



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HORNO  
ELÉCTRICO PARA REDUCIR EL TIEMPO DE CUECE Y  
CURADO DE RESINA Y CERÁMICA PARA LA  
MICROEMPRESA CERÁMICAS NOVA.**

**AUTORES: JORGE LUIS GARCÍA VELÁSQUEZ  
FERNANDO ALEXIS IGUAGO MOROCHO**

**DIRECTOR: MSc. WILLIAM BONILLA**

**LATACUNGA**

**2016**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HORNO ELÉCTRICO PARA REDUCIR EL TIEMPO DE CUECE Y CURADO DE RESINA Y CERÁMICA PARA LA MICROEMPRESA CERÁMICAS NOVA.**” realizado por los señores **JORGE LUIS GARCÍA VELÁSQUEZ** y **FERNANDO ALEXIS IGUAGO MOROCHO**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlos y autorizarlos a los señores **JORGE LUIS GARCÍA VELÁSQUEZ** y **FERNANDO ALEXIS IGUAGO MOROCHO** para que lo sustente públicamente.

**Latacunga, 06 de abril del 2016**

**MSc. WILLIAM BONILLA  
DIRECTOR**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **JORGE LUIS GARCÍA VELÁSQUEZ**, con cédula de identidad N° 0502965965, y **FERNANDO ALEXIS IGUAGO MOROCHO**, con cédula de identidad N° 1721455523, declaramos que este trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HORNO ELÉCTRICO PARA REDUCIR EL TIEMPO DE CUECE Y CURADO DE RESINA Y CERÁMICA PARA LA MICROEMPRESA CERÁMICAS NOVA**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Latacunga, 26 de abril del 2016**

-----  
JORGE LUIS GARCÍA VELÁSQUEZ  
C.C.: 0502965965

-----  
FERNANDO ALEXIS IGUAGO MOROCHO  
C.C.: 1721455523



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **JORGE LUIS GARCÍA VELÁSQUEZ** y **FERNANDO ALEXIS IGUAGO MOROCHO**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HORNO ELÉCTRICO PARA REDUCIR EL TIEMPO DE CUECE Y CURADO DE RESINA Y CERÁMICA PARA LA MICROEMPRESA CERÁMICAS NOVA”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

**Latacunga, 26 de abril del 2016**

-----  
JORGE LUIS GARCÍA VELÁSQUEZ  
C.C.: 0502965965

-----  
FERNANDO ALEXIS IGUAGO MOROCHO  
C.C.: 1721455523

## DEDICATORIAS

Dedico de manera especial a mi madre Laura, pues ella fue el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, sentó en mí, las bases de la responsabilidad, dedicación, pero sobre todo mis deseos de superación, en ella tengo el espejo en el que me quiero reflejar, pues sus virtudes infinitas y su gran corazón me llevan a admirarla cada día más.

Gracias Dios por concederme la mejor de las madres.

A mi Padre, a mis hermanos que son personas que me han ofrecido el amor la calidez de la familia a la cual amo.

*JORGE GARCÍA*

La plenitud de poder culminar esta meta anhelada, se la debo a mi madre. Por tal motivo este trabajo está enteramente dedicado a ella, su amor incondicional e inmensurable han sido un aliciente en los momentos de alegría y flaqueza.

Modelo a seguir, su determinación, fortaleza, perseverancia, virtudes dignas a ser nombradas. Así como su bondad ha logrado plasmar en mí, dichos valores morales para poder cumplir cualquier meta deseada.

*FERNANDO IGUAÑO*

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios que me dio fuerza y fe para creer lo que me parecía imposible terminar, a mis padres por ayudarme incondicionalmente mientras yo realizaba investigaciones y por estar a mi lado en cada momento de mi vida.

Agradezco, también a todos los que fueron mis compañeros de clase, ya que gracias al compañerismo, amistad y apoyo moral han aportado en un alto porcentaje a mis ganas de seguir adelante en mi carrera y vida profesional.

Mi agradecimiento también al Gerente Propietario de la Microempresa el Ing. William Guevara por haber aceptado que se realice mi Tesis en su prestigiosa empresa.

Finalmente quiero agradecer de manera especial al Ing. William Bonilla quien dirigió este proyecto, por su apoyo total y su amistad, que a pesar de sus múltiples ocupaciones estuvo siempre ahí para brindarnos su apoyo constante y sus consejos a fin de constituirse en el sustento del presente estudio.

*JORGE GARCÍA*

Gracias a Dios, por la salud de mis seres amados. Pues han sido una motivación más para poder cumplir este sueño. La fe en Dios y el amor a mi familia están plasmados en este trabajo.

Agradezco a los docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L por su paciencia para impartir sus conocimientos hacia mí, los cuales sin duda fueron de mucha utilidad para poder avanzar con este proyecto y culminarlo.

Agradezco a mi director de tesis, el MSc. William Bonilla por su paciencia, comprensión y capacidad de poder transmitirnos tanto conocimientos como la motivación necesaria para culminar la tesis.

*FERNANDO IGUAÑO*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CARÁTULA</b> .....	i
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	ii
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	iii
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	iv
<b>DEDICATORIAS</b> .....	v
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xiii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xv
<b>RESUMEN</b> .....	xvi
<b>SUMMARY</b> .....	xvii
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>EL PROBLEMA</b> .....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Objetivo general.....	1
1.3. Objetivos específicos.....	1
1.4. Justificación e importancia del problema a resolver.....	2
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b> .....	3
2.1. Introducción.....	3
2.2. Proyectos relacionados y/o complementarios.....	3
2.3. Fundamentos teóricos.....	4
2.3.1. Hornos.....	4
2.3.2. Los tipos fundamentales de hornos eléctricos son:.....	5
2.4. Hornos industriales.....	6
2.4.1. Uso de los hornos industriales:.....	6
2.4.2. Clasificación de los hornos industriales.....	6
2.5. Ladrillos refractarios.....	7
2.5.1. Ladrillos refractarios con alto contenido en alúmina.....	7

2.5.2.	Ladrillos refractarios con alto contenido de sílice.....	7
2.5.3.	Características de los ladrillos refractarios.....	7
2.6.	Cementos refractarios.....	8
2.6.1.	Ultra Green-80 .....	8
2.6.2.	Kruzite Castable.....	8
2.6.3.	Mizzou Castable .....	9
2.6.4.	Super Kast-Set.....	9
2.6.5.	KS-4 .....	9
2.6.6.	MC-25 .....	10
2.7.	Manta cerámica aislante .....	10
2.7.1.	Descripción .....	10
2.7.2.	Aplicaciones.....	10
2.8.	Resistencias eléctricas.....	11
2.8.1.	Resistencias eléctricas Kanthal .....	11
2.8.2.	Esquemas de montaje de los elementos .....	12
2.8.3.	Tipos de resistencias de kanthal.....	13
a.	El Kanthal A-1 .....	13
b.	Kanthal súper hasta 1900 °C .....	13
2.8.4.	Ventajas del kanthal super.....	14
a.	Flexibilidad.....	14
b.	Alta productividad .....	14
2.8.5.	Campos de aplicación.....	14
2.9.	Sensor de temperatura .....	15
2.9.1.	Termocupla tipo K.....	16
2.9.2.	Bornera cerámica para termocupla tipo K.....	17
a.	Terminal de sujeción Elstein AK .....	17
b.	Alambre de níquel Elstein .....	17
c.	Línea de termo Elstein .....	17
d.	Línea de compensación Elstein .....	18
2.9.3.	Cable de extensión para termopar tipo K.....	18
2.9.4.	Especificaciones técnicas .....	19
2.10.	Contactador .....	20
2.10.1.	Características .....	20
2.11.	Selección del contactador: .....	21

2.12.	Aplicación.....	22
2.12.1.	Aplicaciones generales contactor LG GMC 18 220V .....	22
2.12.2.	Contacto LG GMC 18 220V usado en el proyecto.....	23
a.	Descripción general .....	23
2.12.3.	Especificaciones técnicas .....	23
2.13.	Breaker riel SU202M-Z25 2x25A .....	23
2.14.	Interruptores automáticos magnetotérmicos .....	24
2.15.	Controladores de hornos.....	25
2.15.1.	Características .....	26
2.16.	Controlador de temperatura Eliwell IC 915 LX .....	27
2.17.	Ecuaciones matemáticas para el diseño y construcción del horno	28
2.17.1.	Cantidad de calor ( $Q_c$ ).....	28
2.17.2.	Coeficiente de transferencia de calor por convección ( $h$ ) .....	28
2.17.3.	Cálculo de la temperatura de película ( $T_f$ ) .....	29
2.17.4.	Número de Grashof ( $G_r$ ).....	29
2.17.5.	Número de Rayleigh ( $R_a$ ) .....	30
2.17.6.	Número de Nusselt ( $N_u$ ).....	30
2.17.7.	Razón de transferencia de calor ( $QL$ ) .....	31
2.17.8.	Resistencia térmica por conducción ( $R_{cond}$ ).....	31
2.17.9.	Cálculo de la potencia térmica total requerida ( $PT$ ) .....	32
2.17.10.	Cálculo de la carga superficial ( $\rho$ ) .....	32

### CAPÍTULO III

<b>DISEÑO DEL HORNO PARA CERÁMICA .....</b>	<b>34</b>	
3.1.	Introducción .....	34
3.2.	Parámetros de diseño .....	34
3.2.1.	Tipo de horno.....	34
3.2.2.	Temperatura ambiente.....	35
3.2.3.	Temperatura en el interior del horno .....	35
3.2.4.	Tiempo de cocción .....	35
3.3.	Dimensionamiento de la cámara interna del horno .....	35
3.4.	Materiales para las paredes del horno .....	36
3.4.1.	Material aislante .....	37
3.4.2.	Revestimiento .....	37

3.4.3.	Resistencias eléctricas.....	37
3.5.	Diseño térmico del horno .....	37
3.5.1.	Potencia necesaria para calentar la cerámica .....	37
3.5.2.	Coeficiente de transferencia de calor por convección.....	39
a.	Coeficiente de transferencia de calor por convección A .....	39
b.	Coeficiente de transferencia de calor por convección B .....	43
c.	Coeficiente de transferencia de calor por convección C .....	46
d.	Coeficiente de transferencia de calor por convección D .....	49
3.5.3.	Cálculo de las pérdidas de calor en el horno .....	51
e.	Pérdidas de calor en las paredes frontal y posterior del horno .....	53
f.	Pérdidas de calor en las paredes laterales del horno .....	54
g.	Pérdidas de calor en las paredes superior e inferior del horno .....	55
3.4.3.	Cálculo de la potencia térmica total requerida .....	56
3.4.4.	Corriente a ser consumida por el horno .....	57
3.4.6.	Selección del contactor principal .....	58
3.4.7.	Selección del fusible para el circuito de control.....	59
3.5.	Diseño mecánico de la estructura soporte.....	60

## **CAPÍTULO IV**

<b>CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN.....</b>	<b>62</b>	
4.1.	Introducción .....	62
4.2.	Montaje de los componentes mecánicos .....	62
4.2.1.	Construcción de las paredes interiores del horno. ....	62
4.2.2.	Corte y perforación de la carcasa del horno. ....	67
4.2.3.	Unión de las planchas para el recubrimiento del horno .....	68
4.3.	Montaje de las resistencias eléctricas.....	71
4.3.1.	Medición y corte de la longitud de la resistencia.....	72
4.3.2.	Enrollado de las resistencias eléctricas. ....	72
4.4.	Montaje de los dispositivos eléctricos .....	74
4.4.1.	Instalación de la termocupla .....	74
4.4.2.	Tablero de control .....	76
4.4.3.	Unión de las niquelinas .....	77

## **CAPÍTULO V**

<b>PRUEBAS EXPERIMENTALES</b> .....	78
5.1. Pruebas y análisis de resultados .....	78
5.1.1. Condiciones físicas .....	78
5.1.2. Sistema de control .....	78
5.1.3. Parámetros de funcionamiento .....	79
5.1.4. Protocolo de pruebas del horno y del material.....	79
5.1.5. Resultados .....	81
5.1.6. Análisis de resultados .....	83
5.2. Análisis económico .....	83
5.2.1. Inversión inicial .....	83
a. Costos de la materia prima directa (MPD) .....	83
b. Costos de la mano de obra directa (MOD).....	85
c. Costos indirectos (CI).....	86
5.2.2. Inversión total del proyecto .....	86
a. Horno eléctrico.....	88
a.1. Valor actual neto (VAN) .....	91
a.2. Tasa interna de rendimiento (TIR) .....	93
a.3. Análisis relación costo-beneficio .....	95
b. Horno de GLP:.....	96
b.1. Valor actual neto (VAN) .....	99
b.2. Tasa interna de rendimiento (TIR) .....	101
b.3. Análisis relación costo-beneficio .....	103

## **CAPÍTULO VI**

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	105
6.1. Conclusiones .....	105
6.1.2. Recomendaciones .....	106

<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	108
---------------------------	-----

<b>ANEXO</b> .....	111
--------------------	-----

**Anexo A** Contactor LG GMC-22A

**Anexo B** Breaker riel SU202M-Z25

<b>Anexo C</b>	Controlador de temperatura ELIWELL IC 915 LX
<b>Anexo D</b>	Propiedades de la cerámica
<b>Anexo E</b>	Propiedades del aire a la presión de 1 atm
<b>Anexo F</b>	Correlaciones empíricas para el número promedio nusselth
<b>Anexo G</b>	Propiedades de los no metales
<b>Anexo H</b>	Valores de las propiedades para los metales
<b>Anexo I</b>	Propiedades eléctricas del Kanthal A-1
<b>Anexo J</b>	Análisis de la estructura de soporte por software CAE
<b>Anexo K</b>	Diagrama eléctrico del circuito de control y fuerza del horno
<b>Anexo L</b>	TMAR (Banco central del ecuador, 2016)
<b>Anexo M</b>	Estructura de soporte
<b>Anexo N</b>	Horno pared acero inoxidable
<b>Anexo O</b>	Horno pared ladrillo refractario
<b>Anexo P</b>	Horno tapa acero inoxidable
<b>Anexo Q</b>	Horno tapa ladrillo refractario

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Horno eléctrico .....	5
Figura 2	Ladrillo aislante refractario .....	8
Figura 3	Cemento refractario.....	10
Figura 4	Manta refractaria .....	11
Figura 5	Alambre de niquelinas .....	12
Figura 6	Conexión de niquelinas .....	13
Figura 7	Alambre de niquelinas Kanthal .....	15
Figura 8	Sonda termopar tipo K y bloque isotérmico.....	16
Figura 9	Temperatura de las termocuplas según su aleación .....	16
Figura 10	Temperatura de las termocuplas según su tipo.....	17
Figura 11	Bornera cerámica .....	18
Figura 12	Cable de extensión para termopar tipo k.....	20
Figura 13	Contactador-LG-LS-GMC.....	22
Figura 14	Especificaciones técnicas del contactor .....	23
Figura 15	Breaker riel sh202L-25C polos 25Ax2 .....	25
Figura 16	Dimensiones del controlador de temperatura ELIWELL.....	26
Figura 17	Pantalla del controlador de temperatura ELIWELL.....	28
Figura 18	Dimensiones de la cámara interna del horno .....	36
Figura 19	Dimensiones externas del horno para cerámica .....	40
Figura 20	Distribución de temperaturas en el interior del horno .....	46
Figura 21	Paredes compuestas del horno para cerámica .....	51
Figura 22	Red de resistencias térmicas en el horno.....	52
Figura 23	Pared compuesta posterior del horno para cerámica .....	53
Figura 24	Pared compuesta lateral del horno para cerámica .....	54
Figura 25	Pared compuesta superior del horno.....	55
Figura 26	Tipos de ladrillos refractarios.....	63
Figura 27	Construcción de una pared lateral del horno.....	64
Figura 28	Paredes laterales del horno.....	65
Figura 29	Corte del exceso de ladrillo .....	66
Figura 30	Cocción de las paredes interiores del horno .....	67
Figura 31	Corte y doblado de la plancha de acero .....	68

Figura 32	Ensamble de las planchas de acero.....	69
Figura 33	Soldadura de la plancha de acero.....	70
Figura 34	Estructura exterior del horno.....	71
Figura 35	Medición de la longitud de la resistencia.....	72
Figura 36	Enrollamiento de las resistencias eléctricas.....	73
Figura 37	Enrollamiento y moldeado de las resistencias eléctricas.....	74
Figura 38	Instalación de la termocupla.....	75
Figura 39	Tablero de control.....	76
Figura 40	Circuito de control y fuerza.....	76
Figura 41	Unión de los ramales de las niquelinas.....	77
Figura 42	Pruebas de funcionamiento del horno.....	80
Figura 43	Curva de comportamiento del horno con el material.....	82
Figura 44	Costos de inversión porcentual.....	87
Figura 45	Ingresos estimados mensuales del horno eléctrico.....	90
Figura 46	Ingresados estimados mensuales del horno de GLP.....	98

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Especificaciones técnicas para termopar tipo k.....	19
Tabla 2	Parámetros de funcionamiento.....	79
Tabla 3	Temperatura del horno en un intervalo de 4 horas.....	81
Tabla 4	Costos de los materiales para la estructura.....	84
Tabla 5	Costos de los materiales para el control.....	84
Tabla 6	Inversión total.....	85
Tabla 7	Costos de la mano de obra directa.....	86
Tabla 8	Costos indirectos.....	86
Tabla 9	Inversión total.....	87
Tabla 10	Costo del consumo energético anual del horno eléctrico ....	88
Tabla 11	Egresos estimados mensuales del horno de GLP.....	89
Tabla 12	Ingresos estimados mensuales del horno eléctrico.....	90
Tabla 13	Estado de flujo del horno eléctrico.....	91
Tabla 14	Relación entre TIR y VAN del horno eléctrico.....	95
Tabla 15	Costo del consumo anual de GLP del horno industrial.....	96
Tabla 16	Egresos estimados mensuales del horno de GLP.....	97
Tabla 17	Ingresos estimados mensuales del horno de GLP.....	98
Tabla 18	Estado de flujo del horno de GLP.....	99
Tabla 19	Relación entre TIR y VAN del horno de GLP.....	103
Tabla 20	Tabla comparativa.....	104

## **RESUMEN**

Este proyecto será ejecutado por la microempresa “CERAMICAS NOVA” con el afán de reducir el tiempo y costo de operación de cuece y curado de resina y cerámica y mejorar la producción de las piezas de cerámica, y dar un mejor servicio al consumidor final. El proyecto consiste en el diseño, construcción y automatización de un horno eléctrico, para lo cual el diseño cumplirá con los estándares de seguridad establecidos. El material que será calentado es la resina y la cerámica, este material nos servirá para la fabricación de los recuerdos en cerámica que será el producto final para su comercialización. El tipo de horno que se va a construir es un horno eléctrico, donde el elemento que proporciona la energía calorífica serán las resistencias eléctricas, para la adquisición de datos se utilizará una termocupla tipo “k” industrial la cual envía los datos hasta el controlador de temperatura. Posterior a la automatización se realizarán las pruebas y análisis de resultados, las que nos ayudarán a establecer la eficiencia del horno en su proceso.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **HORNO ELÉCTRICO**
- **CONTROLADOR DE TEMPERATURA**
- **TERMOCUPLA**
- **CUECE**
- **RESINA**
- **CERÁMICA**

## **SUMMARY**

This project will be implemented by microenterprise "CERAMICAS NOVA" in an effort to reduce the time and cost of operating cooked and cured resin and ceramic and improve the production of ceramics, and provide better service to consumers. The project involves the design, construction and automation of an electric furnace, for which the design will comply with established safety standards. The material to be heated is the resin and ceramics, this material will serve for making ceramic souvenirs will be the final product for marketing. The type of furnace that is to be built is an electric furnace where the element that provides the heat energy will be the electrical resistors for data acquisition a standard thermocouple "k" Industrial which sends the data to the controller will be used temperature. After the automation testing and results analysis will be conducted, which will help us to establish the efficiency of the furnace in the process.

### **KEYWORDS:**

- **ELECTRIC KILN**
- **THERMOSTAT**
- **THERMOCOUPLE**
- **BAKE**
- **RESIN**
- **CERAMICS**

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del problema

La microempresa cerámica NOVA dedicada a la fabricación de recuerdos en cerámica, que cuenta con maquinaria acorde a su exigencia, en la cual el proceso de cucece y curado es un punto principal para la realización del producto final. Por tal motivo la microempresa NOVA tiene como propósito diseñar e implementar un horno eléctrico para reducir el tiempo y costo de operación del cucece y curado de resina y cerámica, para mejorar la productividad en la microempresa, además ayudara a la reducción de pérdidas de energía y contaminación al medio ambiente, ya que al momento la empresa cuenta con un horno de GLP para realizar el proceso de cucece y curado de cerámica, por lo cual los tiempos y costos son muy elevados no resultando conveniente seguir con el uso de este equipo.

Por lo tanto, en dicha microempresa es necesario implementar este proyecto y así lograr mejores beneficios para la misma.

### 1.2. Objetivo general

Diseñar e implementar un horno eléctrico para reducir el tiempo de cucece y curado de resina y cerámica, para mejorar la productividad en la microempresa NOVA.

### 1.3. Objetivos específicos

- Diseñar y dimensionar el horno eléctrico.
- Diseñar el circuito eléctrico y electrónico para el control de temperatura del horno.
- Realizar la programación para el controlador de temperatura.
- Realizar pruebas de funcionamiento y calibración del equipo.

#### **1.4. Justificación e importancia del problema a resolver**

En la empresa CERAMICAS NOVA no cuenta con un horno eléctrico eficiente para mejorar los tiempos de producción del cuece y curado de resina y cerámica. Por lo tanto, debido a que el Ecuador, está atravesando un cambio de la matriz energética, el empresario desea acogerse a dicho cambio para optimizar y reducir costos energéticos, ya que al momento la empresa cuenta con un horno de GLP para realizar el proceso de cuece y curado de cerámica, por lo cual los tiempos y costos son muy elevados no resultando conveniente seguir con el uso de este equipo en dicha microempresa.

Por lo cual en dicha microempresa es necesario implementar este proyecto y lograr mejores beneficios para la misma, ya que con la construcción del horno eléctrico se reducirá el tiempo y costo de operación, además ayudará a la reducción de pérdidas de energía y contaminación al medio ambiente, debido a la quema de GLP por el horno que se encuentra instalado al momento en la empresa.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **2.1. Introducción**

Existen en la actualidad hornos fabricados en forma artesanal, los mismos que producen desperdicios de combustible en el quemador aumentando el costo de producción. Además, no mantienen la temperatura adecuada provocando acabados irregulares y comprometiendo la productividad de la microempresa, los mismos que pueden ser mejorados con la implementación de procesos más eficientes y automáticos. Estos procesos automáticos se puede distinguir muchas variables que son controladas por diferentes elementos, sean estos: eléctricos, electrónicos, mecánicos, térmicos, etc.

El avance de la tecnología ha hecho que cada vez los procesos industriales, tengan un mejor rendimiento por medio de la utilización de tecnología computarizada, la cual brinda gran ayuda en la supervisión y manejo de todas las variables que se puede controlar dentro de un proceso industrial.

#### **2.2. Proyectos relacionados y/o complementarios**

Tesis realizada en la carrera de Ingeniería Automotriz, de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L. Diseño y construcción de una cabina de pintura – horno de secado para vehículos medianos. Realizado por los Ingenieros:

- Raúl Casal Soto.
- Estuardo Montero.

Tesis realizada en la carrera de Ingeniería Automotriz, de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L. Diseño y construcción de un prototipo de

horno de pintura para fabricación serie utilizando paquetes computarizados. Realizado por los Ingenieros:

- Santiago Solís S.
- Juan Sánchez S.

Tesis realizada en la carrera de Ingeniería Automotriz, de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L. Diseño e implementación de una planta de control de temperatura de un horno para tratamiento térmico de piezas metálicas en el laboratorio de control industrial. Realizado por los Ingenieros:

- Freddy Romero B.
- Bryan Rubio Z.

## **2.3. Fundamentos teóricos.**

### **2.3.1. Hornos**

De amplia utilización en industrias, minería, laboratorios y procesos productivos en general, tanto a nivel industrial como elaboración a menor escala, normalmente son usados para completar los procesos de elaboración de productos y bienes de consumo, materias primas y elaboradas. El desarrollo tecnológico de nuestros equipos genera gran productividad, alta eficiencia y muy bajo costo operacional, mediante diseños que aportan procesos de corta duración y de gran confiabilidad. (OHMMICA, 2016)

Aplicados a procesos de secado, curado, temple, fusión, revenido, normalizado, deshidratado, higienizado, calcinación, incineración y otros. Los hornos eléctricos (ver figura 1) tienen grandes ventajas para la fusión de los metales ceece, siendo las más destacadas las siguientes. (OHMMICA, 2016)

- Pueden obtenerse temperaturas muy elevadas hasta de 3500°C.

- Puede controlarse la velocidad de elevación de temperatura, y mantener ésta entre límites muy precisos.
- La carga queda por completo libre de contaminación del gas combustible.
- Puede controlarse perfectamente la atmósfera en contacto con la masa fundida, haciéndola oxidante o reductora a voluntad.
- Tienen mayor duración los revestimientos.
- Se instalan en espacio reducido.
- Su operación se realiza con mayor higiene que la de los hornos otros tipos.

### 2.3.2. Los tipos fundamentales de hornos eléctricos son:

- Hornos eléctricos de arco.
- Hornos eléctricos de inducción.
- Hornos de inducción sin núcleo.
- Hornos de inducción de canales.
- Hornos electrónicos.
- Hornos eléctricos de resistencia.



**Figura 1 Horno eléctrico**

**Fuente: (MACALUX, 2000)**

## **2.4. Hornos industriales**

Entendemos por hornos industriales los equipos o dispositivos utilizados en la industria, en los que se calientan las piezas o elementos colocados en su interior por encima de la temperatura ambiente. (OHMMICA, 2016)

### **2.4.1. Uso de los hornos industriales:**

- Fundir.
- Ablandar para una operación de conformación posterior.
- Tratar térmicamente para impartir determinadas propiedades
- Recubrir las piezas con otros elementos, operación que se facilita.
- Gases calientes producidos en la combustión de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos que calientan las piezas por contacto directo entre ambos o indirectamente a través de tubos radiantes o intercambiadores en general.
- Energía eléctrica en diversas formas:
- Arco voltaico de corriente alterna o continua.
- Inducción electromagnética.
- Alta frecuencia en forma de dielectricidad o microondas.
- Resistencia óhmica directa de las piezas.
- Resistencias eléctricas dispuestas en el horno que se calientan por efecto Joule.

### **2.4.2. Clasificación de los hornos industriales**

Los hornos que se usan para fundir metales y sus aleaciones varían mucho en capacidad y diseño. El tipo de horno usado para un proceso de fundición queda determinado por los siguientes factores:

- Necesidades de fundir la aleación tan rápidamente como sea posible y elevarla a la temperatura de vaciado requerida.

- La necesidad de mantener tanto la pureza de la carga, como precisión de su composición.
- La producción requerida del horno.
- El costo de operación del horno.

## **2.5. Ladrillos refractarios**

Los ladrillos refractarios utilizados son de dos tipos, según su contenido de arcillas con sílices o alúminas. Sus características les permiten soportar temperaturas muy elevadas, aunque ambos se comportan de diferente manera. (ver figura 2) (Crespo, 2011)

### **2.5.1. Ladrillos refractarios con alto contenido en alúmina**

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

### **2.5.2. Ladrillos refractarios con alto contenido de sílice**

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

### **2.5.3. Características de los ladrillos refractarios**

- El color que adoptan estos ladrillos se debe al proceso de fabricación; pueden ser amarronados o pardos blancuzcos
- Piezas de alta densidad

- Poseen textura lisa y homogénea.
- Baja conductividad térmica
- Alto punto de fusión. (Crespo, 2011)



**Figura 2 Ladrillo aislante refractario**

**Fuente: (CONSTRUMÁTICA, 2016)**

## **2.6. Cementos refractarios**

### **2.6.1. Ultra Green-80**

Cemento de ultra bajo contenido de cemento. Resiste 3.200 °F. (1.760 °C.) Material para aplicaciones de altísima temperatura. Muy bueno para la abrasión y desgaste. Un pie cúbico requiere de 175 libras de este material o 2.800 kg/m<sup>3</sup>. Para su instalación se necesita un batido especial y un vibrado para su compactación. Tiene 81% de alúmina, para su preparación se usan 2,5 litros de agua por cada saco de 100 libras. (ver figura 3) (REFRACTARIOS LA URUCA, 2016)

### **2.6.2. Kruzite Castable**

Cemento o concreto refractario convencional para 3.200 °F. (1.760 °C.). Es un material de alta alúmina y que resiste muy elevadas temperaturas excelentemente bien. Requiere 158 libras por pie cúbico (2.530 kg/m<sup>3</sup>). Tiene 76% de alúmina. Se usa 1 galón de agua (3,78 litros.) por cada saco de 100

libras (45,45 kg.) o 2,08 litros por cada saco de 25 kg. (REFRACTARIOS LA URUCA, 2016)

### **2.6.3. Mizzou Castable**

Cemento o concreto refractario para 3.000 °F. (1.649 °C.). Sirve para chorrear techos, paredes, calderas, etc. Debido a su alta alúmina puede ser usado donde se requiera de un material que soporte altas temperaturas. Se presenta en sacos de 100 libras. (45,45 kg.) o 55 libras (25 kg.). Tiene 60% alúmina. Se requiere de 139 libras por pie cúbico o 2.230 kg/m<sup>3</sup>. Se mezcla con 1 1/8 de galón por cada saco de 100 libras o 2,91 litros por cada saco de 25 kg. (REFRACTARIOS LA URUCA, 2016)

### **2.6.4. Super Kast-Set**

Cemento o concreto refractario para 2.800 °F. (1.538 °C.). Sirve para chorrear, repellar etc. Excelente cemento de uso general, resiste choque térmico, altas temperaturas. Se usa para chorrear tapas de calderas, hornos para fundir aluminio y sus tapas, calderas de ingenios, secadores para arrocetas y cafetaleras, etc. Viene en sacos de 100 libras. (45,45 kg.). Tiene 47% de alúmina. Son 124 libras por pie cúbico o 1.990 kg/m<sup>3</sup>. Se mezcla con 1,5 galones de agua (6,4 litros.) por cada saco de 100 libras, (45,45 kg.). (REFRACTARIOS LA URUCA, 2016)

### **2.6.5. KS-4**

Cemento o concreto refractario para ser usado a temperaturas hasta 2.550 °F. (1.399 °C.). Material para chorrear y repellar. Resiste la abrasión y es de granulometría fina. Viene en sacos de 100 libras. (45,45 kg.). Tiene 45% de Alúmina. Son 122 libras por pie cúbico o 1.960 kg/m<sup>3</sup>. Se usan 1,75 galones de agua (6,62 litros) por cada saco de 100 libras (45,45 kg.). (REFRACTARIOS LA URUCA, 2016)

### 2.6.6. MC-25

Cemento refractario para alta abrasión o alto desgaste. Se usa mucho en fábricas de cemento o calderas de combustibles sólidos, donde el desgaste requiere de un producto de alta resistencia. Es para 2.550 °F. (1.400 °C.). Requiere ser chorreado en grosores superiores a 1 1/2" por su consistencia de granulometría gruesa. Viene en sacos de 100 libras. (45,45 kg.). Tiene 45% de alúmina. Son 125 libras por pie cúbico o 2.000 kg/m<sup>3</sup>. Requiere de 1,5 galones de agua (5,7 litros) para la mezcla de un saco de 100 libras. (45,45 kg.) (REFRACTARIOS LA URUCA, 2016)



**Figura 3 Cemento refractario**

**Fuente: (REFRACTARIOS LA URUCA, 2016)**

### 2.7. Manta cerámica aislante

Especial para productos alimenticios y farmacéuticos que sean abrasivos. (ver figura 4) (SEALCO, 2016)

#### 2.7.1. Descripción

Fibras cerámicas centrifugadas inertes químicamente se someten a un proceso de no tejido para conformar mantas cerámicas de excelente resistencia térmica y baja conductividad térmica. (SEALCO, 2016)

#### 2.7.2. Aplicaciones

Se utiliza como aislamiento térmico para:

- Hornos (paredes, techos, puertas), chimeneas, cámaras de combustión.
- Filtración a alta temperatura.
- Piezas para la industria de electrodomésticos. (SEALCO, 2016)

La fibra cerámica es utilizada como respaldo en ladrillos y morteros refractarios, además funciona como barrera contra el calor y fuego. (SEALCO, 2016)



**Figura 4 Manta refractaria**

**Fuente: (SEALCO, 2016)**

## **2.8. Resistencias eléctricas**

### **2.8.1. Resistencias eléctricas Kanthal**

Son resistencias que mediante el paso de la corriente por estas realizaran el calentamiento indirecto del líquido. Como se muestra en la (ver figura 5) la niquelina o nicolita es un mineral compuesto de arseniuro de níquel,  $4NiAs$ , que contiene 43,9% de níquel y el 56,1% de arsénico. Suelen contener pequeñas cantidades de azufre, hierro y cobalto, y a veces el arsénico es remplazado en gran medida por el antimonio. (Martínez, 2016)



**Figura 5 Alambre de niquelinas**

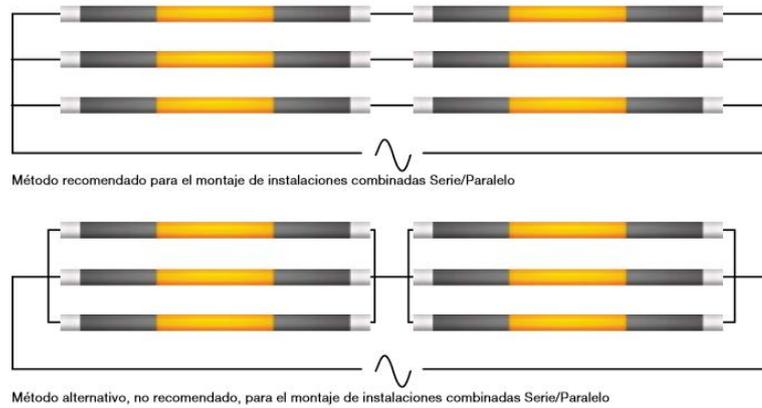
**Fuente: (KANTHAL, 2015)**

### **2.8.2. Esquemas de montaje de los elementos**

Los elementos Kanthal, se pueden conectar en paralelo, en serie o en instalaciones mixtas como se muestra en la (ver figura 6). La conexión en paralelo es la ideal, ya que cualquier pequeña variación del valor de la resistencia tenderá a equilibrarse con el uso, mientras que, en instalaciones en serie, las diferencias tenderán a aumentar y consecuentemente se reducirá la vida útil de los elementos. (KANTHAL, 2015)

No obstante, al tener los elementos Kanthal GLOBAR SD un aumento de la resistencia bastante lento, el efecto de cualquier desequilibrio es pequeño, y se pueden conectar hasta un total de 4 elementos en serie, siempre y cuando el valor de la resistencia de cada uno esté bien igualado con la de los demás. Si la temperatura de funcionamiento del horno va a ser superior a los 1.400°C, recomendamos que se instalen un máximo de dos elementos en serie. (KANTHAL, 2015)

La combinación de elementos en serie y paralelo suele ser una solución efectiva. En este caso, se conectan en paralelo varios elementos montados en serie. En ningún caso se deberá conectar en serie varios grupos de elementos montados en paralelo, ya que, si uno de los elementos se averiara, se produciría una sobrecarga sobre el resto de los elementos del grupo donde estuviera montado. (KANTHAL, 2015)



**Figura 6 Conexión de niquelinas**

**Fuente: (KANTHAL, 2015)**

### 2.8.3. Tipos de resistencias de kanthal

Las resistencias de Kanthal son de cuatro tipos: Kanthal A, A-1, DSD y DSI. (HINRASAC, 2016)

#### a. El Kanthal A-1

Es un metal especialmente diseñado para ser usado en resistencias eléctricas por sus propiedades físico-químicas: Alto valor de  $\Omega/m$ ; resistente a las altas temperaturas ( $1350^{\circ}\text{C}$ ) y gran duración en ambientes agresivos, etc. Se fabrican en forma de hilo a partir de 1 mm de diámetro y también como platinas de grandes dimensiones. (HINRASAC, 2016)

#### b. Kanthal súper hasta $1900^{\circ}\text{C}$

El Kanthal súper es una resistencia eléctrica para hornos industriales y de laboratorio, equipos de ensayo, etc. Puede utilizarse al aire hasta  $1850^{\circ}\text{C}$  y también en la mayoría de atmósferas protectoras. Además, no envejece al contrario que otras resistencias metálicas de carburo de silicio cuya vida es limitada por su progresiva oxidación. (HINRASAC, 2016)

Se compone de  $\text{MoSi}_2$  y un componente químico que a temperatura de trabajo forma una capa protectora vítrea sobre el elemento. Esta es la clave de las singulares propiedades del KANTHAL SUPER y su gran aplicación en hornos eléctricos. Producción segura, gastos de mantenimiento bajos. (HINRASAC, 2016)

#### **2.8.4. Ventajas del kanthal super**

##### **a. Flexibilidad**

El amplio rango de temperatura de las resistencias de 500 °C a 1900 °C mejora la flexibilidad y utilidad del horno. Puede utilizarse para distintos procesos y a distintas temperaturas; al mismo tiempo el aumento de temperatura no influye en la duración de las resistencias. (HINRASAC, 2016)

##### **b. Alta productividad**

Estas resistencias pueden trabajar a cargas superficiales altas. La carga por  $\text{m}^2$  de pared de horno puede llegar a 100 kW. (HINRASAC, 2016)

#### **2.8.5. Campos de aplicación**

Como se muestra en la (ver figura 7) las resistencias de Kanthal son usadas frecuentemente en hornos, de cualquier tipo y construcción, tanto de ladrillo como de manta cerámica. Por ejemplo, se usa en hornos de cocción de cerámica, en hornos de fundición o tratamientos térmicos, en hornos de mantenimiento, etc. Se pueden usar con cualquier tensión y montadas individualmente, en estrella o en triángulo; lo importante es que estén bien calculadas para así poder aprovechar al máximo su rendimiento (HINRASAC, 2016)

Pero no sólo se utiliza el Kanthal A-1 en resistencias, también es muy utilizado en las varillas detectoras de llama (varillas de ionización), y bujías de encendido. (HINRASAC, 2016)



**Figura 7 Alambre de niquelinas Kanthal**

**Fuente: (KANTHAL, 2015)**

## **2.9. Sensor de temperatura**

Los termopares son los sensores de temperatura utilizados con mayor frecuencia porque son sensores precisos relativamente económicos que pueden operar en un amplio rango de temperaturas. Un termopar se crea cuando dos metales diferentes se juntan y el punto de contacto produce un pequeño voltaje de circuito abierto como una función de temperatura. Puede usar este voltaje termoeléctrico, conocido como voltaje Seebeck para calcular la temperatura. Para pequeños cambios en temperatura, el voltaje es aproximadamente lineal. (ver figura 8) (NATIONAL INSTRUMENTS, 2012)

Puede escoger entre diferentes tipos de termopares asignados con letras mayúsculas que indican su composición de acuerdo al American National Standards Institute (ANSI). Los tipos de termopares más comunes incluyen B, E, K, N, R, S. (ver figura 8) (NATIONAL INSTRUMENTS, 2012)



**Figura 8 Sonda termopar tipo K y bloque isotérmico**

**Fuente: (zapmeta, 2016)**

### 2.9.1. Termocupla tipo K

La termocupla Tipo K se la conoce también como la termocupla Chromel-Alumel. El Chromel es una aleación de aproximadamente 90% de níquel y 10% de cromo, el Alumel es una aleación de 95% de níquel, más aluminio, silicio y manganeso, razón por la que la norma IEC la especifica NiCr - Ni. La Tipo K es la termocupla que más se utiliza en la industria, debido a su capacidad de resistir mayores temperaturas que la termocupla Tipo J. (ver figura 9) (SAPIENSMAN, 2016)

CURVA	GRADOS CENTIGRADOS								DEFINICION
	- 250	0	250	500	750	1000	1250	1500	
T									COBRE - CONSTANTAN
J									HIERRO - CONSTANTAN
E									CROMEL - CONSTANTAN
K									CROMEL - ALUMEL
S									PLATINO 10% - RHODIO / PLATINO
R									PLATINO 13% - RHODIO - PLATINO
B									PLATINO 30% RHODIO - PLATINO 6% RHODIO

**Figura 9 Rango de temperaturas de las termocuplas según su aleación**

**Fuente: (SAPIENSMAN, 2016)**

Las termocuplas Tipo K pueden utilizarse en forma continua en atmósferas oxidantes e inertes hasta 1.260° C como se muestra en la (ver figura 10) y constituyen el tipo más satisfactorio de termocupla para uso en atmósferas reductoras o sulfurosas o en vacío. (SAPIENSMAN, 2016)

<b>Termocuplas metálicas</b>				
<b>Tipo ANSI-ISA</b>	<b>Combinación de metales</b>	<b>Sensibilidad</b>	<b>Composición química</b>	<b>Rangos de temperatura</b>
<b>J</b>	Hierro/ constantan	5,6 mV/ 100 ° C	Fe 44 Ni:55 Cu	-40 a + 750
<b>K</b>	Cromel/ Alumel	3,6 mV/ 100 ° C	90 Ni:9 Cr 94 Ni:Al:Mn:Fe	-40 a +1200
<b>T</b>	Cobre/ constantan	4,5 mV/ 100 ° C	Cu 44 Ni:55 Cu	-50 a + 400
<b>E</b>	Cromel/ constantan	7,9 mV/ 100 ° C	90 Ni:9 Cr 44 Ni:55 Cu	-40 a +900

**Figura 10** Rango de temperaturas de las termocuplas según su tipo  
Fuente: (SAPIENSMAN, 2016)

## 2.9.2. Bornera cerámica para termocupla tipo K

### a. Terminal de sujeción Elstein AK

Dos polos, que consta de zócalo de esteatita y las partes metálicas de acero inoxidable para cables con una sección de cable máxima de 2,5mm (INTERMESH, 1996)

### b. Alambre de níquel Elstein

Max. 500 ° C, máx. 11 A, de un solo núcleo, 2,5 mm<sup>2</sup> diámetro del alambre, para la conexión eléctrica de los calentadores infrarrojos de cerámica. (INTERMESH, 1996)

### c. Línea de termo Elstein

NiCr -Ni, máx. 400 ° C, para la conexión del termopar integrado en los calentadores de termopar con el controlador de temperatura. (INTERMESH, 1996)

#### d. Línea de compensación Elstein

NiCr - Ni, máx. 100 °C, para extender la conexión de termopar - controlador de fuera de la zona de calentamiento IR. (INTERMESH, 1996)



**Figura 11 Bornera cerámica**

**Fuente:** (INDIAMART, 1996)

#### 2.9.3. Cable de extensión para termopar tipo K

De acuerdo a los análisis de la empresa TEI elaborados en el 2010 nos enuncia lo siguiente:

Con el cable para termopar realizamos en forma segura extensión de señales de sensores de temperatura desde el punto de medición hasta nuestros paneles de control. Un termopar requiere utilizar cable compensado para evitar la pérdida de señal entre dos puntos, asegurando así mediciones confiables y una producción segura. Dependiendo del tipo de termopar utilizado para la medición de la temperatura requeriremos cable para termopar de esa misma calibración o tipo, es decir, si utilizamos un termopar tipo K para medición de temperatura en una resistencia colada necesitaremos cable de extensión para termopar tipo K. (TEI, 2010)

Fabricado de Cromel y Alumel, recomendado para el uso continuo en atmósferas oxidantes e inertes de hasta 1260°C dependiendo del aislante utilizado. Ciclos continuos sobre 1000°C no son recomendados por la alteración de la Fuerza Electromotriz por efectos de histéresis. No se recomienda el uso en sulfuros, atmósferas conmutantes oxidantes/reductoras sin protección de termopozos o fundas. Altamente confiable y preciso a altas temperaturas. (TEI, 2010)

#### 2.9.4. Especificaciones técnicas

**Tabla 1**

##### **Especificaciones técnicas cable de extensión para termopar tipo k**

<b>Calibración ANSI</b>	<b>Nombres (componentes)</b>	<b>Identificador</b>	<b>Código de color</b>	<b>Magnetismo</b>
<b>K</b>	Cromel (Níquel - Cromo)	Positivo	Amarillo	NO
	Alumel (Níquel - Aluminio)	Negativo	Rojo	SÍ

**Fuente: (TEI, 2010)**

- Máximo rango de temperatura
  - Grado Termopar: 200 a 1250°C
  - Grado extensión: 0 a 200°C
- Límite de error
  - Estándar 2.2°C o 0.75°C
  - En 0°C 2.2°C o 2.0% bajo 0°C
  - Especial: 1.1°C o 0.4°C

Se utilizan para llevar la señal del sensor de temperatura al instrumento controlador, registrador o indicador. (TEI, 2010)

Estos cables son compensados de acuerdo al tipo de termopar utilizado bajo el código de colores "ANSI" en diferentes calibres ya sea sólido o flexible (ver figura 12).



**Figura 12 Cable de extensión para termopar tipo k**  
**Fuente: (TERMOKEW, 2016)**

El cable de extensión es usado en la pirometría para unir el termopar al instrumento y está constituido por un par de alambres de un material que tiene (hasta cierta temperatura) las mismas características del termopar, con el aislamiento adecuado para cada aplicación. (TERMOKEW, 2016)

## **2.10. Contactador**

### **2.10.1. Características**

Es un mecanismo cuya misión es la de cerrar unos contactos, para permitir el paso de la corriente a través de ellos. Esto ocurre cuando la bobina del contactador recibe corriente eléctrica, comportándose como electroimán y atrayendo dichos contactos. (TERMOKEW, 2016)

Contactador de la CA de GMC, también tenemos contactador de la CA LC1, contactador de la CA de la serie de A, 3TF, 3TB, 3TH contactador de la CA y así sucesivamente. (Rubio, 2016)

### 2.10.2. Partes principales

- **Contactos principales:** 1-2, 3-4, 5-6. Tienen por finalidad abrir o cerrar el circuito de fuerza o potencia.
- **Contactos auxiliares:** 13-14 (NO) Se emplean en el circuito de mando o maniobras. Por este motivo soportarán menos intensidad que los principales.
- **Circuito electromagnético:** Consta de tres partes:
  - El núcleo, en forma de E. Parte fija.
  - La bobina: A1-A2.
  - La armadura. Parte móvil. (Rubio, 2016)

### 2.11. Selección del contactor:

Cuando se va a elegir un Contactor hay que tener en cuenta, entre otros factores, lo siguiente:

- Tensión de alimentación de la bobina: Esta puede ser continua o alterna, siendo esta última la más habitual, y con tensiones de 12V, 24V o 220V.
- Número de veces que el circuito electromagnético va a abrir y cerrar. Podemos necesitar un Contactor que cierre una o dos veces al día, o quizás otro que esté continuamente abriendo y cerrando sus contactos.
- Hay que tener en cuenta el arco eléctrico que se produce cada vez que esto ocurre y el consiguiente deterioro.
- Corriente que consume el motor de forma permanente (corriente de servicio).
- Por lo tanto, es conveniente el uso de catálogos de fabricantes en los que se indican las distintas características de los contactores en función del modelo. (Rubio, 2016)

## 2.12. Aplicación

En la (ver figura 13) muestra la corriente alterna del contactor de la serie de GMC es conveniente para usar en los circuitos CA clasificada 50Hz del voltaje 660V o 60Hz, corriente clasificada hasta 95A, para hacer, rompiendo, con frecuencia encendiendo y controlando el motor de CA. Combinado con el bloque auxiliar del contacto, el temporizador y el dispositivo máquina-que se enclavija etc., del retardo se convierte en el contactor del retardo, contactor que se enclavija mecánico, arrancador estrella-delta. Con el relais termal de la sobrecarga, se combina en el arrancador electromagnético. El Contactor se produce según IEC60947-4. (Rubio, 2016).

### 2.12.1. Aplicaciones generales contactor LG GMC 18 220V usado en el proyecto

GMC (LG / LS) Serie AC de contactores es conveniente para usar en los circuitos hasta la tensión nominal de 660V AC 50Hz o 60Hz, corriente nominal de hasta 85A (ver anexo A) (ver figura 14), para la fabricación de frecuencia de partida y el control del motor de corriente alterna. En combinación con el bloque de contactos auxiliares, relé térmico y dispositivo de enclavamiento máquina, etc. (Rubio, 2016)



**Figura 13 Contactor-LG-LS-GMC**  
**Fuente: (Made-in-china.com, 2016)**

## 2.12.2. Contactor LG GMC 18 220V usado en el proyecto

### a. Descripción general

- Cubrir cuatro categorías de calificación en un solo tamaño.
- El contacto principal de 3 polos
- Diseño de la prueba del dedo
- Carril DIN o tornillo montable
- Pequeño tamaño físico: 44 mm de ancho
- 1 NA + 1NC contactos auxiliares incorporados de serie
- accesorios de montaje en frontal / lateral disponibles
- relés de sobrecarga montables directos disponibles
- Las características y especificaciones técnicas se encuentran detalladas a continuación (ver figura 14) (Rubio, 2016)

### 2.12.3. Especificaciones técnicas

Type	AC1 duty	AC3 duty				Life time (x 104)		Aux.contact
		200-240V	380-440V	500-550V	690V	Electrical	Mechanical	
GMC-9	20A	2.5kW 11A	5kW 9A	4kW 7A	4kW 5A	250	2500	1NO1NC
GMC-12	20A	3.5kW 13A	5.5kW 12A	7.5kW 12A	7.5kW 9A	250	2500	
<b>GMC-18</b>	<b>25A</b>	<b>4.5kW 18A</b>	<b>7.5kW 18A</b>	<b>7.5kW 13A</b>	<b>7.5kW 9A</b>	<b>250</b>	<b>2500</b>	
GMC-22	32A	5.5kW 22A	11kW 22A	15kW 22A	15kW 18A	250	2500	
GMC-32	50A	7.5kW 32A	15kW 32A	18.5kW	18.5kW	200	1500	2NO2NC
GMC-40	60A	11kW 40A	18.5kW	22kW 32A	22kW 25A	200	1500	
GMC-50	80A	15kW 55A	22kW 50A	30kW 43A	30kW 33A	200	1000	
GMC-65	100A	18kW 65A	30kW 65A	37kW 60A	37kW 47A	200	1000	
GMC-75	110A	22kW 75A	37kW 75A	45kW 64A	45kW 47A	200	1000	
GMC-85	135A	25kW 85A	45kW 85A	45kW 75A	45kW 52A	200	1000	

**Figura 14 Especificaciones técnicas del contactor**

**Fuente: (Sthde, 2006)**

### 2.13. Breaker riel SU202M-Z25 2x25A

Los interruptores automáticos modulares en carril DIN protegen las instalaciones de sobrecargas y cortocircuitos, garantizando fiabilidad y seguridad para las operaciones. (ABB, 2016)

La nueva serie System pro M compact S 200 satisface las necesidades más comunes de los interruptores automáticos DIN, permitiendo el uso de éstos en aplicaciones domésticas, industriales y comerciales. (ABB, 2016)

#### **2.14. Interruptores automáticos magnetotérmicos**

- Para instalaciones domésticas/residenciales en mercados emergentes:
  - Capacidades de corte típicas 3 / 4,5 / 6 kA.
  - Compact Home SH 200 T, SH 200 L, SH 200
  
- Para instalaciones domésticas o pequeñas instalaciones comerciales:
  - Capacidad de corte de hasta 10 kA.
  - ProM S190, S440, S950/970
  - ProM compact S200, S200 M
  
- Para instalaciones industriales, capacidad de corte de hasta 25 kA y especiales
  - ProM compact S200 P, S200 P-UC, S200 M.
  
- Interruptores para utilidades especiales, selectivos, de apoyo, con elevada capacidad de corte (25 kA) y selectividad total a interruptores descendentes, gama S 700. (ABB, 2016)
  
- Para aplicaciones comerciales e industriales con capacidades de corte elevadas y características / accesorios especiales, gamas S200P, 290, S500, S610, S220, S800. (ABB, 2016)
  
- Características técnicas se encuentran en el catálogo ABB (ver anexo B) (ABB, 2016)



**Figura 15 Breaker riel sh202L-25C polos 25Ax2**

**Fuente: (ABB, 2016)**

### **2.15. Controladores de hornos**

En el mercado hay una amplia variedad de controladores de hornos. Los más básicos son de control manual, no efectúan ninguna medición de temperatura, simplemente dan una potencia de salida constante. En esta categoría estarían los transformadores con múltiples tomas, y los interruptores de banda bimetálica. En el extremo contrario, los más avanzados incluyen algoritmos PID y múltiples zonas de control (varias resistencias calefactoras y sondas de medición independientes). (Zelsio-equipamento industrial, 2016)

Sin embargo, la amplia mayoría de controladores de temperatura para hornos de pequeño y medio tamaño son de una sola zona de control (una sola resistencia y una sola sonda de medición), con control de potencia por encendido/apagado, sonda de temperatura termopar. (ver figura 16) (Zelsio-equipamento industrial, 2016)

Un típico controlador de horno eléctrico para cerámica presenta conexiones para una entrada de termopar, una toma para alimentar la resistencia y una toma de alimentación general. (Zelsio-equipamento industrial, 2016)

En cuanto a la interfaz de usuario, suele tener un panel de 4 dígitos que muestra temperaturas y tiempos, un panel de botones numérico o de flechas

para introducir las temperaturas, botones para empezar programas de cocción predeterminados, y funciones de editar y almacenar unos 8 programas nuevos. Suelen soportar un programa de hasta 16 segmentos (realmente son 8 rampas y 8 mesetas), con resoluciones de 1 minuto y 1°C. (Zelsio-equipamento industrial, 2016)

En cuanto al control de la potencia de salida, estos controladores por lo general emplean un relé de estado sólido conmutando en sus cruces por cero, con un ciclo de pocas decenas de segundos de duración. (Zelsio-equipamento industrial, 2016)



**Figura 16 Dimensiones del controlador de temperatura ELIWELL**

**Fuente: (TempZone, 2000-2016)**

### 2.15.1. Características

- 3 relés configurables (compresor o solenoide, desescarche y ventiladores).
- Sonda PTC (NTC seleccionable mediante parámetros).
- 2 sondas (1ª sonda: termostática, termostática ambiente, alarma; 2ª sonda de desescarche y control de ventiladores) con tiempo Máximo de seguridad.
- Intervalo de desescarche seleccionable mediante parámetro
- Fin desescarche por temperatura con tiempo seguridad, ambos programables.

- Desescarche eléctrico o por inversión de ciclo.
- Evaporador de tiro forzado.
- Gestión completa de ventiladores evaporador con tiempo de goteo y control termostático.
- Tiempos de protección del compresor, así como de paro / marcha caso de sonda rota.
- Contraseña para entrar en parámetros y bloqueo de teclado.
- Alarma por zumbador interno de máxima, mínima y sonda averiada (solo modelo LX Buzzer).
- Datos técnicos
- Entradas analógicas: dos entradas PTC o NTC (seleccionable con parámetro).
- Salidas digitales: 3 salidas de relé: Primera salida SPDT 8(3) a 250 VAC; segunda salida SPST 8(3) A 250VAC; tercera salida SPST 5(2) a 250VAC
- Campo de medición: de  $-50^{\circ}$  a  $+140^{\circ}$  C. (TempZone, 2000-2016)

## **2.16. Controlador de temperatura Eliwell IC 915 LX usado en el proyecto**

El termostato digital Mca Eliwell Mod IC 915 (ver anexo C), representa una serie de reguladores con dos puntos de intervención previstos para un funcionamiento ON-OFF independientes o como zona muerta (ver figura 17). Este modelo es sustituto del EWPC 905/T/R/P, según sus entradas y salidas. (TempZone, 2000-2016)

- Alimentación: 230V. Opcional 12V.
- Entradas analógicas: 1 V-I (0...1V,0...5V,0...10V,0...20mA,4...20mA)
- Entradas digitales: No disponible
- Salidas digitales: 1 SPDT 8(3)A 250VAC + 1 SPST 8(3) a 250VAC



**Figura 17 Pantalla del controlador de temperatura ELIWELL**

**Fuente: (TempZone, 2000-2016)**

## **2.17. Ecuaciones matemáticas principales para el diseño y construcción del horno**

### **2.17.1. Cantidad de calor ( $Q_c$ )**

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

$$Q_c = m_c \cdot c_{p-c} \cdot (T_f - T_i) \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde:

$m_c$  = masa de la cerámica, g

$c_{p-c}$  = calor específico de la cerámica, 798,4 J/kg°C (ver anexo D)

$T_i$  = temperatura inicial de la cerámica cruda, 20°C

$T_f$  = temperatura final requerida en la cerámica, 1120°C

### **2.17.2. Coeficiente de transferencia de calor por convección ( $h$ )**

Es un parámetro que se determina en forma experimental y cuyo valor depende de todas las variables que influyen sobre la convección, como la configuración geométrica de la superficie, la naturaleza del movimiento del

fluido, las propiedades de éste y la velocidad masiva del mismo. (Cengel, 2011)

$$h = \frac{Nu \cdot k}{L_c} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde:

$Nu$  = Número de Nusselt

$k$  = conductividad térmica del fluido,  $W/m \cdot ^\circ C$

$L_c$  = longitud característica de la superficie, m

### 2.17.3. Cálculo de la temperatura de película ( $T_f$ )

Promedio aritmético de las temperaturas de la superficie y del fluido libre (Cengel, 2011), definida como:

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:

$T_s$  = temperatura del fluido en la superficie,  $^\circ C$

$T_\infty$  = temperatura del fluido en el borde exterior de la capa,  $^\circ C$

### 2.17.4. Número de Grashof ( $Gr$ )

El número de Grashof, el cual es un número adimensional que representa la razón de la fuerza de flotabilidad a la fuerza viscosa que actúan sobre el fluido, rige el régimen de flujo en la convección natural. (Cengel, 2011)

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot L_c^3}{\nu^2} \quad \text{Ec. 2.4}$$

Donde:

$g$  = aceleración gravitacional,  $m/s^2$

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

$T_s$  = temperatura de la superficie,  $^{\circ}C$

$T_{\infty}$  = temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie,  $^{\circ}C$

$L_c$  = longitud característica de la configuración geométrica,  $m$

$\nu$  = viscosidad cinemática del fluido,  $m^2/s$

### 2.17.5. Número de Rayleigh ( $Ra$ )

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

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad \text{Ec. 2.5}$$

Donde:

$Pr$  = número de Prandtl

$Gr$  = número de Grashof

El número de Prandtl, describe la relación entre la difusividad de la cantidad de movimiento y la difusividad térmica. (Cengel, 2011)

### 2.17.6. Número de Nusselt ( $Nu$ )

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

$$Nu_v = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot Ra^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad Ec. 2.6a$$

$$Nu_h = 0,27 \cdot Ra^{1/4} \quad Ec. 2.6b$$

La aplicación de la fórmula del número de Nusselt depende de la geometría del cuerpo a tratar, es así que, para cuerpos verticales planos el número de Nusselt se encuentra determinado por la Ec. 2.6a. Y para cuerpos horizontales planos se encuentra determinado por la Ec. 2.6b.

### 2.17.7. Razón de transferencia de calor ( $\dot{Q}_L$ )

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

$$\dot{Q}_L = \frac{T_1 - T_3}{\sum R_T} \quad Ec. 2.7$$

Donde:

$T_1$  = temperatura de la pared interior del horno, °C

$T_3$  = temperatura de la pared exterior del horno, °C

$R_T$  = resistencias térmicas por conducción a través de paredes planas de capas múltiples, °C / W

### 2.17.8. Resistencia térmica por conducción ( $R_{cond}$ )

Es la resistencia térmica de la pared en contra de la conducción de calor o simplemente la resistencia a la conducción de la pared. La resistencia

térmica de un medio depende de la configuración geométrica y de las propiedades térmicas del medio. (Cengel, 2011)

$$R_{cond} = \frac{L}{kA} \quad \text{Ec. 2.8}$$

Donde:

L = espesor de la pared plana, m

k = conductividad térmica promedio, W/(m · K)

A = sección transversal del material, m<sup>2</sup>

### 2.17.9. Cálculo de la potencia térmica total requerida ( $P_T$ )

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

$$P_T = P_{cal} + \dot{Q}_{LT} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Donde:

$P_{cal}$  = potencia requerida en el horno para calentar la cerámica, W

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

### 2.17.10. Cálculo de la carga superficial ( $\rho$ )

Se llama a la relación entre la potencia eléctrica y la superficie, dicha relación debe considerar el factor de corrección de temperatura. (KANTHAL, 2001)

$$\rho = \frac{I^2 \cdot C_t}{G_\rho} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Donde:

$I^2$  = corriente eléctrica, A

$C_t$  = factor de corrección de temperatura

$G_\rho$  = área superficial por unidad de conductancia,  $cm^2/\Omega$

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO DEL HORNO PARA CERÁMICA**

#### **3.1. Introducción**

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

#### **3.2. Parámetros de diseño**

En base a los requerimientos funcionales del horno, establecido por el proceso productivo de cerámica y de las características técnicas necesarias para proporcionar las ventajas de calidad, funcionalidad y seguridad exigidos para este tipo de equipos, es necesario que el horno cumpla con los siguientes parámetros de diseño.

##### **3.2.1. Tipo de horno**

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

### 3.2.2. Temperatura ambiente

Debido a que el funcionamiento normal del horno no va a ser a la intemperie, sino en un ambiente cerrado y de acuerdo con la ubicación geográfica donde se instalará el horno (Latacunga), se considera una temperatura promedio del aire en el exterior del horno  $T_{\infty o} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (293 K).

### 3.2.3. Temperatura en el interior del horno

La fabricación de cerámica implica altas temperaturas en el interior del horno, por lo tanto, en base con las exigencias de temperatura en los procesos de obtención de cerámica, se establece que la temperatura máxima requerida en el interior del horno es  $T_{\infty i} = 1120\text{ }^{\circ}\text{C}$  (1393 K).

### 3.2.4. Tiempo de cocción

Considerando los procesos que se van a llevar a cabo para la obtención de la cerámica y en función del tiempo necesario para alcanzar la temperatura máxima en el interior del horno que presentan equipos semejantes, se establece un tiempo  $t_c = 4,0\text{ horas}$  (14400 segundos).

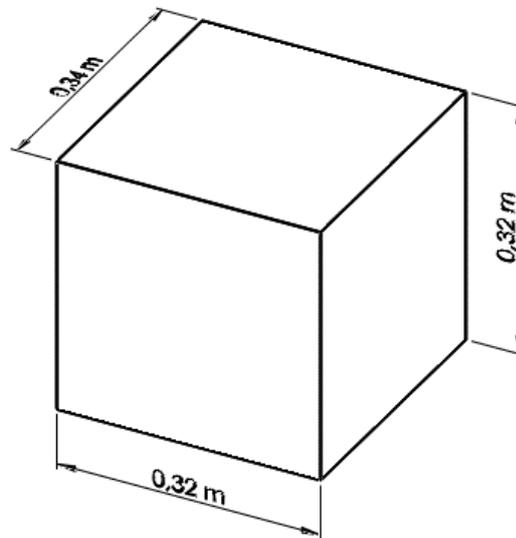
## 3.3. Dimensionamiento de la cámara interna del horno

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

Como se muestra en la (ver figura 18), en base a los parámetros anteriores, se determina que la cámara interna del horno debe tener las siguientes dimensiones:

- Largo: 340 mm

- Ancho: 320 mm
- Altura: 320 mm



**Figura 18 Dimensiones de la cámara interna del horno**

### **3.4. Materiales para las paredes del horno**

La fabricación de cerámica, requiere que se alcancen elevadas temperaturas en el interior del horno, mientras que en exterior es necesario que las temperaturas sea lo suficientemente baja como para no representar un peligro para el personal que labore en sus cercanías. Lo anterior exige que las paredes del horno se fabriquen con materiales aislantes que soporten altas temperaturas (1120 °C) y garanticen que el interior del horno se mantenga a dicha temperatura y ésta no se transmita hacia las paredes exteriores.

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

### **3.4.1. Material aislante**

Para las paredes del horno se empleará ladrillo refractario de alta densidad del tipo JM26 de 63,5 mm de espesor (2,5 in), que también se utilizarán como elemento de soporte para las resistencias eléctricas.

### **3.4.2. Revestimiento**

Como material para el recubrimiento se utilizará chapa metálica de acero inoxidable de 2,5 mm de espesor, con el fin de proteger el material aislante.

### **3.4.3. Resistencias eléctricas**

Para calentar el horno se utilizarán resistencias metálicas de alambre Kanthal A-1, las misma que serán enrolladas en espiral sobre las ranuras del ladrillo refractario.

## **3.5. Diseño térmico del horno**

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

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

### **3.5.1. Potencia necesaria para calentar la cerámica**

En base a las dimensiones interiores del horno, se calcula el volumen de la cámara interna ( $V$ ):

$$V = (0,34 \cdot 0,32 \cdot 0,32)m^3$$

$$V = 0,0348 m^3$$

Para determinar la carga máxima de cerámica a calentar en el horno, se considera que, bajo condiciones extremas de funcionamiento, máximo el 40% del volumen de la cámara interna se encuentra ocupado con material cerámico, entonces, el volumen máximo de material cerámico ( $V_{cer}$ ) en el interior de horno, viene dado por:

$$V_c = 0,4 \cdot V = 0,0139 m^3$$

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

$$m_c = \rho_c \cdot V_c$$

$$m_c = 2218 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,0139 m^3 = 30,83 kg$$

Donde:

$\rho_c$  = densidad de la cerámica = 2.218 kg/m<sup>3</sup> (ver anexo D)

La cantidad de calor necesario para el calentamiento de la carga máxima de cerámica, se obtiene a partir de la Ec. 2.1:

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

$$Q_c = 30,83 kg \cdot 798,4 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (1120 - 20) ^\circ C$$

$$Q_c = 27,07 \cdot 10^6 J = 27,07 MJ$$

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

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

$$P_{cal} = \frac{27,07 \cdot 10^6 J}{14400 s}$$

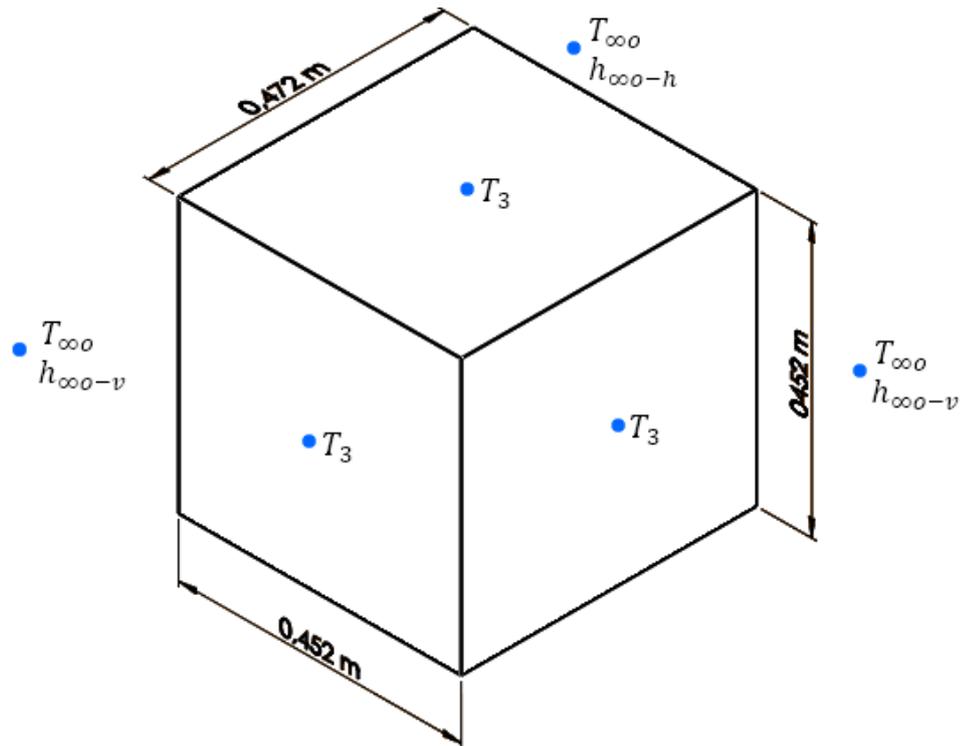
$$P_{cal} = 1.880 W = 1,88 kW$$

### 3.5.2. Coeficiente de transferencia de calor por convección

El principal mecanismo de transferencia de calor, tanto para las paredes exteriores como las interiores del horno para cerámica, constituye la transferencia de calor por convección natural. A continuación, se determina el coeficiente de transferencia de calor por convección en las diferentes paredes del horno.

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

Por razones de seguridad para los operarios, la temperatura máxima de la pared exterior del horno ( $T_3$ ) no debe ser mayor a 80 °C, entonces, la diferencia de temperatura entre el sólido y el fluido en el exterior ( $\Delta T_{V-0}$ ), viene dado por (ver figura 19):



**Figura 19 Dimensiones externas del horno para cerámica**

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

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

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

Donde:

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

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

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

A partir de ésta diferencia de temperatura, se determina la temperatura de la película en la capa límite exterior del horno ( $T_{fo}$ ), dada por la Ec. 2.3.

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

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

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

A partir de la tabla A-15 (ver anexo E), se obtienen las propiedades del aire a la temperatura de la película:

$$k_o = 0,02735 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

$$\nu_o = 1,798 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr_o = 0,7228$$

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

$$\beta_o = \frac{1}{T_{fo}}$$

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

El régimen de flujo en la convección natural se mide mediante el número de Grashof para las paredes verticales exteriores del horno, y este se calcula a partir de la Ec. 2.4:

$$Gr_{L-ov} = \frac{g \cdot \beta_o \cdot \Delta T_{V-0} \cdot L_{c-ov}^3}{\nu_o^2}$$

$$Gr_{L-ov} = \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{1}{323 \text{ K}} \cdot 60 \text{ K} \cdot 0,452^3 \text{ m}^3}{(1,798 \cdot 10^{-5})^2 \frac{\text{m}^4}{\text{s}^2}}$$

$$Gr_{L-ov} = 5,205 \cdot 10^8$$

Donde:

$L_{c-ov}$  = altura característica de la pared vertical exterior = 452 mm

$$L_{c-ov} = 320 + 2L_1 + 2L_2$$

$$L_{c-ov} = 320 \text{ mm} + 2 \cdot 63,5 \text{ mm} + 2 \cdot 2,5 \text{ mm} = 452 \text{ mm}$$

Donde:

$L_1$  = espesor de la pared de ladrillo refractario = 63,5 mm

$L_2$  = espesor de la chapa de acero inoxidable = 2,5 mm

La relación entre la difusividad de la cantidad de movimiento y la difusividad térmica, viene dado por el número de Rayleigh para las paredes verticales exteriores del horno, obtenido de la Ec. 2.5

$$Ra_{L-ov} = Gr_{L-ov} \cdot Pr_o$$

$$Ra_{L-ov} = 5,205 \cdot 10^8 \cdot 0,7228$$

$$Ra_{L-ov} = 3,762 \cdot 10^8$$

De acuerdo con la tabla 9-1 (ver anexo F), la correlación empírica del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre superficies verticales, se obtiene de la Ec. 2.6a.

$$Nu_{ov} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot Ra_{L-ov}^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,492}{Pr_o} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu_{ov} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot 3,762 \cdot 10^{8^{1/6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,492}{0,7228} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu_{ov} = 91,27$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección en las paredes verticales exteriores del horno ( $h_{\infty o-v}$ ), viene dado por la Ec. 2.2:

$$h_{\infty o-v} = \frac{k_o \cdot Nu_{ov}}{L_v}$$

$$h_{\infty o-v} = \frac{0,02735 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \cdot 91,27}{0,452 \text{ m}}$$

$$h_{\infty o-v} = 5,52 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Donde:

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

$L_v$  = altura de la pared vertical del horno = 452 mm

### **b. Coeficiente de transferencia de calor por convección en las paredes horizontales exteriores del horno**

Al igual que para las paredes verticales exteriores, la diferencia de temperatura entre el sólido y el fluido en el exterior ( $\Delta T_{H-0}$ ), es:

$$\Delta T_{H-0} = 60 \text{ } ^\circ C = 333 \text{ K}$$

Y, la temperatura de la película en la capa límite exterior del horno ( $T_{fo}$ ), es:

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

El número de Grashof para las paredes horizontales exteriores del horno se obtiene a partir de la Ec. 2.4:

$$Gr_{L-oh} = \frac{g \cdot \beta_o \cdot \Delta T_{H-0} \cdot L_{c-h}^3}{\nu_o^2}$$

$$Gr_{L-oh} = \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \frac{1}{323 K} \cdot 60 K \cdot 0,1155^3 m^3}{(1,798 \cdot 10^{-5})^2 \frac{m^4}{s^2}}$$

$$Gr_{L-oh} = 8,685 \cdot 10^6$$

Donde:

$L_{c-h}$  = longitud característica de la pared horizontal, m (ver anexo F)

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

$$L_{c-h} = \frac{(0,472 \cdot 0,452) m^2}{(2 \cdot 0,472 + 2 \cdot 0,452) m}$$

$$L_{c-h} = 0,1155 m$$

Donde:

$A_s$  = área de la superficie de transferencia de calor, m<sup>2</sup>

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

El número de Rayleigh para las paredes horizontales exteriores del horno, viene dada por la Ec. 2.5:

$$Ra_{L-oh} = Gr_{L-oh} \cdot Pr_o$$

$$Ra_{L-oh} = 8,685 \cdot 10^6 \cdot 0,7228$$

$$Ra_{L-oh} = 6,278 \cdot 10^6$$

De acuerdo con la tabla 9-1 (ver anexo F), la correlación empírica del número promedio de Nusselt para la convección natural en las superficies horizontales del horno, se obtiene de la Ec. 2.6:

$$Nu_{oh} = 0,27 \cdot Ra_{L-oh}^{1/4}$$

$$Nu_{oh} = 0,27 \cdot 6,278 \cdot 10^6^{1/4}$$

$$Nu_{oh} = 13,51$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección en las paredes horizontales exteriores del horno ( $h_{\infty o-h}$ ), viene dado por la Ec. 2.2

$$h_{\infty o-h} = \frac{k_o \cdot Nu_{oh}}{L_{c-h}}$$

$$h_{\infty o-h} = \frac{0,02735 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \cdot 13,51}{0,1155 m}$$

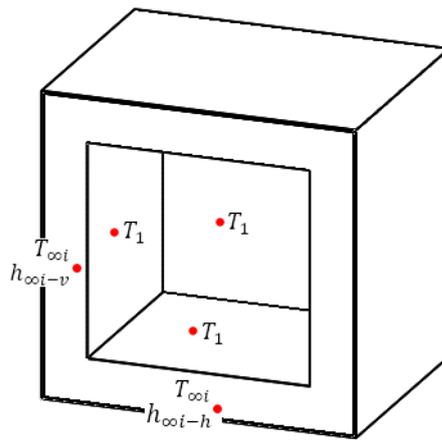
$$h_{\infty o-h} = 3,20 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Donde:

$L_{c-h}$  = longitud característica de las paredes horizontales del horno, m

### c. Coeficiente de transferencia de calor por convección en las paredes verticales interiores del horno

De los resultados obtenidos de los varios cálculos iterativos realizados en el análisis térmico del horno, se determinó que la diferencia de temperatura en el interior de horno ( $\Delta T_{V-i}$ ) es aproximadamente 520 °C (793 K). Por lo tanto, la temperatura de la pared interna es:



**Figura 20 Distribución de temperaturas en el interior del horno**

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

$$T_1 = 1120 \text{ } ^\circ\text{C} - 520 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 600 \text{ } ^\circ\text{C} = 873 \text{ K}$$

Donde:

$T_1$  = temperatura de la pared interior del horno, °C

$T_{\infty i}$  = temperatura máxima requerida en el interior = 1120°C

La temperatura de la película en la capa límite de aire en el interior del horno ( $T_{fi}$ ) se encuentra dada por la Ec. 2.3.

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

$$T_{fi} = \frac{1}{2} \cdot (1.120 + 600)^\circ\text{C}$$

$$T_{fi} = 860^\circ\text{C} = 1133\text{ K}$$

A partir de la tabla del (ver anexo E), se obtienen las propiedades del aire en el interior del horno:

$$k_i = 0,07294\text{ W/m K}$$

$$\nu_i = 1,4478 \cdot 10^{-4}\text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr_i = 0,7183$$

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

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

$$\beta_i = \frac{1}{1133\text{ K}}$$

El número de Grashof para las paredes verticales en el interior del horno, se calcula a partir de la Ec. 2.4.

$$Gr_{L-iv} = \frac{g \cdot \beta_i \cdot \Delta T_{V-i} \cdot L_{c-iv}^3}{\nu_i^2}$$

$$Gr_{L-iv} = \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{1}{1133\text{ K}} \cdot 520\text{ K} \cdot 0,320^3 \text{m}^3}{(1,4478 \cdot 10^{-4})^2 \frac{\text{m}^4}{\text{s}^2}}$$

$$Gr_{L-iv} = 7,038 \cdot 10^6$$

Donde:

$L_{c-iv}$  = altura característica de la pared vertical interior = 0,320 m

El número de Rayleigh para las paredes verticales en el interior del horno, se obtiene de la Ec. 2.5.

$$Ra_{L-iv} = Gr_{L-iv} \cdot Pr_i$$

$$Ra_{L-iv} = 7,038 \cdot 10^6 \cdot 0,7183$$

$$Ra_{L-iv} = 5,056 \cdot 10^6$$

Donde:

$Pr_i$  = número de Prandtl del aire en el interior del horno

El número promedio de Nusselt para la convección natural sobre las superficies verticales interiores del horno, se obtiene de la Ec. 2.6a.

$$Nu_{iv} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot Ra_{L-iv}^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,492}{Pr_i} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu_{iv} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot 5,056 \cdot 10^{6 \cdot 1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,492}{0,7183} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu_{iv} = 25,79$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección en las paredes verticales interiores del horno ( $h_{\infty i-v}$ ), viene dado por la Ec. 2.2.

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

$$h_{\infty i-v} = \frac{0,07294 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \cdot 25,79}{0,452 \text{ m}}$$

$$h_{\infty i-v} = 4,16 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Donde:

$L_v$  = altura de la pared vertical del horno = 0,452 m

#### **d. Coeficiente de transferencia de calor por convección en las paredes horizontales interiores del horno**

Al igual que para las paredes verticales interiores, la diferencia de temperatura entre el sólido y el fluido en el interior ( $\Delta T_{H-i}$ ) es 520 °C (793 K), y la temperatura de la película en la capa límite de aire en el interior del horno ( $T_{fi}$ ) es 860 °C (1133 K). El número de Grashof para las paredes horizontales interiores del horno se obtiene a partir de la Ec. 2.4.

$$Gr_{L-ih} = \frac{g \cdot \beta_i \cdot \Delta T_{H-i} \cdot L_{c-h}^3}{\nu_i^2}$$

$$Gr_{L-ih} = \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \frac{1}{1133 \text{ K}} \cdot 520 \text{ K} \cdot 0,1155^3 m^3}{(1,4478 \cdot 10^{-4})^2 \frac{m^4}{s^2}}$$

$$Gr_{L-ih} = 3,310 \cdot 10^5$$

Donde:

$L_{c-h}$  = longitud característica de la pared horizontal = 0,1155 m

El número de Rayleigh para las paredes horizontales interiores, se obtiene de la Ec. 2.5.

$$Ra_{L-ih} = Gr_{L-ih} \cdot Pr_i$$

$$Ra_{L-ih} = 3,310 \cdot 10^5 \cdot 0,7183$$

$$Ra_{L-ih} = 2,377 \cdot 10^5$$

El número promedio de Nusselt, para la convección natural sobre las superficies horizontales interiores de horno, se obtiene de la Ec. 2.6b.

$$Nu_{ih} = 0,27 \cdot Ra_{L-ih}^{1/4}$$

$$Nu_{ih} = 0,27 \cdot 2,377 \cdot 10^{5^{1/4}}$$

$$Nu_{ih} = 5,961$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección en las paredes horizontales interiores del horno ( $h_{\infty i-h}$ ), viene dado por la Ec. 2.2.

$$h_{\infty i-h} = \frac{k_i \cdot Nu_{ih}}{L_{c-h}}$$

$$h_{\infty i-h} = \frac{0,07294 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \cdot 5,961}{0,1155 m}$$

$$h_{\infty i-h} = 3,76 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

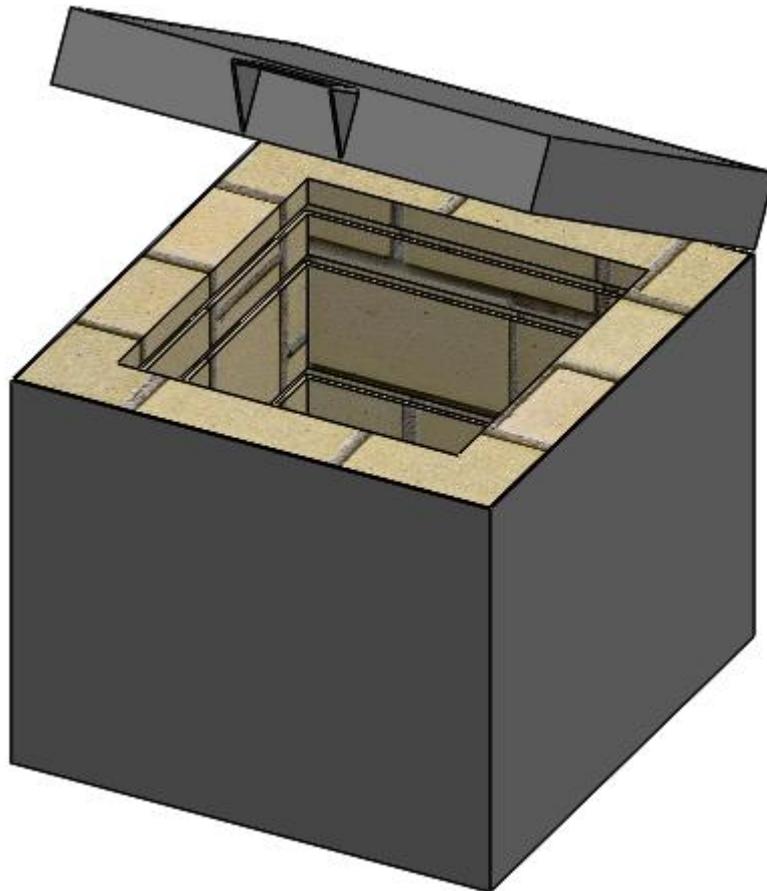
Donde:

$L_{c-h}$  = longitud característica de las paredes horizontales del horno, m

### 3.5.3. Cálculo de las pérdidas de calor en el horno

El calor que se genera dentro del horno se transfiere tanto al material cerámico a calentar como a sus paredes. La acumulación de calor en las paredes, exige un consumo mayor de energía, por lo que, es conveniente determinar las pérdidas de calor a través de las paredes del horno, para diferentes configuraciones de espesores de aislante, y mediante un cálculo iterativo determinar el espesor adecuado, que permite mantener las pérdidas de calor dentro de un rango apropiado, produciendo un menor consumo de energía.

Las pérdidas de calor en el horno para cerámica se producen principalmente por conducción y por convección, a través de sus seis paredes compuestas (ver figura 21).



**Figura 21 Paredes compuestas del horno para cerámica**

Como se muestra en la (ver figura 22), la rapidez de transferencia de calor en estado estacionario a través de las paredes planas compuestas del horno para cerámica, expuestas a convección natural tanto en el interior como en el exterior del horno, se determina al dividir la diferencia de temperatura que existe entre los dos fluidos para la resistencia térmica total que se encuentra en la trayectoria del flujo de calor, como indica la siguiente ecuación.

$$\dot{Q}_L = \frac{T_{\infty i} - T_{\infty o}}{\sum R_T}$$

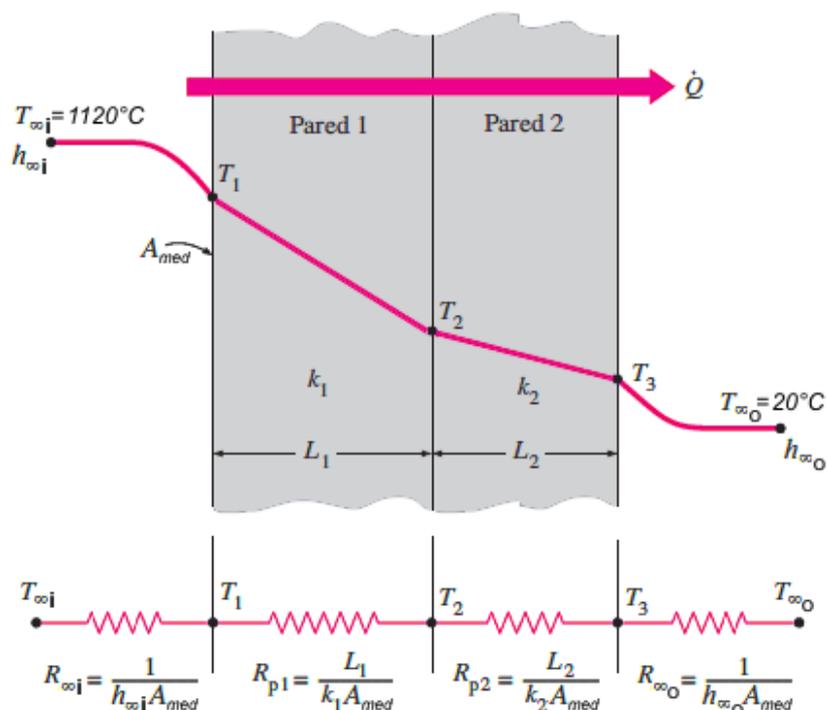
Donde:

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

$R_T$  = resistencias térmicas por convección y conducción a través de paredes planas de capas múltiples, °C / W

$T_{\infty i}$  = temperatura del aire en el interior del horno, 1.120 °C

$T_{\infty o}$  = temperatura del aire en el exterior del horno, 20 °C



**Figura 22 Red de resistencias térmicas en el horno**

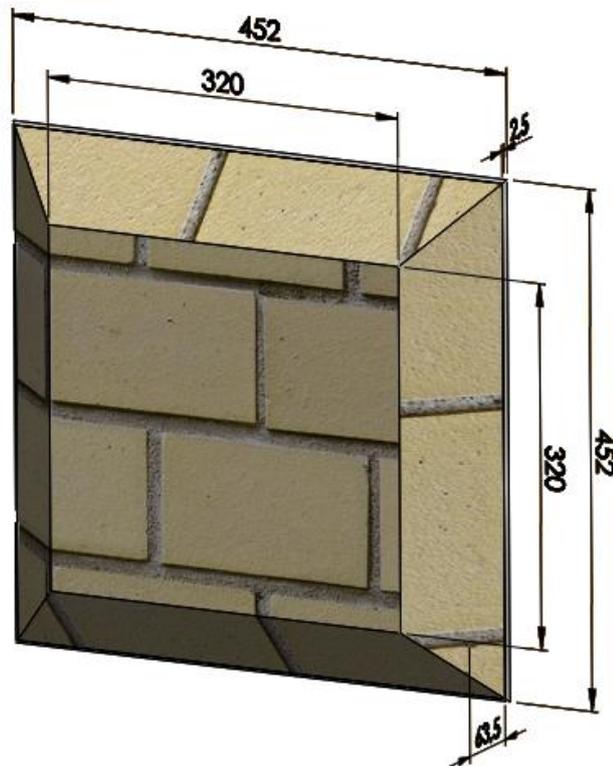
**Fuente:** (Cengel, 2011)

### e. Pérdidas de calor en las paredes frontal y posterior del horno

Del análisis de la (ver figura 23), se determina que, el área promedio de la pared frontal y de la pared posterior, está dada por:

$$A_{med1} = \frac{1}{2} [(0,320 \cdot 0,320) + (0,452 \cdot 0,452)] m^2$$

$$A_{med1} = 0,153 m^2$$



**Figura 23 Pared compuesta posterior del horno para cerámica**

La rapidez de transferencia de calor a través de la pared frontal y la pared posterior, se obtiene a partir de la siguiente ecuación.

$$\dot{Q}_{L1} = \frac{T_{\infty i} - T_{\infty o}}{\frac{1}{h_{\infty i-v} \cdot A_{med1}} + \frac{L_1}{k_1 \cdot A_{med1}} + \frac{L_2}{k_2 \cdot A_{med1}} + \frac{1}{h_{\infty o-v} \cdot A_{med1}}}$$

$$\dot{Q}_{L1} = \frac{(1120 - 20)^\circ C}{\left( \frac{1}{4,16 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}} + \frac{0,0635 m}{1,04 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}} + \frac{0,0025 m}{19,0 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}} + \frac{1}{5,52 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}} \right)} \cdot 0,153 m^2$$

$$\dot{Q}_{L1} = 348,64 \text{ W}$$

Donde:

$k_1$  = conductividad térmica del ladrillo refractario, W / m °C (ver anexo G)

$k_2$  = conductividad térmica del acero inoxidable, W / m °C (ver anexo H)

$L_1$  = espesor de la pared de ladrillo refractario = 6,35 mm

$L_2$  = espesor de la chapa de acero inoxidable = 2,5 mm

#### f. Pérdidas de calor en las paredes laterales del horno

De acuerdo con la (ver figura 24), el área promedio de la pared lateral derecha y de la pared lateral izquierda del horno, es:

$$A_{med2} = \frac{1}{2} [(0,320 \cdot 0,340) + (0,452 \cdot 0,472)] m^2$$

$$A_{med2} = 0,161 \text{ m}^2$$

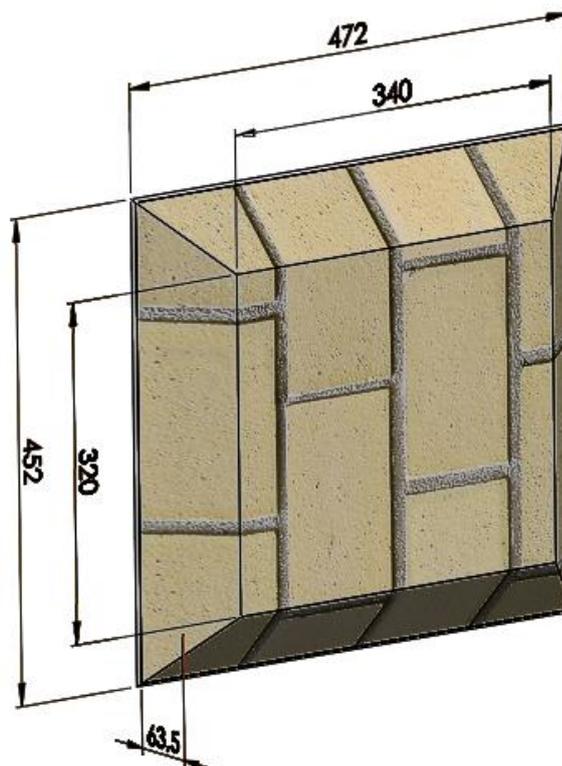


Figura 24 Pared compuesta lateral del horno para cerámica

La rapidez de transferencia de calor a través de la pared lateral izquierda y la pared lateral derecha, se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{L2} = \frac{T_{\infty i} - T_{\infty o}}{\frac{1}{h_{\infty i-v} \cdot A_{med2}} + \frac{L_1}{k_1 \cdot A_{med2}} + \frac{L_2}{k_2 \cdot A_{med2}} + \frac{1}{h_{\infty o-v} \cdot A_{med2}}}$$

$$\dot{Q}_{L2} = \frac{(1.120 - 20)^{\circ}\text{C}}{\left( \frac{1}{4,16 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}} + \frac{0,0635 \text{ m}}{1,04 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}}} + \frac{0,0025 \text{ m}}{19,0 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}}} + \frac{1}{5,52 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}} \right) \cdot 0,161 \text{ m}^2}$$

$$\dot{Q}_{L2} = 366,86 \text{ W}$$

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

En base a la (ver figura 25), se determina el área promedio de la pared superior y de la pared inferior del horno de cerámica:

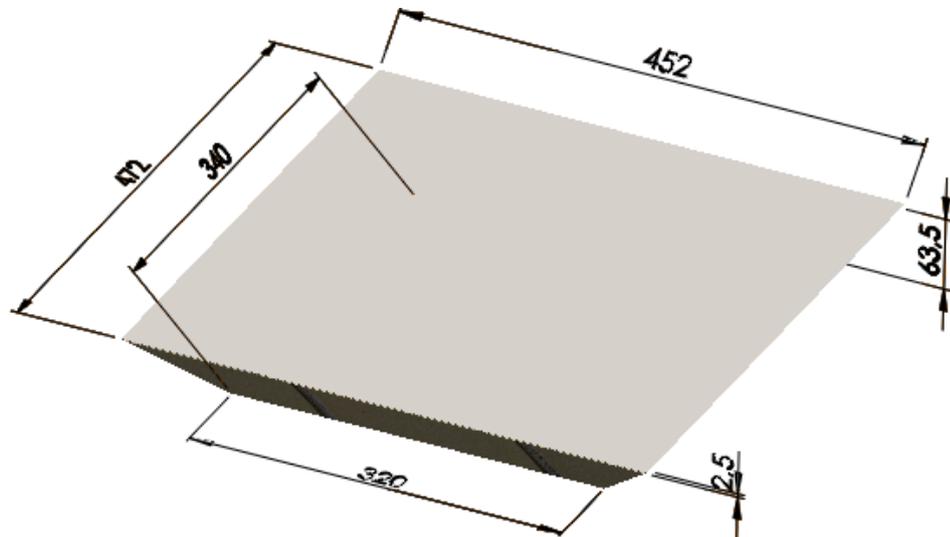


Figura 25 Pared compuesta superior del horno

$$A_{med3} = \frac{1}{2} [(0,340 \cdot 0,320) + (0,472 \cdot 0,452)] \text{ m}^2$$

$$A_{med3} = 0,161 \text{ m}^2$$

La rapidez de transferencia de calor a través de la pared lateral izquierda y la pared lateral derecha, se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{L3} = \frac{T_{\infty i} - T_{\infty o}}{\frac{1}{h_{\infty i-h} \cdot A_{med3}} + \frac{L_1}{k_1 \cdot A_{med3}} + \frac{L_2}{k_2 \cdot A_{med3}} + \frac{1}{h_{\infty o-h} \cdot A_{med3}}}$$

$$\dot{Q}_{L3} = \frac{(1120 - 20)^{\circ}C}{\left( \frac{1}{3,76 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}} + \frac{0,0635 m}{1,04 \frac{W}{m \cdot ^{\circ}C}} + \frac{0,0025 m}{19,0 \frac{W}{m \cdot ^{\circ}C}} + \frac{1}{3,20 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}} \right) \cdot 0,161 m^2}$$

$$\dot{Q}_{L3} = 276,87 W$$

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

$$\dot{Q}_{LT} = 2 \cdot \dot{Q}_{L1} + 2 \cdot \dot{Q}_{L2} + 2 \cdot \dot{Q}_{L3}$$

$$\dot{Q}_{LT} = 2 \cdot 348,64 W + 2 \cdot 366,86 W + 2 \cdot 276,87 W$$

$$\dot{Q}_{LT} = 1.984,74 W = 1,985 kW$$

### 3.4.3. Cálculo de la potencia térmica total requerida

La potencia térmica total ( $P_T$ ) requerida para mantener el horno a 1120 °C durante el tiempo de cocción de la cerámica, se obtiene de la Ec. 2.9., sumando la potencia requerida en el horno para calentar la cerámica, más las pérdidas de calor totales a través de las paredes.

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

$$P_T = (1,880 + 1,985) kW$$

$$P_T = 3,865 \text{ kW}$$

Con el objeto de contemplar situaciones particulares adversas, se selecciona resistencias eléctricas que entreguen una potencia combinada de 4.0 kW.

#### 3.4.4. Corriente a ser consumida por el horno

Una vez determinada la potencia total del sistema, se puede determinar la corriente a ser consumida por el horno. Al tratarse de una alimentación eléctrica monofásica a dos hilos y puramente resistiva, el cálculo sería el siguiente:

$$I_l = \frac{P_T}{V} = \frac{4 \text{ kW}}{220 \text{ V}}$$

$$I_l = 18,18 \text{ A}$$

#### 3.4.5. Selección de las resistencias eléctricas

La longitud total de la resistencia tipo Kanthal – A1 necesaria para obtener la potencia requerida (4.0 kW), se calcula a partir de las tablas suministradas por el fabricante de dicha resistencia (ver anexo I). La Ec. 2.10 facilita determinar el valor de la carga superficial ( $\rho$ ) suministrada por la resistencia.

$$\rho = \frac{C_t \cdot I_l^2}{G_\rho}$$

$$\rho = \frac{1,04 \cdot (18,18 \text{ A})^2}{69,7 \text{ cm}^2 / \Omega}$$

$$\rho = 4,9326 \text{ W} / \text{cm}^2$$

Ahora para 4.0 kW de potencia total suministrada con un área superficial por longitud dada por la resistencia, tenemos lo siguiente:

$$L = 4,9326^{-1} \left( \text{cm}^2 / \text{W} \right) \cdot 4000 \text{ (W)} \div 50,3 \left( \text{cm}^2 / \text{m} \right)$$

$$L_T = 16,12 \text{ m}$$

Dado que son cuatro canales distribuidos uniformemente en el interior del horno.

$$L_C = \frac{16,12}{4} \text{ m}$$

$$L_C \cong 4 \text{ m}$$

Por lo tanto, para cada canal, se va a utilizar cuatro metros de resistencia eléctrica tipo Kanthal – A1, calibre 14 AWG.

#### **3.4.6. Selección del contactor principal**

El contactor principal a elegirse, cuenta con un circuito de potencia puramente resistivo, por tanto, de acuerdo a la norma IEC 60947-4 se realizará la selección del mismo bajo la categoría AC1. Además, debe considerarse que, para sacar a las resistencias de su estado de inercia se producen picos de corriente que varían de 2 a 3 veces la corriente nominal.

Normalmente en este circuito no se producen sobreintensidades de corriente, por lo que basta con protegerlo contra los cortocircuitos utilizando, por ejemplo, cortacircuitos fusibles de clase Gg. (TELEMECANIQUE, 1999)

Consecuentemente la selección del contactor es en base a la potencia máxima requerida por el horno, la cual se determinó en 3,87 kW, ahora tomando en cuenta factores adversos. Se determina el horno con una

potencia máxima de alimentación de 4 kW, de esta manera se determina la corriente a ser consumida.

$$I_{\text{contactor}} = \frac{(3)(I_l)}{(1,6)} = 34,09A \cong 40A$$

Por lo tanto, el contactor a usar bajo la norma IEC 60947-4 en categoría AC1 es de 40A.

(TELEMECANIQUE, 1999) Manual electromecánico.

### **3.4.7. Selección del fusible para el circuito de control**

El fusible para el circuito de control se considera con un máximo de 2A, especialmente debe estar diseñado para proteger el controlador, el cual también soporta un máximo de 2A de corriente.

### **3.4.8. Selección del fusible para el circuito de fuerza**

De acuerdo a la norma IEC 60364, para voltajes no superiores a 500V, la protección se basa en el estudio de la categoría II, se realiza la conexión del fusible para la protección de materiales cuya utilización está pensada para ser conectados a la instalación eléctrica fija del edificio. Por ejemplo: herramientas portátiles, informática, TV, Hi-Fi, alarmas, etc. (IEC 60364, 2005).

Por lo tanto, el fusible a seleccionar se dimensiona de acuerdo al siguiente cálculo:

$$I_{\text{fusible}} = 1,25 \cdot I_l$$

$$\therefore I_{\text{fusible}} = 1,25 \cdot 18,18A = 22,73A \cong 25A$$

### 3.4.9. Selección del relé térmico

La norma IEC 947-4-1-1 responde a la necesidad para el cálculo de la protección térmica en el circuito a ser utilizado. Lo cual nos establece que para la selección se la realiza tomando en cuenta la clase 10, válidos para todas las aplicaciones de corrientes con una duración de arranque inferior a 10 segundos o menos al 600% de su corriente nominal.

$$I_{\text{térmico}} = I_l * 1,5$$

$$\therefore I_{\text{térmico}} = 1,5 \cdot 18,18A = 27,27A \cong 30A$$

### 3.5. Diseño mecánico de la estructura soporte

Para optimizar el proceso de diseño mecánico de la estructura soporte del horno para cerámica, se utilizaron programas de Diseño Asistido por Computador (CAD) y de Ingeniería Asistida por Computador (CAE), con el fin de realizar de forma rápida y precisa su análisis de esfuerzos hasta encontrar las dimensiones y tipo de perfil adecuado para su fabricación, de manera que se garantice un soporte seguro del horno, aun cuando se encuentre bajo cargas críticas de operación.

Debido a que sobre la estructura soporte se instala el horno para cerámica con todos sus componentes, éste debe ser lo suficientemente rígido para soportar el peso completo de la máquina.

- Peso del ladrillo refractario  $W_1 = 860 N$
- Peso del revestimiento de acero inoxidable  $W_2 = 280 N$
- Peso de los componentes eléctricos y electrónicos  $W_3 = 90 N$

El peso total del horno de cerámica es:

$$W_H = (860 + 280 + 90) N$$

$$W_H = 1.230 N$$

El análisis de esfuerzos del bastidor se ejecuta con la ayuda de un software CAE, el análisis estático se adjunta en (ver anexo J).

## **CAPÍTULO IV**

### **CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN**

#### **4.1. Introducción**

En este capítulo se tratará lo concerniente a la construcción del horno, para lo cual se detalla paso a paso la elaboración del mismo tanto en la parte mecánica como en la parte eléctrica.

En el capítulo dos se trató de manera detallada la selección de los materiales a utilizar y su debido montaje en CAD, para posteriormente proceder a la parte constructiva.

#### **4.2. Montaje de los componentes mecánicos**

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

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

##### **4.2.1. Construcción de las paredes interiores del horno.**

Para la construcción de las paredes interiores del horno, se utilizará ladrillo refractario de alta densidad del tipo JM26 de 63,5 mm de espesor (2,5 in), de dos formas (ver figura 26). Los ladrillos acanalados se utilizarán para las paredes laterales del horno, donde posteriormente se ubicaron las

resistencias eléctricas. Los ladrillos rectangulares se utilizaron para el techo y la base del horno.



**a. Ladrillo acanalado**



**b. Ladrillo rectangular liso**

**Figura 26 Tipos de ladrillos refractarios**

Se empezó con las paredes laterales del horno, para lo cual se unirá con cemento refractario (ver figura 27). Los ladrillos acanalados correspondientes, se utilizaron para construir una fila de ladrillos formada por la parte lateral de la pared del horno. Posterior a esto se procedió a unir todas las filas para finalmente formar la pared.



**a. Fila de ladrillos**



**b. Unión de filas**



**c. Pared lateral armada**

**Figura 27 Construcción de una pared lateral del horno**

Una vez armadas las cuatro paredes laterales interiores del horno, se procedió a juntarlas para pegarlas con cemento refractario (ver figura 28).



**a. Pared lateral interior construida**



**b. Paredes laterales interiores armadas**

**Figura 28 Paredes laterales del horno**

Se procedió con la construcción de la base y el techo del horno los cuales tienen dimensiones de 34 x 32 cm, ahora se utilizará el ladrillo refractario rectangular normal. En primera instancia, se procede a cortar el exceso de ladrillo, para posteriormente dejar en la medida deseada a construir (ver figura 29).



**Figura 29 Corte del exceso de ladrillo**

Una vez realizado el corte del exceso de ladrillo, se procede a pegar con ladrillo refractario los ladrillos, una vez pegadas todas las paredes del horno se procede a la cocción del mismo, este procedimiento es necesario para garantizar un pegado óptimo entre ladrillos (ver figura 30).



**a. Preparación de las paredes del horno para la cocción**



**b. Horno de cocción para las paredes interiores**

**Figura 30 Cocción de las paredes interiores del horno**

#### **4.2.2. Corte y perforación de la carcasa del horno.**

Para la carcasa se utilizará chapa metálica de acero inoxidable de 2,5 mm de espesor, con la finalidad de que sea un recubrimiento que brinde tanto durabilidad como protección al material aislante, debido a la alta fragilidad de este último.

En la parte inicial se tomará el perímetro de los ladrillos armados, para de esta manera conseguir la longitud a cubrir por la plancha metálica, una vez cortada la plancha se procede a señalar cada cara a cubrir en las paredes del horno, tomando en cuenta los lugares en los que se va a perforar debido a que se debe ubicar las entradas y salidas de las resistencias eléctricas (ver figura 31.a).

Una vez cortada y perforada la plancha, se da lugar al doblado de la plancha, valiéndonos de una máquina-herramienta. Para este caso mediante una dobladora, en cada una de las aristas, de esta manera encajen de la manera más exacta posible con los ladrillos. Para así evitar pérdidas de calor,

que es lo que más se quiere evitar para el caso de hornos que alcancen elevadas temperaturas (ver figura 31.b).



**a. Corte y perforación de la plancha de acero**



**b. Doblado de las aristas de la plancha**

**Figura 31 Corte y doblado de la plancha de acero**

#### **4.2.3. Unión de las planchas para el recubrimiento del horno**

Una vez la plancha se encuentre doblada en sus tres aristas (ver figura 32.a), se procede a soldar la última arista. Para lo cual primero colocamos en

el interior del recubrimiento los ladrillos tanto de la base, como de las paredes del horno (ver figura 32.b)



**a. Recubrimiento del horno**



**b. Interior del horno**

**Figura 32 Ensamble de las planchas de acero**

Antes de continuar con el proceso de soldadura, se debe tener a presión la plancha de acero (ver figura 33.a), en el punto el cual se va a realizar la soldadura. Para evitar que la plancha se pandee. Por tanto, también el proceso de soldadura, debe ser ejecutado de manera correcta y eficiente (ver figura 33.b).



**a. Sujeción a presión del recubrimiento del horno**



**b. Soldadura del recubrimiento del horno**

**Figura 33 Soldadura de la plancha de acero**

En la parte frontal de la carcasa del horno se encuentra una mirilla, el cual dota de visibilidad al horno, para realizar inspecciones visuales durante la quema del material ubicado en el horno (ver figura 34).



**a. Vista frontal de la estructura**



**b. Vista lateral derecha de la estructura**

**Figura 34 Estructura exterior del horno**

#### **4.3. Montaje de las resistencias eléctricas**

Las resistencias eléctricas vienen a ser el alma del horno, motivo por el cual se parte de un cálculo minucioso, realizado en el capítulo anterior para lograr la mayor exactitud posible y de esta manera determinar la longitud del Kanthal A1 a ser ubicada en los canales interiores del horno.

#### 4.3.1. Medición y corte de la longitud de la resistencia

Como se vio anteriormente en el capítulo de diseño, se va a proceder a cortar cuatro metros para cada canal ubicado en el interior del horno, para lo cual se empezó con la toma de medida y el posterior corte de la resistencia eléctrica (ver figura 35).



**Figura 35 Medición de la longitud de la resistencia**

#### 4.3.2. Enrollado de las resistencias eléctricas.

Una vez tomada la medida y realizado el corte de las resistencias eléctricas, se procederá a realizar el enrollamiento de las mismas (ver figura 36). Tomando en cuenta el perímetro total que van a ocupar en cada canal del horno. Cabe recordar que todos estos parámetros están tratados en el capítulo anterior de diseño.



**Figura 36 Enrollamiento de las resistencias eléctricas**

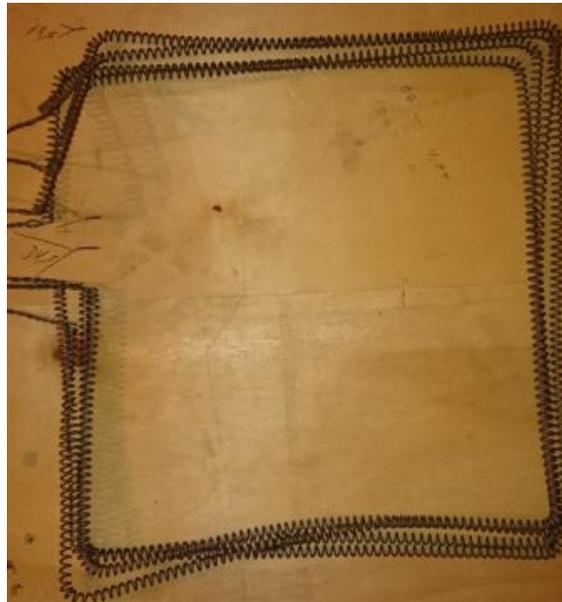
Posterior al enrollado de las resistencias, se procede a darle la forma adecuada de acuerdo a las medidas interiores del horno, para ello desenrollamos las resistencias. De esta manera dejando la longitud de la misma enrollada el mismo del perímetro interior del horno, para ello se utilizó una prensa como herramienta auxiliar (ver figura 37).



**a. Resistencias enrolladas**



**b. Alargamiento de las resistencias enrolladas**



**c. Moldeado de las resistencias**

**Figura 37 Enrollamiento y moldeado de las resistencias eléctricas**

#### **4.4. Montaje de los dispositivos eléctricos**

##### **4.4.1. Instalación de la termocupla**

La termocupla al ser el elemento que censa la temperatura en el interior del horno (a una temperatura máxima de 1120 °C) debe estar correctamente aislada, razón por la cual se la instala en una bornera de cerámica (ver figura

38.a). Su ubicación en el interior del horno (ver figura 38.b) debe ser en un espacio que le permita censar correctamente la temperatura y a la vez no afecte el ingreso de material a hornear.



**a. Instalación de la termocupla en la bornera de cerámica**



**b. Colocación de la termocupla en el interior del horno**

**Figura 38 Instalación de la termocupla**

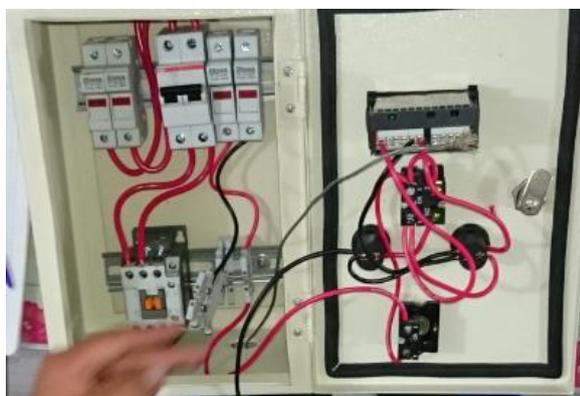
#### 4.4.2. Tablero de control

Para el montaje de los elementos en el tablero de control se considera: dos luces piloto, una de encendido y la otra de apagado. Un selector ON/OFF, un paro de emergencia y el dispositivo controlador de temperatura, los cuales deben estar correctamente distribuidos para un uso eficaz del tablero de control (ver figura 39).



**Figura 39** Tablero de control

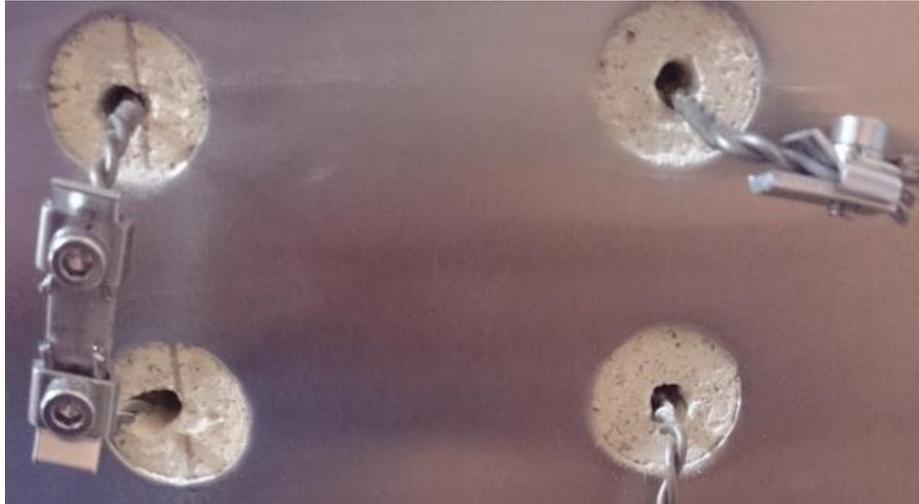
Para el circuito de control se utilizó cable flexible #12 AWG rojo y negro (ver figura 40). El circuito de fuerza esta alimentado por cable flexible #10 AWG flexible de color rojo.



**Figura 40** Circuito de control y fuerza

#### 4.4.3. Unión de las niquelinas

Las resistencias eléctricas al estar expuestas a temperaturas muy elevadas (1120 °C) solo pueden ser unidas con elementos que de la misma manera soporten elevadas temperaturas y no aporten una resistencia significativa, de esta manera la potencia suministrada no se vea afectada por un elemento resistivo adicional (ver figura 41).



**Figura 41 Unión de los ramales de las niquelinas**

## **CAPÍTULO V**

### **PRUEBAS EXPERIMENTALES**

#### **5.1. Pruebas y análisis de resultados**

Empleando un controlador ELIWELL IC915LX adecuado para controlar las condiciones deseadas de temperatura a emplear en el proceso para el cual se aplica dicho estudio. El controlador posee un control ON-OFF, suficiente para este tipo de aplicaciones.

##### **5.1.1. Condiciones físicas**

El horno de cuece tiene un espacio físico con las siguientes dimensiones

- Largo: 340 mm
- Ancho: 320 mm
- Altura: 320 mm

El tablero de control, donde se encuentran ubicados los circuitos de control y de fuerza, se encuentra colocado en la parte izquierda del horno, esto facilita una mejor operación.

Las resistencias eléctricas (kanthal) que elevan los grados de temperatura dentro del horno, están ubicadas en la parte de las paredes laterales internas del horno.

##### **5.1.2. Sistema de control**

El objetivo del sistema de control es controlar los grados de temperatura del horno mediante la activación y desactivación de las resistencias eléctricas (kanthal), donde esta función la hace el contactor.

El controlador de temperatura, recibe una señal eléctrica de la termocupla tipo "K" y de acuerdo con el valor establecido ( $^{\circ}C$ ) por las condiciones de la

cerámica a quemar, este envía una señal eléctrica al contactor, q mediante un contacto normalmente cerrado (NC), el cual activara y desactivara las resistencias eléctricas de calentamiento controlando así los grados de temperatura del horno.

El valor censado por la termocupla tipo “K” se los visualiza en la pantalla digital del controlador y el valor del tiempo el controlador cuenta con Timer incluido internamente.

El Timer interno del controlador, controla el tiempo de quema de la cerámica dentro del horno, que una vez cumplido el tiempo de cuece, este desactiva el sistema mediante el contacto normalmente cerrado (NC).

### 5.1.3. Parámetros de funcionamiento

Los parámetros de funcionamiento del horno para la quema de la cerámica y resina, se muestran en la siguiente tabla

**Tabla 2**

#### **Parámetros de funcionamiento**

Voltaje de alimentación	220V
Corriente de línea	$I_L=18,9A$
Temperatura de calentamiento	1.080 °C
Histéresis	$\pm 2$ °C
Resistencias eléctricas	1.000 W x 4

### 5.1.4. Protocolo de pruebas del horno y del material

Antes de realizar las pruebas tanto del horno como de la pieza (ver figura 42.a), se debe tener en cuenta las siguientes condiciones:

- Verificar que no exista fugas de calor por ranuras desde el interior del horno hacia el exterior.

- Comprobar la temperatura de cuece de la cerámica.
- Comprobar el tiempo de calentamiento de la cerámica.
- Verificar que no existan fugas en los respectivos tanques que contiene el material a calentar, (ver figura 42.b).



**a. Prueba del cuece de la cerámica**



**b. Hermeticidad del horno**



**c. Horno en funcionamiento**

**Figura 42 Pruebas de funcionamiento del horno**

### 5.1.5. Resultados

Para determinar el buen funcionamiento del horno, se realizaron varias pruebas a diferentes niveles de temperatura y tiempo con los materiales a hornear. En la tabla 3, se observan los valores tomados al realizar la prueba del horno.

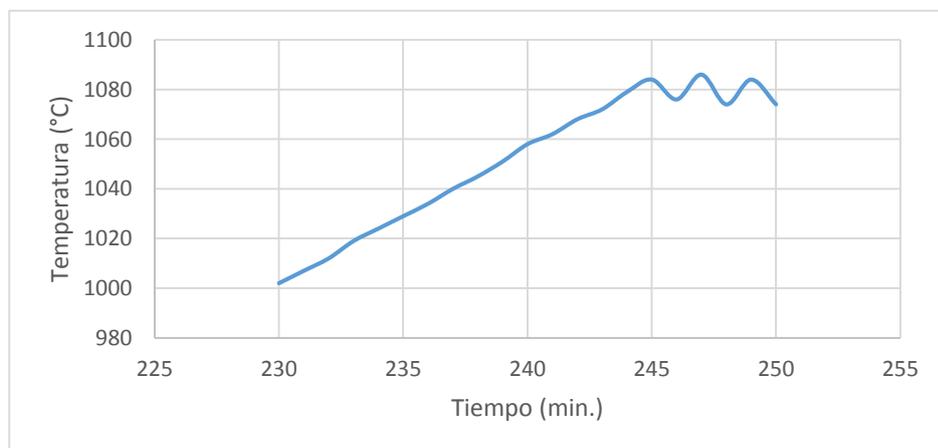
**Tabla 3**  
**Medición de la temperatura del horno en un intervalo de 4 horas**

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Estado (ON/OFF)
1	20	
2	25	
3	29	
4	34	
5	40	
6	44	
7	50	
8	54	
9	60	
10	65	
11	69	
12	74	
13	81	
14	86	
15	90	
16	93	
17	98	
18	104	
19	109	
20	115	
21	119	
22	124	
23	128	
24	133	
25	139	
26	144	
27	149	
28	153	

 **CONTINUA**

29	159	
30	163	
...	...	
230	1002	
231	1007	
232	1012	
233	1019	
234	1024	
235	1029	
236	1034	
237	1040	
238	1045	
239	1051	
240	1058	
241	1062	
242	1068	
243	1072	
244	1079	
245	1084	OFF
250	1076	ON
254	1086	OFF
260	1074	ON
267	1084	OFF
272	1074	ON

A partir de la cuarta hora de funcionamiento del horno, los parámetros de cambio de estado de encendido y apagado se mantienen constantes, lo cual corresponde a un control ON-OFF, en la (ver figura 43), se muestra la curva de funcionamiento con los valores tomados de la tabla 3.



**Figura 43 Curva de comportamiento del horno con el material**

### **5.1.6. Análisis de resultados**

Como resultado de varias pruebas hechas en el horno, tenemos que el calor generado por las resistencias eléctricas, calientan el horno en su totalidad en un tiempo de 245 minutos hasta calentar toda el espacio interno, luego el material a calentar comenzara a absorber calor en un tiempo de aproximadamente 6 minutos por lo tanto desde ese momento las resistencias calientan al horno en un tiempo mínimo de 4 minutos aproximadamente, el tiempo de calentamiento será constante para todo el proceso, e incluso para el tiempo en que el material absorbe calor.

## **5.2. Análisis económico**

Mediante el análisis económico se determinará el beneficio que se obtendrá con la construcción del horno eléctrico. Se hará una relación de gastos y utilidad entre el horno anteriormente usado y el actual.

### **5.2.1. Inversión inicial**

La inversión inicial se determina a partir de la construcción del horno eléctrico, teniendo en consideración los siguientes costos:

- Costos de la materia prima directa (MPD)
- Costos de la mano de obra directa (MOD)
- Costos indirectos (CI)

#### **a. Costos de la materia prima directa (MPD)**

Consiste en la adquisición de materiales y equipos para la construcción del horno eléctrico, los mismos que se detallan en las tablas a continuación:

**Tabla 4****Costos de los materiales para la estructura**

<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>IVA (12%)</b>	<b>Total (USD)</b>
Ladrillos refractarios aislantes	50	\$ 7,60	\$ 0,91	\$ 425,60
Plancha de acero inoxidable de 1mm espesor.	1	\$ 264,00	\$ 36,00	\$ 300,00
Cemento refractario: Caneca de 35 kg	1	\$ 89,00	\$ 10,68	\$ 99,68
Kanthal A1	4	\$ 100,00	\$ 12,00	\$ 448,00
Bornera cerámica para 1 elemento	1	\$ 11,50	\$ 1,38	\$ 12,88
Cable de extensión termocupla K, 24AWG, malla SS	1	\$ 4,23	\$ 0,51	\$ 4,74
Termocupla K, 24" recubierta cerámica	1	\$ 35,00	\$ 4,20	\$ 39,20
Conector de Porcelana Bipolar AK 385	2	\$ 11,00	\$ 1,32	\$ 24,64
Cable de Alta Temperatura 10 AWG	1	\$ 6,49	\$ 0,78	\$ 7,27
Terminales (Ni) Alta Temperatura	10	\$ 1,80	\$ 0,22	\$ 20,20
Cajetín eléctrico 30cmx20cmx15cm	1	\$ 18,00	\$ 2,16	\$ 20,16
<b>Total</b>				<b>\$ 1.402,37</b>

**Tabla 5****Costos de los materiales para el control**

<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>IVA (12%)</b>	<b>Total (USD)</b>
Contactador 100-250 VAC/DC	1	\$ 26,06	\$ 3,13	\$ 29,19
Luz Piloto 220V CAMSCO (Verde)	1	\$ 1,62	\$ 0,19	\$ 1,81
Luz Piloto 220V CAMSCO (Roja)	1	\$ 1,46	\$ 0,17	\$ 1,63
Alambre Solido 14 AWG 10 mts.	1	\$ 3,50	\$ 0,42	\$ 3,92

 **CONTINUA**

Pulsador de emergencia CAMSCO	1	\$ 2,50	\$ 0,30	\$ 2,80
Riel DIN 35 2M Schneider Electric	1	\$ 12,00	\$ 1,44	\$ 13,44
Bornera FUS 4MM 12AWG	2	\$ 5,46	\$ 0,66	\$ 12,24
Fusible Cristal 20mm 1.5 A	2	\$ 0,04	\$ 0,00	\$ 0,09
Broca de Hierro 5/64	2	\$ 0,10	\$ 0,01	\$ 0,21
Tornillo Colepato ½ x 8	10	\$ 0,02	\$ 0,00	\$ 0,22
Canaleta Dexson Ranurada Gris 25 x 25	1	\$ 4,92	\$ 0,59	\$ 5,51
Bloque Selector CAMSCO	1	\$ 0,85	\$ 0,10	\$ 0,95
Cable Flexible 10 AWG 6 mts	1	\$ 0,90	\$ 0,10	\$ 1,00
Bornera eléctrica 2,5 mm 12AWG	4	\$ 1,51	\$ 0,18	\$ 6,76
Control de temperatura ELLWELL, Rango -150 +1350 °C, IC915LX	1	\$ 106,74	\$ 12,81	\$ 119,55
<b>Total</b>				<b>\$ 199,32</b>

**Tabla 6****Inversión total**

<b>Tipo de inversión</b>	<b>Monto</b>
Horno eléctrico	\$ 1.402,37
Control eléctrico	\$ 199,32
<b>Total</b>	<b>\$ 1.601,69</b>

**b. Costos de la mano de obra directa (MOD)**

Estos costos se refieren a la mano de obra utilizada para el diseño y construcción del horno eléctrico, lo que se toma en consideración: la mano de obra calificada y no calificada.

**Tabla 7****Costos de la mano de obra directa**

Mano de obra	Descripción	Cantidad	Total
Calificada	Diseñador del proyecto	2	\$ 700,00
No calificada	Constructor	1	\$ 300,00
<b>Total</b>			<b>\$1.000,00</b>

**c. Costos indirectos (CI)**

Los costos indirectos (CI) corresponden a costos en los cuales no intervienen MPD y MOD, entre estos gastos se puede considerar la materia prima indirecta, transportación y comida.

**Tabla 8****Costos indirectos**

Cantidad	Días	Descripción	V. Unitario	IVA (12%)	Total
2	45	Alimentación	5,5	\$ 0,66	\$ 554,40
2	45	Transporte	1,4	\$ 0,00	\$ 126,00
<b>Total</b>					<b>\$ 680,40</b>

**5.2.2. Inversión total del proyecto**

Para el resultado total de la inversión del proyecto se toma en consideración:

- Costos de la materia prima directa (MPD)
- Costos de la mano de obra directa (MOD)
- Costos indirectos (CI)

Tabla 9

## Inversión total

Costos	Descripción	Inv.	% Inv.
<b>Materia Prima Directa (MPD)</b>	Horno Eléctrico	\$ 1.403,07	87,01%
	Control Eléctrico	\$ 209,47	12,99%
	<b>Total</b>	<b>\$ 1.612,54</b>	<b>48,97%</b>
<b>Mano de Obra (MO)</b>	Calificada	\$ 700,00	70,00%
	No Calificada	\$ 300,00	30,00%
	<b>Total</b>	<b>\$ 1.000,00</b>	<b>30,37%</b>
<b>Costos Indirectos (CI)</b>	Alimentación	\$ 554,40	81,48%
	Transporte	\$ 126,00	18,52%
	<b>Total</b>	<b>\$ 680,40</b>	<b>20,66%</b>
<b>Total</b>		<b>\$ 3.292,94</b>	<b>100,00%</b>

Determinado los costos totales de inversión se procede a realizar los diagramas de pastel de cada uno de los costos:

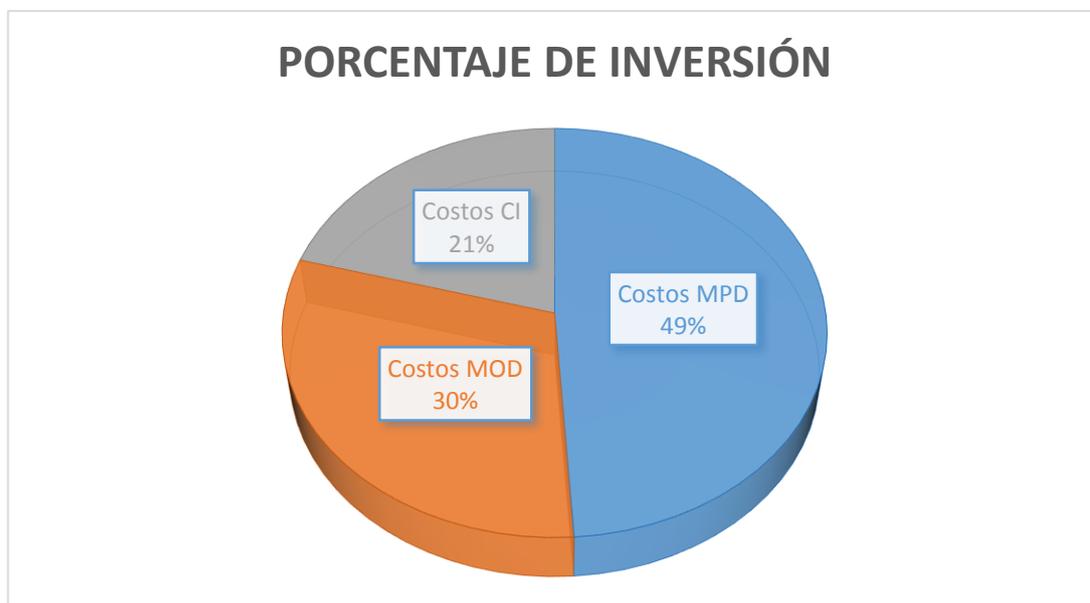


Figura 44 Costos de inversión porcentual

El Tiempo de Recuperación de la Inversión (RI), permite saber el tiempo exacto en el que la inversión va a ser recuperada. Cuando los períodos de recuperación son muy extensos, se prefiere dar un paso al costado e invertir en proyectos que serán recuperados como máximo en 5 años.

#### a. Horno eléctrico

- Inversión Inicial = \$ 3.292,94

**Tabla 10**

#### Costo del consumo energético anual del horno eléctrico

Potencia (kW)	Tiempo total de quema (h)	Tiempo total de trabajo del horno (días)	Energía anual consumida (kW*h/año)
4	8	365	11.680

#### Consumo de energía eléctrica anual del horno (kW\*h/año)

$$E = (4\text{kW})(8\text{h})(365\text{días}/1\text{año}) = 11.680 \text{ kW} \cdot \text{h/año}$$

Donde:

Potencia del horno = 4kW

Dos quemas diarias de 4h = 8h

1 año = 365 días

#### Costo en dólares

$$(11.680\text{kW} \cdot \text{h/año})(\$ 0,072) = \$ 840,96 / \text{año}$$

$$\$ 0,072 = \text{Costo del kW/h}$$

#### Egresos

$$\text{COSTO DE ENERGIA MENSUAL} = \frac{\$ 840,96}{12 \text{ meses}} = \$ 70,08 / \text{mes}$$

Tabla 11

Egresos estimados mensuales del horno de GLP

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
	-40%	-60%	-60%	100%	100%	100%	100%	100%	-35%	-65%	100%	100%
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
<b>Materia Prima</b>												
Caolín	30	20	20	50	50	50	50	50	32,50	17,50	50	50
Arcilla	30	20	20	50	50	50	50	50	32,50	17,50	50	50
Vidrio	45	30	30	75	75	75	75	75	48,75	26,25	75	75
Pintura	45	30	30	75	75	75	75	75	48,75	26,25	75	75
<b>Mano de obra</b>												
Gerente	480	320	320	800	800	800	800	800	520	280	800	800
Propietario												
<b>Costos</b>												
Indirectos de												
Fabricación												
GLP Industrial	42,048	28,032	28,032	70,08	70,08	70,08	70,08	70,08	45,552	24,528	70,08	70,08
<b>Mantenimiento</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	493,94
<b>Servicios</b>												
Básicos												
Agua	2,10	1,40	1,40	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	2,275	1,225	3,50	3,50
Teléfono	6	4	4	10	10	10	10	10	6,50	3,50	10	10
<b>Total</b>	<b>680,15</b>	<b>453,43</b>	<b>453,43</b>	<b>1133,58</b>	<b>1133,58</b>	<b>1133,58</b>	<b>1133,58</b>	<b>1133,58</b>	<b>736,83</b>	<b>396,75</b>	<b>1133,58</b>	<b>1627,52</b>

Tabla 12

## Ingresos estimados mensuales del horno eléctrico

Meses	Volumen en venta (docena)	Precio venta (c/docena)	Total (\$)
Enero	179	7,80	1.396,20
Febrero	269	7,80	2.098,20
Marzo	269	7,80	2.098,20
Abril	448	7,80	3.494,40
Mayo	448	7,80	3.494,40
Junio	448	7,80	3.494,40
Julio	448	7,80	3.494,40
Agosto	448	7,80	3.494,40
Septiembre	157	7,80	1.224,60
Octubre	291	7,80	2.269,80
Noviembre	448	7,80	3.494,40
Diciembre	448	7,80	3.494,40

**Nota:** se estima una producción de 16 docenas por día.

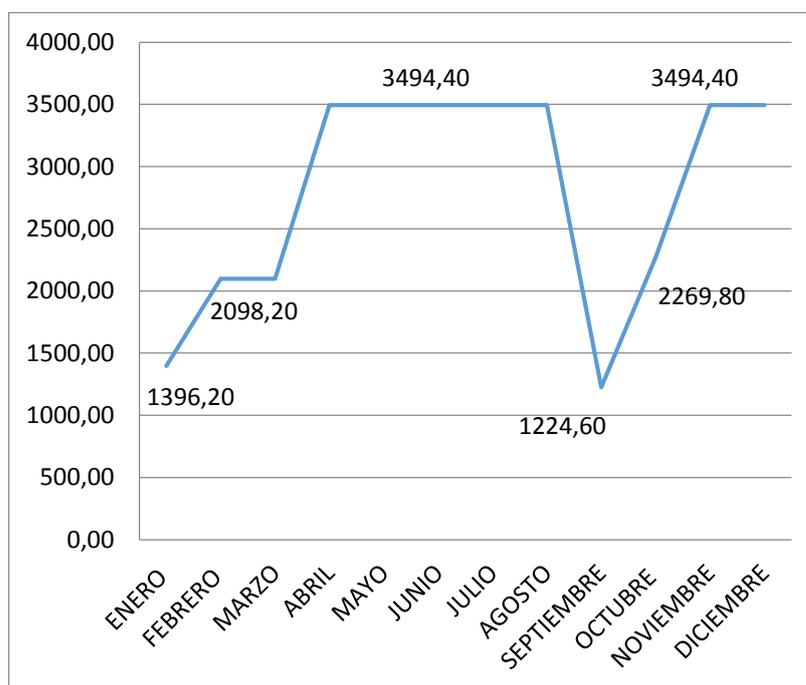


Figura 45 Ingresos estimados mensuales del horno eléctrico

Tabla 13

## Estado de flujo del horno eléctrico

	Inversión (USD)	Ingresos (USD)	Egresos (USD)	Flujo (USD)
0	3292,94			
1		1.396,2	680,15	716,05
2		2.098,2	453,43	1.644,8
3		2.098,2	453,43	1.644,8
4		3.494,4	1.133,58	2.360,8
5		3.494,4	1.133,58	2.360,8
6		3.494,4	1.133,58	2.360,8
7		3.494,4	1.133,58	2.360,8
8		3.494,4	1.133,58	2.360,8
9		1.224,6	736,83	487,77
10		2.269,8	396,75	1.873,1
11		3.494,4	1.133,58	2.360,8
12		3.494,4	1.627,52	1.866,9

Sumando los tres primeros flujos y restando de la inversión se puede observar claramente que la inversión se puede recuperar a partir del tercer mes.

## Entradas de efectivo

$$VA = \$ (716,05 + 1.644,77 + 1.644,77 + 2.360,82 + 2.360,82 + 2.360,82 + 2.360,82 + 2.360,82 + 487,77 + 1.873,05 + 2.360,82 + 1.866,88)$$

$$VA = \$ 22.398,21$$

## a.1. Valor actual neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN), trae todos los resultados esperados del futuro al presente, utilizando una tasa específica. Con el resultado obtenido de este cálculo, se puede analizar y conocer si el proyecto es viable o no; ya que da 3 criterios, para la evaluación de un proyecto:

- VAN > 0; el proyecto se acepta.

- VAN = 0; los inversionistas pueden aceptar o no el riesgo del proyecto.
- VAN < 0; el proyecto se rechaza.

$$VAN = \Sigma \frac{Ft}{(1+i)^t} - I_0 \quad \text{Ec. 5.2.1}$$

Donde:

$I_0$  = inversión Inicial, \$

$Ft$  = entradas de efectivo, \$

TMAR = tasa pasiva + inflación + riesgo país, % (ver anexo L)

$t$  = tiempo, meses

$$i = \frac{\text{TMAR}}{12 \text{ meses}} = \frac{(3,09\% + 5,83\% + 13,52\%)}{12 \text{ meses}}$$

$$i = \frac{22,44\%}{12 \text{ meses}} = 0,0187$$

$$VAN = \$ \left[ \frac{716,05}{(1 + 0,0187)^1} + \frac{1.644,77}{(1 + 0,0187)^2} + \frac{1.644,77}{(1 + 0,0187)^3} + \frac{2.360,82}{(1 + 0,0187)^4} \right. \\ \left. + \frac{2.360,82}{(1 + 0,0187)^5} + \frac{2.360,82}{(1 + 0,0187)^6} + \frac{2.360,82}{(1 + 0,0187)^7} \right. \\ \left. + \frac{2.360,82}{(1 + 0,0187)^8} + \frac{487,77}{(1 + 0,0187)^9} + \frac{1.873,05}{(1 + 0,0187)^{10}} \right. \\ \left. + \frac{2.360,82}{(1 + 0,0187)^{11}} + \frac{1.866,88}{(1 + 0,0187)^{12}} \right] - \$ 3.292,94$$

$$VAN = \$ (702,91 + 1.584,94 + 1.555,84 + 2.192,19 + 2.151,95 + 2.112,44 \\ + 2.073,67 + 2.035,60 + 412,86 + 1.556,27 + 1.925,54 \\ + 1.494,72) - \$ 3.292,94$$

$$VAN = \$ 16.505,99$$

De acuerdo con el análisis del VAN se observa que la inversión es aceptable ya que \$16.505,99 es mayor que \$0; lo que quiere decir que es una inversión viable, donde aparte de recuperar el dinero tendrá muchos más ingresos del efectivo.

### a.2. Tasa interna de rendimiento (TIR)

La Tasa Interna de Rendimiento (TIR), es una tasa que permite que el VAN se convierta 0; además puede ser utilizado como indicador de rentabilidad de un proyecto; ya que a mayor TIR mayor rentabilidad.

Para poder analizar la TIR y conocer si un proyecto es rentable o no; se debe hacer una comparación con la tasa de descuento, y los criterios que se utilizan, son:

- TIR > tasa de descuento; se acepta el proyecto
- TIR < tasa de descuento; se rechaza el proyecto

$$0 = -I_0 + \frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad \text{Ec. 5.2.2}$$

Pero para mayor facilidad del cálculo de la TIR, se utiliza otro método, que consiste en encontrar dos tasas de interés al azar que de un VAN positivo y negativo que se acerque a cero respectivamente, para posteriormente reemplazar en la siguiente fórmula de interpolación:

$$\frac{VAN\%tasa\ menor-x}{VAN\%tasa\ menor} = \frac{VAN\%tasa\ menor-VAN\%tasa\ mayor}{VAN\%tasa\ menor-VAN\%tasa\ mayor} \quad \text{Ec. 5.2.3}$$

Donde:

X = TIR, %

**tasa menor = 5,53%**

$$i = \frac{\text{tasa menor}}{1 \text{ año}} = \frac{5,53\%}{12 \text{ meses}} = \mathbf{0.4608\%}$$

$$VA = \$ \left[ \frac{716,05}{(1 + 0,4608)^1} + \frac{1.644,77}{(1 + 0,4608)^2} + \frac{1.644,77}{(1 + 0,4608)^3} + \frac{2.360,82}{(1 + 0,4608)^4} \right. \\ \left. + \frac{2.360,82}{(1 + 0,4608)^5} + \frac{2.360,82}{(1 + 0,4608)^6} + \frac{2.360,82}{(1 + 0,4608)^7} \right. \\ \left. + \frac{2.360,82}{(1 + 0,4608)^8} + \frac{487,77}{(1 + 0,4608)^9} + \frac{1.873,05}{(1 + 0,4608)^{10}} \right. \\ \left. + \frac{2.360,82}{(1 + 0,4608)^{11}} + \frac{1.866,88}{(1 + 0,4608)^{12}} \right]$$

$$VA = \$ 3.299,49$$

$$VAN = VA - I_0$$

$$VAN = \$ 3299,49 - \$ 3292,94$$

$$VAN = \$ 6,55$$

**tasa mayor = 5,54%**

$$i = \frac{\text{tasa mayor}}{1 \text{ año}} = \frac{5,54\%}{12 \text{ meses}} = 0,4616\%$$

$$VA = \$ \left[ \frac{716,05}{(1 + 0,4616)^1} + \frac{1.644,77}{(1 + 0,4616)^2} + \frac{1.644,77}{(1 + 0,4616)^3} + \frac{2.360,82}{(1 + 0,4616)^4} \right. \\ \left. + \frac{2.360,82}{(1 + 0,4616)^5} + \frac{2.360,82}{(1 + 0,4616)^6} + \frac{2.360,82}{(1 + 0,4616)^7} \right. \\ \left. + \frac{2.360,82}{(1 + 0,4616)^8} + \frac{487,77}{(1 + 0,4616)^9} + \frac{1.873,05}{(1 + 0,4616)^{10}} \right. \\ \left. + \frac{2.360,82}{(1 + 0,4616)^{11}} + \frac{1.866,88}{(1 + 0,4616)^{12}} \right]$$

$$VA = \$ 3.292,54$$

$$VAN = VA - I_0$$

$$VAN = \$ 3.292,54 - \$ 3.292,94$$

$$VAN = -\$ 0,40$$

$$\frac{5,53 - X}{6,55} = \frac{5,53 - 5,54}{6,55 + 0,40}$$

$$(5,53 - X)(6,95) = -0,01(6,95)$$

$$38,4335 - 6,95X = -0,0695$$

$$-6,95X = -38,503$$

$$X = 5,5388\%$$

**Tabla 14**

**Relación entre TIR y VAN del horno eléctrico**

TIR (%)	VAN (\$)
0,2244	16.505,99
5,53	6,55
X	0
5,54	-0,40

Mediante el análisis realizado, el resultado obtenido de la TIR es de 5,5388%; y anualmente la TIR va a ser de 66,47% por lo cual se puede observar que es un indicador que presenta que la inversión es muy rentable, donde se acepta el proyecto de inversión, ya que la TIR es mayor al TMAR, (66,47% > 22,44%).

### a.3. Análisis relación costo-beneficio

Este análisis permite dar un criterio acertado de cuál va a ser la ganancia o beneficio, por cada dólar que se invierte en el proyecto.

$$R C/B = \frac{\sum \text{Flujos existentes}}{\text{Inversión Inicial}}$$

Ec. 5.2.4

$$R^C/B = \frac{\$22.398,21}{\$3.292,94}$$

$$R^C/B = 6,80$$

El costo/beneficio obtenido mediante el respectivo cálculo es mayor que la unidad, por lo tanto, se considera que por cada dólar que se invierta en el proyecto la empresa ganará \$6,80 dólares lo cual permite saber que el presente proyecto es viable.

**b. Horno de GLP:**

- **Inversión Inicial = \$ 3.850**

**Tabla 15**

**Costo del consumo anual de GLP del horno industrial**

Descripción	Cantidad unidades diarias	Tiempo total de quema (h)	Tiempo total de trabajo del horno (días)	Consumo total (\$/año)
Consumo GLP industrial	365	8	365	9.125

**Costo en dólares**

$$(\$ 25)(365 \text{ días} / 1 \text{ año}) = \$ 9.125 / \text{año}$$

Donde:

Tanque de GLP industrial de (15 kg) = \$ 25

1 año = 365 días

**Egresos:**

$$\begin{aligned} \text{COSTO MENSUAL DE GAS INDUSTRIAL (EGRESOS)} &= \frac{\$9.125}{12 \text{ meses}} \\ &= \$ 760,42/\text{mes} \end{aligned}$$

Tabla 16

Egresos estimados mensuales del horno de GLP

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
	-40%	-60%	-60%	100%	100%	100%	100%	100%	-35%	-65%	100%	100%
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
<b>Materia Prima</b>												
Caolín	30	20	20	50	50	50	50	50	32,50	17,50	50	50
Arcilla	30	20	20	50	50	50	50	50	32,50	17,50	50	50
Vidrio	45	30	30	75	75	75	75	75	48,75	26,25	75	75
Pintura	45	30	30	75	75	75	75	75	48,75	26,25	75	75
<b>Mano de obra</b>												
Gerente	480	320	320	800	800	800	800	800	520	280	800	800
Propietario												
<b>Costos</b>												
Indirectos de												
Fabricación												
GLP Industrial	456,25	340,17	340,17	760,42	760,42	760,42	760,42	760,42	494,27	266,15	760,42	760,42
Mantenimiento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	385,00
<b>Servicios</b>												
Básicos												
Agua	2,10	1,40	1,40	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	2,275	1,225	3,50	3,50
Teléfono	6	4	4	10	10	10	10	10	6,50	3,50	10	10
<b>Total</b>	<b>1094,35</b>	<b>765,57</b>	<b>765,57</b>	<b>1823,92</b>	<b>1823,92</b>	<b>1823,92</b>	<b>1823,92</b>	<b>1823,92</b>	<b>494,27</b>	<b>638,38</b>	<b>1823,92</b>	<b>2208,92</b>

Tabla 17

## Ingresos estimados mensuales del horno de GLP

Meses	Volumen en venta (docena)	Precio venta (c/docena)	Total (\$)
Enero	179	7,80	1396,20
Febrero	269	7,80	2098,20
Marzo	269	7,80	2098,20
Abril	448	7,80	3494,40
Mayo	448	7,80	3494,40
Junio	448	7,80	3494,40
Julio	448	7,80	3494,40
Agosto	448	7,80	3494,40
Septiembre	157	7,80	1224,60
Octubre	291	7,80	2269,80
Noviembre	448	7,80	3494,40
Diciembre	448	7,80	3494,40

**Nota:** se estima una producción de 16 docenas por día.

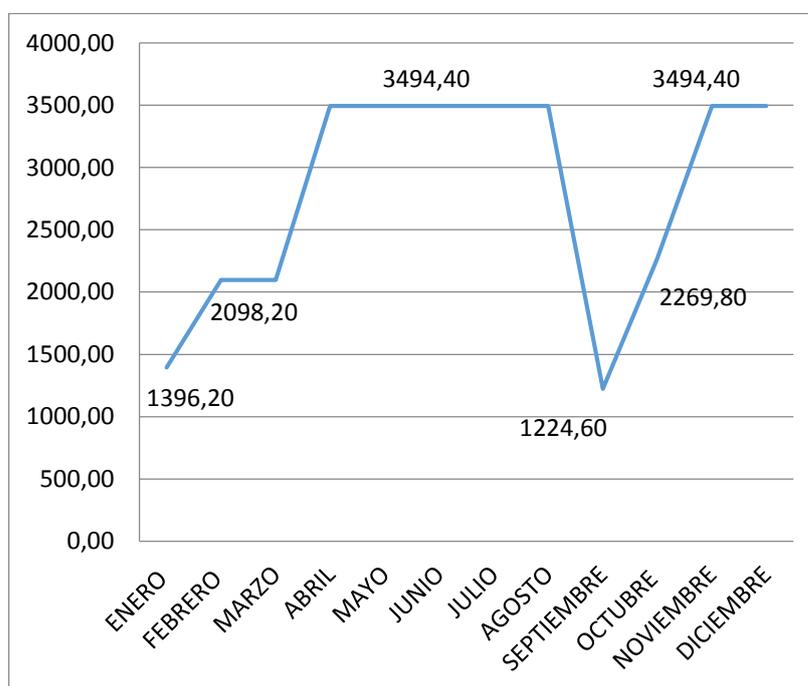


Figura 46 Ingresados estimados mensuales del horno de GLP

Tabla 18

## Estado de flujo del horno de GLP

	Inversión (USD)	Ingresos (USD)	Egresos (USD)	Flujo (USD)
0	3.850			
1		1.396,2	1.094,35	301,85
2		2.098,2	765,57	1.332,6
3		2.098,2	765,57	1.332,6
4		3.494,4	1.823,92	1.670,5
5		3.494,4	1.823,92	1.670,5
6		3.494,4	1.823,92	1.670,5
7		3.494,4	1.823,92	1.670,5
8		3.494,4	1.823,92	1.670,5
9		1.224,6	494,27	730,33
10		2.269,8	638,38	1.631,4
11		3.494,4	1.823,92	1.670,5
12		3.494,4	2.208,92	1.285,5

Sumando los cuatro primeros flujos y restando de la inversión se puede observar claramente que la inversión se puede recuperar a partir del cuarto mes.

**Entradas de efectivo:**

$$\begin{aligned}
 VA &= 301,85 + 1.332,63 + 1.332,63 + 1.670,48 + 1.670,48 + 1.670,48 \\
 &+ 1.670,48 + 1.670,48 + 730,33 + 1.631,42 + 1.670,48 \\
 &+ 1.285,48
 \end{aligned}$$

$$VA = \$ 16.637,22$$

**b.1. Valor actual neto (VAN)**

El Valor Actual Neto (VAN), trae todos los resultados esperados del futuro al presente, utilizando una tasa específica. Con el resultado obtenido de este cálculo, se puede analizar y conocer si el proyecto es viable o no; ya que da 3 criterios, para la evaluación de un proyecto:

- VAN > 0; el proyecto se acepta.

- VAN = 0; los inversionistas pueden aceptar o no el riesgo del proyecto.
- VAN < 0; el proyecto se rechaza.

$$VAN = \sum \frac{Ft}{(1+i)^t} - I_0 \quad \text{Ec. 5.2.1}$$

Donde:

$I_0$  = inversión Inicial, \$

$Ft$  = entradas de efectivo, \$

TMAR = tasa pasiva + inflación + riesgo país, % (ver anexo L)

$t$  = tiempo, meses

$$i = \frac{TMAR}{1 \text{ año}} = \frac{(3.09\% + 5.83\% + 13.52\%)}{12 \text{ meses}}$$

$$i = \frac{22,44\%}{12 \text{ meses}} = 0,0187$$

$$VAN = \$ \left[ \frac{301,85}{(1 + 0,0187)^1} + \frac{1.332,63}{(1 + 0,0187)^2} + \frac{1.332,63}{(1 + 0,0187)^3} + \frac{1.670,48}{(1 + 0,0187)^4} \right. \\ \left. + \frac{1.670,48}{(1 + 0,0187)^5} + \frac{1.670,48}{(1 + 0,0187)^6} + \frac{1.670,48}{(1 + 0,0187)^7} \right. \\ \left. + \frac{1.670,48}{(1 + 0,0187)^8} + \frac{730,33}{(1 + 0,0187)^9} + \frac{1.631,42}{(1 + 0,0187)^{10}} \right. \\ \left. + \frac{1.670,48}{(1 + 0,0187)^{11}} + \frac{1.285,48}{(1 + 0,0187)^{12}} \right] - \$ 3.850$$

$$VAN = \$ [296,31 + 1.284,15 + 1.260,58 + 1.551,16 + 1.522,68 + 1.494,73 \\ + 1.467,29 + 1.440,36 + 618,16 + 1.355,51 + 1.362,49 \\ + 1.029,22] - \$ 3.850$$

$$VAN = \$ 10.832,65$$

De acuerdo con el análisis del VAN se observa que la inversión es aceptable ya que \$10.832,65 es mayor que \$0; lo que quiere decir que es una

inversión viable, donde aparte de recuperar el dinero tendrá muchos más ingresos del efectivo.

## b.2. Tasa interna de rendimiento (TIR)

La Tasa Interna de Rendimiento (TIR), es una tasa que permite que el VAN se convierta 0; además puede ser utilizado como indicador de rentabilidad de un proyecto; ya que a mayor TIR mayor rentabilidad.

Para poder analizar la TIR y conocer si un proyecto es rentable o no; se debe hacer una comparación con la tasa de descuento, y los criterios que se utilizan, son:

- TIR > tasa de descuento; se acepta el proyecto.
- TIR < tasa de descuento; se rechaza el proyecto.

$$0 = -I_0 + \frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad \text{Ec. 5.2.2}$$

Pero para mayor facilidad del cálculo de la TIR, se utiliza otro método, que consiste en encontrar dos tasas de interés al azar que de un VAN positivo y negativo que se acerque a cero respectivamente, para posteriormente reemplazar en la siguiente fórmula de interpolación:

$$\frac{VAN\%tasa\ menor-x}{VANtasa\ menor} = \frac{VAN\%tasa\ menor-VAN\%tasa\ mayor}{VANtasa\ menor-VANtasa\ mayor} \quad \text{Ec. 5.2.3}$$

Donde:

X = TIR

$$tasa\ menor = 3,56\%$$

$$i = \frac{tasa\ menor}{1\ año} = \frac{3,56\%}{12\ meses} = 0,2966$$

$$\begin{aligned}
 VA = \$ & \left[ \frac{301,85}{(1 + 0,2966)^1} + \frac{1.332,63}{(1 + 0,2966)^2} + \frac{1.332,63}{(1 + 0,2966)^3} + \frac{1.670,48}{(1 + 0,2966)^4} \right. \\
 & + \frac{1.670,48}{(1 + 0,2966)^5} + \frac{1.670,48}{(1 + 0,2966)^6} + \frac{1.670,48}{(1 + 0,2966)^7} \\
 & + \frac{1.670,48}{(1 + 0,2966)^8} + \frac{730,33}{(1 + 0,2966)^9} + \frac{1.631,42}{(1 + 0,2966)^{10}} \\
 & \left. + \frac{1.670,48}{(1 + 0,2966)^{11}} + \frac{1.285,48}{(1 + 0,2966)^{12}} \right] \\
 VA = & \$ 3.859,50
 \end{aligned}$$

$$VAN = VA - I_0$$

$$VAN = \$ 3859.50 - \$ 3850$$

$$VAN = \$ 9.50$$

$$tasa\ mayor = 3,57\%$$

$$i = \frac{tasa\ mayor}{1\ año} = \frac{3,57\%}{12\ meses} = 0,2975$$

$$\begin{aligned}
 VA = \$ & \left[ \frac{301,85}{(1 + 0,2975)^1} + \frac{1.332,63}{(1 + 0,2975)^2} + \frac{1.332,63}{(1 + 0,2975)^3} + \frac{1.670,48}{(1 + 0,2975)^4} \right. \\
 & + \frac{1.670,48}{(1 + 0,2975)^5} + \frac{1.670,48}{(1 + 0,2975)^6} + \frac{1.670,48}{(1 + 0,2975)^7} \\
 & + \frac{1.670,48}{(1 + 0,2975)^8} + \frac{730,33}{(1 + 0,2975)^9} + \frac{1.631,42}{(1 + 0,2975)^{10}} \\
 & \left. + \frac{1.670,48}{(1 + 0,2975)^{11}} + \frac{1.285,48}{(1 + 0,2975)^{12}} \right]
 \end{aligned}$$

$$VA = \$ 3.848,24$$

$$VAN = VA - I_0$$

$$VAN = \$ 3.848,24 - \$ 3.850$$

$$VAN = -\$ 1.76$$

$$\frac{3.56 - X}{9.50} = \frac{3.56 - 3.57}{9.50 + 1.76}$$

$$(3.56 - X)(11.26) = -0.01(9.50)$$

$$40.0856 - 11.26X = -0.095$$

$$-11.26X = -40.1806$$

$$X = 3.5684\%$$

**Tabla 19**

**Relación entre TIR y VAN del horno de GLP**

TIR (%)	VAN (\$)
0,2244	10.832,65
3,56	9,50
X	0
3,57	-1,76

Mediante el análisis realizado, el resultado obtenido de la TIR es de 3,5684%; y anualmente la TIR va a ser de 42,82% por lo cual se puede observar que es un indicador que presenta que la inversión es muy rentable, donde se acepta el proyecto de inversión, ya que la TIR es mayor al TMAR, (42,82% > 22,44%).

**b.3. Análisis relación costo-beneficio**

Este análisis permite dar un criterio acertado de cuál va a ser la ganancia o beneficio, por cada dólar que se invierte en el proyecto.

$$R^C/B = \frac{\sum \text{Flujos existentes}}{\text{Inversión Inicial}} \quad \text{Ec. 5.2.3}$$

$$R^C/B = \frac{\$ 16.637,22}{\$ 3.850}$$

$$R^C/B = 4,32$$

El costo/beneficio obtenido mediante el respectivo cálculo es mayor que la unidad, por lo tanto, se considera que por cada dólar que se invierta en el proyecto la empresa ganará \$ 4.32; lo cual permite saber que el presente proyecto es viable.

$$\text{Ahorro Anual} = (VA_{he} - VA_{hGLP}) = \$ (22.398,21 - 16.637,22) = \$ 5.760,99$$

Al comparar entre el horno eléctrico y el horno a gas se observa que con los dos hornos se obtiene beneficios, siendo el horno eléctrico donde se obtiene mayor ganancia.

**Tabla 20**

**Tabla comparativa**

<b>Indicadores</b>	<b>Horno eléctrico (\$)</b>	<b>Horno a GLP (\$)</b>
VA	22.398,21	16.637,22
VAN	16.505,99	10.832,65
TIR	66,47	42,82
R <sub>B/C</sub>	6,8	4,32

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

- El diseño del sistema de calentamiento del horno permitió cumplir con los requerimientos de la microempresa para optimizar el tiempo de cucece y curado de la resina y cerámica.
- Con la implementaron de cuatro resistencias eléctricas como elementos de calentamiento la cantidad de calor es mayor permitiendo que las temperaturas de cucece se alcance en menor tiempo, y en consecuencia un tiempo total menor.
- El tiempo promedio para que el horno eléctrico alcance una temperatura alrededor de 1.200 °C es aproximadamente de 4 horas, que es aproximadamente 200 % más eficaz del tiempo necesario que el horno de GLP que actualmente se utilizaba en la microempresa.
- La temperatura del horno eléctrico se distribuye de forma homogénea ya que las resistencias eléctricas fueron ubicadas de manera que se aproveche al máximo la potencia que entrega cada una de ellas.
- El calor que se transmite hacia las paredes externas del horno eléctrico es mínimo, debido a que el diseño de las dimensiones del aislamiento de las paredes nos permite tener una temperatura de 80°C con lo que se evita que el operador sufra quemaduras
- Se realizó el análisis estático de la base del horno, empleando software “SolidWorks”, lo cual permitió concluir que el diseño tendrá un factor de seguridad de 6,5 como mínimo, con lo que se puede concluir que la

base del horno soportara de manera adecuada el peso del horno, para la que fue diseñado sin que esta sufra daños.

- Se implementó un control de temperatura ON/OFF. Además, se comprobó que para el proceso de control de temperatura de un horno para el cuece y curado de resina y cerámica utilizado en este proyecto, resulta muy satisfactorio aplicar un control ON/OFF, ya que al tratarse de un proceso lento es aconsejable, además, KANTHAL GROUP fabricante de las resistencias eléctricas también sugiere dicho control.
- Una vez realizadas las pruebas se llegó a tener una temperatura máxima de 1.086°C y una mínima de 1.074°C, una vez alcanzada la temperatura deseada, para este caso los 1.080°C. Este error es mínimo debido a que el control recomendado para este tipo de procesos es ON/OFF.
- La inversión realizada se podrá recuperar en un tiempo de un mes, tiempo en el cual, este proyecto empezará a dar retribuciones a los dueños de la empresa CERÁMICAS NOVA.
- Al comparar entre el horno eléctrico y el horno a gas se observa que con los dos hornos se obtiene beneficios, siendo el horno eléctrico donde se obtiene mayor ganancia.

### **6.1.2. Recomendaciones**

- Se debe dar una adecuada operación al sistema de control del horno, así como un mantenimiento periódico para poder mantener la eficiencia, remitiéndose únicamente al manual de operación.
- Para realizar el mantenimiento se recomienda esperar al menos 60 minutos cuando el horno ha estado en funcionamiento.

- Utilizar el equipo de protección personal (EPP) adecuado para maniobrar la probeta sobre el que se esté dando el cuece de las piezas de cerámica, ya que se manejan altas temperaturas cuando se abre la tapa del horno que pueden ocasionar quemaduras en el operario.
- Para lograr un control de temperatura más exacto, se tiene que dar un mantenimiento más continuo a la termocupla ya que es nuestro dispositivo de comunicación entre el sistema de calentamiento y el de control.
- El horno debe ubicarse para su manipulación en lugares ventilados y secos debido a que la humedad puede producir daños en los implementos mecánicos, eléctricos y electrónicos.

## LINKOGRAFÍA:

- ABB. (14 de Marzo de 2016). *ABB Interruptores*. Obtenido de <http://www.abb.com/product/seitp329/acb47612bf190730c125702000510989.aspx?country=EC>
- Banco Central del Ecuador. (12 de Abril de 2016). Obtenido de [http://contenido.bce.fin.ec/resumen\\_ticker.php?ticker\\_value=pasiva](http://contenido.bce.fin.ec/resumen_ticker.php?ticker_value=pasiva)
- Cengel, Y. (2011). *Transferencia de Calor y Masa*. México D.F. McGraw Hill.
- CONSTRUMÁTICA. (12 de Marzo de 2016). Obtenido de [http://www.construmatica.com/construpedia/Ladrillo\\_Refractario](http://www.construmatica.com/construpedia/Ladrillo_Refractario)
- Crespo, J. (25 de Mayo de 2011). *Materiales refractarios*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/56233329/Materiales-refractarios>
- HINRASAC. (13 de Marzo de 2016). Obtenido de [http://www.kanthal.com/C12570A7004E2D46/062CC3B124D69A8EC1256988002A3D76/DDE6A857C0FA1F78C12570C20051578C/\\$file/10-B-2-5%20global%20SD%20ES.pdf?OpenElement](http://www.kanthal.com/C12570A7004E2D46/062CC3B124D69A8EC1256988002A3D76/DDE6A857C0FA1F78C12570C20051578C/$file/10-B-2-5%20global%20SD%20ES.pdf?OpenElement)
- HINRASAC. (12 de Marzo de 2016). Obtenido de <http://hinrasac.com/R4/productos.html>
- Holman. (1999). *Transferencia de calor*. México D.F. McGraw Hill Book Company.
- INDIAMART. (10 de Enero de 1996). Obtenido de <http://trade.indiamart.com/details.mp?offer=8106332797>
- INTERMESH. (12 de Marzo de 1996). Obtenido de <http://trade.indiamart.com/details.mp?offer=8106332797>
- KANTHAL. (11 de Diciembre de 2015). *KANTHAL*. Obtenido de <http://www.kanthal.com/en/news-media/>
- Lauro Gamarra, L. (10 de Enero de 2011). *Física y Termodinámica*. Obtenido de <http://fisicaidued.blogspot.com/2011/01/cantidad-de-calor.html>
- MACALUX. (14 de Enero de 2000). *MECALUX*. Obtenido de <https://www.logismarket.com.mx/ip/lobo-hornos-industriales-tratamiento-termico-tratamiento-termico-607842-FGR.jpg>

- Made-in-china.com. (10 de Enero de 2016). *Made-in-china.com*. Obtenido de [http://es.made-in-china.com/co\\_cnwstete/product\\_AC-Contactor-LG-LS-GMC-Series-\\_eyshryneg.html](http://es.made-in-china.com/co_cnwstete/product_AC-Contactor-LG-LS-GMC-Series-_eyshryneg.html)
- Martínez, J. (12 de Marzo de 2016). Obtenido de <http://www.juliomartineznaya.com/resistencias-kanthal-para-hornos-industriales/>
- NATIONAL INSTRUMENTS. (27 de Junio de 2012). Obtenido de <http://www.ni.com/white-paper/10635/es/>
- OHMMICA. (12 de Marzo de 2016). Obtenido de [http://www.ohmmica.com.ar/hornos\\_i.html](http://www.ohmmica.com.ar/hornos_i.html)
- REFRACTARIOS LA URUCA. (12 de Marzo de 2016). Obtenido de <http://www.refractarioslauruca.com/refrhornoscalderas.htm>
- Rubio, J. (14 de Enero de 2016). Obtenido de <http://mantenimientoyautomatizacion.wikispaces.com/EI+CONTACTOR>
- Rubio, J. (13 de Marzo de 2016). Obtenido de <http://www.ac-contactor.com>
- SAPIENSMAN. (12 de Marzo de 2016). Obtenido de [http://www.sapiensman.com/medicion\\_de\\_temperatura/termocuplas.htm](http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas.htm)
- SEALCO. (12 de Marzo de 2016). *SEALCO*. Obtenido de <http://www.cisealco.com/index.php/productos/aislamiento-termico/manta-de-fibra-ceramica>
- Shthde. (12 de Enero de 2006). *Shthde*. Obtenido de <http://www.ac-contactor.com>
- TEI. (2 de Enero de 2010). Obtenido de <http://teii.com.mx/CableParaTermopar.html#Cable-termopar-k>
- TempZone. (14 de Marzo de 2000-2016). *TempZone-Instrumentación*. Obtenido de <http://tempzone.com.mx/termostato-digital-mca-eliwell-mod-ic915>
- TERMOKEW. (16 de Marzo de 2016). *TERMOKEW*. Obtenido de <http://www.termokew.mx/cables-extension.php>

- Universidad Nacional Experimental del Táchira. (17 de Octubre de 2012). *Fenómenos de Transporte*. Obtenido de [http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F\\_DE\\_T-165.htm](http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-165.htm)
- zapmeta. (12 de Marzo de 2016). *zapmeta*. Obtenido de [http://es.zapmeta.ws/ws?q=sondas%20tipo%20k&asid=ws\\_es\\_gc1\\_08&mt=b&nw=g&de=c&ap=1o2](http://es.zapmeta.ws/ws?q=sondas%20tipo%20k&asid=ws_es_gc1_08&mt=b&nw=g&de=c&ap=1o2)
- *Zelsio-equipamento industrial*. (14 de Marzo de 2016). Obtenido de <http://www.refrigeracionzelsio.es/control-presion-presostatos/403-eliwell-ic-915-lx-bar-230v.html>

# ANEXOS

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

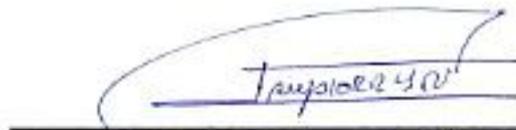
**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el siguiente trabajo fue realizado por los señores Jorge Luis García Velásquez y Fernando Alexis Iguago Morocho bajo mi supervisión.



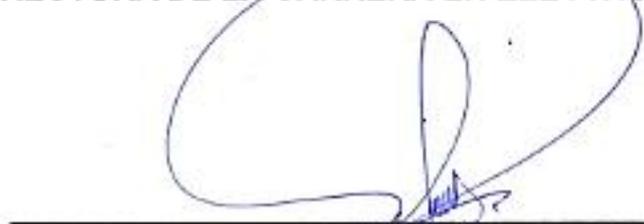
---

**MSc. WILLIAM BONILLA  
DIRECTOR**



---

**ING. KATYA TORRES VÁSQUEZ  
DIRECTORA DE LA CARRERA EN ELECTROMECAÁNICA**



---

**DR. RODRIGO VACA CORRALES  
SECRETARIO ACADÉMICO**