



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-L

## CARRERA DE INGENIERÍA ELECTOMECÁNICA

**AUTORES: FREDDY PLASENCIA  
DARIO AGUIRRE**

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO DE  
INDUCCIÓN DE BAJA POTENCIA UTILIZANDO IGBT’s PARA  
FUNDIR METALES LIGEROS (<1200 °C)”.**

**DIRECTOR: ING. FABRICIO PÉREZ**

**LATACUNGA 2018**



# CONTENIDO

- Antecedentes
- Planteamiento del problema
- Metas
- Hipótesis
- Objetivos
- Introducción
- Componentes del sistema de inducción.
- Cálculos eléctricos del horno.
- Selección de los componentes.
- Pruebas
- Análisis de resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones



# ANTECEDENTES



La fundición de metales en pequeñas empresas de la ciudad de Latacunga se realiza a baja escala, de manera artesanal empleando hornos de crisol adaptados para quemar combustibles fósiles



# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- En la ciudad de Latacunga, este tipo de fundidoras de baja escala emplean crisoles adaptados para fundir los metales utilizando como fuente de energía cilindros GLP y oxígeno, lo cual no solo representa una fuente de contaminación, sino que también existe el peligro de explosión de los embaces.



# METAS

- Diseñar y construir un horno de inducción para fundir metales ligeros ( $<1200^{\circ}\text{C}$ ).
- Calcular de los diferentes parámetros eléctricos del horno.
- Implementación de los componentes del horno.
- Construcción de sistema de refrigeración.
- Pruebas y ensayos.



# OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y construir un horno inducción de baja potencia utilizando IGBT's para fundir metales ligeros ( $<1200^{\circ}\text{C}$ ).

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir el estado del arte que contribuye a fundamentar los principios que rigen el desarrollo del presente estudio.
- Establecer una metodología para el dimensionamiento de un horno de inducción.
- Diseñar los sistemas de control, potencia y seguridad del horno de inducción
- Construir el horno de inducción siguiendo los parámetros de diseño.



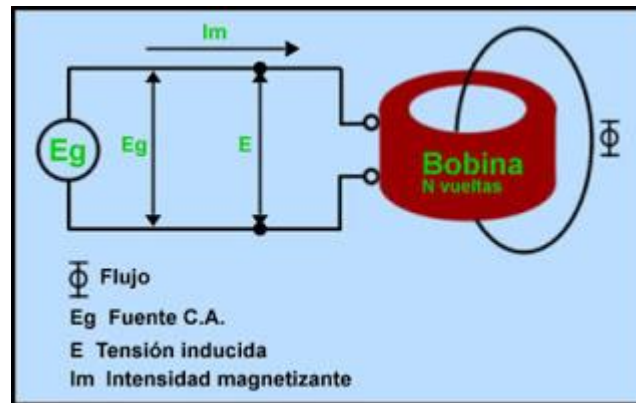
# *Hipótesis*

- El diseño y construcción de un horno de inducción utilizando IGBT's para fundir metales ligeros ( $<1200^{\circ}\text{C}$ ) permitirá reducir el tiempo de fundición y reducir la contaminación ambiental, con un manejo eficiente de energía en la ciudad Latacunga.



# INTRODUCCIÓN

- Es un horno eléctrico en el que el calor es generado por la inducción eléctrica de un medio conductor (un metal) en un crisol, alrededor del cual se encuentran enrolladas bobinas magnéticas.





# ***Principio de calentamiento por inducción.***

- El calentamiento por inducción está dado por las leyes (Faraday y Ampere) y del efecto Joule.

$$ni = \oint \vec{H} \cdot \vec{\partial L}$$

La ley de Faraday dice; en todo material conductor que se encuentra en el interior de un campo magnético variable se genera una fuerza electromotriz.

$$FEM = -n \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

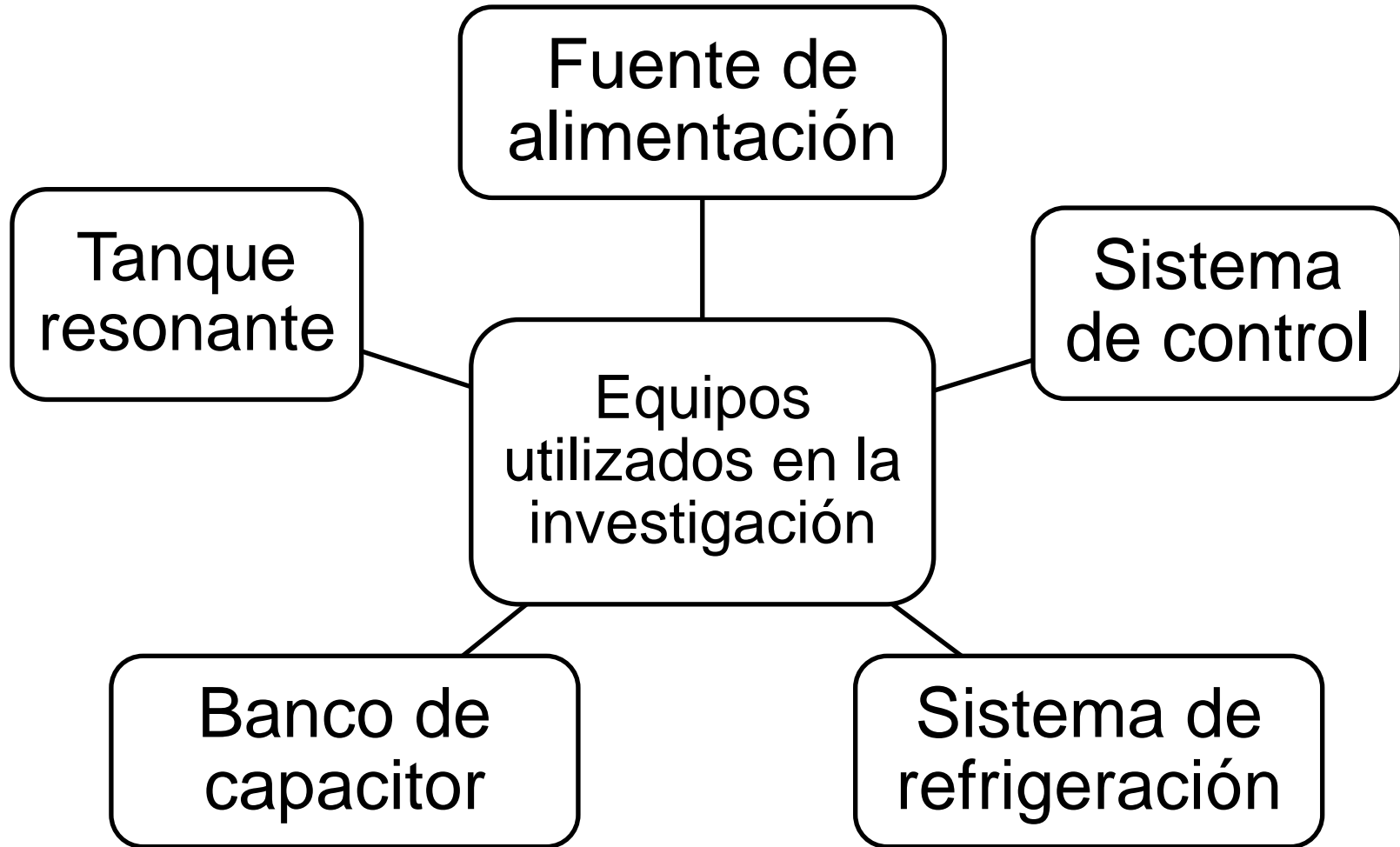


Las corrientes provocadas por esta FEM en el interior del material conductor se le llama corrientes inducidas o corrientes de Foucault  $i_f$  y son las responsables del efecto Joule.

$$P = i_f^2 R_{eq}$$



# Componentes del sistema de inducción



# Diseño

- Calculo de volumen del crisol.
- Cantidad de aluminio a fundir:  $m= 1\text{Kg}$
- Densidad del aluminio,  $\delta=2.7\text{Kg}/\text{m}^3$
- Se puede obtener el volumen del cilindro:
- $V = \frac{m}{\delta} = 0.370\text{m}^3$
- $l_{\text{espira}} = 2\pi r = 2\pi \times 5.348\text{cm} = 33.6\text{cm}$
- $\text{Espiras} = \frac{h}{D_{\text{espira}} + E_{\text{aislante}}} = 10$
- $l_{\text{cu}} = 33.6\text{cm} \times 10\text{cm} = 3,36\text{m}$



## Potencia requerida para la fundición del material.

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$Q_{Al} = 1078.97 \text{ KJ} = 0.299 \text{ Kw} \times 60 \text{ min} / 2.30 \text{ min}$$

$$Q_{Al} = P_{Al} = 7.17 \text{ Kw}$$

$$P_{Total} = P_1 + P_2 + P_3 + P_{baño}$$

$$P_{Total} = 7.23 \text{ Kw}$$

Dónde:

$$P(w) = S(VA)$$

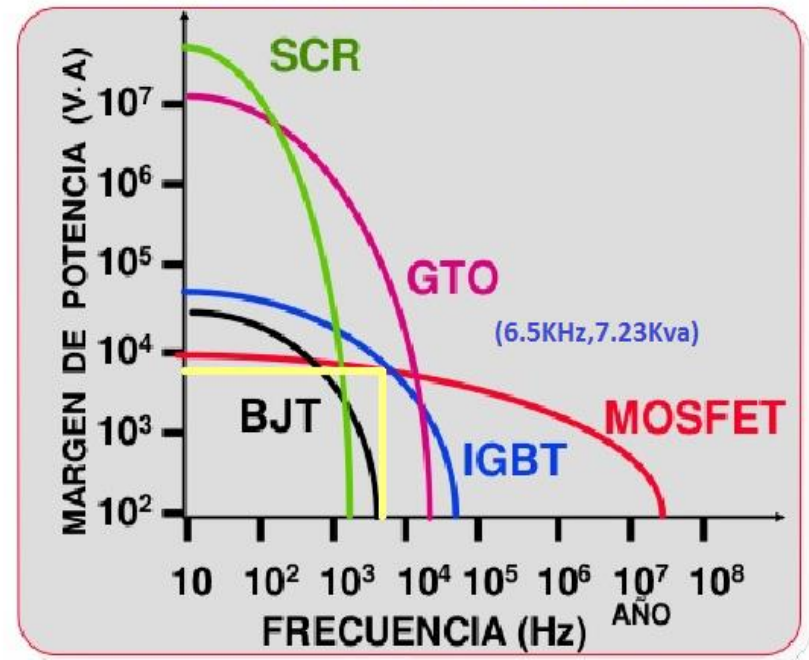
$$P_{Total} = S(VA)$$

$$S(VA) = 7.23 \text{ KV}$$

$$I = S(VA) / V_{RMS}$$

$$I = 14 \text{ A}$$

$$F = 6.5 \text{ KHz.}$$



- $X_L = 27.27\Omega$
- La impedancia capacitiva se obtiene de la ecuación
- $X_C = \frac{1}{2\pi FC}$
- $C = \frac{1}{2\pi * 6.4kHz * 27.27\Omega}$
- $C = 9.11\mu F$
- $P_{sur} = 79.18 \text{ watt}/m^2$
- $H = 1407 \text{ amperio.vuleta}/m$



## Selección del IGBT's.

Para la selección del IGBT se utiliza los siguientes parámetros.

Parámetros	Valor
Voltaje	513.63V + 50% V
Corriente	14 A
Frecuencia de trabajo	6,5KHz

El tipo de IGBT's, se utilizó el modelo BSM50GB120DN2 de acuerdo con la ficha de dato están dentro del parámetro de los cálculos.



## Selección de la tarjeta de control.

Para el sistema de control se eligió la tarjeta modelo MF-15 debido a que está dentro de los valores para la selección del IGBT. Como se puede observar las características técnicas del módulo están dentro de los parámetros de los cálculos realizados,

## Características técnicas de la tarjeta de control MF15.

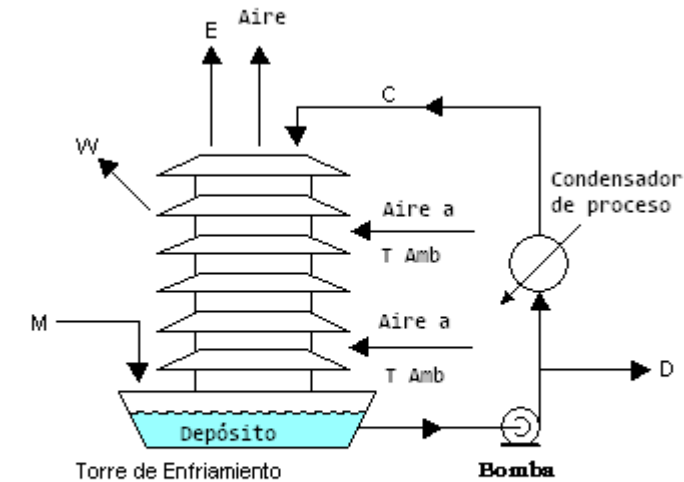
Potencia de entrada	15KW
Corriente de salida	3 a 22 A
Tensión de salida	70 a 520V
Entrada de fase	380V tres fases $\pm$ 20%, 60HZ
Frecuencia del IGBT's	1KHZ a 20KHZ





# SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.

## Torre de Tiro Natural.



- C: Caudal de agua en circulación
- D: Caudal de purga (drenaje)
- M: Caudal de reposición
- W: Caudal de agua perdido por arrastre
- E: Caudal de agua perdido por evaporación



## Resultados.

Al realizar las pruebas se tomó 5 muestra del proceso de fundición del aluminio se pueden observar los valores de medida obtenidos en la pantalla del módulo.

Potencia (kW)	Tensión (V)	Corriente (A)	Frecuencia (kHz)	Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)
7.1	449	14.2	6.5	2.30	680
7.2	444	14.4	6.6	2.20	685
7.0	451	15.8	6.8	2.25	685
7.1	449	14.8	6.6	2.30	685
7.4	452	15	6.8	2.30	680

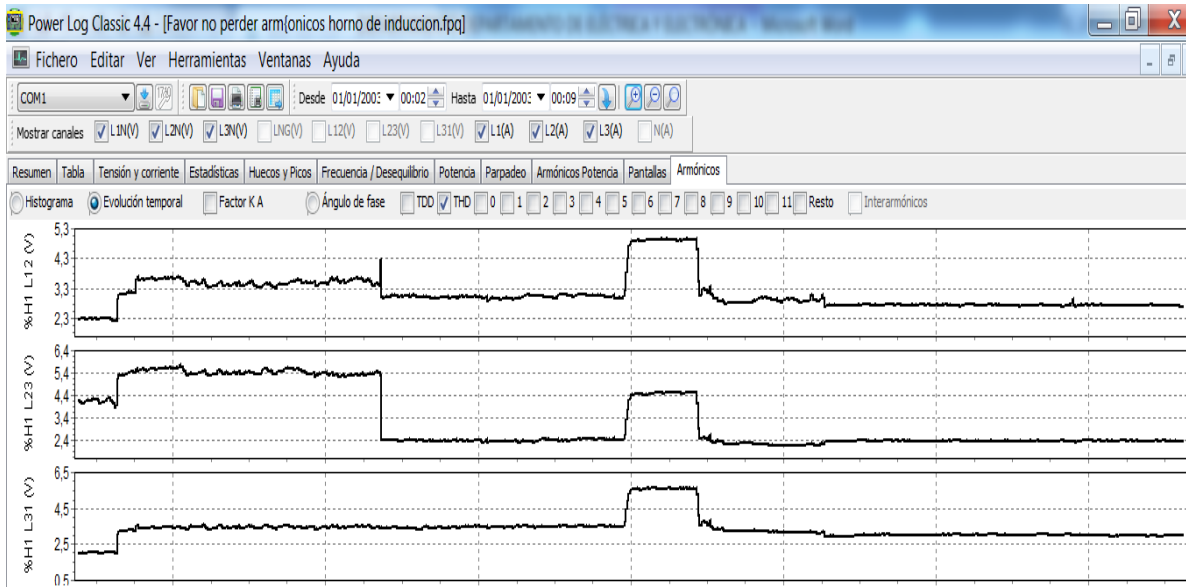


Para obtener los valores de medición en el FLUKE durante la fundición de 1 Kg de aluminio se tomo la primera muestra.

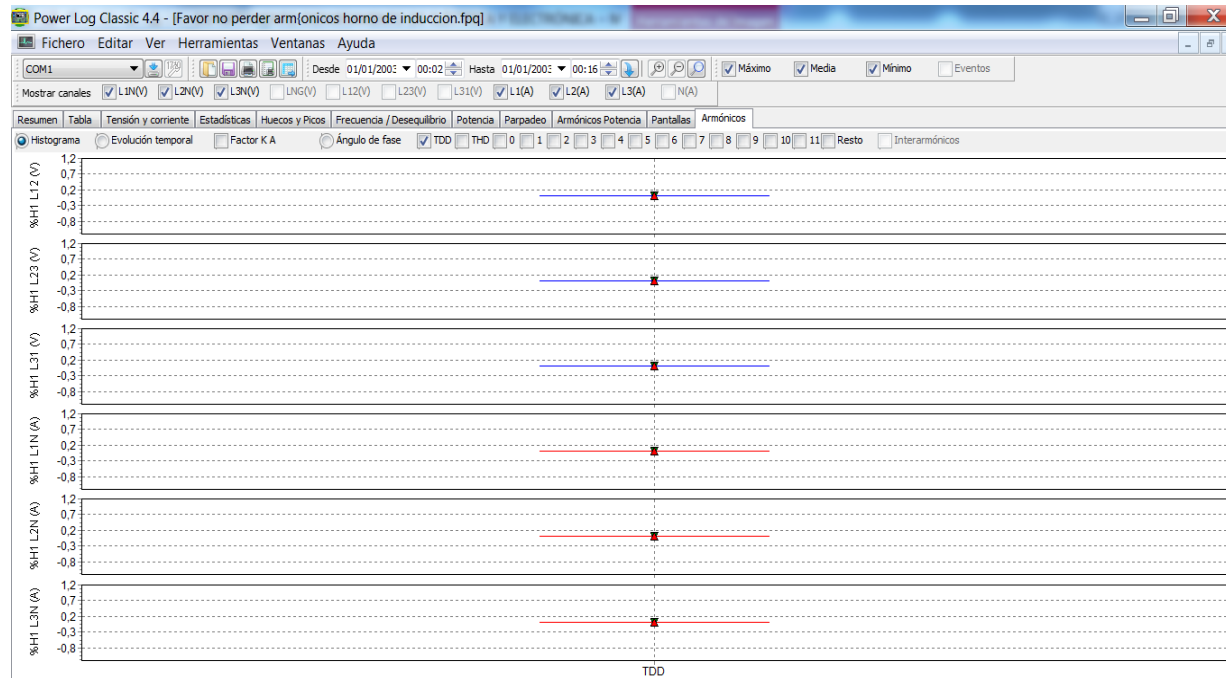
Tensión	370,06V	365,62V	365,12V	
Corriente	13A	13A	13A	
Tensión de Pico	507,3V	499,8V	503,7V	
Corriente de Pico	24A	26A	24A	
Factor Cresta Tensión	1,37	1,37	1,38	
Factor Cresta Corriente	327,67	327,67	327,67	
Tensión de Medio Ciclo	370,44V	366,12V	365,54V	
Corriente de Medio Ciclo	13A	13A	13A	
Potencia Activa				6,7KW
Potencia Aparente				6,8KVA
Potencia Reactiva				0,5KVar
Factor de Potencia				0,82
DPF				0,98
Frecuencia				59,998Hz
Factor K A	9,91	10,52	10,4	
THD V	4,97%	4,58%	4,98%	
THD A	59,40%	64,04%	63,43%	
Desequilibrio Vn				0,87%
Desequilibrio An				4,82%



Como un ejemplo se tomo el valor del VTHD como se muestra la gráfica.



# Como un ejemplo se tomo el valor del TDD como se muestra la gráfica.



# CONCLUSIONES.

- Se concluye que el horno de inducción diseñado y construido con IGBT's funde metales ligeros ( $<1200^{\circ}\text{C}$ ) en un tiempo promedio de 2.30 minutos, con un manejo eficiente de la energía, además presenta mejoras con respecto al horno GLP y diésel al reducir la contaminación en el medio ambiente.
- Se concluyó que el estado del arte permitió recopilar información para el desarrollo del proyecto de investigación que fue importante para comprender el principio de calentamiento por inducción y el funcionamiento del mismo.
- Se estableció una metodología para el dimensionamiento del horno de inducción basándose en métodos de diseño y parámetros de construcción para la selección de los diferentes elementos, que nos permite que el horno se construya de acuerdo a los cálculos y a la necesidad de las pequeñas fundidoras para el proceso de fundición de aluminio.



## RECOMENDACIONES.

- Se diseñó el sistema de control de potencia en base a transistores IGBT's ya que en este proyecto de investigación se trabaja con potencia de 7.4 Kw y frecuencia de 6.5 KHz, para reducir el tiempo de fundición para esto se utilizó los parámetros de cálculos y selección de los materiales para el diseño del horno de inducción.
- Se construyó la bobina de inducción con 10 espiras, para que soporte una temperatura de 1200 °C y una corriente de 14.07 A, las bobinas están hecho de un tubo hueco de cobre que es enfriado con agua.
- Los transistores IGBT's utilizados para construir el horno de inducción, entrega una señal de salida en respuesta a una señal de entrada, cumpliendo funciones de amplificador, oscilador, conmutador o rectificador para el tanque resonante.
- Se concluyó que los resultados obtenidos de los armónicos durante el proceso de fundición se encuentran en un valor de 4.9%, cumpliendo con lo indicado en la norma IEEE519 Harminic Control.
- Se concluyó que en el proceso de fundición del aluminio el consumo de potencia no varía, tomando en cuenta que se llevó a cabo varios procesos al día.



## RECOMENDACIONES.

- Se recomienda construir un horno de inducción de baja potencia utilizando IGBT`s para fundir metales ligeros ya que en este proyecto de investigación se demostró que es más eficiente con respecto a los tiempos y costos de fundición de hornos tradicionales a gas y diésel.
- Se recomienda establecer una metodología clara y confiable con respecto a la información adquirida para la construcción e implementación del horno de inducción, esto permite guiar en el proceso investigativo de forma eficaz.
- Se recomienda diseñar o implementar el sistema de control utilizando IGBT`s ya que en este proyecto de investigación se trabaja con frecuencia adecuadas de control, para reducir el tiempo y costos de producción para esto se utilizó los parámetros de cálculos y selección de los materiales para el diseño del horno.
- Se recomienda verificar el proceso de operación de la puesta en marcha y del proceso de fundición, para llegar a conocer datos que permiten comparar el valor real con respecto a los valores de los parámetros diseño y calculo, estos datos demuestran que el horno cumplió los parámetros esperados de operación y diseño, que los elementos seleccionados y dimensionados, cumplieron satisfactoriamente.





- El operador debe cumplir con la siguiente guía de trabajo.
- Antes de realizar el proceso de fundición se debe verificar que el peso del material sea el adecuado, ya que el crisol del horno es para 1Kg.
- Para la implementación del sistema de refrigeración se debe tomar en cuenta el valor de la temperatura de salida de la bobina para establecer la diferencia de temperatura en la torre de refrigeración.
- Se debe utilizar el adecuado equipo de protección personal (guantes, mandil, calzado de cuero, casco, gafas oscuras) para realizar el proceso de fundición, para evitar quemaduras, deslumbramientos, aspirar gases, etc.
- **Trabajos a futuros.**
- Queda a consideración que se podría realizar una investigación para hornos de inducción utilizando transistor Mosfet para controlar frecuencias altas hasta 100KHz



**Gracias por su  
atención.**



**E S P E**  
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CAMINO A LA EXCELENCIA