



Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA EN INGENIERIA MECÁNICA

“REHABILITACIÓN DE UN HORNO A GAS PARA CERÁMICA”

TESIS DE GRADO

PREVIA LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

PRESENTADO POR:

GUIDO JAVIER MAZÓN FIERRO

Riobamba-Ecuador

2009

“Yo Guido Javier Mazón Fierro, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

.....

GUIDO JAVIER MAZÓN FIERRO

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecer a DIOS por poner en mi camino a personas que han contribuido a la realización de este proyecto de tesis, así como por todos los favores recibidos, y por iluminarme en el camino del aprendizaje.

Quiero agradecer a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en particular a la Facultad de Mecánica y a su planta de profesores por su invaluable labor formadora.

Quiero expresar mi más sincero sentimiento de gratitud con el Ing. Rodolfo Santillán, por darme la oportunidad de aprender a su lado, por sus consejos, sus palabras de aliento, como por igual al Ing. Rodrigo Díaz

Gracias a mis amigos de la Escuela Intercultural Bilingüe Fernando Daquilema de Shilpalá comunidad de Cacha por haberme brindado todas las facilidades para la rehabilitación del horno.

Gracias a mi familia por su apoyo incondicional y su ayuda en todo momento.

Guido Javier Mazón Fierro

DEDICATORIA.

A mi madre Aída Francisca por su ejemplo, apoyo, cariño y comprensión.

A mi padre, Ángel Guido por su preocupación constante y sacrificio al estar lejos del país.

A mis hermanos Mónica, Angela y David que son amigos incondicionales y respaldo en momentos difíciles.

A la familia por ser siempre fuente de motivación.

Y en especial a mi sobrino Danny Patricio por llenar de alegría mi corazón.

Guido Javier Mazón Fierro

TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.4.1 GENERAL.....	4
1.4.2 ESPECÍFICOS.....	4
2. REVISIÓN DE CONCEPTOS TEÓRICOS.....	5
2.1 ARCILLA.....	5
2.1.1 Definición.....	5
2.1.2 PROPIEDADES DE LA ARCILLA.....	6
2.1.3 CLASIFICACIÓN DE LAS ARCILLAS.....	7
2.1.3.1 Según existan en la naturaleza.....	7
2.1.3.2 Según la plasticidad.....	7
2.1.3.3 Según el color y porosidad.....	8
2.1.3.4 Según su fusibilidad.....	8
2.1.3.5 Según su modo de empleo.....	9
2.2 HORNOS.....	12
2.2.1 TIPOS DE HORNOS.....	12
2.2.1.1 Hornos de laboratorio.....	12
2.2.1.2 Hornos Kasseler.....	12
2.2.1.3 Hornos de cámara.....	13
2.2.1.4 Hornos de mufla.....	15

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
2.2.1.5 Hornos eléctricos.....	15
2.2.1.6 Horno anular.....	17
2.2.1.7 Hornos túnel.....	18
2.2.1.8 Hornos a gas.....	19
2.2.1.9 Hornos Cerámicos.....	19
2.2.2 Caldeo directo o indirecto.....	20
2.2.3 Hornos periódicos y continuos.	21
2.3 EL HOGAR.....	21
2.4 COMBUSTIBLES.....	22
2.4.1 CLASIFICACIÓN.....	23
2.4.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS COMBUSTIBLES	24
2.4.3 COMBUSTIBLES GASEOSOS.....	24
2.4.3.1 Ventajas de los combustibles gaseosos.....	25
2.4.3.2 Propiedades de los combustibles gaseosos.....	26
2.4.3.3 Gas licuado de petróleo.	28
2.4.3.4 Características.....	29
2.5 COMBUSTIÓN.....	30
2.5.1 Combustión de un combustible gaseoso.....	31
2.5.2 Características de la combustión de gases.....	32
2.5.3 Parámetros necesarios en la combustión de gases...	33
2.6 QUEMADORES.....	33
3. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL HORNO EXISTENTE.....	37
3.1 CONDICIONES DEL HORNO.....	37
3.1.1 Dimensionamiento.....	39

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
3.1.2 Sistema de conducción del gas.....	39
3.1.3 Controles de seguridad.....	40
3.1.4 Quemadores.....	41
3.1.5 Ventilador.....	42
3.1.6 Medidores de temperatura.	43
3.2 EVALUACIÓN FINAL.....	43
4. DETERMINAR LOS PARÁMETROS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO.....	44
4.1 PARÁMETROS DE INICIO.....	44
4.2 BALANCE DE ENERGÍA.....	45
4.3 AIRE TEÓRICO – COEFICIENTE DE EXCESO DE AIRE	46
4.3.1 FLUJO DE AIRE.....	49
4.4 FLUJO DE LOS PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN	50
4.5 PÉRDIDAS DE CALOR EN EL HORNO.....	51
4.5.1 Ladrillo refractario.....	51
4.5.2 Ladrillo aislante.....	52
4.5.3 PÉRDIDAS DE CALOR POR LAS PAREDES.....	54
4.5.3.1 Cálculo de las resistencias térmicas de las paredes laterales.....	56
4.5.3.2 Cálculo de las resistencias térmicas en la bóveda..	59
4.5.3.3 Cálculo de las resistencias térmicas en la parte posterior.....	61
4.5.4 CÁLCULO DEL CALOR TOTAL PERDIDO $[Q_p]$	63
4.5.5 CALCULO DEL CALOR ÚTIL PARA LA COCCIÓN. $[Q_U]$	64

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
4.5.6 CONSUMO CALORÍFICO DEL HORNO [Q].....	65
4.6 CONSUMO DE COMBUSTIBLE.....	66
4.7 CÁLCULO DEL FLUJO DE AIRE Y FLUJO DE LOS PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN.....	67
5. PLANIFICACIÓN DE LA REHABILITACIÓN Y MONTAJE DEL HORNO	
5.1 PROGRAMACIÓN.....	70
5.1.1 CRONOGRAMA DE REHABILITACIÓN.	70
5.2 DISEÑO DE LOS QUEMADORES.....	71
5.3 SELECCIÓN DE ACCESORIOS.....	71
5.3.1 Selección del ventilador.....	71
5.3.2 Selección de la termocupla e indicador de temperatura	73
5.3.3 Selección de la centralina.....	74
5.3.4 Selección de válvula de regulación de presión.....	75
5.3.5 Selección de Tubería.....	76
5.3.6 Ductos de aire.....	77
5.3.7 Selección de válvulas de paso.....	77
5.4 EXPERIMENTACIÓN DEL EQUIPO.....	78
5.4.1 PRUEBAS DEL EQUIPO.....	78
5.4.1.1 Curva tiempo-temperatura.....	79
5.4.1.2 Curva tiempo-consumo.....	81
5.4.1.3 Interpretación de resultados.....	83
5.4.2 GUÍA DE FUNCIONAMIENTO.....	84
5.4.3 MANTENIMIENTO DEL EQUIPO.....	86
5.4.3.1 Mantenimiento preventivo corto plazo.....	87

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
5.4.3.2 Mantenimiento preventivo largo plazo.....	87
6. ANÁLISIS ECONÓMICO.	89
6.1 PRESUPUESTO.	89
6.1.1 Estructura	89
6.1.2 Quemadores.....	91
6.1.3 Cubierta.....	92
6.1.4 Ductos.....	93
6.1.5 Sistema de Conducción.....	95
6.1.6 Instrumentos de medida	96
6.1.7 Instalación eléctrica.....	97
6.1.8 Acabados.....	99
6.2 COSTO TOTAL DEL EQUIPO.....	100
7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	101
7.1 CONCLUSIONES.....	101
7.2 RECOMENDACIONES.....	102
BIBLIOGRAFÍA.	
ANEXOS.	
PLANOS.	

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>		<u>PÁGINA</u>
I	TEMPERATURA DE COCCIÓN LAS ARCILLAS SEGÚN EL COLOR Y POROSIDAD.....	8
II	CLASIFICACIÓN DE HORNOS CERÁMICOS.....	20
III	CLASIFICACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES.....	23
IV	DENSIDAD DE PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN....	68

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>		<u>PÁGINA</u>
1	Horno Kasseler.....	13
2	Horno de cámara de dos pisos.....	14
3 y 4	Hornos de cámara de tres pisos.....	14
5 y 6	Hornos Mufla.....	15
7	Horno anular.....	17
8	Esquema del proceso de combustión.....	30
9	Vista frontal del horno.....	37
10	Vista interior del horno.....	37
11	Interior del horno.....	38
12	Bóveda del horno.....	38
13	Válvula de entrada del combustible.....	40
14	Ductos de aire y combustible que van al quemador	40
15	Indicador y controlador de presión.....	40
16	Quemadores del lado izquierdo del horno.....	41
17	Quemadores del lado derecho del horno.....	41
18	Vista lateral del quemador.....	41
19	Ventilador ubicado en la parte superior.....	42
20	Balance de energía del equipo.....	45
21	Dimensiones del ladrillo refractario.....	51
22	Dimensiones del ladrillo aislante.....	53
23	Resistencias térmicas.....	56

<u>FIGURA</u>		<u>PÁGINA</u>
24	Pared lateral del horno.....	57
25	Vista frontal del horno.....	59
26	Bóveda del horno.....	59
27	Parte posterior.....	61
28	Curva tiempo-temperatura a 3psi.....	79
29	Curva tiempo-temperatura a 8psi.....	80
30	Curva tiempo-consumo a 3psi.....	81
31	Curva tiempo-consumo a 8psi.....	82

SIMBOLOGÍA.

atm.	Atmósfera.
Btu.	Unidad térmica británica.
°C	Grados Celsius.
ft ²	Pies cuadrados.
ft ³	Pies cúbicos.
m	Metros.
mm.	Milímetros.
m ²	Metros cuadrados.
m ³	Metros cúbicos.
mm ²	Milímetros cuadrados.
in	Pulgadas.
g	Gramo.
Kg.	Kilogramos.
Kcal.	Kilocalorías.
Cal	Calorías.
lb.	Libra.
°F	Grados Fahrenheit.
rpm.	Revoluciones por minuto.
HP	Caballos de poder.
/	Litros.
J	Julio.
W	Watt.

$^{\circ}\text{K}$	Grados Kelvin de temperatura.
S	Segundos.
h	Horas.
CO	Monóxido de carbono.
C_4H_{10}	Butano.
C_3H_8	Propano.
H_2	Molécula Hidrogeno.
CO_2	Bióxido de carbono.
H_2O	Agua.
CH_4	Metano.
O_2	Molécula de Oxígeno.
N_2	Molécula Nitrógeno gaseoso.
A	Área.
a	Factor característico de la velocidad de la llama.
C_a	Cantidad de aire.
C_p	Cantidad de gases de escape.
C_P	Calor específico a presión constante.
C_V	Calor específico volumen constante.
e	Espesor.
Fig.	Figura.
GLP	Gas licuado de petróleo.

H_{ci}	Poder calórico inferior del combustible.
K	Conductividad térmica.
M_{aire}	Masa molar del aire.
M_{comb}	Masa molar del combustible.
\dot{m}_a	Gasto de aire.
\dot{m}_c	Gasto de combustible.
\dot{m}_p	Gasto de los productos de la combustión.
m	Peso del material.
\dot{m}	Flujo de masa.
n_{aire}	Número de moles de aire.
n_{comb}	Número de moles de combustible.
n_T	Número total de moles.
PCS	Poder calórico superior.
PCI	Poder calórico inferior
Q	Consumo calórico del horno.
Q_{co}	Calor liberado por el combustible.
Q_p	Calor total perdido en el horno.
Q_U	Calor necesario para la cocción.
q_k	Flujo de calor por conducción
$r_{a/c}$	Relación aire combustible.
R	Resistencia térmica.
$\sum R_T$	Sumatoria de las resistencias térmicas.
T_c	Temperatura de la pared caliente.
T_f	Temperatura de la pared fría.
T_i	Temperatura en el interior del horno.

T_o	Temperatura en el exterior del horno.
t	Tiempo.
\dot{V}_a	Flujo de aire.
v_a	Volumen específico de aire.
v	Volumen específico.
\dot{V}_p	Flujo de los productos de la combustión.
\dot{V}_c	Flujo de combustible.
W	Índice de Wabbe.
y_i	Análisis volumétrico.
δ_p	Densidad de los productos de la combustión.
δ_a	Densidad del aire.
δ_c	Densidad del combustible.

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1:** Programación general de la rehabilitación del horno a gas para cerámica.
- ANEXO 2:** Reconstrucción y montaje del horno a gas para cerámica.
- ANEXO 3:** Catálogo del ventilador.
- ANEXO 4:** Catálogo de la termocupla
- ANEXO 5:** Indicador de temperatura.
- ANEXO 6:** Centralina.
- ANEXO 7:** Regulador de presión.
- ANEXO 8:** Tubería flexible
- ANEXO 9:** Tubería Rígida
- ANEXO 10:** Ducto de aire.
- ANEXO 11:** Válvula de paso
- ANEXO 12:** Mortero Refractario.
- ANEXO 13:** Características generales del horno a gas para cerámica.
- ANEXO 14:** Fotografías de la rehabilitación del horno a gas para cerámica.

RESUMEN

Se ha rehabilitado un horno a gas para cerámica, en la escuela Fernando Daquilema comunidad de Shilpalá parroquia Cacha provincia de Chimborazo, con la finalidad de que este equipo entre en funcionamiento, y el área de alfarería de esta escuela, tenga producción de piezas de arcilla, para esta rehabilitación se ha tenido que rediseñar los quemadores existentes, además el ladrillo refractario fue sometido a un tratamiento para su reutilización, el sistema de conducción del combustible fue totalmente cambiado, así como controladores de presión e indicadores de temperatura, obteniendo con esto el poder llegar a manejar un rango de temperatura desde 0° hasta 1000°C , y una pérdida de calor de 6.7081 KW. utilizando como combustible dos cilindros de gas licuado de petróleo (GLP) de uso doméstico.

Una vez que se pudo hacer la instalación del equipo en la comunidad indígena se realizaron las pruebas experimentales, en donde se obtuvo las curvas tiempo-temperatura y tiempo-consumo, en donde se varió la presión de trabajo para observar su funcionamiento.

Se sugiere seguir la guía de operación para poder evitar algún contratiempo, así como revisar el manual de mantenimiento descrito.

SUMMARY

A gas oven for ceramics was rehabilitated for the production of clay products in the pottery area of the “Fernando Daquilema” School in the Shilpalá community Cacha District, Province of Chimborazo. The rehabilitation involved redesigning the existing burners, treating the firebricks, replacing the conduction system for combustibles, of pressure controllers and the temperature indicators, thereby allowing for a temperature range of 0° to 1000°C, and heat loss of 6.7081 KW. When using two cylinders of GLP domestic petroleum.

Once the oven had been installed in the indigenous community it was tested. The operation of the oven was observed by obtaining time-temperature and time-consumption curves for variations in working pressure.

To avoid problems it is recommended that the operational instructions are followed closely, and that the maintenance manual is reviewed.

CAPÍTULO I.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.

1.1 INTRODUCCIÓN.

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

Dentro de la industria cerámica, podemos verificar que en nuestro país, el sector del austro, específicamente en la provincia del Azuay, es la que cuenta con mayor desarrollo en este ámbito, después de algún tiempo de inversión para conseguirlo.

En el caso de la provincia de Chimborazo existe la empresa Ecuatoriana de Cerámica S.A., que tiene su producción industrial en el campo de la cerámica, y cerca de la parroquia de Yaruquíes en la comunidad de Cacha, se encuentra ubicada la Escuela artesanal intercultural bilingüe Fernando Daquilema, la cual cuenta con una área de alfarería y con yacimientos importantes de arcilla, esta área se encuentra fuera de servicio por múltiples motivos siendo uno de ellos el deterioro y la avería del horno a gas para cerámica.

Es por esto que se plantea su rehabilitación y el mejoramiento de su rendimiento para que pueda ser utilizado y posteriormente el área de alfarería de dicha escuela entre en funcionamiento.

1.2 ANTECEDENTES.

Se puede verificar que existen yacimientos de arcilla en buena cantidad en el sector de la parroquia de Yaruquíes, que es la materia prima que va hacer trabajada. Una vez que la arcilla es modelada, luego de pasar por una serie de procesos es transformada en un producto terminado, es decir que hayan cambiado sus propiedades de dureza, fragilidad y resistencia.

Para que todo esto ocurra es necesario que sufran una elevación de temperatura determinada, para lo cual no hay que olvidar que para determinado producto final, hay un grado de temperatura exacto que hay que llegar, sin embargo no hay que pasar por alto que es importante la velocidad de enfriamiento, para la obtención del producto final.

Es por eso que las exigencias para obtener un producto de alta calidad y menor costo, va desarrollándose desde la selección de la materia prima, luego en el proceso de modelado, después un secado y reposo en el ambiente para posteriormente llevarlo a la cocción dentro del horno, que es aquí donde hay mas riesgo que el producto se dañe.

Es por eso que una parte importante de todo este proceso es la cocción del producto, que va íntimamente relacionado con el diseño del horno eficiente y con un alto rendimiento.

1.3 JUSTIFICACIÓN.

En la escuela fiscal artesanal Fernando Daquilema, el proceso de cocción de los productos cerámicos era de pequeña escala y de manera empírica, se dice empírica, por la falta de soporte técnico a nivel de proceso y de equipamiento, esto da como consecuencia bajos rendimientos en la producción.

Es por eso importante aportar con la rehabilitación del horno con un rediseño adecuado así como la optimización del consumo energético, sin olvidar condiciones de seguridad, que permitan tener un alto rendimiento del equipo.

Es claro saber que un horno para cerámica, fuera del país tiene un precio alto y si ha 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 ha resolver este inconveniente y aportar con equipos que sean competitivos en el mercado.

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 presenta dos ventajas, la primera que no contamina en alto grado el ambiente y la otra que el costo por cada encendida del horno en su carga máxima,

es mas económico si lo comparamos con otro tipo de combustible, además la falta de energía eléctrica en el sector hace utilizar este tipo de combustible. En este sentido la escuela será beneficiada con la rehabilitación del horno puesto que se genera un espacio para los niños y jóvenes de la comunidad donde ellos pueden emplear su tiempo y disminuir en cierto grado el índice de migración del campo a la ciudad, así como el índice de desocupación.

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 GENERAL.

- Rehabilitar un horno a gas para cerámica de la Escuela Fernando Daquilema.

1.4.2 ESPECÍFICOS.

- Justificar la necesidad de la rehabilitación de un horno a gas para cerámica de la escuela Fernando Daquilema.
- Revisar conceptos teóricos sobre tipos de hornos para cerámica y la materia prima utilizada.
- Analizar y evaluar el horno existente y establecer su diagnóstico.
- Determinar los parámetros técnicos para el diseño.
- Planificar el montaje de la rehabilitación del horno y evaluar la eficiencia del mismo.
- Determinar los costos de inversión del proyecto.
- Aportar con conclusiones y recomendaciones del desarrollo de la tesis.

CAPÍTULO II.

2. REVISIÓN DE CONCEPTOS TEÓRICOS.

2.1 ARCILLA.

2.1.1 Definición.

La arcilla es una sustancia mineral terrosa compuesta en gran parte de hidrosilicato de alúmina que se hace plástica cuando se humedece y dura y semejante a la roca cuando se cuece, la cual se forma por la disgregación y descomposición de las rocas feldespáticas durante millones de años para dar lugar a partículas pequeñísimas.

La cerámica es el resultado del conjunto de productos basados en la arcilla ó el caolín, transformados por la acción del fuego, la masa o cuerpo formado por una o más arcillas debe contener tres ingredientes principales: los elementos plásticos, los magros o desengrasantes y los fundentes. La proporción y calidad de estos tres ingredientes determinará el producto cerámico. Los elementos plásticos son las arcillas y caolines que forman la base de las pastas cerámicas debido a su plasticidad, los elementos magros o desengrasantes contienen sílice, arena, trozos molidos de terracota (chamota) y arcillas silíceas, son para reducir su excesiva plasticidad, para aumentar la porosidad así como facilitar el secado del objeto, los elementos fundentes como los feldespatos, las micas, la cal, los fosfatos, los vidrios pulverizados y las arcillas fundentes, ferrosas y calcáreas. [1]

2.1.2 PROPIEDADES DE LA ARCILLA.

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. [1]

2.1.3 CLASIFICACIÓN DE LAS ARCILLAS.

2.1.3.1 Según existan en la naturaleza.

Podemos hablar de dos tipos de arcillas, las primarias y las secundarias. Arcillas primarias o residuales, son las formadas en el lugar de sus rocas madres y no han sido por tanto transportadas por el agua, el viento o el glaciar. Estas tienden a ser de grano grueso y relativamente no plásticas. Cuando han sido limpiadas de fragmentos de roca, son relativamente puras, blancas y libres de contaminación con materiales arcillosos. La mayoría de los caolines son arcillas primarias.

Arcillas secundarias estas han sido desplazadas del lugar de las rocas madres originales, aunque el agua es el agente más corriente de transporte, el viento y los glaciares pueden también transportar arcilla. Éstas son mucho más corrientes que las anteriores y tienen una constitución más compleja debido a que están compuestas por material procedente de distintas fuentes: hierro, cuarzo, mica, materias carbonosas y otras impurezas.

2.1.3.2 Según la plasticidad.

Podríamos hablar teniendo en cuenta una de las propiedades de la arcilla como es la plasticidad de dos tipos: las arcillas plásticas y las antiplásticas.

Arcillas plásticas al mezclarse con le agua forman una pasta y se convierten en modelables.

Arcillas antiplásticas las que confieren a la pasta una determinada estructura, que pueden ser químicamente inertes en la masa ó crear una vitrificación en altas temperaturas fundentes. [1]

2.1.3.3 Según el color y porosidad.

TABLA I TEMPERATURA DE COCCIÓN DE LAS ARCILLAS SEGÚN EL COLOR Y POROSIDAD.

Pastas porosas coloreadas	Pastas porosas blancas
Tejares y alfares en bruto, barnizadas, estanníferas Arcillas fusibles 850-1100°C	Mayólicas finas Sanitarias y productos refractarios Arcillas refractarias 1000- 1550° C
Pastas impermeables coloreadas	Pastas impermeables blancas
Gres finos, comunes, clinkers Arcillas vitrificables 1100-1350°C	Porcelanas duras, tiernas, china vidriada Caolines 1250- 1460°C

<http://us.starmedia.com/apuntes.arcilla.html>

2.1.3.4 Según su fusibilidad.

Según el punto o grado de cocción, podríamos hablar de dos tipos de arcilla:

- Arcillas refractarias: Arcillas y caolines cuyo punto de fusión está comprendido entre 1600 y 1750 °C. Por lo general son blancas, grises y poco coloreadas después de su cocción.
- Arcillas fusibles ó arcillas de alfarería: Arcilla cuyo punto de fusión se alcanza por encima de los 600 °C. Son de color castaño, ocre, amarillo o marfil tras su cocción y se suelen encontrar cerca de la superficie del

suelo. Suelen contener ilita acompañado de una proporción de caliza, óxido de hierro y otras impurezas.

2.1.3.5 Según su modo de empleo.

➤ Arcillas plásticas.

Por sus propiedades, se contraponen al caolín dado que poseen un mayor contenido en hierro, son más fusibles, más plásticas y su grano es más fino. Es por ello que se puede decir que son complementarias y a menudo se combinan para crear una arcilla más trabajable. Se trata de una arcilla secundaria, mezclada a menudo capas de carbón y otros tipos de arcilla. Es altamente plástica y aunque no es tan pura como el caolín está relativamente libre de hierro y otras impurezas, cociéndose a un color gris claro o anteado claro debido a la presencia de material carbonoso.

Éstas poseen un elevado grado de contracción, que puede llegar hasta a un 20%. En la fabricación de cerámica blanca, este tipo de arcilla se hace indispensable para aumentar la falta de plasticidad del caolín, aunque no puede añadirse más del 15% puesto que se traduciría en un color gris o anteado, disminuyendo así su translucidez. [1]

➤ Arcillas refractarias.

Esta arcilla no es un tipo propiamente dicho dado que se refiere a la resistencia al calor de las arcillas en general independientemente del color, plasticidad. Cualquier arcilla que resista la fusión hasta alrededor de los 1500°C puede considerarse como una arcilla refractaria, lo que significa que es relativamente pura y libre de hierro, estas arcillas son útiles para gran variedad de productos, principalmente en la fabricación de ladrillos refractarios y otras piezas para hornos, estufas, calderas. También son utilizadas como aditivos para las pastas de loza o las pastas para gacetas en los que se quiera aumentar la refractariedad.

➤ Arcillas para gacetas.

Las gacetas son cajas de arcilla en las cuales se cuecen las piezas para protegerlas del calor y la llama directa del horno. Por tanto esta arcilla debe ser bastante refractaria, plástica para ser conformada por modelado y formar un cuerpo denso una vez cocida, para ser resistente a la fatiga producida por las continuadas cocciones, normalmente se cuecen a un color gris-anteado claro y se usan frecuentemente como aditivo en las pastas para loza y barro cocido.[1]

➤ Arcilla para loza.

Las arcillas para loza son arcillas secundarias y plásticas que se funden a 1200-1300°C. Su color de cocción va desde un gris claro a un gris oscuro o marrón, cambian mucho de color, plasticidad y temperatura de cocción sin haber una

distinción clara entre arcilla refractaria, de gacetas o para loza. La distinción se suele basar según el uso que se haga de la arcilla más que por su naturaleza química o física, esta puede presentar un grado óptimo de plasticidad así como de cocción o puede mejorarse añadiendo feldespatos y arcilla de bola para ajustar su temperatura y plasticidad.

➤ Arcilla de alfarería.

Son muy corrientes y suelen contener hierro y otras impurezas minerales por lo que su grado de cocción es de 600-1100°C. En bruto esta arcilla es roja, marrón, verdosa o gris por la presencia del óxido de hierro, y tras su cocción puede variar de color, se trata de la materia común para los ladrillos, baldosas, tubos de drenaje, tejas. La arcilla roja común por sí sola es demasiado plástica, llegando a ser pegajosa, aunque a veces contiene arena u otros fragmentos pétreos que dificultan su plasticidad, nos encontramos gran cantidad de esta arcilla en la superficie de la tierra, aunque a veces es inutilizable debido a su gran contenido en calcita o sales alcalinas solubles.

La arcilla azul contiene mucha cal y se trata de la arcilla más plástica de todas al natural. Estando mojada tiene un color azul grisáceo que al cocerse se convierte en un color amarillento. Hay quien opina de ella que no es la arcilla ideal debido a que no tiene carácter suficiente y por su falta de color. [1]

2.2 HORNOS.

Es una instalación destinada a la producción de calor, necesario para el tratamiento térmico de materiales tales como alimentos, metales, minerales, pastas cerámicas, yeso, cal y cementos. Existen una gran variedad de tipos de acuerdo con la manera en la que generan el calor y con la función a la que se destinan [2].

2.2.1 TIPOS DE HORNOS.

2.2.1.1 Hornos de laboratorio.

Hornos experimentales o de ensayo, se usan para hacer pequeñas pruebas de cocción de cualquier tipo de pasta o barniz, comprobar la temperatura de fusión, o muestra de un pigmento o colorante, los hornos eléctricos son especialmente prácticos, y empleando gas como combustible, pueden utilizarse hornos con quemadores de Bunsen o quemadores Méker para temperatura de 1200 a 1300°C. con la ayuda de ventiladores se pueden alcanzar temperaturas más elevadas.

2.2.1.2 Hornos Kasseler.

Un tipo de horno antiguo para el cocido de tejas y alfarería, es el llamado horno Kasseler, el espacio interior es alargado y se extiende del hogar a la chimenea. La llama es horizontal y pasa por encima o a través de un puente en el fogón. [2]

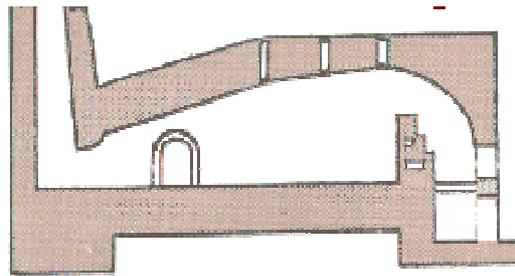


Figura 1 Horno Kasselero.

2.2.1.3 Hornos de cámara.

Estos hornos pueden tener distintas formas, redondos o cuadrados, y usar los principios de llama ascendente o de llama reversible. Los que usan el principio de llama ascendente no se obtiene un caldeo homogéneo, por lo que es más práctico usar hornos de llama reversible que distribuyen de forma más uniforme el calor obteniendo es decir un caldeo uniforme, los hornos de llama reversible se usan, especialmente, para la cocido de gres.[3]

Los hornos de cámara de dos pisos (Fig.2.) se utilizan especialmente en empleo para cocer fayenza. En la cámara inferior y más cálida se hace la primera cocción 1250°C . en torno a este piso inferior, hay un número de hogares, de los que el fuego pasando por puentes, desciende al suelo y se reúne en canales verticales practicados en el muro que conducen al piso o, cámara para la cocción de cápsulas o la de barniz de $1000 - 1100^{\circ}\text{C}$. Puede regularse la temperatura del horno abriendo directamente los canales del piso inferior.

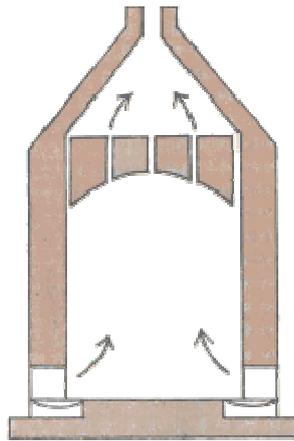


Figura 2 Horno de cámara de dos pisos.

Algunos hornos, de carbón, aceite o gas, que se dedican a la cocción de la porcelana, son unos hornos muy especializados. Constan de tres pisos o cámaras, las cuales se dedican para distintas funciones. El fuego se conduce desde el suelo, a través de conductos verticales, hacia la chimenea, calentando todas las cámaras (Fig. 3, Fig. 4) [2]

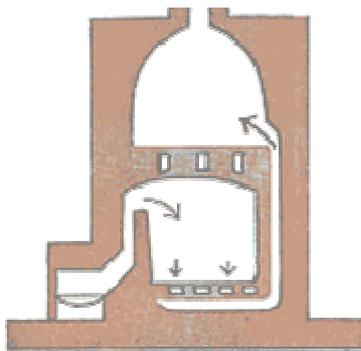


Figura 3

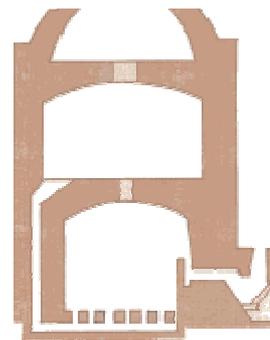


Figura 4

Hornos de cámara de tres pisos.

2.2.1.4 Hornos de mufla.

Una mufla, en realidad es una cámara cerrada construida con material refractario, su construcción es relativamente sencilla empleándose todo tipo de combustibles. Consta de una puerta por la que se accede al interior de la cámara de cocción, en la que existe un pequeño orificio de observación, en el techo se ubica un agujero por donde salen los gases de la cámara. Las paredes de la misma están hechas de placas de chamota, planchas de carborundo y/o manta de material aislante, estos hornos pueden usarse para la cocción de arcilla, mayólica, para el cocido de pinturas encima del barniz en la porcelana, para artículos de fayenza y de gres.[3]

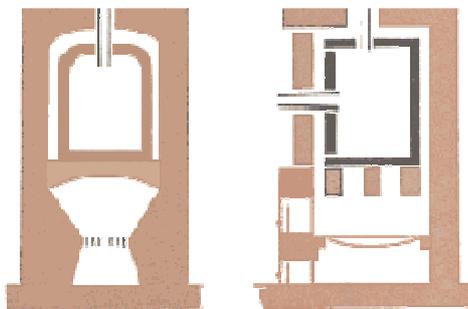


Figura 5

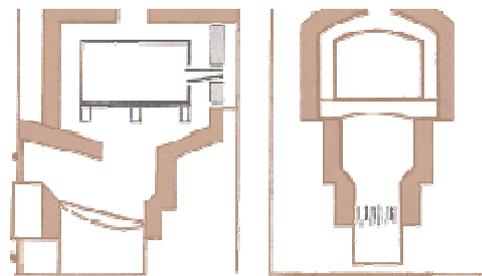


Figura 6

Hornos Mufla.

2.2.1.5 Hornos eléctricos.

Los hornos alimentados con energía eléctrica son de un uso muy extendido por su comodidad y fácil manejo, en la actualidad con los sistemas de programación que se incorporan son muy útiles y fiables.

En las cámaras de estos hornos van alojadas, en unos surcos o vías de las paredes, unas espirales de hilo conductor de energía eléctrica, que actúan de resistencia formadas por aleaciones de cromo-níquel y de otros metales cuya característica es la buena conductibilidad, según las temperaturas que se quiera alcanzar, hay que tener en cuenta que un Kilovatio hora desarrolla, aproximadamente, 850 Cal/kg. aun que parezca que el uso de esta energía eléctrica resulta demasiado cara, si contamos todas las ventajas que puede proporcionarnos, todos estos inconvenientes se ven reducidos e incluso resultar ventajosos.

Como norma general y guía hemos de decir que en hornos para temperaturas de 1000° a 1100°C, con una capacidad de 0,25 a 1 m², tienen una duración de caldeo de 7 a 12 horas, para temperaturas mayores hasta 1450 ° C se emplea la silita (carburo de silicio) o similares.

La cocción eléctrica tiene lugar en aire puro, o sea, en atmósfera oxidante, aunque existen algún tipo de horno, especialmente los de silita y de hilo de níquel-cromo, que toleran se introduzcan en la cámara medios reductores con el fin de provocar una reducción de oxígeno y cambiar los efectos colorantes de los distintos óxidos.

En la cocción de barnices, debe cuidarse no colocar las piezas cerca de las resistencias, pues estas emiten unos rayos de calor que pueden quemar el barniz.

[2]

2.2.1.6 Horno anular.

En las fábricas de ladrillos y tejas el horno anular ocupa un lugar preponderante entre las demás construcciones de horno, fue inventado en 1838 por Hoffmann. Es un horno que quema continuamente, con zona de fuego viajera, y con gran aprovechamiento de calor, originalmente se construyó con canal de caldeo circular; ahora, casi siempre en forma alargada, y con una longitud de 60 a 100 m. el canal está dividido en 14 a 20 cámaras las que no se separan con paredes sino con planchas de papel que se colocan libremente entre los ladrillos y tapan un lado y otro de una o dos cámaras. Cada cámara tiene un portal en la pared exterior, que se cierra durante la cocción, y un respiradero que puede cerrarse desde arriba, y que conduce al canal de humo y chimenea. [2]

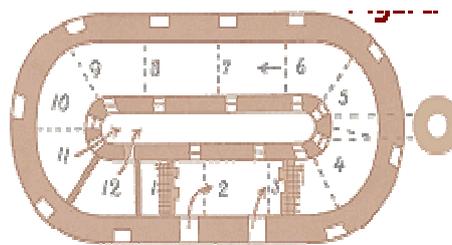


Figura 7 Horno anular.

2.2.1.7 Hornos túnel.

Al contrario de los hornos anulares, en los que los artículos a cocer permanecen quietos y el fuego se mueve, el principio del horno de túnel es que la zona de fuego es fija, mientras la mercancía a cocer se mueve, atravesando dicha zona, por lo demás, los dos métodos tienen muchas características comunes.

Estos hornos consisten en un largo canal por el que se empuja un tren de carros sobre rieles, la armazón inferior de los carros está protegida por un grueso revestimiento de material aislante y refractario, y tiene un tope que resbala en una correspondiente ranura en las paredes del horno. Una plancha en el canto inferior del carro resbala encima de arena para crear mayor hermeticidad, para proteger enteramente las ruedas contra el calor, se puede dar acceso al aire frío debajo de los carros, a lo largo de los rieles y las ruedas, igualmente los carros están ajustados unos a otros, sin espacios libres intermedios, y se empujan en el túnel mediante un dispositivo especial.

Los hornos de túnel se emplean principalmente para fayenza, para la primera cocción de porcelana, o también puede disponerse para la cocción final de la misma, también se emplean estos hornos, en grandes dimensiones, en las fábricas de arcilla chamota, el caldeo es mejor con gas, petróleo o electricidad.[2]

2.2.1.8 Hornos a gas.

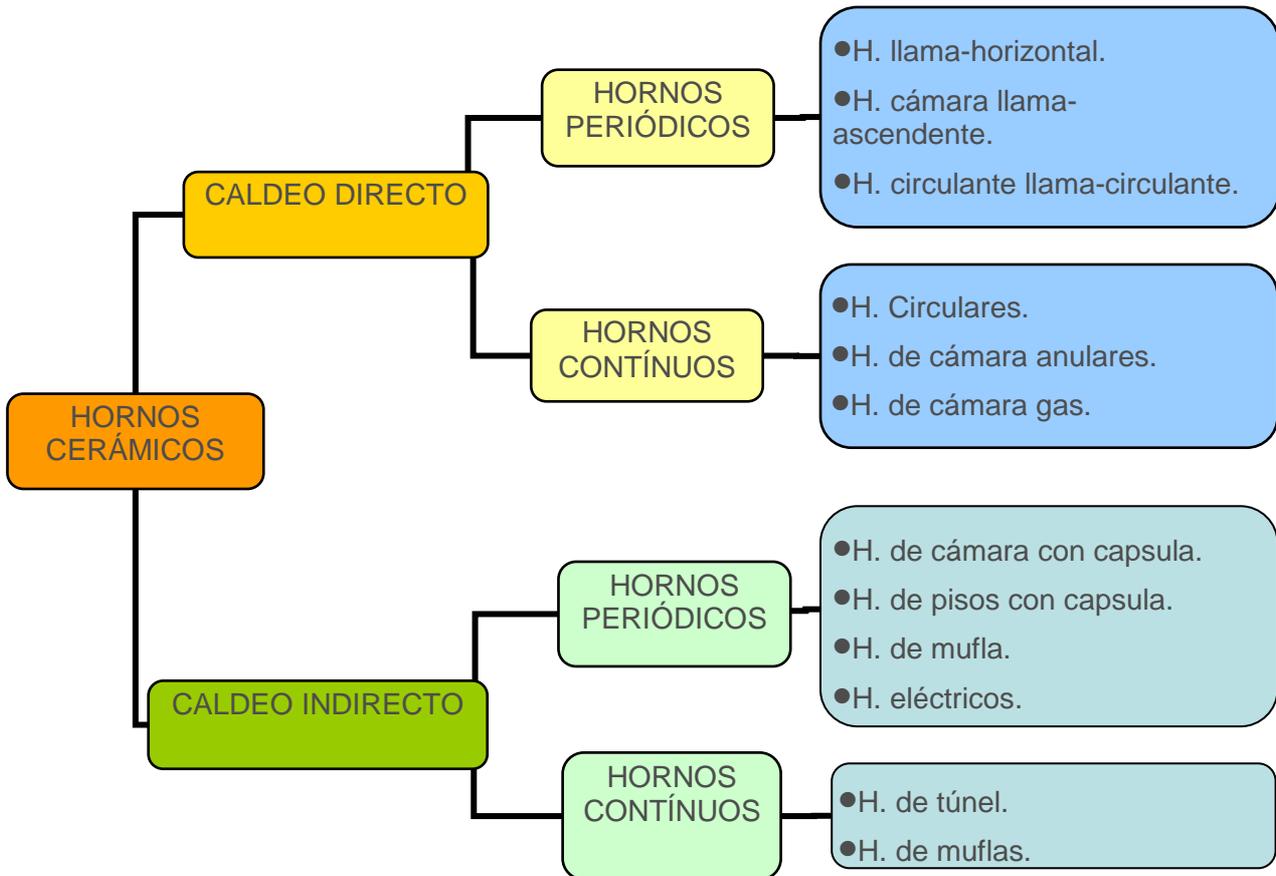
La técnica, cada vez más avanzada, ha permitido conceder a los hornos de gas un papel destacado en el uso y posibilidades que nos brinda su uso, mostrándose muy eficaces, tanto por que los tiempos de cocción se ven reducidos así como los costos, además su manejo es relativamente sencillo, nos resulta fácil regular la atmósfera interior del horno, simplemente variando la inyección de la mezcla de gas y aire, por lo que resultan muy útiles para hacer reducciones. Otra ventaja digna de mención es que podemos alcanzar altas temperaturas en menos tiempo, estos tipos de horno también pueden funcionar con gas doméstico.

El inconveniente más destacable que presentan estos hornos, es que las botellas de gas tienen que estar debidamente aisladas y separadas del horno, normalmente colocadas en el exterior. [2]

2.2.1.9 Hornos Cerámicos

Los hornos cerámicos pueden clasificarse en diferentes grupos, según su forma de trabajo:

TABLA II CLASIFICACIÓN DE HORNOS CERÁMICOS.



2.2.2 Caldeo directo o indirecto.

También se conocen como hornos de llama directa o de llama indirecta. 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 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. [2]

2.2.3 Hornos periódicos y continuos.

Los hornos de caldeo periódico son aquellos que deben calentarse en cada cocción, dejándose enfriar antes de colocar la siguiente. Los hornos de caldeo continuo o ininterrumpido, como su nombre indica, son aquellos que nunca dejan enfriarse. El primer sistema es el más antiguo y el que sigue siendo más empleado en la pequeña industria pero para las empresas con grande y constante producción, una cocción continuada ofrece grandes ventajas, siendo la principal el ahorro de energía. [3]

2.3 EL HOGAR.

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. [3]

2.4 COMBUSTIBLES.

Se entiende como combustible, toda sustancia que es capaz de desprender calor utilizable en el curso de una relación química o física. Estos pueden ser orgánicos o nucleares.

Los combustibles orgánicos son aquellos que mediante un proceso de oxidación de sus elementos combustibles, liberan energía térmica. Los nucleares, como el uranio, mediante la reacción física de fisión liberan calor en los reactores nucleares.

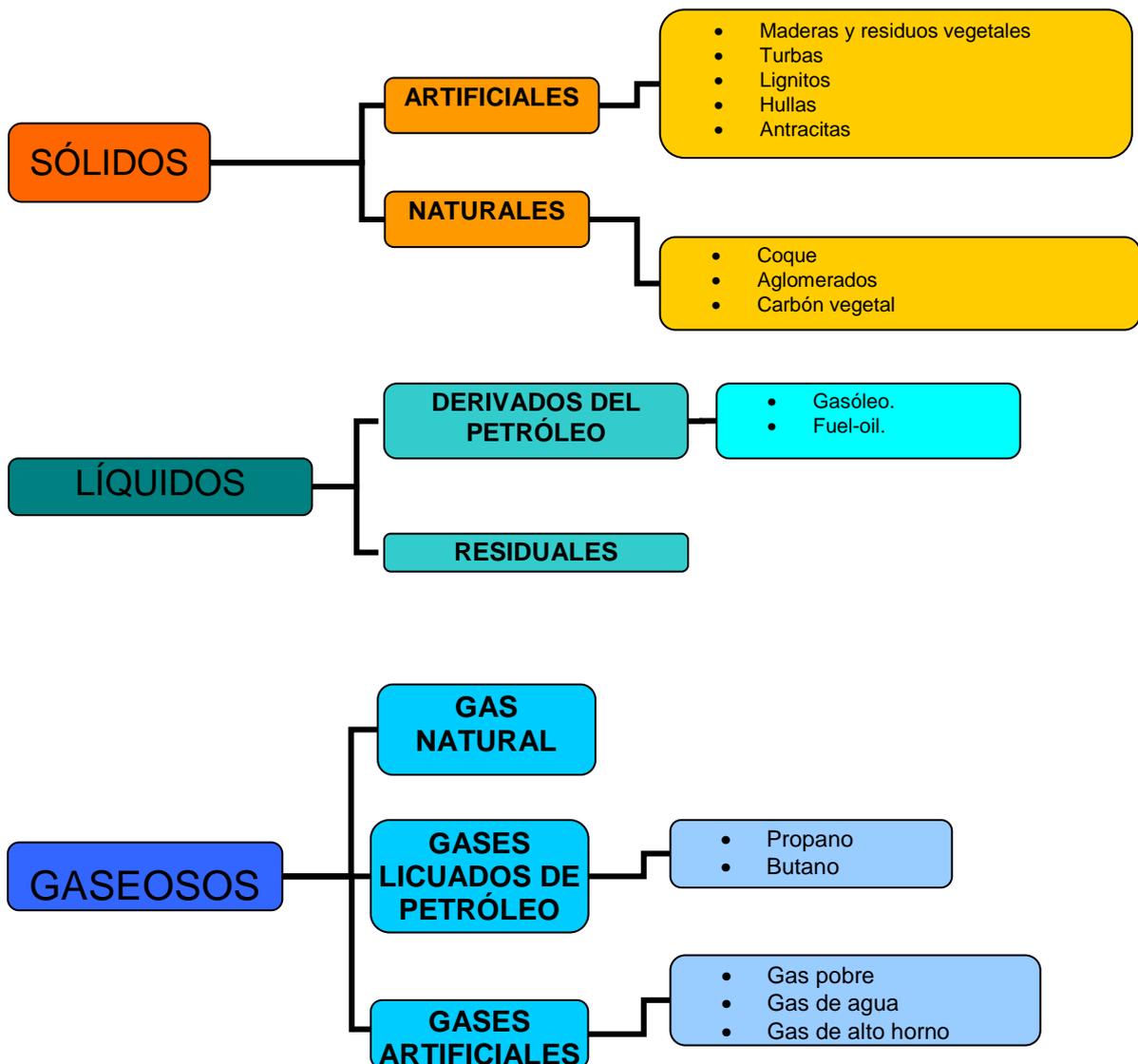
Los combustibles orgánicos, se pueden dividir en fósiles (carbón, petróleo, gas) y los que proceden de madera, bagazo y otros materiales lignocelulosos y subproductos de la agricultura, silvicultura y actividades urbanas, lo cual constituyen las biomasas.

Los combustibles orgánicos fósiles pueden clasificarse en naturales, derivados y residuales. Se denominan como naturales aquellos que se encuentran

en la forma que fueron extraídos: carbón, gas natural entre otros. Derivados son aquellos obtenidos como resultado de un proceso de elaboración tecnológico del combustible natural, como el caso del petróleo, pues éste después de una serie de procesos puede producir gasolina, queroseno, diesel. Residuales son los aceites combustibles que se obtienen como residuo de la destilación del petróleo crudo. [4]

2.4.1 CLASIFICACIÓN.

TABLA III CLASIFICACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES.



2.4.2 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. [4]

2.4.3 COMBUSTIBLES GASEOSOS.

Se denominan combustibles gaseosos a los hidrocarburos naturales y a los fabricados exclusivamente para su empleo como combustibles, y a aquellos que se obtienen como subproducto en ciertos procesos industriales y que se pueden aprovechar como combustibles.

La composición de éstos varía según la procedencia de los mismos, pero los componentes se pueden clasificar en gases combustibles (CO, H₂, HC) y otros gases (N₂, CO₂, O₂).

Los combustibles gaseosos se clasifican en:

- Combustibles gaseosos naturales
- Combustibles gaseosos manufacturados.

Nos interesa conocer el porcentaje de los componentes que integran los gases. Se usan para estos los mismos procedimientos que para el análisis de los gases de combustión.[4]

2.4.3.1 Ventajas de los combustibles gaseosos

Facilidad de manejo y transporte por tuberías.

- No presentan cenizas ni materias extrañas.
- El control de la combustión es mucho más fácil, lo que nos permite mantener la temperatura de combustión.
- Posibilidad de regular la atmósfera de los hornos para conseguir atmósferas reductoras según nos convenga.
- Posibilidad de calentar el gas en regeneradores y recuperadores, elevando de esta manera la temperatura de combustión, y por lo tanto, aumentando el rendimiento térmico.
- A igualdad de calor cedido, la llama que origina un combustible gaseoso es más corta que la que origina un combustible sólido o uno líquido. [4]

2.4.3.2 Propiedades de los combustibles gaseosos.

El poder calorífico, una de las propiedades más importantes de un combustible, se expresa para los combustibles gaseosos por unidad de volumen en condiciones normales. El valor del poder calorífico varía mucho dependiendo del tipo de gas que estemos manejando, y por lo tanto, en función de los componentes del combustible que estemos manejando. Los componentes no combustibles de un combustible van a bajar el rendimiento calorífico de la combustión, sin embargo, a pesar de esto, a veces, un combustible de calidad inferior pero que sea subproducto de un proceso industrial puede ser más ventajoso económicamente.

Recordamos que existen dos clases de poder calorífico:

- Poder calorífico superior, (PCS) que es el que se libera al realizar la combustión de una unidad de volumen de gas.
- Poder calorífico inferior, (PCI) que es igual que el anterior, pero sin tener en cuenta el calor de condensación del agua producida en la combustión.

Las unidades del poder calorífico son [Kcal. /m³] [Btu/ft³] [Cal/L], para expresar la energía liberada en una combustión se usa la TERMIA, 1 TERMIA=2500 cal.

Para calcular el poder calorífico de un combustible gaseoso hay que conocer la composición del mismo (proporción de componentes). Conociendo los calores de combustión de los componentes individuales resulta relativamente sencillo calcular el poder calorífico del combustible:

$$PC = \sum_{i=1}^n \frac{\%}{100} \cdot PC_i \quad [2.1]$$

Otra propiedad importante del combustible es el calor específico. Se define éste como la cantidad de calor requerida para que la unidad de masa de gas aumente su temperatura 1°C. Las unidades son [cal/g°C]; [Kcal. /Kg°C]; [Btu/lb°F]. Pero lo cierto es que al aumentar la temperatura existe una dilatación; es por ello que se definen los siguientes calores específicos:

- Calor específico a volumen constante (Cv)
- Calor específico a presión constante (Cp)

Cv es menor que Cp, ya que hay que tener en cuenta el trabajo de expansión que hay que realizar. A si también una propiedad de los combustibles gaseosos es la viscosidad, al aumentar la temperatura aumenta la viscosidad. Existen dos tipos de viscosidades, la cinemática y la dinámica.

El índice de Wabbe (W). es una propiedad de los combustibles gaseosos, que se define como la relación entre el PCS y la raíz de la densidad relativa:

$$W = \frac{PCS}{\rho} \quad [2.2]$$

El índice de Wabbe tiene en cuenta los hidrocarburos más pesados que el CH₄, CO₂. Otra característica importante de los combustibles es su intercambiabilidad, se dice que dos gases son intercambiables cuando distribuidos bajo la misma presión en la misma red y sin cambios de regulación producen los mismos resultados de combustión (el mismo flujo calorífico) y la llama presenta la misma e idéntica posición y el mismo comportamiento también.

Es imposible en la realidad que dos gases sean intercambiables al 100%, existen diagramas de intercambiabilidad en los que de un modo rápido se puede ver si un gas es intercambiable con otro (diagramas de Delbourg). [4]

2.4.3.3 Gas licuado de petróleo.

El gas licuado de petróleo (GLP) es un hidrocarburo, derivado del petróleo, que se obtiene durante el proceso de refinación de otro derivado denominado gasolina, este se produce en estado de vapor pero se convierte en líquido mediante compresión y enfriamiento simultáneos de estos vapores, necesiándose 273 litros de vapor para obtener un litro de gas líquido.

El gas al ser comprimido y enfriado se condensa hasta convertirse en líquido, en cuyo estado se le transporta y maneja desde las refinerías, a las plantas de almacenamiento y de estas a los usuarios, ya sea por auto-tanques o recipientes portátiles, en donde el gas sale en estado de vapor para poder ser utilizado. Los principales gases que forman el GLP son el propano 50% y butano 50%, que se distinguen entre sí por su composición química, presión, punto de ebullición y en su poder calorífico o de calentamiento. Cuando va ser consumido el gas inmediatamente se evapora, pasando del estado líquido al gaseoso, sucediendo aquí el fenómeno inverso al de la licuación, este se consume en forma de vapor en los quemadores, el vapor se produce al abrir la válvula de cualquier quemador conectado a un cilindro, ya que en ese momento tiende a escapar la presión del recipiente, haciendo que hierva el líquido para formar más vapor. Si el consumo de gas se prolonga también continuará hirviendo el líquido, tomando calor necesario

para ello del medio ambiente, a través de las paredes metálicas del cilindro, de esta manera se consume el líquido, transformándose poco a poco en vapor hasta terminarse. [4]

2.4.3.4 Características.

- No tiene color, es transparente como el agua en su estado líquido.
- No tiene olor cuando se produce y licua, pero se le agrega una sustancia de olor penetrante para detectarlo cuando se fugue, llamada etylmercaptano.
- No es tóxico, solo desplaza el oxígeno, por lo que no es propio para respirarlo mucho tiempo.
- Es muy inflamable, cuando se escapa y se vaporiza se enciende violentamente con la menor llama o chispa.
- Excesivamente frío, por pasar rápidamente del estado líquido a vapor, por lo cual, al contacto con la piel producirá siempre quemaduras de la misma manera que lo hace el fuego.
- Es limpio, cuando se quema debidamente combinado con el aire, no forma hollín.
- Es más pesado que el aire, por lo que al escaparse el gas, tenderá a ocupar las partes más bajas, como el piso, fosas y pozos que haya en el área.
- Un kilo de gas licuado de petróleo equivale a 1.77 litros. Un litro de gas licuado de petróleo pesa 560 gramos. [4]

2.5 COMBUSTIÓN.

Se define como la combinación rápida del oxígeno del aire con los distintos elementos que constituyen el combustible, en la cual se origina un desprendimiento de luz y calor. Los combustibles tienen una composición elemental en la que entran fundamentalmente el Carbono, el Hidrógeno y el Azufre, como elementos verdaderamente combustibles. Estos están acompañados de otros elementos como el Nitrógeno, el Oxígeno y trazas de otros elementos como el Vanadio, Níquel, Sodio.

El aire es una mezcla fundamental de oxígeno y nitrógeno con pequeñas cantidades de otros gases tales como Anhídrido Carbónico, argón y el vapor de agua, su composición varía ligeramente con la humedad y la altura. Para simplificar el estudio de la combustión se considera al aire con la siguiente composición volumétrica: 21% de Oxígeno y 79% de Nitrógeno. [5]



Figura 8 Esquema del proceso de combustión.

2.5.1 Combustión de un combustible gaseoso.

En la combustión de un combustible gaseoso es fácil deducir que la mezcla con el comburente se realiza de una manera fácil. El modo en que básicamente se realiza la combustión es igual que para un combustible sólido o líquido. Se sigue utilizando, en general, el aire como comburente, aunque a veces se usa el oxígeno. Es necesario en este caso el uso de quemadores, que es donde se va a producir la mezcla combustible comburente. La combustión es rápida, pero no instantánea. Es necesario un tiempo de mezcla para facilitar la reacción.

La combustión es, como sabemos, una reacción de oxidación, la llama es la fuente de calor de esta reacción, en todo proceso de combustión hay 3 condiciones que se deben cumplir.

1. Para que puede iniciarse y propagarse la combustión, hace falta que, simultáneamente el combustible y el comburente esté mezclado en cierta proporción y que la temperatura de la mezcla sea localmente superior a la temperatura de inflamación.
2. Para que la combustión se mantenga debe ocurrir que, los productos originados en la combustión se evacuen a medida que se producen y la alimentación del comburente y del combustible sea tal que se cumplan las condiciones expuestas.

3. Para que la combustión se realice en buenas condiciones se debe cumplir que, el aire empleado en la combustión sea el correspondiente a una combustión completa sin exceso de aire (aire empleado = aire mínimo) debe haber una determinada turbulencia y un tiempo determinado.[5]

2.5.2 Características de la combustión de gases.

- Temperatura de ignición: La temperatura de ignición es la mínima temperatura a la que puede iniciarse y propagarse la combustión en un punto de una mezcla aire gas. El autoencendido de una mezcla aire gas se produce sobre los 650-700°C.
- Límites de inflamabilidad: Se entienden estos como los porcentajes de aire y gas que presentan una mezcla de ambos para que pueda iniciarse y propagarse la combustión de dicha mezcla. Normalmente se expresa en porcentaje de gas combustible en la mezcla. Tanto el exceso de combustible como de comburentes son perjudiciales para la combustión, fuera de los límites de inflamabilidad.
- Velocidad de deflagración: Es la velocidad de propagación de una llama estable.[5]

2.5.3 Parámetros necesarios en la combustión de gases.

Poder comburívoro o aire teórico: Es la cantidad de aire necesaria para asegurar la combustión de 1 m³ de gas, suele expresarse en m³ normal de aire/m³ normal de gas.

Índice de exceso de aire: Una combustión con el aire teórico es imposible, por lo que es necesario en la práctica un exceso de aire, que se regula por un coeficiente de suministro. Puede darse una combustión incompleta, con inquemados gaseosos pero casi nunca podrán aparecer inquemados sólidos.

Temperatura teórica de combustión: Aquella temperatura que alcanzarían los productos de combustión si todo el calor generado en la misma se pudiera emplear en su calentamiento. Esto es imposible por pérdidas de calor en la instalación, enriqueciendo el contenido en oxígeno es posible aumentar la temperatura actual de combustión hasta un cierto límite. [5]

2.6 QUEMADORES.

Las reacciones de combustión son muy útiles para la industria de procesos ya que permiten disponer de energía para otros usos, y generalmente se realizan en equipos de proceso como hornos, calderas y todo tipo de cámaras de combustión. Un dispositivo muy común denominado quemador, produce una llama característica para cada combustible empleado, este dispositivo debe mezclar el combustible y un

agente oxidante (el comburente) en proporciones que se encuentren dentro de los límites de inflamabilidad para el encendido y así lograr una combustión constante.

El soporte físico de la combustión de los combustibles gaseosos son los quemadores. El quemador debe regular una serie de aspectos, como son:

- La mezcla aire-gas.
- Caudales de aire y de gas
- Estabilidad de la llama
- Dimensiones y forma de la llama.
- Poder de radiación de la llama en un momento determinado.

En general los combustibles gaseosos se queman y se regulan con mayor facilidad la combustión se realiza en una sola fase, y no existen problemas de atomización y vaporización (combustibles líquidos) o pulverización (combustibles sólidos). [5]

Los gases generalmente son limpios y por consiguiente no obstruyen ni ensucian las cámaras de combustión, los quemadores de gas se pueden regular fácilmente y ofrecen amplias condiciones de productividad.

Existe diversas formas de clasificar a los quemadores algunas de esas mostramos a continuación, se pueden clasificar por el número o por el tipo de combustible con que funcionan, o también por el modo de funcionamiento y método de introducción del gas y el aire.

Según el tipo de combustible.

- Multigas: Funcionan con varios gases a la vez
- Mixtos: Pueden funcionar con distintos tipos de combustibles, pero no a la vez
- Marcha simultánea: Queman a la vez gas y otro tipo de combustibles (líquido o sólido)
- Marcha alternativa: Solo pueden quemar un tipo de combustible determinado.

Según el modo de funcionamiento.

- Atmosféricos: Tienen llama corta, baja presión.
- De presión: Presión de hasta 3 atm.
- Boca Radiante: La entrada de la mezcla se realiza a través de unas boquillas de un material refractario especial que se calienta hasta la incandescencia durante el funcionamiento, lo que facilita la combustión de los gases.

Según el método de introducción del gas y el aire.

- Con llamas de difusión: En los que el gas y el aire penetran sin mezclar en la cámara, y la mezcla se efectúa por difusión turbulenta en el lugar de la combustión.
- Premezclado parcial: En los que se mezcla previamente el gas con una parte de aire, y el restante se aspira más adelante ya en el horno.
- Premezclado total: en los que el gas y todo el aire necesario se mezclan antes de que tenga lugar la combustión.

Si se introduce gas a una presión superior a la atmosférica y la depresión que existe en el horno es la que absorbe el aire, se puede hablar de quemadores de aire aspirado, o atmosféricos. En cambio si es un ventilador el que suministra el aire, se trata de quemadores con aire insuflado. [5]

CAPÍTULO III.

3. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL HORNO EXISTENTE.

3.1 CONDICIONES DEL HORNO.

El horno existente que va ser rehabilitado, es un horno intermitente, que tiene temperatura constante en todo su interior. El calor necesario para el proceso de cocción, es producido por la combustión de gas, el mismo que se inyecta a través de cuatro quemadores ubicados dos a cada lado del horno.



Figura 9 Vista frontal del horno.



Figura 10 Vista interior del horno.

Las paredes laterales que están en contacto directo con los gases de combustión son de ladrillo refractario así como, la parte inferior y posterior del horno, la bóveda, que es una bóveda suspendida es del mismo material, la cual cuenta con una estructura metálica que sirve de soporte para el ladrillo refractario.

Para el ingreso de los productos que van hacer expuestos al proceso de cocción, se dispone de una entrada en la parte frontal que posteriormente es sellada con una puerta de doble hoja, cuyo barrido es lateral, como material para concentrar el calor, se ha empleado un recubrimiento de ladrillo aislante en todo el contorno del horno paredes laterales, bóveda, puerta, parte inferior y posterior.



Figura 11 Interior del horno



Figura 12 Bóveda del horno.

Los gases que se producen en la combustión son expulsados a través de una chimenea ubicada en la parte superior del horno.

La puerta del horno cuenta con una mirilla para la visualización del producto.

La ubicación del combustible que son 2 cilindros de gas se encuentran a tres metros del horno sin ningún tipo de protección, así como reguladores de presión y válvulas de seguridad se hallan estropeadas.

3.1.1 Dimensionamiento.

Las siguientes condiciones de tamaño, no van hacer modificadas en la rehabilitación del horno.

Ancho del horno = 900 mm.

Longitud del horno = 1070 mm.

Altura del horno = 900 mm.

Diámetro de la chimenea = 110mm.

3.1.2 Sistema de conducción de gas.

Las tuberías que han sido utilizadas, son de cobre y de un diámetro de $\frac{1}{2}$ in, para la conducción del gas, en otra sección nos encontramos un diámetro de tubería de $\frac{1}{4}$ in, que esta directamente conectado a los quemadores. Para los cambios de dirección se puede notar acoples como uniones, codos de 90° , bifurcaciones de tres entradas "T", y reductores notamos que están siendo unidas con algún tipo de sellante para evitar fugas, Podemos darnos cuenta que la tubería presenta en un grado alto de corrosión, debido al abandono en el que se encuentra.



Figura 13 Válvula de entrada del combustible.



Figura 14 Ductos de aire y combustible que van al quemador.

3.1.3 Controles de seguridad.

Uno de los parámetros de seguridad es que el combustible llegue sin fugas hasta su ignición, y esto depende de la tubería utilizada y la unión de acoples, podemos apreciar que se puede mejorar el sistema de conducción del gas empleando los acoples estrictamente necesarios ya que en los actuales momentos hay algunos innecesarios.



Figura 15 Indicador y controlador de presión

No existen controladores de presión, ni temperatura en este caso los quemadores son encendidos manualmente, existe una válvula principal off-on del control del combustible, así como una en cada quemador.

3.1.4 Quemadores.

Estos se localizan en la parte lateral del horno, dos en el lado derecho y dos al lado izquierdo. Cada quemador a su entrada tiene una válvula reguladora, cuyo objeto es controlar la entrada de combustible y regular la mezcla aire-gas.



Figura 16 Quemadores del lado izquierdo del horno.



Figura 17 Quemadores del lado derecho del horno.



Figura 18 Vista lateral del quemador.

3.1.5 Ventilador.

Por simple observación en la placa de datos del ventilador se deduce las características del mismo.

RONG LONG CO. LTA

VENTILADOR TIPO: VN-30

VOLTS 110/220

CYCLE 60

La ubicación del ventilador se encuentra en la parte superior que esta averiado, el conducto de aire tiene un diámetro de 3in., se encuentra con algunas grietas.



Figura 19 Ventilador ubicado en la parte superior.

3.1.6 Medidores de temperatura.

En la inspección que se ha hecho al horno, claramente se percibe que no existe un contador de la temperatura, se presume que como el horno se encontraba abandonado, se extravió.

Para la medición de la temperatura los termopares o termocuplas de Níquel-Aluminio o Níquel-Aluminio son los más seguros para trabajos a alta temperatura, por verse menos sometidos a la corrosión y alteraciones de otra naturaleza.

3.2 EVALUACIÓN FINAL.

Después de haber tenido una visita de observación técnica al equipo, en la comunidad Shilpalá de Cacha en la escuela artesanal Fernando Daquilema, y hacer un análisis de lo observado se puede concluir que en general se tiene que hacer cambios en el equipo para que este entre en funcionamiento.

En cada uno de los parámetros analizados se ve que existen falencias que se van a corregir con un adecuado diseño, teniendo en cuenta todos los parámetros de seguridad tanto industrial y de protección del ambiente.

CAPÍTULO IV.

4. DETERMINAR LOS PARÁMETROS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO.

4.1 PARÁMETROS REQUERIDOS.

De acuerdo con las condiciones iniciales del horno, y según los requerimientos del proceso de cocción de la arcilla se necesita:

- Temperatura interior de 1000 °C. (1273 °K.) Se tomó este valor de temperatura, debido a que los procesos de obtención de cerámica que va a realizar la escuela Fernando Daquilema van desde un rango de 600° a 800 °C, se ha considerado un excedente en la temperatura que llega a 1000°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.
- Tiempo de cocción 3 h. Tanto la temperatura del interior del horno como el tiempo de cocción se considero tomando en cuenta los procesos para la obtención de la cerámica, que se va a llevar a efecto.
- Combustible empleado es gas licuado de petróleo (GLP). Debido a que existe mayor acceso a este combustible en la comunidad de Shilpalá en Cacha, y su costo accesible en el mercado son algunos de los motivos de la utilización de este combustible.

4.2 BALANCE DE ENERGÍA.

De la ley de la conservación de la energía, se afirma que el calor liberado por el combustible en un horno es igual a la suma del calor necesario para el proceso de calentamiento, más las pérdidas de calor que tengan lugar en el horno.

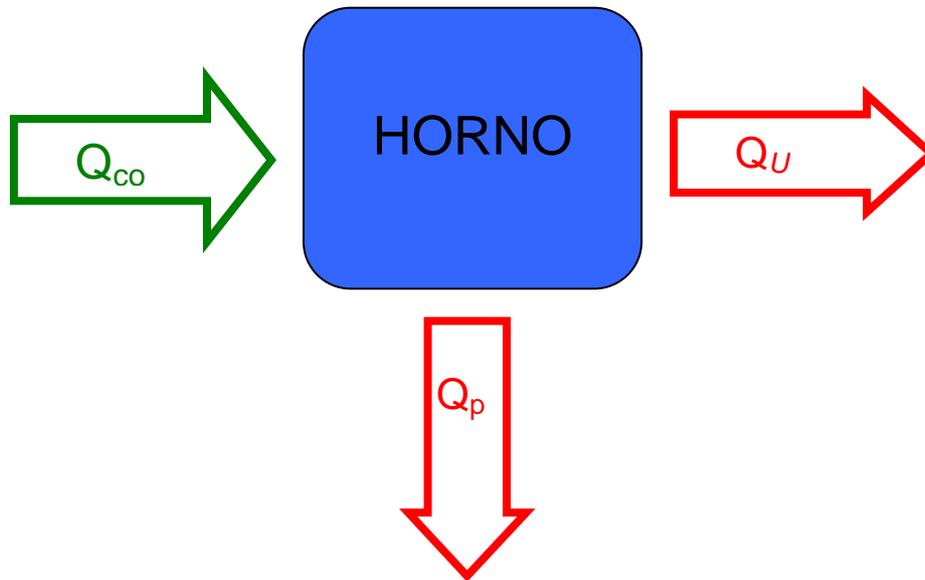


Figura 20 Balance de energía del equipo.

Donde:

Q_{co} = Calor liberado por el combustible Kcal. / h.

Q_p = Calor total perdido en el horno Kcal. / h.

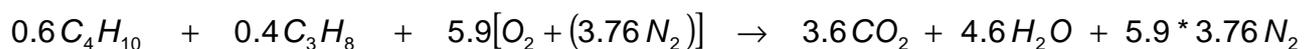
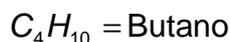
Q_U = Calor útil para la cocción Kcal. / h.

$$Q_{co} = Q_p + Q_U \quad [4.1]$$

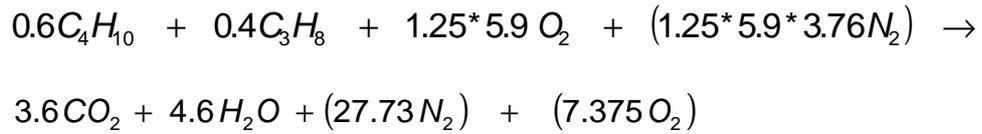
4.3 AIRE TEÓRICO – COEFICIENTE DE EXCESO DE AIRE.

La cantidad mínima de aire necesaria para oxidar los reactivos se conoce con el nombre de aire teórico. Cuando la combustión se lleva a cabo con el aire teórico esta debe ocurrir íntegramente, en la práctica esto resulta imposible. Se necesita más oxígeno del teóricamente necesario para lograr la combustión u oxidación total de los reactivos, se requiere entonces un exceso de aire, pues cada porción de combustible por ejemplo una gota debe hallarse estrictamente rodeada por un número de moléculas de oxígeno mayor que el necesario para asegurar la oxidación de todas las moléculas del hidrocarburo. Este exceso de aire generalmente se expresa como un porcentaje del aire teórico y se denomina coeficiente de exceso de aire. [4]

En este caso se va a tomar un valor medio del exceso de aire de 25%, por que las condiciones ambientales de donde se va instalar el equipo así lo requieren, la combustión del GLP (según información del Ministerio de Energía y Minas contiene 60% de butano y 40% de propano) en presencia de 100% de aire se tiene:



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



Análisis volumétrico de los productos de la combustión.

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

$$n_T = n_{CO_2} + n_{H_2O} + n_{N_2} + n_{O_2} \quad [4.2]$$

$$n_T = 3.6 + 4.6 + 27.73 + 7.375$$

$$n_T = 43.305 \text{ moles}$$

El análisis volumétrico de los productos de la combustión es:

$$y_i = \frac{n_i}{n_T} = \frac{P_i}{P_T} \quad [4.3]$$

$$y_{CO_2} = \frac{3.6}{43.305} = 0.083$$

$$y_{H_2O} = \frac{4.6}{43.305} = 0.106$$

$$y_{N_2} = \frac{27.73}{43.305} = 0.640$$

$$y_{O_2} = \frac{7.375}{43.305} = 0.170$$

Relación aire-combustible.

$$r_{a/c} = \frac{n_{aire}}{n_{comb}} \quad [4.4]$$

$$r_{a/c} = \frac{n_{aire} * M_{aire}}{n_{comb} * M_{comb}} \quad [4.5]$$

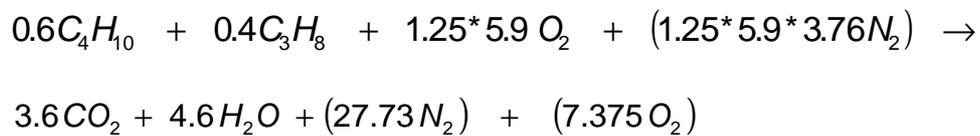
Donde:

n = número de moles.

M = masa molar en Kg. / Kg.mol

De la ecuación [4.4] para 125 % de aire teórico se tiene.

En base molar



$$r_{a/c} = \frac{7.375 + 27.73}{0.6 + 0.4} = 35.105 \frac{\text{moles}_{aire}}{\text{moles}_{comb}}$$

$$r_{c/a} = \frac{1}{35.105} = 0.0285 \frac{\text{moles}_{comb}}{\text{moles}_{aire}}$$

En base de masa

Butano C_4H_{10} M = 58.124 Kg. / Kg.mol

Propano C_3H_8 M = 44.097 Kg. / Kg.mol

Aire M = 28.97 Kg. / Kg.mol

$$r_{a/c} = \frac{35.105 * 28.97}{0.6 * 58.124 + 0.4 * 44.097} = 19.37 \frac{Kg_{aire}}{Kg_{comb}}$$

$$r_{c/a} = \frac{1}{19.37} = 0.0516 \frac{Kg_{comb}}{Kg_{aire}}$$

4.3.1 FLUJO DE AIRE.

Flujo de aire es igual:

$$\dot{V}_a = \dot{m}_a * v_a \quad [4.6]$$

El gasto de aire es:

$$\dot{m}_a = r_{a/c} * \dot{m}_c \quad [4.7]$$

Donde:

\dot{m}_a = gasto de aire en Kg_a/h

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

\dot{m}_c = gasto de combustible Kg_c/h

\dot{V}_a = flujo de aire en m³/h.

v_a = volumen específico del aire en m³/Kg_a

4.4 FLUJO DE LOS PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN.

El flujo de los productos es:

$$\dot{V}_p = \frac{\dot{m}_p}{\delta_p} \quad [4.8]$$

El gasto de los productos de la combustión.

$$\dot{m}_p = \dot{m}_a + \dot{m}_c \quad [4.9]$$

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

$$C_a = \frac{\dot{V}_a}{\dot{m}_c} \quad [4.10]$$

Y la cantidad de gases de escape es:

$$C_p = \frac{\dot{V}_p}{\dot{m}_c} \quad [4.11]$$

Donde:

\dot{m}_p = Gasto másico de los productos en Kg. /hr

\dot{V}_p = Flujo de los productos en m³/hr

δ_p = Densidad de los productos en Kg. /m³

C_a = Cantidad de aire en m³/Kg.

C_p = Cantidad de gases de escape en m³/kg.

4.5 PÉRDIDAS DE CALOR EN EL 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 las paredes tanto del ladrillo refractario y el ladrillo aislante, así como en la plancha metálica, no se considero 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 2 mm, es por esto que se desprecia su resistencia térmica.

4.5.1 Ladrillo refractario.

Datos:

Largo = 60 mm.

Ancho = 115 mm.

Profundidad = 220 mm.

Conductividad térmica = $1.3 \text{ W } ^\circ\text{K} / \text{m}$

Espesor en las paredes laterales del horno = 115mm.

Espesor en la parte superior e inferior del horno = 60mm.

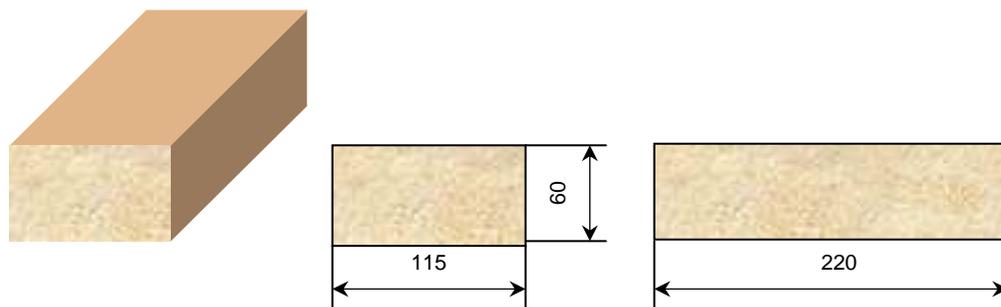


Figura 21 Dimensiones del ladrillo refractario.

4.5.2 Ladrillo aislante.

Se denominó un ladrillo aislante tipo A y tipo B debido a sus diferentes dimensiones,

Dimensiones:

Tipo A.

Largo = 35 mm.

Ancho = 55 mm.

Profundidad = 400 mm.

Tipo B.

Largo = 35 mm.

Ancho = 55 mm.

Profundidad = 450 mm.

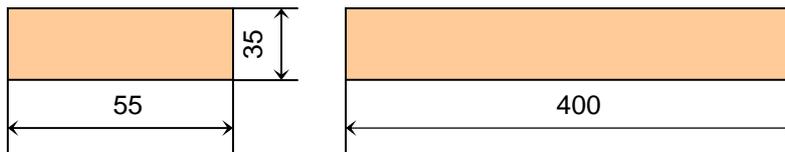
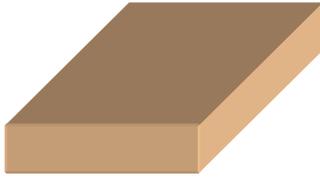
Datos:

Conductividad térmica: $0.3 \text{ W}^{\circ}\text{K} / \text{m}$

Espesor en las paredes laterales del horno: 35mm.

Espesor en la parte superior e inferior del horno: 55mm.

Tipo A



Tipo B

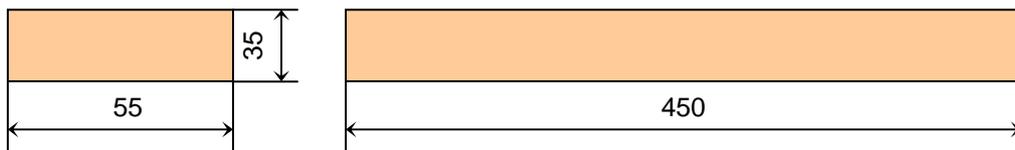
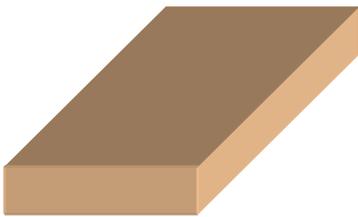


Figura 22 Dimensiones del ladrillo aislante.

4.5.3 PÉRDIDAS DE CALOR POR LAS PAREDES.

Conociendo que la rapidez de la conducción del calor a través de una pared que es:

$$q_k = \frac{A * K}{e} (T_c - T_f) \quad [4.12]$$

Donde:

q_k = Flujo de calor por conducción en Btu/h

A = Área de la sección a través de la cual fluye el calor por conducción en ft^2

K = Conductividad térmica del material en $\text{Btu/h.ft.}^\circ\text{F}$

T_c = Temperatura de la pared caliente en $^\circ\text{F}$.

T_f = Temperatura de la pared fría en $^\circ\text{F}$.

l = Espesor de la pared en ft.

Analizando el circuito térmico figura 25 obtendremos la siguiente ecuación [6]:

$$q = \frac{T_i - T_o}{\sum R_T} \quad [4.13]$$

Siendo:

T_i = Temperatura interior del horno en $^\circ\text{F}$.

T_o = Temperatura exterior del horno en $^\circ\text{F}$.

R = Resistencia térmica en $\text{hr } ^\circ\text{F/Btu}$.

Para calcular el coeficiente de convección utilizaremos las ecuaciones simplificadas, para convección libre a partir de diversas superficies, hacia el aire a presión atmosférica, tomas del texto [7]. Para superficie plano vertical:

$$h_0 = 1.42 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4} \quad [4.14]$$

Para placa horizontal caliente arriba o placa fría hacia abajo:

$$h_0 = 1.32 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4} \quad [4.15]$$

Para palca horizontal caliente hacia abajo o placa fría hacia arriba:

$$h_0 = 0.61 \left(\frac{\Delta T}{L^2} \right)^{1/3} \quad [4.16]$$

Donde:

h_0 = Coeficiente de convección de calor en $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

$\Delta T = T_w - T_\infty$

T_∞ = temperatura del ambiente en $^\circ C$

T_w = temperatura de la pared en $^\circ C$

L = dimensión vertical u horizontal en m.

4.5.3.1 Cálculo de las resistencias térmicas de las paredes laterales.

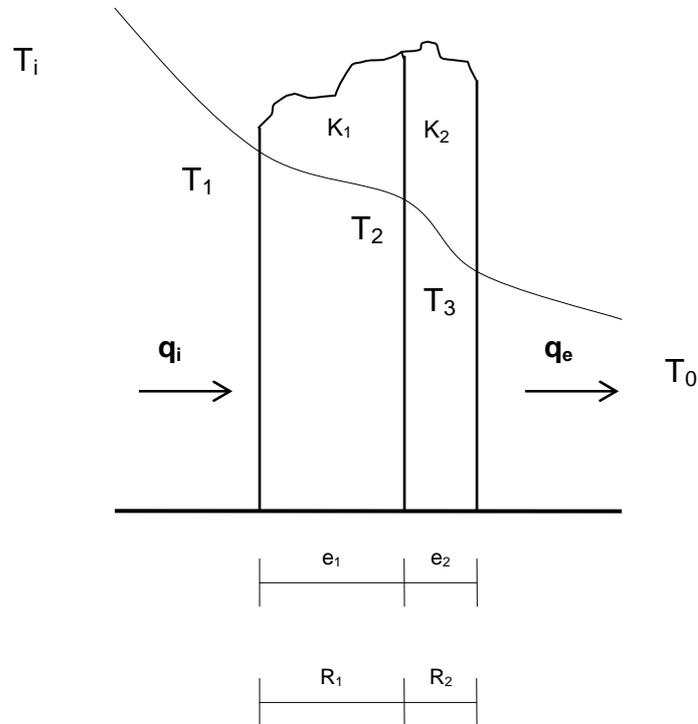


Figura 23 Resistencias térmicas.

Datos:

Longitud $l = 780\text{mm}$.

Altura $a = 640\text{mm}$.

Espesor del ladrillo $e_1 = 115\text{mm}$.

Espesor del aislante $e_2 = 35\text{mm}$.

$T_i = 1000^\circ\text{C}$ (1273°K)

$T_\infty = 15^\circ\text{C}$ (288°K)

$T_o = 25^\circ\text{C}$ (298°K)

$T_w = 250^\circ\text{C}$ (523°K)

$$K_1 = 1.3 \frac{W}{m^{\circ}K}$$

$$K_2 = 0.3 \frac{W}{m^{\circ}K}$$

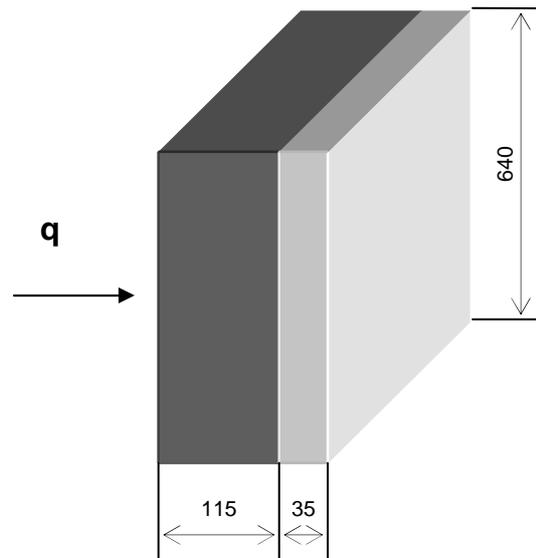


Figura 24 Pared lateral del horno.

$$A_1 = l * a$$

$$A_1 = 780 * 640$$

$$A_1 = 499200 \text{ mm}^2$$

$$A_1 = 0.50 \text{ m}^2$$

Utilizando la ecuación 4.14 y reemplazando datos se encuentra:

$$h_0 = 1.42 \left(\frac{523 - 288}{0.64} \right)^{1/4}$$

$$h_0 = 6.21 \frac{W}{m^2 \text{ } ^{\circ}K}$$

De la ecuación 4.13 se tiene

$$\frac{q_1}{A_1} = \frac{T_i - T_o}{\frac{e_1}{K_1} + \frac{e_2}{K_2} + \frac{1}{h_o}}$$

$$\frac{q_1}{0.50} = \frac{1273 - 298}{\frac{0.115}{1.3} + \frac{0.035}{0.3} + \frac{1}{6.21}}$$

$$q_1 = 1331.96 \text{ W}$$

Como las paredes laterales tienen las mismas dimensiones, y son del mismo material se puede decir que:

$$q_1 = q_2 = 1331.96 \text{ W}$$

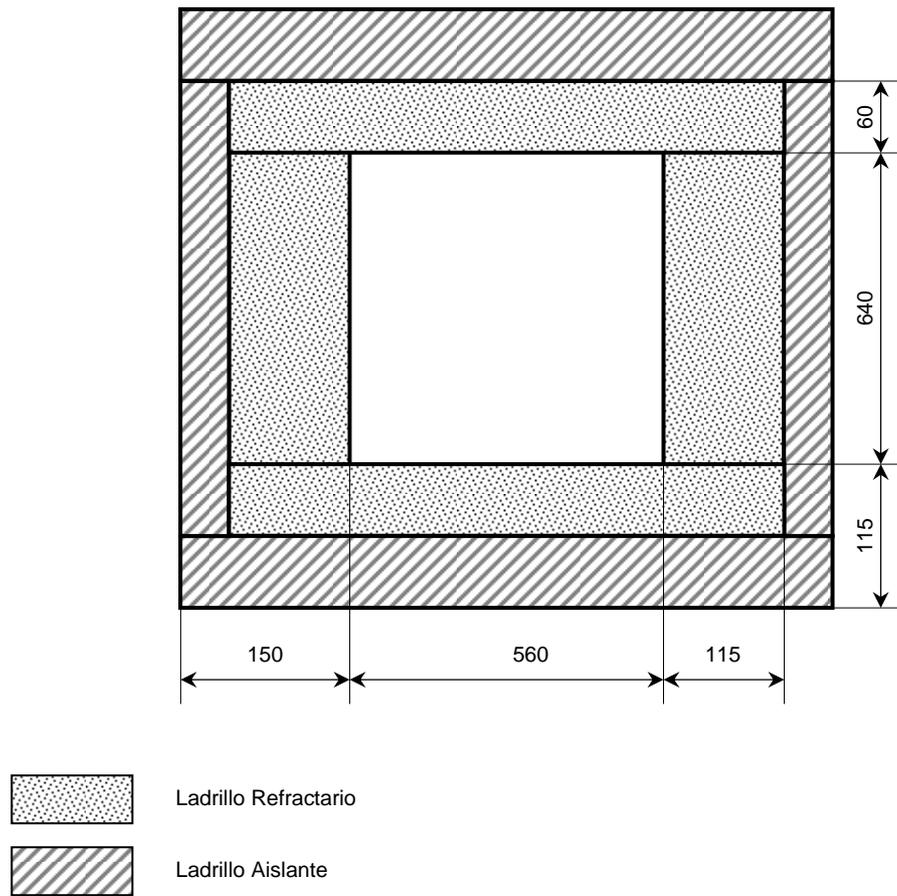


Figura 25 Vista frontal del horno.

4.5.3.2 Cálculo de las resistencias térmicas en la bóveda.

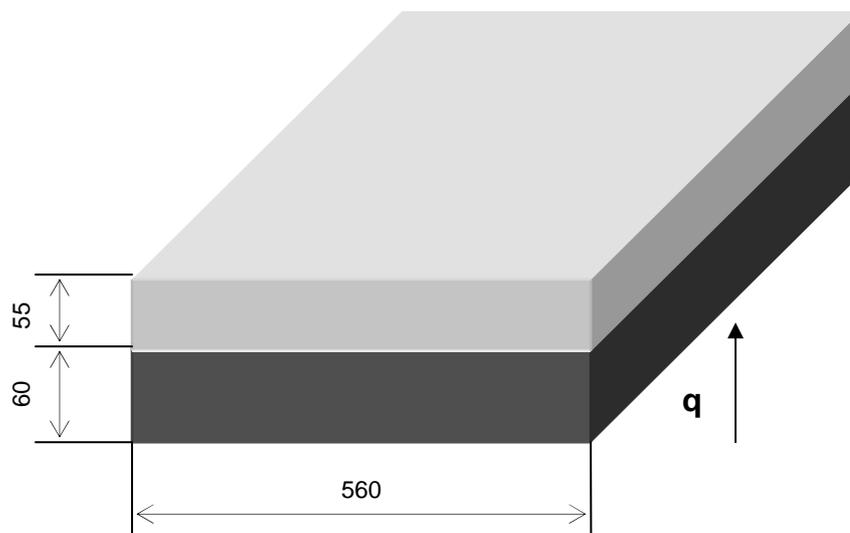


Figura 26 Bóveda del horno.

Datos:

Profundidad $b = 780\text{mm}$.

Longitud $l = 560\text{mm}$.

Espesor del ladrillo $e_1 = 60\text{ mm}$.

Espesor del aislante $e_2 = 55\text{ mm}$.

$$A_3 = l * b$$

$$A_3 = 560 * 780$$

$$A_3 = 436800\text{ mm}^2$$

$$A_3 = 0.44\text{ m}^2$$

$$A_3 = A_4$$

De la ecuación 4.16 se tiene:

$$h_0 = 0.61 \left(\frac{523 - 288}{0.56^2} \right)^{1/3}$$

$$h_0 = 5.540 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K}$$

De la ecuación 4.13 se obtiene la pérdida de calor en la bóveda.

$$\frac{q_3}{A_3} = \frac{T_i - T_o}{\frac{e_1}{K_1} + \frac{e_2}{K_2} + \frac{1}{h_o}}$$

$$\frac{q_3}{0.44} = \frac{1273 - 298}{\frac{0.06}{1.3} + \frac{0.055}{0.3} + \frac{1}{5.540}}$$

$$q_3 = 1046.36\text{ W}$$

De la ecuación 4.15 se tiene:

$$h_0 = 1.32 \left(\frac{523 - 288}{0.56} \right)^{1/4}$$

$$h_0 = 5.97 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

De la ecuación 4.13 se obtiene la pérdida de calor en la solera.

$$\frac{q_4}{A_4} = \frac{T_i - T_o}{\frac{e_1}{K_1} + \frac{e_2}{K_2} + \frac{1}{h_0}}$$

$$\frac{q_4}{0.44} = \frac{1273 - 298}{\frac{0.06}{1.3} + \frac{0.055}{0.3} + \frac{1}{5.97}}$$

$$q_4 = 1080.62 W$$

4.5.3.3 Cálculo de las resistencias térmicas en la parte posterior.

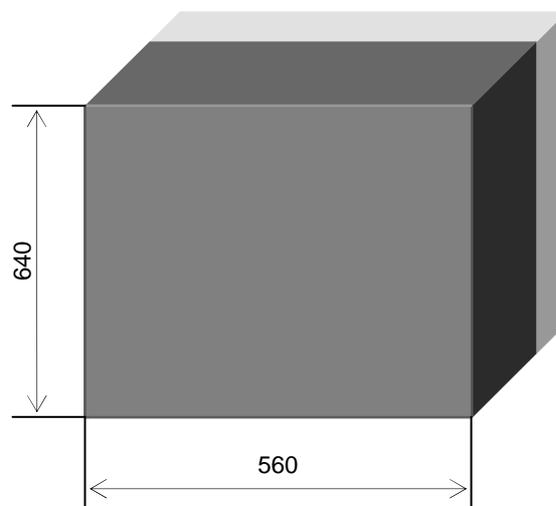


Figura 27 Parte posterior.

Datos:

Longitud $l = 560\text{mm}$.

Altura $a = 640\text{mm}$.

Espesor del ladrillo $e_1 = 115\text{ mm}$.

Espesor del aislante $e_2 = 35\text{ mm}$.

$$A_5 = l * a$$

$$A_5 = 560 * 640$$

$$A_5 = 358400\text{ mm}^2$$

$$A_5 = 0.36\text{ m}^2$$

$$A_5 = A_6$$

Utilizando la ecuación 4.14 y reemplazando datos se encuentra:

$$h_0 = 1.42 \left(\frac{523 - 288}{0.64} \right)^{1/4}$$

$$h_0 = 6.21 \frac{W}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ K}$$

De la ecuación 4.13 se tiene

$$\frac{q_5}{A_5} = \frac{T_i - T_o}{\frac{e_1}{K_1} + \frac{e_2}{K_2} + \frac{1}{h_0}}$$

$$\frac{q_5}{0.36} = \frac{1273 - 298}{\frac{0.115}{1.3} + \frac{0.035}{0.3} + \frac{1}{6.21}}$$

$$q_5 = 958.6W$$

Como la parte posterior y la puerta tienen las mismas dimensiones, y son del mismo material se puede decir que:

$$q_5 = q_6 = 958.6 \text{ W}$$

4.5.4 CÁLCULO DEL CALOR TOTAL PERDIDO [Q_p]

El cálculo de calor total perdido es igual a:

$$Q_p = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6$$

$$q_1 = 1331.96 \text{ W}$$

$$q_2 = 1331.96 \text{ W}$$

$$q_3 = 1046.36 \text{ W}$$

$$q_4 = 1080.62 \text{ W}$$

$$q_5 = 958.6 \text{ W}$$

$$q_6 = 958.6 \text{ W}$$

$$Q_p = 6708.1 \text{ W}$$

$$Q_p = 6.7081 \text{ KW}$$

4.5.5 CÁLCULO DEL CALOR ÚTIL PARA LA COCCIÓN. $[Q_u]$.

$$Q_u = \frac{m * C_p * (T_f - T_o)}{t} \quad [4.17]$$

Donde:

m = Peso del material (arcilla) en Kg.

C_p = Calor específico del material $\text{cal/gr } ^\circ\text{C}$

T_f = Temperatura en le interior del horno $^\circ\text{C}$.

T_o = Temperatura en el ambiente $^\circ\text{C}$.

t = Tiempo h

Datos:

La capacidad máxima que tiene el horno es de $m = 20000$ gr.

Calor específico de la arcilla es de $C_p = 0.37 \text{ cal/gr } ^\circ\text{C}$

$T_f = 1000^\circ\text{C}$

$T_o = 15^\circ\text{C}$

El tiempo necesario para el proceso a desarrollarse es de $t = 1$ h.

$$Q_u = \frac{20000 * 0.37 * (1000 - 15)}{1}$$

$$Q_u = 7289000 \frac{cal}{h}$$

$$Q_u = 7289 \frac{Kcal}{h}$$

$$Q_u = 7289 \frac{Kcal}{h} * \frac{4.184 J}{1 cal} * \frac{1 h}{3600 s}$$

$$Q_u = 8.4714 KW$$

4.5.6 CONSUMO CALORÍFICO DEL HORNO [Q]

$$Q = (\text{Calor total perdido} + \text{Calor útil}) * 1.2 \quad [4.18]$$

Se utiliza un factor de 1.2 por no considerar la pérdida de calor radiación en el cálculo, y por el espesor del latón de la superficie.

$$Q = (Q_p + Q_u) * 1.2$$

$$Q = (6.7081KW + 8.4714KW) * 1.2$$

$$Q = 18.2154KW$$

$$Q = 15672.90 Kcal / hr$$

La eficiencia del horno. [ε] será igual

$$\varepsilon = \frac{\text{Calor útil}}{\text{Calor útil} + \text{Calor total perdido}} \quad [4.19]$$

$$\varepsilon = \frac{8.4714 KW}{(8.4714 + 6.7081)KW} = 55.8\%$$

4.6 CONSUMO DE COMBUSTIBLE.

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

$$\dot{m}_c = \frac{Q}{H_{ci}} \quad [4.20]$$

Donde:

\dot{m}_c = gasto de combustible en Kg_c / h

Q = consumo calórico del horno Kcal. / h

H_{ci} = poder calórico inferior del gas GLP 9785.6 Kcal. / Kg_c

$$\dot{m}_c = \frac{17753.4 \text{ Kcal} / \text{h}}{9785.6 \text{ Kcal} / \text{Kg}_c}$$

$$\dot{m}_c = 1.814 \text{ Kg}_c / \text{hr}$$

El flujo de gas será:

$$\dot{V}_c = \dot{m}_c * v \quad [4.21]$$

Donde:

\dot{V}_c = Flujo de combustible en m³ / h

v = Volumen específico del combustible en m³ / Kg.

Sustituyendo en la ecuación 4.21 tenemos:

$$\dot{V}_c = 1.814 \text{ Kg}_c. / \text{hr} * 0.461 \text{ m}^3 / \text{Kg}.$$

$$\dot{V}_c = 0.836 \text{ m}^3 / \text{h}$$

4.6 CÁLCULO DEL FLUJO DE AIRE Y FLUJO DE LOS PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN.

De la ecuación 4.7 el gasto de aire es:

$$\begin{aligned}\dot{m}_a &= r_{a/c} * \dot{m}_c \\ \dot{m}_a &= 19.37 \frac{Kg_{aire}}{Kg_{combustible}} * 1.814 \frac{Kg_{combustible}}{hr} \\ \dot{m}_a &= 35.13 Kg_{aire} / hr\end{aligned}$$

El Flujo de aire calculamos con la ecuación 4.6

$$\begin{aligned}\dot{V}_a &= \dot{m}_a * v_a \\ \dot{V}_a &= 35.13 * 0.80 \\ \dot{V}_a &= 28.10 m^3 / hr\end{aligned}$$

Con estos datos encontramos el gasto de los productos de la combustión con la ecuación 4.9

$$\begin{aligned}\dot{m}_p &= \dot{m}_a + \dot{m}_c \\ \dot{m}_p &= 35.13 + 1.814 \\ \dot{m}_p &= 36.94 kg / hr\end{aligned}$$

Para determinar el flujo de los productos determinaremos primero la densidad de los mismos que según el texto [5] es:

TABLA IV DENSIDAD DE PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN.

Productos de la combustión	Densidad δ (Kg. / m ³)
CO ₂	1.97
O ₂	1.43
N ₂	1.257
H ₂ O	0.804

$$\begin{aligned}\delta_p &= y_{\text{CO}_2} * \delta_{\text{CO}_2} + y_{\text{O}_2} * \delta_{\text{O}_2} + y_{\text{N}_2} * \delta_{\text{N}_2} + y_{\text{H}_2\text{O}} * \delta_{\text{H}_2\text{O}} \\ \delta_p &= 0.0962 * 1.97 + 0.0394 * 1.43 + 0.7414 * 1.257 + 0.123 * 0.804 \\ \delta_p &= 1.2767 \text{ Kg} / \text{m}^3\end{aligned}$$

De la ecuación 4.8 se tiene que el flujo de los productos es:

$$\begin{aligned}\dot{V}_p &= \frac{\dot{m}_p}{\delta_p} \\ \dot{V}_p &= \frac{36.94}{1.2767} \\ \dot{V}_p &= 28.93 \text{ m}^3 / \text{hr}\end{aligned}$$

De la ecuación 4.10 la cantidad de aire que ingresa en función de la cantidad de combustible que se suministra, es:

$$\begin{aligned}C_a &= \frac{\dot{V}_a}{\dot{m}_c} \\ C_a &= \frac{28.10}{1.814} \\ C_a &= 15.49 \text{ m}^3 / \text{Kg}_c\end{aligned}$$

Utilizando la ecuación 4.11 la cantidad de gases de escape es:

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

$$C_p = \frac{28.93}{1.814}$$

$$C_p = 15.94 \text{ m}^3 / \text{kg}_c$$

CAPÍTULO V.

5. PLANIFICACIÓN DE LA REHABILITACIÓN Y MONTAJE DEL HORNO

5.1 PROGRAMACIÓN.

5.1.1 CRONOGRAMA DE REHABILITACIÓN.

Mediante el diagrama de Gantt, utilizando el programa Microsoft Project 2000 se presenta el cronograma de la programación general de la rehabilitación del horno a gas para cerámica (apéndice 1), así como en otro la reconstrucción y montaje (apéndice 2). En estos diagramas se va a mostrar de manera detallada y en orden las actividades principales acompañadas de su tiempo de ejecución.

5.2 DISEÑO DE LOS QUEMADORES.

Se conoce que el horno va a llegar a una temperatura de 1000°C , es por eso, que al quemador se le ha hecho una adaptación de un cilindro hueco de acero inoxidable, en donde se aportará oxígeno a través de un ventilador para obtener en los productos de la combustión una llama de mayor intensidad. (apéndice 3)



5.3 SELECCIÓN DE ACCESORIOS.

5.3.1 Selección del ventilador.

Para la selección del ventilador necesitamos conocer el consumo de aire, que está calculado en el capítulo 4, y que es igual a $28.10 \text{ m}^3/\text{h}$, del catálogo ventiladores CHUANFAN de fabricación China, (apéndice 4) facilitado por el

distribuidor se ha seleccionado el siguiente ventilador con las siguientes características.



BLOWER

Model: TF-125

Frecuencia: 50/60Hz

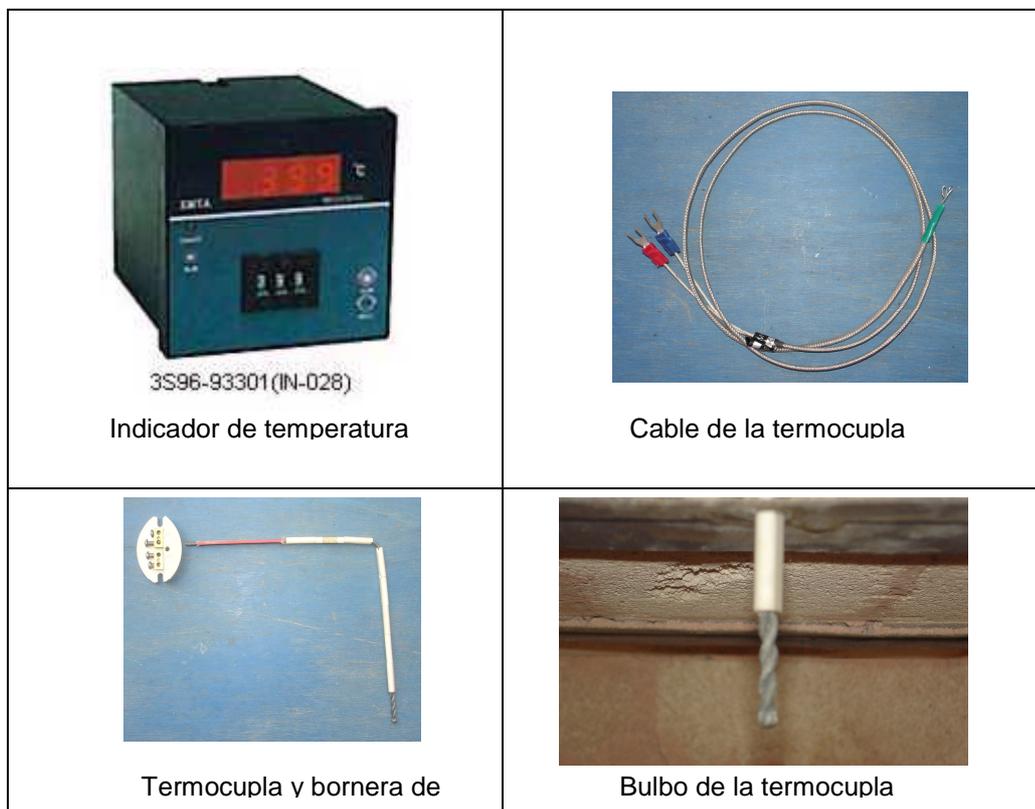
Diámetro: 3in.

HP: ½

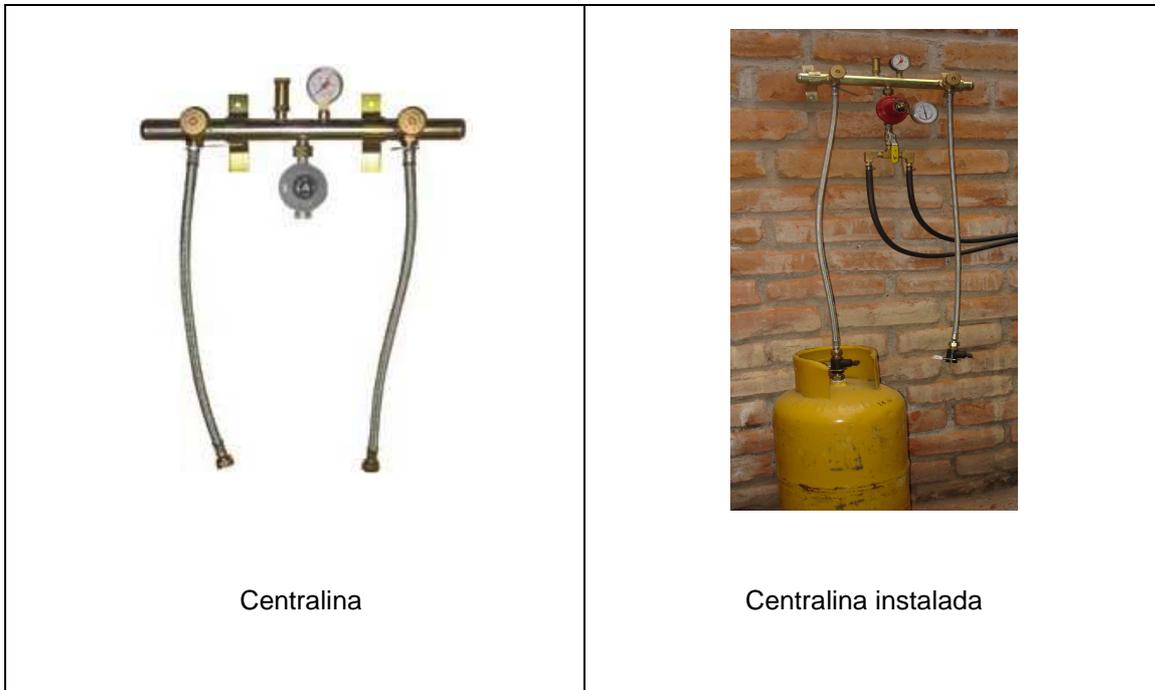
5.3.2 Selección de la termocupla e indicador de temperatura.

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 1000 °C. De acuerdo con el código internacional de colores para termocuplas (apéndice 5) 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 va a ser de 150 a 1100° 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, en el catálogo (apéndice 6) el modelo que se ajusta a la termocupla tipo K es 3S96-93301(IN-028).



5.3.3 Selección de la centralina.



La centralina que se considero para el equipo tiene que ver directamente con el número de quemadores que se tiene en este caso dos, y la presión de trabajo, con la que va ha funcionar el cilindro de gas GLP tiene una presión de 70 psi (4.83 bar.), y la centralina de fabricación italiana de marca LIQUIGAS es la que se ajusta a las necesidades de trabajo puesto que tiene los siguientes parámetros el rango de presión con el que trabaja es de 0-25bar, dos entradas de cilindros , una válvula de seguridad.(apéndice 7)

5.3.4 Selección de válvula de regulación de presión.



Se selecciono el regulador de presión marca REGO 597FA debido a que, se quiere mantener una presión de trabajo de 0-15 psi para cumplir con las normas INEN de operación de artefactos industriales con gas. (apéndice 8)

5.3.5 Selección de Tubería.

Tubería del combustible.

Tubería flexible.

El diámetro de la tubería es de $\frac{1}{4}$ in y la presión de trabajo es de máximo 15psi con estos parámetros se escogió la tubería flexible de polietileno SDR 11 de fabricación Llobera Gas (apéndice 9)



Tubería rígida.

Para la entrada al quemador se necesita utilizar tubería rígida se escogió la de cobre y un diámetro de $\frac{1}{16}$ in. (apéndice 10)



5.3.6 Ductos de aire.

La entrada del ventilador al cilindro hueco del quemador tiene un diámetro interior de 3 in del catálogo ASECOS (apéndice 11) se determino el ducto de tipo EHK1434



5.3.7 Selección de válvulas de paso.

Se considero una válvula de bola de marca ESA PYRONICS, de 1/4 in, la cual tiene características que se busca (apéndice 12)



5.4 EXPERIMENTACIÓN DEL EQUIPO.

5.4.1 PRUEBAS DEL EQUIPO.

Se va a llevar a cabo la parte experimental, en donde verificamos el buen funcionamiento, del equipo antes de que entre en marcha por el operario, además se verificará el porcentaje de eficiencia del equipo.

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 una presión de 3 psi. y posteriormente se obtuvieron las curvas con 8 psi. se asumió estos valores aleatoriamente teniendo en cuenta el rango del trabajo del equipo que es de 1-15 psi.

5.4.1.1 Curva tiempo-temperatura de operación del horno.

A una presión constante de 3psi.

Tiempo (min.)	Temperatura (°C)
0	14
5	516
10	580
15	630
20	658
25	692
30	714
35	731
40	745
45	772
50	788
55	788
60	794
65	803
70	807
75	819
80	833
85	845
90	850

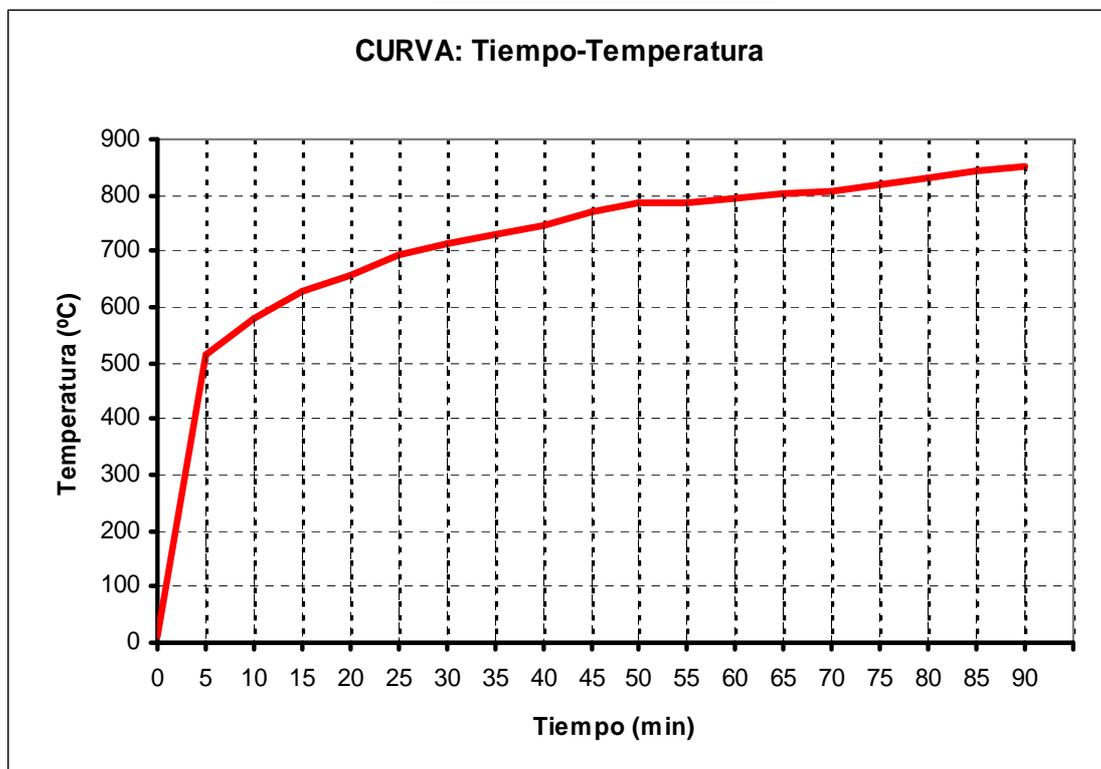


Figura 28

A una presión constante de 8psi.

Tiempo (min.)	Temperatura (°C)
0	14
5	645
10	710
15	770
20	826
25	869
30	905
35	934
40	968
45	988
50	1007
60	831
61	797
63	744
65	685
69	615
70	591

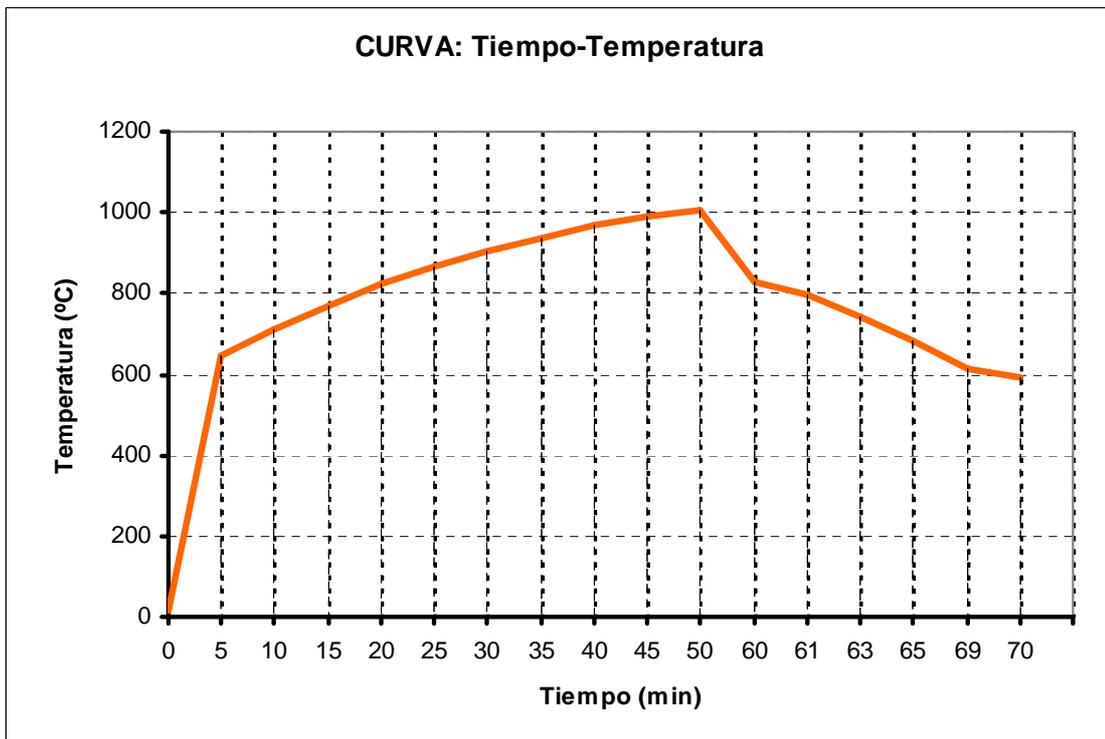


Figura 29

5.4.1.3 Curva tiempo-consumo de operación del horno.

A presión constante de 3 psi.

Tiempo (min.)	Consumo (kg.)
0	14,6
25	14
50	13,5
75	13
100	12,5
125	12
150	11,5
175	11

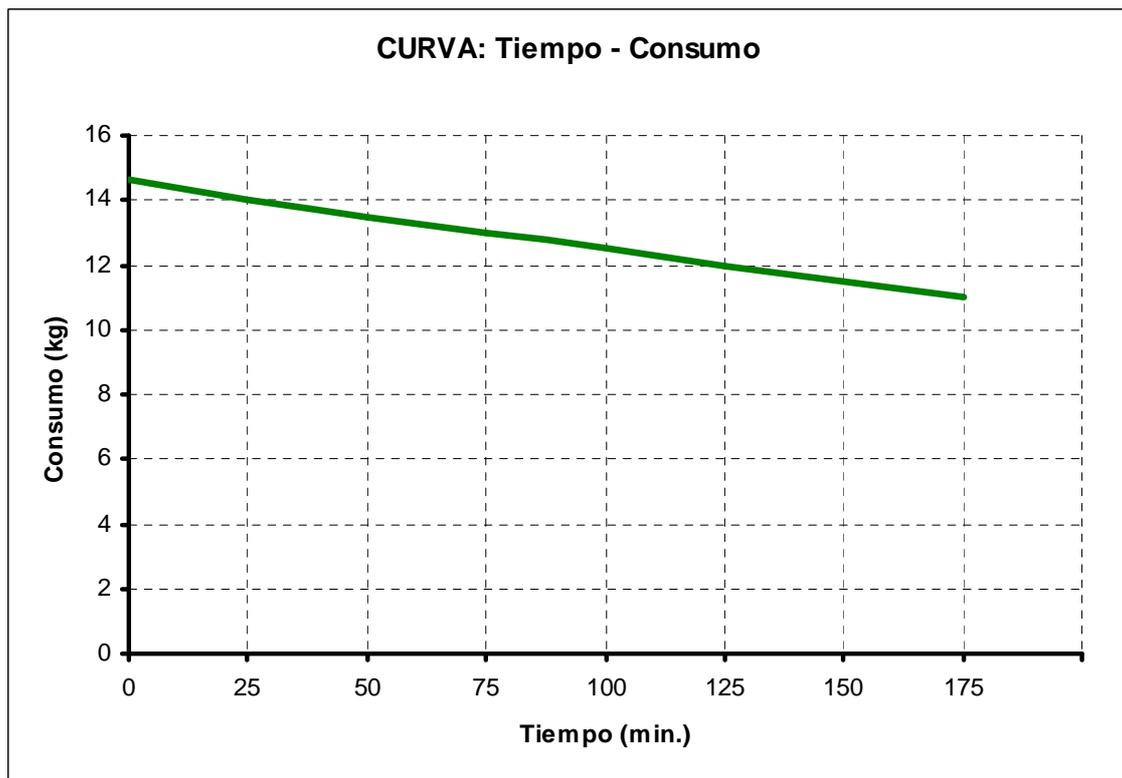


Figura 30

A una presión constante de 8 psi.

Tiempo (min.)	Consumo (Kg.)
0	14,6
25	13,5
50	12,6
75	11,4
100	10,3
125	9,4

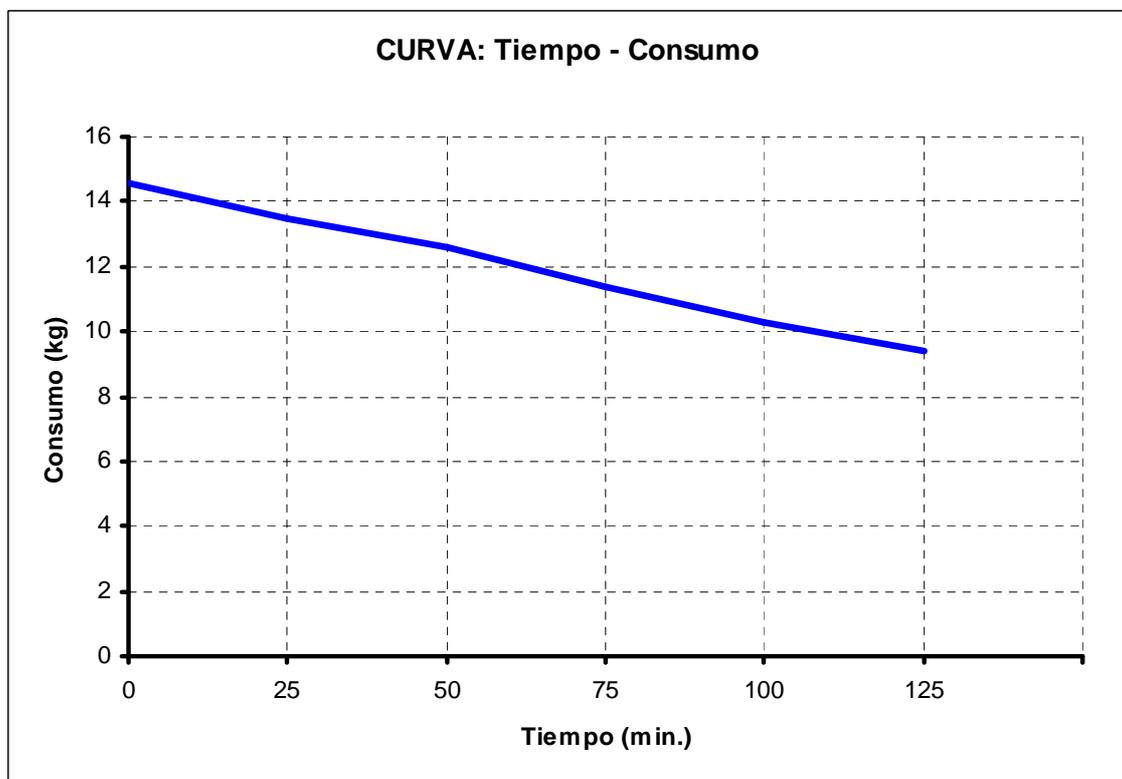


Figura 31

5.4.1.3 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 mas bajos hasta alcanzar su punto máximo, dependiendo de la presión con la que se este trabajando, y una tercera zona de enfriamiento que se tiene cuando los quemadores dejan de funcionar y son apagados 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 ocurre el mismo efecto del calentamiento.

Haciendo una comparación de las dos experiencias la primera realizada con una presión de 3psi. en un tiempo de 50 minutos no se alcanzo la temperatura de 1000° C, pero con 8 psi en el mismo intervalo de tiempo se llego a esa temperatura.

Antes de analizar la curva tiempo-consumo se tiene que mencionar que cada quemador tiene independiente su cilindro de gas GLP que lo alimenta, y para la obtención de esta curva se mantuvieron sobre balanzas diferentes los dos cilindros, mientras el equipo operaba. Como primera cosa se puede decir que no se grafico una curva diferente para cada quemador puesto que el registro que presentaron en kilogramos fue muy semejante.

Una conclusión importante es que el gasto de combustible depende de la presión de trabajo, con 3psi. el consumo total del combustible, es de 10 horas y con 8 psi es de 6 horas, hay que destacar también que el aumento de la temperatura depende la presión de trabajo y el aporte de aire que contribuyen los ventiladores.

5.4.2 GUÍA DE FUNCIONAMIENTO.

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

1. Se acciona el switch de energía eléctrica.
2. Se enciende el indicador de temperatura y censamos el mismo, al valor que deseemos llegar que no debe exceder los 1000°C.
3. Se abre las válvulas de los dos cilindros.
4. En la centralina existen dos válvulas de globo que tienen que estar totalmente abiertas.
5. Para el encendido de los quemadores se necesita que la válvula reguladora de presión, este en un valor bajo.
6. Se moviliza la válvula general que esta conectada a la salida de la válvula reguladora de presión.

7. Se acerca el chispero a la salida de los quemadores.
8. Se da apertura la válvula principal del primer quemador, que se encuentra en la parte posterior dejamos que fluya una pequeña cantidad de gas y acercamos el chispero, una vez que se forma la llama, realizamos el mismo proceso para el segundo quemador.
9. Se acciona el switch de cada ventilador para su respectivo quemador y regulamos la cantidad de aire necesario para que se forme un color de llama azul.
10. Se cierra las puertas y observamos por la mirilla a la llama si hace falta mayor cantidad de aire lo suministramos puesto que los switch son variables y podemos aumentar la presión con la válvula reguladora de presión si es necesario.
11. Cuando el indicador de temperatura llegue al valor deseado se activa un timbre el cual alertara al operario para que este proceda ha controlar la temperatura, quitando el suministro de combustible y apagar los ventiladores.
12. Para mantener por algún tiempo la temperatura en valor requerido debemos variar el flujo de aire de los ventiladores y la presión del combustible.

13. Cuando ya se ha terminado el proceso de cocción cerramos las válvulas de cada quemador, y apagamos los ventiladores, hasta que se enfríe el horno a una temperatura de 50°C, que no resulta peligroso para el operador y va poder abrir las puertas.
14. Verificar que todo este apagado y cerrado debidamente para evitar contratiempos.

5.4.4 MANTENIMIENTO DEL EQUIPO.

En la práctica es imposible encontrar un equipo que no necesite mantenimiento, es así que para producir o fabricar se requieren de máquinas o equipos que con la acción del tiempo y del uso están sujetos a un proceso irreversible de desgaste, de envejecimiento y a una degradación de la eficiencia técnica. Por tanto para aliviar estos males inevitables se requerirá asociar la vida del equipo con el mantenimiento [5].

En este caso se va ha considerar un mantenimiento preventivo de corto y largo plazo para el equipo.

5.4.4.1 Mantenimiento preventivo corto plazo.

Se estima la frecuencia de uso del equipo tres veces por semana, es así que se necesita realizar las siguientes actividades:

- Inspeccionar las instalaciones de gas y eléctricas.
- Revisar que la termocupla este en buen estado, y no haya sufrido ningún desgaste.
- Probar los ventiladores estén funcionando adecuadamente.
- Examinar que las abrazaderas de los ductos no estén rotas.
- Limpieza del equipo, es importante no dejar residuos de la materia prima dentro del horno porque desgasta más rápidamente el ladrillo refractario.

5.4.4.2 Mantenimiento preventivo largo plazo.

Este tipo de mantenimiento se debe hacer cada dos años.

- Supervisar la estructura del horno, especialmente de los dispositivos de suspensión de la bóveda, que no sufran ningún tipo de deterioro.

- Cuando los ladrillos refractarios sufran desmoronamientos, es necesario rellenarlos con mortero.
- Cambiar el ladrillo aislante, cuando su vida útil haya llegado a su fin.
- En los quemadores es importante limpiar los inyectores para generar una llama óptima.
- Es necesario lubricar las puertas con engrasante.

CAPÍTULO VI.

6. ANÁLISIS ECONÓMICO.

6.1 PRESUPUESTO.

A continuación se presenta los resultados de costos directos y costos indirectos del proyecto de tesis con la ayuda del software Microsoft APU95D.

PRECIOS UNITARIOS DEL PRESUPUESTO				
COD.	ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	EXISTE
A1	1	ESTRUCTURA	U	
A2	2	QUEMADORES	U	
A3	3	CUBIERTA	U	
A4	4	DUCTOS	U	
A5	5	SISTEMA DE CONDUCCION	U	
A6	6	INSTRUMENTOS MEDIDA	U	
A7	7	INSTALACION ELECTRICA	U	
A8	8	ACABADOS	U	

6.1.1 Estructura.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA			UNIDAD: U	
RUBRO: ESTRUCTURA			CODIGO: A1	
ESPEC:				
A.- M A T E R I A L E S	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	SUBTOTAL
PERFIL L 1 1/2 x 1/4 in	M	2	4.00	8.00
PLATINA 1 1/2 X 5 mm	M	3	3.00	9.00
ELECTRODOS 6010	Kg	0.5	12.00	6.00
Subtotal Materiales				23.00
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				97.17
COSTOS INDIRECTOS 25 %				24.29
PRECIO UNITARIO				121.46

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA			UNIDAD: U	
RUBRO: ESTRUCTURA			CODIGO: A1	
ESPEC:				
B.- MAQUIN. Y HERRAMIENTAS		HORAS-EQUIPO	COSTO / HORA	SUBTOTAL
SOLDADORA ELECTRICA 220 VOLT		2	10.00	20.00
MOLADORA		3	2.00	6.00
Subtotal Equipo				26.00
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				97.17
COSTOS INDIRECTOS 25 %				24.29
PRECIO UNITARIO				121.46

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA			UNIDAD: U	
RUBRO: ESTRUCTURA			CODIGO: A1	
ESPEC:				
C.- MANO DE OBRA	CATEG.	HORAS-HOMBRE	SAL. REAL/HORA	SUBTOTAL
MECANICO SOLDADOR	1	4	7.58	30.32
AYUDANTE MECANICO	3	3	4.28	12.84
Subtotal Mano de Obra				43.16
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				97.17
COSTOS INDIRECTOS 25 %				24.29
PRECIO UNITARIO				121.46

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA			UNIDAD: U	
RUBRO: ESTRUCTURA			CODIGO: A1	
ESPEC:				
D.- TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TRANSP	SUBTOTAL
PERFIL L 1 1/2 x 1/4 in	M	2	1.00	2.00
PLATINA 1 1/2 x 5 mm	M	3	1.00	3.00
ELECTRODOS 6010	Kg	0.5	0.02	0.01
Subtotal Transporte				5.01
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				97.17
COSTOS INDIRECTOS 25 %				24.29
PRECIO UNITARIO				121.46

6.1.2 Quemadores.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA				UNIDAD: U
RUBRO: QUEMADORES				CODIGO: A2
ESPEC:				
A.- MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	SUBTOTAL
ACERO INOXIDABLE	plach	0.25	17.50	4.38
VENTILADOR	U	1	35.00	35.00
Subtotal Materiales				39.38
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				107.27
COSTOS INDIRECTOS 25 %				26.82
PRECIO UNITARIO				134.08

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA				UNIDAD: U
RUBRO: QUEMADORES				CODIGO: A2
ESPEC:				
B.- MAQUIN. Y HERRAMIENTAS		HORAS-EQUIPO	COSTO / HORA	SUBTOTAL
SUELDA AUTOGENA		4	5.00	20.00
MOLADORA		3	2.00	6.00
BAROLADORA		2	10.00	20.00
TALADRO		2	2.00	4.00
MARTILLO		1	1.00	1.00
Subtotal Equipo				51.00
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				107.27
COSTOS INDIRECTOS 25 %				26.82
PRECIO UNITARIO				134.08

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA				UNIDAD: U
RUBRO: QUEMADORES				CODIGO: A2
ESPEC:				
C.- MANO DE OBRA	CATEG.	HORAS-HOMBRE	SAL. REAL/HORA	SUBTOTAL
MECANICO SOLDADOR	1	1	7.58	7.58
AYUDANTE MECANICO	3	2	4.28	8.56
Subtotal Mano de Obra				16.14
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				107.27
COSTOS INDIRECTOS 25 %				26.82
PRECIO UNITARIO				134.08

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA			UNIDAD: U	
RUBRO: QUEMADORES			CODIGO: A2	
ESPEC:				
D.- TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TRANSP	SUBTOTAL
ACERO INOXIDABLE	plach	0.25	1.00	0.25
VENTILADOR	U	1	0.50	0.50
Subtotal Transporte				0.75
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				107.27
COSTOS INDIRECTOS 25 %				26.82
PRECIO UNITARIO				134.08

6.1.3 Cubierta.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA			UNIDAD: U	
RUBRO: CUBIERTA			CODIGO: A3	
ESPEC:				
A.- MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	SUBTOTAL
TOL 1/25 in	plcha	0.25	25.00	6.25
TORNILLOS	U	50	0.10	5.00
PERNOS	U	12	0.10	1.20
Subtotal Materiales				12.45
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				44.78
COSTOS INDIRECTOS 25 %				11.20
PRECIO UNITARIO				55.98

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA			UNIDAD: U	
RUBRO: CUBIERTA			CODIGO: A3	
ESPEC:				
B.- MAQUIN. Y HERRAMIENTAS		HORAS-EQUIPO	COSTO / HORA	SUBTOTAL
DOBLADORA		1	10.00	10.00
TALADRO		3	2.00	6.00
MOLADORA		1	2.00	2.00
Subtotal Equipo				18.00
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				44.78
COSTOS INDIRECTOS 25 %				11.20
PRECIO UNITARIO				55.98

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA				UNIDAD: U
RUBRO: CUBIERTA				CODIGO: A3
ESPEC:				
C.- MANO DE OBRA	CATEG.	HORAS-HOMBRE	SAL.REAL/HORA	SUBTOTAL
AYUDANTE MECANICO	3	3	4.28	12.84
Subtotal Mano de Obra				12.84
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				44.78
COSTOS INDIRECTOS 25 %				11.20
PRECIO UNITARIO				55.98

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA				UNIDAD: U
RUBRO: CUBIERTA				CODIGO: A3
ESPEC:				
D.- TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TRANSP	SUBTOTAL
TOL 1/25 in	plcha	0.25	1.00	0.25
TORNILLOS	U	50	0.02	1.00
PERNOS	U	12	0.02	0.24
Subtotal Transporte				1.49
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				44.78
COSTOS INDIRECTOS 25 %				11.20
PRECIO UNITARIO				55.98

6.1.4 Ductos.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA				UNIDAD: U
RUBRO: DUCTOS				CODIGO: A4
ESPEC:				
A.- MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	SUBTOTAL
DUCTOS DE PROTECCION	M	10	1.00	10.00
TUBERIA FLEXIBLE	M	12	2.00	24.00
TUBERIA DE COBRE	M	2	1.00	2.00
TUBERIA VENTILADOR	M	1	2.00	2.00
Subtotal Materiales				38.00
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				59.62
COSTOS INDIRECTOS 25 %				14.91
PRECIO UNITARIO				74.53

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA				UNIDAD: U
RUBRO: DUCTOS				CODIGO: A4
ESPEC:				
B.- MAQUIN. Y HERRAMIENTAS		HORAS-EQUIPO	COSTO / HORA	SUBTOTAL
SIERRA DE MANO		2	1.50	3.00
DESTORNILLADOR		1	1.00	1.00
Subtotal Equipo				4.00
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				59.62
COSTOS INDIRECTOS 25 %				14.91
PRECIO UNITARIO				74.53

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA				UNIDAD: U
RUBRO: DUCTOS				CODIGO: A4
ESPEC:				
C.- MANO DE OBRA	CATEG.	HORAS-HOMBRE	SAL.REAL/HORA	SUBTOTAL
AYUDANTE MECANICO	3	4	4.28	17.12
Subtotal Mano de Obra				17.12
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				59.62
COSTOS INDIRECTOS 25 %				14.91
PRECIO UNITARIO				74.53

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA				UNIDAD: U
RUBRO: DUCTOS				CODIGO: A4
ESPEC:				
D.- TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TRANSP	SUBTOTAL
DUCTOS DE PROTECCION	M	10	0.02	0.20
TUBERIA FLEXIBLE	M	12	0.02	0.24
TUBERIA DE COBRE	M	2	0.02	0.04
TUBERIA VENTILADOR	M	1	0.02	0.02
Subtotal Transporte				0.50
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				59.62
COSTOS INDIRECTOS 25 %				14.91
PRECIO UNITARIO				74.53

6.1.5 Sistema de conducción.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA				UNIDAD: U
RUBRO: SISTEMA DE CONDUCCION				CODIGO: A5
ESPEC:				
A.- MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	SUBTOTAL
CILINDROS DE GAS	U	2	50.00	100.00
CENTRALINA	U	1	150.00	150.00
REGULADOR DE PRESION	U	1	40.00	40.00
VALVULA DE BOLA	U	3	6.00	18.00
CODOS DE 90	U	2	1.00	2.00
ADAPTACION EN T	U	1	2.00	2.00
ABRAZADERAS	U	5	0.30	1.50
TEFLON	U	1	1.00	1.00
Subtotal Materiales				314.50
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				350.52
COSTOS INDIRECTOS 25 %				87.63
PRECIO UNITARIO				438.15

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA				UNIDAD: U
RUBRO: SISTEMA DE CONDUCCION				CODIGO: A5
ESPEC:				
B.- MAQUIN. Y HERRAMIENTAS		HORAS-EQUIPO	COSTO / HORA	SUBTOTAL
TALADRO		1	2.00	2.00
SIERRA DE MANO		1	1.50	1.50
ENTENALLA		1	1.50	1.50
LLAVE INGLESA		1	0.50	0.50
LLAVE DE TUBO		1	0.50	0.50
DESTORNILLADOR		1	1.00	1.00
Subtotal Equipo				7.00
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				350.52
COSTOS INDIRECTOS 25 %				87.63
PRECIO UNITARIO				438.15

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA				UNIDAD: U
RUBRO: SISTEMA DE CONDUCCION				CODIGO: A5
ESPEC:				
C.- MANO DE OBRA	CATEG.	HORAS-HOMBRE	SAL. REAL/HORA	SUBTOTAL
AYUDANTE MECANICO	3	6	4.28	25.68
Subtotal Mano de Obra				25.68
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				350.52
COSTOS INDIRECTOS 25 %				87.63
PRECIO UNITARIO				438.15

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA			UNIDAD: U	
RUBRO: SISTEMA DE CONDUCCION			CODIGO: A5	
ESPEC:				
D.- TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TRANSP	SUBTOTAL
CILINDROS DE GAS	U	2	1.00	2.00
CENTRALINA	U	1	0.10	0.10
REGULADOR DE PRESION	U	1	1.00	1.00
VALVULA DE BOLA	U	3	0.02	0.06
CODOS DE 90	U	2	0.02	0.04
ADAPTACION EN T	U	1	0.02	0.02
ABRAZADERAS	U	5	0.02	0.10
TEFLON	U	1	0.02	0.02
Subtotal Transporte				3.34
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				350.52
COSTOS INDIRECTOS 25 %				87.63
PRECIO UNITARIO				438.15

6.1.6 Instrumentos de medida.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA			UNIDAD: U	
RUBRO: INSTRUMENTOS MEDIDA			CODIGO: A6	
ESPEC:				
A.- MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	SUBTOTAL
INDICADOR DIGITAL DE TEMP	U	1	8.00	8.00
TERMOCUPLA	U	1	7.00	7.00
MANOMETRO	U	2	1.00	2.00
Subtotal Materiales				17.00
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				33.61
COSTOS INDIRECTOS 25 %				8.40
PRECIO UNITARIO				42.01

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA			UNIDAD: U	
RUBRO: INSTRUMENTOS MEDIDA			CODIGO: A6	
ESPEC:				
B.- MAQUIN. Y HERRAMIENTAS		HORAS-EQUIPO	COSTO / HORA	SUBTOTAL
TALADRO		1	2.00	2.00
MARTILLO		1	1.00	1.00
DESTORNILLADOR		1	1.00	1.00
LLAVE INGLESA		1	0.50	0.50
ENTENALLA		1	1.50	1.50
Subtotal Equipo				6.00
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				33.61
COSTOS INDIRECTOS 25 %				8.40
PRECIO UNITARIO				42.01

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA			UNIDAD: U	
RUBRO: INSTRUMENTOS MEDIDA			CODIGO: A6	
ESPEC:				
C.- MANO DE OBRA	CATEG.	HORAS-HOMBRE	SAL.REAL/HORA	SUBTOTAL
AYUDANTE MECANICO	3	2	4.28	8.56
Subtotal Mano de Obra				8.56
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				33.61
COSTOS INDIRECTOS 25 %				8.40
PRECIO UNITARIO				42.01

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA			UNIDAD: U	
RUBRO: INSTRUMENTOS MEDIDA			CODIGO: A6	
ESPEC:				
D.- TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TRANSP	SUBTOTAL
INDICADOR DIGITAL DE TEMP	U	1	0.05	0.05
TERMOCUPLA	U	1	1.00	1.00
MANOMETRO	U	2	0.5	1.00
Subtotal Transporte				2.05
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				33.61
COSTOS INDIRECTOS 25 %				8.40
PRECIO UNITARIO				42.01

6.1.7 Instalación eléctrica.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA			UNIDAD: U	
RUBRO: INSTALACION ELECTRICA			CODIGO: A7	
ESPEC:				
A.- MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	SUBTOTAL
ALAMBRE No14	M	8	0.25	2.00
ALAMBRE No16	M	12	0.20	2.40
CAJETIN DE SWITCH	U	1	10.00	10.00
SWITCH	U	1	8.00	8.00
CANALETA DE CONTACTOS	U	1	1.00	1.00
DIMER	U	2	3.00	6.00
INTERRUPTOR ON / OFF	U	1	1.00	1.00
ALARMA SONORA	U	1	12.00	12.00
TAIPE	U	1	1.00	1.00
Subtotal Materiales				43.40
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				74.50
COSTOS INDIRECTOS 25 %				18.63
PRECIO UNITARIO				93.13

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA			UNIDAD: U	
RUBRO: INSTALACION ELECTRICA			CODIGO: A7	
ESPEC:				
B.- MAQUIN. Y HERRAMIENTAS		HORAS-EQUIPO	COSTO / HORA	SUBTOTAL
PLAYO		0.5	1.00	0.50
PINZAS		0.5	1.00	0.50
ESTILETE		0.5	0.20	0.10
ARMADORES		1	1.00	1.00
PELADOR DE CABLES		1	1.50	1.50
MULTIMETRO		1	5.00	5.00
Subtotal Equipo				8.60
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				74.50
COSTOS INDIRECTOS 25 %				18.63
PRECIO UNITARIO				93.13

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA			UNIDAD: U	
RUBRO: INSTALACION ELECTRICA			CODIGO: A7	
ESPEC:				
C.- MANO DE OBRA	CATEG.	HORAS-HOMBRE	SAL.REAL/HORA	SUBTOTAL
AYUDANTE ELECTRICO	3	5	4.28	21.40
Subtotal Mano de Obra				21.40
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				74.50
COSTOS INDIRECTOS 25 %				18.63
PRECIO UNITARIO				93.13

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA			UNIDAD: U	
RUBRO: INSTALACION ELECTRICA			CODIGO: A7	
ESPEC:				
D.- TRANSPORTE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TRANSP	SUBTOTAL
ALAMBRE No14	M	8	0.02	0.16
ALAMBRE No16	M	12	0.02	0.24
CAJETIN DE SWITCH	U	1	0.05	0.05
SWITCH	U	1	0.5	0.50
CANALETA DE CONTACTOS	U	1	0.02	0.02
DIMER	U	2	0.02	0.04
INTERRUPTOR ON / OFF	U	1	0.02	0.02
ALARMA SONORA	U	1	0.05	0.05
TAIPE	U	1	0.02	0.02
Subtotal Transporte				1.10
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				74.50
COSTOS INDIRECTOS 25 %				18.63
PRECIO UNITARIO				93.13

6.1.8 Acabados.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA				UNIDAD: U
RUBRO: ACABADOS				CODIGO: A8
ESPEC:				
A.- MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	SUBTOTAL
PINTURAS	LT	2	10.00	20.00
LIJA	U	1	1.00	1.00
TIRAS PALSTICAS	U	10	0.12	1.20
TIÑER	LT	2	2.00	4.00
Subtotal Materiales				26.20
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				87.02
COSTOS INDIRECTOS 25 %				21.76
PRECIO UNITARIO				108.77

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA				UNIDAD: U
RUBRO: ACABADOS				CODIGO: A8
ESPEC:				
B.- MAQUIN. Y HERRAMIENTAS		HORAS-EQUIPO	COSTO / HORA	SUBTOTAL
COMPRESOR		2	25.00	50.00
TALADRO		0.5	2.00	1.00
Subtotal Equipo				51.00
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				87.02
COSTOS INDIRECTOS 25 %				21.76
PRECIO UNITARIO				108.77

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA				UNIDAD: U
RUBRO: ACABADOS				CODIGO: A8
ESPEC:				
C.- MANO DE OBRA	CATEG.	HORAS-HOMBRE	SAL. REAL/HORA	SUBTOTAL
AYUDANTE MECANICO	3	2	4.28	8.56
Subtotal Mano de Obra				8.56
COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D)				87.02
COSTOS INDIRECTOS 25 %				21.76
PRECIO UNITARIO				108.77

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO: REHABILITACION DE UN HORNO A GAS PARA CERAMICA			UNIDAD: U	
RUBRO: ACABADOS			CODIGO: A8	
ESPEC:				
D.- T R A N S P O R T E	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TRANSP	SUBTOTAL
PINTURAS	LT	2	0.02	0.04
LIJA	U	1	0.02	0.02
TIRAS PALSTICAS	U	10	0.02	0.20
TIÑER	LT	2	0.5	1.00
Subtotal Transporte				1.26
COSTOS DIRECTOS <A+B+C+D>				87.02
COSTOS INDIRECTOS 25 %				21.76
PRECIO UNITARIO				108.77

6.2 COSTO TOTAL DEL EQUIPO.

P R E S U P U E S T O					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT	PRECIO TOTAL
1	ESTRUCTURA	U	1	121.46	121.46
2	QUEMADORES	U	1	134.08	134.08
3	CUBIERTA	U	1	55.98	55.98
4	DUCTOS	U	1	74.53	74.53
5	SISTEMA DE CONDUCCION	U	1	438.15	438.15
6	INSTRUMENTOS MEDIDA	U	1	42.01	42.01
7	INSTALACION ELECTRICA	U	1	93.12	93.12
8	ACABADOS	U	1	108.78	108.78
Esc = Salir				TOTAL=	1,068.11

Son: Mil sesenta y ocho dólares americanos con once centavos.

CAPÍTULO VII.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES.

- El equipo se encuentra funcionando y trabajando con normalidad en el proceso de fabricación de piezas de cerámica, en la escuela fiscal artesanal Fernando Daquilema comunidad de Shilpalá, parroquia Cacha.
- La producción en área de alfarería, se ha reactivado puesto que ahora cuentan con el soporte técnico del caso, es decir se ha rehabilitado un horno a gas para cerámica, que presta las garantías para los requerimientos que se necesita.
- Se pudo obtener la temperatura deseada (1000°C) mejorando el diseño de los quemadores, antes eran necesarios cuatro quemadores ahora se esta utilizando dos, que funcionan de manera independiente el uno del otro.
- Existe la posibilidad de poder controlar de manera manual un rango de temperatura de 0 hasta los 1000°C, a mayor presión de trabajo del equipo, obtenemos una llama de mayor potencia y de un color azul intenso, con los dos ventiladores instalados uno para cada quemador, y con su flujo variable controlado por dimers, se aporta gradualmente el aire, a la combustión, brindándonos posibilidades de mayor intensidad de llama, según se necesite.
- Se ha establecido que el equipo trabaje con una aceptable eficiencia de 55.8 % que para hornos es muy buena, esta eficiencia se ha logrado gracias a la protección adiabática, que permite que el calor se concentre y no se disipe.

- En cuanto a costos de la rehabilitación se puede hablar de una inversión en el proyecto de mil setenta y cinco dólares con ochenta centavos, que a través de una producción eficiente y una comercialización del producto todo este capital sea recuperado.

7.2 RECOMENDACIONES.

- Para que la vida útil del ladrillo refractario, pueda tener un mayor rango de tiempo se hace necesario realizar después de cierto tiempo un masillado con un mortero apropiado, cuyo tipo es para ladrillos silico-aluminosos, de marca Presec T-20.
- 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.
- Se sugiere que se sigan los pasos de funcionamiento del equipo descritos en el capítulo cinco para evitar cualquier inconveniente, así como el mantenimiento del mismo en el periodo que se ha establecido.
- En caso de que existan fugas del combustible, es preciso que se ventile el espacio y se pare el equipo hasta poder arreglar el desperfecto.
- Se hace necesario utilizar elementos de seguridad industrial básicos para el operario como son gafas de protección y guantes de amianto.

BIBLIOGRAFÍA

1. HARLE, Lesley. Artesanía Contemporánea. Barcelona: Blume, 1994.
2. TRINKS, Mawhinney. Hornos Industriales. 2da.ed. México: Urmo, 1976.
3. MINGOT, Galiana. Gran Diccionario de las Ciencias. 3era.ed. Paris: Larousse, 1987.
4. ZABALA, Gilberto. Apuntes de Combustión. Riobamba: Docucentro, 2001.
5. FAIRES, SIMMANG. Termodinámica. 6ta.ed. México: Hispano-América, 1983.
6. RHODES, D. Diseño, Construcción y Operación de Hornos. 2da.ed. New York: CEAC, 1981.
7. LARBURU, J. Prontuario de Máquinas Herramientas. 3era.ed. México: Limusa, 1989.
8. HAMROCK, Bernard. Elementos de Máquinas. Buenos Aires: McGraw-Hill, 2000.
9. BLATT, Frank. Fundamentos de Física. 3era.ed. México: Prentice-Hill, 1991.
10. KREITH, Frank. Principios de Transferencia de Calor. 2da.ed. México: Cecsca, 1986.
11. CUADRADO, Edwin. Mantenimiento Industrial. Riobamba: Docucentro, 2002.
12. INEN 675. GLP Requisitos de Operación. Quito-Ecuador 1989.
13. INEN. Código de Dibujo Técnico-Mecánico. Quito-Ecuador 1989.
14. INEN 574. Materiales Refractarios. Quito-Ecuador 1989.

LINKOGRAFÍA.

CATÁLOGOS RENGO

<http://www.rego-europe.de> 2009-03-20

CATÁLOGOS ESAPYRONICS

<http://www.esapyronics.com> 2009-03-21

DESBORDES MANÓMETROS

<http://www.desbordes.com> 2009-03-22

CATÁLOGOS DANFOSS-SCOLA

<http://www.danfoss-scola.com> 2009-03-23

ASECOS

<http://www.asecos.com> 2009-03-24

INEN

<http://www.inen.gov.ec> 2009-03-25

ANEXOS