

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA



TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO MUFLA PARA LA
REALIZACION DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN ACEROS”

AUTOR: LÉNIN ANDRÉS MONTEROS VIZCAÍNO.

DIRECTOR: ING. CARLOS VILLARREAL

IBARRA- ECUADOR

2015



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del Proyecto Repositorio digital Institucional, determina la necesidad de disponerlos textos completos de forma digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

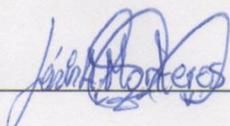
Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo que pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100318388-4
APELLIDOS Y NOMBRES:	LENIN ANDRES MONTEROS VIZCAINO
DIRECCIÓN:	AV. LUIS E. CISNEROS 2-65 Y DR. HERAS (OTAVALO)
E-MAIL:	andyno1408@hotmail.com
TELÉFONO MOVIL:	997539912
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO MUFLA PARA LA REALIZACION DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN ACEROS
AUTOR:	LÉNIN ANDRÉS MONTEROS VIZCAÍNO
FECHA:	JUNIO DEL 2015
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA
DIRECTOR:	ING. CARLOS VILLARREAL

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, LÉNIN ANDRÉS MONTEROS VIZCAÍNO, con cédula de identidad 100318388-4, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para aplicar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, Junio del 2015



FIRMA

EL AUTOR:

Nombre: Lenin Andrés Monteros Vizcaíno

Cédula: 100318388-4



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS

CONSTANCIA

Yo, LÉNIN ANDRÉS MONTEROS VIZCAÍNO, manifiesto que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que soy el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, Junio del 2015

EL AUTOR:

Ibarra, Junio del 2015

FIRMA

Nombre: Lenin Andrés Monteros Vizcaíno

Cédula: 100318388-4

Nombre: Lenin Andrés Monteros Vizcaíno



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, LÉNIN ANDRÉS MONTEROS VIZCAÍNO, con cédula de identidad 100318388-4, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4,5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO MUFLA PARA LA REALIZACION DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN ACEROS, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato impreso y digital en la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, Junio del 2015

FIRMA

Nombre: Lenin Andrés Monteros Vizcaíno

Cédula: 100318388-4



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS

CERTIFICADO DE ASESOR

El señor Lénin Andrés Monteros Vizcaíno ha trabajado en su totalidad en el desarrollo del proyecto de tesis “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO MUFLA PARA LA REALIZACION DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN ACEROS”, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica, trabajo que lo realizó con interés profesional y responsabilidad, es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Con la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte – Ibarra, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Internacional vigente.

ING. CARLOS VILLARREAL
DIRECTOR DEL PROYECTO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS

DECLARACIÓN

Yo, LÉNIN ANDRÉS MONTEROS VIZCAÍNO, con cédula de identidad 100318388-4, declaro bajo juramento que este trabajo es de autoría propia, ya que no ha sido presentado para ningún trabajo de grado o calificación profesional; y certifico la veracidad de las referencias bibliográficas que se incluyen en el presente trabajo.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte – Ibarra, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional vigente.


FIRMA

Nombre: Lenin Andrés Monteros Vizcaíno

Cédula: 100318388-4



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haber sido mi guía espiritual en todo momento y porque ha permitido que las metas y anhelos se cumplan en mi vida, a mis padres quienes me educaron con amor, cariño, responsabilidad y lucha diaria, tratando siempre de mostrarme el camino correcto a seguir en la vida; a mis hermanos por su constante apoyo que me brindan el cual me incentiva para seguir superándome.

Y como olvidar a mis queridos amigos con quienes compartimos momentos de triunfos y derrotas durante nuestra carrera, en especial a aquellos que demostraron lealtad y cariño sinceros.

Lénin Andrés Monteros Vizcaíno



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a mis queridos padres y hermanos, quienes depositaron su confianza en mí y que con su apoyo, esfuerzo y sacrificio hicieron posible para que cumpla este gran objetivo en mi vida.

A mi abuelita que me enseñó a seguir preparándome para emitir mi luz, los que no están ciegos verán tu brillo y se maravillarán de él.

Lénin Andrés Monteros Vizcaíno

RESUMEN

En el proyecto de tesis se presentan los resultados de una investigación realizada para determinar si el diseño y construcción de un horno mufla garantiza la realización de los diferentes tratamientos térmicos.

El horno mufla fue construido para realizar tratamientos térmicos en el laboratorio, para esto se utilizó materiales como el ladrillo refractario, lana de vidrio, mortero refractario y chapa metálica, con lo que se logra tener una cámara sumamente apropiada para realizar diferentes prácticas de calentamiento de piezas.

Además los elementos eléctricos utilizados son el controlador de temperatura donde podemos visualizar la temperatura que se requiere obtener y la temperatura a la que está en el interior del horno, también dispone de una termocupla tipo K la cual censa la temperatura, las resistencias eléctricas que son las encargadas de proveer el calor necesario para calentar el horno hasta temperatura máxima.

Este horno mufla posee una potencia de 3,3 Kw y funciona con voltaje de 220V bifásico, es así que para alcanzar la temperatura máxima de 1050 °C necesita de 40 minutos.

El trabajo desarrollado sirve como soporte bibliográfico para otras investigaciones sobre el tema que puede presentarse más adelante.

SUMMARY

In the thesis project the results of an investigation to determine whether the design and construction of a muffle furnace guarantees the realization of the different thermal treatments are presented.

The muffle furnace was built to perform heat treatment in the laboratory for this material was used as the refractory brick, glass wool, refractory mortar and sheet metal, which is achieved having a very suitable camera for different practices heating parts.

In addition the electrical elements used are the temperature controller which can display the temperature required to obtain and the temperature at which it is in the oven, also has a type K thermocouple which senses the temperature, the electrical resistances that are responsible for providing the heat necessary to heat the oven to maximum temperature.

This muffle furnace has a power of 3.3 kW and powered two-phase voltage 220V, so that to achieve the maximum temperature of 1050 ° C requires 40 minutes.

The work carried out serves as support for other research literature on the subject that may arise later.

ÍNDICE GENERAL

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	ii
AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD	iii
CONSTANCIA	iv
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	v
CERTIFICADO DE ASESOR	vi
DECLARACIÓN	vii
AGRADECIMIENTO	viii
DEDICATORIA	ix
RESUMEN	x
SUMMARY	xi
ÍNDICE GENERAL	xii
INDICE DE FIGURAS	xviii
INDICE DE TABLAS	xx
CAPITULO I	1
1. INTRODUCCION DE HORNOS MUFLA	1
1.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE HORNOS MUFLA	2
1.1.1 TRATAMIENTOS TÉRMICOS DEL ACERO.	4
1.1.1.1 Acero AISI-SAE 1045 (UNS G10450)	4
1.1.1.1.1 Normas Involucradas:	4
1.1.1.1.2 Propiedades Mecánicas:	5
1.1.1.1.3 Propiedades Físicas:	5
1.1.1.1.4 Propiedades Químicas:	5
1.1.1.1.5 Usos:	5
1.1.1.1.6 Tratamientos Térmicos:	5
1.1.1.2 Acero AISI 4340	6
1.1.1.2.1 Usos:	6

1.1.1.2.2	Aplicaciones:	6
1.1.1.2.2.1	Partes de gran resistencia para la industria automotriz.	6
1.1.1.2.2.2	Partes para la construcción de maquinaria de trabajo pesado.	7
1.1.1.2.2.3	Aplicaciones donde se requiere resistencia a la fatiga.	7
1.1.1.2.3	Tratamiento Térmico:	7
1.1.1.3	Acero AISI-SAE 4140 (UNS G41400)	8
1.1.1.3.1	Normas Involucradas:	8
1.1.1.3.2	Propiedades Mecánicas:	8
1.1.1.3.3	Propiedades Físicas:	9
1.1.1.3.4	Propiedades Químicas:	9
1.1.1.3.5	Usos:	9
1.1.1.3.6	Tratamientos Térmicos:	9
1.1.1.4	Acero AISI 1060	10
1.1.1.4.1	Aplicaciones:	11
1.1.1.4.2	Trabajo en caliente:	11
1.1.1.4.3	Trabajo en frío:	11
1.1.1.4.4	Tratamiento Térmico:	12
1.1.1.4.4.1	Normalizado:	12
1.1.1.4.4.2	Recocido:	12
1.1.1.4.4.3	Endurecido:	12
1.1.1.4.4.4	Revenido:	12
1.1.2	DIMENSIONES MÁXIMAS DE LA PIEZA DE TRABAJO	13
1.1.3	CLASIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS TERMICOS EN LOS ACEROS.	13
1.1.3.1	Recocido.	15
1.1.3.1.1	<i>Recocido de regeneración o total</i>	15
1.1.3.1.2	<i>Recocido de globulización</i>	17
1.1.3.1.3	<i>Recocido de alivio de tensiones</i>	17

1.1.3.1.3.1	Ventajas:	18
1.1.3.2	Normalizado.	18
1.1.3.3	Temple.	19
1.1.3.3.1	<i>Características generales del temple</i>	19
1.1.3.4	Revenido	20
1.1.3.4.1	<i>Características generales del revenido</i>	20
1.1.4	APLICACIONES DE LOS TRATAMIENTOS TERMICOS	20
1.2	TIPOS DE HORNO MUFLAS.	21
1.2.1	MUFLAS DE COMBUSTIBLE.	21
1.2.2	MUFLAS ELÉCTRICAS.	22
1.2.3	APLICACIONES DE LAS MUFLAS:	23
1.3	METODOLOGIA PARA EL DISEÑO DE HORNO MUFLA.	23
1.3.1	CARACTERÍSTICAS DE HORNO MUFLA.	24
1.3.1.1	Horno mufla industrial pequeño thermolyne, tipo f1300, f1400 y f1500:	24
1.3.1.2	Horno mufla de sobremesa tipo f47000 y f48000 thermolyne.	25
1.3.1.3	Horno de Mufla Alta Temperatura con Cámara de fibra.	25
1.3.1.4	Horno mufla labtech lef-103s de 3 litros modelo de 1100°C ref. lef-103s-1	26
1.3.1.4.1	<i>Características:</i>	27
1.4	DISEÑO PROPUESTO DE HORNO MUFLA.	27
CAPÍTULO II		30
2	DIMENSIONAMIENTO DEL HORNO.	30
2.1	INTRODUCCIÓN	30
2.2	DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA.	31
2.2.1	ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE MATERIALES.	33
2.2.1.1	MATERIALES	33
2.2.1.2	SELECCIÓN DE MATERIALES	35
2.2.1.2.1	MATERIAL AISLANTE.	35

2.2.1.2.1.1	Ventajas:	37
2.2.1.2.1.2	Aplicaciones típicas:	37
2.2.1.2.2	Ladrillos refractarios.	38
2.2.1.2.3	Mortero refractario	39
2.2.2	CÁLCULO DEL ESPESOR DE LAS PAREDES	40
2.2.3	CONFIGURACIÓN DE LAS PAREDES DEL HORNO.	44
2.2.3.1	Distribución de ladrillos refractarios en el interior del horno mufla.	44
2.2.3.2	Distribución de ladrillos refractarios y lana de vidrio en las paredes.	44
2.2.3.3	Distribución de la capa final del horno mufla.	45
2.2.4	DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO.	45
2.2.4.1	Resistencias eléctricas.	45
2.2.4.1.1	Potencia requerida por las resistencias eléctricas.	47
2.2.4.1.2	Resistencia térmica total.	47
2.2.4.1.3	La resistencia que logrará disipar la potencia requerida es.	48
2.2.4.1.4	Calor almacenado en las paredes del horno	49
2.2.4.1.5	Calor perdido en las paredes.	50
2.2.4.1.6	Calor perdido en aberturas	50
2.2.4.1.7	Calor radiado	51
2.2.4.1.8	Calor total perdido en paredes y aberturas.	52
2.2.4.1.9	Tiempo de calentamiento del aire en el interior del horno.	52
2.3	AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA.	54
2.3.1	ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CONTROL A UTILIZAR.	54
2.3.1.1	Control de lazo abierto	54
2.3.1.2	Control de lazo cerrado	55
2.3.1.3	Control On/Off	55
2.3.1.4	Control PID	56
2.3.2	DETERMINACIÓN DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA.	57
2.3.2.1	Magnitudes fundamentales	57

2.3.2.2	Determinación de funciones	58
2.3.2.3	Cálculo de capacitancias	60
2.3.2.3.1	<i>Capacitancia de la carga C1</i>	60
2.3.2.3.2	<i>Capacitancia de la fuente de calor C2 (Resistencias)</i>	60
2.3.2.3.3	<i>Capacitancia de las paredes C3</i>	61
2.3.2.4	Cálculo de la potencia de alimentación P	61
2.3.2.5	Función de transferencia.	62
2.3.2.5.1	Temperatura sin controlador	62
2.3.2.5.2	Determinación del Controlador	64
2.3.2.5.3	Diseño del controlador PID por el LGR	64
2.4	CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.	69
2.4.1	CONTROLADOR DE TEMPERATURA.	69
2.4.1.1.1	Características.	70
2.4.1.1.2	Especificaciones.	70
2.4.1.1.3	Ilustraciones del panel y descripciones.	71
2.4.1.2	Relé de estado sólido.	72
2.4.1.2.1	Estructura del SSR.	72
2.4.1.2.1.1	Circuito de entrada o de control.	72
2.4.1.2.1.1.1	Control por tensión continua:	72
2.4.1.2.1.1.2	Control por tensión alterna:	72
2.4.1.2.1.2	Acoplamiento.	72
2.4.1.2.1.3	Circuito de conmutación o de salida.	73
2.4.1.2.2	Ventajas de utilizar relés de estado sólido.	73
2.4.1.3	Indicadores.	73
2.4.1.3.1	Indicador Luminoso	73
2.4.1.3.2	Parada de emergencia.	74
2.4.1.3.3	Termocupla.	75
	CAPÍTULO III.	77

3	IMPLEMENTACION Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.	77
3.1	CONSTRUCCIÓN DEL HORNO MUFLA.	77
3.1.1	CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA INTERNA DEL HORNO MUFLA	77
3.1.1.1	Recubrimiento exterior de la cámara interna.	78
3.1.2	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL	79
3.2	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO.	80
3.3	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.	81
3.3.1	PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA LA CALIBRACIÓN DEL HORNO MUFLA.	82
3.4	ANALISIS DE RESULTADOS.	83
3.4.1	INTERPRETACION DE RESULTADOS	85
	CAPÍTULO IV	87
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	87
4.1	CONCLUSIONES	87
4.2	RECOMENDACIONES.	89
5	MATERIALES DE REFERENCIA	90
5.1	BIBLIOGRAFÍA.	90
5.2	LINKOGRAFÍA	92
	ADVERTENCIAS DE SEGURIDAD	96
	INTRODUCCIÓN	97
	COMPONENTES DE LA MÁQUINA	98
	INDICADORES DEL PANEL DE CONTROL	99
	ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL EQUIPO	100
	OPERACIÓN DEL EQUIPO	100
	FALLAS FRECUENTES DEL EQUIPO	103

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Horno Mufla	1
Figura 2. Partes del Horno Mufla	3
Figura 3. Horno Mufla a Temperatura Máxima.....	3
Figura 4. Clasificación de los Tratamientos Térmicos en los Aceros.....	15
Figura 5. Transformación de la austenita.....	15
Figura 6. Diagrama Hierro-Carbono Temperaturas Críticas	16
Figura 7. Diagrama de Temperatura en la Globulización.....	17
Figura 8. Temperatura en el Recocido de Eliminación de Tensiones.....	18
Figura 9. Metalografía temple y revenido.....	19
Figura 10. Mufla de combustible	22
Figura 11. Mufla eléctrica.....	22
Figura 12. Mufla pequeño tipo F1300	24
Figura 13. Mufla con cámara de fibra.....	26
Figura 14. Horno Mufla LEF-103S	27
Figura 15. Horno Mufla Propuesto	28
Figura 16. Mufla de tratamientos térmicos	31
Figura 17. Lana de vidrio.....	36
Figura 18. Formas normales de ladrillos refractarios	38
Figura 19. Mortero superaerofrax	40
Figura 20. Transferencia de calor en la pared.....	41
Figura 21. Ladrillos refractarios alrededor de la cámara de calentamiento	44
Figura 22. Conformación de las paredes.....	44
Figura 23. Distribución de todos los materiales.....	45
Figura 24. Resistencias Eléctricas.....	46
Figura 25. Sistema de control el Lazo Abierto	54
Figura 26. Sistema de control en Lazo Cerrado.....	55

Figura 27. Control On/Off.	56
Figura 28. Control PID	56
Figura 29. Controlador de temperatura TOKY TE-W.....	70
Figura 30. Descripción del controlador de temperatura.....	71
Figura 31. Indicador Luminoso.....	74
Figura 32. Parada de emergencia.	74
Figura 33. Termocupla tipo K.....	75
Figura 34. Materiales de la cámara de calentamiento.....	77
Figura 35. Dimensiones de la cámara de calentamiento.....	78
Figura 36. Chapa metálica para el exterior del horno.....	79
Figura 37. Horno mufla automatizado	80

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades del Acero AISI/SAE 1045	6
Tabla 2. Propiedades del Acero AISI 4340	8
Tabla 3. Propiedades del Acero AISI/SAE 4140	10
Tabla 4. Propiedades del Acero AISI 1060	12
Tabla 5. Probetas Normalizadas	13
Tabla 6. Aplicaciones de los tratamientos térmicos para los aceros.	21
Tabla 7. Dimensiones internas de hornos muflas	32
Tabla 8. Materiales de construcción del horno mufla.	34
Tabla 9. Materiales de construcción del horno	35
Tabla 10. Características de la lana cerámica Kaowool	37
Tabla 11. Propiedades del ladrillo refractario JM-23	39
Tabla 12. Propiedades del mortero superaerofrax	40
Tabla 13. Ecuación de transferencia de calor en las paredes.	43
Tabla 14. Propiedades de las resistencias eléctricas	47
Tabla 15. Tiempo de calentamiento del horno a temperatura máxima	53
Tabla 16. Dispositivos de control	54
Tabla 17. Características del control de temperatura.	70
Tabla 18. Materiales y equipos a utilizar	76
Tabla 19. Configuración del controlador de temperatura	83
Tabla 20. Pruebas de temperatura del horno	84
Grafico 1. Curva teórica de calentamiento del horno	81
Grafico 2. Curva practica de calentamiento del horno	82

CAPITULO I

1. INTRODUCCION DE HORNOS MUFLA

Un horno mufla es aquel que puede generar elevadas temperaturas y sirve para calentar materiales que son sometidos a distintos procesos de tratamiento térmico. Estos hornos muflas son utilizados en varias aplicaciones; así, en la metalurgia, secado y calcinación de precipitados, ensayos de flamabilidad a alta temperatura, aleaciones de metal, templado, ensayos de fundición y otras que necesitan de un tratamiento por calor.

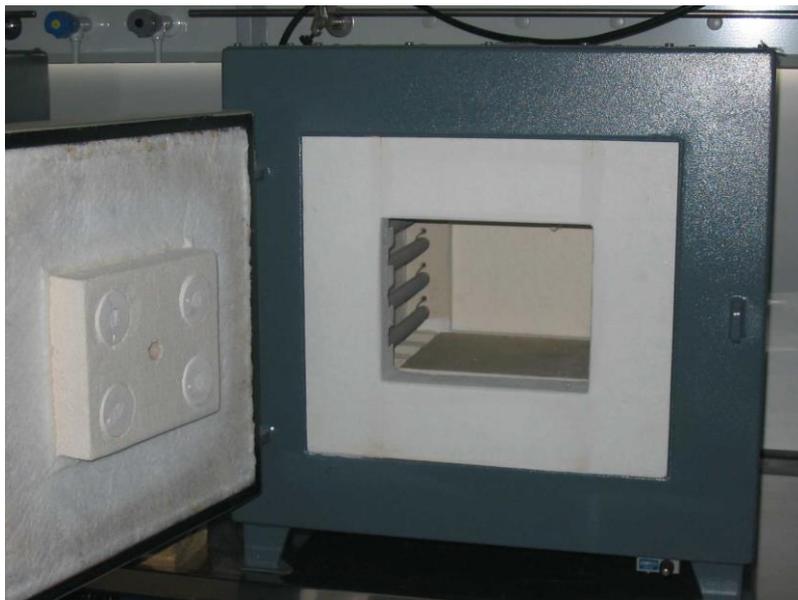


Figura 1. Horno Mufla

Fuente: <http://www.uv.es/icmuv/Fotos%20equipos/Reducidas/3mufla-STD01.jpg>

Los hornos muflas calientan las probetas por acción directa o indirecta del flujo eléctrico, para el calentamiento se debe tomar en cuenta el tamaño, la forma y la temperatura de la probeta a ser tratada térmicamente; las probetas que aquí se utilizaran para realizar su respectivo tratamiento térmico son probetas de acero AISI 1045, AISI 4340, aceros de herramientas.

En el caso del temple se utilizara probetas del acero AISI 1045 con medidas de 2,5 cm de diámetro y una altura de 2,5 cm, en este tratamiento térmico la temperatura que debe alcanzar es de 800 °C en un tiempo determinado y mantenerse a esta temperatura durante 30 minutos para luego ser enfriada rápidamente en agua a temperatura ambiente.

En el revenido se utilizará el acero AISI 4340 el mismo que viene templado desde fábrica; entonces, para este tratamiento se pule la superficie de la probeta, luego se la calienta en la cámara de calentamiento a una temperatura de 700 °C durante el tiempo de una hora, y finalmente se enfría al aire libre.

1.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE HORNOS MUFLA

Estos equipos funcionan mediante la aplicación de energía térmica, la cual es suministrada mediante resistencias eléctricas, las mismas que están colocadas en los laterales y parte posterior del horno, son de hilo resistor de aleación Cr-Al-Fe y lista para trabajar por mucho tiempo. Las resistencias transmiten con gran eficiencia el calor a los cuerpos siempre pasando del cuerpo de mayor temperatura hacia el cuerpo de menor temperatura.

Las muflas se componen de ciertos elementos necesarios para su correcto funcionamiento los cuales son:

- Gabinete interno
- Contrapuerta
- Gabinete externo
- Panel de control



Figura 2. Partes del Horno Mufla

Fuente: <http://blogdequimicaluzangela.blogspot.com/>

El gabinete interno se encuentra aislado de ladrillos refractarios de alta alúmina seguido de lana de vidrio, estos dos componentes son los indicados para aislar con gran eficiencia la alta temperatura que se alcanza en los hornos mufla, también su baja densidad permite el rápido enfriamiento del mismo y además se disfruta de un ambiente fresco de trabajo.

En la parte exterior del horno la temperatura es mínima, es decir, no se tendría quemaduras de ningún tipo en caso de contacto con el personal que este alrededor de la máquina; la puerta del horno está construida de acero inoxidable, generando un sellado que evita fugas al momento de realizar algún tipo de tratamiento térmico.



Figura 3. Horno Mufla a Temperatura Máxima

Fuente: <http://www.grupo-certilab.com/pt/catalogo/divisao-laboratorio/muflas/>

En este tipo de hornos la energía se intercambia en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. Los hornos mufla transfieren su calor mediante convección, radiación o conducción. El calor se transmite a través de la pared del horno fundamentalmente por conducción, la radiación existirá cuando el horno se encuentre en temperaturas altas como es los 900°C hasta los 1000°C, y si la temperatura del horno es baja aquí la convección sería mayor.

1.1.1 TRATAMIENTOS TÉRMICOS DEL ACERO.

Los hornos mufla como se ha detallado sirven para realizar tratamientos térmicos en los aceros y son utilizados para mejorar sus propiedades de dureza, maquinabilidad, estampación, embutición, resistencia a la tracción, al choque, al desgaste, etc.

1.1.1.1 Acero AISI-SAE 1045 (UNS G10450)

Es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarias en condición de suministro. Este acero medio carbono puede ser forjado con martillo. Respondiendo al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado. Cuando se hacen prácticas de soldadura adecuadas, presenta soldabilidad adecuada.

Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria.

1.1.1.1.1 Normas Involucradas:

- ✓ ASTM A108: Especificación estándar para barras de acero, carbono y aleación, acabadas en frío son adecuadas para el tratamiento térmico, para el mecanizado en componentes, o para su uso en ejes.

1.1.1.1.2 Propiedades Mecánicas:

- ✓ Dureza 163 HB (84 HRB)
- ✓ Esfuerzo de fluencia 310 MPa (45000 PSI)
- ✓ Esfuerzo máximo 565 MPa (81900 PSI)
- ✓ Elongación 16% (en 50 mm)
- ✓ Reducción de área (40%)
- ✓ Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)
- ✓ Maquinabilidad 57% (AISI 1212 = 100%)

1.1.1.1.3 Propiedades Físicas:

- ✓ Densidad 7.87 g/cm³ (0.284 lb/in³)

1.1.1.1.4 Propiedades Químicas:

- ✓ 0.43 – 0.50 % C
- ✓ 0.60 – 0.90 % Mn
- ✓ 0.04 % P máx
- ✓ 0.05 % S máx

1.1.1.1.5 Usos:

Las principales aplicaciones que se le da a este acero es: en piñones, cuñas, ejes, tornillos, partes de maquinaria, herramientas agrícolas y remaches.

1.1.1.1.6 Tratamientos Térmicos:

Se da normalizado a 900°C y recocido a 790°C. (SUMITEC, AISI 1045)

Tabla 1. Propiedades del Acero AISI/SAE 1045

ACERO AL CARBON	
MARCA	C45E
SIMBOLICA	C45E
NUMERICA	1,1191
NORMA VIGENTE	EN 10083-1
C	0,45
Mn	0,65
UNE	F114/F1140
AFNOR	XC 45/XC 48
DIN	CK 45
AISI/SAE	1045
CAMPO DE APLICACIÓN	Acero al carbono de uso general, para piezas con una resistencia media (650 - 800 N/mm ²) en estado Bonificado, apto para el temple superficial.
ESTADO DE SUMINISTRO	BRUTO DE LAMINACION
D<=16	700-850 N/mm2
16<D<=40	650-800 N/mm2
40<D<=100	630-780 N/mm2

Fuente: (IBERICA)

1.1.1.2 Acero AISI 4340

Acero de medio carbono aleado con Cr-Ni-Mo. Posee buena resistencia a la fatiga, alta templabilidad, excelente tenacidad, regular maquinabilidad y baja soldabilidad. No presenta fragilidad de revenido. Apto para piezas y herramientas de grandes exigencias mecánicas.

1.1.1.2.1 Usos:

Piezas y herramientas sometidas a las más grandes exigencias y a los más altos esfuerzos estáticos y dinámicos.

1.1.1.2.2 Aplicaciones:**1.1.1.2.2.1 Partes de gran resistencia para la industria automotriz.**

- ✓ Ejes
- ✓ Cardanes

- ✓ Cigüeñales
- ✓ Ejes de leva
- ✓ Tornillería de alta resistencia

1.1.1.2.2 Partes para la construcción de maquinaria de trabajo pesado.

- ✓ Árboles para trituradoras
- ✓ Ejes de transmisión de grandes dimensiones
- ✓ Engranajes de temple por llama, inducción o nitruración
- ✓ Barras de torsión
- ✓ Portaherramientas

1.1.1.2.3 Aplicaciones donde se requiere resistencia a la fatiga.

En la construcción de equipo pesado para camiones, aviones, equipos militar.

1.1.1.2.3 Tratamiento Térmico:

- ✓ Recocido blando se da a temperaturas de 650-700°C.
- ✓ Alivio de tensiones a temperatura de 450-650°C.
- ✓ Temple con temperatura de 830-850°C.
- ✓ Revenido a temperatura de 500-700°C..
- ✓ Nitruración se puede lograr durezas de alrededor de 53-55HRC. El proceso dura entre 48 y 72 horas por lo cual la planeación del tratamiento debe hacerse con el tiempo necesario.

(BRAVO) Y (BOHMAN)

Tabla 2. Propiedades del Acero AISI 4340

ACERO DE BONIFICACION	
MARCA	TKMI 34CND6
SIMBOLICA	34CrNiMo6
NUMERICA	1,6582
NORMA VIGENTE	EN 10083-1
C	0,34
Mn	0,65
Cr	1,5
Mo	0,22
Ni	1,5
UNE	F128
AFNOR	35 NCD 6
DIN	34CrNiMo6
AISI/SAE	4337/4340
CAMPO DE APLICACIÓN	Acero aleado, para piezas sometidas a cargas elevadas, donde se requiere una tenacidad alta. Sectores: eólico, maquinaria y máquina y herramienta.
ESTADO DE SUMINISTRO	BONIFICADO
D≤16	1200-1400 N/mm ²
16<D≤40	1100-1300 N/mm ²
40<D≤100	1000-1200 N/mm ²
100<D≤160	900-1100 N/mm ²
160<D≤250	800-950 N/mm ²
250<D≤500	750-900 N/mm ²

Fuente: (IBERICA)

1.1.1.3 Acero AISI-SAE 4140 (UNS G41400)

Es un acero medio carbono aleado con cromo y molibdeno de alta templabilidad y buena resistencia a la fatiga, abrasión e impacto. Este acero puede ser nitrurado para darle mayor resistencia a la abrasión. Es susceptible al endurecimiento por tratamiento térmico.

1.1.1.3.1 Normas Involucradas:

- ✓ ASTM 322: Especificación para barras de acero y de aluminio.

1.1.1.3.2 Propiedades Mecánicas:

- ✓ Dureza 275 - 320 HB (29 – 34 HRc)

- ✓ Esfuerzo a la fluencia: 690 MPa (100 KSI)
- ✓ Esfuerzo máximo: 900 - 1050 MPa (130 - 152 KSI)
- ✓ Elongación mínima 12%
- ✓ Reducción de área mínima 50%

1.1.1.3.3 Propiedades Físicas:

- ✓ Densidad 7.85 g/cm³ (0.284 lb/in³)

1.1.1.3.4 Propiedades Químicas:

- ✓ 0.38 - 0.43% C
- ✓ 0.75 – 1.00 % Mn
- ✓ 0.80 – 1.10 % Cr
- ✓ 0.15 – 0.25 % Mo
- ✓ 0.15 – 0.35 % Si
- ✓ 0 - 0.04 % P
- ✓ 0 - 0.05 % S

1.1.1.3.5 Usos:

Se usa para piñones pequeños, tijeras, tornillo de alta resistencia, espárragos, guías, seguidores de leva, ejes reductores, cinceles.

1.1.1.3.6 Tratamientos Térmicos:

- ✓ Se austeniza a temperatura entre 830 - 850 °C y se da temple en aceite.
- ✓ El revenido se da por dos horas a 200°C para obtener dureza de 57 HRC y si se da a 315°C la dureza será de 50 HRC.

- ✓ Para recocido se calienta entre 680 – 720°C con dos horas de mantenimiento, luego se enfría a 15°C por hora hasta 600°C y se termina enfriando al aire tranquilo.
- ✓ Para el alivio de tensiones se calienta entre 450 – 650°C y se mantiene entre ½ y 2 horas. Se enfría en el horno hasta 450°C y luego se deja enfriar al aire tranquilo. (SUMITEC).

Tabla 3. Propiedades del Acero AISI/SAE 4140

ACERO DE BONIFICACION	
MARCA	TKMI 42CD4
SIMBOLICA	42CrMo4
NUMERICA	1,7225
NORMA VIGENTE	EN 10083-1
C	0,42
Mn	0,75
Cr	1,05
Mo	0,22
UNE	F 1252 / F 125
AFNOR	42 CD 4
DIN	42CrMo4
AIS/SAE	4140 / 4142
CAMPO DE APLICACIÓN	Acero con una buena tenacidad en piezas de secciones medias, apto para el temple superficial.
ESTADO DE SUMINISTRO	Recocido blando, bruto de laminación
D≤16	1100-1300 N/mm ²
16<D≤40	1000-1200 N/mm ²
40<D≤100	900-1100 N/mm ²
100<D≤160	800-950 N/mm ²
160<D≤250	750-900 N/mm ²
250<D≤500	700-850 N/mm ²

Fuente: (IBERICA)

1.1.1.4 Acero AISI 1060

Acero considerado de alto Carbono, presenta buena forjabilidad, no es recomendable para ser sometido a proceso de soldadura, en condición de temple, presenta durezas cercanas a los 65 HRC, cuando es endurecido de forma adecuada la estructura consiste de martensita rica en carbono esencialmente libre de carburos.

Propiedades:

- ✓ El acero 1060 es uno de los aceros con más alto contenido de carbono (0.60%).

- ✓ Es más difícil de fabricar que los grados de bajo carbono.
- ✓ Su maquinabilidad y en general la de todos los aceros de alto carbono, es baja.
- ✓ El 1060 tiene entre un 55 a 60 % de la maquinabilidad del acero 1112, considerado como 100% maquinable.

1.1.1.4.1 Aplicaciones:

- ✓ Para la fabricación de herramientas de mano tales como destornilladores, alicates, martillos, mazos, partes en donde se requiere buena resistencia al desgaste, flechas, resortes, cuchillos, hachas.
- ✓ El conformado del acero 1060 puede ser hecho por los métodos convencionales, pero requiere más fuerza y presión que los aceros de bajo carbono.
- ✓ El acero 1060 puede ser soldado por todos los métodos convencionales, aun así se hace en la soldadura el precalentamiento y pos calentamiento por un procedimiento aprobado. El precalentamiento se hace de 260 a 315°C y el pos calentamiento de 648 a 787°C. Se forja de 1218 a 926°C. El producto forjado debe ser recocido antes de cualquier tratamiento de endurecimiento.

1.1.1.4.2 Trabajo en caliente:

Calentar de 93°C a 482°C.

1.1.1.4.3 Trabajo en frío:

El trabajo en frío es difícil incluso en estado recocido; aun así puede ser hecho por los métodos convencionales requiriendo mayor fuerza que la necesaria para los aceros de bajo carbono.

1.1.1.4.4 Tratamiento Térmico:

1.1.1.4.4.1 Normalizado:

Calentar a 885 °C y enfriar al aire.

1.1.1.4.4.2 Recocido:

Calentar a 830 °C, enfriar en el horno hasta 650 °C a una velocidad no mayor a 28°C por hora.

1.1.1.4.4.3 Endurecido:

Calentar uniformemente en horno de atmosfera controlada hasta 815°C enfriar rápidamente en agua o salmuera. Para delgadas templar en aceite.

1.1.1.4.4.4 Revenido:

Revenir inmediatamente después del temple a la temperatura adecuada de acuerdo a la dureza deseada. (FORTUNA)

Tabla 4. Propiedades del Acero AISI 1060

ACERO AL CARBON	
MARCA	C60E
SIMBOLICA	C60E
NUMERICA	1,1221
NORMA VIGENTE	EN 10083-1
C	0,6
Mn	0,75
AFNOR	XC 60
DIN	CK 60
AISI/SAE	1060/1064
CAMPO DE APLICACIÓN	Acero al carbono para piezas para el sector marítimo y la construcción de máquinas con una resistencia de 750 a 950 N/mm ² . Apto para el temple superficial.
ESTADO DE SUMINISTRO	BRUTO DE LAMINACION
D<=16	850-1000 N/mm2
16<D<=40	800-960 N/mm2
40<D<=100	750-900 N/mm2

Fuente: (IBERICA)

1.1.2 DIMENSIONES MÁXIMAS DE LA PIEZA DE TRABAJO

Las dimensiones máximas de la pieza de trabajo vienen determinadas por el volumen de la cámara indicado anteriormente, por lo que el tamaño máximo de la pieza no debe sobrepasar el volumen de la misma, dejando un espacio mínimo entre las paredes del horno y la pieza.

Así, en la Tabla 5, se detalla las dimensiones de las probetas, según la norma ASTM E8M y la norma ASTM D5024.

Tabla 5. Probetas Normalizadas

PROBETAS NORMALIZADAS					
NORMA ASTM	PROBETAS	DIMENSIONES (mm)			
E8M	TRACCION	Lo	D	Lc	r
	12.5	62.5+0.1	12.5+0.1	75	10
	9	45.0+0.1	9.0+0.1	54	8
	6	30.0+0.1	6.0+0.1	36	6
	4	20.0+0.1	4.0+0.1	24	4
	2.5	12.5+0.1	2.5+0.1	20	2
D5024	COMPRESIÓN	PROBETA CILINDRICA CON UNA ALTURA DE 25mm Y CON DIAMETRO DE 5mm			

1.1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS TERMICOS EN LOS ACEROS.

Existen distintos tipos de tratamientos térmicos que pueden ser aplicados a los aceros dependiendo de las características finales que se quieren obtener en el producto, estos tratamientos son los siguientes:

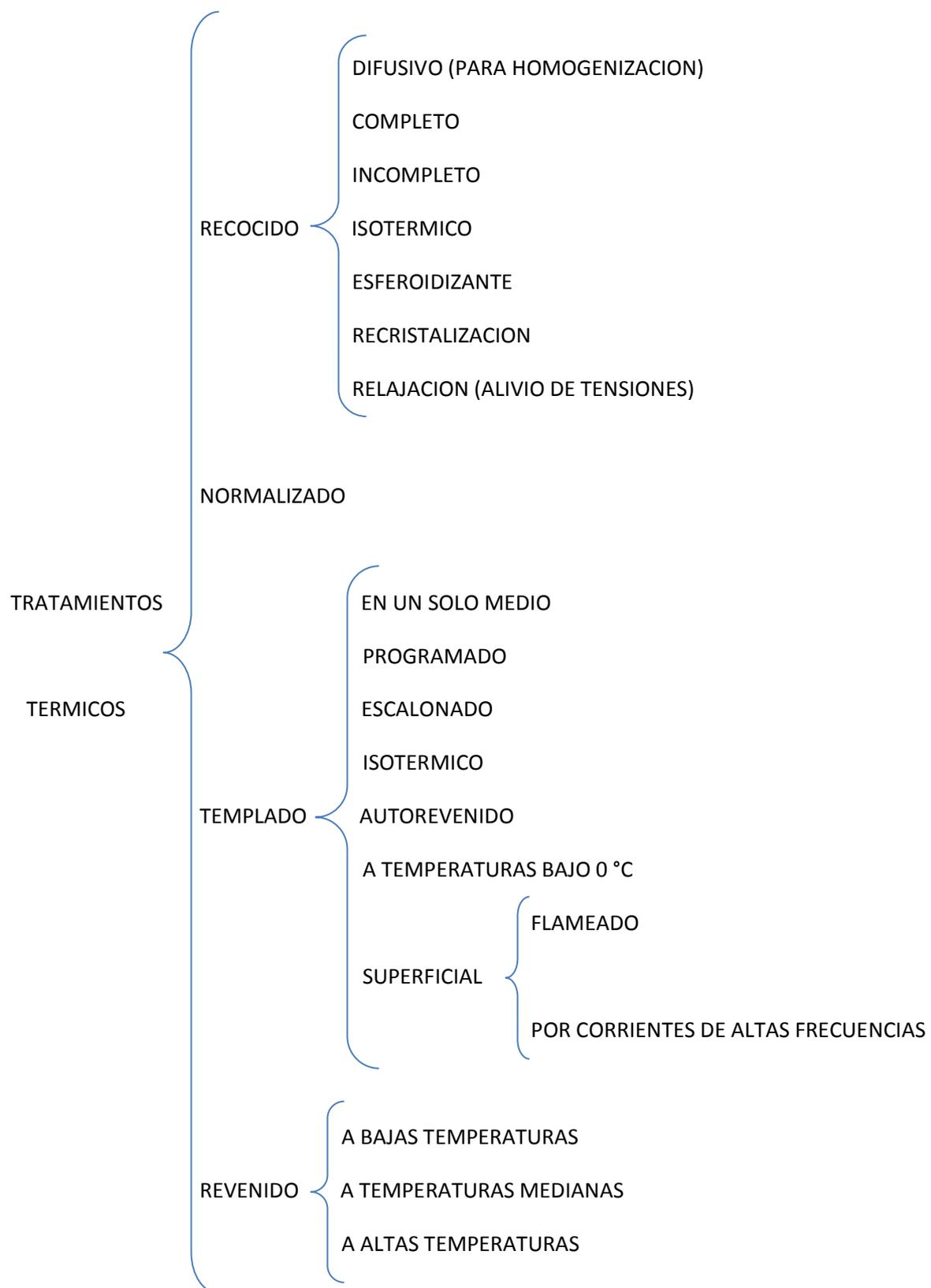


Figura 4. Clasificación de los Tratamientos Térmicos en los Aceros

1.1.3.1 Recocido.

Este tratamiento térmico tiene como finalidad principal ablandar el acero, regenerar la estructura de aceros sobrecalentados o simplemente eliminar las tensiones internas que siguen a un trabajo en frío. Como se puede observar en la Figura 5, este proceso consiste en un calentamiento hasta la temperatura de austenización (800-925°C) seguido de un enfriamiento lento a una velocidad controlada. Con este tratamiento se logra aumentar la elasticidad, mientras que disminuye la dureza. (Lajtin)

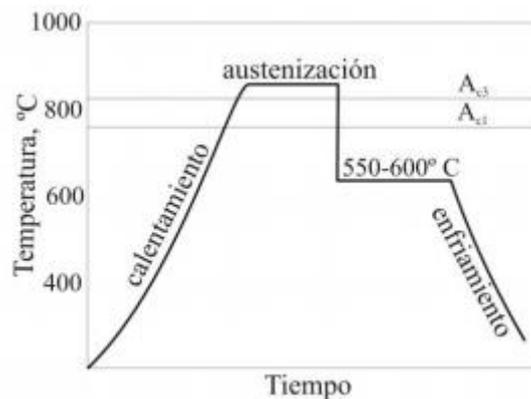


Figura 5. Transformación de la austenita.

Fuente: (METALOGRAFIA Y TRATAMIENTOS TERMICOS)

La función principal de este tratamiento es proporcionar suavidad, mejorar las propiedades eléctricas y magnéticas, refinar el grano o aumentarlo de tamaño y en algunos casos mejorar el maquinado.

1.1.3.1.1 Recocido de regeneración o total

Consiste en calentar el acero hipoeutectoide en 50 °C por encima del punto Ac₃, como se puede observar en la Figura 6, este punto se encuentra a una temperatura de 800°C y luego se debe mantenerlo durante cierto tiempo a esta temperatura, para lograr un calentamiento total del

metal y luego un enfriamiento lento en el horno para conseguir estructuras con grandes masas de perlitas rodeadas de ferrita o cementita. (Lajtin, pág. 234).

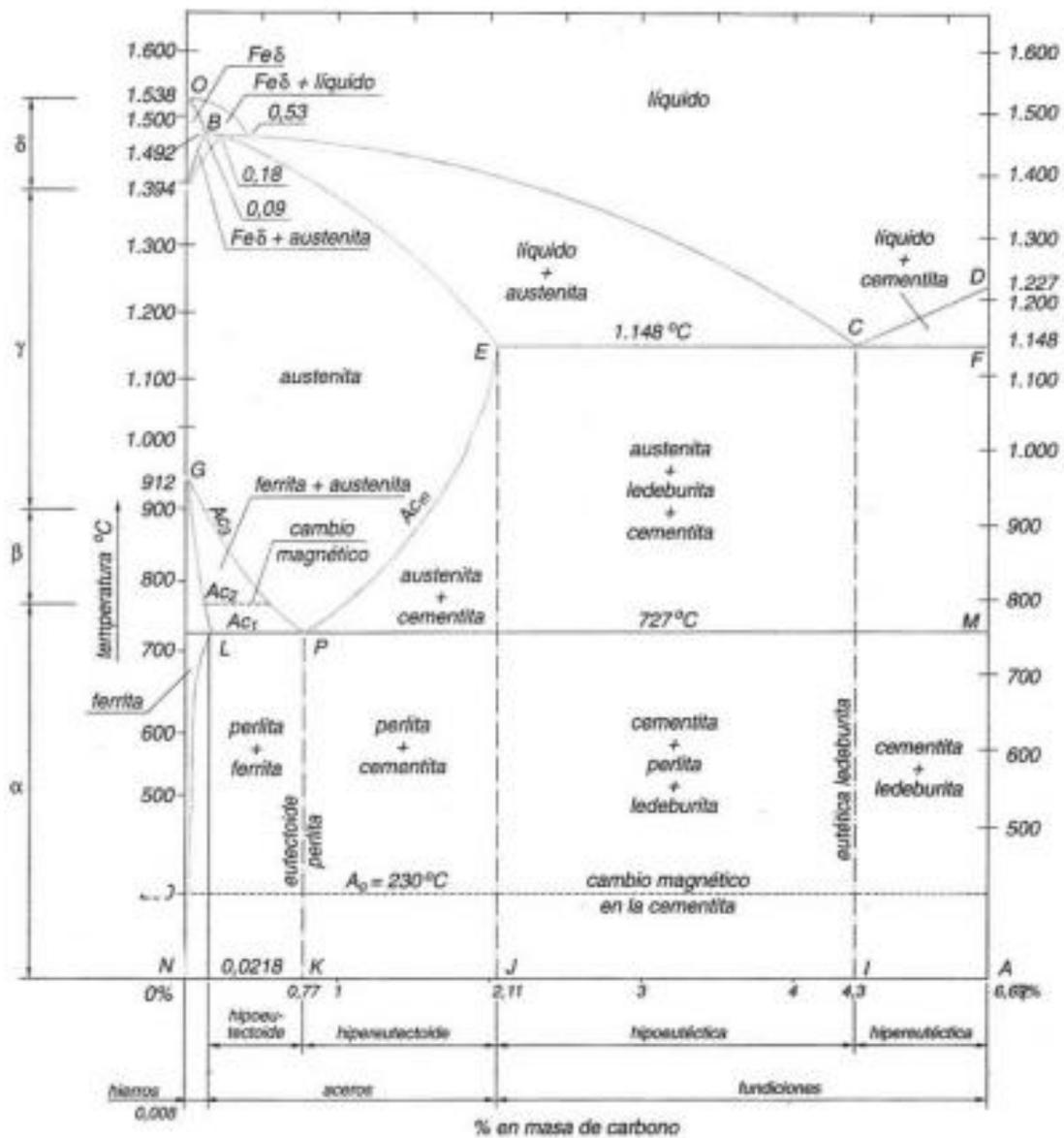


Figura 6. Diagrama Hierro-Carbono Temperaturas Críticas

Fuente: <http://www.tecnologiaycultura.net/UD5TraTer.pdf>

1.1.3.1.2 *Recocido de globulización*

Se aplican particularmente a aceros que demandan la mínima dureza y la máxima plasticidad.

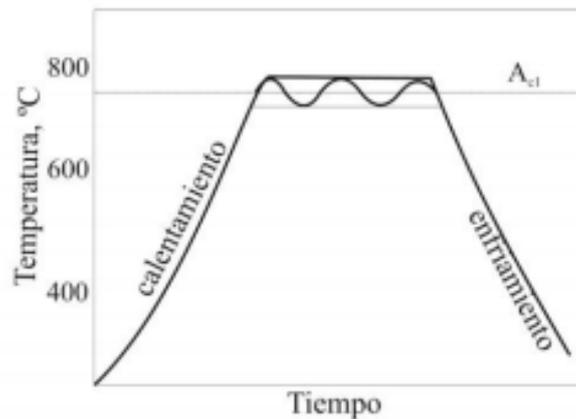


Figura 7. Diagrama de Temperatura en la Globulización

Fuente: (METALOGRAFIA Y TRATAMIENTOS TERMICOS)

Los métodos más frecuentes de realizar este tratamiento térmico son:

- ✓ Permanencia prolongada para lograr la esferoidización o globulización del carburo de hierro (Cementita) en la matriz ferrítica, a una temperatura inmediatamente por debajo de la crítica inferior A_{c1} (700 °C).
- ✓ Empleo de un ciclo oscilante de calentamiento y enfriamiento a temperaturas que son unas veces inmediatamente superiores y otras inferiores a las correspondientes a la línea crítica inferior A_{c1} .

1.1.3.1.3 *Recocido de alivio de tensiones*

Este tipo de tratamiento térmico se realiza a temperaturas relativamente bajas, unos 550°C aproximadamente, durante un periodo de 30 minutos a varias horas dependiendo del espesor

de las pieza tratada, con el fin de eliminar tensiones en piezas que han sido enfriadas bruscamente desde la temperatura de solidificación a la temperatura ambiente.

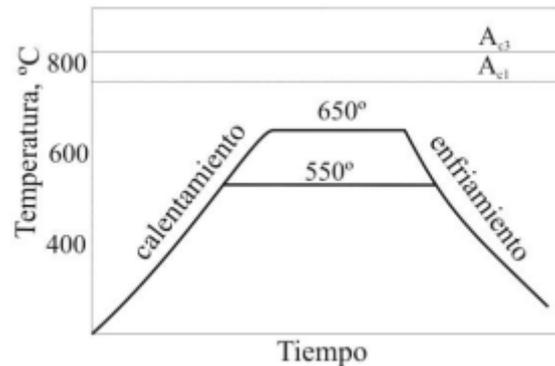


Figura 8. Temperatura en el Recocido de Eliminación de Tensiones

Fuente: (METALOGRAFIA Y TRATAMIENTOS TERMICOS)

Este proceso no tiene un efecto significativo en las propiedades mecánicas, por ello conviene dar esta clase de recocido a piezas de formas complicadas, o que deban tener tolerancias dimensionales muy precisas. Si no se eliminan las tensiones en una pieza de material fundido, estas pueden sufrir deformaciones durante la mecanización o el funcionamiento. Barreiro. Fundiciones. P101.

1.1.3.1.3.1 Ventajas:

- ✓ Estabilidad dimensional a lo largo del tiempo.
- ✓ Prevención de procesos de corrosión.
- ✓ Mejora de la ductilidad.

1.1.3.2 Normalizado.

Es un tratamiento térmico que se emplea para dar al acero una estructura y cierta característica tecnológica que se consideran el estado natural o inicial del material, es decir, ausencia de

tensiones internas y con una distribución uniforme del carbono. Se suele emplear como tratamiento previo al revenido y al temple.

1.1.3.3 Temple.

Es un tratamiento térmico al que se somete al acero para aumentar su dureza, resistencia a esfuerzos y tenacidad. Para ello, se calienta el acero a una temperatura ligeramente mas elevada que la crítica superior A_c (entre 900°C y 950°C), a esta temperatura se produce que la ferrita se convierta en austenita, luego la velocidad del enfriamiento deberá ser suficientemente rápida para llegar a la máxima dureza.

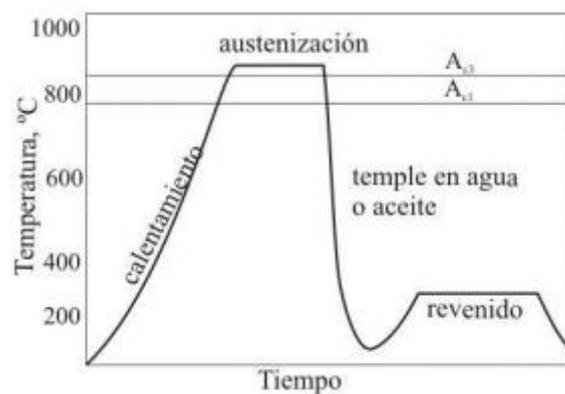


Figura 9. Metalografía temple y revenido.

(METALOGRAFIA Y TRATAMIENTOS TERMICOS)

En general los medios de enfriamiento para el temple son líquidos (agua, aceite, sal o polímeros u otros fluidos), aunque en algunas aleaciones, el temple puede lograrse en aire o con gases, siendo los elementos de aleación del acero lo que permiten tal operación.

1.1.3.3.1 Características generales del temple

- ✓ Es el tratamiento térmico más importante que se realiza.
- ✓ Hace el acero más duro y resistente pero más frágil.

- ✓ La temperatura de calentamiento puede variar de acuerdo a las características de la pieza y resistencia que se desea obtener.
- ✓ El enfriamiento es rápido.
- ✓ Incrementa la tenacidad.

El temple no es un tratamiento térmico final. Para disminuir la fragilidad y las tensiones que surgen con el temple y obtener las propiedades mecánicas requeridas, el acero después del temple es sometido a revenido. (Lajtin).

1.1.3.4 Revenido

Es un tratamiento térmico que se realiza a piezas de acero que han sido previamente templadas. Tiene como fin reducir las tensiones internas de la pieza originadas por el temple o por deformación en frío.

Mejora las características mecánicas reduciendo la fragilidad, disminuyendo ligeramente la dureza, quedando además el acero con la dureza o resistencia deseada. (Lajtin)

1.1.3.4.1 *Características generales del revenido*

- ✓ Es un tratamiento que se da después del temple.
- ✓ Se da este tratamiento para ablandar el acero.
- ✓ Elimina las tensiones internas.
- ✓ La temperatura de calentamiento está entre 150 y 500 °C (debe ser inferior a Ac1).
- ✓ El enfriamiento puede ser al aire o en aceite.

1.1.4 APLICACIONES DE LOS TRATAMIENTOS TERMICOS

Las aplicaciones están basadas al tipo de tratamiento térmico que se requiere obtener.

Tabla 6. Aplicaciones de los tratamientos térmicos para los aceros.

TEMPLE Y REVENIDO	CEMENTACIÓN Y CARBONITRURACIÓN	NITRURACIÓN (PROCESO TENIFER) Y NITROCARBURACION
Fresas	Bujes	Bocinas
Brocas	Piñones	Columnas
Cuchillas	Bocinas	Engranajes
Punzones	Engranajes	Puntas de ejes
Troqueles	Ruedas dentadas	Árbol de levas.
Matrices de forja	Placas de desgaste	Grupos rotatorios
Moldes para plásticos	Ejes de transmisión	Punzones y matrices de forja.
Matrices para fundición a presión de aleaciones no ferrosas.	Columnas de prensas.	Matrices de extrusión de aluminio.
		Tornillos sin fin para extrusión de plásticos.
		Moldes para inyección de metales no ferrosos y de plásticos.
		Asientos de bombas hidráulicas de sistemas hidrostáticos. (A.)

Fuente: (A.)

En la tabla 6, se puede observar las diferentes piezas que se pueden someter a realizar algún tipo de tratamiento térmico, tomando en cuenta la temperatura de cada tratamiento térmico.

1.2 TIPOS DE HORNOS MUFLAS.

Las muflas cuentan con dos principales tipos, las cuales cubren perfectamente la necesidad que se requiera:

1.2.1 MUFLAS DE COMBUSTIBLE.

Una mufla de combustible alcanza temperaturas muy elevadas, pues su fuente de calor está separada totalmente de la cámara de cocción, de tal manera que una muestra no puede ser contaminada con gases de combustión.



Figura 10. Mufla de combustible

Fuente: <http://estudiantesenlaboratoristaquimico.blogspot.com/2013/12/la-mufla.html>

Las cámaras de calentamiento de estos hornos son totalmente grandes, soportando temperaturas de 1450 °C y para su calentamiento utilizan quemadores de GLP.

1.2.2 MUFLAS ELÉCTRICAS.

Las muflas eléctricas son muy utilizadas para realización de tratamientos térmicos, esto se debe a que son de fácil manejo, además son generalmente pequeños con resistencias calefactoras situadas en el interior de la mufla, las mismas, que le permiten alcanzar temperaturas muy altas, se recomienda utilizarlos en laboratorios ya que no existirá ningún tipo de peligro al trabajar con este tipo de equipos.

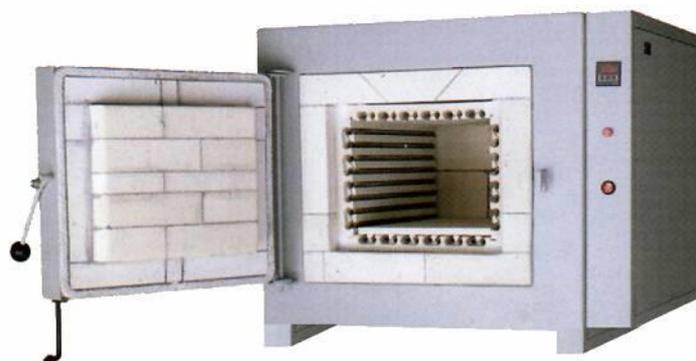


Figura 11. Mufla eléctrica

Fuente: <http://www.interempresas.net/Quimica/FeriaVirtual/Producto-Hornos-electricos-102249.html>

1.2.3 APLICACIONES DE LAS MUFLAS:

Las muflas están diseñadas para cumplir una gran variedad de aplicaciones en distintas áreas como:

- Muflas para trabajos de laboratorio.
- Muflas para procesos de control.
- Muflas para tratamientos térmicos.
- Muflas para secado de precipitado.
- Muflas para calcinación de precipitado.
- Muflas para ensayos de fundición.
- Cocción de arcilla.
- Cocido de pinturas encima del barniz en la porcelana. (BLANCO, 2014).

1.3 METODOLOGIA PARA EL DISEÑO DE HORNOS MUFLA.

Los hornos muflas han sido diseñado de acuerdo a las exigencias que debe tener el mismo, como es el flujo de calor permitido, la ubicación de resistencias eléctricas en la cámara de calentamiento, los materiales aislante que son utilizados en la construcción del horno y el sistema de control adecuado para que alcance la temperatura necesaria para la realización de tratamientos térmicos, evitando de esta manera que exista pérdidas de calor. Algo muy necesario son las recomendaciones profesionales para el uso del horno mufla.

Para lo cual se parte de un balance de energía en el que se establece la cantidad de calor que entra al horno debe ser igual a la cantidad de calor que sale más la que se acumula. Tomando en cuenta esto, se seleccionan los elementos que de alguna manera pueden ganar calor o por los cuales éste puede perderse. Estos elementos son: la pieza a tratar, las paredes del horno y las aberturas.

1.3.1 CARACTERÍSTICAS DE HORNOS MUFLA.

1.3.1.1 Horno mufla industrial pequeño thermolyne, tipo f1300, f1400 y f1500:

- Tamaño más pequeño. Dos capacidades 1.3 L, 2.1 L y 2.2 L.
- Cámara en fibra de cerámica. Resistencias en el techo y laterales para optimizar la temperatura.
- Puerta de apertura horizontal para facilitar el cargue y descargue de muestras.
- Un interruptor de seguridad instalado en la puerta suspende la energía a los elementos calentadores cuando la puerta está abierta.
- Con control de temperatura manual,
- Lectura en pantalla digital de lectura actual y prefijada.
- Volumen de la cámara: 1.3 (Modelo F1300) y de 2.1 (Modelo F1400)
- Rango de Temperatura: 100-1100°C. Para 120 Voltios - 50/60 Hz. 1050 Vatios. (CIENYTEC).



Figura 12. Mufla pequeño tipo F1300

Fuente: <http://www.cienytec.com/lab2muflas.htm#f1300>.

1.3.1.2 Horno mufla de sobremesa tipo f47000 y f48000 thermolyne.

- Se usa en laboratorios para calcinamiento de muestras, tratamientos de calor, procedimientos de calcificación, pruebas de ignición, etc.
- Cámara está aislada con fibra cerámica.
- Compacta.
- Un interruptor de seguridad instalado en la puerta suspende la energía a los elementos calentadores cuando la puerta está abierta.
- Con control de temperatura manual, digital, y programable según el modelo.
- Lectura en pantalla digital de lectura actual y prefijada.
- Volumen de la cámara: 2 l (tipo 47000) y de 5.8 l (Tipo 48000).
- Modelo tipo 48000 incluye una bandeja para maximizar la capacidad.
- Rango de Temperatura: 100-1200°C. (CIENYTEC).

1.3.1.3 Horno de Mufla Alta Temperatura con Cámara de fibra.

- Temperatura 1100°C con capacidad 8,2 L, y con temperatura 1300°C con capacidad 6,7 L.
- Apertura de puerta hacia arriba.
- Equipamiento básico.
- Cámara de una pieza fabricada de fibras aislantes.
- Controlador de temperatura por microprocesador Omron E5CC.
- Elementos de calorificación insertados en la fibra de la cámara.
- Placas cerámica
- Alta calidad, material térmico aislante ecológico.
- Bajo consumo de energía eléctrica.
- Rápido periodo de calentamiento.

- Alto nivel de precisión.
- Exterior pintado con pintura en polvo. (RAL 7035). (LABOPOLIS)



Figura 13. Mufla con cámara de fibra.

Fuente: <http://www.labopolis.com/productos-para-laboratorio/Hornos>.

1.3.1.4 Horno mufla labtech lef-103s de 3 litros modelo de 1100°C ref. lef-103s-1

- Volumen: 3.0 Litros
- Máxima temperatura: 1100 °C
- Controlador : Digital PID
- Dimensiones Interiores mm: 130 x 250 x 90
- Dimensiones Exteriores mm: 390 x 480 x 550
- Potencia: 1400 w
- Regulador Exterior: Unidad control SSR
- Termocupla: Sensor tipo CA
- Elemento calefactor: Placa calefactora interna
- Aislamiento: Fibra de cerámica moldeada al vacío

- Voltaje : 110V / 60 hz

1.3.1.4.1 Características:

- Su durable cámara de cerámica aislada y moldeada en fibra al vacío, provee temperaturas bajas y compactas con alta estabilidad.
- Los elementos calefactores encapsulados son instalados a cada lado y proveen uniformidad en el calor y un ciclo largo de vida.
- Canal de salida de gases en forma de exhosto instalado en el lado superior, remueve gases corrosivos, vapor de agua y contaminación para protección de material peligroso
- Controlador Digital con Microprocesador PID provee confiabilidad y exactitud, con función automática de temporización de prendido y apagado y sistema de alarma. (CIENYTEC).



Figura 14. Horno Mufla LEF-103S

Fuente: <http://www.cienytec.com/lab2muflas.htm>.

1.4 DISEÑO PROPUESTO DE HORNO MUFLA.

El horno mufla que se propone es un horno eléctrico el que funcionará mediante la aplicación de energía térmica, el mismo, que se calentará eléctricamente por medio de resistencias

eléctricas, las cuales son metálicas en forma espiral, siendo el material una aleación de níquel-cromo.

Esta opción de calentar con este tipo de resistencia se debe a que son realizadas con material llamado hilo kantal y el mismo que soporta temperaturas de hasta 1400 °C. Además el horno eléctrico de resistencias es el más seguro y eficiente para la ejecución de los tratamientos térmicos.

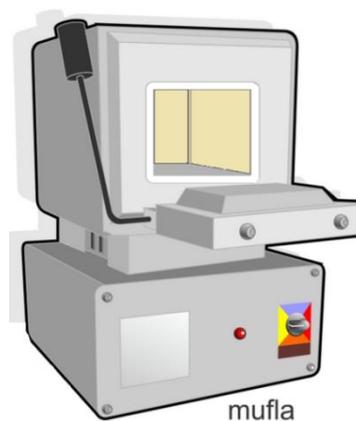


Figura 15. Horno Mufla Propuesto

Los elementos con que se construye los hornos mufla son simples y bien conocidos, pero es apropiado describirlos brevemente en este momento para que no existan dudas más adelante. Para la construcción del horno mufla se necesita de los siguientes materiales; el ladrillo refractario, mortero refractario, el mismo que es resistente al calor y uno de los materiales para que guarde el calor dentro de la cámara de calentamiento es la lana de vidrio.

Obteniendo así las siguientes especificaciones técnicas:

- Cámara aislada con lana de vidrio.
- Compacta.
- Controlador digital PID.

- Lectura en pantalla digital de lectura actual y prefijada.
- Rango de Temperatura: 20°C - 1000°C.
- Apertura de puerta hacia la izquierda.
- Equipamiento básico.
- Resistencias eléctricas insertadas en las paredes laterales y posterior de la cámara.
- Alto nivel de precisión.
- Potencia: 3300 W
- Termocupla: Sensor tipo K.
- Voltaje : 220V / 60 hz.

CAPÍTULO II

2 DIMENSIONAMIENTO DEL HORNO.

2.1 INTRODUCCIÓN

El horno mufla es diseñado como un equipo avanzado el mismo que posee resistencias eléctricas, las mismas que sirven para que pueda alcanzar temperaturas muy elevadas.

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

Una vez construido el horno mufla, se le pueden reajustar las variables como la temperatura, los tiempos de calentamientos, además se debe realizar la curva de calentamiento y una de calibración del horno.

Las partes constitutivas del horno mufla son:

- **Puerta:** Recubierta de lana de vidrio y ladrillo refractario que permite una eficiente concentración y distribución de calor.
- **Cámara interna:** Recubierta de ladrillo refractario y mortero refractario.
- **Exterior cámara interna:** Cubierta de tol negro y lana de vidrio como aislante térmico.
- **Sensor de temperatura:** Sensor tipo K, soporta temperaturas hasta de 1260 °C.
- **Perilla de encendido/ apagado:** Ubicado en la parte frontal-inferior de la mufla para encender o apagar el equipo.
- **Luz indicadora:** Sirve para poder observar cuando el horno mufla está en funcionamiento.

- **Para de emergencia:** Es utilizada en caso de presentarse algún daño en el equipo mientras está en funcionamiento.
- **Aislamiento:** Compuesto por lana de vidrio y mortero refractario.
- **Control de temperatura:** El control de la temperatura está asegurado mediante un controlador de temperatura y un temporizador.
- **Calentamiento:** Por medio de resistencias eléctricas que están ubicadas alrededor de la cámara interna del horno mufla. Son de hilo Kanthal.

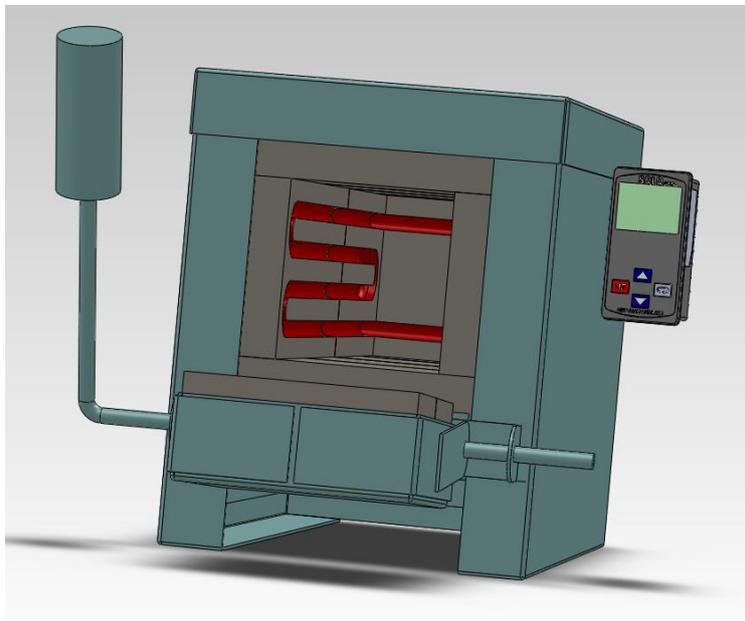


Figura 16. Mufla de tratamientos térmicos

Fuente: <http://www.armasblancas.com.ar/equipment/horno-tratamiento-termico-peu.html>

2.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA.

Para las dimensiones de la cámara interna nos basamos en hornos mufla que se comercializan en el mercado nacional.

Tabla 7. Dimensiones internas de hornos muflas

DIMENSIONES INTERNAS DE LA CÁMARA		
ANCHO	ALTURA	PROFUNDIDAD
120mm	115mm	150mm
170mm	155mm	170mm
180mm	170mm	270mm
200mm	150mm	160mm
230mm	190mm	280mm
230mm	230mm	305mm
270mm	230mm	330mm

Fuente: (ACEQUILABS)

Las dimensiones que aquí se presentan en la tabla 7 son sujetas a cambio de acuerdo a la necesidad de las personas para realizar diferentes trabajos en el laboratorio o industrialmente como son tratamientos térmicos, calcinaciones.

Las dimensiones que se optaron para la construcción de la cámara interna del horno mufla se debe a que será utilizado en un laboratorio como apoyo para ciertas materias de la carrera de Mecatrónica, teniendo en cuenta que esta cámara servirá para realizar prácticas de tratamiento térmicos en los aceros, es así, que los materiales a ingresar a dicha cámara no debe sobrepasar las dimensiones internas de la misma, además se debe evitar el contacto del material con las resistencias eléctricas que se encuentran alrededor del gabinete interno.

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

2.2.1 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE MATERIALES.

Es importante esta descripción para conocer de cierta manera como están constituidos físicamente los materiales antes de ser manipulados y así poder hacer su respectiva instalación y el mantenimiento del mismo.

2.2.1.1 MATERIALES

Los materiales a ser utilizados para la construcción del horno mufla, deberán ser los adecuados para trabajar a altas temperaturas, es decir tener alta refractariedad, elevada resistencia a choques térmicos, buena resistencia mecánica, evitar la corrosión.

Tabla 8. Materiales de construcción del horno mufla.

MATERIAL	ESPECIFICACIONES TECNICAS	VENTAJAS	
AISLANTES TÉRMICOS	LANA DE VIDRIO	COLOR BLANCO	Baja conductividad termica y energia térmica almacenada.
		ESPEJOR 25mm	Elevada resistencia a los choques térmicos y ataques quimicos.
		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	
	PYROGEL XT-E	ESPEJOR 5mm	Rendimiento termico superior
		TEMP MAXIMA 650°C	Espesor y perfil reducido
		COLOR MARRON	Menos tiempo y esfuerzo para la instalacion
			Ecologicamente seguro. (AEROGEL)
	LAMINA RIGIDA DE FIBRA MINERAL	TEMP MAXIMA 1038°C	Máxima eficiencia térmica
		ESPEJOR 25,4mm	No favorecen la corrosión
		COLOR GRIS CLARO	Ahorro directo en el consumo de energía
		LARGO 91cm	Reducen el ruido
		ANCHO 30cm	Facil aplicación y manejo. (LA URUCA REFRACTARIOS).
	LADRILLOS REFRACTARIOS	<i>Universal 30 (U-30)</i>	Ladrillo medianamente refractario, indicado para la construcción de mamposterías de hornos donde las condiciones de operación no son muy severas.
<i>Universal 32 (U-32)</i>		Ladrillo altamente refractario, empleado como revestimiento de seguridad en cucharas de procesos metalúrgicos y como revestimientos de trabajo en hornos donde las condiciones de operación no son muy severas	
<i>Universal (JM-23)</i>		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.	
<i>Erecos 40 (ER-40)</i>		Ladrillo súper refractario, quemado a mayor temperatura que los convencionales, con muy buena resistencia al ataque por escorias, a la abrasión y al choque térmico, de baja porosidad y alta resistencia mecánica. Utilizado en el revestimiento de cucharas para transporte de acero y de excelente desempeño en la zona fría de horno de cemento. (ERECOS).	
MORTEROS REFRACTARIOS	REPEL X	Altamente refractario, húmedo de fraguado al aire. 1500°C	
	UNIVERSAL	Super refractario, seco de fraguado térmico. 1600°C	
	SUPER AEROFRAX	Super refractario, húmedo de fraguado al aire. 1600°C. (ERECOS).	

En la tabla 8, nos indica los tipos de materiales que existen para la construcción de los hornos muflas, así como también las temperaturas a las que trabajan ciertos elementos, esto nos servirá para poder escoger el material adecuado para la fabricación de los hornos.

2.2.1.2 SELECCIÓN DE MATERIALES

Los materiales a utilizar para la construcción de la cámara interna del horno mufla se indica en la tabla 9 en forma general.

Tabla 9. Materiales de construcción del horno

MATERIAL	ESPECIFICACIONES TECNICAS	VENTAJAS	
AISLANTE TÉRMICO	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 enfria rapidamente.
	LARGO	7620mm	Buena resistencia mecánica. (KAOWOOL)
	ANCHO	610mm	
LADRILLO REFRACTARIO	<i>Universal (JM-23)</i>	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 AEROFRAF	Super refractario, húmedo de fraguado al aire. 1600°C. (ERECOS).	

2.2.1.2.1 MATERIAL AISLANTE.

La lana de vidrio Kaowool, es conocida como un material de amplio campo de aplicaciones. Se puede empaquetar a granel, como manta formada con aire, plegar en módulos, convertir en placar y perfiles, troquelar en empaquetaduras, retorcer en hilos, tejer en sogas y telas, mezclar con aglutinantes líquidos para enchapes y cementos. (KAOWOOL)



Figura 17. Lana de vidrio

Fuente: www.faustinobotta.com.ar

Se escogió la lana de vidrio, disponible en el mercado nacional, con las siguientes características:

- ✓ Temperatura máxima de trabajo a 1260 °C
- ✓ Resistencia a la humedad alta.
- ✓ No se inflama y es además un excelente aislante térmico.
- ✓ Se comporta bien tanto en atmósferas reductoras como oxidantes. Si resultara mojada por aceites, agua o vapor, sus propiedades térmicas y físicas se restablecen en su totalidad al secarse.
- ✓ Resistente a la corrosión, a los ácidos y a los aceites.
- ✓ El punto de fusión es a los 1760° C, el color es blanco.

Tabla 10. Características de la lana cerámica Kaowool

MANTA KAOWOOL	
HP 1260 °C	
COLOR	BLANCO
DENSIDAD	96 Kg/m ³
ESPESOR	25mm
TEMPERATURA DE USO CONTINUO	1100 °C
TEMPERATURA LIMITE DE USO	1260 °C
PUNTO DE FUSION	1760 °C
ALUMINA	45-50
SILICE	50-55
OTROS	TRAZAS
TEMPERATURA DE MEDICION	0,47
LARGO	7620mm
ANCHO	610mm
PESO NETO (TIPICO)	11,3

Fuente: (KAOWOOL)

2.2.1.2.1.1 Ventajas:

- ✓ Baja conductividad termica y energia térmica almacenada.
- ✓ Elevada resistencia a los choques térmicos y ataques quimicos.
- ✓ Buenas características acústicas y de protección contra fuego.
- ✓ Alta flexibilidad, facilitando cortes e instalación.
- ✓ Muy bajo almacenamiento de calor, calienta y enfria rapidamente.
- ✓ Buena resistencia mecánica. (KAOWOOL)

2.2.1.2.1.2 Aplicaciones típicas:

- ✓ Revestimiento de hornos.
- ✓ Intercambiadores de calor.
- ✓ Turbinas a gas.
- ✓ Estufas y hornos de laboratorios.

- ✓ Sellado y revestimientos de puertas de hornos.
- ✓ Tratamientos térmicos. (KAOWOOL).

2.2.1.2.2 Ladrillos refractarios.

Los ladrillos refractarios aislantes se caracterizan por su baja densidad, la cual les confiere una baja conductividad térmica. Esta propiedad los hace óptimos para ser empleados en hornos industriales donde el ahorro energético es una importante condición de diseño.

Son fabricados con materias primas y procesos especiales para obtener alta porosidad, baja densidad y alta refractariedad. (Erecos).



Figura 18. Formas normales de ladrillos refractarios

Fuente: ERECOs

Los ladrillos que utilizaremos son los **ladrillos JM-23 (9 x 4 1/2 x 2 1/2 pulgadas)** esto fue escogido de acuerdo a la temperatura que va a trabajar el horno mufla y algunas condiciones de trabajo.

Tabla 11. Propiedades del ladrillo refractario JM-23

UNIVERSAL (JM-23)	
ANALISIS QUIMICO	(%)
Al ₂ O ₃	42.5
SiO ₂	52.5
Fe ₂ O ₃	1.5
TiO ₂	2.0
CaO	0.3
MgO	0.3
Alcalis	0.5
POROSIDAD APARENTE	20.0-24.0
TEMPERATURA EQUIVALENTE	1763 °C
DENSIDAD APARENTE	2.13-2.23 (g/cm ³)

Fuente: http://www.erecos.com/jm_23.pdf

2.2.1.2.3 Mortero refractario

Los morteros refractarios están constituidos por una mezcla de áridos refractarios finamente molidos, de arcillas plásticas, aditivos y ligantes especiales. Aunque la técnica de colocación de ladrillos que se utiliza para el mortero refractario se asemeja a la utilizada para el cemento Portland, debes dejar que el cemento refractario se seque por completo antes de exponerlo a altas temperaturas. (ERECOS, MORTERO REFRACTARIO)

Un mortero refractario, además de proporcionar estabilidad a la mampostería, debe prevenir la penetración y ser resistente al ataque de escorias, líquidos o gases corrosivos.



Figura 19. Mortero superaerofrax

Fuente: ERECOS

El mortero refractario que se ha seleccionado es Súper Aerofrax, el mismo que es utilizado para mamposterías de ladrillos JM-23 y es fácil de conseguir en el mercado nacional.

Tabla 12. Propiedades del mortero superaerofrax

MORTERO SUPERAEROFRAF	
TIPO DE MORTERO	HUMEDO DE FRAGUADO AL AIRE
ANALISIS QUIMICO	(%)
Al ₂ O ₃	43.0
SiO ₂	50.3
Fe ₂ O ₃	1.8
TiO ₂	2.1
CaO	0.2
MgO	0.3
Alcalis	2.0
TEMPERATURA EQUIVALENTE	1724 °C

Fuente: <http://www.erecos.com/superaerofrax.pdf>

2.2.2 CÁLCULO DEL ESPESOR DE LAS PAREDES

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

Calor por conducción se obtiene con la siguiente formula:

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

Calor por convección con la ecuación siguiente:

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

Calor por radiación la ecuación es de la forma:

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

Para nuestro caso necesitamos de un balance de energía en la superficie para esto la ecuación es:

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

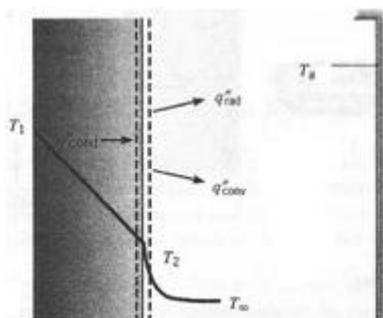


Figura 20. Transferencia de calor en la pared.

En la figura 20, se muestra las diferentes formas de transferencia de calor en un ladrillo refractario, esto quiere decir que hay conducción desde el medio hasta la superficie, convección desde la superficie hacia el fluido, e intercambio de radiación neta desde la superficie a sus alrededores. Entonces el balance de energía toma forma de la siguiente manera.

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

Para encontrar la temperatura de la superficie de la pared se debe sustituir las ecuaciones de (q_{Cond}) , (q_{Conv}) , (q_{Rad}) quedándonos la ecuación de la siguiente manera.

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

Al igualar toda la ecuación anterior a cero nos queda de la siguiente manera:

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

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)** planteada se necesita de los valores técnicos del ladrillo refractario y la lana de vidrio a utilizar, es así que, en la **Tabla 13** se tabula la solución a esta ecuación; analizando las diferentes posibilidades para la construcción de la pared del horno mufla.

Tabla 13. Ecuación de transferencia de calor en las paredes.

LADRILLO REFRACTARIO								
TEMP 1 (°K)	CONDUCTIVIDAD TERMICA (W/m°K)	ESPEJOR LADRILLO (m)	COEFICIENTE DE CONVECCION AIRE (W/m2K)	TEMP ∞ (°K)	EMISIVIDAD SUPERFICIAL	CONSTANTE DE STEFAN BOLTZMANN (W/m2K4)	TEMP 2 (°K)	$((K*(T1-T2))/L)-(h(T2-T∞))-$ $(\epsilon*\sigma(T2^4-Tamb^4)))=0$
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	0,010091102
1273	0,19	0,0635	20	296	0,94	5,67E-08	388,25	0,393733754
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)	ESPEJOR LANA (m)	COEFICIENTE DE CONVECCION AIRE (W/m2K)	TEMP ∞ (°K)	EMISIVIDAD SUPERFICIAL	CONSTANTE DE STEFAN BOLTZMANN (W/m2K4)	TEMP 2 (°K)	$((K*(T1-T2))/L)-(h(T2-T∞))-$ $(\epsilon*\sigma(T2^4-Tamb^4)))=0$
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	0,169936829
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	0,697661222
388,261	0,06	0,015	20	296	0,85	5,67E-08	308,58	0,045052058

En la **Tabla 13**, nos indica todos los datos necesarios para obtener la mejor solución al problema de dimensionamiento de las paredes del horno mufla, siendo la más adecuada un ladrillo de 0,0635m 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. Esta opción no se escogió, debido a que el ladrillo refractario de espesor 0,0635m es un ladrillo liso y demora mucho tiempo en calentarse el horno hasta su temperatura máxima, y además su enfriamiento es lento con respecto al ladrillo de espesor de 0,05m, por lo tanto, se escogió para su construcción este ladrillo, que debido a su porosidad, es el más adecuado para obtener la máxima temperatura en corto tiempo y su enfriamiento es mucho más rápido.

2.2.3 CONFIGURACIÓN DE LAS PAREDES DEL HORNO.

En el dimensionamiento del horno mufla se considera que las paredes utilizaran el ladrillo refractario y lana de vidrio adecuada, es así que la pared no necesita ser demasiada ancha para que guarde el calor dentro del mismo.

2.2.3.1 Distribución de ladrillos refractarios en el interior del horno mufla.

En el interior de la cámara de calentamiento encontramos ladrillo refractario adherido con mortero refractario y en unos canalillos se ubicaran las resistencias eléctricas, las mismas que servirán para calentar dicha cámara.

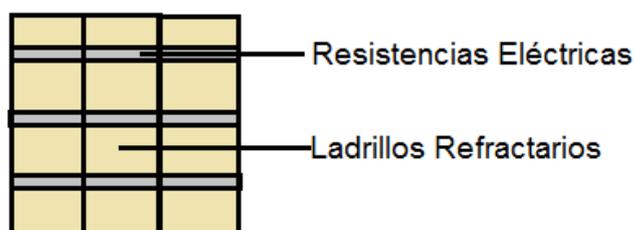


Figura 21. Ladrillos refractarios alrededor de la cámara de calentamiento

2.2.3.2 Distribución de ladrillos refractarios y lana de vidrio en las paredes.

Las paredes se conforman de una capa de ladrillo refractario, seguido de una capa de lana de vidrio, evitando así la fuga de calor hacia el exterior.

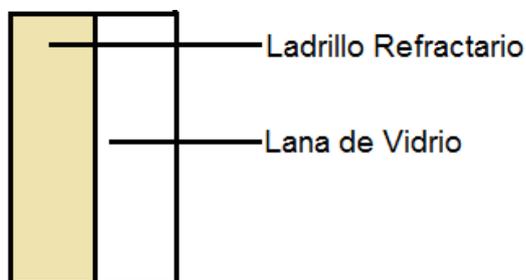


Figura 22. Conformación de las paredes

2.2.3.3 Distribución de la capa final del horno mufla.

En el horno mufla luego de haberse conformado las paredes, se procede a instalar la chapa metálica que cubrirá totalmente a todos los materiales antes mencionados.

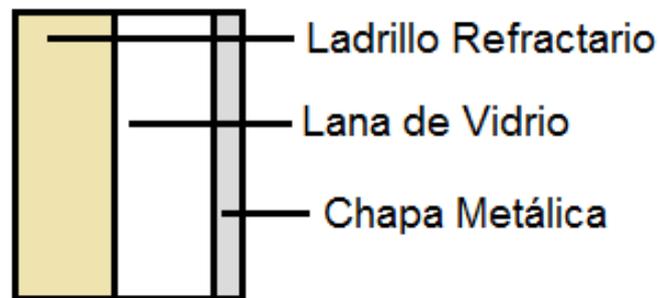


Figura 23. Distribución de todos los materiales.

2.2.4 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO.

Para poder seleccionar el sistema más adecuado se tomaron en cuenta ciertos parámetros como son:

- ✓ Control simple y preciso de la temperatura, mediante elementos de regulación de bajo costo.
- ✓ Temperatura aproximadamente constante y uniforme al interior de la mufla.
- ✓ Mínima Influencia de la temperatura ambiente sobre el interior de la mufla.
- ✓ Facilidad para construcción y mantenimiento, debido a la forma de la cámara.
- ✓ Permite conocer de forma aproximada sobre el consumo útil de energía en la mufla.

2.2.4.1 Resistencias eléctricas.

El calentamiento por resistencia eléctrica puede ser directo cuando la corriente eléctrica pasa por las piezas, o indirecto, cuando las piezas se calientan por radiación, convección o combinación de ambas.

En la industria es más frecuente el calentamiento indirecto por resistencias eléctricas. Las resistencias eléctricas se hacen de aleaciones de composición muy variadas, estas aleaciones son: carbono, cobre, hierro, manganeso, níquel, silicio, zinc y aluminio.

Las aleaciones de níquel-cromo son utilizadas para alcanzar temperaturas de 1100°C, las de carburo de silicio trabajan hasta temperaturas de 1500°C, aleación de molibdeno soportan temperaturas de 1650°C, la aleación de tungsteno ya son utilizadas para mayores temperaturas que sobrepasan de los 2000°C, las de grafito se utilizan en temperaturas bajas como es los 600°C y las resistencias hechas del hilo Kanthal trabajan temperaturas de los 1200°C cuyas aleaciones son aluminio, cromo, hierro.



Figura 24. Resistencias Eléctricas

Fuente: www.diapam-industrial-s-a.net.

Para este horno mufla se utilizará la resistencia eléctrica en forma espiral, las mismas que son de un material especial para hornos de alta temperatura llamado NICROMO el cual es una aleación de níquel 80% – cromo 20% y está diseñado para trabajar con temperaturas de hasta 1200° C. Se seleccionó este tipo de resistencia eléctrica porque cumple con las características planteadas en el diseño y además existen en el mercado nacional.

Tabla 14. Propiedades de las resistencias eléctricas

Temperatura Maxima de Trabajo	1000 °C
Temperatura de Fusión	1400 °C
Potencia Especifica a 1000 °C	2W/cm2
Resistencia a 20 °C	1.1 ohmios mm2/m
Coeficiente de Resistividad a 1200 °C	1.045
Resistividad	1.77*10-6 ohmios m
Coeficiente de Temperatura	0.00013
Densidad Especifica	8.412

2.2.4.1.1 Potencia requerida por las resistencias eléctricas.

El horno mufla cuenta con resistencias cuya temperatura máxima de alcance aproximadamente es de 1100 °C. La temperatura proyectada es suficiente para efectuar tratamientos térmicos de aceros. La potencia requerida por las resistencias es igual al que absorbe la probeta a tratar como las paredes del horno más la que se pierde por conducción, radiación y convección.

$$Q_R = \frac{T_C - T_Q}{R_T} \quad (1)$$

Dónde:

$T_C = \text{temperatura de la cámara} = 1000^\circ\text{C}$

$T_Q = \text{temperatura ambiente} = 23^\circ\text{C}$

$R_T = \text{resistencia térmica total}$

2.2.4.1.2 Resistencia térmica total.

$$R_T = R_{LADRILLO} + R_{LANA DE VIDRIO} = \frac{e_{LADRILLO}}{\lambda_{LADRILLO}} + \frac{e_{LANA}}{\lambda_{LANA}} \quad (2)$$

Dónde:

$$e_{LADRILLO} = \text{espesor (m)} = 0,05$$

$$\lambda_{LADRILLO} = \text{conductividad térmica} \left(\frac{W}{mK} \right) = 0,19$$

$$e_{LANA} = \text{espesor (m)} = 0,015$$

$$\lambda_{LANA} = \text{conductividad térmica} \left(\frac{W}{mK} \right) = 0,06$$

$$R_T = \frac{0,05}{0,19} + \frac{0,015}{0,06}$$

$$R_T = 0,5131 \left(\frac{W}{K} \right)$$

Reemplazando la ecuación (2) en (1) obtenemos:

$$Q_R = \frac{1273,15 - 296,15}{0,5131}$$

$$Q_R = 1904.11 \text{ W}$$

La potencia que deben disipar las resistencias a fin de suplir las pérdidas de calor es 1,9 KW.

Debido a las pérdidas propias del horno, se adoptará 3,3 kW como potencia total requerida, esto se hace para que el horno alcance más temperatura de la propuesta anteriormente, es decir, supere los 1000°C.

2.2.4.1.3 La resistencia que logrará disipar la potencia requerida es.

$$P = V * I \quad (3)$$

$$I = \frac{P}{V} \quad (4)$$

$$R = \frac{V}{I} \quad (5)$$

Reemplazando la ecuación (4) en (5) obtenemos:

$$R = \frac{V}{\frac{P}{V}} = \frac{V^2}{P} \quad (6)$$

Dónde:

$P = \text{potencia total requerida} = 3300W$

$V = \text{voltaje} = 220V$

Sustituyendo valores tenemos el valor de la resistencia que logrará disipar la potencia requerida.

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

$$R = 14,66\Omega$$

2.2.4.1.4 Calor almacenado en las paredes del horno

$$Q_{\text{paredes}} = m_{\text{paredes}} * C_{p_{\text{paredes}}} * \Delta T \quad (7)$$

Dónde:

$m_{\text{paredes}} = \text{masa de las paredes del horno.} = 5,25 \text{ k}$

$C_{p_{\text{paredes}}} = \text{calor especifico del material de las paredes} = 1,05 \frac{KJ}{Kg^{\circ}K}$

$\Delta T = \text{diferencia de temperatura}$

Resolviendo la ecuación (7) tenemos:

$$Q_{Paredes} = 5,25Kg * \frac{1,05KJ}{Kg^{\circ}K} * (1273,15^{\circ}K - 296,15^{\circ}K)$$

$$Q_{Paredes} = 6891,45KJ$$

2.2.4.1.5 Calor perdido en las paredes.

$$Q_{perdido Paredes} = K * f * \Delta T \quad (8)$$

$K = \text{conductividad termica del material de la pared.} = 0,19 \frac{W}{mK}$

$f = \text{factor de forma} = 0,022(m)$

$\Delta T = \text{diferencia de temperatura}$

Reemplazando valores en la ecuación (8) tenemos como resultado:

$$Q_{perdido Paredes} = \frac{0,19W}{m^{\circ}K} * 2,28m * (1273,15^{\circ}K - 296,15^{\circ}K)$$

$$Q_{perdido Paredes} = 541,56W$$

2.2.4.1.6 Calor perdido en aberturas

$$Q_{Perdido aberturas} = Q_r * A_{ef} \quad (9)$$

Dónde:

$$Q_r = \text{calor radiado} \frac{KJ}{hr m^2}$$

$$A_{ef} = \text{area total efectiva por donde se pierde calor } m^2 = 0,034$$

2.2.4.1.7 Calor radiado

$$Q_r = \sigma(T_c^4 - T_a^4) \quad (10)$$

Dónde:

$$\sigma = \text{constante de Stefan Boltzmann} = 5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

$$T_c^4 = \text{temperatura interna cámara} = 1273,15^4 K$$

$$T_a^4 = \text{temperatura ambiente} = 296,15^4 K$$

Reemplazando valores nos queda:

$$Q_r = 5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} * (1273,15^4 - 296,15^4) K$$

$$Q_r = 138494,19 \frac{W}{m^2}$$

Reemplazando la ecuación (10) en (9) nos queda.

$$Q_{\text{Perdido aberturas}} = 138494,19 \frac{W}{m^2} * 0,034 m^2$$

$$Q_{\text{Perdido aberturas}} = 4708,80 W$$

2.2.4.1.8 Calor total perdido en paredes y aberturas.

$$Q_{Tperdido} = Q_{Perdido\ aberturas} + Q_{Perdido\ paredes} \quad (11)$$

Reemplazando la ecuación (9) y (8) se obtiene:

$$Q_{Tperdido} = 4708,80\ W + 541,56W$$

$$Q_{Tperdido} = 5250,36W$$

2.2.4.1.9 Tiempo de calentamiento del aire en el interior del horno.

$$t_s = \frac{mC_p\Delta T}{0,92(Q_{Tperdido}) - Q_R} \quad (12)$$

Dónde:

$$m = \text{masa del ladrillo} = 5,25Kg$$

$$C_p = \text{calor especifico del aire a } 1000^\circ C = 1,005 \frac{KJ}{Kg^\circ K}$$

Reemplazando valores tenemos:

$$t = \frac{5,25Kg * 1,005 \frac{KJ}{Kg^\circ K} * 1250,15^\circ K}{0,92(5250,36W) - 2436,46\ W}$$

$$t = \frac{6596,10KJ}{2393,87W}$$

$$t = \frac{6596,10KJ}{2,39387 \frac{KJ}{S}}$$

$$t = 2755,41s$$

$$t = 45,92 \text{ min}$$

Con el resultado obtenido se puede ver el tiempo necesario para llegar a una temperatura deseada.

Tabla 15. Tiempo de calentamiento del horno a temperatura máxima

TIEMPO DE CALENTAMIENTO DEL AIRE EN EL INTERIOR DEL HORNO								
MASA (Kg)	CpAIRE (KJ/Kg°k)	T (°K)	Ta (°K)	QTperd (Kw)	QR (KW)	T(s)	T(min)	T(°K)
5,25	1,005	296,15	296,15	5,25	2,44	0,00	0,00	0
5,25	1,005	298,15	296,15	5,25	2,44	4,41	0,07	2
5,25	1,005	303,15	296,15	5,25	2,44	15,43	0,26	7
5,25	1,005	313,15	296,15	5,25	2,44	37,47	0,62	17
5,25	1,005	323,15	296,15	5,25	2,44	59,51	0,99	27
5,25	1,005	373,15	296,15	5,25	2,44	169,71	2,83	77
5,25	1,005	473,15	296,15	5,25	2,44	390,12	6,50	177
5,25	1,005	573,15	296,15	5,25	2,44	610,53	10,18	277
5,25	1,005	673,15	296,15	5,25	2,44	830,93	13,85	377
5,25	1,005	773,15	296,15	5,25	2,44	1051,34	17,52	477
5,25	1,005	873,15	296,15	5,25	2,44	1271,75	21,20	577
5,25	1,005	973,15	296,15	5,25	2,44	1492,15	24,87	677
5,25	1,005	1073,15	296,15	5,25	2,44	1712,56	28,54	777
5,25	1,005	1173,15	296,15	5,25	2,44	1932,97	32,22	877
5,25	1,005	1273,15	296,15	5,25	2,44	2153,37	35,89	977
5,25	1,005	1373,15	296,15	5,25	2,44	2373,78	39,56	1077
5,25	1,005	1473,15	296,15	5,25	2,44	2594,19	43,24	1177
5,25	1,005	1573,15	296,15	5,25	2,44	2814,59	46,91	1277
5,25	1,005	1673,15	296,15	5,25	2,44	3035,00	50,58	1377
5,25	1,005	1773,15	296,15	5,25	2,44	3255,41	54,26	1477

En la tabla 15, se obtiene los datos necesarios para establecer la curva de calentamiento teórica del horno.

2.3 AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA.

Para la automatización del horno mufla, se presenta a continuación una tabla comparativa de las características más sobresalientes de los diferentes dispositivos de control.

Tabla 16. Dispositivos de control

ITEM	PLC	MICROCONTROLADOR PIC	PC INDUSTRIALES	CONTROLADOR DE TEMPERATURA
PRECIO	ALTO	BAJO	ALTO	BAJO
TAMAÑO	ESPACIO CONSIDERABLE	POCO ESPACIO	ESPACIO CONSIDERABLE	POCO ESPACIO
DISPONIBILIDAD	REGULAR	ALTO	BAJO	ALTO
SOFTWARE	PROPIO	LIBRE	PROPIO	N/A
PRECISION	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
REPARACION	NO	SI	NO	SI
PROGRAMACION	FACIL	DIFICIL	DIFICIL	FACIL

En la tabla 14, se puede observar que el controlador de temperatura es el más indicado para ser utilizado en el control del horno, esto se debe a que se encuentra más fácilmente en el mercado y a un precio totalmente bajo.

2.3.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CONTROL A UTILIZAR.

2.3.1.1 Control de lazo abierto

En un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. En la práctica, el control en lazo abierto solo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. (Ogata, 2010).

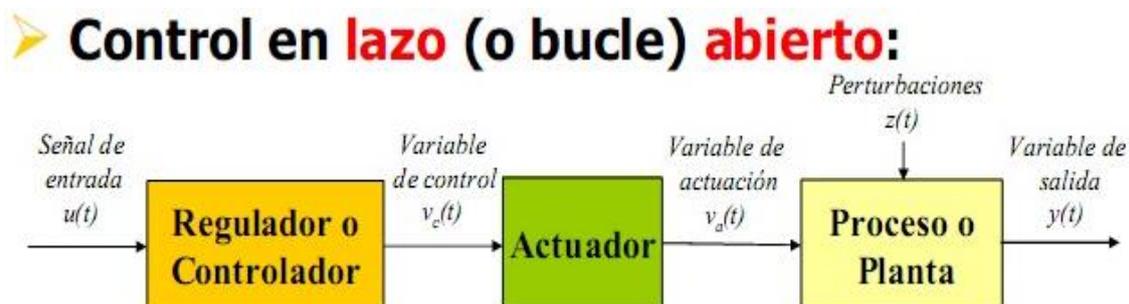


Figura 25. Sistema de control el Lazo Abierto

Fuente: electronicaunimag.blogspot.com

2.3.1.2 Control de lazo cerrado

En un sistema de control de lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación, con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema. (Ogata, 2010).

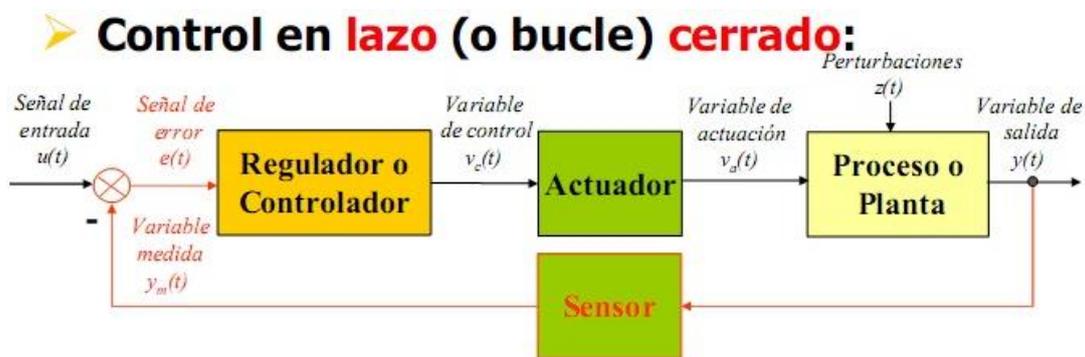


Figura 26. Sistema de control en Lazo Cerrado

Fuente: electronicaunimag.blogspot.com

2.3.1.3 Control On/Off

Es la forma más simple para el control de temperatura. El control ON/OFF se utiliza generalmente cuando un control preciso no es necesario, en los sistemas que no pueden soportar cambios frecuentes de encendido/apagado, donde la masa del sistema es tan grande que las temperaturas cambian muy lentamente, o para una alarma de temperatura. (OMEGA)

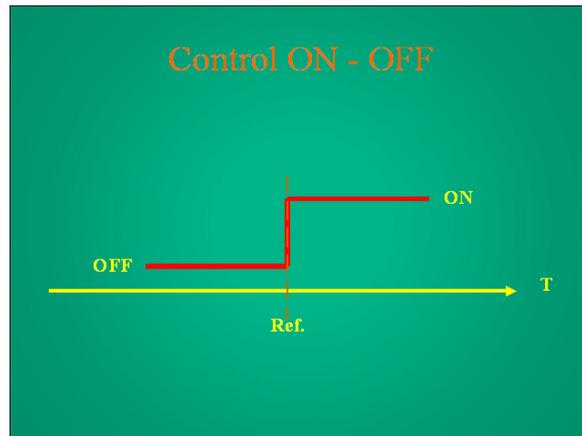


Figura 27. Control On/Off.

Fuente: es.slideshare.net

2.3.1.4 Control PID

El control “PID” ofrece la capacidad de programar una determinada operación de modo que se realice en forma regular y coherente. El control PID tiene como fin específico, mantener la regularidad del proceso y compensar las perturbaciones externas. (Drives)

Este controlador combina control proporcional con dos ajustes adicionales, que ayuda a la unidad automáticamente a compensar los cambios en el sistema. (OMEGA)

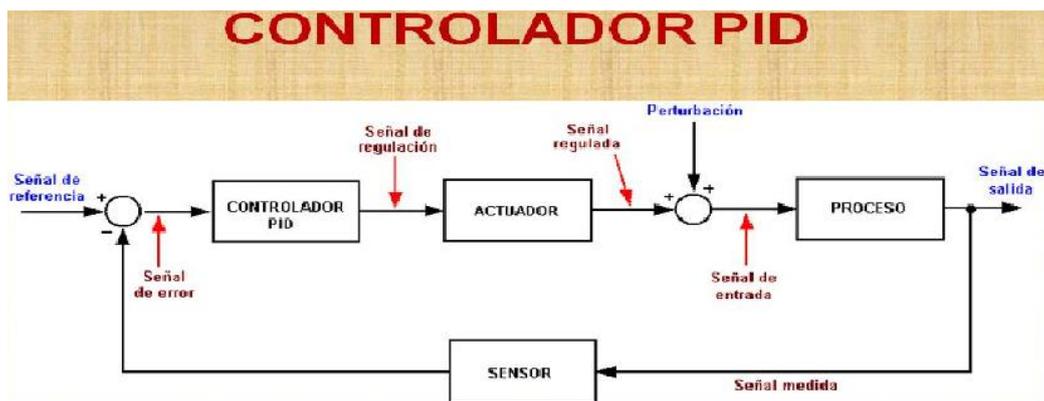


Figura 28. Control PID

Fuente: jmirezcontrol.wordpress.com

El sistema de control a utilizar 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. Son conocidos como autoajustables.

2.3.2 DETERMINACIÓN DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA.

Se tiene un horno de resistencias eléctricas de calentamiento indirecto de la carga, que fluye internamente, se calienta por efectos de la radiación, convección o una combinación de ambas. La potencia requerida para el calentamiento procede de resistencias eléctricas dispuestas dentro del horno.

La ubicación de las resistencias, en el interior, puede tener distintos arreglos. Para este estudio, se tiene una distribución uniforme en las paredes laterales y en la pared posterior. Este arreglo es práctico porque se logra una distribución uniforme de la temperatura interna que se traduce en un menor consumo de energía.

Para la determinación de la función de transferencia se debe calcular las capacitancias de los elementos del horno, las potencias de consumo de alimentación eléctricas y como se aplica o bajo que función de entrada se representan dichas potencias.

2.3.2.1 Magnitudes fundamentales

$$T_1 = \textit{Temperatura de la carga} = 900^\circ\text{C}$$

$$T_2 = \textit{Temperatura ambiente} = 23^\circ\text{C}$$

$$T_3 = \textit{Temperatura de las resistencias}$$

$$T_4 = \textit{Temperatura de la pared interior} = 1000^\circ\text{C}$$

$$R_{t1} = \textit{Resistencia térmica entre paredes y la carga}$$

R_{t2} = Resistencia térmica entre paredes y exteriores

Q_1 = Calor generado por las resistencias = I^2/R

Q_2 = Flujo de calor desde las paredes hacia la carga

Q_3 = Pérdidas de calor a través de las paredes del horno

C_1 = Capacidad térmica de la carga

C_2 = Capacidad térmica de elementos de calentamiento

C_3 = Capacidad térmica de las paredes del horno

2.3.2.2 Determinación de funciones

El calor hacia la carga es:

$$Q_1 - (Q_2 + Q_3) = \frac{C_2 dT_3}{dt} \quad (1)$$

Considerando la conductividad térmica de la carga:

$$Q_2 = \frac{T_4 - T_1}{R_{t1}} = \frac{C_1 dT_1}{dt} \quad (2)$$

El flujo de calor a través de paredes hacia el ambiente es:

$$Q_3 = \frac{T_3 - T_2}{R_{t2}} \quad (3)$$

Si la conductividad térmica de la pared es elevada:

$$Q_3 = \frac{C_3 dT_4}{dt} \quad (4)$$

Sustituyendo (4) y (2) en (1), se obtiene:

$$\frac{U^2}{R} - \frac{C_1 dT_1}{dt} - \frac{C_3 dT_4}{dt} = \frac{C_2 dT_3}{dt} \quad (5)$$

Suponiendo una aproximación de 2 o 3 entre T3 y T4:

$$\frac{U^2}{R} - \frac{C_1 dT_1}{dt} = (C_2 + C_3) \frac{dT_4}{dt} \quad (6)$$

De la ecuación (2) se deduce:

$$T_4 = C_1 R_{t1} \frac{dT_1}{dt} + T_1 \quad (7)$$

Sustituyendo (7) en (6) se obtiene:

$$\frac{U^2}{R} - \frac{C_1 dT_1}{dt} = (C_2 + C_3) \frac{d}{dt} [C_1 R_{t1} \frac{dT_1}{dt} + T_1] \quad (8)$$

$C_1 R_{t1} = \tau$, es una constante de tiempo. Reemplazando y simplificando en (8)

$$\tau \frac{d^2 T_1}{dt^2} + \frac{(C_1 + C_2 + C_3)}{(C_2 + C_3)} \frac{dT_1}{dt} = \frac{U^2}{R} \frac{1}{(C_2 + C_3)} \quad (9)$$

Comprende la función teórica que muestra el comportamiento de la temperatura interna, en el tiempo, cuando se le aplica una potencia eléctrica.

Para resolver la ecuación (9) se determinan las capacitancias del horno, el mismo que se calienta hasta una temperatura deseada.

2.3.2.3 Cálculo de capacitancias

2.3.2.3.1 Capacitancia de la carga C_1

Se calcula a partir de la expresión $C_1 = mc_1$; Donde m es la masa de la carga y c_1 es el calor específico de la carga, en este caso para una probeta del acero 1045.

Calor específico del producto $c_1 = 0,46 \frac{KJ}{Kg^{\circ}K}$

Por lo tanto $C_1 = 0,42 Kg * 0,46 \frac{KJ}{Kg^{\circ}K}$

$$C_1 = 0,1932 \frac{KJ}{^{\circ}K}$$

2.3.2.3.2 Capacitancia de la fuente de calor C_2 (Resistencias)

Es la capacitancia del volumen de aire caliente que está en contacto con la carga.

Para el aire caliente a 900 °C, se tiene:

$$C_p = 1,169 \frac{KJ}{Kg^{\circ}K} \quad \rho = 0,3009 \frac{Kg}{m^3}$$

Volumen de la cámara de calentamiento

$$V = 0,0068m^3$$

Para obtener la masa del aire se reemplazará los valores en la siguiente ecuación:

$$m = \rho * V$$

$$m = 0,3009 \frac{Kg}{m^3} * 0,0068m^3$$

$$m = 0,0020 \text{ Kg}$$

La masa del aire interno es: $m = 0,0020 \text{ Kg}$; realizando el producto de la masa por el calor específico se obtiene:

$$C_2 = 0,0023 \frac{\text{KJ}}{^\circ\text{K}}$$

2.3.2.3.3 Capacitancia de las paredes C_3

El calor específico de las paredes, en este caso es del ladrillo refractario y lana de vidrio.

$$\text{Calor específico del producto } c_3 = 2,18 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}$$

$$\text{Por lo tanto } C_3 = 5,58 \text{ Kg} * 2,18 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}$$

$$C_3 = 12,16 \frac{\text{KJ}}{^\circ\text{K}}$$

2.3.2.4 Cálculo de la potencia de alimentación P

La fuente de voltaje $V = 220 \text{ V}$, por tanto la potencia se puede expresar de la siguiente manera:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{V^2}{R} = Vi \quad (10)$$

Donde i es la corriente eléctrica; es la variación de la carga q en la unidad del tiempo.

$$i = \frac{dq}{dt}$$

Reemplazando los valores de las capacitancias y la potencia en la expresión (9) se obtiene:

$$\tau \frac{d^2 T_1}{dt^2} + \frac{(C_1 + C_2 + C_3)}{(C_2 + C_3)} \frac{dT_1}{dt} = \frac{U^2}{R} \frac{1}{(C_2 + C_3)}$$

$$\tau \frac{d^2 T_1}{dt^2} + \frac{(0,1932 + 0,0023 + 12,16) \frac{KJ}{^\circ K}}{(0,0023 + 12,16) \frac{KJ}{^\circ K}} \frac{dT_1}{dt} = Vi \frac{1}{(0,0023 + 12,16) \frac{KJ}{^\circ K}}$$

$$\tau \frac{d^2 T_1}{dt^2} + \frac{(12,355) \frac{KJ}{^\circ K}}{(12,16) \frac{KJ}{^\circ K}} \frac{dT_1}{dt} = 220 \frac{1}{(12,16) \frac{KJ}{^\circ K}} \frac{dq}{dt}$$

$$\tau \frac{d^2 T_1}{dt^2} + 1,016 \frac{dT_1}{dt} = 18,09 \frac{dq}{dt} \quad (11)$$

2.3.2.5 Función de transferencia.

Aplicando transformada de Laplace y simplificando la expresión se obtiene la función de transferencia teórica de la planta:

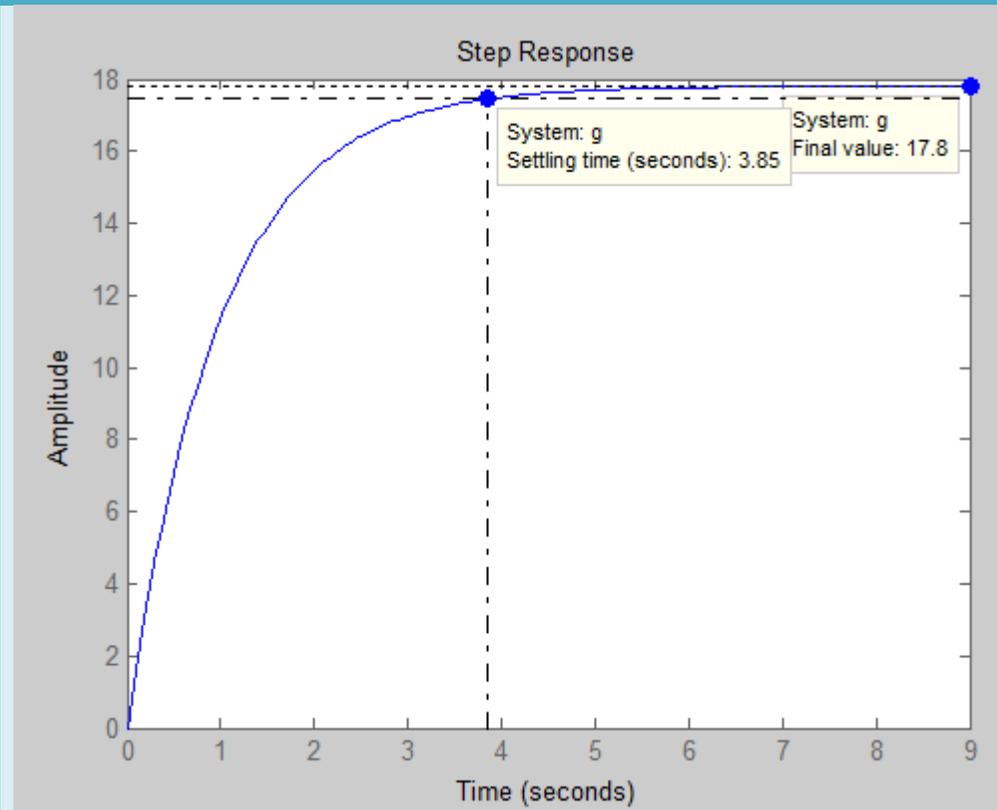
$$\frac{T(s)}{q(s)} = G(s)_{TP} = \frac{18,09}{\tau s + 1,016} \quad (12)$$

2.3.2.5.1 Temperatura sin controlador

El análisis se basa en ver qué tiempo de establecimiento tiene nuestra planta y si tiene o no sobre impulso; a partir de estos parámetros obtenidos en la gráfica se diseñará un controlador ideal que cubra las demandas del problema propuesto.

Primero se determinara los parámetros necesarios para el diseño del controlador a partir de la gráfica de respuesta de la planta a un escalón unitario.

Grafica de respuesta de la planta a un escalon unitario sin controlador



Código en MATLAB

```
clc
n=[18.09];
d=[1 1.016];
g=tf(n,d)
step(g)
```

Parámetros Obtenidos

- $T_s=3.85$
- MP=no tiene
- Error= 0%

Respuesta de la planta a un impulso unitario sin controlador

Nombre del archivo:

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

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

2.3.2.5.2 Determinación del Controlador

Una vez definido los parámetros necesario que tiene que llegar a alcanzar la planta de temperatura, se diseñará un controlador PID ya que este es un controlador muy utilizado en la plantas de temperaturas dentro del ámbito educativo e industrial.

2.3.2.5.3 Diseño del controlador PID por el LGR

El controlador PID se diseñar por el LGR ya que los métodos de sintonización no es factible por el motivo de que la respuesta a un escalón unitario de la planta no tiene de S.

Cálculos Teóricos:

$$\%Mp = e^{-\left(\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right)}$$

$$\ln(0.2) = \frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}$$

$$2.59 - 2.59\xi^2 = 9.87\xi^2$$

$$12.46\xi^2 = 2.59$$

$$\xi = 0.456$$

$$t_s = \left(\frac{4}{\xi W_n} \right)$$

$$W_n = \frac{4}{\xi t_s} = \frac{4}{0.456(159)}$$

$$W_n = 0.055$$

Calculo de polo dominante deseado:

$$s = \xi W_n \pm W_n \sqrt{1 - \xi^2} j$$

$$s = -0.456 * 0.055 \pm 0.055 \sqrt{1 - 0.456^2} j$$

$$s = -0.025 \pm 0.049j$$

Calculo del controlador PID:

$$G_c(s) = \frac{K(s + a)(s + b)}{s}$$

Suponiendo que a=18:

$$G(s) = \frac{18.09}{s + 1.016}$$

$$FDT = \frac{18.09K(s + 18)(s + b)}{s(s + 1.016)} \Big|_{s = -0.025 + 0.049j}$$

$$FDT = \frac{18.09K(17.975 + 0.049j)(-0.025 + 0.049j + b)}{(-0.025 + 0.049j)(0.991 + 0.049j)}$$

Condición de fase:

$$\theta_1 = 180^\circ - \tan^{-1} \left(\frac{0.049}{-0.025} \right) = 117.03^\circ$$

$$\theta_2 = 180^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{0.049}{0.991}\right) = 177.17^\circ$$

$$\phi_1 = 180^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{0.049}{17.975}\right) = 179.84^\circ$$

$$\Sigma p_i - \Sigma z_i = 180^\circ$$

$$\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 - \phi_1 - \phi_2 = 180^\circ$$

$$\phi_2 = 117.03^\circ + 177.17^\circ - 179.84^\circ - 180^\circ$$

$$\phi_2 = -65.64^\circ$$

$$\phi_2 = \tan^{-1}\left(\frac{0.049}{b - 0.025}\right)$$

$$\tan(65.64^\circ) = \frac{0.049}{b - 0.025}$$

$$-2.21b + 4.88 = 0.049$$

$$b = 2.186$$

Condición de Magnitud:

$$|G(s)H(s)| = 1$$

$$\left| \frac{18.09K(\sqrt{17.975^2 + 0.049^2})(\sqrt{2.16^2 + 0.049^2})}{(\sqrt{0.025^2 + 0.049^2})(\sqrt{0.991^2 + 0.049^2})} \right| = 1$$

$$\left| \frac{K(702.5456)}{(0.05458)} \right| = 1$$

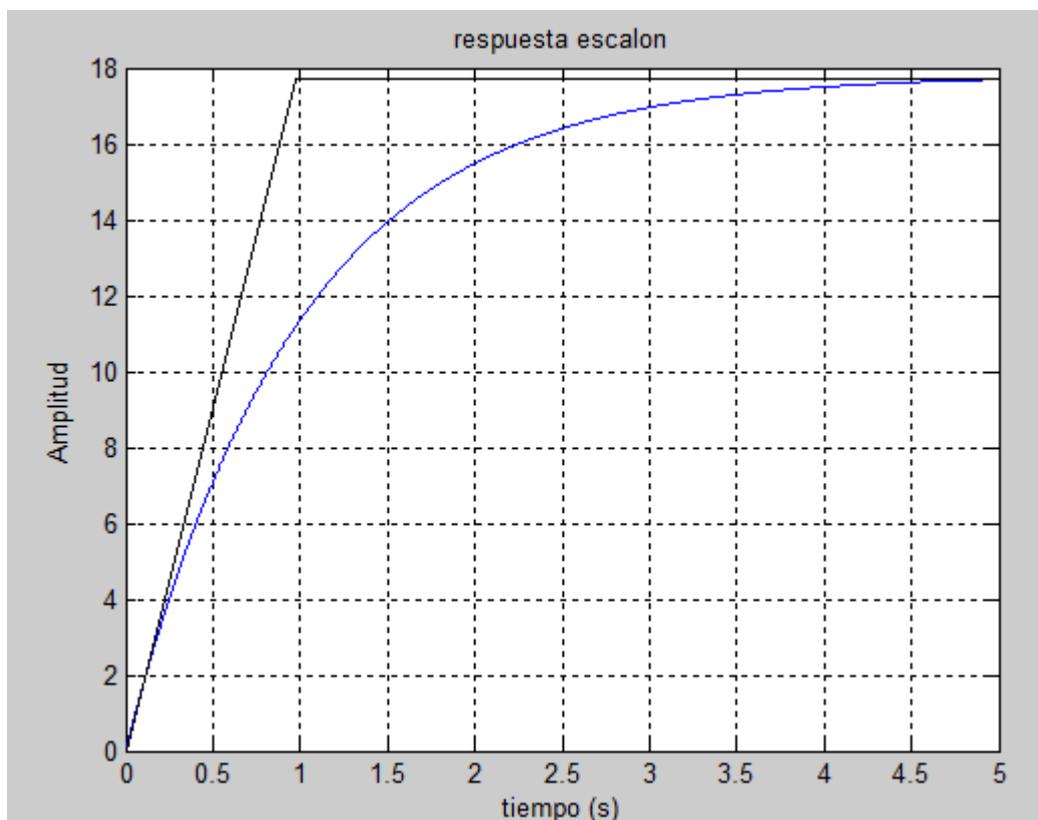
$$K = 0.0000777$$

Controlador PID;

$$G_c(s) = \frac{K(s + a)(s + b)}{s}$$

$$G_c(s) = \frac{0.0000777(s + 18.09)(s + 2.186)}{s}$$

Sintonización de PID método grafico de Ziegler - Nichols:



1. Ziegler-Nichols/ Matlab

Valores en base a la gráfica:

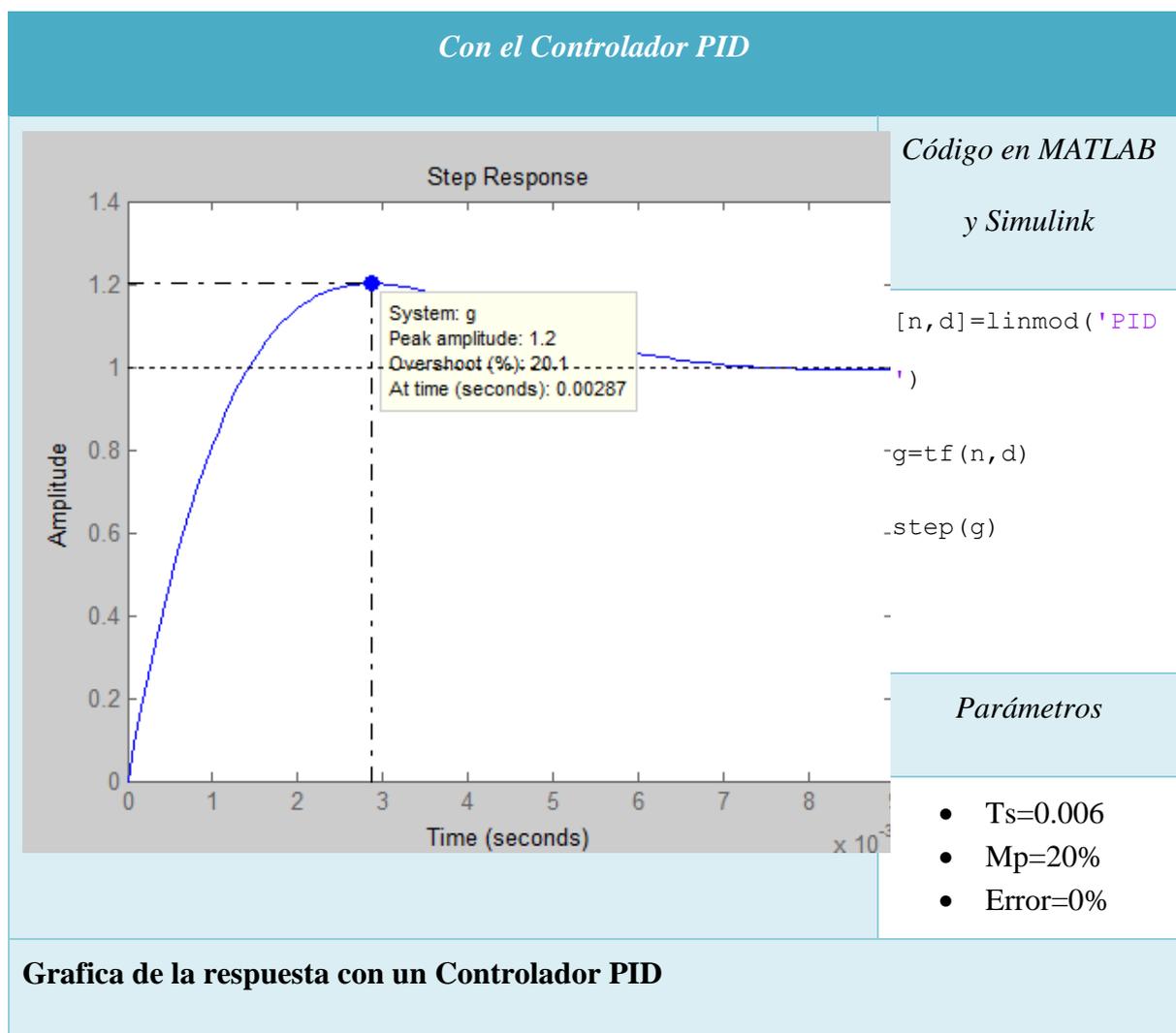
$$L=0.001$$

$$\tau=0.9786$$

$K=17.8$

Controlador	Kp	Ki	Kd
Proporcional	54.9775	-	-
Proporcional Integral	49.4798	14843.9326	-
Proporcional Integral Derivativo	65.973	32986.5169	0.05

Ya calculado el controlador PID se implementara a la planta y se observara si cumple los parámetros que pedían en el problema.



Criterio de Sintonización Método de la Ganancia Máxima:

$$G_c(s) = \frac{K_p}{T_i s} + K_p + K_p T_d s$$

$$K_p = 62$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i s} = 32986.5169$$

$$K_d = K_p T_d = 0.05$$

2.4 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.

2.4.1 CONTROLADOR DE TEMPERATURA.

“El controlador de temperatura es un dispositivo con el cual se establece la temperatura que se desea de un medio ambiente, con este dispositivo se monitorea la temperatura, y se produce una orden de cambio de ésta misma, que se hace mediante un control inalámbrico o una computadora, en ambos controles (computadora y control inalámbrico) se observa en todo momento la temperatura actual”. (Flores).

Los controladores de temperatura son instrumentos que compara la señal del sensor, es decir mantiene tan cerca como sea posible, el equilibrio entre la temperatura medida y la temperatura deseada.



Figura 29. Controlador de temperatura TOKY TE-W

Fuente: <http://www.saithongelectric.com>

A continuación se presenta las características más sobresalientes del controlador de temperatura.

Tabla 17. Características del control de temperatura.

CONTROLADOR DE TEMPERATURA	
PRECIO	BAJO
TAMAÑO	POCO ESPACIO
DISPONIBILIDAD	ALTO
SOFTWARE	N/A
PRECISION	ALTO
REPARACION	SI
PROGRAMACION	FACIL

2.4.1.1.1 Características.

Está equipado con entrada para termocupla tipo k, termo resistencia Pt100, 50 μ m, además cuenta con salida de relé, salida de relé con PID, salida SSR con PID, alarma y su temperatura puede ser configurada para mostrar en grados centígrados y en grados Fahrenheit.

2.4.1.1.2 Especificaciones.

- ✓ Voltaje operativo de suministro: AC20 265V o dc20 360V
- ✓ Consumo de energía: \leq 2 vatios
- ✓ Velocidad de muestreo: 4 / seg
- ✓ SSR tensión activado: Circuito abierto: 8V; Cortocircuito: 30 mA.

- ✓ Precisión: 0,2% del fondo de escala
- ✓ Pantalla led de color rojo: 0,28 pulgadas
- ✓ Indicación de fuera de rango: “EEEE”
- ✓ Requisito de temperatura ambiente: 0 +50 grados c
- ✓ Humedad volumen de contacto: AC 220V / 3A
- ✓ Dimensión del regulador: 48 * 48 * 82 (mm)
- ✓ Apertura para la instalación: 45 * 45 (mm)

2.4.1.1.3 Ilustraciones del panel y descripciones.

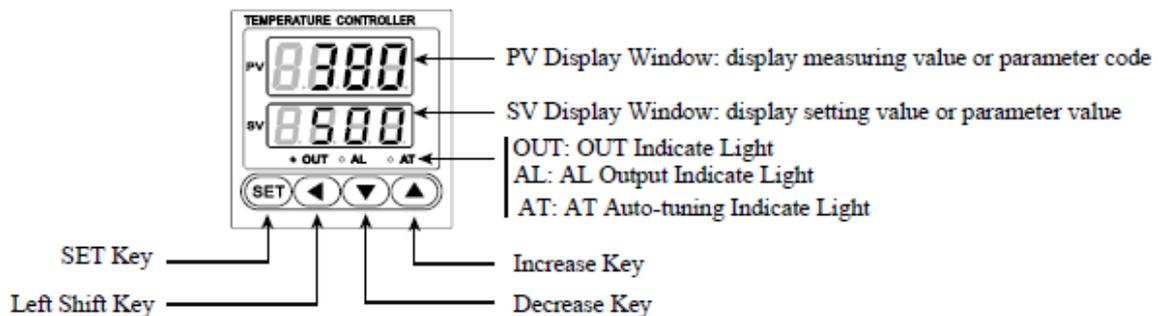


Figura 30. Descripción del controlador de temperatura

Fuente: <http://www.saithongelectric.com>

- ✓ PV, indicador del valor de medición.
- ✓ SV, indicador del valor de ajuste.
- ✓ OUT, indicador de salida.
- ✓ SET, configuración / confirmación.
- ✓ dígitos de selección
- ✓ seleccione siguiente parámetro / incremento del valor
- ✓ selección parámetro anterior / valor del decremento

2.4.1.2 Relé de estado sólido.

Un relé de estado sólido SSR (Solid State Relay), es un circuito electrónico que contiene en su interior un circuito disparado por nivel, acoplado a un interruptor semiconductor, un transistor o un tiristor. Por SSR se entenderá un producto construido y comprobado en una fábrica, no un dispositivo formado por componentes independientes que se han montado sobre una placa de circuito impreso.

2.4.1.2.1 Estructura del SSR.

2.4.1.2.1.1 Circuito de entrada o de control.

2.4.1.2.1.1.1 Control por tensión continua:

El circuito de entrada suele ser un led (Fotodiodo), solo o con una resistencia en serie, también podemos encontrarlo con un diodo en antiparalelo para evitar la inversión de la polaridad por accidente. Los niveles de entrada son compatibles con TTL, CMOS, y otros valores normalizados (12V, 24V; etc.).

2.4.1.2.1.1.2 Control por tensión alterna:

El circuito de entrada suele ser como el anterior incorporando un puente rectificador integrado y una fuente de corriente continua para polarizar el diodo led.

2.4.1.2.1.2 Acoplamiento.

El acoplamiento con el circuito se realiza por medio de un optoacoplador o por medio de un transformador que se encuentra acoplado de forma magnética con el circuito de disparo del Triac.

2.4.1.2.1.3 Circuito de conmutación o de salida.

El circuito de salida contiene los dispositivos semiconductores de potencia con su correspondiente circuito excitador. Este circuito será diferente según queramos conmutar CC, CA.

2.4.1.2.2 Ventajas de utilizar relés de estado sólido.

- ✓ Vida prácticamente ilimitada si se dimensiona y utilizan de forma adecuada.
- ✓ Los SSR proporcionan un funcionamiento totalmente silencioso.
- ✓ Los SSR pueden funcionar en cualquier posición, son inmunes a los choques y vibraciones, que no intervienen en su funcionamiento, por lo que proporcionan muy buen rendimiento en áreas industriales.
- ✓ Los SSR no se ven afectados por contaminantes atmosféricos.
- ✓ No tiene contactos móviles que se desgasten con el uso o puedan producir arcos de señal.
- ✓ Los SSR no se ven afectados en absoluto por los campos electromagnéticos.
- ✓ Los SSR proporcionan una respuesta muy rápida (hasta 0,02 ms en los modelos de conmutación aleatoria).

2.4.1.3 Indicadores.

2.4.1.3.1 Indicador Luminoso

En la implementación del sistema un indicador de este tipo, representara el correcto funcionamiento de la máquina.



Figura 31. Indicador Luminoso

Fuente: www.promelsa.com.pe

2.4.1.3.2 Parada de emergencia.

Los dispositivos de parada de emergencia deben ser instalados en todas aquellas máquinas en las cuales existan peligros de tipo mecánico durante las condiciones normales de trabajo.

La función principal del dispositivo de parada de emergencia es la de parar la máquina lo más rápidamente posible, es un auxiliar de mando dispuesto en el circuito auxiliar de modo que, al ser accionado, todos los circuitos que puedan originar peligro queden desconectados.



Figura 32. Parada de emergencia.

Fuente: www.aliexpress.com

2.4.1.3.3 Termocupla.

La termocupla Tipo K es la más usada en la industria, y pueden ser utilizadas en forma continua en atmósferas oxidantes, inertes hasta una temperatura de 1260 °C, y son las más satisfactorias para el uso en atmósferas reductoras, o sulfurosas y en vacío”. (Sensores de temperatura, pág. 146).

La termocupla tipo K se la prefirió por que se pueden utilizar para medir temperaturas desde los – 200°C hasta 1372°C.



Figura 33. Termocupla tipo K

Fuente: http://poliempack.com/catalogo/product_info

La termocupla tiene las siguientes características:

- Tipo Sensor "K" (Cromel-Alumel).
- Elemento: Sencillo 2 Hilos.
- Calibre: 14, 8.
- Longitud: 3".
- Diámetros: ¼, .
- Aislador cerámico.

En la tabla 18, se detalla los materiales y elementos electrónicos a utilizar en el horno.

Tabla 18. Materiales y equipos a utilizar

MATERIALES Y EQUIPOS A UTILIZAR		
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	15	LADRILLOS REFRACTARIOS
2	1	LANA DE VIDRIO
3	1	MORTERO REFRACTARIO
4	1	CHAPA METALICA
5	1	TERMOCUPLA TIPO K
6	1	CONTROLADOR DE TEMPERATURA
7	1	RELE DE ESTADO SOLIDO
8	1	INDICADOR LUMINOSO
9	1	PARADA DE EMERGENCIA
10	1	SWITCH

CAPÍTULO III.

3 IMPLEMENTACION Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

3.1 CONSTRUCCIÓN DEL HORNO MUFLA.

Para la construcción del horno mufla se utiliza el ladrillo refractario como el componente principal para formar la cámara de calentamiento, seguido del cemento refractario y de una lana de vidrio, la misma, que impide fugas de calor al exterior del horno. Además se ha tomado en cuenta las dimensiones de las cámaras de calentamiento existentes. Solo cuando se han determinado los materiales de construcción y todas las exigencias que influyen en el diseño de la cámara de calentamiento del horno mufla, se puede ejecutar la construcción definitiva de este.



Figura 34. Materiales de la cámara de calentamiento

3.1.1 CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA INTERNA DEL HORNO MUFLA

La construcción de la cámara de calentamiento se realizó con las dimensiones 20x17x20cm. Hay que mencionar que el material que se utiliza en la construcción es ladrillo refractario JM – 23, mortero refractario Súper Aerofrax y lana de vidrio Kaowool. En las paredes laterales y

pared posterior de esta cámara existen cuatro canales en los cuales van alojadas las resistencias que servirán para el calentamiento del horno mufla, además de un orificio, en el que se colocará a la termocupla para que cense la temperatura dentro de la cámara de calentamiento.



Figura 35. Dimensiones de la cámara de calentamiento

3.1.1.1 Recubrimiento exterior de la cámara interna.

Para el recubrimiento exterior de la cámara interna se utilizó la chapa metálica que se encuentra después de la capa de ladrillo refractario y la capa de lana de vidrio, esto formará una especie de protección para los materiales que constituyen la cámara de calentamiento y además evitara que existan fugas de calor hacia el exterior del horno. También protegerá a los elementos electrónicos de posible sobrecalentamiento de los mismos, ya que se encuentran cerca de la cámara de calentamiento.

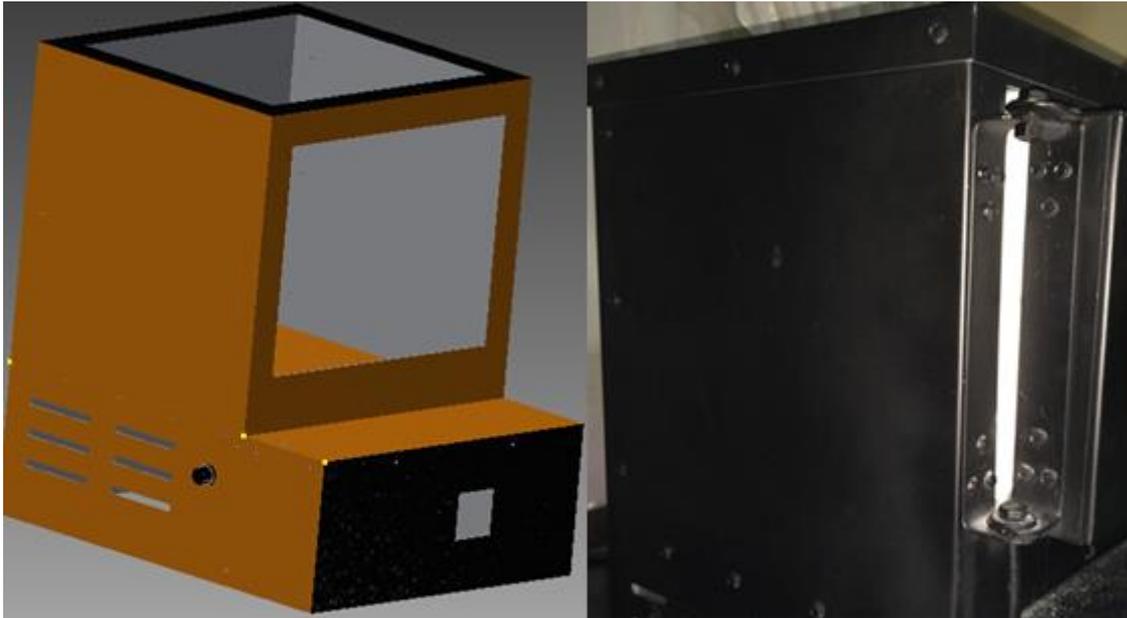


Figura 36. Chapa metálica para el exterior del horno

3.1.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Para el control de temperatura de este horno mufla se ha utilizado un controlador de temperatura, el mismo, que tiene la capacidad de mantener la temperatura adecuada en el horno, además de una termocupla tipo K que censa la temperatura dentro de la cámara interna y es muy utilizado industrialmente, también dispone de una luz indicadora y de paro de emergencia en caso de existir algún daño en el equipo. Para seguridad del equipo se ha instalado un fusible, el mismo que sirve para proteger a los elementos electrónicos en caso de algún fallo internamente.



Figura 37. Horno mufla automatizado

3.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO.

- ✓ Dimensiones: Ancho=33cm Alto=55cm Profundidad=40cm
- ✓ Potencia =3300W
- ✓ Alimentación=220V
- ✓ Amperaje=15^a
- ✓ 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

3.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

En las pruebas de funcionamiento se tendrá en cuenta las curvas de calentamiento del horno mufla en forma teórica y en forma práctica o real.

Para obtener la curva de calentamiento del horno se utilizará la ecuación (12), que es la del tiempo de calentamiento del aire en el interior del horno.

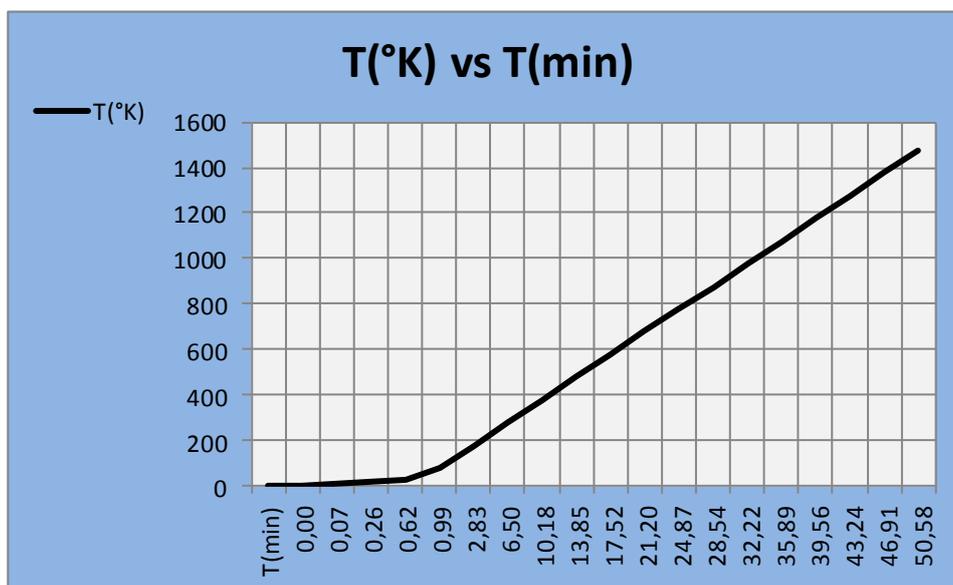


Gráfico 1. Curva teórica de calentamiento del horno

En el gráfico 1 se puede observar el tiempo que se demora en llegar hasta la temperatura deseada, esta curva de calentamiento es en forma teórica.

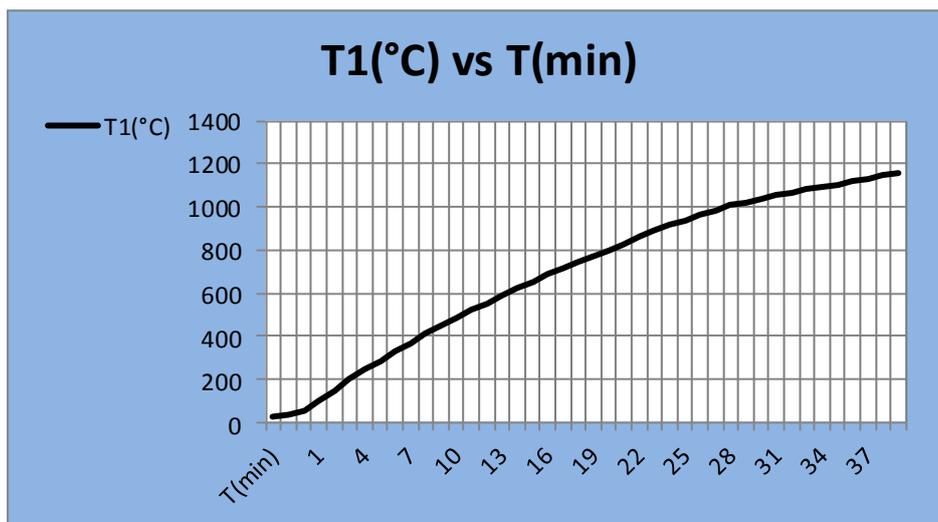


Gráfico 2. Curva práctica de calentamiento del horno

En el gráfico 2 se obtiene la curva práctica de calentamiento del horno con una pequeña diferencia en el momento que inicia la curva y con un mínimo porcentaje de error del 5%.

3.3.1 PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA LA CALIBRACIÓN DEL HORNO MUFLA.

La calibración del horno mufla depende mucho del controlador de temperatura, en el cual se debe hacer ciertos ajustes de los parámetros, es decir, ajustar el valor de la alarma según la temperatura que se desee alcanzar.

Tabla 19. 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 histeresis	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 contraseña	0

Los valores a tomar en cuenta es el valor de la alarma y los valores del PID.

3.4 ANALISIS DE RESULTADOS.

Una vez construido el horno mufla se procede a realizar las pruebas para calibrar, evidenciar y aprobar su funcionamiento. Se realizó varias pruebas de calentamiento del horno para de esta manera obtener las curvas características de tiempo vs temperatura.

Tabla 20. Pruebas de temperatura del horno

T(min)	T(°K)	T1(°C)	T2(°C)	T3(°C)	Tprom(°C)
0	296,15	23	23	23	23
0,3	311,15	38	41	39	39,3
1	323,15	50	52	51	51
2	372,15	99	103	102	101,33
3	422,15	149	151	153	151
4	470,15	197	200	202	199,67
5	521,15	248	252	251	250,33
6	561,15	288	291	293	290,67
7	602,15	329	330	337	332,00
8	640,15	367	369	380	372,00
9	683,15	410	408	423	413,67
10	722,15	449	447	466	454,00
11	758,15	485	482	488	485,00
12	793,15	520	517	515	517,33
13	828,15	555	552	532	546,33
14	863,15	590	587	554	577,00
15	898,15	625	622	576	607,67
16	928,15	655	657	618	643,33
17	958,15	685	692	660	679,00
18	988,15	715	727	702	714,67
19	1018,15	745	762	744	750,33
20	1048,15	775	797	786	786,00
21	1076,15	803	822	816	813,67
22	1104,15	831	847	846	841,33
23	1132,15	859	872	876	869,00
24	1160,15	887	897	906	896,67
25	1188,15	915	922	936	924,33
26	1211,15	938	943	955	945,33
27	1234,15	961	964	974	966,33
28	1257,15	984	985	993	987,33
29	1280,15	1007	1006	1012	1008,33
30	1295,15	1022	1027	1031	1026,67
31	1310,15	1037	1041	1044	1040,67
32	1325,15	1052	1055	1057	1054,67
33	1340,15	1067	1069	1070	1068,67
34	1353,15	1080	1083	1083	1082,00
35	1366,15	1093	1097	1096	1095,33
36	1379,15	1106	1110	1117	1111,00
37	1392,15	1119	1123	1129	1123,67
38	1405,15	1132	1136	1141	1136,33
39	1418,15	1145	1149	1153	1149,00
40	1431,15	1158	1162	1165	1161,67

Las pruebas realizadas en el horno nos dan a entender que en los primeros cinco minutos la temperatura es constante hasta alcanzar una temperatura de 250 °C, luego de este tiempo existe una disminución de temperatura debido a que hay pequeñas pérdidas de calor por las paredes, orificios y por la puerta. El tiempo en alcanzar los 1000°C es de media hora, comprobando así que el horno mufla es totalmente eficiente.

3.4.1 INTERPRETACION DE RESULTADOS

Los hornos muflas son muy utilizadas para realización de tratamientos térmicos, esto se debe a que son de fácil manejo, no presenta peligro alguno al trabajar en el laboratorio.

La construcción del horno mufla de tipo eléctrico el cual consta de resistencias eléctricas alrededor de la cámara de calentamiento, situadas en paredes laterales y pared posterior permiten que se llegue a alcanzar la temperatura deseada de 1000 °C.

Una adecuada selección de materiales y procesos, garantiza al diseñador del equipo su correcto funcionamiento. La fabricación del horno mufla se realizó de acuerdo con las propiedades exigidas por el equipo a diseñar y sustentado con criterios como disponibilidad, vida de servicio, factores ambientales, costos, ser inagotables y siempre disponibles para su reemplazo, que sea fuerte, rígido, y dimensionalmente estable a diferentes temperaturas, liviano, resistente a la corrosión y al desgaste, resistencia al choque térmico, espesores, reducir el ruido, tener alta refractariedad.

El horno mufla eléctrico es diseñado como un equipo avanzado que alcanza temperaturas muy elevadas. Las dimensiones adoptadas para la cámara interna del horno mufla fueron 20 x 17 x 20 cm, dándonos así un espacio amplio y adecuado para la realización de pruebas en tratamientos térmicos, además los materiales utilizados potencian la mejor adaptación y el

menor tiempo q se emplea para alcanzar las altas temperaturas deseadas. Una vez construido el horno en su totalidad se obtiene un diseño dinámico y fácil de usar a todo nivel q se requiera por ejemplo a nivel estudiantil, docente y/o de manera industrial.

Las pruebas de funcionamiento realizadas en el horno demuestran claramente el calentamiento rápido y constante hasta la temperatura de 250°C en un tiempo de 5 minutos, a razón de 50°C por minuto, luego a los 10 minutos alcanzando una temperatura de 450°C, sufriendo una descenso de temperatura de 50 °C con respecto a la temperatura que se mantenía constante en los primeros 5 minutos, en los 19 minutos se consigue obtener la temperatura de 750°C, esto se debe a que pierde una mínima cantidad de calor por las paredes y puerta, aumentando así el tiempo necesario para alcanzar la temperatura máxima.

El tiempo que se demora en calentarse el horno desde temperatura ambiente hasta temperatura de 1100°C es de 36 minutos, comprobando así que el horno es sumamente eficiente.

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1 CONCLUSIONES

- ✓ Mediante la implementación de este proyecto se pudo aplicar todos los conocimientos adquiridos en la carrera universitaria, además de permitir a los estudiantes conocer el proceso de realizar un tratamiento térmico en las piezas.
- ✓ Se diseñó y construyó un horno mufla para tratamientos térmicos en el acero, por su utilización en el laboratorio, los criterios de diseño de la cámara de calentamiento son: ancho (20cm), altura (17cm), profundidad (20cm).
- ✓ El tipo de materiales para la construcción del horno se seleccionó de acuerdo a los requerimientos y parámetros que se establecieron en el diseño del mismo. Se seleccionó el ladrillo refractario JM23, mortero superaerofrax, lana de vidrio, chapa metálica, para el sistema de control de temperatura se seleccionó la termocupla tipo K, controlador de temperatura, para generar la cantidad de calor necesaria se adquirió resistencias de hilo kantal.
- ✓ El tiempo de calentamiento del horno mufla es totalmente reducido, esto se debe a que se construyó con materiales adecuados para soportar altas temperaturas, es así que se cumple con los objetivos propuestos en el diseño del sistema.
- ✓ El calor transmitido hacia las paredes externas del horno es mínima, debido al dimensionamiento de las paredes que nos permiten tener una temperatura muy baja, es así que evitara sufrir quemaduras a los operarios de la máquina.

- ✓ Un horno eléctrico ocupa menos espacio y su funcionamiento es de inmediato luego de haber sido energizado, la eficiencia de este, se puede aumentar precalentando el mismo antes de realizar un tratamiento térmico.
- ✓ Los hornos eléctricos de resistencias son preferidos por la uniformidad de calentamiento, mayor precisión en un proceso, mayor seguridad, mejora las condiciones ambientales en el laboratorio y por la pureza que se mantiene durante el proceso térmico.
- ✓ El costo de mantenimiento de un horno eléctrico de resistencias es bastante bajo y el sistema más exacto para mantener la temperatura en el interior del horno fue mediante el uso del controlador de temperatura.
- ✓ El resultado del calentamiento del horno fue muy satisfactorio como lo indican las tablas y resultados obtenidos, es así el tiempo que se tarda en llegar a temperatura máxima es de 40 minutos y su enfriamiento total requiere un tiempo de dos horas.

4.2 RECOMENDACIONES.

- ✓ Para un buen uso y obtener un mejor rendimiento del horno es recomendable leer y estudiar el manual de usuario para garantizar la correcta manipulación y un óptimo funcionamiento de la máquina.
- ✓ Se deberá tener cuidado de no sobrepasar la temperatura máxima del horno eléctrico (1000°C), caso contrario podría deteriorar la termocupla, de ser así se recomienda cambiarla.
- ✓ En caso de presentarse algún inconveniente, es necesario pulsar el paro de emergencia, para detener todo el proceso y así evitar cualquier tipo de accidentes.
- ✓ Se recomienda utilizar equipo de protección y seguridad industrial básicos para trabajar en ambientes de temperatura elevada y sobre todo para tratamientos térmicos la utilización de gafas de protección y guantes de amianto.
- ✓ El controlador de temperatura deberá ser manipulado por una persona autorizada, ya que una manipulación incorrecta podría afectar seriamente en los equipos de control.
- ✓ Revisar el estado de la resistencia ya que esta da la pauta para el calentamiento del horno.
- ✓ Se debe hacer el mantenimiento electrónico cada 6 meses debido a que pueden afectarse estos dispositivos electrónicos y causar el mal funcionamiento de la máquina.

CAPITULO V

5 MATERIALES DE REFERENCIA

5.1 BIBLIOGRAFÍA.

LIBROS:

J. A. Pero- Sanz Elorz. (2000). *"Ciencia e Ingeniería de los Materiales: estructura y propiedades"*.

D. R. ASKELAND. (2001). *"Ciencia e Ingeniería de los Materiales"*, Editorial Paraninfo-Thomson Learning.

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.

ASTIGARRAGA, Julio y AGUIRRE, José Luís. (1999) *Hornos Industriales de resistencia eléctrica*. 6 ed.

Pat L. Mangonon, Ph.D., P.E., FASM (2001). *Ciencia de los materiales selección y diseño*.

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

Rayo, G.D.; Bañuelos, M.A.; Castillo, J.; Pérez, J.L.; Pérez, J.S. *"Control de temperatura de un horno industrial de secado utilizando un PID analógico"*.

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 térmicos*.
- Donald Q. Kern. (2008). *Procesos de transferencia de calor*.
- INCROPERA, F. (2008). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. México: Prentice Hall.
- VALENZUELA, R. (2003). *Apuntes de Transferencia de Calor*. Ecuador: Riobamba.
- Dr. Ing. E. h., Gelissen. *Técnica de los procesos electrotérmicos industriales*.
- William I. Haberman, James E. A. John. *Termodinámica para ingeniería con transferencia de calor*.
- Dipl. Ing. Martin Thiem. Termotecnia. *Manual del ingeniero técnico*, vol. XX
- SHIGLEY. (2006). *Mechanical Engineering Design*. (Octava Edición).
- Dr. Ing. JOSE M. LASHERAS ESTEBAN. *Materiales industriales*.
- LOPEZ LOBO, JAIME Y OROZCO HINCAPIE, CARLOS ALBERTO. *Dinámica de Sistemas Térmico*
- Bolton, W. (2010). *Mecatrónica: Sistemas de control electrónico en la ingeniería Mecánica y eléctrica* (Tercera ed.).México: Alfaomega
- OROZCO HINCAPIE, CARLOS ALBERTO. *Optimización del diseño de aislamientos térmicos para superficies calientes*.
- Katsuhiko Ogata. “*Ingeniería de Control Moderna*”. Prentice Hall, 2003.
- Nise, Norman S. “*Sistemas de Control para Ingeniería*”. 3ra edición. CECSA, 2002
- HIDALGO, B. *Estudio de Factibilidad para la Rehabilitación de un Horno de Tratamientos Térmicos*. ESPOCH Ecuador: Riobamba, 2008. (Tesis)
- THE MATH WORKS Inc. Matlab versión 6.5 *Professional*.

5.2 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>.

Tratamientos térmicos del acero. Recuperado de: <http://cursos.aiu.edu/Procesos%20Industriales/PDF/Tema%202.pdf>

Controladores de temperatura. Recuperado de: <http://ab.rockwellautomation.com/es/sensors-switches/temperature-sensors/temperature-controller>.

Fundamentos del control automático industrial. Recuperado de: http://www.sapiensman.com/control_automatico.htm.

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

Equipos para tratamientos térmicos. Recuperado de: <http://www.emison.com/207.htm>

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

Vulka. Galeria de fotos de hornos industriales http://galeria.vulka.es/foto/hornos_13441.html

http://www.sapiensman.com/control_automatico.htm

ORDOÑEZ, S. Hornos Eléctricos, Universidad de Santiago de Chile, Depto. de Ingeniería Metalúrgica, Recuperado de:

<http://www.metalurgiausach.cl/TECNICAS%20EXPERIMENTALES/UNID8.pdf>

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>.

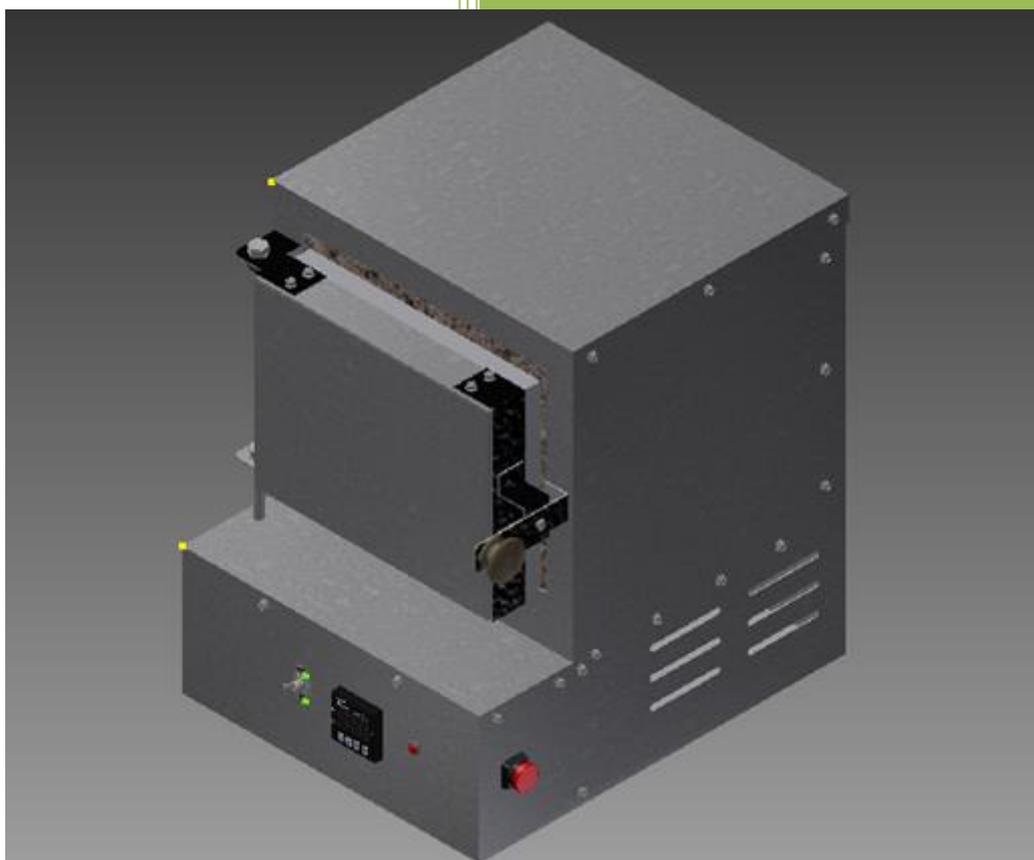
LECCIÓN 10. Hornos de resistencias. Recuperado de: <http://www.etsimo.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.Hornos.RESISTENCIAS.2006.pdf>

ANEXO A

Manual de usuario y mantenimiento de la máquina

2015

HORNO MUFLA PARA LA REALIZACION DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN ACEROS.



El horno mufla es aquel que puede generar elevadas temperaturas. Además, este equipo le servirá al usuario para calentar materiales que son sometidos a distintos procesos de tratamiento térmico.

ADVERTENCIAS DE SEGURIDAD



- Antes de usar el horno, compruebe que el voltaje de la red eléctrica sea de 220 VAC bifásico.
- El horno debe ser ubicada en una zona firme y nivelada.
- Este horno ha sido fabricado exclusivamente para tratamientos térmicos en los aceros, por lo que utilizarlo para otro uso se considera indebido y por consiguiente peligroso.
- El fabricante no puede considerarse responsable de los daños derivados de un uso indebido, incorrecto o irracional.
- Bajo ningún concepto debe abrir el tablero de control de éste horno mientras no se tenga un conocimiento adecuado de su funcionamiento y sus partes.
- En caso de avería o de funcionamiento incorrecto del horno, apáguelo y desenchúfelo de la corriente eléctrica.
- El horno está diseñado únicamente para calentar aceros.
- No toque las superficies calientes. Use las manijas y perillas. Emplee guantes cuando coloque o remueva objetos del horno.
- Deje al menos un espacio libre de 30 cm alrededor del horno que permita una adecuada circulación del aire.
- Antes de enchufar el horno verifique que la misma se encuentre apagada y el fusible se encuentre en perfectas condiciones.

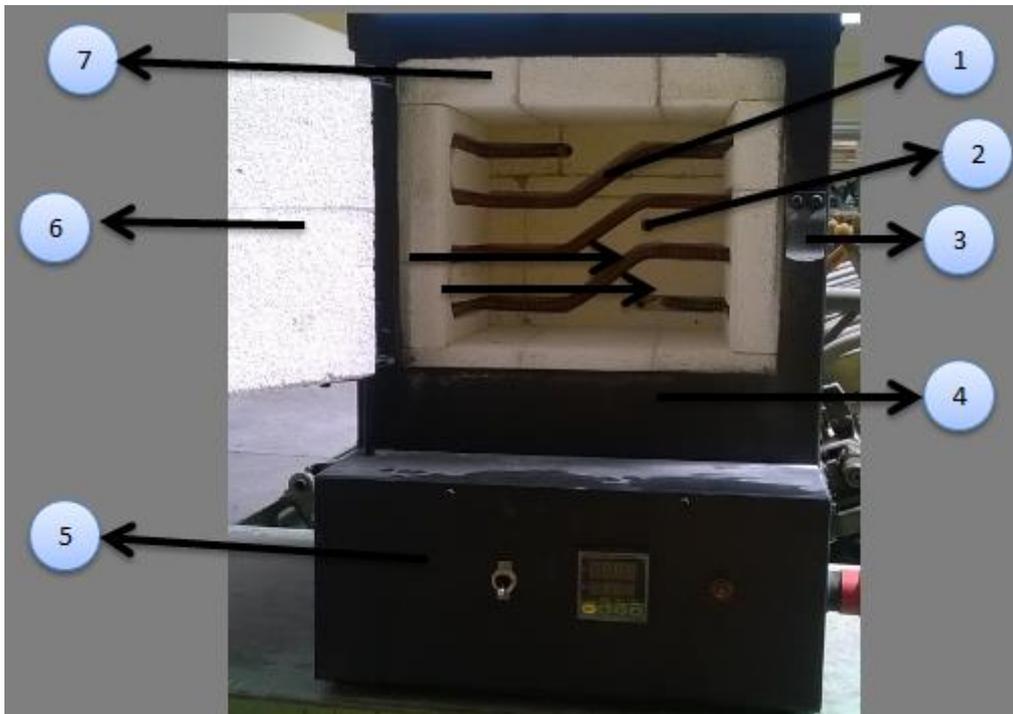
- Nunca permita que algo quede en contacto con el elemento calefactor dentro del horno.
- La superficie de la puerta y partes exteriores pueden tornarse muy caliente durante el funcionamiento del horno.
- En caso de no tener tomacorriente con tres espigas, **BAJO NINGUNA CIRCUNSTANCIA** puede cambiarse la ficha del horno por otra de dos espigas, ni usar adaptadores, ya que se anula la protección efectiva de la toma a tierra.
- Cumplir con las señalizaciones de advertencia y peligro ubicadas en la máquina como prevención de posibles fallas por parte del usuario.

INTRODUCCIÓN

El horno mufla permite calentar piezas desde temperatura ambiente hasta temperatura de los 1000°C, es así que, en este rango de temperatura se puede realizar cualquier tipo de tratamiento térmico. Este proceso es controlado mediante un controlador de temperatura que procesa la señal del sensor de temperatura que posee el horno.

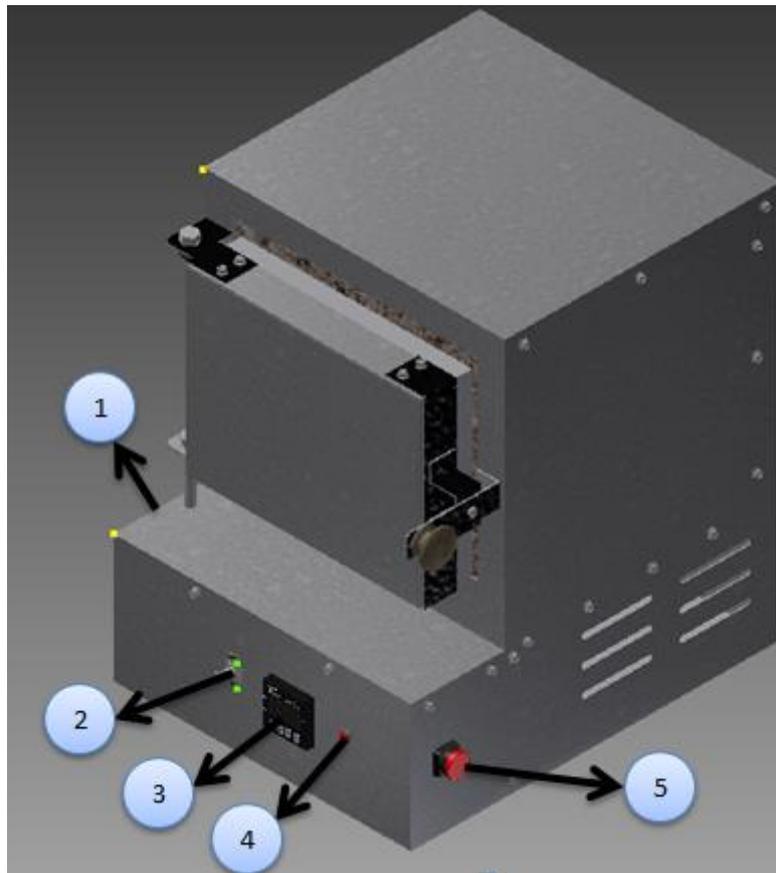
En este manual se muestra información acerca de los componentes del horno, su uso y la forma de lograr que funcione correctamente y de corregir los posibles problemas que se presenten antes, durante y después de su uso.

COMPONENTES DE LA MÁQUINA



COMPONENTES DE LA MAQUINA		
NUMERO	NOMBRE	DESCRIPCION
1	RESISTENCIA ELECTRICA	SON LAS ENCARGADAS DE DAR CALOR AL HORNO
2	SENSOR DE TEMPERATURA	CENSA LA TEMPERATURA EN EL INTERIOR DE LA CAMARA
3	SEGURO DE LA PUERTA	SIRVE PARA QUE LA PUERTA NO SE ABRA DURANTE EL FUNCIONAMIENTO DEL HORNO
4	CHAPA METALICA	PROTEGE A LOS ELEMENTOS DEL HORNO
5	PANEL DE CONTROL	CONTROLA Y VISUALIZA EL PROCESO QUE EFECTUA LA MAQUINA
6	PUERTA	IMPIDE LA SALIDA DE CALOR HACIA EL EXTERIOR DEL HORNO
7	LADRILLO REFRACTARIO	COMPONENTE PRINCIPAL PARA GUARDAR EL CALOR EN EL INTERIOR DE LA CAMARA

INDICADORES DEL PANEL DE CONTROL



DESCRIPCION DE INDICADORES DEL PANEL DE CONTROL		
ITEM	NOMBRE	DESCRIPCION
1	FUSIBLE	PROTECCION CONTRA SOBRECARGA DE CORRIENTE ELECTRICA
2	SWITCH	ENCENDIDO Y APAGADO DEL HORNO
3	CONTROLADOR DE TEMPERATURA	VISUALIZACION DE TEMPERATURA
4	INDICADOR LUMINOSO	INDICA QUE EL EQUIPO ESTA FUNCIONANDO
5	PARO DE EMERGENCIA	APAGA EL EQUIPO EN CASO DE DAÑO DEL MISMO

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL EQUIPO

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO	
PARAMETROS	TÍPICO
Dimensiones	33 X 55 X 40 cm
Potencia	3,3 Kw
Alimentación	220 V
Amperaje	15 A
Numero de fases	2
Temperatura constante de trabajo	1050 °C
Temperatura regulable hasta	1100 °C
Peso	35,6 Kg

OPERACIÓN DEL EQUIPO

Las siguientes indicaciones son para un uso adecuado del equipo y evitar accidentes del operario o daños de los elementos de este.

Alimentación del horno: Para conectar el horno se debe asegurar de que la toma sea de 220 V bifásico, el switch debe de estar en la posición off.



Puesta en marcha del horno: Para poner en marcha al horno se debe estar seguro que todo esté funcionando bien, esto quiere decir que no exista resistencias caídas en la cámara de calentamiento, que el voltaje sea el adecuado, los dispositivos electrónicos funcionen correctamente.



Configuración de temperatura: Para configurar la temperatura de trabajo requerida, se debe presionar el botón set del controlador, luego con el botón <R/S se navega de izquierda a derecha y los botones de al lado nos sirve para movilizar de arriba hacia abajo se cambia el valor queda este destellando, después se debe presionar <R/S para validar el valor, si no se hace esto quedara el mismo valor anteriormente configurado.



Al energizar: En el controlador de temperatura aparecerá en números rojos la temperatura del interior del horno y en números verdes la temperatura que se desea alcanzar, esto sucederá al momento de encender el horno.



Pre calentamiento del equipo: Antes de que se haga cualquier tratamiento térmico en el horno debe tener un pre calentamiento, este pre calentamiento se lo realiza de acuerdo al material a tratarse es necesario respetar este parámetro para tener excelentes resultados al final del trabajo.



Paro de emergencia: Presionar el pulsador cuando exista un inconveniente en el equipo y desenclavar el pulsador cuando se haya solucionado el problema.



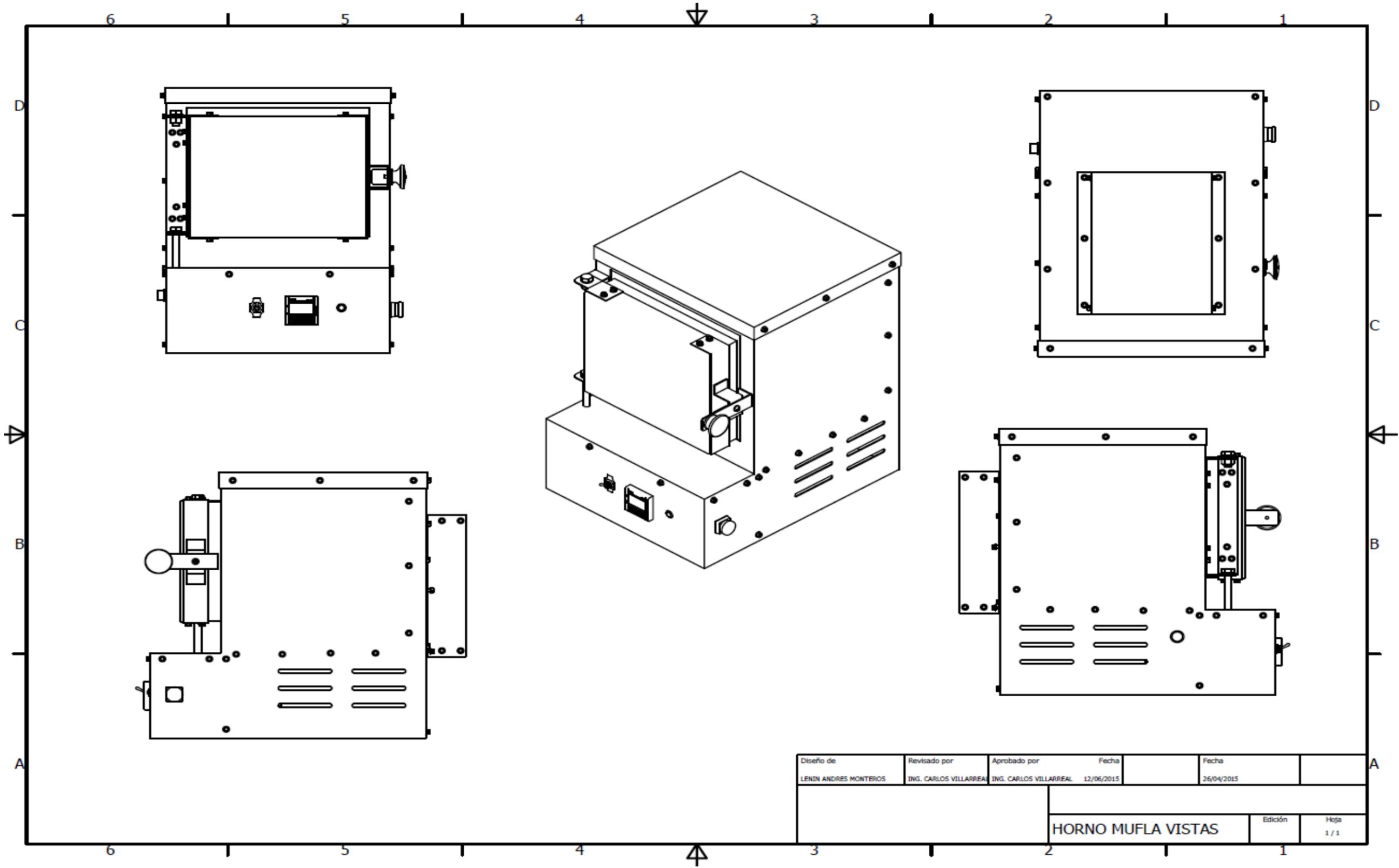
FALLAS FRECUENTES DEL EQUIPO

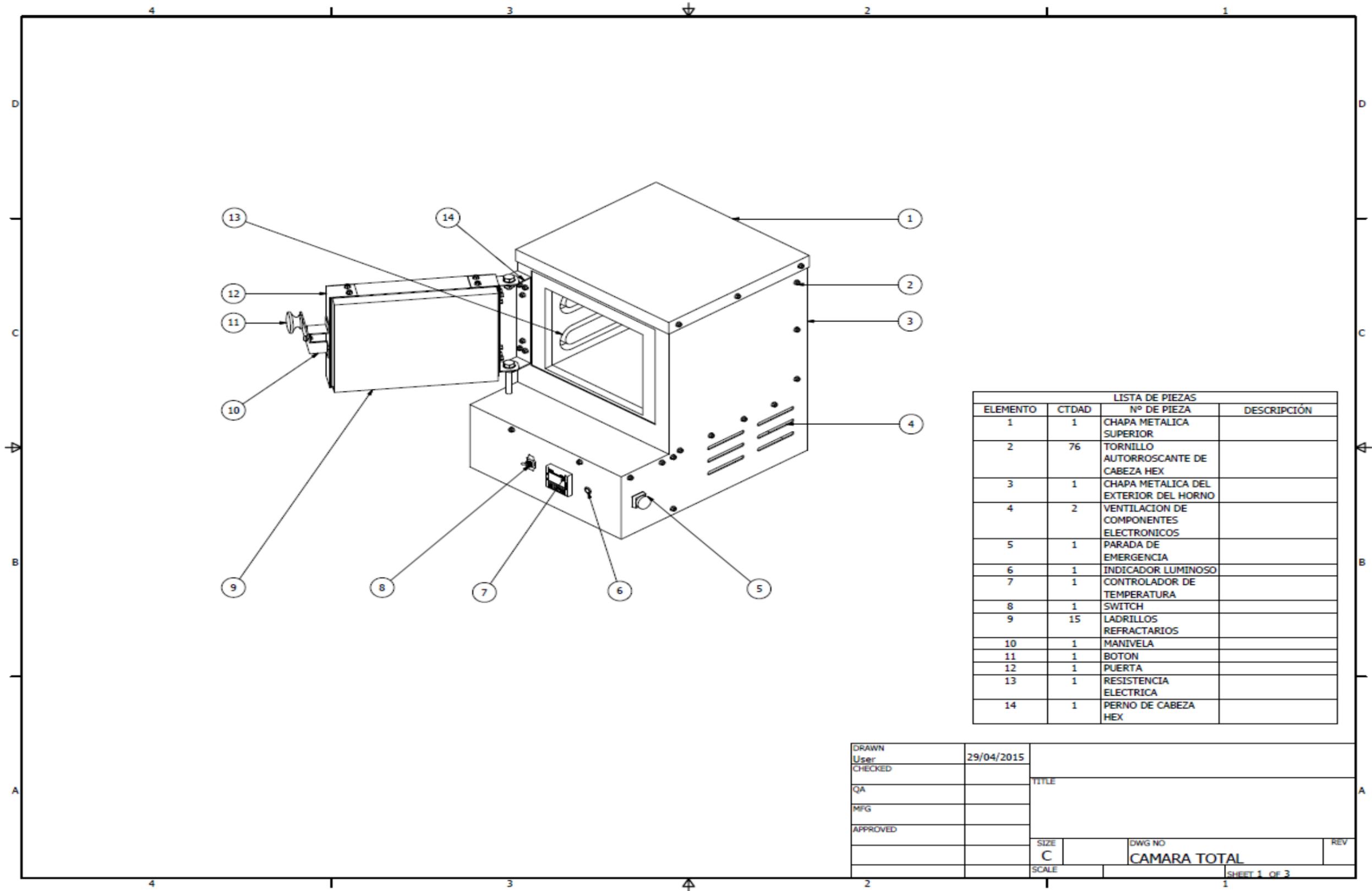
A continuación daremos una lista de las fallas que consideramos más frecuentes en esta clase de equipos.

- ✓ Desconfiguración del controlador.
- ✓ Daño de resistencia eléctrica.
- ✓ Lectura errónea de termocupla.
- ✓ Pérdida de voltaje en la unidad.

ANEXO B

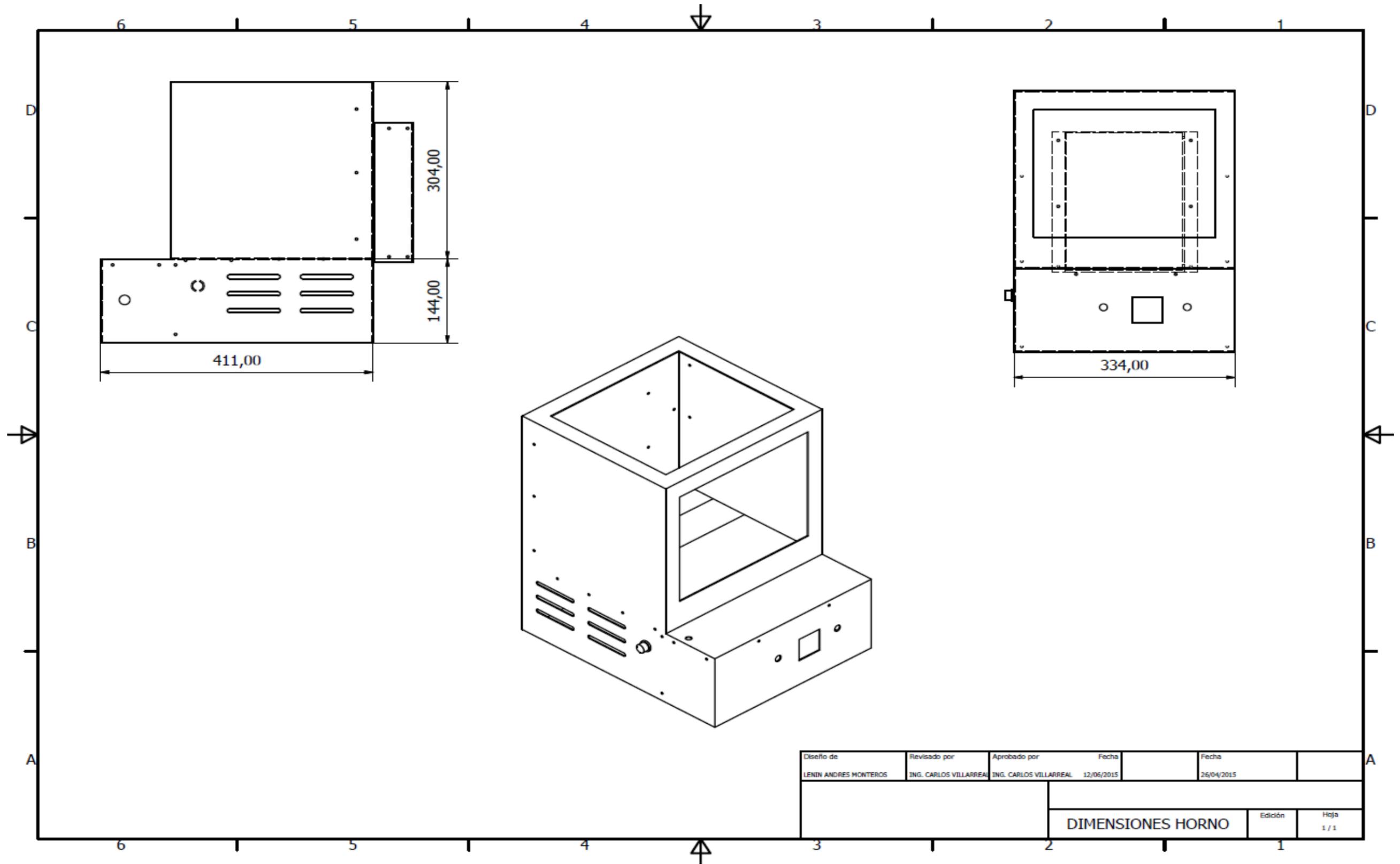
Planos mecánicos de la máquina



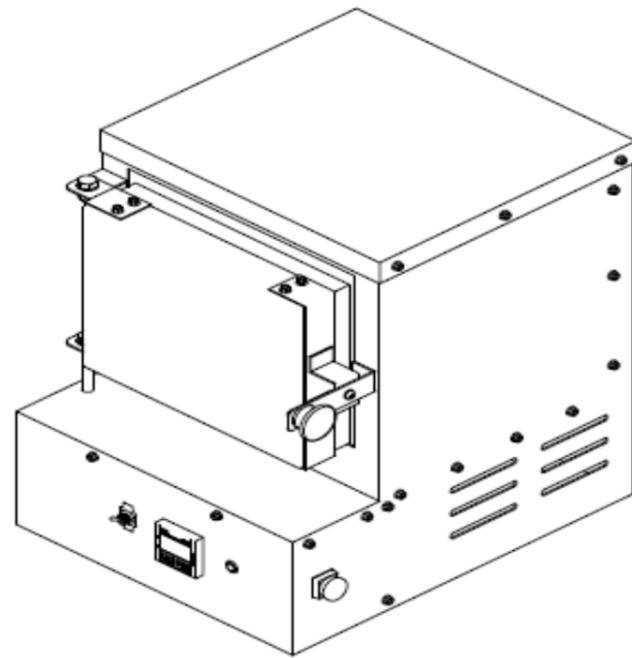


LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	CHAPA METALICA SUPERIOR	
2	76	TORNILLO AUTORROSCANTE DE CABEZA HEX	
3	1	CHAPA METALICA DEL EXTERIOR DEL HORNO	
4	2	VENTILACION DE COMPONENTES ELECTRONICOS	
5	1	PARADA DE EMERGENCIA	
6	1	INDICADOR LUMINOSO	
7	1	CONTROLADOR DE TEMPERATURA	
8	1	SWITCH	
9	15	LADRILLOS REFRACTARIOS	
10	1	MANIVELA	
11	1	BOTON	
12	1	PUERTA	
13	1	RESISTENCIA ELECTRICA	
14	1	PERNO DE CABEZA HEX	

DRAWN	29/04/2015		
User		TITLE	
CHECKED			
QA			
MFG			
APPROVED			
		SIZE	DWG NO
		C	CAMARA TOTAL
		SCALE	REV
			SHEET 1 OF 3

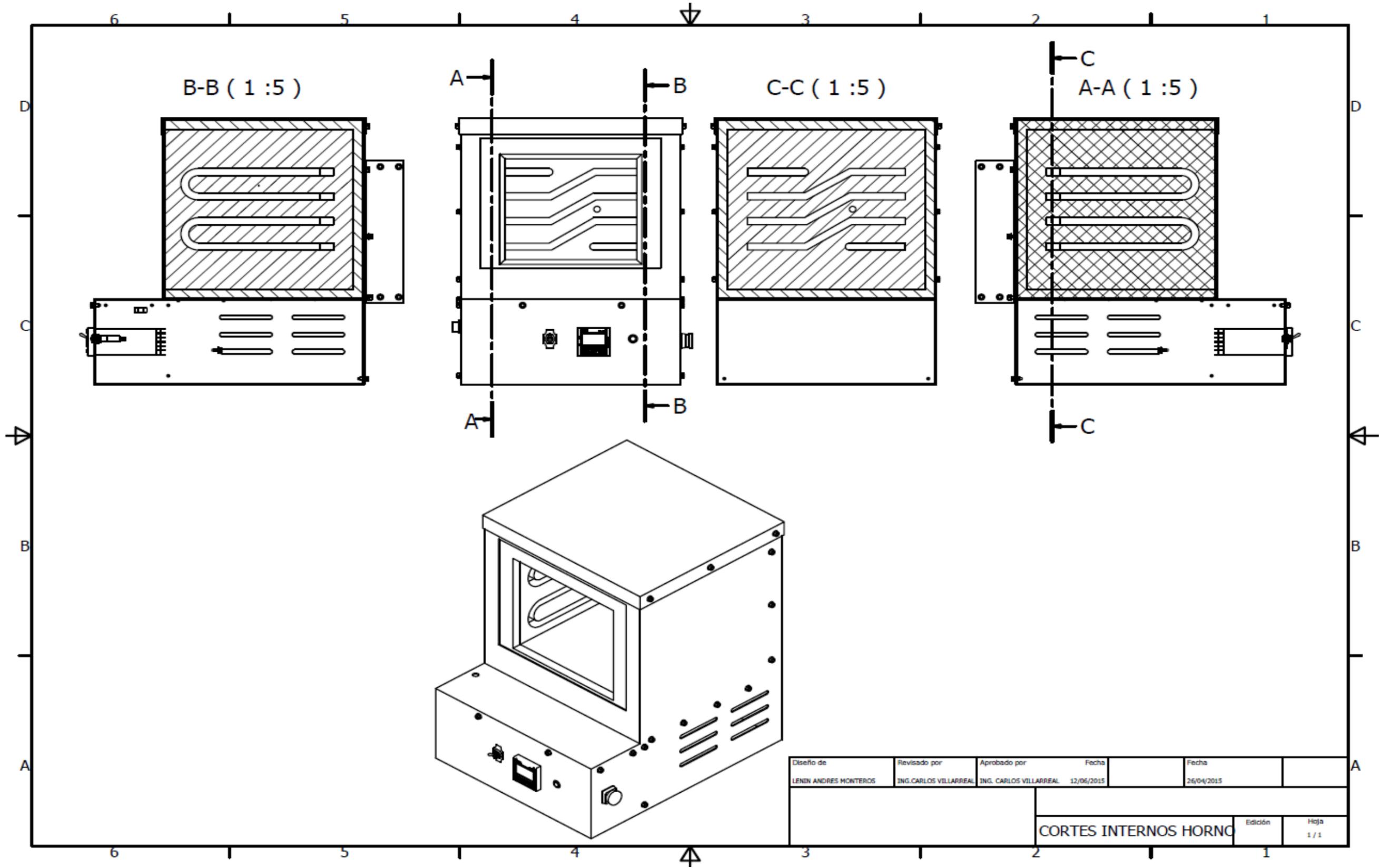


Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
LENIN ANDRES MONTEROS	ING. CARLOS VILLARREAL	ING. CARLOS VILLARREAL	12/06/2015	26/04/2015	
			DIMENSIONES HORNO		
			Edición	Hoja	
				1 / 1	

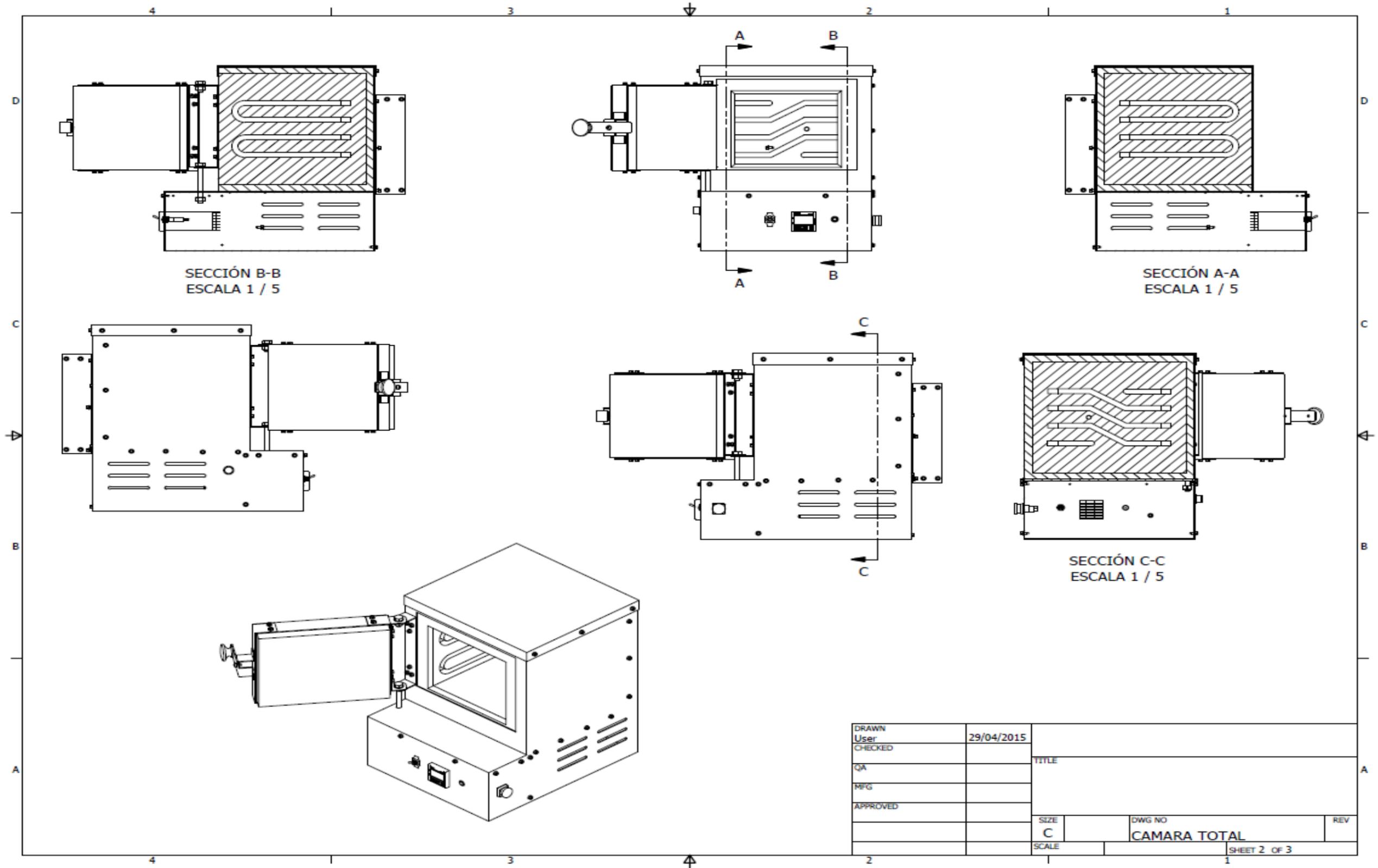


LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	LADRILLO REFRACTARIO	
2	1	LANA DE VIDRIO	
3	1	CHAPA EXTERIOR CONTORNO	
4	1	TAPA SUPERIOR	
5	1	TAPA FRONTAL CAMARA	
6	2	CHAPA LATERAL TAPA	
7	1	CHAPA SEGURO	
8	1	MANIVELA	
9	1	BOTON	
10	1	ISO 7045 - M5 x 10 - 4.8 - H	Tornillo para maquinaria de cabeza cilíndrica redondeada con ranura y hueco cruciforme
11	1	ISO 7089 - 5 - 140 HV	Arandelas planas - Serie normal - Productos de clase A
12	1	CHAPA LATERAL DOS	
13	1	CHAPA LATERAL TRS	
14	1	ISO 4018 - M10 x 20	Perno de cabeza-hex
15	1	Hexagon bolt GB/T 5780 M10 x 90	Hexagon head bolts-Product grade C
16	2	ISO 7092 - ST 10 - 140 HV	Arandelas planas - Serie pequeña - Productos de clase A
17	2	ISO 4034 - M10	Tuercas hexagonales - Productos de clase C
18	76	IFI 502 - M4x0,7 x 10	Tornillo autorroscante de cabeza hex. bridada dentada - Tipo D - Métrico
19	1	PARADA DE EMERGENCIA	Not-Aus-Schalter
20	1	Controlador de temperatura COEL	
21	1	led	
22	1	SWITCH	

DRAWN ANDRES MONTEROS CHECKED ING.VILLARREAL C. QA	29/04/2015		
MFG ING.VILLARREAL C. APPROVED ING.VILLARREAL C.	12/06/2015 12/06/2015	TITLE	
		SIZE	DWG NO
		C	CAMARA TOTAL
		SCALE	REV
			SHEET 3 OF 3



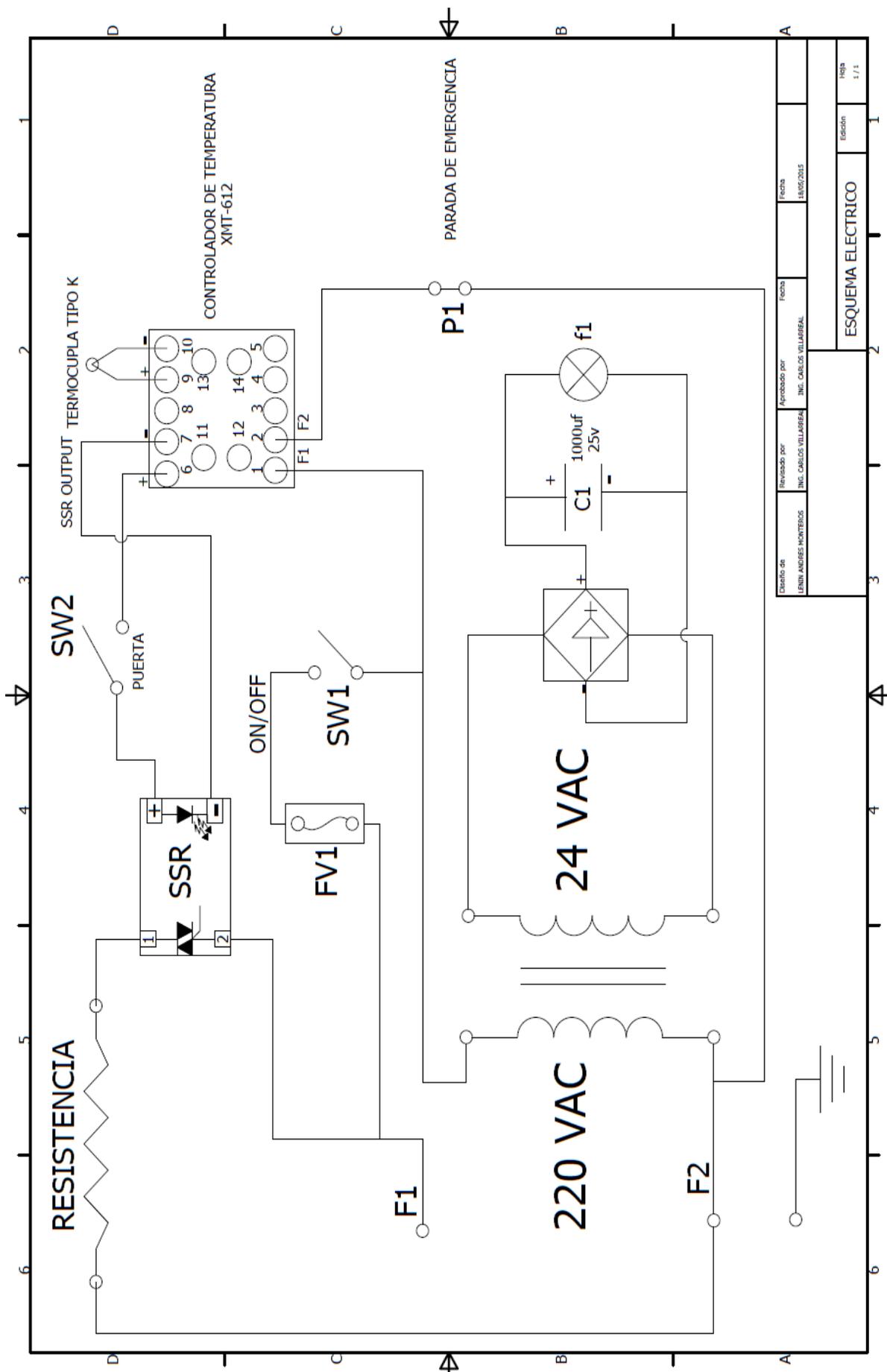
Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha
LENIN ANDRES MONTEROS	ING. CARLOS VILLARREAL	ING. CARLOS VILLARREAL	12/06/2015	26/04/2015
CORTES INTERNOS HORNO			Edición	Hoja
			1	1 / 1



DRAWN	29/04/2015		
User		TITLE	
CHECKED			
QA			
MFG			
APPROVED			
		SIZE	DWG NO
		C	CAMARA TOTAL
		SCALE	REV
			SHEET 2 OF 3

ANEXO C

Diagramas eléctricos de la máquina



Diseno de	Revisado por	Aprobado por	Fecha
LEON ANDES MONTES	ING. CARLOS VILLARSA	ING. CARLOS VILLARSA	18/03/2015

ESQUEMA ELECTICO	
Edicion	Hoja
1	1 / 1

ANEXO D

Características técnicas del controlador de
temperatura

TE-W Series Temperature Controller User Manual



Features:

- ⊙ TC/RTD universal input,
- ⊙ With display and control function,
- ⊙ Advanced Two freedom degree PID arithmetic,
- ⊙ With heating control Auto-tuning function,
- ⊙ Relay output or SSR output can be choosed,
- ⊙ One alarm, multi-alarm modes

For your safe, please read the below content carefully before you use the temperature controller!

Safe Caution

- * Please read the manual carefully before you use the temperature controller.
- * Please comply with the below important points.
 - ⚠ Warning An accident may happen if the operation does not comply with the instruction.
 - ⚠ Notice An operation that does not comply with the instruction may lead to product damage.
- * The instruction of the symbol in the manual is as below.
 - ⚠ An accident danger may happen in a special condition.

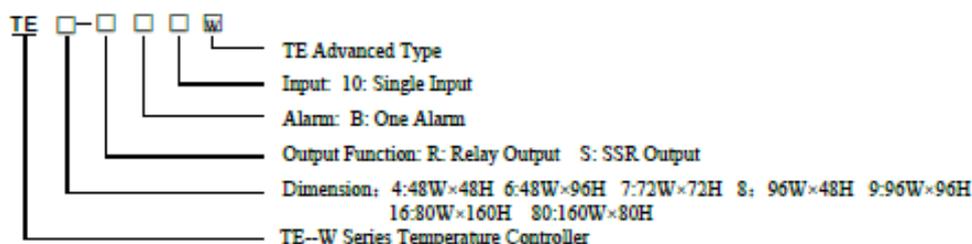
Warning

1. A safety protection equipment must be installed or please contact with us for the relative information if the product is used under the circumstance such as nuclear control, medical treatment equipment, automobile, train, airplane, aviation and equipment etc. Otherwise, it may cause serious loss, fire or person injury.
2. A panel must be installed, otherwise it may cause creepage (leakage).
3. Do not touch wire connectors when the power is on, otherwise you may get an electric shock.
4. Do not dismantle or modify the product. If you have to do so, please contact with us first. Otherwise it may cause electric shock and fire.
5. Please check the connection number while you connect the power supply wire or input signal, otherwise it may cause fire.

Caution

1. This product cannot be used outdoors. Otherwise the working life of the product will become shorter, or an electric shock accident may happen.
2. When you connect wire to the power input connectors or signal input connectors, the moment of the No.20 AWG (0.50 mm²) screw tweaked to the connector is 0.74n.m - 0.9n.m. Otherwise the connectors may be damaged or get fire.
3. Please comply with the rated specification. Otherwise it may cause electric shock or fire, and damage the product.
4. Do not use water or oil base cleaner to clean the product. Otherwise it may cause electric shock or fire and damage the product.
5. This product should be avoid working under the circumstance that is flammable, explosive, moist, under sunshine, heat radiation and vibration. Otherwise it may cause explosion.
6. In this unit it must not have dust or deposit, otherwise it may cause fire or mechanical malfunction.
7. Do not use gasoline, chemical solvent to clean the cover of the product because such solvent can damage it. Please use some soft cloth with water or alcohol to clean the plastic cover.

1. Model Illustration



KKTEWE01-A/0-1

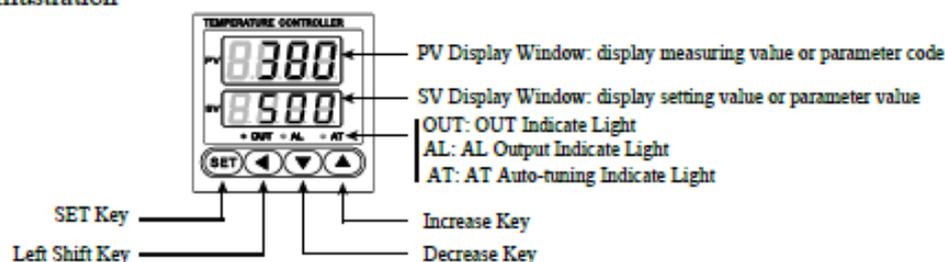
2. Ordering Model

Model	Control Output Function	Alarm
TE□-RB10W	Relay Output	One
TE□-SB10W	SSR Output	One

3. Mail Technical Specification

Resolution	TC: 1℃ RTD: 0.1℃.
Output Function and Capacity	Relay Output: Capacity 3A/250VAC SSR Output: (TE6/7/8/9/80/16: 12V Voltage, Load 30mA), (TE4: 24V Voltage Load 30mA)
Power Supply	TE6/7/8/9/80/16: AC 110/220V±10% TE4: AC/DC 100-240V
Total Current	<30mA (AC 220V)
Working Condition	0-50℃ 45-85%RH

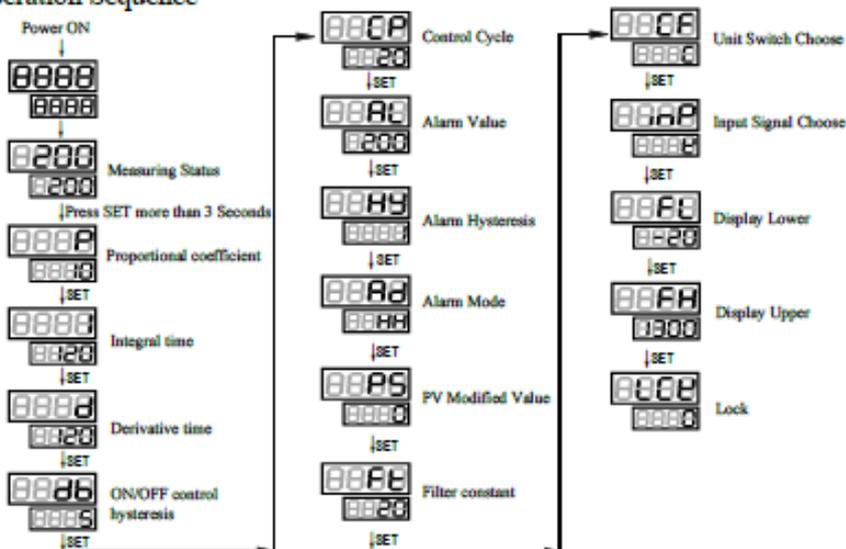
4. Panel Illustration



5. Panel Key Operation

- SET Key: In normal display status, press ◀Key to enter into SV modification status, SV value flicker, press SET key for a few seconds to enter into setting menu.
- “▲” “▼” Key: Shortly press can set value in SV menu or setting menu.
- ▲ Under the status of modify SV value, press this key without move can increase SV value or menu parameter value.
- ▼ Under the status of modify SV value, press this key without move can decrease SV value or menu parameter value.
- All the parameter after modify should press SET Key for confirmation.
- ◀ Under normal display status, press ◀ Key more than 3 seconds, the meter will enter into Auto-tuning status.

6. Operation Sequence



7. Setting Menu

Parameter name	Indication	Setting range	Ex-factory setting
P	Proportional coefficient (P=0: ON / OFF control)	0~999	10
I	Integral time	0~3600S	120
D	Derivative time	0~3600S	120
db	ON/OFF control hysteresis (Only ON/OFF control workable)	0~50	5
CP	Control cycle, 1 means SSR control output, 4~255 means Relay control output	1~256	20
RL	Alarm Value	FL~FH	200
HU	Alarm Hysteresis	0~50	1
Rd	Alarm Mode: HL: Absolute value lower, HH: Absolute value upper, DL: Lower deviation, DH: Upper deviation	HL, HH, DL, DH	HH
FS	FV modify value which be used to modify the error that caused in the measuring	-50~50	0
Fk	Filter constant	1~256	20
DF	Display Unit Switch C: °C F: °F	C/F	C
IP	Input signal choose: K, J, E, T, PT100, CU50, CU100	Refer to input signal table	K
FL	Display value Lower	Refer to input signal table	-20
FH	Display value Upper	Refer to input signal table	1300
Ld	Lock menu, if unit's place is "1", the SV value is forbidden to change, if unit's place is "1", other parameters of the menu can not be modified	0~9999	0

Input Signal Table

Input Code	Input Type	Measuring Range	Resolution	Accuracy	Input Resistance
K	K Type	-20~1300°C	1°C	0.5%FS	>100KΩ
J	J Type	-20~1000°C	1°C	0.5%FS	>100KΩ
E	E Type	-20~600°C	1°C	0.5%FS	>100KΩ
T	T Type	-20~400°C	1°C	0.5%FS	>100KΩ
PT100	PT100	-199.9~610.0°C	0.1°C	0.5%FS	(0.2mA)
CU50	CU50	-50.0~150.0°C	0.1°C	0.5%FS	(0.2mA)
CU100	CU100	-50.0~150.0°C	0.1°C	0.5%FS	(0.2mA)

Alarm Function Table

Alarm Code	Alarm Type	Alarm Output
HH	Absolute value upper	
HL	Absolute value lower	
DH	Upper deviation	
DL	Lower deviation	

8. Advanced Function

P,I,D parameter setting and Auto-tuning operation

1. Setting P,I,D parameter manually

There has been a P,I,D parameter, which can suit for usual heating system, be setted before Ex-factory.

For those people who have certain experience on P,I,D control and though the normal P,I,D setting can not meet their needs, they can set the P,I,D value according to their own needs and experience manually.

2. Setting P,I,D parameter automatically

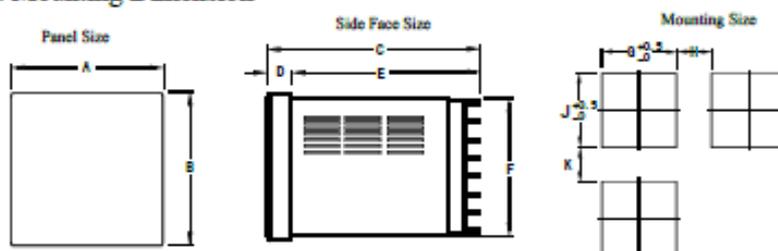
If the user do not know how to setting P, I, D parameter, they can use the auto-tuning function of the meter.

Auto-tuning Method: Firstly: Setting a SV value, press \blacktriangleleft Key for more than 3 seconds; Do not move your hand until "AT" indicate light ON, it shows that the auto-tuning is on process.

In order to make sure the accuracy of auto-tuning, SV value and the parameter of the device do not allow to be changed, after the "AT" indicate light OFF, original P, I, D value will be changed, then the meter can measure the temperature automatically and accurately.

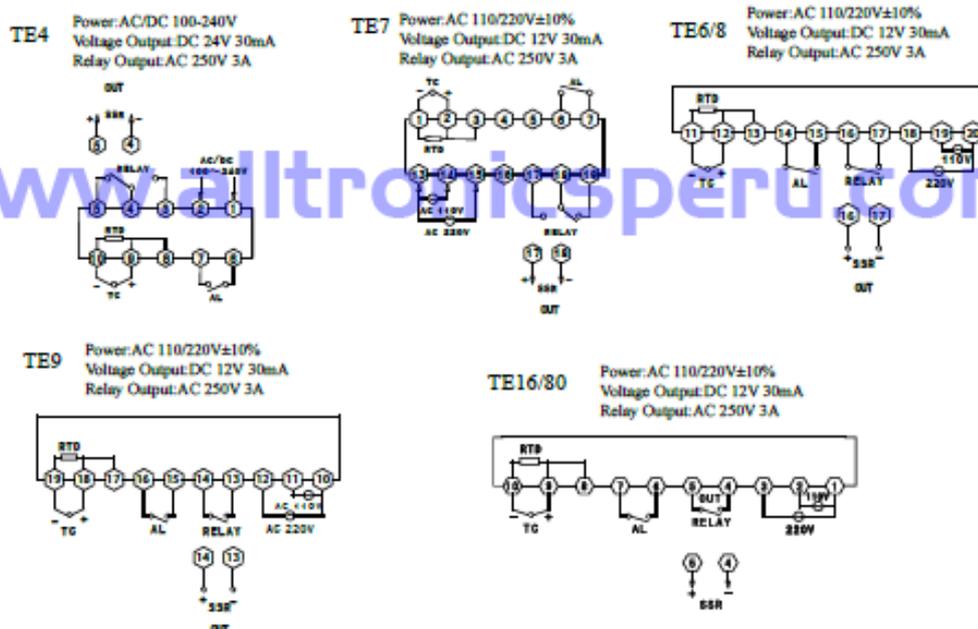
KKTEWE01-A/0-3

9. Mounting Dimension



Model	A	B	C	D	E	F	G	H(Min)	J	K(Min)
4:(48*48)	48	48	97.5	3	94.5	45	45.5	25	45.5	25
6:(96*48)	48	96	97.5	3	94.5	89.5	45	25	90	25
7:(72*72)	72	72	97.5	3	94.5	67	67.5	25	67.5	25
8:(48*96)	96	48	97.5	3	94.5	44.5	90	25	45	25
9:(96*96)	96	96	97.5	3	94.5	91.5	92	25	92	25
16:(160*80)	80	160	96	13	83	155	76	30	155.5	30
80:(80*160)	160	80	96	13	83	75.5	155.5	30	76	30

10. Connection Drawing



Note: If there is any change, please subject to the drawing on the meter!

11. Simple Problem Shooting

Display	Shooting Method
Display HHHH or LLLL	<ul style="list-style-type: none"> Checking whether the input is unconnected Checking FH value and FL value Checking the ambient temperature Checking whether the input signal is correct

ANEXO E

Características de los materiales de
construcción

Insulating Firebricks JM



Datasheet Code 1-11-10 E

© 2009 Morgan Thermal Ceramics, a business within the Morgan Ceramics Division of The Morgan Crucible Company plc



Type
Insulating firebricks

Description

Morgan Thermal Ceramics produces six grades of insulating firebricks with limiting temperatures of use ranging from 1280°C to 1790°C. Each grade is formulated to meet specific thermal and physical requirements.

JM Firebricks are made from high-purity refractory clays, with graduated additions of alumina for the higher temperature products, and a carefully graded organic filler, which burns out during manufacture to give a uniform, controlled pore structure.

Each brick is machined to precise tolerances on all six faces.

Morgan Thermal Ceramics also produces a range of mortars to suit the different grades of brick.

Classification Temperatures From
1280°C up to 1790°C

Maximum Continuous Use Temperature

The maximum continuous use temperature depends on the application. In case of doubt, refer to your local Morgan Thermal Ceramics distributor for advice.

Features

Low thermal conductivity

Gives good thermal insulation, enabling the use of thin-walled constructions.

Low heat storage

Due to their light weight and low thermal conductivity, JM bricks absorb minimal heat, giving significant energy savings in cyclically-operated kilns.

Purity

The very low iron and alkali flux content confers good refractoriness and the high alumina content contributes to their stability in reducing atmosphere.

High hot compressive strength

The accurate dimensions

Enable the bricks to be laid more quickly, with thin, uniform joints, allowing the construction of strong and stable structures.

Large bricks or slabs

They are available in sizes 230 x 610 x 64 or 78mm and 250 x 640 x 64mm. These can be machined into special shapes, incurring fewer sections and joints.

Purpose-designed packaging

Protects the bricks in transit (in cartons containing 4 to 25 items, depending on shape) and facilitates on-site handling.

Typical Applications

Recommended for use as a primary hot face refractory lining or as back-up insulation behind other refractories in furnaces, kilns, flues, refining vessels and heaters, regenerators, gas producers and main, soaking pits, stress relieving furnaces, reactor chambers and similar high temperature industrial equipment.

Special Shapes

In addition to the standard brick sizes, JM insulating firebricks are available in pre-machined special shapes. The blanks for very large shapes are formed by mortaring together two or more JM slabs, the unique large sizes of these slabs ensuring the least number of sections and joints in the finished article.

A Morgan Thermal Ceramics distributor will be pleased to review your requirements.

Insulating Firebricks JM



Main properties

		JM 23	JM 26	JM 28	JM 30	JM 32	K33i*
ISO 2245 classification		125 0.5L	140 0.8L	150 0.9L	160 1.0L	170 1.2L	180 1.3L
IFB classification temperature	°C	1260	1430	1540	1650	1760	1790
Properties Measured at Ambient Conditions (23°C/50% RH)							
Density (ASM C-134-84)	kg/m ³	480	800	890	1020	1250	1310
Modulus of rupture (ASTM C-93-84)	MPa	1.0	1.5	1.8	2.0	2.1	3.1
Cold crushing strength (ASTM C-93-84)	MPa	1.2	1.6	2.1	2.1	3.5	6.3
High Temperature Performance							
Permanent linear change (ASTM C-210) after 24 hours soaking at temperature							
1230°C	%	-0.2	-	-	-	-	-
1400°C	%	-	-0.2	-	-	-	-
1510°C	%	-	-	-0.4	-	-	-
1620°C	%	-	-	-	-0.8	-	-
1730°C	%	-	-	-	-	+0.6	+0.4
Reversible linear thermal expansion (max)	%	0.5	0.7	0.8	0.9	1.1	1.1
Hot load strength % deformation after 90 mins (ASTM C-16)							
1100°C at 0.034 MPa (5psi)	%	0.1	-	-	-	-	-
1260°C at 0.069 MPa (10psi)	%	-	0.2	0.1	-	-	-
1320°C at 0.069 MPa (10psi)	%	-	-	0.2	0.1	-	-
1370°C at 0.069 MPa (10psi)	%	-	-	-	0.5	0.2	-
1450°C at 0.069 MPa (10psi)	%	-	-	-	-	-	+0.1
Thermal Conductivity (ASTM C-182) at mean temperature of							
400°C	W/m.K	0.12	0.25	0.30	0.38	0.49	0.79
600°C	W/m.K	0.14	0.27	0.32	0.39	0.50	0.81
800°C	W/m.K	0.17	0.30	0.34	0.40	0.51	0.90
1000°C	W/m.K	0.19	0.33	0.36	0.41	0.53	1.03
1200°C	W/m.K	-	0.35	0.38	0.42	0.56	1.17
1400°C	W/m.K	-	-	-	-	0.60	1.32
Specific heat at 1000°C	kJ/kg.K	1.05	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10

Insulating Firebricks JM



		JM 23	JM 26	JM 28	JM 30	JM 32	K33i*
Chemical composition (tr = trace)							
Al ₂ O ₃	%	37.0	58.0	67.1	73.4	77.0	77.0
SiO ₂	%	44.4	39.1	31.0	25.1	21.5	21.0
Fe ₂ O ₃	%	0.7	0.7	0.6	0.5	0.3	0.4
TiO ₂	%	1.2	0.1	0.1	0.1	tr	0.6
CaO	%	15.2	0.1	0.1	tr	tr	tr
MgO	%	0.3	0.2	0.1	tr	0.1	tr
Na ₂ O + K ₂ O	%	1.1	1.7	0.9	0.9	0.9	0.2

Availability and Packaging

Insulating firebricks JM are packed in cartons on shrink film wrapped pallets; K33i is supplied on double faced pallets and stabilized.

L1	Quantity of bricks per carton														x thick
	xL2														
	110	114	124	152	165	172	178	187	220	230	25	305	610	640	
220	25	-	-	-	16	-	-	-	12	-	-	-	-	-	60
230	-	25	-	20	-	20	16	-	-	15	-	10	5	-	64
230	-	20	-	16	-	16	13	-	-	12	-	8	4	-	76
250	-	-	25	-	-	-	-	16	-	-	12	-	-	5	64



MORTEROS REFRACTARIOS SILICO-ALUMINOSOS PROPIEDADES TÍPICAS

MARCA	REPEL X	UNIVERSAL	SUPER-AEROFRAX
Clasificación ICONTEC -765 y -801	Alcornoque Refractario	Super Refractario	Super Refractario
Tipo de Mortero	Húmedo de fraguado a aire	Seco de fraguado térmico	Húmedo de fraguado a aire
Análisis Químico	%		
Al ₂ O ₃	40.0	41.5	43.0
SiO ₂	53.5	52.5	50.3
Fe ₂ O ₃	1.6	2.0	1.8
TiO ₂	2.0	2.4	2.1
CaO	0.2	0.4	0.2
MgO	0.3	0.4	0.3
Alcalí	2.0	0.5	2.0
Cono Promético Equivalente (PCE)	32	32	32 1/2
Temperatura equivalente, ICONTEC -706, ASTM C-24	1717	1717	1726
Refractariedad (el mortero no fluye de la junta a) ICONTEC -861, ASTM C-199	1500	1600	1600
Máximo tamaño de grano	mm		
	1.0	0.6	0.6
Agua de preparación, ml/Kg mortero para aplicar con paleta para aplicar por inmersión	(*) N.A	360 500	(*) 50
Kg de mortero requerido para pegar 1000 ladrillos de 9" x 4 1/2" x 2 1/2"			
con paleta	190	129	180
por inmersión	N.A	81	160
Presentación	tambores 35 kg.	sacos 30 kg.	tambores 35kg.

N.A: No se debe aplicar por inmersión.

(*) Mortero húmedo para aplicar tal como se entrega.

Los datos anteriores se basan en los resultados promedios de las pruebas de control sobre lotes de producción industrial, utilizando los procedimientos descritos en las normas ICONTEC y ASTM donde ellas sean aplicables y no deben emplearse para efectos de especificaciones garantizadas.

Enero 1993

ERECOS



ERECOS
empresa de refractarios colombianos s.a.

MORTEROS REFRACTARIOS SILICO ALUMINOSOS

SUPERAEROFRAX

Clasificación	Super refractario
NTC - 765 , NTC - 851	
Tipo de Mortero	Húmedo de fraguado al aire
Análisis Químico %	
Al ₂ O ₃	43.0
SiO ₂	50.3
Fe ₂ O ₃	1.8
TiO ₂	2.1
CaO	0.2
MgO	0.3
Alcalis	2.0
Cono Pirométrico Equivalente (PCE)	32 ½
Temperatura equivalente °C	1724
NTC-706, ASTM C-24	
Refractariedad, el mortero no fluye de la junta a °C	1600
NTC-861, ASTM C-199	
Máximo tamaño de grano mm	0.6
Agua de preparación ml/kg mortero para aplicar con palustre para aplicar por inmersión	Como se entrega 60
Kg de mortero requerido para pegar 1000 ladrillos de 9 x 4 1/2 x 2 1/2" con palustre por inmersión	180 160
Presentación	Tambores de 35 kg

Los datos anteriores se basan en los resultados promedio de las pruebas de control sobre lotes de producción industrial, utilizando los procedimientos descritos en las Normas Técnicas colombianas y ASTM donde ellas sean aplicables y no deben emplearse para efecto de especificaciones garantizadas.

1993-01-23

Todos los derechos reservados © ERECOS

Producto : MANTA KAOWOOL HP 1260 **INFORMACION TECNICA**
DESCRIPCION

- Disponibles para entrega inmediata con diversas combinaciones de dimensiones y densidades.
- Baja conductividad térmica y energía térmica almacenada.
- Elevada resistencia a los choques térmicos y ataques químicos.
- Buenas características acústicas y de protección contra-fuego.
- Alta flexibilidad, facilitando cortes e instalación.

La manta Kaowool es producida a partir de sílice y alúmina de alto grado de pureza. Resultando fibras refractarias totalmente inorgánicas, densificadas y entrelazadas para garantizar buena resistencia mecánica al manipuleo durante la instalación.


PROPIEDADES FISICAS

Color	Blanco
Densidad (kg/m ³)	64-192
Espesor	3-51
Temp. Máxima de Uso continuo (°C)	1100
Temp. Uso Límite (°C)	1260
Punto de Fusión (°C)	1760
Diámetro de las Fibras (μ, medio)	2.8
Largo de Fibras (cm, medio)	10-25

COMPOSICION QUIMICA TIPICA

(% peso, después de quemado)

Alúmina (Al ₂ O ₃)	47
Sílice (SiO ₂)	53
Otros	trazas

PROPIEDADES QUIMICAS

Los productos de fibra cerámica Kaowool poseen excelente resistencia a los ataques químicos, excepto al ácido fluorhídrico, fosfórico y álcalis fuertes (ej. Na₂O, K₂O). La manta no es afectada por el aceite o el agua. Sus propiedades térmicas y físicas son restauradas al secarse.

RESISTIVIDAD TERMICA (R)

El valor de la resistividad térmica de la fibra cerámica es definido como la inversa de la conductividad térmica multiplicada por el espesor (mm). El valor de R a 21°C según la norma ASTM C518-76 para 25mm y 96kg/m³ es 0,163/mm.

PROPIEDADES TERMICAS

 (CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (Btu.in/ft².h.°F)
 X TEMPERATURA MÉDIA(°F)) ASTM C 201.

Temperatura media, 8 pcf	BTU.in/ft ² .h.°F	W/mK	Temperatura media, 4 pcf	BTU.in/ft ² .h.°F	W/mK
500°F (260°C)	0.44	0.06	500°F (260°C)	0.54	0.08
1000°F (538°C)	0.84	0.12	1000°F (538°C)	1.29	0.19
1500°F (816°C)	1.45	0.21	1500°F (816°C)	2.30	0.33
1800°F (982°C)	1.83	0.26	1800°F (982°C)	2.96	0.43
2000°F (1093°C)	2.0.9	0.30	2000°F (1093°C)	---	---



Temperatura media, 6 pcf					
500°F (260°C)	0.47	0.07			
1000°F (538°C)	1.01	0.15			
1500°F (816°C)	1.73	0.25			
1800°F (982°C)	2.19	0.32			
2000°F (1093°C)	---	---			

APLICACIONES TÍPICAS

- Revestimientos de hornos
- Intercambiadores de calor
- Turbinas a gas
- Estufas y hornos de laboratorio
- Craqueadores catalíticos
- Reparación de hornos
- Sellado y revestimientos de puertas de hornos
- Filtros para altas temperaturas
- Sellado de hornos de recocido de bobinas.
- Sellado de tapa de horno pozo y calentadores
- Tratamientos Térmicos

DIMENSIONES PATRONES

La manta Kaowool es fabricada en los siguientes espesores y dimensiones:

Rollo patron (mm)	7620 x 610
Espesores (mm)	6-13-25-38-51
Densidades (kg/m ³)	64-96-128-160-192

Observaciones: existen otras combinaciones de densidades y espesores. Consulte al Depto. de Ventas de Carbo San Luis S.A.

PROTECCIÓN CONTRA-FUEGO (UL723/ASTM E-84)

Desarrollo de humo	0
Contribución como combustible	0
Propagación de llama	0

ORIENTACIÓN PARA APLICACIÓN EN CAPAS

Aplicación en techo (anclajes/m ²)	19
Aplicación en paredes (anclajes/m ²)	12

Rev.04, 11/04/2013

Observaciones

1. Producto fabricado bajo licencia de Thermal Ceramics Inc., EE.UU.
2. Los valores indicados son típicos y no deben considerarse como especificados o garantizados.
3. Ver hoja de aplicación del producto.

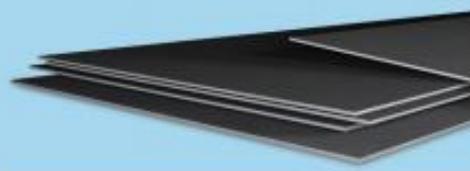
Carbo San Luis S.A.

Oficinas Comerciales: Talcahuano 736, 4° piso, (C1013AAP) Buenos Aires, Argentina
Teléfono: 54-11-4373-4439 Fax: 54-11-4372-3331 E-mail: ventas@carbosanluis.com.ar
Planta Industrial: Calle 106 entre 6 y 8, Parque Industrial Sur, (5700) San Luis, Argentina
Carbo San Luis S.A. está certificado bajo normas
ISO 14001 - ISO 9001



Planchas

- Laminada en caliente
- Laminada en frío



Plancha laminada en caliente

Recubrimiento:
Negro
Norma de Fabricación:
NTE INEN 115 / ASTM A 6
Norma de Calidad:
ASTM A 36 / ASTM A 588 Gr. A / ASTM A 131 Gr. A /
ASTM A 516 Gr. 70 / ASTM A 572 Gr. 50
Observaciones:
Dimensiones y largos especiales, previa consulta

Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.
mm	mm	mm	kg.
1.220	2.440	1,50	35,05
1.220	2.440	2,00	46,74
1.220	2.440	3,00	70,10
1.220	2.440	4,00	93,47
1.220	2.440	5,00	116,84
1.220	2.440	6,00	140,21
1.220	2.440	8,00	186,94
1.220	2.440	9,00	210,31
1.220	2.440	10,00	233,68
1.220	2.440	12,00	280,41

> Aplicaciones

- Conformación de estructuras en general con elementos de alma llena (flejes).
- Fabricación de tanques.
- Estructuras de puentes.
- Estructuras de barcos.
- Camisas de pilotes.
- Encofrados.
- Placas.
- Contención de tierra.
- Plataformas.
- Calderos.
- Tubería de grandes diámetros.

Plancha laminada en frío

Recubrimiento:
Negro
Norma de Fabricación:
NTE INEN 115
Norma de Calidad:
ASTM A 36 / JIS G 3141 SPCC - SD /
SAE 1010
Observaciones:
Dimensiones y largos especiales, previa consulta

Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.	Calidad
mm	mm	mm	kg.	
1.000	2.000	0,70	10,99	Embutición
1.000	2.000	0,90	14,13	
1.000	2.000	1,10	17,27	
1.000	2.000	1,40	21,96	
1.220	2.440	0,40	9,35	Comercial
1.220	2.440	0,45	10,52	
1.220	2.440	0,50	11,68	
1.220	2.440	0,60	14,02	
1.220	2.440	0,70	16,36	
1.220	2.440	0,75	17,53	
1.220	2.440	0,80	21,03	
1.220	2.440	1,10	25,70	
1.220	2.440	1,40	32,72	
1.220	2.440	2,00	46,74	

> Aplicaciones

- Muebles metálicos en general.
- Puertas metálicas.
- Carpintería metálica.
- Tanque para almacenamiento de aceite.
- Tanques de exportación de frutas.
- Baldes para camionetas.
- Partes y piezas metálicas (abrazaderas, de línea blanca, etc).
- Rótulos.
- Señalización de tránsito.
- Cajas fúnebres.
- Autopartes.