



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO MUFLA PARA LA REALIZACIÓN DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN ACEROS

Sr. Monteros Vizcaíno Lénin Andrés¹ Ing. Villarreal Carlos²

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador
andyno1408@hotmail.com, cavillarreal@utn.edu.ec

Resumen. – En este artículo se presentan los diferentes resultados alcanzados en la investigación realizada en el diseño y construcción de un horno mufla para la realización de los diferentes tratamientos térmicos en aceros.

Para la construcción de este horno mufla, se utilizó materiales, como: ladrillo refractario, lana de vidrio, mortero refractario y chapa metálica; con estos materiales, se logró construir una cámara de paredes delgadas cumpliendo con los requerimientos necesarios con respecto al mantenimiento y operación requeridos en el calentamiento de probetas normalizadas para la realización de tratamientos térmicos en aceros.

Los elementos eléctricos y electrónicos utilizados para su manejo y operación, son: el controlador de temperatura; que permite visualizar la temperatura máxima de calentamiento de la cámara que se desea alcanzar en los diferentes procesos, y la temperatura a la que se encuentra la pared en el interior del horno en cada instante de tiempo, una termocupla tipo K para censar la temperatura en sus paredes internas, y una resistencia eléctrica para el calentamiento del horno hasta su temperatura máxima.

Este horno mufla posee una potencia de 3,3 Kw, un voltaje de 220V bifásico, alcanza una temperatura de calentamiento máxima de 1050 °C en un tiempo de 40 minutos.

El trabajo desarrollado servirá como soporte bibliográfico para otras investigaciones sobre el tema que puedan presentarse en el futuro.

Palabras Claves

Tratamientos térmicos, transferencia de calor, y tiempo de respuesta del sistema.

1. Introducción.

Un horno mufla puede alcanzar temperaturas sobre los 1000°C y sirve para el calentamiento de materiales que son sometidos a distintos procesos de tratamiento térmico. Estos hornos también son utilizados en varias aplicaciones; así, en la metalurgia, en el secado y calcinación de precipitados, ensayos de flamabilidad a alta temperatura, aleaciones metálicas, templado, ensayos de fundición y otras que necesitan de un tratamiento por calor.

En estos equipos la energía térmica es suministrada mediante resistencias eléctricas, que están ubicadas en las paredes laterales y parte posterior de la cámara de calentamiento del horno; sus resistencias son de hilo resistor de diferentes aleaciones aptas para trabajar por mucho tiempo a altas temperaturas.

El gabinete interno se encuentra aislado con ladrillos refractarios de alta alúmina, seguido de lana de vidrio; estos dos componentes son necesarios para proteger los componentes eléctricos y electrónicos de su deterioro.

Cuando el horno se encuentre a altas temperaturas comprendidas entre los 900°C y 1000°C, el calor perdido se transmite mediante convección, radiación, y conducción hacia el medio externo, a través de sus paredes laterales.

2. Desarrollo

Al momento de realizar el diseño del horno mufla se debe tomar en cuenta ciertas consideraciones: dimensiones de su cámara interna, materiales de construcción, temperatura de operación, calor transferido por los elementos que constituye el horno mufla, y propiedades térmicas de los materiales utilizados.



2.1 Dimensionamiento de la Cámara.

Para el dimensionamiento de la cámara interna del horno mufla se lo realizó bajo la consideración de que esta cámara servirá para realizar prácticas de laboratorio en el tratamiento térmico en los aceros, es así, que los materiales a ingresar son probetas normalizadas para ensayos de tracción, compresión, flexión invertida, e impacto.

Por lo tanto se selecciona una cámara estandarizada con las siguientes medidas:

- Ancho = 200mm
- Altura = 170mm
- Profundidad = 200mm

2.2 Selección de Materiales.

En la Tabla 1 se indica los materiales seleccionados para la construcción de la cámara interna del horno mufla en base a sus propiedades aislantes del calor, refractariedad, alto punto de fusión, y su alta resistencia a los choques térmicos.

Tabla 1 Materiales utilizados para la construcción de las paredes del horno.

MATERIAL	ESPECIFICACIONES TECNICAS	VENTAJAS	
AISLANTE TÉRMICO	COLOR	BLANCO	Baja conductividad térmica y energía térmica almacenada.
	ESPESOR	25mm	Elevada resistencia a los choques térmicos y ataques químicos.
	USO CONTINUO	1100°C	Buenas características acústicas y de protección contra fuego.
	LÍMITE DE USO	1260°C	Alta flexibilidad, facilitando cortes e instalación.
	PUNTO DE FUSIÓN	1760°C	Muy bajo almacenamiento de calor, calienta y enfría rápidamente.
	LARGO	7620mm	Buena resistencia mecánica. (KAOWOOL)
	ANCHO	610mm	
LADRILLO REFRACTARIO	Universal (JM-23)	Ladrillo súper Refractario, indicado para servicio pesado en bóvedas, muros y pisos de hornos y calderas, cámaras de combustión, zona fría de hornos rotatorios y en general donde además de una alta temperatura de servicio (1763°C) sea importante una buena resistencia al choque térmico y al ataque moderado de escorias y agentes químicos.	
MORTERO REFRACTARIO	SUPER AEROPRAX	Super refractario, húmedo de fraguado al aire. 1600°C. (ERECOS).	

2.3 Cálculo de la Cámara.

Para realizar los respectivos cálculos se debe conocer las respectivas ecuaciones que nos llevarán a obtener todos los datos necesarios para determinar la transferencia de calor entre la cámara y sus alrededores.

El calor por conducción a través de sus paredes se obtiene con la siguiente ecuación:

$$q_{\text{Cond}} = K \frac{T_1 - T_2}{L} = K \frac{\Delta T}{L} \quad (1)$$

El calor por convección entre su superficie externa y el medio con la Ecuación 2.

$$q_{\text{Conv}} = h(T_s - T_\infty) \quad (2)$$

El calor por radiación entre las paredes externas del horno y el medio externo se lo realiza con la ecuación 3

$$q_{\text{Rad}} = \epsilon \sigma (T_x^4 - T_{\text{amb}}^4) \quad (3)$$

Para determinar el arreglo mas adecuado se procede a realizar un balance de energía del sistema.

$$E_{\text{ent}} - E_{\text{sale}} = 0 \quad (4)$$

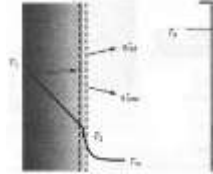


Figura 1 Transferencia de calor en la pared del horno.

En la Figura 1, se muestra las diferentes formas de transferencia de calor a través de las paredes del horno; esto quiere decir que hay conducción de calor a través de sus paredes desde la cámara interna del horno hacia la superficie, convección desde la superficie hacia el ambiente, e intercambio de radiación desde la superficie a sus alrededores. Así, se tiene:

$$q_{\text{Cond}} - q_{\text{Conv}} - q_{\text{Rad}} = 0 \quad (5)$$

Po lo tanto,

$$K \frac{T_1 - T_2}{L} = h(T_2 - T_\infty) + \epsilon \sigma (T_2^4 - T_{\text{amb}}^4) \quad (6)$$

$$K \frac{T_1 - T_2}{L} - h(T_2 - T_\infty) - \epsilon \sigma (T_2^4 - T_{\text{amb}}^4) = 0 \quad (7)$$

Dónde:

K = Conductividad Termica.

T_1 = Temperatura interna de la camara de calentamiento.

T_2 = Temperatura exterior de la camara de calentamiento.

L = Espesor del ladrillos y lana de vidrio.

h = Coeficiente de conveccion del aire.

T_∞ = Temperatura ambiente.

ϵ = Emisividad superficial.

σ = Constante de Stefan Boltzmann.

T_{amb}^4 = Temperatura ambiente.

Para resolver la **Ecuación (7)** se necesita conocer las propiedades termodinámicas del ladrillo refractario y la lana de vidrio a utilizar, es así que, en la **Tabla 2** se



expresa la solución a esta ecuación, llegándose a determinar la temperatura T2, que es la que se obtiene en la parte exterior de la cámara de calentamiento.

Tabla 2. Solución a la Ecuación 7 utilizando varios materiales con diferentes espesores.

LADRILLO REFRACTARIO							
TEMP 1 (°K)	CONDUCTIVIDAD TERMICA (W/m²K)	ESPESOR LADRILLO (m)	COEFICIENTE DE CONVECCION AIRE (W/m²K)	TEMP 2 (°K)	EMISIVIDAD SUPERFICIAL	CONSTANTE DE STEFAN BOLTZMANN (W/m²K⁴)	TEMP 2 ((K*(T1-T2))/L) - (h(T2-T1)) - (E*sigma*(T2^4) - Tamb*(14))=0
1273	0,19	0,05	20	296	0,94	5,67E-08	407,45
1273	0,19	0,05	20	296	0,94	5,67E-08	407,46
1273	0,19	0,0635	20	296	0,94	5,67E-08	388,25
1273	0,19	0,0635	20	296	0,94	5,67E-08	388,26
LANA DE VIDRIO							
TEMP 1 (°K)	CONDUCTIVIDAD TERMICA (W/m²K)	ESPESOR LANA (m)	COEFICIENTE DE CONVECCION AIRE (W/m²K)	TEMP 2 (°K)	EMISIVIDAD SUPERFICIAL	CONSTANTE DE STEFAN BOLTZMANN (W/m²K⁴)	TEMP 2 ((K*(T1-T2))/L) - (h(T2-T1)) - (E*sigma*(T2^4) - Tamb*(14))=0
407,457	0,06	0,01	20	296	0,85	5,67E-08	317,19
407,457	0,06	0,01	20	296	0,85	5,67E-08	317,19
407,457	0,06	0,015	20	296	0,85	5,67E-08	311,16
407,457	0,06	0,015	20	296	0,85	5,67E-08	311,17
388,261	0,06	0,01	20	296	0,85	5,67E-08	313,38
388,261	0,06	0,01	20	296	0,85	5,67E-08	313,39
388,261	0,06	0,015	20	296	0,85	5,67E-08	308,56
388,261	0,06	0,015	20	296	0,85	5,67E-08	308,58

Analizando la tabla anterior, se plantea la solución al problema de dimensionamiento de las paredes del horno mufla, siendo la más adecuada un ladrillo de 0,05m de espesor, seguido de una lana de vidrio de 0,015m, con esto evitaríamos de que exista una temperatura muy alta en la parte exterior del horno y de igual manera se protegerá a las personas de posibles quemaduras cuando se encuentren alrededor del mismo.

Por lo tanto, las paredes del horno mufla están conformadas de la siguiente manera:

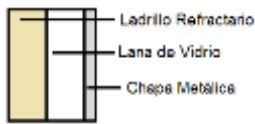


Figura 2. Sección transversal de la pared del horno mufla.

2.4 Sistema de Calentamiento.

Para el sistema de calentamiento del horno se utilizó resistencias eléctricas en forma de espiral de NICROMO, con una composición de 80% níquel y 20% cromo, que están diseñadas para trabajar con temperaturas de hasta 1000° C. Se seleccionó este tipo de resistencia eléctrica porque cumple con las características planteadas en el diseño, además se le agregó una aleación más para sobrepasar la temperatura propuesta, esta aleación es de aluminio con un porcentaje del 10%, con esto se logra que alcance temperaturas de hasta los 1300°C.

2.5 Automatización del Sistema.

El sistema de control utilizado es un controlador PID, porque permiten un ajuste fino. Este ajuste, integral y derivativo, se expresan en unidades basadas en el

tiempo. Los términos integral y derivativo se deben ajustar de manera individual mediante el método prueba y error. Que son conocidos como autoajustables.



Figura 3. Sistema de control PID

Este sistema de control presenta una función de transferencia como la que se indica en la Ecuación 8.

$$\frac{T(s)}{q(s)} = G(s)_{TP} = \frac{18,09}{\tau s + 1,016} \quad (8)$$

2.5.1 Tiempo de respuesta del Sistema sin Controlador.

En la Figura 4 se puede observar que el tiempo de respuesta del sistema sin controlador es de 3,85 segundos.

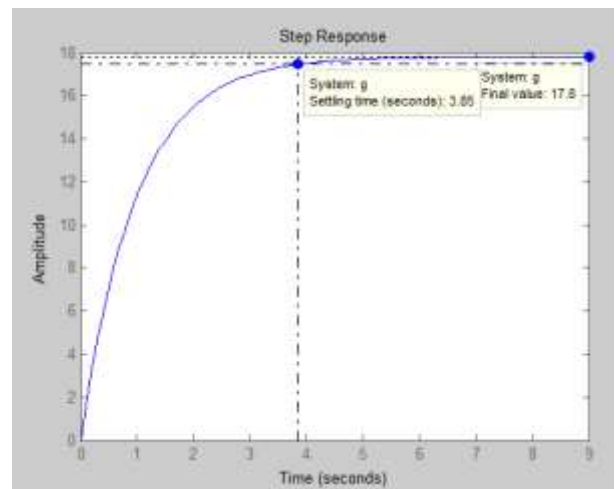


Figura 4. Tiempo de respuesta del Sistema sin controlador.

Estos parámetros serán modificados para el cálculo del controlador ideal; el tiempo de establecimiento (TS) tiene que ser la mitad de ese valor obtenido, igualmente, tiene un máximo de sobre impulso (MP) del 20%.

Tabla 3. Parámetros necesarios para el diseño del controlador.



Parámetros necesarios para el diseño del controlador	
TS	1.93 Segundo
MP	20%

Tabla 1. Parametros modificados

2.6 Diseño del controlador PID por LGR.

El controlador PID se diseñó por LGR, porque los otros métodos de sintonización del controlador no son factibles para alcanzar las especificaciones de su diseño, porque su respuesta a un escalón unitario de la planta no presenta una curva en S.

2.6.1 Tiempo de respuesta del Sistema con un Controlador PID.

En la Figura 5 se puede observar que el tiempo de respuesta del sistema con un controlador es de 0,00287 segundos, permitiendo cumplir con un tiempo de respuesta acorde a los requerimientos del proceso.

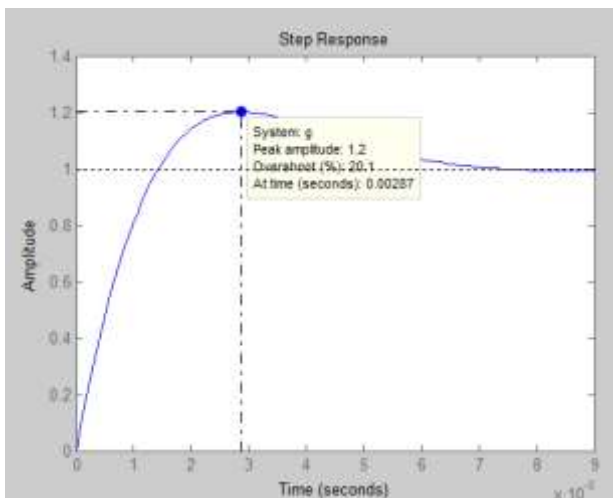


Figura 5. Tiempo de respuesta del Sistema con un controlador PID.

2.7 Implementación del Sistema de Control

Para el control de temperatura de este horno mufla se utilizó un controlador de temperatura PID XMT612 disponible en el mercado local, una termocupla tipo K encargada de censar la temperatura en el interior de la cámara del horno, también dispone de una luz indicadora de encendido y apagado, y de paro de

emergencia en caso de existir algún daño en el equipo. Para seguridad del equipo se ha instalado un fusible para proteger a los elementos electrónicos en caso de algún fallo eléctrico.



Figura 6. Horno mufla automatizado

2.8 Especificaciones Técnicas del Equipo.

- ✓ Dimensiones: Ancho=33cm Alto=55cm Profundidad=40cm
- ✓ Potencia =3300W
- ✓ Alimentación=220V
- ✓ Amperaje=15ª
- ✓ Numero de fases=2
- ✓ Temperatura constante de trabajo=1050°C
- ✓ Temperatura regulable hasta 1100°C
- ✓ Indicador= luz indicadora de encendido.
- ✓ Puerta abatible
- ✓ Peso=35,6 Kg
- ✓ Control de tiempo de cocción
- ✓ Parada de emergencia.

2.9 Resultados.

En el Figura 7 se puede observar el tiempo de calentamiento, esta curva de calentamiento es en forma teórica.

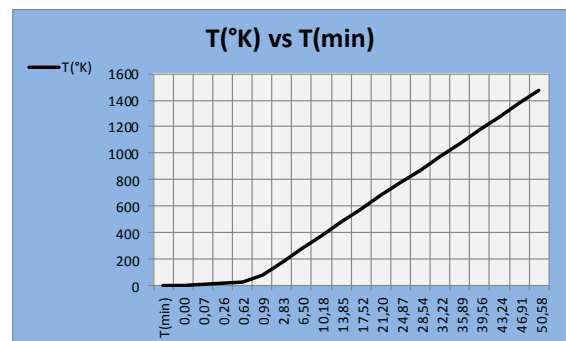


Figura 7. Curva teórica de calentamiento del horno

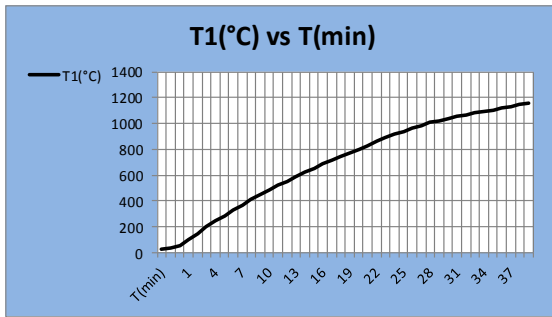


Figura 8. Curva práctica de calentamiento del horno

En el Figura 8 se obtiene la curva de calentamiento real del horno, con una pequeña diferencia en su inicio, y un porcentaje de error del 5% a lo largo de todo el proceso de calentamiento.

2.10 Protocolo de Pruebas para la Calibración del Horno Mufla.

Para la calibración del horno mufla depende mucho del controlador de temperatura, en el cual se debe hacer ciertos ajustes en los parámetros de su sistema de control.

Tabla 4. Configuración del controlador de temperatura

CONFIGURACION DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA		
PARAMETROS	INDICACIONES	AJUSTES
P	Coeficiente Proporcional	10
I	Tiempo Integral	120
d	Tiempo Derivativo	120
db	Encendido/Apagado control histeres	5
CP	Ciclo de control	20
AL	Valor de alarma	1100
HY	Alarma histeresis	1
Rd	Modo de alarma	HH
PS	PV Valor modificado	0
Ft	Constante de filtro	20
CF	Interruptor de la unidad	C
inP	Senal de entrada de la termocupla	Y
FL	Valor inferior de la termocupla	-20
FH	Valor superior de la termocupla	1300
LCY	Configuracion de contrasena	0

En la Tabla 4 se indica los valores a tomar en cuenta para la alarma y los valores del PID.

2.11 Conclusiones.

El tipo de materiales para la construcción del horno se seleccionó de acuerdo a los requerimientos y parámetros que se establecieron en su diseño. Se utilizó: ladrillo refractario JM23, mortero superaerofrax, lana de vidrio KAOWOOL, chapa metálica, un controlador de temperatura XMT612, una termocupla tipo K, y una resistencias de hilo kantál.

El calor transmitido hacia las paredes externas del horno está dentro de los parámetros considerados en su diseño, alcanzando una temperatura muy baja alrededor de 50°C, es así que evitara sufrir quemaduras a los operarios.

El resultado del calentamiento del horno fue muy satisfactorio, esto se debe a que el tiempo que se tarda en llegar a temperatura máxima es de 40 minutos y su enfriamiento total requiere un tiempo de dos horas.

3 Referencias Bibliográficas.

SMITH, William. (2005). *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería Materiales*. España, Madrid.

W.D. CALLISTER, Jr. (2007).

"Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales (I, II)" Séptima Edición.

Faires, M. (2003). *Diseño de Elementos de Máquinas*. México. Limusa.

W. Trinks, M. H. Mawhinney. *Hornos Industriales. Volumen I y II*.

MOOTT, R. (2009). *Resistencia de Materiales*. México: Pearson Educación.

Yu. M. Lajtin. *Metalografía y tratamiento térmico de los metales*.

M.I. FELIPE DIAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ., M.I. ALBERTO REYES SOLIS. (2012). *ACEROS, ESTRUCTURAS Y TRATAMIENTOS TERMICOS*.

Donald Q. Kern. (2008). *Procesos de transferencia de calor*.

INCROPERA, F. (2008). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. México: Prentice Hall.

William I. Haberman, James E. A. John. *Termodinámica para ingeniería con transferencia de calor*.

SHIGLEY. (2006). *Mechanical Engineering Design*. (Octava Edición).



FICA, Vol. X, No. X, MES 20XX
Dr. Ing. JOSE M. LASHERAS ESTEBAN.

Materiales industriales.

Bolton, W. (2010). Mecatrónica: Sistemas de control electrónico en la ingeniería

Katsuhiko Ogata. “Ingeniería de Control Moderna”. Prentice Hall, 2003.

Nise, Norman S. “Sistemas de Control para Ingeniería”. 3ra edición. CECSA, 2002

4 Linkografía

Materiales aislantes. Recuperado de:
<http://equipo1mona.blogspot.com/2012/02/materiales-aislantes-conductores-y.html>.

Resistencias eléctricas. Recuperado de:
<http://www.ecuadoronline.co/industria-de-resistencias-electro---termicas-24046.html>.

Hornos tipo mufla. Recuperado de:
http://www.metrotec.es/metrotec/WWW_DOC/MUFLAS_PR-1-CAT-E-R1.pdf

Sistemas Aislantes de Fibra de Vidrio.
Recuperado de:
<https://www.guardian.com/es/guardianproductosdeconstruccion/productosconstruccion/sistemasaislantesdefibradevidrio/index.htm>

Administrador. Materiales Refractarios,
Recuperado de: [http://www.manual-refractarios\[1\].pdf](http://www.manual-refractarios[1].pdf).

NETZSCH. Materiales de Aislamiento Térmico, Recuperado de: http://www.netzsch-thermal-analysis.com/download/ThermalInsulation_Materials_E_0210_497.pdf.

ERECOS. Catálogo de Productos,
Recuperado de: <http://www.erecos.com/catalogo.html>.

Lénin Andrés Monteros., Autor



Estudiante de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte

Villarreal C., Autor



Docente de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte



SUMMARY:

In this article there appear the different results reached in the investigation realized in the design and construction of a stove muffle for the achievement of the different thermal treatments in steels.

For the construction of this stove muffle, materials were used, like: refractory brick, glass wool, refractory mortar and metallic sheet; with these materials, one managed to construct a camera of thin walls expiring with the necessary requests with regard to the maintenance and operation needed in the warming of burettes normalized for the achievement of thermal treatments in steels.

The electrical and electronic elements used for its handling and operation, they are: the temperature controller; that allows to visualize the maximum temperature of warming of the camerawoman that wants to be reached in the different processes, and the temperature to which the wall is inside the stove in every moment of time, a termocupla type K to register the temperature in its internal walls, and an electrical resistance for the warming of the stove up to its maximum temperature.

This stove muffle possesses a potency of 3,3 Kw, a voltage of 220V two-phase, reaches a maximum temperature of warming of 1050 °C in a time of 40 minutes.

The developed work will serve like bibliographical support for other investigations on the topic that could appear in the future.

Words Fix

Thermal treatments, heat transfer, and time of answer of the system.

1. Introduction.

A stove muffle can reach temperatures on 1000°C and serves for the warming of materials that are submitted to different processes of thermal treatment. These stoves also are used in several applications; this way, in the metallurgy, in the drying and calcination of precipitates, essays of flamabilidad to high temperature, metallic alloys, moderated, essays of smelting and others who need a treatment for heat.

In these teams the thermal energy is given by means of electrical resistances, which are located in the side walls and back of the camera of warming of the stove; its resistances are of thread a resister of different suitable alloys to work in a lot of time to high temperatures.

The internal office is isolated with refractory bricks of tall alumina, followed by glass wool; these two components are necessary to protect the electrical and electronic components of its deterioration.

When the stove finds between them to high temperatures understood 900°C and 1000°C, the lost heat is transmitted by means of convection, radiation, and conduction towards the external way, across its side walls.

2. I develop

At the moment of realizing the design of the stove muffle it is necessary to take into account certain considerations: dimensions of its internal camera, building materials, temperature of operation, heat

transferred by the elements that constitute the stove muffle, and thermal properties of the used materials.

2.1. Dimensionamiento of the Chamber.

For the Dimensionamiento of the internal camera of the stove muffle realized it under the consideration that this camera will serve to realize laboratory practices in the treatment thermal in the steels, it is like that, that the materials to be deposited are burettes normalized for essays of haulage, compression, inverted push-up, and I crash.

Therefore there is selected a camerawoman standardized with the following measurements:

Width=200mm

Height=170mm

Depth=200mm

2.2. Selection of Materials.

In the Table 1 there are indicated the materials selected for the construction of the internal camera of the stove muffle based on its insulating properties of the heat, refractariedad, high melting point, and its high resistance to the thermal shocks.

Table 1 Materials used for the construction of the walls of the stove.

MATERIAL	ESPECIFICACIONES TECNICAS	VENTAJAS	
AISLANTE TERMICO	COLOR	BLANCO	Baja conductividad termica y energia térmica almacenada.
	ESPEJOR	25mm	Elevada resistencia a los choques térmicos y ataques químicos.
	USO CONTINUO	1100°C	Buenas características acústicas y de protección contra fuego.
	LIMITE DE USO	1260°C	Alta flexibilidad, facilitando cortes e instalación.
	PUNTO DE FUSION	1760°C	Muy bajo almacenamiento de calor, calienta y enfría rapidamente.
	LARGO	7620mm	Buena resistencia mecánica. (KAOWOOL)
	ANCHO	610mm	
LADRILLO REFRACTARIO	Universal (JM-23)	Ladrillo súper Refractario, indicado para servicio pesado en bóvedas, muros y pisos de hornos y calderas, cámaras de combustión, zona fría de hornos rotatorios y en general donde además de una alta temperatura de servicio (1763°C) sea importante una buena resistencia al choque térmico y al ataque moderado de escorias y agentes químicos.	
MORTERO REFRACTARIO	SUPER AEROFRAK	Super refractario, húmedo de fraguado al aire. 1600°C. (ERECOS).	

2.3. Calculation of the Chamber.

To realize the respective calculations it is necessary to know the respective equations that should us to obtaining all the necessary information to determine the heat transfer between the camera and its surroundings.

The heat by conduction across its walls is obtained by the following equation:

$$q_{Cond} = K \frac{T_1 - T_2}{L} = K \frac{\Delta T}{L}$$

The heat for convection between its external surface and the way with the Equation 2.

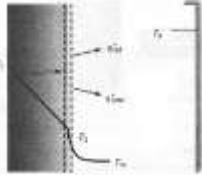
$$q_{Conv} = h(Ts - T\infty)$$

The heat for radiation between the external walls of the stove and the external way realizes with the equation his 3

$$q_{Rad} = \epsilon\sigma(Tx^4 - Tamb^4)$$

To determine the most suitable arrangement one proceeds to realize a balance of energy of the system.

$$Eent - Esale = 0$$



It represents 1 Heat transfer in the wall of the stove.

In the Figure 1, it shows itself the different forms of heat transfer across the walls of the stove; this means that there is heat conduction across its walls from the internal camera of the stove towards the surface, convection from the surface towards the ambience, and radiation exchange from the surface to its surroundings. This way, it is had:

$$q_{\text{Cond}} - q_{\text{Conv}} - q_{\text{Rad}} = 0$$

Po so much,

$$K \frac{T_1 - T_2}{L} = h(T_2 - T_{\infty}) + \epsilon\sigma(T_2^4 - T_{\text{amb}}^4)$$

$$K \frac{T_1 - T_2}{L} - h(T_2 - T_{\infty}) - \epsilon\sigma(T_2^4 - T_{\text{amb}}^4) = 0$$

Where:

K=Thermal Conductivity.

T₁=temperature he interns of

Warming camera.

T₂=outside temperature of

Warming camera.

L=thick of the bricks and glass wool.

h=coefficient of convection of the air.

T_∞ = Temperature ambience.

ε=Surface emissivity.

σ=Of Stefan Boltzmann constant.

T_{amb}⁴=Temperature ambience.

To solve the Equation (7) it is necessary to know the thermodynamic properties of the refractory brick and the glass wool to be used, is so, in the Table 2 the solution expresses itself to this equation, going so far as to determine the temperature T2, which is the one that is obtained in the exterior part of the camera of warming.

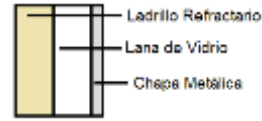
Table 2. Solution to the Equation 7 using several materials with different thicknesses.

LADRILLO REFRACTARIO									
TEMP 1 (°K)	CONDUCTIVIDAD TERMICA (W/m°K)	ESPESOR LADRILLO (m)	COEFICIENTE DE CONVECCION AIRE (W/m2K)	TEMP 2 (°K)	EMISIVIDAD SUPERFICIAL	CONSTANTE DE STEFAN BOLTZMANN (W/m2K4)	TEMP 2 (°K)	(K*(T1-T2)/L) - (h*(T2-T1) - (ε*σ*(T2^4 - Tamb^4)))	
1273	0.19	0.05	20	296	0.94	5.67E-08	407.45	0.281462524	
1273	0.19	0.05	20	296	0.94	5.67E-08	407.46	0.010095102	
1273	0.19	0.0635	20	296	0.94	5.67E-08	388.25	0.39373754	
1273	0.19	0.0635	20	296	0.94	5.67E-08	388.26	0.003569077	
LANA DE VIDRIO									
TEMP 1 (°K)	CONDUCTIVIDAD TERMICA (W/m°K)	ESPESOR LANA (m)	COEFICIENTE DE CONVECCION AIRE (W/m2K)	TEMP 2 (°K)	EMISIVIDAD SUPERFICIAL	CONSTANTE DE STEFAN BOLTZMANN (W/m2K4)	TEMP 2 (°K)	(K*(T1-T2)/L) - (h*(T2-T1) - (ε*σ*(T2^4 - Tamb^4)))	
407.457	0.06	0.01	20	296	0.85	5.67E-08	317.18	0.253256783	
407.457	0.06	0.01	20	296	0.85	5.67E-08	317.19	0.092498674	
407.457	0.06	0.015	20	296	0.85	5.67E-08	311.16	0.168936829	
407.457	0.06	0.015	20	296	0.85	5.67E-08	311.17	0.020897021	
388.261	0.06	0.01	20	296	0.85	5.67E-08	313.58	0.447791736	
388.261	0.06	0.01	20	296	0.85	5.67E-08	313.59	0.096400044	
388.261	0.06	0.015	20	296	0.85	5.67E-08	308.56	0.697663222	
388.261	0.06	0.015	20	296	0.85	5.67E-08	308.58	0.045562058	

Analyzing the previous table, muffle raises the solution to the problem of dimensionamiento of the walls of the stove, being the most suitable a brick of 0,05m of thickness, followed by a glass wool of 0,015m, with this we would avoid of that it exists a

very high temperature in the exterior part of the stove and of equal way the persons of possible burns will be protected when they are about the same one.

Therefore, the walls of the stove muffle are shaped of the following way:



It represents 2. Transverse section of the wall of the stove muffle.

2.4. System of Warming.

For the system of warming of the stove electrical resistances were used in the shape of NICROMO spiral, with a composition of 80 % nickel and 20 % chromed, that are designed to work with temperatures of up to 1000 ° C. This type of electrical resistance was selected because it expires with the characteristics raised in the design, also I join one more alloy to exceed the proposed temperature, and this alloy is of aluminum with a percentage of 10 %, with this it is achieved that it reaches temperatures of up to them 1300°C.

2.5. Automation of the System.

The system of used control is a controller PID, because they allow a thin adjustment. This adjustment, integral and derivative, they express themselves in units based on the time. The integral and derivative terms must fit in an individual way by means of the method test and error. That is known like autoadaptable.



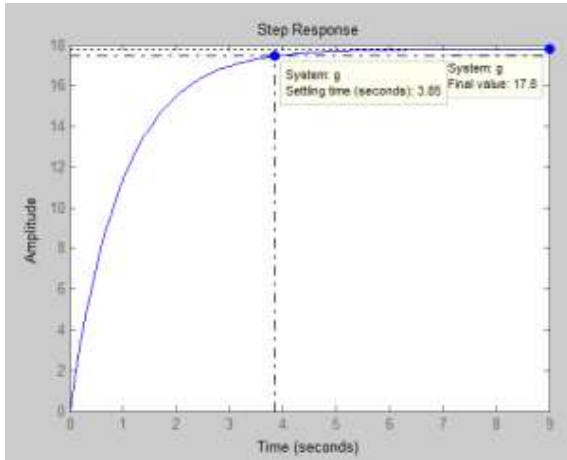
It represents 3. System of control PID

This control system presents a transference function like the one that 8 indicates himself in the Equation.

$$\frac{T(s)}{q(s)} = G(s)_{TP} = \frac{18,09}{\tau s + 1,016} \quad (8)$$

Time of answer of the System without Controller.

In the Figure 4 one can observe that the time of answer of the system without controller is 3,85 seconds.



It represents 4. Time of answer of the System without controller.

These parameters will be modified for the calculation of the ideal controller; the time of establishment (TS) has to be half of this obtained value, the same way, it has a maximum of on impulse (MP) of 20 %.

Table 3. Parameters necessary for the design of the controller.

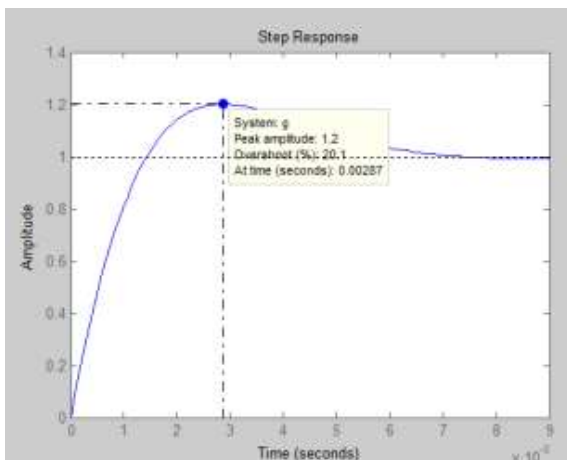
Parámetros necesarios para el diseño del controlador	
TS	1.93 Segundo
MP	20%
Tabla 1. Parametros modificados	

2.6 Design of the controller PID for LGR.

The controller PID was designed by LGR, because other methods of tuning of the controller are not feasible to reach the specifications of its design, because its answer to a unitary step of the plant does not present a curve in S.

2.6.1 Time of answer of the System with a Controller PID.

In the Figure 5 one can observe that the time of answer of the system with a controller is 0,00287 seconds, allowing to expire with an answer time according to the requests of the process.



It represents 5. Time of answer of the System with a controller PID.

2.7 Implementation of the System of Control

For the control of temperature of this stove muffle used a controller of temperature PID XMT612 available on the local market, a termocupla type K entrusted to register the temperature inside the camera of the stove, also he has a warning light of burning and subdued, and emergency unemployment in case of some damage exists in the team. For safety of the team he has installed a fuse to himself to protect to the electronic elements in case of some electrical mistake.



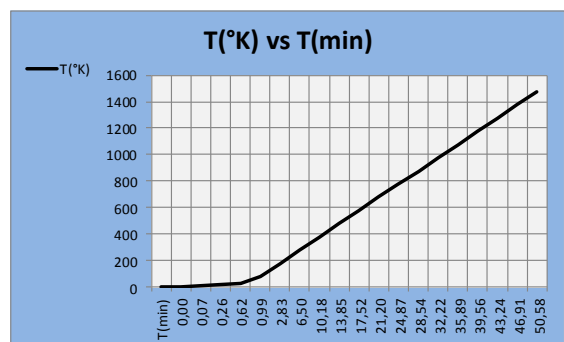
It represents 6. Automated stove muffle

2.8 Technical specifications of the Team.

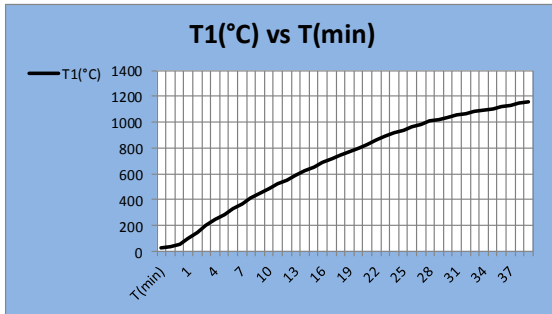
- Dimensions: Width = 33cm Height = 55cm Depth = 40cm
- Power = 3300W
- Supply = 220V
- Amps =15th
- Number of phases = 2
- constant working temperature = 1050 ° C
- Adjustable temperature up to 1100 ° C
- indicator = indicator light.
- swing door
- Weight = 35.6 kg.
- Control of cooking time
- Emergency stop.

2.9 Results.

In the Figure 7 one can observe the warming time, this warming curve is in theoretical form.



It represents 7. Theoretical curve of warming of the stove



It represents 8. Practical curve of warming of the stove

In the Figure 8 obtains the curve of real warming of the stove, with a small difference in its beginning, and a percentage of error of 5 % along the whole warming process.

2.10 Protocol of Tests for the Calibration of the Stove Muffle.

For the calibration of the stove muffle depends much of the controller on temperature, in which it is necessary to do certain adjustments in the parameters of its system of control.

Table 4. Configuration of the controller of temperature

CONFIGURACION DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA		
PARAMETROS	INDICACIONES	AJUSTES
P	Coeficiente Proporcional	10
I	Tiempo Integral	120
d	Tiempo Derivativo	120
db	Encendido/Apagado control histeres	5
CP	Ciclo de control	20
AL	Valor de alarma	1100
HY	Alarma histeresis	1
Rd	Modo de alarma	HH
PS	PV Valor modificado	0
Ft	Constante de filtro	20
CF	Interruptor de la unidad	C
inP	Señal de entrada de la termocupla	Y
FL	Valor inferior de la termocupla	-20
FH	Valor superior de la termocupla	1300
LCY	Configuracion de contraseña	0

In the Table 4 the values are indicated to take into consideration for the alarm and the values of the PID.

2.11 Conclusions.

The type of materials for the construction of the stove was selected in accordance with the requests and parameters that were established in its design. It was used: refractory brick JM23, superaerofrax mortar, glass wool KAOWOOL, metallic sheet, a controller of temperature XMT612, one termocupla type K, and thread resistances kantal.

The heat transmitted towards the external walls of the stove is inside the parameters considered in its design, reaching a very low temperature about 50°C, it is so he will avoid to suffer burns to the workers.

The result of the warming of the stove was very satisfactory; this is due to the fact that the time that is taken in coming to maximum temperature is 40 minutes and its entire cooling needs a time of two hours.

3 Bibliographical References.

SMITH, William. (2005). *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería Materiales*. España, Madrid.

W.D. CALLISTER, Jr. (2007). *"Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales (I, II)" Séptima Edición*.

Faires, M. (2003). *Diseño de Elementos de Máquinas*. México. Limusa.

W. Trinks, M. H. Mawhinney. *Hornos Industriales. Volumen I y II*.

MOOTT, R. (2009). *Resistencia de Materiales*. México: Pearson Educación.

Yu. M. Lajtin. *Metalografía y tratamiento térmico de los metales*.

M.I. FELIPE DIAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ., M.I. ALBERTO REYES SOLIS. (2012). *ACEROS, ESTRUCTURAS Y TRATAMIENTOS TERMICOS*.

Donald Q. Kern. (2008). *Procesos de transferencia de calor*.

INCROPERA, F. (2008). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. México: Prentice Hall.

William I. Haberman, James E. A. John. *Termodinámica para ingeniería con transferencia de calor*.

SHIGLEY. (2006). *Mechanical Engineering Design*. (Octava Edición).

Dr. Ing. JOSE M. LASHERAS ESTEBAN. *Materiales industriales*.

Bolton, W. (2010). *Mecatrónica: Sistemas de control electrónico en la ingeniería*

Katsuhiko Ogata. *"Ingeniería de Control Moderna"*. Prentice Hall, 2003.

Nise, Norman S. *"Sistemas de Control para Ingeniería"*. 3ra edición. CECSA, 2002



4 Linkografía

Materiales aislantes. Recuperado de:
<http://equipo1mona.blogspot.com/2012/02/materiales-aislantes-conductores-y.html>.

Resistencias eléctricas. Recuperado de:
<http://www.ecuadoronline.co/industria-de-resistencias-electro---termicas-24046.html>.

Hornos tipo mufla. Recuperado de:
http://www.metrotec.es/metrotec/WWW_DOC/MUFLAS_PR-1-CAT-E-R1.pdf

Sistemas Aislantes de Fibra de Vidrio.
Recuperado de:
<https://www.guardian.com/es/guardianproductos/deconstruccion/productosconstruccion/sistemasaislantesdefibradevidrio/index.htm>

Administrador. Materiales Refractarios,
Recuperado de: [http://www.manual-refractarios\[1\].pdf](http://www.manual-refractarios[1].pdf).

NETZSCH. Materiales de Aislamiento Térmico, Recuperado de: http://www.netzsch-thermal-analysis.com/download/ThermalInsulation_Materials_E_0210_497.pdf.

ERECOS. Catálogo de Productos,
Recuperado de: <http://www.erecos.com/catalogo.html>.

Lénin Andrés Monteros., Autor



Estudiante de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte

Villarreal C., Autor



Docente de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte