



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

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**MONOGRAFÍA: PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO  
EN: ELECTROMECAÁNICA**

**AUTOR: MANRIQUE SUAREZ, NIPZON ORLANDO**

**DIRECTOR: ING. MASAPANTA CHICAIZA, JAIME GONZALO**

**LATACUNGA**

**2020**





**IMPLEMENTACIÓN DE UN HORNO TIPO MUFLA PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN PIEZAS METÁLICAS DE USO AUTOMOTRIZ E INDUSTRIAL MEDIANTE LA UTILIZACION DE DISPOSITIVOS ELECTROMECAÑICOS, EN EL LABORATORIO DE LA CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÑICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-L.**



# *Planteamiento del problema*

- El tratamiento térmico de los metales es un proceso que nunca se ha implementado en los talleres de mantenimiento industrial y automotriz por falta de conocimiento del proceso y excesivos costos de equipos, esto da como resultado fallas en mantenimientos industriales y en estructuras metálicas pequeñas por daño en piezas que se doblan o se agrietan por falta de tratamientos previos a estos materiales.



# Justificación

- En el desarrollo de habilidades y destrezas de los estudiantes es importante brindar las herramientas necesarias para mejorar su aprendizaje en el sentido de la práctica, ofreciendo instrumentos acordes a la tecnología actual y de importancia en su aplicación.



# Objetivos

## General

- Implementar un horno eléctrico tipo mufla mediante el empleo de material refractario, sensores y controladores de temperatura que faciliten la medición y control dentro del proceso de tratamiento de metales, para la utilización del equipo en prácticas de laboratorio de la carrera Tecnología en Electromecánica en el estudio de mecánica de materiales..



# Objetivos

## Específicos

- Investigar el principio de funcionamiento y el tipo de tratamientos térmicos que ofrece el horno tipo mufla a través de la recopilación de fuentes bibliográficas, para la comprensión del trabajo que desempeña el horno y cada uno de sus componentes.
- Analizar los requerimientos de la estructura para implementación del horno eléctrico tipo mufla para el proyecto mediante el empleo del software de diseño SolidWorks.
- Seleccionar los materiales que cumplan y se adapten a las propiedades necesarias en la implementación del horno eléctrico tomando en cuenta la temperatura máxima y el tiempo de exposición del tratamiento térmico de los metales.
- Monitorear el funcionamiento del horno eléctrico y de la estructura mediante la variación de altas temperaturas para definir la calibración en la programación y el correcto manejo del horno eléctrico.



# Alcance

- El presente trabajo de investigación está enfocado a implementar el tratamiento térmico en los procesos de mantenimiento de vehículos y estructuras metálicas, además de eliminar procesos artesanales que se venían haciendo, ya que de esta manera empírica no se logra los efectos deseados en los metales.
- Este trabajo de investigación brindara seguridad en el proceso de calentamiento de los metales y censara la temperatura ideal para el proceso que se requiera mediante sensores y un controlador de temperatura, de esta manera realizar un tratamiento de metal ideal, eficaz y seguro..





# *Horno Eléctrico Mufla*

- El horno mufla es un tipo de horno que se construye para trabajar con altas temperaturas, por este motivo es empleado en varios procesos que requieren este tipo de característica como laboratorios en laboratorios, talleres y empresas.



- Este tipo de hornos son empleados especialmente para tratamientos térmicos donde la finalidad es poder controlar de mejor manera el calentamiento y enfriamiento. Los tratamientos principales que se pueden citar son el temple, recocido, revenido y normalizado





# Principio de funcionamiento

- El funcionamiento de este equipo se basa en la aplicación de energía térmica, que es producida por medio de resistencias eléctricas, las cuales están dispuestas en las paredes laterales y parte posterior del horno, son de hilo resistor de aleación Cr-Al-Fe y capaces de trabajar largos periodos de tiempo. Las resistencias emiten con gran eficiencia el calor a los cuerpos metálicos siempre pasando del cuerpo de mayor temperatura hacia el cuerpo de menor temperatura.



# Componentes de una mufla eléctrica

## Cámara Interna

La constitución de la cámara interior del horno se basa en paredes de material refractario con alto porcentaje de alúmina y sílice, en conjunto ofrecen una alta resistencia a grandes temperaturas con las que trabaja el horno.

- **Elementos Calefactores:** las resistencias que son las encargadas de suministrar el calor en el interior de la mufla
- **Termocupla:** O sensor de temperatura, es el encargado de enviar una señal eléctrica al control electrónico.



# Componentes de una mufla eléctrica

## Control del Horno Mufla

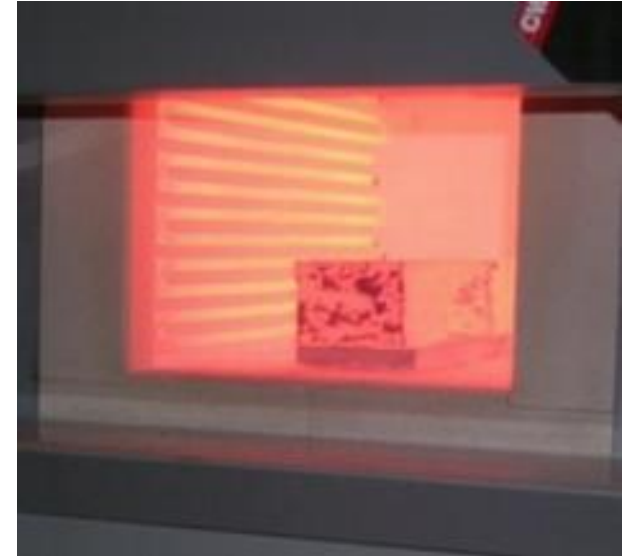
Depende del tipo de horno mufla y al uso que se le dará, se puede encontrar varios tipos de control y elementos que la misma pueda poseer.

- **Temporizador:** es el que establece el tiempo de trabajo de la mufla.
- **Control de Temperatura:** es el que maneja y establece la temperatura a la que trabajará el equipo. El tipo de control que normalmente usan las muflas es de tipo PID.
- **Interruptor de seguridad:** el trabajo de este interruptor es el de cortar el suministro eléctrico.



# Tratamientos Térmicos en Metales

- Los tratamientos térmicos son procesos para realizar cambios en las propiedades de los aceros como la resistencia, dureza, ductilidad y otras propiedades de los metales. Los tratamientos térmicos están basados en procesos de calentamiento y enfriamiento para provocar variación en la estructura de un material.
- Un tratamiento térmico puede ser aplicado durante el proceso de manufactura o al finaliza la misma para dotar de características como resistencia o dureza, dependiendo de la finalidad de empleo del material tratado.



# *Tratamientos Térmicos en Metales*

## Propiedades Mecánicas de los Materiales

- **Resistencia al desgaste:** Es la resistencia que ofrece un material a dejarse erosionar cuando está en contacto de fricción con otro material.
- **Tenacidad:** Es la capacidad que tiene un material de absorber energía sin producir fisuras (resistencia al impacto).
- **Maquinabilidad:** Es la facilidad que posee un material de permitir el proceso de mecanizado por arranque de viruta.
- **Dureza:** Es la resistencia que ofrece un acero para dejarse penetrar



# Tratamientos Térmicos en Metales

## Etapas en los Tratamientos Térmicos

### Calentamiento

En esta etapa al calentar el acero en el interior de un horno apropiado, el calor se transmite desde la atmósfera del horno hacia el interior de la pieza a través de la superficie de la misma



### Mantenimiento a temperatura constante

El tiempo de exposición a alta temperatura debe ser el suficiente para conseguir homogenizar la temperatura en toda la pieza, también para lograr la máxima uniformidad estructural posible.





# ***Etapas en los Tratamientos Térmicos***

## **Etapas en los Tratamientos Térmicos**

### **Enfriamiento**

La etapa de enfriamiento es importante y la que diferencia los tratamientos térmicos más empleados y es estrictamente necesaria para lograr las microestructuras finales objetivo de cada tratamiento.

- **Agua**
- **Soluciones salinas**
- **Aceites**





# *Tipos de Tratamientos Térmicos*

Los principales tratamientos térmicos son:

- Temple
- Revenido
- Recocido
- Normalizado



# ***Tipos de Tratamientos Térmicos***

## ***Temple***

Este tratamiento térmico se caracteriza por enfriamientos rápidos (continuos o escalonados) en un medio adecuado: agua, aceite o aire, para transformar la austenita en martensita.

## ***Recocido***

Se trata de calentar el metal hasta una determinada temperatura y enfriarlo después muy lentamente (incluso en el horno donde se calentó). De esta forma se obtienen estructuras de equilibrio. Son generalmente tratamientos iniciales mediante los cuales se ablanda el acero



# ***Tipos de Tratamientos Térmicos***

## ***Revenido***

Debido al resultado de la aplicación del temple que es el aumento del nivel de fragilidad, se aplica el proceso de revenido para obtener el metal en una forma más estable.

## ***Normalizado***

Se trata de calentar el metal hasta su austenización y posteriormente dejarlo enfriar al aire. Se obtiene una estructura granular más fina y una mayor resistencia mecánica. La desventaja es que la dureza obtenida es mayor.



# DESARROLLO DEL PROYECTO

## SELECCIÓN DEL MATERIAL

### FIBRA CERAMICA

Manta aislante de Fibra cerámica. Las mantas de fibras cerámicas refractarias presentan una elevada resistencia a las altas temperaturas por lo que se trata de un producto ideal para el revestimiento y aislamiento de calderas, hornos o chimeneas.

MATERIAL	ESPECIFICACIONES TECNICAS	VENTAJAS
FIBRA CERAMICA	Color blanco Espesor 40mm Uso continuo 1100°C Límite de uso 1260°C Punto de fusión 1760°C Largo 7620mm Ancho 610mm	Conductividad térmica baja y Baja energía térmica almacenada.  Gran resistencia a los choques térmicos  Importantes de protección contra fuego.  Gran flexibilidad, facilita cortes e instalación.  Calienta y enfría rápidamente  Buena resistencia mecánica. (Manta Kaowool)

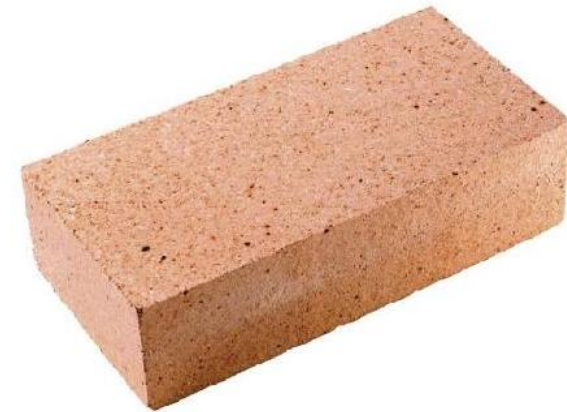


# SELECCIÓN DEL MATERIAL

## LADRILLO REFRACTARIO DE ALTA ALUMINA

Los **ladrillos refractarios** generalmente contienen más del 40% de alúmina. También pueden contener sílice. Se utilizan para revestir hornos, parrillas, calderas. Se adhieren fácilmente con tierra o con cemento **refractario**, cuya apariencia es borrosa y se caracteriza por su gran resistencia.

NOMBRE	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	CARACTERÍSTICAS
Ladrillo refractario de alta alúmina	Medidas 9" x 4.5" x 2.5" (23 x 11.5 x 6.5 cm) Temperatura de máxima operación: 1400°C	Conductividad térmica baja y buen funcionamiento del aislamiento (Samothermal)



# SELECCIÓN DEL MATERIAL

## MORTERO REFRACTARIO

Se considera mortero refractario aquel que expuesto a la acción del fuego y/o altas temperaturas es capaz de resistir estas acciones y los gases derivados de ellas sin descomponerse, alterarse o modificar sus propiedades

NOMBRE	ESPECIFICACIONES TECNICAS	CARACTERISTICAS
AEROFRAX	Temperatura de operación: 1500°C	máxima Mortero refractario silicio-aluminoso húmedo de fraguado al aire para usar en mamposterías refractarias. (Importadora MINASUR)



# SELECCIÓN DEL MATERIAL

## RESISTENCIAS DE KANTHAL A1

Las resistencias empleadas en el horno mufla están constituidas del material llamado KANTHAL 1 ideal para el trabajo de generación de calor.



Composición química		KANTHAL APM	KANTHAL A-1	KANTHAL AF	KANTHAL D
Fe	%	70	70	72	73
Cr	%	22	22	22	22
Al	%	5.8	5.8	5.3	4.8
Densidad	kg/m <sup>3</sup>	7100	7100	7150	7250
Temperatura de fusión	°C	1500	1500	1500	1500
Temperatura máxima de utilización	°C	1425	1400	1300	1300
Calor específico a 20 °C	kJ/kg K	0.46	0.46	0.46	0.46
Calor específico medio a 0 - 1 000 °C	kJ/kg K	0.54	0.54	0.54	0.54
Conductividad térmica a 20 °C	W/m K	13	13	13	13
Coefficiente de dilatación lineal 20 - 1 000 °C 10 <sup>-6</sup> °C <sup>-1</sup>		15	15	15	15
Resistencia a la rotura					
20 °C	N/mm <sup>2</sup>	750	800	800	800
900 °C	N/mm <sup>2</sup>	40	34	37	34

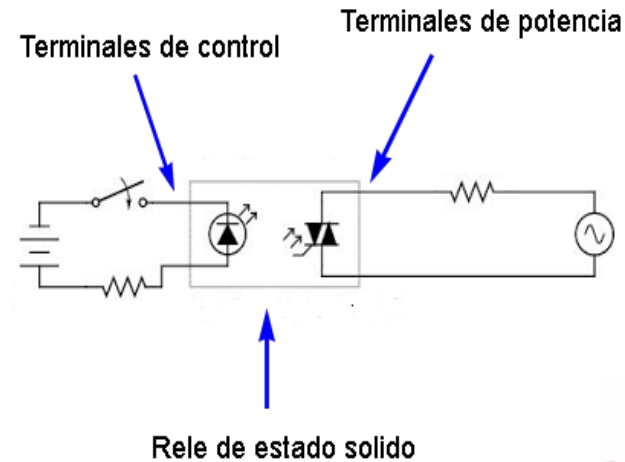




# SELECCIÓN DEL MATERIAL

## RELÉ DE ESTADO SÓLIDO

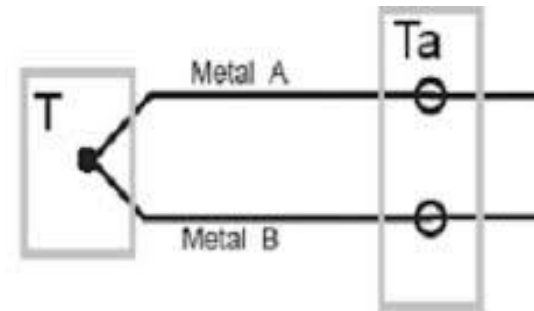
El relé de estado sólido (SSR) se utilizará para poner en funcionamiento dispositivos eléctricos o electrónicos mediante una señal de control es este caso el dispositivo eléctrico es a resistencia que generara calor como se muestra en la figura



# SELECCIÓN DEL MATERIAL

## TERMOPAR TIPO K

Los termopares son sensores de temperatura. Se constituye de dos metales diferentes, que se unen en un extremo. Cuando hay variación de temperatura en el punto de la unión se genera una tensión que es proporcional a la temperatura.



# SELECCIÓN DEL MATERIAL

## CONTROLADOR DE TEMPERATURA REX-C100



Un controlador de temperatura es un dispositivo electrónico utilizado para manejar la temperatura deseada de un medio ambiente, con este instrumento se monitorea la temperatura, y genera una orden de variación de la misma.

Exactitud de medición:  $\pm 0.5$  %FS  
Resolución: 14 bits  
Ciclo de muestreo: 0.5 seg.  
Energía: AC 100-240V 50 / 60HZ  
Valor de proceso (PV), Valor de ajuste (SV)  
Salida, autoajuste puede ser indicado por: LED control (incluyendo ON/OFF, paso-tipo PID y PID continuo)  
Control autoajutable  
Salida de relé: Contacta con capacidad 250V AC 3A (carga resistiva)  
Detective de temperatura rango: 0 a 1300°C  
Energía consumo < 10 VA



# IMPLEMENTACION

## Dimensiones

$$x = 0.3 \text{ m}$$

$$y = 0.3 \text{ m}$$

$$z = 0.4 \text{ m}$$

## Volumen de la cámara interna

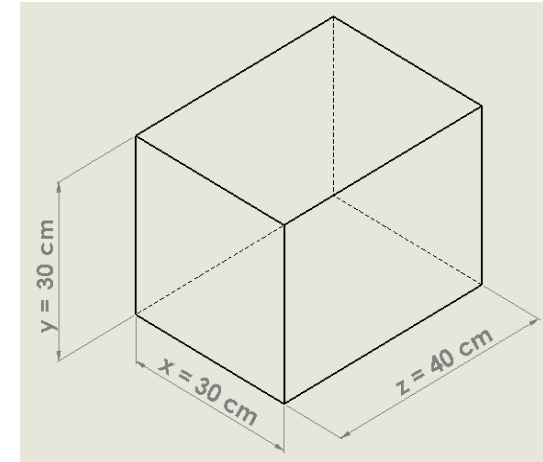
$$V_{\text{cámara}} = x * y * z$$

$$V_{\text{cámara}} = 0.036 \text{ m}^3$$

## Volumen máximo de pieza a tratar

$$V_{\text{pieza}} = \frac{1}{2} V_{\text{cámara}}$$

$$V_{\text{pieza}} = 0.018 \text{ m}^3$$



# IMPLEMENTACION

## Calculo de la Cantidad de Calor Hacia la Carga

$$Q_c = Q_A + Q_m$$

$Q_m$ : Calor debido al calentamiento del material para tratamiento térmico  
[W]

$Q_A$ : Calor debido al calentamiento del aire [W]

## Calor debido al calentamiento del aire

$$Q_A = m_A * C_{p_A} * \Delta T$$

$m_A$ : Masa del aire [kg]

$C_{p_A}$ : Calor específico del aire  $\left[ \frac{J}{kg K} \right]$

$\Delta T$ : Diferencia de temperaturas [K]



# IMPLEMENTACION

## Valor de la masa de aire

Tomando en cuenta el valor máximo de volumen permitido en el horno se procede a encontrar el valor de la masa de aire en la cámara interna.

$$m_A = \rho_A * V_A$$

$\rho_A$ : Densidad del aire a 1000 °C  $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$

$V_A$ : Volumen de aire  $[\text{m}^3]$

$$V_A = V_{\text{camara}} - V_{\text{pieza}}$$

$$V_A = 0.036 \text{ m}^3 - 0.018 \text{ m}^3$$

$$V_A = 0.018 \text{ m}^3$$

Temperatura $T, (\text{°C})$	Densidad $\rho,$ $(\text{kg}/\text{m}^3)$	Calor Específico $C_p, (\text{J}/\text{kg K})$	Conductividad Térmica $k, (\text{W}/\text{m K})$	Viscosidad Dinámica $\mu, (\text{kgm s})$	Numero de Prandtl $Pr$
17	1.217	1007	0.02491	$1.811 \times 10^{-5}$	0.7317
50	1.092	1007	0.02735	$1.963 \times 10^{-5}$	0.7228
1000	0.2772	1184	0.07868	$4.826 \times 10^{-5}$	0.7260

$$m_A = 0.2772 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right] * 0.018 \text{ m}^3$$

$$m_A = \mathbf{0.0049896 \text{ kg}}$$



# IMPLEMENTACION

## Diferencia de temperaturas

En el interior de la cámara del horno y la temperatura ambiente.

$$\Delta T = T_f - T_i$$

$$\Delta T = 1273.15 \text{ K} - 290.15 \text{ K}$$

$$\Delta T = 983 \text{ K}$$

$$Q_A = mA * C_{pA} * \Delta T$$

$$Q_A = 0.0049896 \text{ kg} * 1184 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} * 983 \text{ K}$$

$$Q_A = 5807.26 \text{ J} = \mathbf{5.8 \text{ kJ}}$$

Calor debido al calentamiento del aire

Temperatura $T$ , (°C)	Densidad $\rho$ , (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Especifico $C_p$ , (J/kg K)	Conductividad Térmica $k$ , (W/m K)	Viscosidad Dinámica $\mu$ , (kgm s)	Numero de Prandtl $Pr$
17	1.217	1007	0.02491	1.811x10 <sup>-5</sup>	0.7317
50	1.092	1007	0.02735	1.963x10 <sup>-5</sup>	0.7228
1000	0.2772	1184	0.07868	4.826x10 <sup>-5</sup>	0.7260





# IMPLEMENTACION

## Calculo del Calor Necesario Para Calentar el Material a Tratarse

$$m_{pieza} = \rho m * V_{pieza}$$

$$\rho m: \text{Densidad del acero AISI 1010} \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$m_{pieza} = 7\,832 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 0.018 \, m^3$$

$$m_{pieza} = 140.98 \, kg$$

$$Qm = m_{pieza} * C_{pm} * \Delta T$$

$$Qm = 140.98 \, kg * 434 \left[ \frac{J}{kg \, K} \right] * 983 \, K$$

$$Qm = 60145169.56 \, J = \mathbf{60145.17 \, kJ}$$

Propiedades del acero AISI1010.

Acero	Densidad $\rho, (kg/m^3)$	Calor especifico $C_p, (J/kg \, K)$	Conductividad térmica $k, (W/m \, K)$	Difusividad térmica $\alpha = (m^2/s)$
AISI1010	7832	434	63.9	$18.8 \times 10^{-3}$

$m_{pieza}$ : Masa de la pieza de acero AISI 1010 [kg]

$C_{pm}$ : Calor específico del acero AISI 1010  $\left[ \frac{J}{kg \, K} \right]$

$\Delta T$ : Diferencia de temperaturas [K]

$$1 \, Wh = 3.6 \, kJ$$



# IMPLEMENTACION

Cantidad de calor total que debe ser suministrado hacia la carga en kilovatios hora

$$Q_c = Q_A + Q_m$$

$$Q_c = 5.8 \text{ kJ} + 60145.17 \text{ kJ}$$

$$Q_c = 60150.97 \text{ kJ} \text{ considerando que } 1 \text{ Wh} = 3.6 \text{ kJ}$$

$$Q_c = \mathbf{16.71 \text{ kWh}}$$



# IMPLEMENTACION

## Resistencias Térmicas en las Paredes del Horno

$$T_1 = 1000 \text{ }^\circ\text{C} \longrightarrow 1073.15 \text{ K}$$

$$T_4 = 50 \text{ }^\circ\text{C} \longrightarrow 323.15 \text{ K}$$

$$T_5 = 17 \text{ }^\circ\text{C} \longrightarrow 290.15 \text{ K}$$

$$e_1 = 0.063 \text{ m}$$

$$e_2 = 0.040 \text{ m}$$

$$e_3 = 0.003 \text{ m}$$

$$k_1 = 0.23 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m K}} \right]$$

$$k_2 = 0.30 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m K}} \right]$$

$$k_3 = 47 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m K}} \right]$$

$T_1$ : Temperatura en la pared interior del horno [K]

$T_4$ : Temperatura en la superficie exterior del horno [K]

$T_5$ : Temperatura del ambiente [K]

$e_1$ : Espesor del ladrillo refractario [m]

$e_2$ : Espesor de la manta de fibra cerámica [m]

$e_3$ : Espesor de la chapa de acero [m]

$k_1$ : Conductividad térmica del ladrillo refractario  $\left[ \frac{\text{W}}{\text{m K}} \right]$

$k_2$ : Conductividad térmica de la manta de fibra cerámica  $\left[ \frac{\text{W}}{\text{m K}} \right]$

$k_3$ : Conductividad térmica de la chapa de acero  $\left[ \frac{\text{W}}{\text{m K}} \right]$



# IMPLEMENTACION

## Resistencias térmicas por conducción del aire

$$R_{\text{conducción}} = \frac{e}{k \cdot A}$$

$e$ : Espesor del material [m]

$k$ : Conductividad térmica del material  $\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$

$A$ : Área de transferencia de calor [ $m^2$ ]

$$A = 2 \times (X \times Y + Y \times Z + Z \times X)$$

$$X_1 = 0.426\text{m}$$

$$X_2 = 0.506\text{m}$$

$$X_3 = 0.512\text{m}$$

$$Y_1 = 0.426\text{m}$$

$$Y_2 = 0.506\text{m}$$

$$Y_3 = 0.512\text{m}$$

$$Z_1 = 0.526\text{m}$$

$$Z_2 = 0.606\text{m}$$

$$Z_3 = 0.6012\text{m}$$

$$A_1 = 2 \times [(0.426 \times 0.426) + (0.426 \times 0.526) + (0.426 \times 0.526)] \text{ m}^2$$

$$A_1 = 1,174 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 2 \times [(0.506 \times 0.506) + (0.506 \times 0.606) + (0.506 \times 0.606)] \text{ m}^2$$

$$A_2 = 1,739 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 2 \times [(0.512 \times 0.512) + (0.512 \times 0.612) + (0.512 \times 0.612)] \text{ m}^2$$

$$A_3 = 1,778 \text{ m}^2$$



# IMPLEMENTACION

## Resistencias térmicas por convección del aire

$$R_{1 \text{ cond}} = \frac{e_1}{k_1 * A_1}$$

$$R_{1 \text{ cond}} = \frac{0.063m}{0.23 \frac{W}{m K} * 1.174m^2}$$

$$R_{1 \text{ cond}} = \mathbf{0.233 \frac{W}{K}}$$

$$R_{2 \text{ cond}} = \frac{e_2}{k_2 * A_2}$$

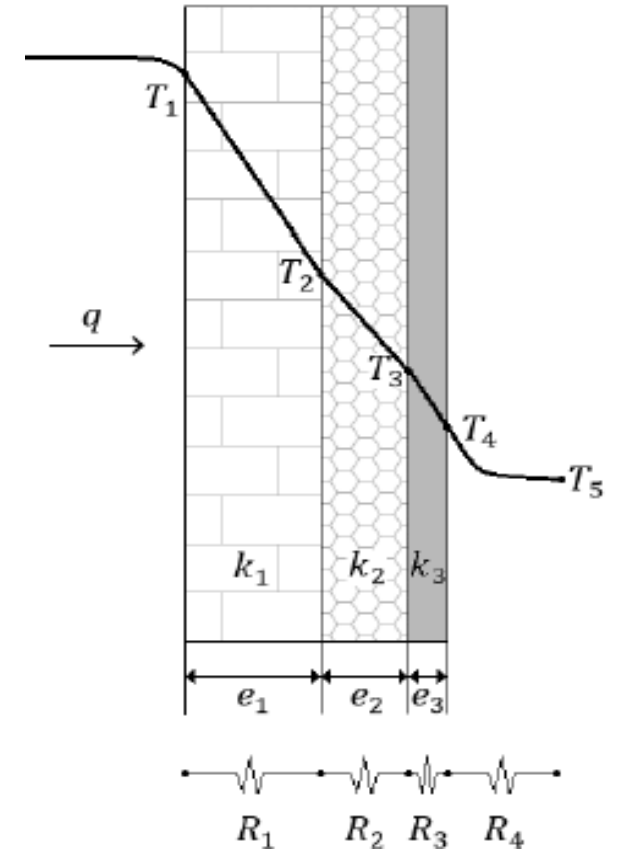
$$R_{2 \text{ cond}} = \frac{0.040m}{0.30 \frac{W}{m K} * 1.739m^2}$$

$$R_{2 \text{ cond}} = \mathbf{0.077 \frac{W}{K}}$$

$$R_{3 \text{ cond}} = \frac{e_3}{k_3 * A_3}$$

$$R_{3 \text{ cond}} = \frac{0.003m}{47 \frac{W}{m K} * 1.778m^2}$$

$$R_{3 \text{ cond}} = \mathbf{3.59 \times 10^{-5} \frac{W}{K}}$$



# IMPLEMENTACION

## Resistencias térmicas por convección del aire

$$R_{convección} = \frac{1}{h \cdot A}$$

$$h = \frac{Nu \cdot k}{L}$$

$$u = C (Gr, Pr)^m$$

$h$ : Coeficiente de transferencia de calor por convección  $\left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$

$Nu$ : Número de Nusselt

$k$ : Conductividad térmica del aire  $\left[ \frac{W}{m K} \right]$

$L$ : Longitud característica [m]

$Pr$ : Número de Prandtl

$Gr$ : Número de Grashof

$$C=0.59 \quad m= \frac{1}{4}$$



# IMPLEMENTACION

## Resistencias térmicas por convección del aire

- número de Grashof

$$Gr = (\Delta T * \beta) \left( \frac{L^3 * \rho * g}{\mu^2} \right)$$

$$\Delta_T = T_4 - T_5$$

$$\Delta_T = 323.15 \text{ K} - 290.15 \text{ K}$$

$$\Delta_T = 33 \text{ K}$$

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura entre la superficie exterior del horno y la media del ambiente [K] a 323,15 K

$\beta$ : Coeficiente de expansión térmica volumétrica [ $K^{-1}$ ]

$L$ : Longitud característica [m]

$\rho$ : Densidad del aire [ $\frac{kg}{m^3}$ ]

$g$ : Gravedad [ $\frac{m}{s^2}$ ]

$\mu$ : Viscosidad absoluta [ $\frac{kg}{m \cdot s}$ ]





# IMPLEMENTACION

- Coeficiente de expansión térmica a 323.15 K

$$\beta = \frac{1}{T_4}$$

$$\beta = \frac{1}{323.15 \text{ K}}$$

$$\beta = 3.094 5 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

- Longitud Característica

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_H} + \frac{1}{L_V} + \frac{1}{L_L}$$

$L_V$ : Longitud vertical del horno [m]

$L_H$ : Longitud horizontal del horno [m]

$L_L$ : Longitud lateral del horno [m]

$$L = \frac{1}{\frac{1}{0.512\text{m}} + \frac{1}{0.512\text{m}} + \frac{1}{0.612\text{m}}}$$

$$L = 0.1804 \text{ m}$$



# IMPLEMENTACION

- **Número de Grashof**

Considerar los valores de viscosidad dinámica, densidad y número de Prandtl del aire a 323.15 K.

$$Gr = (\Delta T * \beta) \left( \frac{L^3 * \rho^2 * g}{u^2} \right)$$

$$Gr = (33 \text{ K} * 3.094 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}) \left[ \frac{(0.1804 \text{ m}^3)^2 * (1.09 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})^2 * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{(1.963 * 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}})^2} \right]$$

$$Gr = \mathbf{1.82 \times 10^7}$$

Temperatura <i>T</i> , (°C)	Densidad $\rho$ , (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Especifico <i>C<sub>p</sub></i> , (J/kg K)	Conductividad Térmica <i>k</i> , (W/m K)	Viscosidad Dinámica $\mu$ , (kgm s)	Numero de Prandtl <i>Pr</i>
17	1.217	1007	0.02491	1.811x10 <sup>-5</sup>	0.7317
50	1.092	1007	0.02735	1.963x10 <sup>-5</sup>	0.7228
1000	0.2772	1184	0.07868	4.826x10 <sup>-5</sup>	0.7260

- **Número de Rayleigh**

$$Ra = Gr * Pr$$

$$R_a = (1.82 \times 10^7) * (0.7228)$$

$$R_a = \mathbf{1.315 \times 10^7}$$



# IMPLEMENTACION

- Número de Nusselt

$$\text{Si } 10^4 \leq Gr * Pr \leq 10^9 \Rightarrow Nu = C(Gr * Pr)^m \Rightarrow C = 0.59 \quad m = \frac{1}{4}$$

$$Nu = 0.59 * (1.315 \times 10^7)^{1/4}$$

$$Nu = \mathbf{35.53}$$

- Coeficiente de transferencia de calor

$$h = \frac{Nu * k}{L}$$

$$h = \frac{35.53 * 0.02735 \frac{W}{mK}}{0.1804 m}$$

$$h = \mathbf{5.38 \frac{W}{m^2K}}$$

$$R_{convección} = \frac{1}{h * A}$$

$$R_{convección} = \frac{1}{5.38 \frac{W}{m^2K} * 1.778 m^2}$$

$$R_{convección} = \mathbf{0.105 \frac{K}{W}}$$



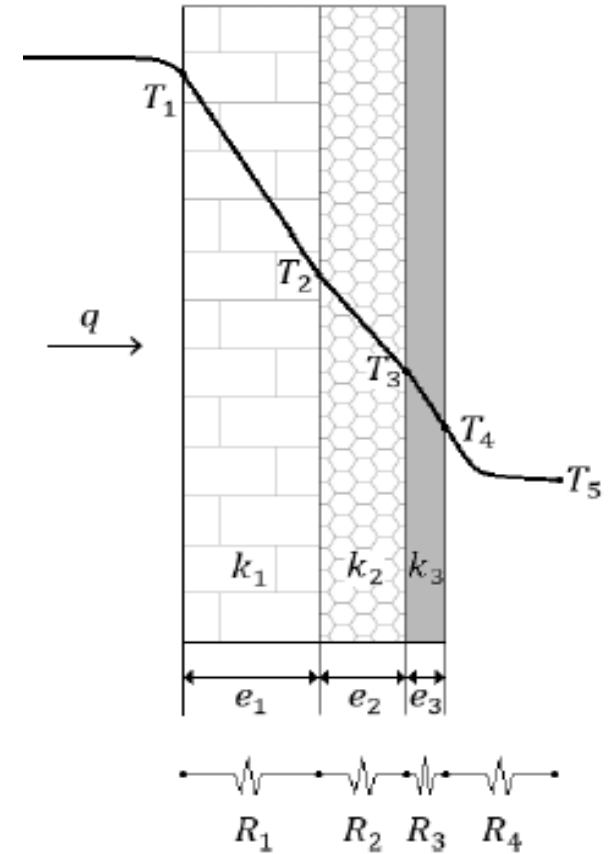
# IMPLEMENTACION

Flujo de calor que se va a perder por las resistencias térmicas

$$q = \frac{T_1 - T_5}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

$$q = \frac{1273.15 \text{ K} - 290.15 \text{ K}}{(0.233 + 0.077 + 3.59 \times 10^{-5} + 0.105) \frac{\text{K}}{\text{W}}}$$

$$q = 2368.47 \text{ W}$$



# IMPLEMENTACION

- **Rendimiento Térmico**

En un sistema de calefacción viene determinado por la relación entre el calor suministrado a la carga y el correspondiente calor entregado por el sistema incluyendo las pérdidas.

$$\eta = \frac{Q_c}{Q_c + q}$$

$$\eta = \frac{16708.6 \text{ W}}{16708.6 \text{ W} + 2368.47 \text{ W}}$$

$$\eta = \mathbf{0.8758 = 87.5 \%}$$

- **Cálculo de la Potencia del Horno**

$$P = \frac{QC}{\eta * t}$$

$$P = \frac{16708.6 \text{ Wh}}{0.8758 * 1h}$$

$$P = \mathbf{19078.1 \text{ W}}$$



# IMPLEMENTACION

- **Calculo de la Resistencia y Corriente de Trabajo**

$$R = \frac{V^2}{P}$$

$$I = \frac{V}{R}$$

$$R = \frac{220^2}{3300}$$

$$I = \frac{220}{14.66}$$

$$R = 14.66 \Omega$$

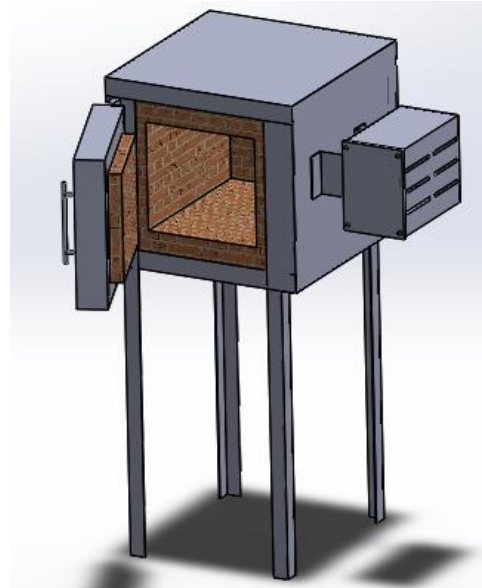
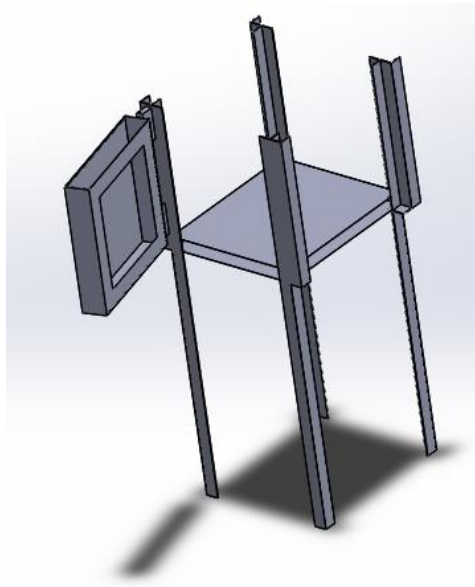
$$I = 15 A$$

Se adquirió una resistencia de 15  $\Omega$  de 3300 watts de potencia con la finalidad de obtener una mejor distribución de la generación de calor y el tiempo de calentamiento disminuya.



# IMPLEMENTACION

- Estructura modelada en SolidWorks



- Estructura metálica



# IMPLEMENTACION

- Construcción de las paredes del horno mufla.



- Corte de canales para la resistencia del horno mufla





# IMPLEMENTACION

- Ensamblaje de las paredes del horno mufla



- Colocación de la termocupla dentro del horno



# IMPLEMENTACION

- Colocación de la manta cerámica alrededor del horno



- Limpieza y aplicación de pintura resistente a altas temperaturas



# IMPLEMENTACION

- Pruebas de conexiones eléctricas del horno



- Pruebas de funcionamiento del horno mufla



# Conclusiones

- En la implementación de este tipo de hornos mufla hay que considerar de manera minuciosa los materiales que lo conformaran, ya que de estos depende el funcionamiento óptimo y evita problemas tanto en el proceso de tratamiento de los metales como en la seguridad al trabajar con temperaturas altas.
- El material refractario nacional no brinda las propiedades necesarias para la implementación de este tipo de equipos, siendo necesario acudir a empresas importadoras; además en el exterior existen materiales que facilitarían el trabajo de construcción de hornos.
- En el mercado nacional existen este tipo de equipos comercializados en valores de tres veces el valor del proyecto implementado.
- El control de temperatura implementado en el horno se limita a posibles diferentes trabajos como variaciones de temperatura y tiempos determinados para ciertos tratamientos térmicos de manera automática, acción que serían mejor manejada con un mejor sistema de control y añadiendo más elementos electrónicos.





# Recomendaciones

- Para la construcción de estos proyectos se debería sobredimensionar los parámetros con los que se va a trabajar como el máximo de temperatura para la obtención de materiales ideales que satisfagan la necesidad del trabajo, manteniendo con seguridad el funcionamiento sin inconvenientes de las maquinas.
- Existen diferentes materiales empleados para la fabricación de las resistencias eléctricas para hornos mufa, las características, el comportamiento a diferentes temperaturas y el trabajo de cada material es diferente por lo que una investigación previa permitirá adquirir el material más idóneo.
- El proyecto del horno mufla puede ser utilizado para fundir ciertos metales si se cambiara el sistema eléctrico y de control siempre y cuando no sobrepasen los 1400 °C.
- El empleo de PLC facilitaría trabajos más complejos y brindaría mejores resultados durante y después del proceso de tratamiento de metales.

