comercial:  
Límite de Fluencia mínimo = 205 - 380 Mpa (2,110-3,860 kg/cm<sup>2</sup>)mínimo  
Alargamiento en 50 mm = 20.0% mínimo

Revestimiento de Zinc:  
G40 = Mínimo 120 g/m<sup>2</sup> (total de ambas caras)  
G60 = Mínimo 180 g/m<sup>2</sup> (total de ambas caras)

Doblado a 180°: Diámetro de Pin = 4e.

#### USOS

En la fabricación de paneles, coberturas, carrocerías, instalaciones para la avicultura, ductos, silos, etc.

#### PRESENTACIÓN

Las planchas vienen en paquetes de 2.5 a 3 tm aproximadamente.  
Las bobinas vienen con peso mínimo de 4 tm.

DIMENSIONES NOMINALES	
PLANCHAS (PZL JIS G3302)	BOBINAS (BZLI JIS G3302)
0.30 x 914 x 1800 mm	0.30 x 914 mm
0.30 x 1200 x 2400 mm	0.30 x 1200 mm
0.40 x 914 x 1800 mm	0.40 x 914 mm
0.40 x 1200 x 2400 mm	0.40 x 1200 mm
0.45 x 1200 x 2400 mm	0.45 x 1200 mm
0.50 x 1200 x 2400 mm	0.50 x 1200 mm
0.55 x 1200 x 2400 mm	0.60 x 1200 mm
0.60 x 1200 x 2400 mm	0.75 x 1200 mm
0.75 x 1200 x 2400 mm	0.80 x 1200 mm
0.80 x 1200 x 2400 mm	0.85 x 1200 mm
0.85 x 1200 x 2400 mm	0.90 x 1200 mm
0.90 x 1200 x 2400 mm	1.15 x 1200 mm
0.95 x 1200 x 2400 mm	1.20 x 1200 mm
1.00 x 1200 x 2400 mm	1.45 x 1200 mm
1.15 x 1200 x 2400 mm	1.50 x 1200 mm
1.20 x 1200 x 2400 mm	1.90 x 1200 mm
1.45 x 1200 x 2400 mm	
1.50 x 1200 x 2400 mm	
1.90 x 1200 x 2400 mm	





## ANEXO J

### Hoja de especificaciones técnicas del ladrillo refractario

	<b>HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b> <b>LADRILLO REFRACTARIO RECTANGULAR</b> Nombre Inglés : FIRE BRICK STRAIGHT	Código:	SP-01-1a1.25
		Versión:	02
		Fecha:	01/02/2018
		Página:	1 - 1

#### LADRILLO REFRACTARIO RECTANGULAR DIVIDIDO

Clase : Silico - Aluminoso

#### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Es un producto refractario preformado, a base de óxidos naturales no metálicos de alto punto de fusión, brindándole alta performance de refractariedad y expansión térmica; que lo hace compatible para soportar acciones mecánicas presentes en la operación.

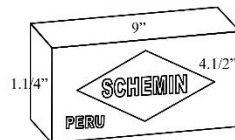
#### USOS Y APLICACIONES

Usados mundialmente en la construcción y mantenimiento de hornos de la industria metalúrgica, de alimentación como harina de pescado, conserveras, bebidas gaseosas y cerveceras, azucareras, café, etc., en industrias no metálicas como cerámica, cemento, vidrio, ladrilleras, etc., para la industria petroquímica, textil, papel, jabón, colorantes y otras aplicaciones como chimeneas, todo tipo de calderas, incineradores, etc.

#### PROPIEDADES GENERALES (Cumple con la Norma ASTM)

- QUÍMICAS
  - Oxido de Aluminio. % : 37 - 42
  - Dióxido Silicio % : 55 - 60
  - Oxido Férrico % : 1.5 - 1.8
  - Alcalis, máx. % : 2.0
- FÍSICA
  - Cono pirométrico equivalente : 28 - 30
  - Densidad absoluta : 2.0 - 2.2 gr/cm<sup>3</sup>
  - Porosidad aparente : 18 - 21 %
  - Resistencia a la compresión en frío. : 300 - 400 Kg/cm<sup>2</sup>
  - Módulo rotura a la flexión, min. : 80 Kg/cm<sup>2</sup>
  - Tolerancia dimensional : ± 1.0 %
  - Temperatura de servicio : 1,260°C - 1,450°C
  - Calor específico. Cal/gr.
    - a 100°C : 0.198
    - a 1,500.°C : 0.298

FIGURA 01  
DIVIDIDO 1.1/4"



[refractarios@scheminperu.com](mailto:refractarios@scheminperu.com)

Fuete: (<https://www.scheminperu.com>)

## ANEXO K

### Hoja de especificaciones técnicas del cemento refractario

	<b>HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	Código:	SP-01-COD.4.1
		Versión:	02
	<b>CEMENTOS SCHEMIN</b>	Fecha:	01/02/2018
		Página:	1 - 1

### CEMENTO REFRACTARIO 1000 BBQ (Para Enchape de Ladrillos Schemin)



Bolsa polietileno 5Kg.



#### **DESCRIPCION DEL PRODUCTO**

Producto elaborado bajo rigurosas pruebas y aditivos especiales que brindan alta fragua a temperatura ambiental, diseñado para soportar de 20°C a 1,000°C, usado para adherir ladrillos schemin en construcciones decorativas, industria doméstica, e industrias donde las condiciones de temperatura sea moderada.

#### **USOS**

- Instalación en paredes, pegamento para enchape de ladrillos refractarios en parrillas, chimeneas, barbiquiur, hornos de pollerías, hornos de panificación fijos y hornos rodantes, etc. y toda parte en contacto con calor que no supere los 1000°C.
- Puede emplearse en el fraguado, quedando las juntas de ladrillo color gris.
- También tiene aplicación en la industria petrolera de explotación, fabricación de piezas y/o accesorios refractarios o ceramistas.

#### **INSTALACIÓN**

- Agregue agua de 35 a 40% del peso empleado (1.75 a 2.0 Lt. por bolsa de 5kg)
- Batir hasta lograr una masa homogénea.
- **Importante:** Instalar ladrillo en seco. No mojar la pared.
- Aplicar la mezcla cubriendo toda la cara del ladrillo.
- Colocar el ladrillo presionar y nivelar, considerando de 3 a 4mm de junta entre ladrillo y superficie, y ladrillo – ladrillo, sin dejar cámaras vacías.
- Emplear crucetas para la separación entre ladrillos y obtener juntas homogéneas.
- En caso de uso en el fraguado, siga el proceso de instalación del Cemento Yellow.
- Después de 48 horas poner en servicio el horno o chimenea.

#### **TEMPERATURA**

En la siguiente tabla se detalla el grado de resistencia:

	Temp. Serv.	Temp. Máx.
Cemento Schemin 1000BBQ	1,000° C	1,260° C

#### **RENDIMIENTO**

Metros	Ladrillos	Kilos
1m <sup>2</sup>	Ladrillos Parrillero 3/4"	07
1m <sup>2</sup>	Ladrillos Dividido 1"	08
1m <sup>2</sup>	Ladrillos Dividido 1.1/4"	09

[refractarios@scheminperu.com](mailto:refractarios@scheminperu.com)

SCHEMIN PERU S.A.

RUC.20537601559

Fuete: (<https://www.scheminperu.com>)

## ANEXO L

### Plano del prototipo de horno

