

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

“Repotenciación de un horno para tratamiento

térmico del taller electromecánico de la

Universidad Nacional de Loja”

**Tesis de grado previo a
optar por el título de
Ingeniero Electromecánico**

AUTOR: Manuel Rolando Patiño Andrade

DIRECTOR DE TESIS:

Ing. Miguel Ángel Caraballo Núñez PhD.

Loja Ecuador

2022

CERTIFICACIÓN

CERTIFICACIÓN

Dr. Miguel Angel Caraballo Núñez, PhD
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación, cuyo tema versa en: "**Repotenciación de un horno para tratamiento térmico del taller electromecánico de la Universidad Nacional de Loja**", previo a la obtención del grado académico de **Ingeniero Electromecánico**, realizado por el señor egresado: **Manuel Rolando Patiño Andrade**, mismo que cumple con el 100% de realización de la tesis y con la reglamentación y políticas de investigación correspondientes, por lo que autorizo su presentación y su posterior sustentación y defensa ante el Tribunal de Grado correspondiente.

Loja, 21 de julio de 2021

Atentamente



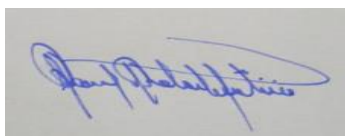
Escaneo electrónicamente por:
**MIGUEL ANGEL
CARABALLO
NUNEZ**

Dr. Miguel Angel Caraballo Núñez, PhD
DIRECTOR DE TESIS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, MANUEL ROLANDO PATIÑO ANDRADE, declaro ser autor del presente trabajo de tesis “Repotenciación de un horno para tratamiento térmico del taller electromecánico de la Universidad Nacional de Loja”, y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



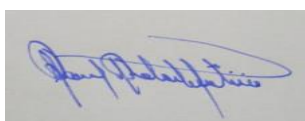
Cédula: 1709438681

Correo: manolo2501@yahoo.com.mx

Fecha: Loja, 25 de febrero 2022

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo, MANUEL ROLANDO PATIÑO ANDRADE, declaro ser autor de la tesis titulada: “Repotenciación de un horno para tratamiento térmico del taller electromecánico de la Universidad Nacional de Loja”, como requisito para optar al grado de INGENIERO ELECTROMECAÁNICO; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional: Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con los cuales tenga convenio la Universidad. La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero. Para constancia de esta autorización en la ciudad de Loja, a los veinte y cinco días del mes de febrero del dos mil veinte y dos.



Firma:

Autor: Manuel Rolando Patiño Andrade

Cédula: 1709438681

Dirección: Loja (Sector Perpetuo Socorro)

Correo electrónico institucional: manuel.patino@unl.edu.ec

Teléfono: 0984631326

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Tesis: Ing. Miguel Ángel Caraballo Núñez PhD

Tribunal de Grado: Ing. Gonzalo Ramiro Riofrío Cruz Mg. Sc.

Ing. Luis Armando Salgado Valarezo Mg. Sc.

Ing. Carlos Gustavo Samaniego Ojeda Mg. Sc.

DEDICATORIA

La presente tesis de grado, la dedico con todo cariño y afecto a mí esposa e hijos quienes han sido mi fortaleza de mi vivir. A mis padres por enseñarme el camino del saber, siempre con la abnegación y sacrificio, brindándome su apoyo y confianza.

Manuel Rolando Patiño Andrade

AGRADECIMIENTO

Una vez culminado mis estudios universitarios:
Como Ingeniero Electromecánico, me es grato
presentar un sincero agradecimiento a todos
los docentes de la Carrera de Electromecánica,
al Sr. Decano por su desempeño como educador
de la juventud Loja.

También mi agradecimiento al Ing. Miguel Ángel Caraballo
director de este trabajo, quien desinteresadamente
me ayudo a desarrollarlo.

Manuel Rolando Patiño Andrade

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
1. Título.....	1
2. Resumen.....	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción.....	4
4. Marco Teórico.....	5
4.1. Tratamiento térmico de los aceros	5
4.2. Etapas del tratamiento térmico.....	6
4.3. Diagrama Hierro - Carbono	7
4.4. Tipos de tratamiento térmico	10
4.4.1. Temple.....	10
4.4.2. Recocido.....	11
4.4.3. Revenido.....	13
4.5. Hornos de tratamiento térmico.....	13

4.5.1.	Clasificación de hornos.	13
4.5.2.	Principio de funcionamiento del horno de resistencia eléctrica.	14
4.6.	Ensayos de Dureza.....	14
4.6.1.	Ensayo Brinell (HB).	15
4.6.2.	Ensayo Vickers (HV).....	15
4.6.3.	Ensayo Rockwell (HR).....	16
4.6.4.	Ensayo Leeb (HL).	17
4.7.	Otras experiencias sobre hornos de tratamiento térmico	18
5.	Metodología.....	20
5.1.	Materiales.....	20
5.1.1.	Ladrillo refractario.....	20
5.1.2.	Mortero refractario.	20
5.1.3.	Lana aislante.	21
5.1.4.	Resistencia eléctrica metálica.....	22
5.1.5.	Sensor de temperatura.	22
5.1.6.	Tablero de control.....	23
5.1.7.	Elementos del tablero de control.	23
5.2.	Métodos.....	27
5.3.	Parámetros de diseño	30
5.3.1.	Cálculos del volumen de la cámara del horno.....	30
5.3.2.	Volumen máximo del material a tratar térmicamente.	31
5.3.3.	Cálculo térmico.....	31

5.3.4.	Calor total absorbido por la carga.....	31
5.3.5.	Cálculo del calor debido al calentamiento del aire.....	32
5.3.6.	Cálculo del calor que absorbe la pieza.	33
5.3.7.	Cálculo calor perdido por irradiación abertura carga y descarga.	34
5.3.8.	Cálculo de pérdidas del aire en la cámara del horno.	35
5.3.9.	Cálculo del espesor de paredes.....	35
5.3.10.	Cálculo del flujo de calor.....	37
5.3.11.	Cálculos de las áreas de transferencia de calor en la pared.	38
5.3.12.	Cálculos de pérdidas de calor.	40
5.3.13.	Cálculo de coeficiente de transferencia de calor por convección....	41
5.3.14.	Cálculos de la Longitud característica.....	43
5.3.15.	Balance térmico.	44
5.3.16.	Cálculos de potencia del horno.....	44
5.3.17.	Cálculo de la resistencia eléctrica Niquelina.	44
5.3.18.	Cálculo de la resistencia eléctrica a temperatura de trabajo.....	45
5.3.19.	Cálculo de la longitud del hilo resistivo L_T	46
5.3.20.	Cálculo de la corriente eléctrica.	46
5.3.21.	Cálculo del interruptor termomagnético.....	47
5.3.22.	Cálculo del contactor.	47
5.3.23.	Cálculo del cable.	48
5.4.	Marco Legal Normativo.....	49
6.	Resultados.....	49

6.1.	Cálculos.....	49
6.2.	Circuito de fuerza.....	58
6.3.	Circuito de control	59
6.4.	Manual de operación del horno.....	60
6.4.1.	Actividades a desarrollar al inicio de trabajo del horno.	60
6.4.2.	Manual de mantenimiento del horno.	61
6.5.	Manual para programar el TCN4.....	62
6.6.	Manual para programar el temporizador PET-010	64
6.7.	Manual de operación del Durómetro Hardness Tester DY-10	66
6.8.	Manual de seguridad.....	67
6.9.	Costo de repotenciación del horno.....	67
6.10.	Guía práctica del temple.....	69
6.11.	Validación de la guía práctica	70
7.	Discusión.	82
8.	Conclusiones.....	83
9.	Recomendaciones.....	84
10.	Referencias Bibliográficas.....	85
11.	ANEXOS	90

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 ESCALAS ROCKWELL	17
TABLA 2 LADRILLO REFRACTARIO	20
TABLA 3 LANA AISLANTE	21
TABLA 4 PROPIEDADES DEL AIRE.....	32
TABLA 5 PROPIEDADES ACERO SAE 1045	33
TABLA 6 ESPESORES DE LA PARED.....	37
TABLA 7 VALOR DE RESISTIVIDAD KANTHAL A-1	45
TABLA 8 CONDUCTOR - CAPACIDAD DE CORRIENTE.....	48
TABLA 9 COSTO DE MATERIALES.....	68
TABLA10 RESULTADOS DE DUREZA.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. TRATAMIENTOS TÉRMICOS.	5
FIGURA 2. DIAGRAMA HIERRO-CARBONO.....	9
FIGURA 3. DIAGRAMA TTT.....	11
FIGURA 4. RECOCIDO TOTAL.....	12
FIGURA 5. DUREZA BRINELL.....	15
FIGURA 6. DUREZA VICKERS.....	16
FIGURA 7. DUREZA ROCKWELL.....	16
FIGURA 8. DUREZA LEEB.....	18
FIGURA 9. MORTERO REFRACTARIO.....	21
FIGURA 10. RELACIONES DE MAGNITUDES ELÉCTRICAS.....	22
FIGURA 11. RESISTENCIA KANTHAL.....	22
FIGURA 12. TERMOPAR.....	23
FIGURA 13. ELEMENTOS DE TABLERO ELÉCTRICO.....	24
FIGURA 14. TCN4.....	24
FIGURA 15. VOLTÍMETRO ANALÓGICO.....	25
FIGURA 16. PILOTO VOLTÍMETRO.....	25
FIGURA 17. PILOTO AMPERÍMETRO.....	26
FIGURA 18. BREAKER.....	26
FIGURA 19. DURÓMETRO PORTÁTIL.....	27
FIGURA 20. ESQUEMA DE METODOLOGÍA.....	29
FIGURA 21. CÁMARA DEL HORNO.....	30
FIGURA 22. BALANCE DE ENERGÍA.....	35
FIGURA 23. CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA PARED COMPUESTA.....	38
FIGURA 24. VISTA FRONTAL DE LA CÁMARA DEL HORNO.....	39
FIGURA 25. VISTA LATERAL CÁMARA DEL HORNO.....	39
FIGURA 26. LEY DE WATT.....	46
FIGURA 27. CONTACTORES DE 9-95 A.....	48
FIGURA 28. CIRCUITO DE FUERZA.....	58

FIGURA 29. DIAGRAMA DE CONTROL	59
FIGURA 30. TABLERO DE CONTROL	60
FIGURA 31. TCN4.	62
FIGURA 32. DIAGRAMA DE FLUJO TCN4.	63
FIGURA 33. TEMPORIZADOR.....	65
FIGURA 34. DURÓMETRO.	66
FIGURA 35 HORNO DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS.	71
FIGURA 36 DURÓMETRO PORTÁTIL.	72
FIGURA 37. DIAGRAMA FE-C PRÁCTICA.	74
FIGURA 38 CURVA DE DUREZA.	76

1. Título.

Repotenciación de un horno para tratamiento térmico del taller electromecánico de la Universidad Nacional de Loja.

2. Resumen.

El presente trabajo tiene como finalidad repotenciar el horno de resistencias, para diferentes tratamientos térmicos en el Taller Electromecánico. Se realiza una conexión eléctrica independiente del horno de tratamientos térmicos, se añade fibra cerámica en las paredes del horno, así como la reconstrucción de la puerta del horno con ladrillos y mortero refractario. Se repara las conexiones eléctricas de fuerza con un nuevo contactor, cable TTU y cable de asbesto, además se realiza el cambio de elementos eléctricos como el pirómetro, voltímetro, amperímetro, termomagnético y se incrementa un temporizador, paro de emergencia, luces piloto y un durómetro portátil. El horno de resistencias posee una potencia de 13,1Kw y funciona a 220 voltios, con una temperatura de trabajo de 850 grados centígrados, en el cual se realizan varios tratamientos térmicos para verificar el buen funcionamiento del horno. Finalmente se elabora la guía para la realización de prácticas de laboratorio en el horno repotenciado, y se ejecuta una práctica según la guía elaborada. Se elaboran además el manual de operación, de seguridad y de mantenimiento del horno.

Palabras claves: Horno de Tratamientos térmicos, Reconstrucción del horno con ladrillos, Horno de Resistencias, Horno repotenciado, Mantenimiento de Horno.

2.1. Abstract.

The purpose of this work is to convert a resistance furnace for functionality in various thermal treatments in the electromechanical workshop. To accomplish that an independent electrical connection was created, ceramic fiber was added to the walls and the door was rebuilt with bricks and refractory mortar. Additionally, electrical power connections were made with a new contactor, TTU cable and asbestos wire. Furthermore, electrical elements such as the pyrometer, the voltmeter, the ammeter and the thermomagnetic device were changed. A timer, an emergency stop button, pilot lights and a portable durometer were added. This resistance furnace has a power of 13,1 Kw and runs at 220 volts with a working temperature of 850 degrees Celsius. Various heat treatments were performed to verify its proper operation. Finally, a laboratory procedures manual for the converted furnace was developed and a manual based test was run. In addition, operations manual, safety manual and maintenance manual were developed.

Keywords: Heat Treatment Furnace, Reconstruction of the furnace with bricks, Resistance Furnace, Repowered Furnace, Furnace Maintenance.

3. Introducción.

El horno de resistencias es un equipo que se lo utiliza para realizar tratamientos térmicos sobre los materiales metálicos y sus aleaciones, de esta manera se puede cambiar las propiedades mecánicas, microestructurales para realizar algún tipo de trabajo específico.

El principal material utilizado en los tratamientos térmicos es el acero, debido a sus diversas propiedades mecánicas como la dureza, tenacidad, ductilidad y un sin número de aplicaciones en la industria.

La repotenciación del horno de resistencias de la Carrera de Ingeniería Electromecánica es debido a que se imparten algunas asignaturas como: Tecnología de los Metales y Ciencia de los Materiales. Al repotenciar este equipo se puede realizar algunas prácticas que ayudan al docente a complementar los conocimientos teóricos recibidas en las aulas.

En la primera fase se realiza los cálculos para la conexión eléctrica individual para horno de resistencias. Así también los fundamentos teóricos para el cálculo del espesor de las paredes del horno.

En la segunda fase se lleva a cabo la elección de los materiales que se van a utilizar en la reconstrucción del horno de resistencias.

En la tercera fase se procede a cambiar y mejorar los dispositivos de control de fuerza, mando y se realiza una práctica para verificar el buen funcionamiento del equipo.

Y por último fueron elaborados los manuales de operación, de seguridad y de mantenimiento del horno.

Objetivo general.

- Repotenciar un horno eléctrico para tratamientos térmicos del taller de electromecánica de la Universidad Nacional de Loja.

Objetivo específico.

- Rediseñar el sistema de aislamiento térmico de la cámara, acometida eléctrica y el tablero de control del horno.
- Elaborar las guías de práctica de laboratorio a ejecutar en la instalación.
- Realizar la validación de las prácticas a ejecutar en el horno de tratamientos térmicos.

4. Marco Teórico.

4.1. Tratamiento térmico de los aceros

Son procesos de calentamiento que tienen como objetivo mejorar las propiedades y estructuras físicas, químicas y mecánicas de los materiales, además los procesos consisten en calentar el acero levemente a una temperatura superior a la crítica y mantenerle por un periodo a esa temperatura para conseguir la transformación austenítica, se enfría las piezas de forma controlada, para que se produzcan cambios microestructurales como la martensítica, los cuales deben ser permanentes. Los tratamientos térmicos se subdividen como se indica en la Figura 1

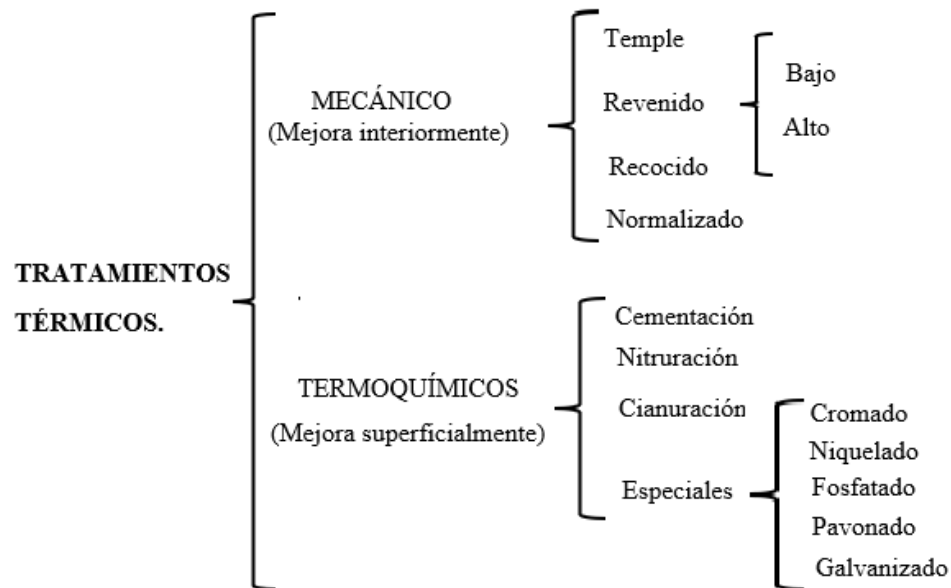


Figura 1. Tratamientos térmicos. Fuente: (Collahuazo, Morocho, y Pullaguari, 2010)

4.2. Etapas del tratamiento térmico

- **Calentamiento**

En el calentamiento, se debe elevar la temperatura por encima de $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ de la manera más paulatina y uniforme posible, con una velocidad controlada hasta llegar al valor de temperatura adecuada, como se puede observar en el diagrama Hierro- Carbono (Figura 2), asegurando la transformación de fase.

- **Permanencia de calentamiento**

Luego de calentar la pieza, se debe mantener por un tiempo establecido, lo que conlleva a la transformación parcial o total de la microestructura del material (Figura 2). El tiempo de permanencia, está ligado a las dimensiones de la pieza, y al tipo de tratamiento térmico.(Apraiz, 1971)

- **Enfriamiento**

Es la etapa final del tratamiento, se procede a la disminución de temperatura del material por debajo de los 727°C de manera, que todos los átomos de carbono se han desprendido de la estructura

cristalina concentrándose en las caras de la austenita. Si el enfriamiento es de manera rápida se impide la formación de perlita, por lo que, la contextura es dura, quebradiza, la cual se denomina martensítica, estos son procesos del tratamiento térmico.(Appold et al., 1984)

4.3. Diagrama Hierro - Carbono

- **Ferrita**

Es una solución sólida de carbono hierro alfa que forman cristales de red cúbica centrada en el cuerpo, con un 0,008% de carbono, es hierro puro y puede disolver en forma de solución sólida, el carbono hasta un máximo de 0,02% a 727°C.

Tiene una resistencia aproximada de 28Kg/mm², 35% de alargamiento y una dureza de 90 unidades Brinell.

- **Cementita**

Está formada por cristales ortorrómbicos de carburo de hierro (Fe₃C), contiene 6,67% de carbono y 93,33% de hierro, es el acero más duro y frágil, su dureza es superior a 68 Rockwell-C.

- **Perlita**

Es una composición eutectoide, una mezcla de cristales de la ferrita y cementita. Contiene 13,5% de cementita y 86,5 de ferrita, con una resistencia de 80 Kg/mm² y un alargamiento del 15%. Además, una dureza de 250 Brinell.

- **Austenita**

Es una solución sólida de hierro gamma, que puede contener hasta el 2.11% de carbono y es de composición variable. En aceros austeníticos de alta aleación su resistencia es de 85 a 105 Kg/mm², 300Brinell y su alargamiento de 20 a 23%.

- **Martensita**

Está constituida por una solución sólida sobresaturada de carbono de hierro alfa, con un contenido de carbono hasta el 1%. Sus propiedades físicas varían con su composición hasta

un 0,7% de carbono, tiene una resistencia de 170 a 250 Kg/mm² con una dureza de 50 a 68 Rockwell_C y un alargamiento de 2,5 a 0,5%

- **Troostita**

Es una mezcla considerablemente fina de cementita y hierro alfa, la cual se crea por el enfriamiento de la austenita por velocidad inferior a la crítica del temple o por la transformación isotérmica de la austenita entre las temperaturas de 500 a 600 °C. Posee una resistencia de 140 a 175 Kg/mm², su dureza es de 400 a 500 Brinell, y su alargamiento de 5 a 10%.

- **Sorbita**

Es una combinación fina de cementita y hierro alfa, la cual se crea por el enfriamiento de la austenita por velocidad inferior a la crítica del temple o por la transformación isotérmica de la austenita entre las temperaturas de 600 a 650 °C. Posee una resistencia de 88 a 140 Kg/mm², su dureza es de 250 a 400 Brinell, y su alargamiento de 10 a 20%.

- **Bainita**

Se produce por la transformación isotérmica de la austenita, cuando la temperatura del baño de enfriamiento es de 250 a 600 °C. existen dos clases de estructura, la bainita superior que tiene apariencia arborescente formada a 500 – 550 °C, que difiere mucho de la bainita inferior, formada a más baja temperatura 250 – 500 °C. La bainita tiene una dureza de 40 a 60 Rockwell.(Apraiz, 1971)

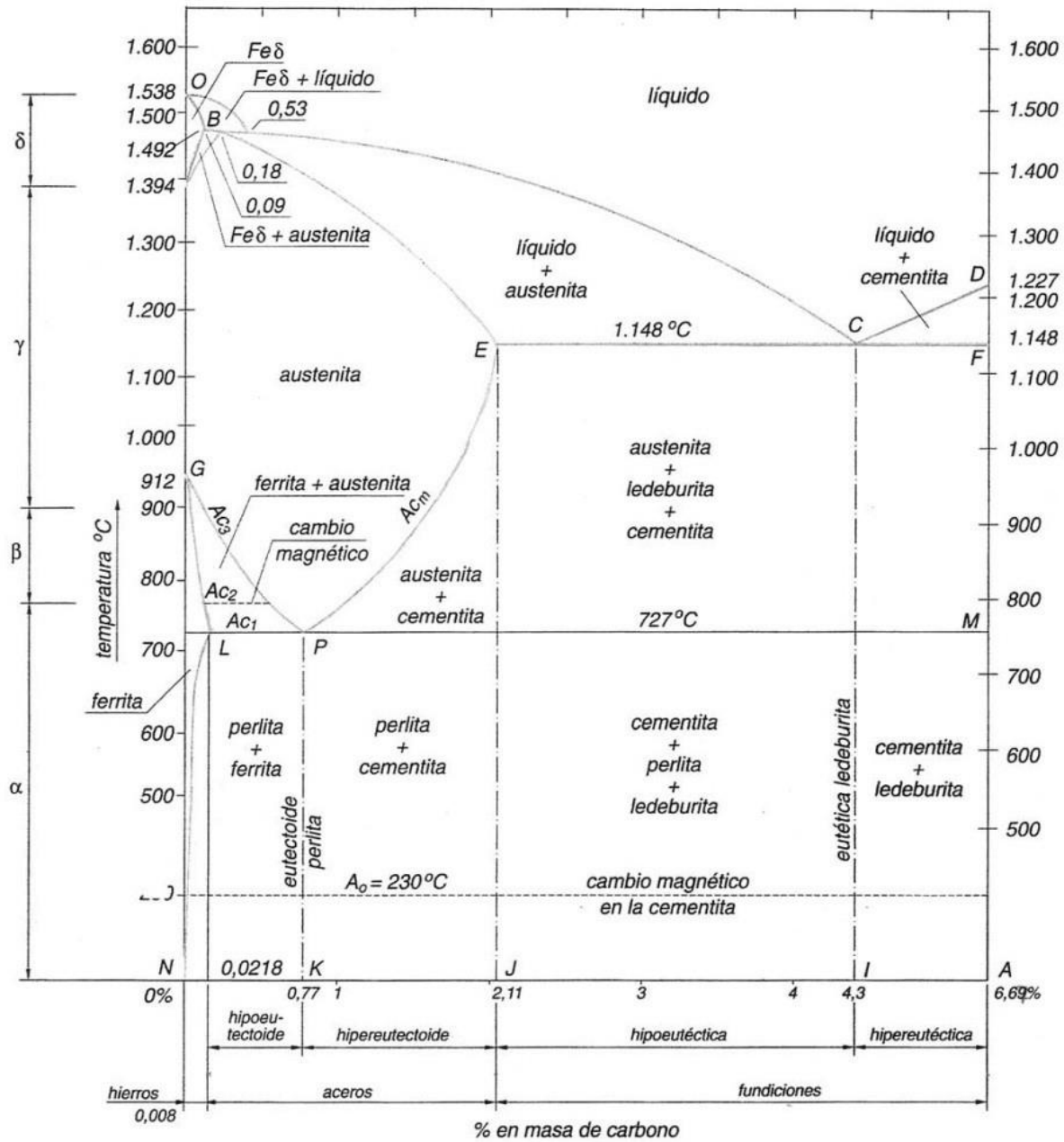


Diagrama hierro-carbono. Zonas, puntos y líneas más significativas.

Figura 2. Diagrama Hierro-Carbono. Fuente: (Fe-c, 2010)

4.4. Tipos de tratamiento térmico

4.4.1. Temple.

Es un tratamiento térmico que consiste en dos pasos: austenización y enfriamiento por inmersión. La primera consiste en calentar el acero a una temperatura superior a la crítica 727°C (Figura2) para transformarse en forma entera o parcial en austenita. La temperatura de calentamiento se establece considerando el diagrama de fases hierro-carbono, donde para cada concentración se define la temperatura de austenización (temperatura de cambio de fase o de transformación en austenita).

El diagrama TTT sirve para a partir de la temperatura de austenización, diseñar el régimen de enfriamiento a fin de obtener la estructura producto de la transformación. Esta última es el resultado de considerar la variable tiempo y el diagrama TTT se denomina TRANSFORMACIÓN-TEMPERATURA-TIEMPO.

La transformación de la austenita a martensita ocurre por el enfriamiento rápido por inmersión de la pieza en salmuera, agua dulce, aceite y aire. Así, como la velocidad de transmisión de calor dentro de la pieza de acero, con lo que se obtiene un acero de alta resistencia al desgaste o a la fractura. Figura 3

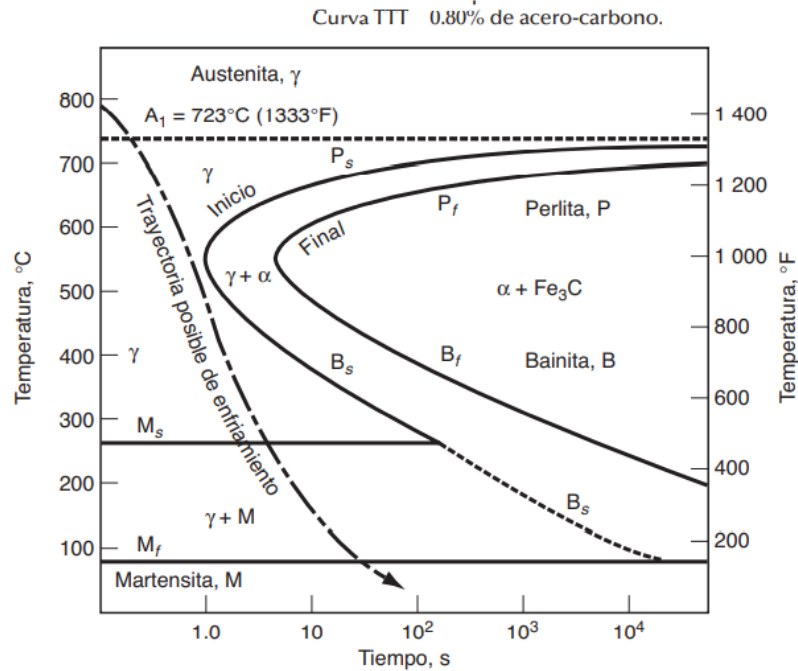


Figura 3. Diagrama TTT. Fuente: (Groover, 2007)

4.4.2. Recocido.

En el recocido, el procedimiento es parecido al anterior, se calienta la pieza superior al punto crítico, hasta una temperatura de austenización en donde se mantiene por un cierto tiempo y luego se realiza un enfriamiento lento para reducir la dureza, fragilidad y aumentar su elasticidad, esto conlleva a una estructura estable sin tensiones residuales, para realizar trabajos de torneado, fresado y forjado, en otras palabras, la maquinabilidad del material. (Groover, 2007). El recocido puede ser total, incompleto, de homogeneización y bajo.

Al recocido total se someten los aceros hipo eutectoides (0,77% C) por encima de A_3 , como se muestra en la figura 4.

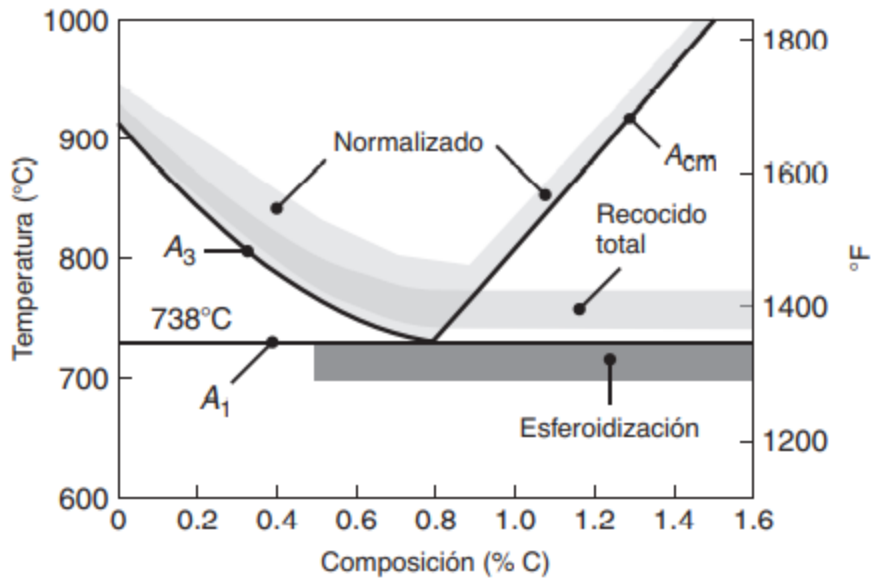


Figura 4. Recocido total. Fuente: (Kalpakjian, 2008)

En el recocido incompleto el acero se calienta unos 30 a 40°C por encima del punto crítico, se lo utiliza en aceros al carbono para herramientas, donde se obtiene la perlita granular, lo cual aumenta la maquinabilidad del acero y reduce las tensiones.

Los aceros eutectoides e hipo eutectoides se someten al recocido hasta obtener la perlita granular.

La homogeneización se emplea para piezas grandes para equilibrar la composición química del acero. Se calienta de 1000 a 1100°C y se mantiene a esa temperatura durante 10 a 15 horas, luego se enfría lentamente hasta 600-550°C

El recocido bajo (esferoidización) se utiliza para eliminar las tensiones internas de las estructuras de acero obtenidas por coladas. El acero se calienta a una temperatura inferior al A₁ (Figura 4) y se enfría al aire. (Kucher, 1987)

4.4.3. Revenido.

Es un proceso final del tratamiento térmico, el material templado se vuelve a calentar por debajo de A_1 (Figura 4) hasta 150 - 600°C, para eliminar las tensiones internas y así, corregir las propiedades de fragilidad, también en este proceso aumenta la tenacidad del material.

En función a la temperatura existen 3 tipos de revenido: De baja, intermedia y alta temperatura. El revenido a baja temperatura se utiliza para aceros de herramientas luego de la cementación, también se emplea, para el temple superficial etc.

En el revenido intermedio el acero templado se calienta hasta una temperatura de 350 - 400°C, obteniendo una combinación de dureza y elasticidad como los muelles y resortes.

En el revenido de alta temperatura (bonificado) las piezas se calientan hasta los 450 – 650°C y se emplean para piezas que sufren cargas de impacto. (Kucher, 1987)

4.5. Hornos de tratamiento térmico

Los hornos son equipos que se utilizan en industria para realizar diferentes tipos de tratamiento térmico, como el temple, recocido y revenido. Estos procesos cambian las propiedades mecánicas y microestructuras de los materiales.

4.5.1. Clasificación de hornos.

Los hornos para tratamientos térmicos se clasifican:

- **Horno a gas**

El calentamiento se produce por la combustión de gas, tiene como ventaja que son económicos, pero tienen dificultad para controlar la temperatura. Pueden ser de combustión directa en los cuales los materiales de combustión entran a la cámara de calentamiento, o combustión indirecta donde los materiales quedan aislados de la cámara de calentamiento.

- **Resistencia eléctrica**

Estos son de calentamiento indirecto, ya que el calor se transmite por radiación, desde las resistencias eléctricas que se encuentran alrededor de la cámara, hasta la pieza a tratar ubicadas en la base de la cámara.(Nabertherm, 2019)

- **Hornos según su atmósfera**

La atmósfera de los hornos se puede controlar para evitar la oxidación y descarbonización de la pieza. Esta ventaja no se logra cuando la cámara de calentamiento está rodeada de gas.

- **En Vacío**

Normalmente este proceso térmico, se utiliza para tratamientos especiales de aceros aleados para sintetizar carbonos cementados.(“La Revista De Los Profesionales De Los Tratamientos Térmicos,” 2012)

4.5.2. Principio de funcionamiento del horno de resistencia eléctrica.

El horno de resistencia es de tipo eléctrico y se calienta por efecto Joule, el calor se transmite por medio de radiación, que se emite desde las resistencias que se encuentran alrededor de la cámara y ceden calor hacia las piezas. Este tipo de hornos son los más usados porque son sencillos de instalar, controlar, operar y tienen un alto grado de rendimiento y exactitud. El control de temperatura en este tipo de hornos es muy preciso y adecuado para realizar los procesos de tratamientos térmicos, además son económicos y se los considera amigables con el medio ambiente.(Rodríguez et al, 2006).

4.6. Ensayos de Dureza

Entre los principales tipos de dureza tenemos:

Ensayo Brinell

Ensayo Vickers

Ensayo Rockwell

Ensayo Leeb

4.6.1. Ensayo Brinell (HB).

Se utiliza para medir metales y no metales de dureza baja y media. Consiste en presionar una esfera endurecida (o carburo cementado) de 10 mm de diámetro contra la superficie de un cuerpo con una carga de 500, 1500 y 3000 Kg (Figura 5). Después se divide la carga entre el área de indentación para obtener el número de dureza Brinell (NHB).

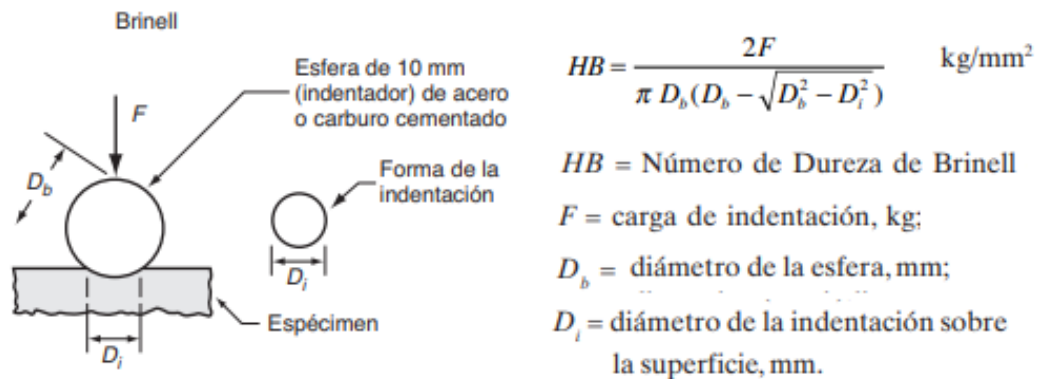


Figura 5. Dureza Brinell. Fuente: (Groover, 2007)

4.6.2. Ensayo Vickers (HV).

Se utiliza un indentador de forma piramidal hecho de diamante (Figura 6). Se basa en que las impresiones dejadas por el son similares en cuanto su geometría sin importar la carga que se aplique. En este caso se mide las dimensiones de las diagonales de la indentación cuadrada que deja sobre la superficie utilizada.

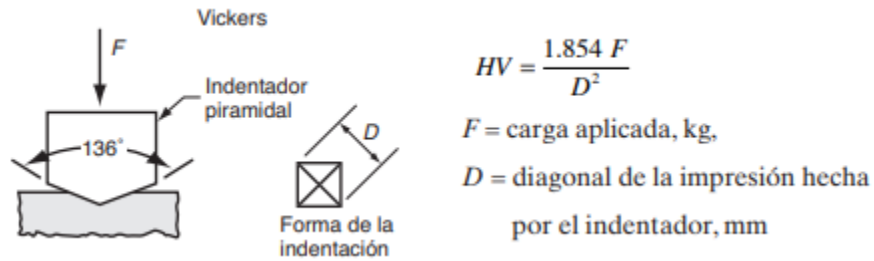


Figura 6. Dureza Vickers. Fuente: (Groover, 2007)

4.6.3. Ensayo Rockwell (HR).

Se basa en presionar un indentador cónico o esférico de diámetro pequeño de 1,6 mm o 3,2 mm contra un material por medio de una carga de 10 kg que asienta el indentador sobre la probeta. Después se aplica una carga mayor de 150 Kg (u otro valor), lo que hace que el indentador penetre aún más en el material. El equipo de prueba convierte esta distancia de penetración, d , en una lectura de dureza Rockwell (Figura 7).

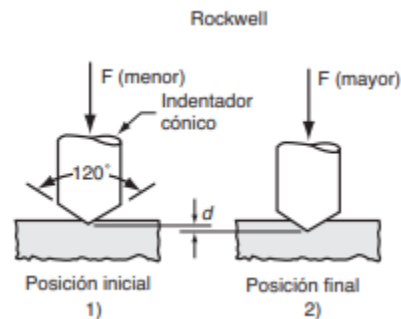


Figura 7. Dureza Rockwell. Fuente: (Groover, 2007)

Las diferencias en las carga y geometría del indentador proporcionan varias escalas de Rockwell para distintos materiales como se indica en la tabla 1.

Tabla 1
Escalas Rockwell

Escala de Rockwell	Símbolo de la Dureza	de la Indentador	Carga (Kg)	Materiales Comunes Probados
A	HRA	Cono	60	Carburos, Cerámicas
B	HRB	Esfera de 1,6 mm	100	Metales no Ferrosos Metales
C	HRC	Cono	150	Ferrosos, Aceros para herramienta

Fuente: (Groover, 2007)

4.6.4. Ensayo Leeb (HL).

El principio de este ensayo se basa en el método (de rebote) dinámico. Un elemento con punta redonda de material duro es propulsado mediante la fuerza de un resorte contra la superficie de la pieza de ensayo. Cuando el cuerpo de impacto pega en la superficie de ensayo sucede una deformación de la superficie, lo cual causa una pérdida de energía cinética. La pérdida de energía es detectada por medio de la comparación de las velocidades de impacto V_i y de rebote V_r (Figura 8), cuando el cuerpo de impacto está a una distancia exacta de la superficie tanto para la etapa de impacto como para la etapa de rebote del ensayo.

Las velocidades se miden usando un imán permanente en el cuerpo de impacto el cual genera un voltaje de inducción en la bobina posicionada precisamente en el dispositivo de impacto. El voltaje detectado es proporcional a la velocidad del cuerpo de impacto. A continuación, el procesado de señales proporcionará la lectura de dureza (equotip, 2020).

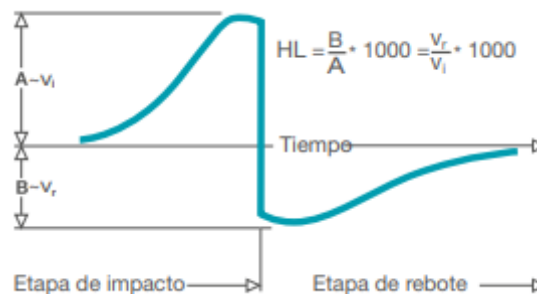


Figura 8. Dureza Leeb. Fuente: (equotip, 2020)

4.7. Otras experiencias sobre hornos de tratamiento térmico

Horno de mufla de la Universidad Técnica del Norte.

Para el presente proyecto, se ha revisado la construcción de otros hornos de tratamiento, como el del Sr. Lenin Andrés Montero Vizcaíno, de la Universidad Técnica del Norte, donde el tema es “Diseño y construcción de un horno de mufla para la realización de tratamientos térmicos de aceros”. Este horno de mufla pequeño que tiene 200 mm de ancho, 170 mm de alto y 200 mm de profundidad en su cámara y alcanza una temperatura máxima de 1000°C en un tiempo de 40 minutos.

Los materiales de construcción son con lana de vidrio, ladrillo refractario, mortero refractario, chapa metálica y su sistema de control de temperatura está dado con un controlador TOKY-TE-W.

Horno de tratamiento térmico de la Universidad Tecnológica Equinoccial.

La construcción de un horno de resistencias por parte del Sr. Diego Ernesto González Caicedo, de la Universidad Tecnológica Equinoccial, cuyo tema es “Diseño y construcción de un horno de tratamientos térmicos de rango entre 0 y 700°C para el laboratorio de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Tecnológica Equinoccial. Donde su cámara es de 345 mm de ancho,

236 mm da altura y 345 mm de profundidad, con un rango de 0 a 700°C en un tiempo de 70 minutos.

Los materiales empleados en la construcción son: ladrillo refractario, con alto contenido de alúmina, fibra cerámica, mortero refractario y su dispositivo de control de temperatura un controlador INKBIRD con una termocupla tipo K con vaina.

Rehabilitación y puesta en marcha de horno para tratamiento térmico de la Universidad de las Fuerzas Armadas.

La rehabilitación del horno que

realizó el Sr. Luis Vladimir Ushiña Peralta de la Universidad de las Fuerzas Amadas, bajo el tema “Diseño, rehabilitación y puesta en marcha del sistema de calentamiento del horno para tratamientos térmicos hasta 1000°C marca SYBRON modelo Termolyne 1500 perteneciente al Laboratorio de Ciencia de Materiales del DECEM”. Este horno de mufla es de fábrica de un precio elevado, su cámara es pequeña de 120 mm de ancho, 120 mm de altura y 200 mm de profundidad, alcanza una temperatura de 1000 °C en un tiempo de 90 minutos, todo esto con un costo de 1820 dólares. Además, es trifásico y tiene una conexión en triángulo.

Los materiales utilizados en este proyecto son: Ladrillo refractario, lana de vidrio, mortero refractario, tool negro.

Repotenciación del horno eléctrico controlado por touch panel para tratamientos térmicos de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

La repotenciación del horno la efectuaron los señores Andrés Guevara y Cristian Riofrío de la Universidad Técnica de Cotopaxi, cuyo tema es “Repotenciación del horno eléctrico controlado por touch panel para tratamientos térmicos”. La conexión es trifásica en estrella y opera

con un rango de 0 a 900°C en un tiempo de 120 minutos. También, su cámara es de 300 mm de ancho, 300 mm de altura y 350 mm de profundidad, con un costo de 1079,45 dólares.

Los materiales que se utilizaron son: resistencia Kanthal, lana de vidrio, ladrillo refractario, termocupla tipo K y un control de temperatura Rex-004280.

5. Metodología.

5.1. Materiales

Los materiales que se utilizó en la repotenciación del horno de resistencias lo detallaremos a continuación.

5.1.1. Ladrillo refractario.

El ladrillo refractario (Tabla 2) se lo utiliza para aplicaciones de altas temperaturas sin fundirse, totalmente cerámico y sirve como aislante térmico, ver anexo 1. Está compuesto principalmente de alúmina (Al_2O_2) y Sílice (SiO_2), ideal para hornos de alta temperatura. (Newell, 2011).

Tabla 2
Ladrillo refractario

Temperatura (°C)	TJM84 (W/m*K)	TJMC1 (W/m*K)	TJM26C (W/m*K)
600	0,28	0,34	0,29
800	0,30	0,38	0,32
1000	0,34	0,42	0,36

Fuente: (Morgan, 2019)

5.1.2. Mortero refractario.

Los morteros refractarios están basados en arcilla o silicato de sodio que soportan altas temperaturas (Figura 9), se utiliza para unir los ladrillos refractarios y sellar las juntas de las mismas.



Mortero Refractario

Figura 9. Mortero refractario. Fuente: (ERECOS, 2017)

5.1.3. Lana aislante.

La lana de vidrio es un material aislante de alta resistencia que se opone al paso de calor, contribuyendo a la eficiencia energética, es un producto natural, no contaminante ni cancerígeno y tampoco es perjudicial para el ser humano. Este aislante se fábrica fundiendo arena a altas temperaturas además de un proceso de fibrado. Como se muestra en la Tabla 3. (Groover, 2007; ISOVER, 2018)

Tabla 3
Lana aislante

Conductividad Térmica ASTM C 201		
Temperatura media, 4pcf (°C)	BTU*in/ft ² *h*°F	W/m*K
260	0,54	0,08
538	1,29	0,19
816	2,30	0,33
982	2,96	0,43

Fuente: (CICS, 2005)

5.1.4. Resistencia eléctrica metálica.

Las resistencias instaladas en un horno se comportan como una carga eléctrica puramente resistiva. Las relaciones entre la tensión V , la intensidad I , la potencia P y la resistencia eléctrica R_T se deducen de la ley de Ohm como se muestra en la Figura 10 y 11.

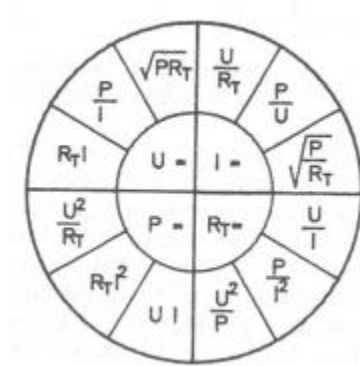


Figura 10. Relaciones de magnitudes eléctricas. Fuente:(Astigarraga, 1994)



Figura 11. Resistencia Kanthal. Fuente: (Kanthal, 2001)

5.1.5. Sensor de temperatura.

El sensor de temperatura termopar llamado también termocupla se emplea para medir la temperatura de la cámara del horno (Figura 12). Los termopares K están fabricados de níquel y cromo con una vaina de acero inoxidable que soporta altas temperaturas y tiene resistencia al

choque térmico, este sensor se puede trabajar en medios oxidantes hasta una temperatura de 1260°C.



Figura 12. Termopar. Fuente: (Brototermic, 2014)

5.1.6. Tablero de control.

Es un sistema que protege los diferentes dispositivos del horno, que se alimenta de una toma de 220VCA, dos fases, la misma que está conectada a un disyuntor, el cual protege al equipo todo el tiempo.

5.1.7. Elementos del tablero de control.

Los dispositivos del tablero de control son: termomagnéticos, relevador térmico, contactores, porta fusibles, temporizador, pilotos luminosos, pulsadores, selector, borneras, parada de emergencia, rieles entre otros.(Figura 13) (EATON, 2013)



Figura 13. Elementos de tablero eléctrico. Fuente: (Robbins & Miller, 2008)

5.1.7.1. Controlador de temperatura.

Para hornos de tratamiento térmico se utiliza un pirómetro termoelectrónico TCN Autonics (Figura 14), que sirve para medir y controlar la temperatura entre 0 – 1200 °C, la cual va conectada al termopar.



Figura 14. TCN4. Fuente: (Acotron Electrónica Industrial, 2020)

5.1.7.2. Voltímetro.

Se lo utiliza para medir la diferencia de potencial entre dos terminales, en otras palabras, mide el voltaje del horno. Figura 15 y Figura 16.



Figura 15. Voltímetro analógico. Fuente: (Industriales, 2014)

PILOTO VOLTÍMETRO



Figura 16. Piloto voltímetro. Fuente: (Catálogo Ecobadajoz, 2020)

5.1.7.3. Amperímetro.

Sirve para medir la intensidad de corriente eléctrica, en otras palabras, es una herramienta que sirve para medir la corriente de consumo del horno. (Figura 17)



Figura 17. Piloto amperímetro. Fuente: (Cetronic, 2020)

5.1.7.4. Breaker.

Para el cálculo del breaker (Figura 18) se parte de la corriente nominal que se multiplica por un factor de 1.25 según la Norma NEC de instalaciones eléctrica.



Figura 18. Breaker. Fuente: (EATON, 2019)

Además, se trabajó para la literatura y cálculos con:

- Paquete de Microsoft office 2016
- PTC Matchad Prime 6.0
- CADe-SIMU V4.0
- Mendeley Desktop
- yEd Graph Editor

5.1.7.5. *Durómetro portátil.*

Es un instrumento que sirve para medir la dureza de diferentes materiales como el acero, hierro fundido, bronce y aluminio. (Figura 19)

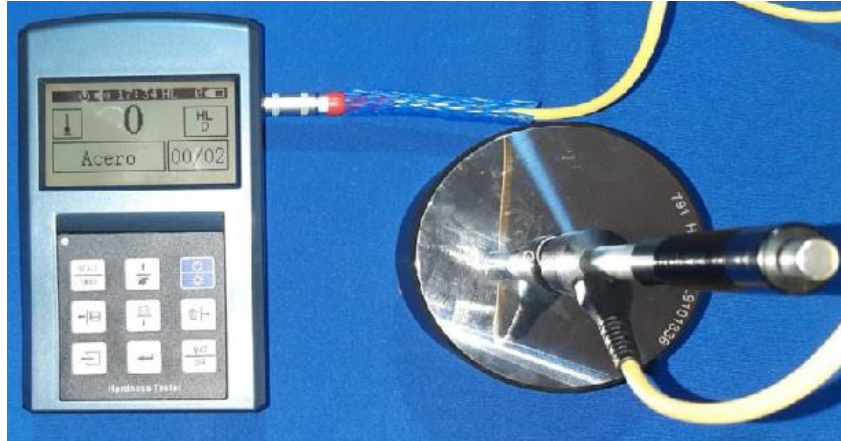


Figura 19. Durómetro portátil. Fuente: Propia

5.2. Métodos

En el desarrollo del proyecto de la repotenciación del horno de resistencias, se realizaron los cálculos de las pérdidas de calor del horno, restructuración de circuito eléctrico de potencia y control, como se puede observar en el esquema de metodología de la figura 20.

Los parámetros fundamentales fueron la temperatura de operación de 850°C, la temperatura exterior de 30°C que garantiza la seguridad de los estudiantes. Además, las propiedades térmicas de los materiales empleados y las etapas de calentamiento, mantenimiento y enfriamiento de la pieza en el interior del horno.

De acuerdo con lo descrito anteriormente se realizó los cálculos térmicos con el principio de la conservación de la energía y el apoyo del software Mathcad.

Se calculó las pérdidas de calor debido a diferentes factores como: calentamiento del aire en la cámara del horno, pérdida de calor que absorbe el material a tratar, calor perdido por irradiación por aberturas de cargas y calor perdido al calentar el aire que puede entrar a la cámara.

Se realizó el cálculo del espesor de paredes con el principio de balance de energía, así como los coeficientes de transferencia de calor por convección.

Se calculó la potencia del horno, la resistencia y longitud de la níquelina.

Se realizó los cálculos para la acometida eléctrica y disyuntor termomagnético que es independiente para el horno. De la misma manera, se realizó los cálculos para el breaker y contactor.

Se efectuó el cambio de los elementos de control para una mejor eficiencia del horno.

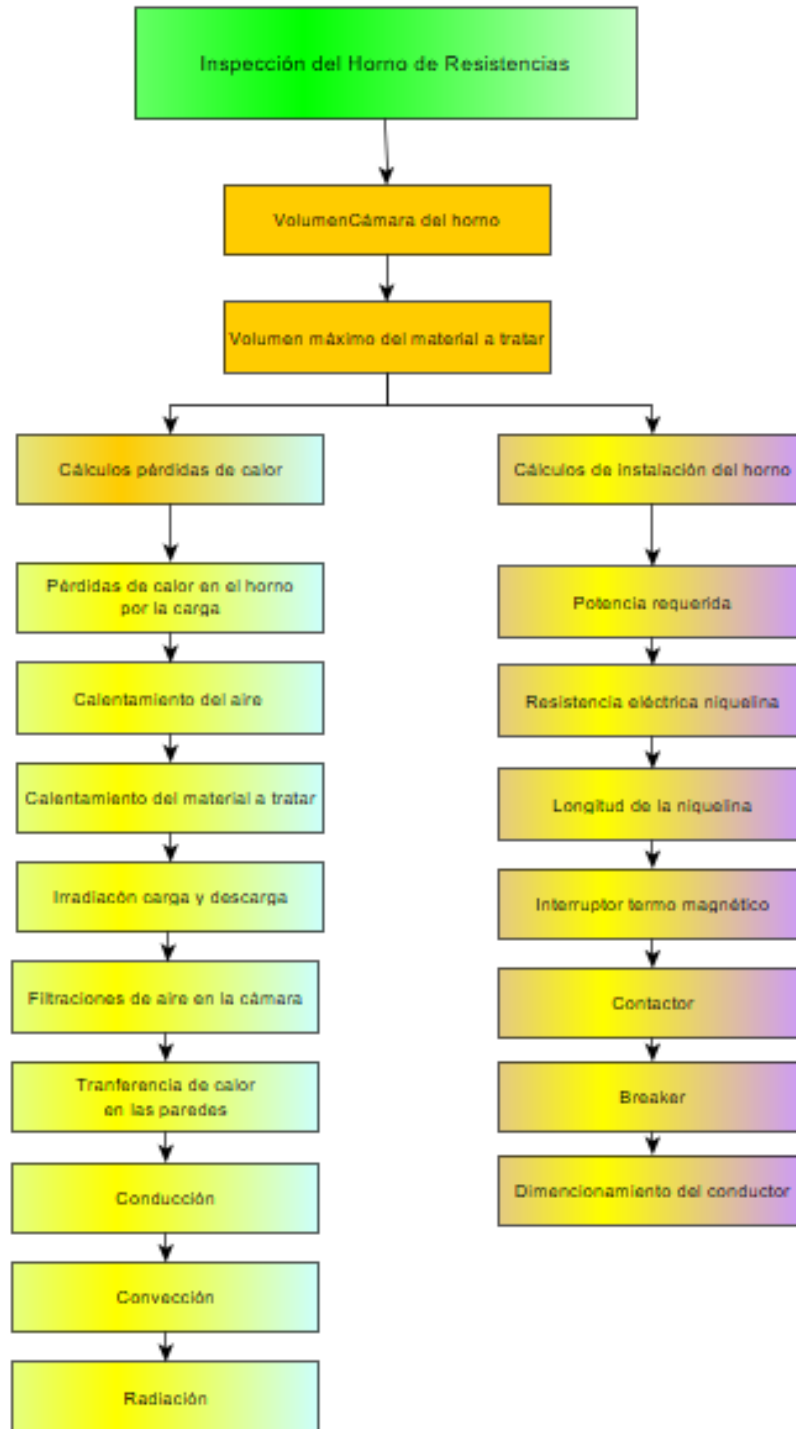


Figura 20. Esquema de metodología. Fuente: Propia

5.3. Parámetros de diseño

5.3.1. Cálculos del volumen de la cámara del horno.

Los datos para el volumen de la cámara ya están establecidos, dado que es una repotenciación del horno de resistencias, y tienen las siguientes medidas: 0.3m de ancho, 0.23m de altura y 0.52m de profundidad. (Figura 21)

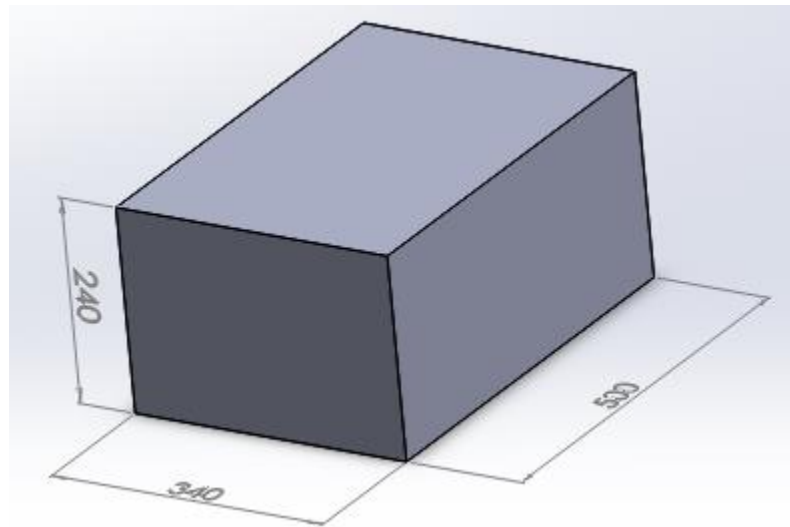


Figura 21. Cámara del horno. Fuente: Propia

El volumen de la cámara del horno

$$V_c = X * Y * Z \quad (1)$$

V_c: Volumen de la cámara

X: ancho

Y: Altura

Z: Profundidad

5.3.2. Volumen máximo del material a tratar térmicamente.

El volumen del material o pieza a tratar en la cámara del horno debe ser 1/4 del volumen de la cámara.(Gonzales, 2016)

$$V_p = \frac{1}{4} * V_c \quad (2)$$

5.3.3. Cálculo térmico.

Para los cálculos se considera la primera ley de la termodinámica y se basa en el principio de la conservación de la energía o balance de energía.

El calor producido por las resistencias eléctricas es mayor o igual a las pérdidas de calor producidas por diferentes factores en el funcionamiento del horno.

5.3.4. Calor total absorbido por la carga.

La cantidad de calor que absorbe la carga es igual a la suma del calor necesario para elevar la temperatura del aire, la cantidad de calor que absorbe el material, calor perdido por irradiación carga y descarga del horno y calor perdido al calentar el aire que puede entrar en la cámara del horno.(Chapman, 1984)

$$Q_c = Q_a + Q_m + Q_i + Q_v \quad (3)$$

Donde:

Q_a: Calor debido al calentamiento del aire [W]

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

Q_i: Calor perdido por irradiación carga y descarga del horno [W]

Q_v: Calor debido al calentar el aire que puede entrar en la cámara del horno [W]

Para obtener el calor que absorbe el aire en la cámara utilizamos la siguiente ecuación.

5.3.5. Cálculo del calor debido al calentamiento del aire.

$$Q_a = m_a * C_{pa} * \Delta T \quad (4)$$

Donde:

m_a : Masa del aire [kg]

C_{pa} : Calor específico del aire [J/kg. K]

ΔT : Diferencia de temperaturas de la cámara del horno y temperatura ambiente

Para los calores específicos tomamos los valores de la Tabla 4.

La temperatura ambiente promedio es de 15°C, la temperatura en la superficie exterior del horno es de 30°C y en la cámara del horno de 850°C.(Astigarraga, 1994)

Tabla 4
Propiedades del aire

Propiedades del aire a presión atmosférica					
T, K	ρ , Kg/m ³	C_p J/Kg*°C	ν , 10 ⁻⁶ , m/s ²	k, W/m*°C	Pr
250	1,4128	1,0053	11,31	0,02227	0,722
300	1,1774	1,0057	15,69	0,02624	0,708
350	0,9980	1,0090	20,76	0,03003	0,697
400	0,8826	1,0140	25,90	0,03365	0,689
1100	0,3204	1,1600	138,6	0,07320	0,704
1200	0,2947	1,1790	159,1	0,07820	0,707

Fuente:(Holman, 1998)

Para calcular la masa del aire en la cámara del horno tenemos la siguiente formula (Cengel y Ghajar, 2011)

$$m_a = \rho_a * V_a \quad (5)$$

Donde:

ρ_a : densidad del aire a 850°C [kg/m³]

V_a : Volumen del aire [m³]

La densidad del aire podemos ver en el anexo 2

El volumen de aire en la cámara del horno será igual a la diferencia del volumen de la cámara y el volumen de la pieza.

$$V_a = V_c - V_p \quad (6)$$

El material que se va usar es el acero SAE 1045 ver anexo 3 y las propiedades del material que se utilizan se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5
Propiedades acero SAE 1045

Propiedades Físicas del Acero SAE 1045		
Densidad	gr/cm ³	7,85
Conductividad térmica	W/m*°C	52
Calor específico	J/Kg*K	460

Fuente: (S.A., 2013)

5.3.6. Cálculo del calor que absorbe la pieza.

Se calcula el calor que absorbe la pieza en la cámara del horno.

$$Q_m = m_p * C_{pp} * \Delta T \quad (7)$$

Donde:

m_p : Masa de la pieza en kg

C_{pp} : Calor específico de la pieza SAE 1045 [J/kg. K]

ΔT : Diferencia de temperaturas de la cámara del horno y temperatura ambiente

La masa de la pieza a tratar térmicamente se calcula con la siguiente formula

$$m_p = \rho_p * V_p \quad (8)$$

Donde:

ρ_p : Densidad del acero SAE 1045[kg/m³]

V_p : Volumen de la pieza [m³]

5.3.7. Cálculo calor perdido por irradiación abertura carga y descarga.

El aire que alcance ingresar a la cámara del horno por medio de la puerta, disminuye el calor necesario para realizar el tratamiento térmico de las piezas. El tiempo de entrada del aire a la cámara es de 0.05h y el coeficiente de diafragma es de 0.9 (Collahuazo et al., 2010); la fórmula que se utiliza es la siguiente:

$$Q_i = 4.9 \left[\left(\frac{T_i}{100} \right)^4 \right] A * \theta * \Delta f \quad (9)$$

Donde:

Q_i : Calor de irradiación por abertura [Kcal/h]

T_i : Temperatura interior del horno [K]

A : Área de la puerta [m²]

θ : Coeficiente de diafragma

Δf : Tiempo de entrada del aire [h]

5.3.8. Cálculo de pérdidas del aire en la cámara del horno.

El aire que puede ingresar a la cámara del horno por un visor, reduce el calor que se necesita para el tratamiento térmico. El tiempo de entrada a la cámara es de 0.05h y se calcula con la siguiente ecuación.(Collahuazo et al., 2010)

$$Q_v = 60 * 10^3 * B * H * \sqrt{H} * \Delta f \quad (10)$$

Donde:

B: Ancho del visor.

H: Altura del visor.

Δf : Tiempo de entrada del aire.

5.3.9. Cálculo del espesor de paredes.

Para realizar el cálculo del espesor de paredes se toma en cuenta el balance de energía (Figura 22) que se expresa de la siguiente manera:

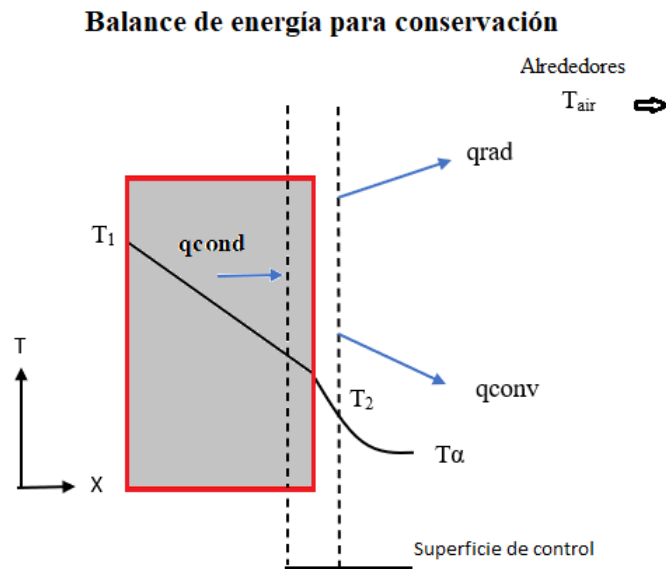


Figura 22. Balance de energía. Fuente: (Incropera y DeWitt, 1999)

Esta ecuación nos permite encontrar la temperatura de la pared exterior.

$$q_{\text{cond}} - q_{\text{conv}} - q_{\text{rad}} = 0 \quad (11)$$

$$q_{\text{cond}} = k * \frac{T_1 - T_2}{e} \quad (12)$$

$$q_{\text{conv}} = h * (T_2 - T_{\infty}) \quad (13)$$

$$q_{\text{rad}} = \varepsilon * \sigma * (T_2^4 - T_{\infty}^4) \quad (14)$$

Donde:

q_{cond} : Calor por conducción [W/m²K]

q_{conv} : Calor por convección [W/m²K]

q_{rad} : Calor por radiación [W/m²K]

T_1 : Temperatura del horno [K]

T_2 : Temperatura entre el ladrillo y la fibra de vidrio [K]

T_{α} : Temperatura ambiente [K]

K : Conductividad térmica del material [W/m*K]

ε : Emisividad superficial

h : Coeficiente de convección del aire 20W/m²K ((Astigarraga, 1994)

e : Espesor del material [m]

σ : Constante de Stefan Boltzmann [W/m²K⁴]

Reemplazando la ecuación 12,13,14 en 15 tenemos

$$k * \frac{T_1 - T_2}{e} - h * (T_2 - T_{\alpha}) - \varepsilon * \sigma * (T_2^4 - T_{\alpha}^4) = 0 \quad (15)$$

La ecuación sirve para escoger la mejor opción del espesor del ladrillo refractario y la lana de vidrio. Como se indica en la Tabla 6.

Tabla 6
Espesores de la pared

Propiedades	Unidades	Ladrillo	Lana aislante
Temperatura interior	K	1273,15	352,82
Conductividad térmica	W/m*K	0,34	0,30
Espesor del material	m	0,18	0,03
Coefficiente material del aire	W/m ² *K	20	20
Temperatura ambiente	K	288,15	288,15
Emisividad superficial	--	0,90	0,90
Constante de Stefan Boltzmann	W/m ² *K ⁴	5,67 E-8	5,67 E-8
Temperatura exterior delo horno	K	352,82	285,17

Fuente: Autoría Propia

5.3.10. Cálculo del flujo de calor.

El flujo de calor unidimensional en pared compuesta del horno de tratamiento térmico está expuesto en su interior a la máxima temperatura de trabajo y en el exterior a una baja temperatura ambiental como se muestra en la figura 23.

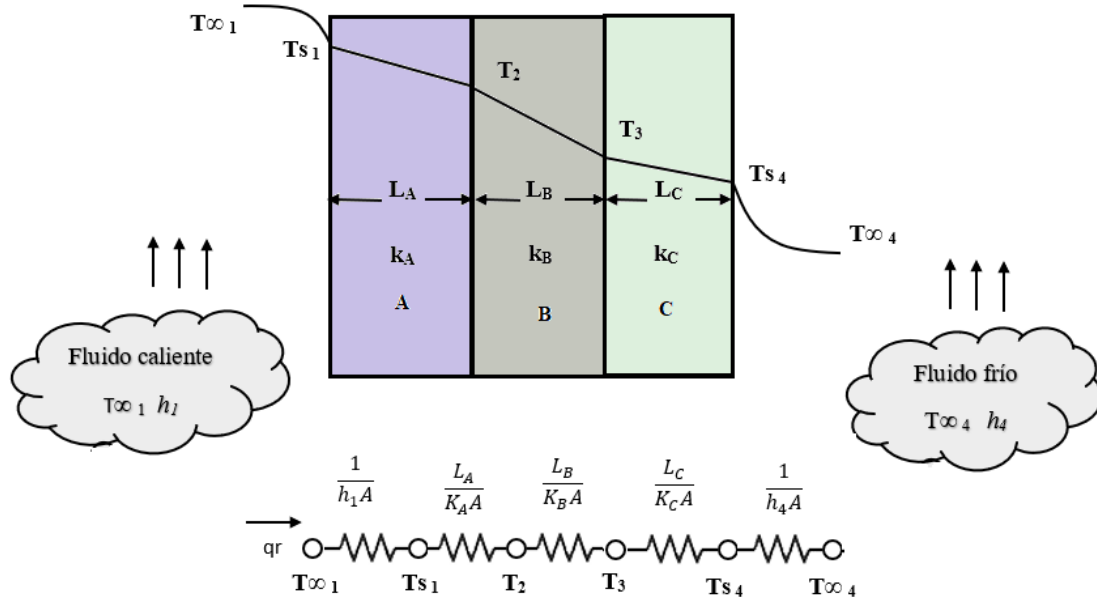


Figura 23. Circuito equivalente de la pared compuesta. Fuente: (Incropera & DeWitt, 1999)

Se debe calcular el flujo de calor que se pierde por la resistencia de cada material de la pared con la siguiente formula.(Incropera & DeWitt, 1999)

$$q = \frac{T_1 - T_\alpha}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5} \quad (16)$$

Donde:

T_1 : Temperatura de la cámara del horno.

T_α : Temperatura ambiente.

R_2, R_3, R_4 : Resistencias a la conducción.

R_1, R_5 : Resistencias a la convección.

5.3.11. Cálculos de las áreas de transferencia de calor en la pared.

Se determinan las áreas según la Figura 24 y Figura 25.

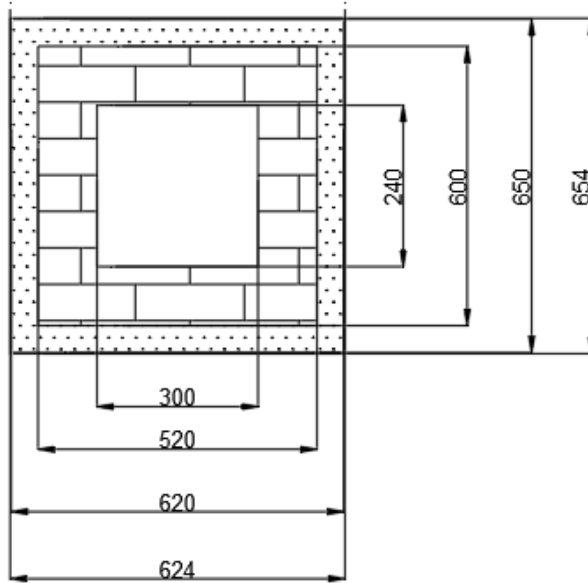


Figura 24. Vista frontal de la cámara del horno. Fuente: Propia

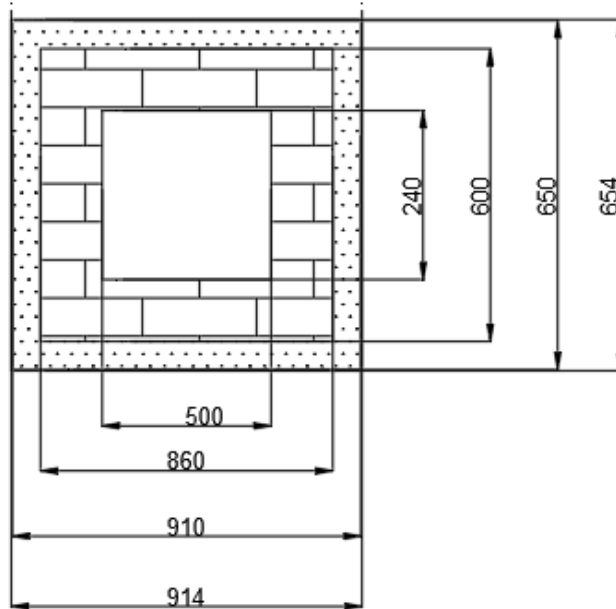


Figura 25. Vista lateral cámara del horno. Fuente: Propia

Para calcular las áreas asumimos que son iguales y se calcula con las siguientes ecuaciones

$$A_1=2[X_1*Z_1+Y_1*Z_1+X_1*Y_1] \quad (17)$$

$$A_2=2[X_2*Z_2+Y_2*Z_2+X_2*Y_2] \quad (18)$$

$$A_3=2[X_3*Z_3+Y_3*Z_3+X_3*Y_3] \quad (19)$$

5.3.12. Cálculos de pérdidas de calor.

Las pérdidas de calor suceden en las paredes de la cámara del horno por conducción y convección por la fórmula 20 y 21.(Incropera y dewitt, 1999)

$$R_{cond} = \frac{L}{K * A} \quad (20)$$

Rcond = Resistencia de Calor por Conducción [k/w]

L = espesor del material [m]

k = Conductividad térmica del material

$$R_{conv} = \frac{1}{h * A} \quad (21)$$

Rconv: Resistencia de calor por convección

h = Coeficiente de transferencia por convección

A = Área de transferencia de calor [m²]

Las resistencias de la pared compuesta

$$R1 = \frac{1}{h_i * A_1} \quad (22)$$

$$R2 = \frac{La}{Ka * A_1} \quad (23)$$

$$R3 = \frac{Lb}{Kb * A_2} \quad (24)$$

$$R_4 = \frac{Lc}{Kc * A_3} \quad (25)$$

$$R_5 = \frac{1}{he * A_3} \quad (26)$$

Donde:

R_1 = Resistencia térmica de calor por convección [k/w]

R_2 = Resistencia térmica de la capa de ladrillos [k/w]

R_3 = Resistencia térmica de la capa de fibra de vidrio [k/w]

R_4 = Resistencia térmica de la lámina de acero [k/w]

R_5 = Resistencia térmica de calor por convección [k/w]

A_1 = Área de transferencia de calor ladrillo refractario [m²]

A_2 = Área de transferencia de calor fibra de vidrio [m²]

A_3 = Área exterior del horno [m²]

h_i = Coeficiente de convección en el interior del horno [w/m²*K]

h_e = Coeficiente de convección en el exterior del horno [w/m²*K]

5.3.13. Cálculo de coeficiente de transferencia de calor por convección.

Para este coeficiente primero debemos sacar el número de Rayleigh y Nusselt.

.El número de Rayleigh (Ral) es el producto de Grashof (Gr) y Prandtl (Pr), el número de Grashof relación entre flotabilidad y viscosidad dentro de un fluido y Prandtl es la relación entre la difusividad de cantidad de movimiento y la difusividad térmica.(Incropera & DeWitt, 1999)

$$Gr_l = \frac{g\beta(T_s - T_\alpha)L^3}{\nu^2} \quad (27)$$

Donde los valores de viscosidad cinemática y Prandtl están en el anexo2.

g: Gravedad

β : Coeficiente de expansión térmica volumétrica [K^{-1}]

Ts: Temperatura parte exterior del horno. [K]

T α : Temperatura ambiente. [K]

v: Viscosidad cinemática del fluido [m^2/s]

L: Longitud característica

$$Ra_l = Gr_l * Pr \quad (28)$$

Pr: Número de Prandtl

Temperatura promedio (T)

$$T = \frac{T_s + T_\alpha}{2} \quad (29)$$

Ts: Temperatura exterior del horno

T α : temperatura ambiente

El coeficiente de expansión térmica está dado por:

$$\beta = \frac{1}{T} \quad (30)$$

El número de Nusselt (Holman, 1998)

$$Nu = C(Gr_l * Pr)^m \quad (31)$$

C: Constante de correlación

Si $10^4 \leq Gr_l * Pr \leq 10^9$ entonces

C=0,59

m=1/4

El coeficiente de transferencia de calor por convección libre o natural (Incropera y DeWitt, 1999)

$$h = \frac{Nu * ka}{L} \quad (32)$$

Donde:

Nu: Número de Nusselt

Ka: Conductividad térmica del aire [W/m*K]

L: Longitud característica [m]

El número de Nusselt es un número adimensional que relaciona la transferencia de calor por convección de la capa de fluido con la pared.

Para el coeficiente de transferencia de calor por convección en el interior del horno se toma en cuenta la temperatura del interior del horno y la temperatura exterior del mismo.

El coeficiente de transferencia de calor por radiación

$$hr = 4 * \varepsilon * \sigma * \left(\frac{T_f + T_i}{2}\right)^3 \quad (33)$$

T_f: Temperatura interior del horno [K]

T_i: Temperatura ambiente [K]

ε: Emisividad superficial

σ: Constante de Stefan Boltzmann [5,57E-8 W/m²K⁴]

5.3.14. Cálculos de la Longitud característica.

Para la longitud característica (Ushiña, 2014) utilizamos la siguiente formula:

$$L = \frac{1}{\frac{1}{LH} + \frac{1}{LV} + \frac{1}{LL}} \quad (34)$$

LH: Longitud horizontal del horno

LV: Longitud vertical del horno

LL: Longitud lateral del horno

5.3.15. Balance térmico.

Se aplica la primera ley de la termodinámica. El calor suministrado por el horno es igual a la cantidad de calor absorbido por la carga más las pérdidas del flujo de calor. El horno de resistencia tiene una potencia de 12,31KW que equivale a 10585Kcal/h.

Calor suministrado por el horno= Perdidas flujo de calor + Carga total absorbida

5.3.16. Cálculos de potencia del horno.

El cálculo de la potencia requerida, se calcula a partir del balance térmico. (Holman, 1998)

$$Q_s = Q_c + q \quad (35)$$

$$Q_s \leq P$$

Q_s = Potencia del horno requerida

Q_c = Calor total absorbido por la carga

q = Perdidas de flujo de calor

P = Potencia del horno

5.3.17. Cálculo de la resistencia eléctrica Niquelina.

El cálculo de resistencia eléctrica en los hornos de tratamiento está dado en base al efecto Joule.

$$P = V * I \quad (36)$$

P = Potencia del Horno [w]

V = Tensión Eléctrica [V]

I = Intensidad Eléctrica [A]

Utilizamos la Ley de Ohm y sacamos la resistencia R [Ω] (Robbins & Miller, 2008)

$$R = \frac{V}{I} \quad (37)$$

Podemos ver valores de resistividad en (Tabla 7) Kanthal A1.

Tabla 7
Valor de Resistividad Kanthal A-1

Aleación	Unidad	Kanthal A -1
Resistividad a 20°C	Ωm	1.45 E-6
Diámetro del conductor	mm	2
Coefficiente de resistividad a 1000°C (Ct)		1.04

Fuente (Kanthal, 2001)

5.3.18. Cálculo de la resistencia eléctrica a temperatura de trabajo

Se calcula la resistencia por cada metro

$$R(T^{\circ}\text{C}) = \frac{p * L}{A} \quad (38)$$

p = Resistividad [Ωm]

L= Longitud del material

A = área transversal en m²

$$A = \frac{\pi\Phi^2}{4} \quad (39)$$

Φ = Diámetro del conductor en [m]

D = diámetro de la espira

$$D = 6 * \Phi \quad (40)$$

S = paso de espiras

$$S = 4 * \Phi \quad (41)$$

Calculamos la resistencia a la temperatura de trabajo con la fórmula 42 y se trabaja con el coeficiente de resistividad de la Tabla 7

$$R_T = Ct * R(T^\circ C) \quad (42)$$

R_T = Resistencia eléctrica a la temperatura de trabajo [Ω]

Ct = coeficiente de resistividad ver Tabla 7

5.3.19. Cálculo de la longitud del hilo resistivo L_T .

Para calcular la longitud del hilo usamos el anexo 4 y la siguiente ecuación. (Astigarraga, 1994)

$$L_T = \frac{R}{Rt} \quad (43)$$

5.3.20. Cálculo de la corriente eléctrica.

Para el cálculo de la corriente partimos de la Ley de watts. (Figura 26)

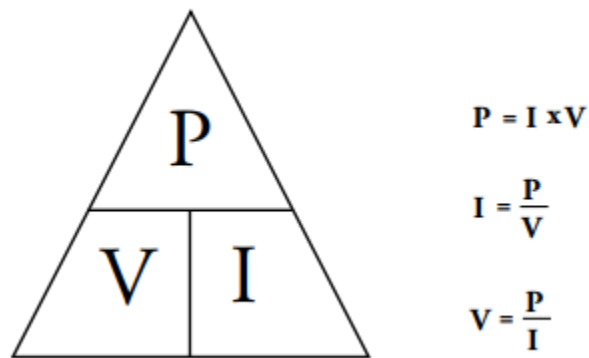


Figura 26. Ley de Watt. Fuente:(CONDUMEX, 2009)

$$I = \frac{P}{V} \quad (44)$$

Donde:

I: Corriente eléctrica nominal [A]

P: Potencia eléctrica [watts]

V: Voltaje [V]

5.3.21. Cálculo del interruptor termomagnético.

Para el cálculo del disyuntor se parte de la corriente nominal que se multiplica por un factor de 1.25 según la Norma NEC de instalaciones eléctrica.(Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2018) Ver anexo 5.

$$disyt = I * 1.25 \quad (45)$$

Donde:

disyt: Disyuntor o interruptor termo magnético [A]

I: Corriente eléctrica nominal [A]

5.3.22. Cálculo del contactor.

El contactor es un dispositivo de protección térmico y magnético que sirve para interrumpir la corriente, abre y cierra circuitos y debe ser mayor o igual a la corriente nominal, ver Figura 27. Se usa un contactor para el circuito de potencia y mando debido al tipo de carga resistiva y a la potencia nominal.



Figura 27. Contactores de 9-95 A. Fuente: (CHNT, 2011)

5.3.23. Cálculo del cable.

El cable de la acometida se escoge con la corriente nominal en la Tabla 8.

Tabla 8
Conductor - Capacidad de corriente

Conductor de cobre 600V – 60°C		
Calibre (AWG)	Sección transversal (mm ²)	Capacidad de corriente (A)
14	2,08	15
12	3,31	20
10	5,261	30
8	8,367	40
6	13,3	55
4	21,15	70

Fuente: (ELECTROCABLES, 2018)

5.4. Marco Legal Normativo

En el presente proyecto se usa la legislación y normas ecuatorianas.

RESOLUCION 619 DE 1997 emitida 7 de julio, la cual se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas.

En esta resolución indica: artículo 1 índice 2.15 regula las condiciones generales para el saneamiento del medio ambiente, se necesita permisos en la INDUSTRIA DE FUNDICION DE ACERO con hornos de fundición de más de 2 Ton/día.(Ministerio de Medio Ambiente, 1997)

6. Resultados.

6.1. Cálculos

Dimensionamiento interior de la cámara

$$a := 340 \text{ mm}$$

a es el ancho de la cámara del horno

$$b := 240 \text{ mm}$$

b es el alto de la cámara del horno

$$c := 500 \text{ mm}$$

c es la profundidad de la cámara del horno

$$\rho_a := 0.274 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

ρ_a es la densidad del aire

$$\rho_{\text{material}} := 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

ρ_{material} es la densidad de la pieza

$$C_{p_a} := 1192 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

C_{p_a} es el calor específico del aire

$$C_{p_{\text{material}}} := 460 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$C_{p_{\text{material}}}$ es el calor específico de la pieza

$$e_p := 180 \text{ mm}$$

e_p es el espesor de la pared de ladrillo

$$e_1 := 25 \text{ mm}$$

e_1 es el espesor lana de vidrio

$$e_m := 2 \text{ mm}$$

e_m es el espesor del tool negro

$a1 := a + 2 \cdot e_p = 700 \text{ mm}$	$a1$ es el ancho de cámara más dos espesores de ladrillo
$a2 := a1 + 2 \cdot e_l = 750 \text{ mm}$	$a2$ es el ancho $a1$ más dos espesores de lana de vidrio
$a3 := a2 + 2 \cdot e_m = 754 \text{ mm}$	$a3$ es el ancho $a2$ más dos espesores de tool negro
$b1 := b + 2 \cdot e_p = 600 \text{ mm}$	$b1$ es la altura de cámara más dos espesores de ladrillo
$b2 := b1 + 2 \cdot e_l = 650 \text{ mm}$	$b2$ es el ancho $b1$ más dos espesores de lana de vidrio
$b3 := b2 + 2 \cdot e_m = 654 \text{ mm}$	$b3$ es el ancho $b2$ más dos espesores de tool negro
$c1 := a + 2 \cdot e_p = 700 \text{ mm}$	$c1$ es la altura de cámara más dos espesores de ladrillo
$c2 := c1 + 2 \cdot e_l = 750 \text{ mm}$	$c2$ es el ancho $c1$ más dos espesores de lana de vidrio
$c3 := c2 + 2 \cdot e_m = 754 \text{ mm}$	$c3$ es el ancho $c2$ más dos espesores de tool negro
$T_f := 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_f = 1273.15 \text{ K}$	T_f es la temperatura interior del horno
$T_e := 30 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_e = 303.15 \text{ K}$	T_e es la temperatura exterior del horno
$T_i := 15 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_i = 288.15 \text{ K}$	T_i es la temperatura ambiental
$k1 := 0.34 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$	$k1$ conductividad térmica del refractario
$k2 := 0.035 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$	$k2$ conductividad térmica lana de vidrio
$k3 := 58 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$	$k3$ conductividad térmica del tool
$V_{\text{camara}} := a \cdot b \cdot c = 0.041 \text{ m}^3$	V cámara es el volumen de la cámara
$V_{\text{material}} := \frac{1}{4} V_{\text{camara}} = 10200 \text{ cm}^3$	V material es el volumen del material
$V_a := V_{\text{camara}} - V_{\text{material}} = 0.0306 \text{ m}^3$	V_a Volumen del aire
$m_a := \rho_a \cdot V_a = 0.00838 \text{ kg}$	m_a masa del aire
$Q_a := m_a \cdot C_{pa} \cdot (T_f - T_i) = 9844.292 \text{ J}$	Q_a calor que absorbe el aire
$Q_a := \frac{Q_a}{\text{hr}} = 2.73453 \text{ W}$	
$m_{\text{material}} := \rho_{\text{material}} \cdot V_{\text{material}} = 80.07 \text{ kg}$	ρ material es la densidad del material
$Q_m := m_{\text{material}} \cdot C_{p_{\text{material}}} \cdot (T_f - T_i)$	Q_m calor debido al calentamiento de la pieza
$Q_m = 36279717 \text{ J}$	

$$Q_m := \frac{Q_m}{\text{hr}} = 10077.699 \text{ W}$$

$$\theta := 0.9$$

$$\Delta f := 0.05 \text{ hr}$$

$$a_p := 0.34 \text{ m}$$

$$h_l := 0.24 \text{ m}$$

$$A := a_p \cdot h_l = 0.0816 \text{ m}^2$$

$$T_f := 1273.15 \text{ K}$$

$$Q_i := 4.9 \cdot \left[\left(\frac{T_f}{100} \right)^4 \right] \cdot A \cdot \theta \cdot \Delta f$$

$$Q_i = [472.73423] \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

$$Q_i := 472.73423 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

$$Q_i = 549.789909 \text{ W}$$

$$B := 0.032 \text{ m}$$

$$H := 0.032 \text{ m}$$

$$Q_v := 60 \cdot 10^3 \cdot B \cdot H \cdot \sqrt[2]{H} \cdot \Delta f$$

$$Q_v = 0.54954 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

$$Q_v := 0.54954 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

$$Q_v = 0.639115 \text{ W}$$

$$Q_c := Q_a + Q_m + Q_i + Q_v = 10.631 \text{ kW}$$

$$A_1 := 2 \left((a_1 \cdot c_1) + (b_1 \cdot c_1) + (a_1 \cdot b_1) \right)$$

$$A_1 = 2.66 \text{ m}^2$$

T_f es la temperatura interior del horno

θ coeficiente de diafragma por pérdidas

Δf tiempo de entrada del aire a la cámara

a_p ancho de la puerta de la cámara

h_l altura de la puerta de la cámara

A es el área de la puerta

T_f temperatura interior del horno

Q_i calor de irradiación, pérdidas por abertura

B ancho del visor

H altura del visor

Calor perdido del aire en la cámara del horno

Q_c cantidad de calor que absorbe la carga

A_1 es el área del ladrillo refractario

$$A2 := 2 \left((a2 \cdot c2) + (b2 \cdot c2) + (a2 \cdot b2) \right)$$

A2 área fibra cerámica

$$A2 = 3.075 \text{ m}^2$$

$$A3 := 2 \left((a3 \cdot c3) + (b3 \cdot c3) + (a3 \cdot b3) \right)$$

A3 es el área del tool negro

$$A3 = 3.1095 \text{ m}^2$$

$$LH := a + 2 \cdot (e_p + e_l + e_m) = 0.754 \text{ m}$$

Longitud horizontal del
horno

$$LV := b + 2 \cdot (e_p + e_l + e_m) = 0.654 \text{ m}$$

Longitud vertical del horno

$$LL := c + 2 \cdot (e_p + e_l + e_m) = 0.914 \text{ m}$$

Longitud lateral del horno

$$L := \frac{1}{\frac{1}{LH} + \frac{1}{LV} + \frac{1}{LL}} = 0.2532 \text{ m}$$

L es la longitud característica

$$Ts := 30 \text{ }^\circ\text{C} \quad Ts = 303.15 \text{ K}$$

T temperatura promedio

$$Ta := 15 \text{ }^\circ\text{C} \quad Ta = 288.15 \text{ K}$$

Ti es la temperatura ambiental

$$T := \frac{Ts + Ta}{2} = 295.65 \text{ K}$$

Te es la temperatura exterior del horno

$$\beta := \frac{1}{T} = 0.00338 \frac{1}{\text{K}}$$

β Coeficiente de expansión volumétrica

Tabla de Holman página 446

$$\nu := 15.309 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

ν es la viscosidad cinemática

$$k := 0.02589461 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

k conductividad térmica del aire

$$Pr := 0.709218$$

Pr es el número de Prandtl

$$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

g gravedad

$$\text{Gr}l := g \cdot \beta \cdot \left(\frac{T_s - T_\alpha}{\nu^2} \right) \cdot L^3$$

$$\text{Gr}l = 3.44742 \cdot 10^7$$

Grashof Holman

$$\text{Ra} := \text{Gr}l \cdot \text{Pr} = 2.44497 \cdot 10^7$$

Ra es el número de Rayleigh

Si $10^4 \leq \text{Gr} \cdot \text{Pr} \leq 10^9$ entonces $C=0.59$ y $m=1/4$ Tabla Holman página 254

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

C es una constante de correlación

$$\text{Nu} := C \cdot (\text{Gr}l \cdot \text{Pr})^m = 41.48781$$

m es una constante exponencial de correlación

Nu número de Nusselt

$$h := \frac{\text{Nu} \cdot k}{L} = 4.24289 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

h coeficiente de convección

$$\varepsilon := 0.9$$

Emisividad de pared refractaria

$$\sigma := 5.57 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

Constante de Stefan-Boltzmann

Tf es la temperatura interior del horno

$$h_r := 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot \left(\frac{T_f + T_i}{2} \right)^3$$

Ti temperatura ambiente

$$h_r = 95.39526 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

hr coeficiente de radiación

Cálculo del hi de convección interior

T Temperatura promedio

$$T := \frac{T_f + T_i}{2} = 780.65 \text{ K}$$

Tf Temperatura interior del horno

Ti Temperatura ambiente

$$\beta := \frac{1}{T} = 0.00128 \frac{1}{\text{K}}$$

β Coeficiente de expansión volumétrica

$$\nu := 79.04694 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

ν es la viscosidad cinemática
Tabla A4 Incropera

$$k := 0.0567451 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

k conductividad térmica del aire
Tabla 4 Incropera

$$\text{Pr} := 0.687839$$

Pr es el número de Prandtl
Tabla 4 Incropera

$$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\text{Gr}l := g \cdot \beta \cdot \left(\frac{T_s - T_\alpha}{\nu^2} \right) \cdot L^3$$

Gr es el número de Grashof

$$\text{Gr}l = 4.8971 \cdot 10^5$$

$$Ra := Gr \cdot Pr = 3.36842 \cdot 10^5$$

Ra es el número de Rayleigh

Si $10^4 \leq Gr \cdot Pr \leq 10^9$ entonces

$$C = 0.59 \text{ y } m = 1/4$$

Tabla Holman pag 254

C es una constante de correlación

m es una constante exponencial de correlación

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

$$Nu := C \cdot (Gr \cdot Pr)^m = 14.21374$$

Nu número de Nusselt

$$hi := \frac{Nu \cdot k}{L} = 3.18543 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

hi coeficiente de convección interior

L longitud característica

Pérdidas de calor total

$$q := \frac{Tf - Ti}{\left(\frac{1}{hi \cdot A1} + \frac{1}{hr \cdot A1} \right) + \frac{e_p}{k1 \cdot A1} + \frac{e_1}{k2 \cdot A2} + \frac{e_m}{k3 \cdot A3} + \frac{1}{h \cdot A3}} = 1.56577 \text{ kW}$$

$$Qs := Qc + q = 12.19664 \text{ kW}$$

Potencia requerida del horno

Qc cantidad de calor que absorbe la carga

$$Qs = 12.197 \text{ kW}$$

Potencia del horno si cumple $Qs \leq P$

$$P := 12310 \text{ W}$$

P es la potencia del horno

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

V voltaje

$$I := \frac{P}{V} = 55.95455 \text{ A}$$

I es la intensidad de corriente

$$R := \frac{V}{I} = 3.93176 \text{ } \Omega$$

R resistencia

Se utiliza la resistencia
KANTHAL A-1

$\phi := 0.002 \text{ m}$	Diámetro de la resistencia
$\rho := 1.45 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$	ρ Resistividad a 20°C Tabla 7
$L_h := 1 \text{ m}$	Lh longitud de resistencia
$C_t := 1.04$	Ct Coeficiente de resistividad a 1000°C Tabla 7
$A := \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 = (3.14159 \cdot 10^{-6}) \text{ m}^2$	Área sección transversal de la resistencia
$R_{20} := \frac{\rho \cdot L_h}{A} = 0.46155 \Omega$	Por cada metro de hilo habrá una resistencia de 0.462 Ω
$R_t := C_t \cdot R_{20} = 0.48001 \Omega$	Rt Resistencia eléctrica a temperatura de trabajo por metro
$R_t := R_t \cdot \frac{1}{\text{m}} = 0.48001 \frac{\Omega}{\text{m}}$	
$L_t := \frac{R}{R_t} = 8.19098 \text{ m}$	Lt es la longitud total de la resistencia
$D := 6 \cdot \phi = 12 \text{ mm}$	Diámetro de la espira
$N_v := \frac{L_t}{\pi \cdot (D - \phi)} = 260.72698$	Nv es el número de vueltas de la resistencia
$S := 4 \cdot \phi = 8 \text{ mm}$	S el paso entre espiras

Cálculo de la acometida eléctrica

$P = 12.31 \text{ kW}$	P Potencia del horno
$V = 220 \text{ V}$	
$I_n := \frac{P}{V} = 55.95455 \text{ A}$	In es la corriente nominal

Cálculo del Interruptor termo magnético

$\text{Breaker} := I_n \cdot 1.25 = 69.94318 \text{ A}$	Mercado existen de 75 a 80A Norma NEC 2018
---	---

Cálculo del contactor

$$\text{contactor} \geq I_n$$

$$\text{Contactor} := 65 \text{ A}$$

Figura 12 contactores

Selección del cable

$$I_n = 55.95455 \text{ A}$$

Conductor de cobre # 4 AWG 60°C de temperatura con una capacidad de corriente de 70 Amperios

Cable PVC 600 V Tabla 8

Comprobar el espesor de pared con las dimensiones acordadas

Ladrillo

$$h_a := 20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

h_a coeficiente de convección del aire. Astigarraga 1994

$$k_l = 0.34 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

k_l coeficiente térmico ladrillo Tabla 2

$$e_p := 0.18 \text{ m}$$

e_p Espesor del ladrillo

$$\sigma = (5.57 \cdot 10^{-8}) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

Coficiente de Stefan Boltzmann

$$T_1 := T_f = (1.27315 \cdot 10^3) \text{ K}$$

T₁ temperatura de trabajo

$$T_a = 288.15 \text{ K}$$

T_a Temperatura ambiente

$$a := \varepsilon \cdot \sigma = (5.013 \cdot 10^{-8}) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

a Es el coeficiente del primer término de la ecuación grado 4

$$b := h_a + \frac{k_l}{e_p} = 21.88889 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

b Es el coeficiente del cuarto término de la ecuación de grado 4

$$c := \frac{-k_l}{e_p} \cdot T_1 - h_a \cdot T_a - \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_a^4$$

c termino independiente de la ecuación de grado 4

$$c = -8.51344 \cdot 10^3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$5.103 \cdot 10^{-8} \cdot T^4 + 21.8889 \cdot T - 8.51344 \cdot 10^3 \xrightarrow{\text{solve}} \begin{bmatrix} -854.60363256700245681 \\ 250.89424956183976279 - 700.25771545543979579i \\ 250.89424956183976279 + 700.25771545543979579i \\ 352.81513344332293124 \end{bmatrix}$$

$$T2 := 352.815 \text{ K}$$

T2 Temperatura entre el ladrillo y la lana de vidrio

Lana vidrio

$$T1 := T2 = 352.815 \text{ K}$$

$$e1 := 0.025 \text{ m}$$

e1 Espesor lana de vidrio

$$k2 := 0.30 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

k2 Coeficiente térmico lana de vidrio Tabla 3

$$a := \varepsilon \cdot \sigma = (5.013 \cdot 10^{-8}) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

a Es el coeficiente del primer término de la ecuación grado 4

$$b := h_a + \frac{k2}{e1} = 32 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

b Es el coeficiente del cuarto término de la ecuación de grado 4

$$c := \frac{-k2}{e1} \cdot T1 - h_a \cdot T1 - \varepsilon \cdot \sigma \cdot T1^4$$

c termino independiente de la ecuación de grado 4

$$c = -1.03424 \cdot 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{s}^3}$$

$$5.013 \cdot 10^{-8} \cdot T^4 + 32 \cdot T - 1.3424 \cdot 10^4 \xrightarrow{\text{solve}}$$

$$\begin{bmatrix} -455.58777219903089442 \\ 85.209192063151263446 - 389.48877448211547923i \\ 85.209192063151263446 + 389.48877448211547923i \\ 285.16938807272836753 \end{bmatrix}$$

$$Te := 285.169 \text{ K}$$

Te Temperatura exterior del horno

6.2. Circuito de fuerza

El circuito de fuerza se muestra en la figura 28

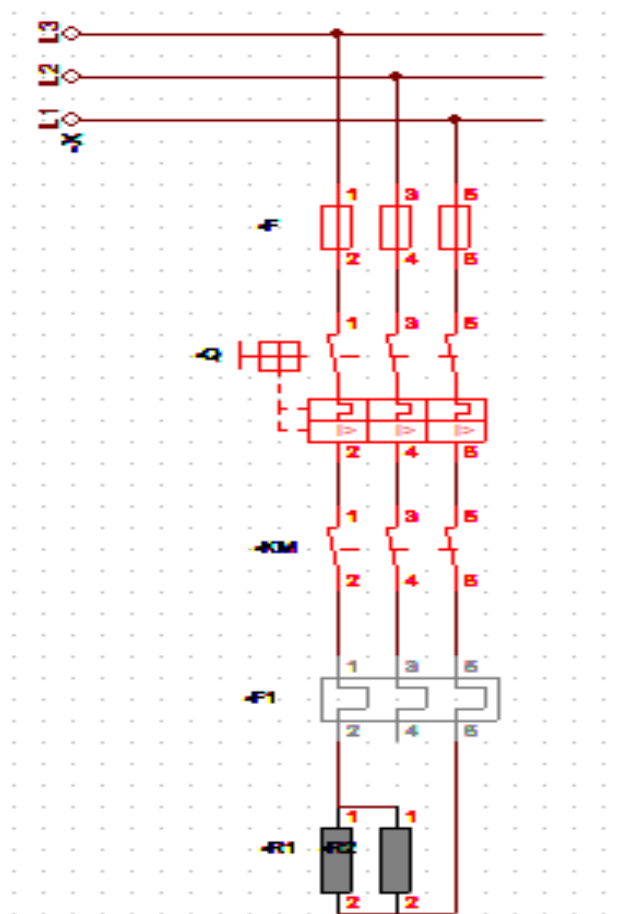


Figura 28. Circuito de fuerza. Fuente: Propia

6.3. Circuito de control

El diagrama de control del horno de resistencias (Figura 29)

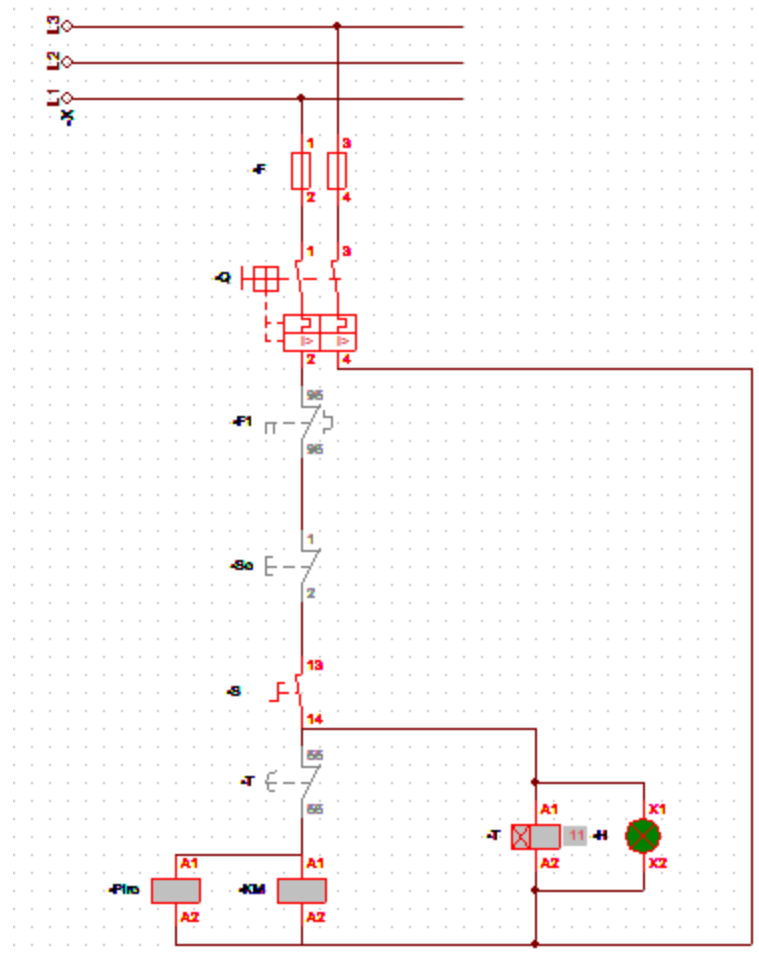


Figura 29. Diagrama de control. Fuente: Propia

6.4. Manual de operación del horno

6.4.1. Actividades a desarrollar al inicio de trabajo del horno.



Figura 30. Tablero de control. Fuente: Propia

1. Utilizar todos los implementos de seguridad.
2. Energizar el horno con el disyuntor principal se activa el voltímetro, amperímetro.
(Figura 30)
3. Colocar la probeta en la cámara del horno.
4. Cerrar la cámara.
5. Se opera el selector de tres posiciones, (ON-OFF_ON) se activa el selector en normal (ON), el cual activa el pirómetro.
6. Se selecciona la temperatura que se desea en el pirómetro con la flecha (<<), titila una celda de los 4 dígitos y con las flechas arriba (↑) y abajo (↓) se dispone el número deseado. Se vuelve a aplastar la flecha (<<) para las demás celdas y se espera que deje de titilar y queda grabado el dato de temperatura en el pirómetro.
7. Se observa en el pirómetro que la temperatura empieza a subir.
8. Siempre realizar un control visual de todo el horno en el tratamiento térmico.

9. Una vez que llega a la temperatura deseada se cambia la posición del selector a ON en TIMER y se procede a programar el tiempo de permanencia de la probeta en el horno, que por lo general es $\frac{1}{4}$ o $\frac{1}{5}$ del tiempo que se demora en alcanzar la temperatura deseada. Por ejemplo: si se demoró 180 minutos en calentar la probeta a 1000°C, entonces el tiempo de permanencia es $180/4$, ósea 45 minutos.
10. Para programar el Timer se aplasta el icono de Prog aparece 1 on, que significa la hora que se encenderá el horno, se vuelve a aplastar Prog aparece 1 off, esto es la hora que se apagará el horno. (Se debe verificar el día de encendido y apagado)
11. Una vez que se apaga el horno se procede a colocar el selector en OFF. Se abre la cámara del horno y se saca la probeta para enfriarlo
12. Por último, antes de quitar el energizado del horno, se debe esperar unos 15 minutos y luego bajar el disyuntor principal. Dejar la puerta semi abierta para que se enfríe más rápidamente.

6.4.2. Manual de mantenimiento del horno.

Trimestral

1. Antes de empezar verificar que el horno no esté energizado
2. Revisar que los cables de fuerza no tengan algún daño
3. Chequear que alrededor del equipo no estén objetos ajenos al mismo
4. Limpiar los polvos de la parte externa del horno.
5. Con una aspiradora limpiar el interior de la cámara del horno
6. Inspeccionar el estado de la puerta de la cámara del horno
7. Corroborar que la mirilla de la puerta de la cámara este limpia
8. Inspeccionar y limpiar el polvo de los circuitos de control y fuerza

9. Eliminar los polvos en el termopar.

Semestral

1. Antes de empezar verificar que el horno no esté energizado
2. Revisión cables de acometida al disyuntor principal
3. Chequear que los cables de control no estén flojos
4. Verificar la resistividad de las resistencias con un multímetro
5. Comprobar que el paro de emergencia funcione correctamente
6. Inspeccionar la pintura de exterior del horno no esté dañada
7. Examinar que la puesta a tierra se encuentre en buen estado

6.5. Manual para programar el TCN4

Se debe ver el manual del Autonics anexo 6 y para las conexiones ver la Figura 31 y Figura

32.

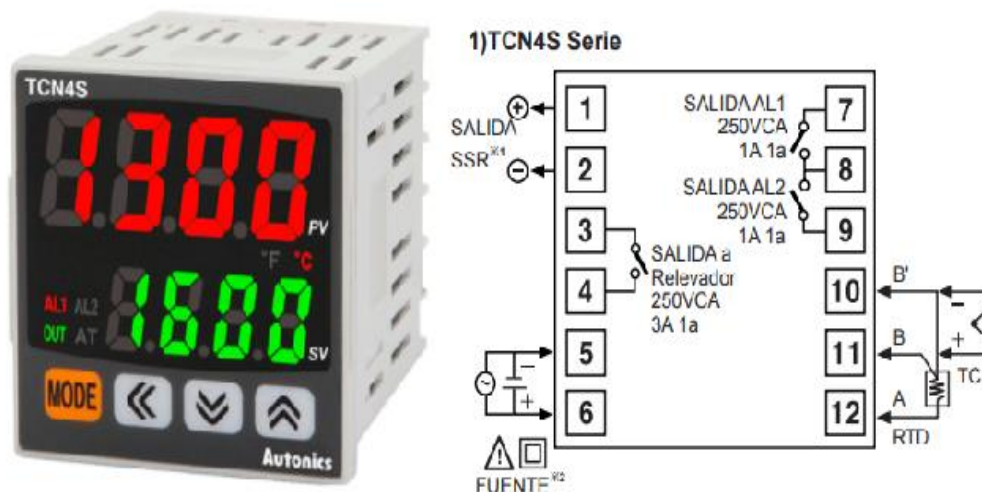


Figura 31. TCN4. Fuente: (Acotron Electrónica Industrial, 2020)

■ DIAGRAMA DE FLUJO DE AJUSTES TCN4

1. Todos los parámetros

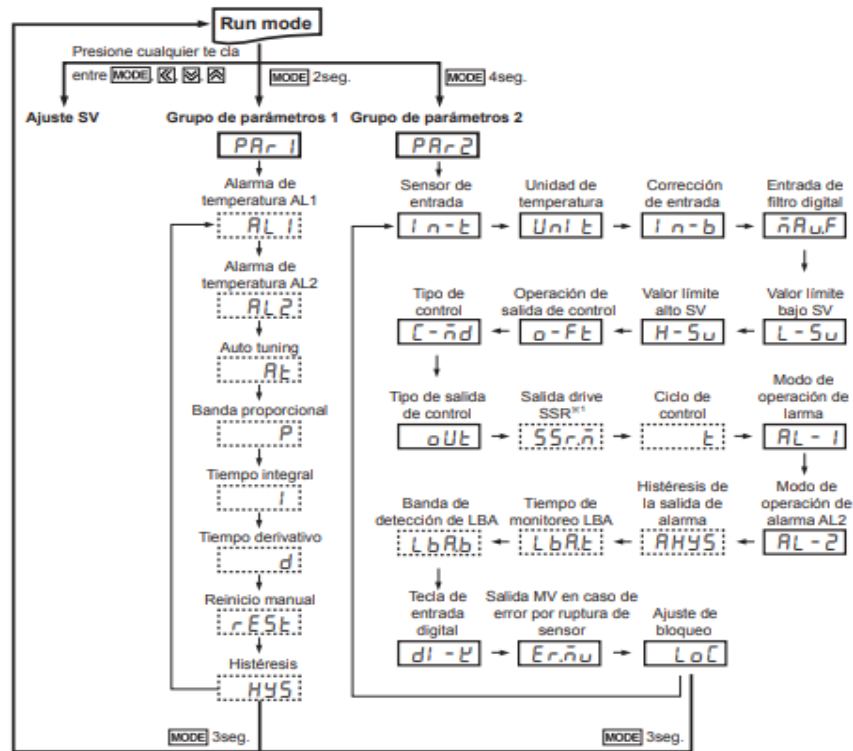


Figura 32. Diagrama de flujo TCN4. Fuente:(Autonics, 2020)

Para ingresar a la configuración, se debe presionar la tecla MD durante 2 segundos o hasta que aparezca la configuración llamada PAR1 o PAR2

Primero se debe programar PAR2, para lo cual con la tecla de las flechas (↑↓) se selecciona cada uno de los parámetros y presionando mode se guarda el parámetro calibrado.

Par2

Sensor de entrada (L n -t), sirve para escoger el tipo de termopar K, J, L, etc.

Unidad de temperatura (Unl t), solo se puede calibrar en grados centígrados o Fahrenheit.

Corrección de entrada (In-b), compensa la señal de entrada

Entrada de filtro digital (ñAuF), este parámetro no se modifica

Valor límite bajo SV (L+Su), limita el rango de ajuste inferior de temperatura

Valor límite superior SV(H-Su), limita el rango de ajuste superior de temperatura.

Operación de salida de control (oUt), se calibra para calentar, o enfriar.

Tipo de control (C - ñd), existe el PID / ON-OFF

Tipo de salida de control (oUt), Tipo mecánico (contactor) o relevador de estado sólido (SSr).

Ciclo de control (t), tiempo de duración de un ciclo de control y se deja el de fábrica.

Mode de operación de alarma (AL -1), existe Al-1 y Al-2 (se deja de fábrica)

Histéresis de salida de alarma, se deja de fabrica

Salida MV (LbRt), en caso de ruptura de sensor, activación manual, restablecer alarmas activación auto tuning. (valores de fábrica)

Ajuste de bloqueo (LoC), se puede bloquear ajustes PAR 1, PAR 2 y bloquear set point.

Par1

Alarma de temperatura AL1 (AL1) Valores absolutos de activación

Alarma de temperatura AL2 (Al2) valores absolutos de activación, auto tuning (At), banda proporcional (P), tiempo integral (I) y derivativo (d). (se deja de fábrica)

Reinicio manual (rEst), si esta activado el PID (valores de fábrica)

Histéresis, si esta activado ON-OFF.

6.6. Manual para programar el temporizador PET-010

Se iguala el reloj manteniendo pulsando el primer botón izquierdo superior que tiene un símbolo de reloj (Figura 33). Luego se presiona D (día), H (hora), M (minutos).

Para programar se presionada una vez la tecla de Prog y aparece la primera posición

1- ON que es la hora de inicio que se enciende el equipo y se programa día, hora y minutos y para que se apague se vuelve a presionar Prog y aparece 1-OFF y se programa día, hora y minutos.

Para salir de la programación se vuelve a presionar el símbolo de reloj, además se puede programar por días o semanas y se tiene 12 posiciones de secuencia para programar. Para mayor información revisar el anexo 7.



Figura 33. Temporizador. Fuente: (HEVAC, 2020)

6.7. Manual de operación del Durómetro Hardness Tester DY-10



Figura 34. Durómetro. Fuente: Propia

- 1) Conectamos el dispositivo de impacto al probador de dureza (Figura 34)
- 2) Prendemos el durómetro y lo reconoce de inmediato
- 3) Escogemos el material (Mat) Acero
- 4) Seleccionamos la escala (SCALE) HRC
- 5) Cargamos el dispositivo de impacto
- 6) Colocamos el dispositivo de impacto en patrón y pulsamos el botón
- 7) Nuevamente realizamos paso 5 y 6 obtenemos una media
- 8) Se guarda aplastando (←|■) luego OK (←I)
- 9) Para revisar digitamos Ok (←I) y Revisión datos y OK (←I)
- 10) Aparece la hora y el promedio y digitamos OK aparece el máximo, mínimo y la media.
- 11) Regresamos a la pantalla principal digitando (←|)
- 12) Mayor información Anexo 8 y 9.

6.8. Manual de seguridad

Es obligatorio conocer el funcionamiento del horno.

Mantener el orden y limpieza en el área de trabajo.

Estar con un estado anímico bueno antes de realizar el tratamiento térmico.

Conocer las limitaciones del equipo de protección personal a utilizar.

Utilizar los equipos de protección personal para evitar quemaduras como:

Pantalla o máscara facial transparente.

Guantes térmicos largos.

Overol

Mandil de cuero

Calzado de seguridad.

Se debe utilizar pinzas largas para sacar el material de la cámara del horno

Los recipientes que contengan el fluido para enfriar las piezas deben tener tapa.

Se debe tener ladrillo refractario para asentar las piezas.

6.9. Costo de repotenciación del horno

El costo de los materiales utilizados en la repotenciación del horno de resistencias del Taller Electromecánico (Tabla 9).

Tabla 9
Costo de materiales

Materiales	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Mortero refractario	Kg	25	50	50
Ladrillo refractario	–	12	4	48
Fibra cerámica	M	4	70	280
Visor de alta temperatura	–	1	200	200
Cable 4 AWG	M	12	3	36
Cable 14 asbesto	M	6	2	12
Breaker 63 A	A	1	15	15
Breaker 16 A	A	1	7	7
Contactador 65 A	A	1	120	120
Pirómetro TCN4	°C/°F	1	75	75
Temporizador	–	1	45	45
Amperímetro piloto	A	1	5	5
Voltímetro piloto	V	1	4	4
Luces piloto	A	3	2	6
selector 3 posiciones	–	1	8	8
Tablero acrílico	–	1	20	20
Borneras	–	8	1	8
Ventilador	V	1	7	7
Aislante térmico	°C	1	14	14
pulsador Stop	–	1	3	3
Varilla cobre 1.5m *1/2	–	1	8	8
Pintura	Litros	1	4	4
Pinza	–	1	15	15
Acero SAE 1045	M	0,3	7	7
Durómetro portátil	–	1	500	500
Total	\$			1497

Fuente: Propia

6.10. Guía práctica del temple

1. Tema

Guía práctica de temple de un acero 1045

2. Objetivos

Ejecutar el temple y obtener una estructura martensítica

Comparar los resultados obtenidos de dureza con el material original

MATERIALES Y REACTIVOS	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS
<ul style="list-style-type: none">• Probeta de acero	<ul style="list-style-type: none">• Horno de Resistencias• Durómetro• Pinzas largas• Guantes de temperatura• Overol• Jafas• Balde de agua o aceite• Zapatos de seguridad

3. Instrucciones

- Para realizar el tratamiento térmico del temple hay que tener en cuenta las temperaturas de austenización, que debe ser superior a la crítica (727°C), y a la temperatura AC_3 según sea la composición del acero, en este caso 850°C
- Enfriamiento rápido del material (Agua, salmuera y aceite)
- Composición química del acero. (Carbono 0,45%)(S.A., 2013)

- d) Propiedades mecánicas a obtener después del tratamiento térmico: dureza correspondiente a cada medio de enfriamiento
- e) Actividades a desarrollar (a elaborar por el estudiante)
- f) Marco Teórico (a elaborar por el estudiante)
- g) Resultados obtenidos (a elaborar por el estudiante)
- h) Discusión (a elaborar por el estudiante)
- i) Conclusiones (a elaborar por el estudiante)
- j) Recomendaciones (a elaborar por el estudiante)

4. Preguntas de control:

- Explique el procedimiento seguido para realizar el tratamiento térmico de temple del acero.
- Para el tratamiento térmico de temple que material se va usar.
- ¿Cuál es el volumen de la probeta de acero?
- ¿Cuál es la temperatura para realizar el tratamiento térmico de temple

5. Bibliografía (a elaborar por el estudiante).

6.11. Validación de la guía práctica

PRACTICA DE TEMPLE

1. TEMA:

GUIA PRACTICA DE TEMPLE DE UN ACERO SAE 1045

2. OBJETIVOS

- Ejecutar el temple y obtener una estructura martensítica.
- Comparar los resultados obtenidos de dureza con el material original.

MATERIALES Y REACTIVOS	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS
<ul style="list-style-type: none"> • Probeta de acero 	<ul style="list-style-type: none"> • Horno de Resistencias • Durómetro Portátil • Pinzas largas • Guantes de temperatura • Overol • Protección facial • Balde de salmuera, agua y aceite • Zapatos de seguridad



Figura 35 Horno de Tratamientos Térmicos. Fuente: Propia



Figura 36 Durómetro Portátil. Fuente: Propia

3. INSTRUCCIONES

- a. Para realizar el tratamiento térmico del temple hay que tener en cuenta las temperaturas de austenización, que debe ser superior a la crítica (727°C), y a la temperatura AC_3 según sea la composición del acero, en este caso 850°C
- b. Enfriamiento rápido del material (Agua, salmuera y aceite)
- c. Composición química del acero. (Carbono 0,45%)(S.A., 2013)
- d. Propiedades mecánicas a obtener después del tratamiento térmico: dureza correspondiente a cada medio de enfriamiento.

4. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

- a) Disponer de todos los equipos de protección personal.
- b) Preparar los 3 recipientes para enfriar las probetas, salmuera, agua y aceite
- c) Preparación de las 12 probetas de 2 mm de ancho, 12 mm de alto y 200 mm de largo.
- d) Encender y precalentar el horno de resistencias a 100°C .
- e) Marcar las probetas en el siguiente orden:
- f) Probetas sin tratamiento térmico A1, A2 y A3
- g) Probetas con tratamiento térmico enfriadas en salmuera B1, B2 y B3.

- h) Probetas con tratamiento térmico enfriadas en agua C1, C2 y C3.
- i) Probetas con tratamiento térmico enfriadas en aceite D1, D2 y D3.
- j) Ingresar las probetas en orden pre establecido para sacar del horno al ir enfriándoles inmediatamente en los recipientes.
- k) Cuando la temperatura del horno llegue a 850 °C se enciende el temporizador.
- l) El tiempo es de 1 minuto por cada milímetro de espesor, en total 12 minutos a 850 °C
- m) Se retira la probeta después del tiempo de permanencia y se enfría rápidamente en salmuera, agua y aceite.
- n) Se procede a medir la dureza de las 12 probetas con el durómetro

5. MARCO TEÓRICO:

Temple

Es un tratamiento térmico que consiste en dos pasos: austenización y enfriamiento por inmersión. La primera consiste en calentar el acero a una temperatura superior a la crítica 727° (Figura 37) y a la temperatura AC_3 según sea la composición del acero, para transformarse en forma entera o parcial en austenita. La temperatura de calentamiento se establece considerando el diagrama de fases hierro-carbono, donde para cada concentración se define la temperatura de austenización (temperatura de cambio de fase o de transformación en austenita).

El diagrama TTT sirve para a partir de la temperatura de austenización, diseñar el régimen de enfriamiento a fin de obtener la estructura producto de la transformación. Esta última es el resultado de considerar la variable tiempo y el diagrama se denomina TRANSFORMACIÓN-TEMPERATURA-TIEMPO.

La transformación de la austenita a martensita ocurre por el enfriamiento rápido por inmersión de la pieza en salmuera, agua dulce, aceite y aire. Así, como la velocidad de transmisión de calor dentro de la pieza de acero, con lo que se obtiene un acero de alta resistencia al desgaste o a la fractura.

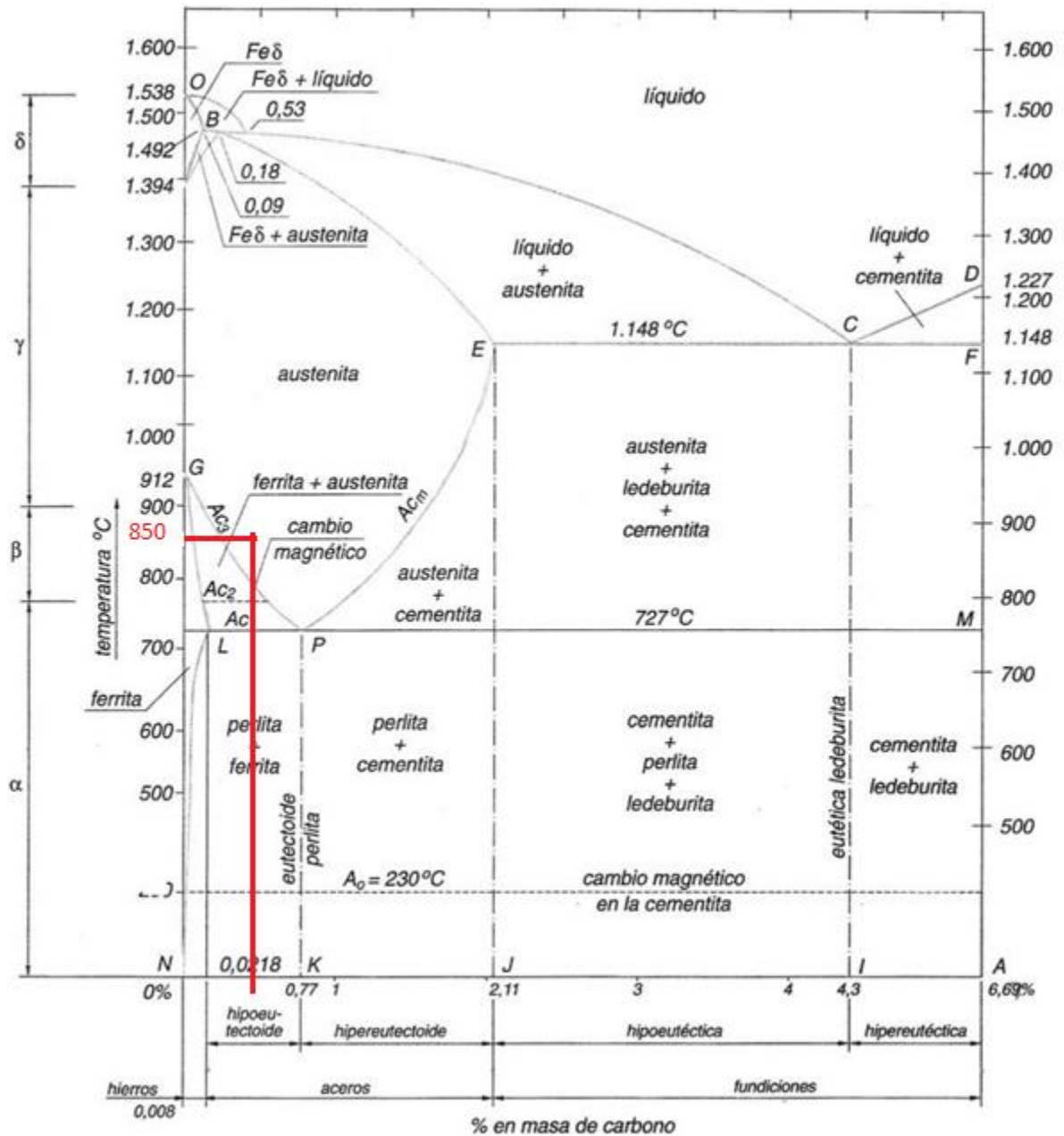


Figura 37. Diagrama Fe-C Práctica. Fuente: (Fe-c, 2010)

6. RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez realizado el proceso de medición de la dureza de las probetas con el durómetro portátil (Tabla 10) obtuvimos los resultados de las 12 probetas.

Tabla 10
Resultados de dureza

Dureza Leeb HL				
Medio de enfriamiento	Probeta 1	Probeta 1	Probeta 1	Promedio
S/TT (A)	343	382	303	343
Aceite (B)	434	460	493	462
Agua (C)	598	576	543	572
Salmuera (B)	695	636	608	646

Fuente: Propia

Se realiza los promedios de dureza del acero SAE 1045 y grafica la curva de dureza (Figura 38) enfriado en salmuera (S/TT), agua y aceite. (R^2 Coeficiente de determinación 0 -1).

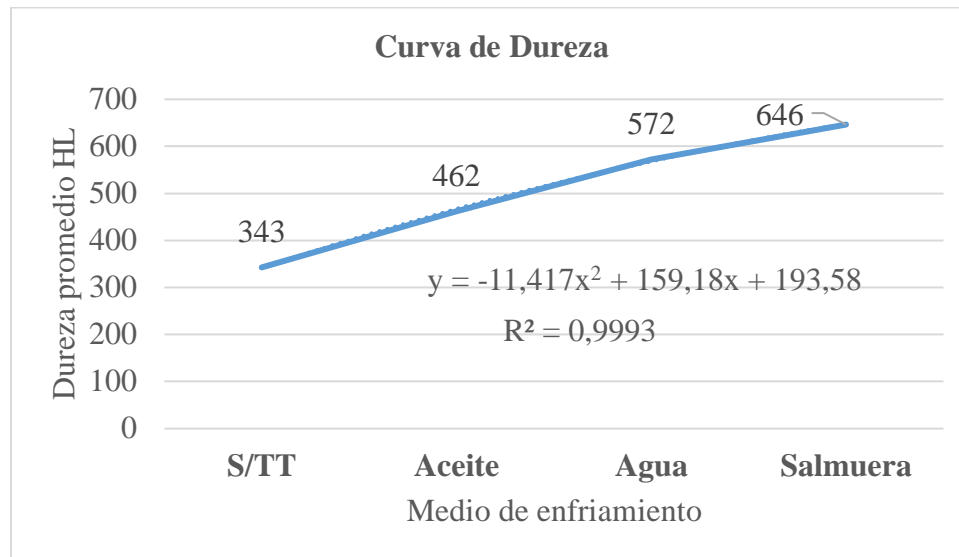


Figura 38 Curva de dureza. Fuente: Propia

Se puede apreciar que existe una tendencia al incremento de la dureza en la medida que el medio de enfriamiento proporciona una mayor velocidad de enfriamiento, resultado que se corresponde con el planteamiento teórico del proceso de endurecimiento por temple, en el cual se produce una transformación de fase en estado sólido conocida como martensita.

La gráfica muestra que el mejor ajuste se logra con un modelo polinómico de grado 2, con un coeficiente de regresión de 0,9993, lo cual significa que la curva teórica refleja fielmente los datos del experimento.

7. DISCUSIÓN

Se contrasta los resultados con la del Sr Andrés Guevara y Cristian Riofrío, existiendo una diferencia en los resultados del temple con agua, esto se debe a las diferentes condiciones en el templado del material.

Los datos obtenidos de dureza del material SAE 1045 enfriados en salmuera, agua y aceite se diferencia de las probetas sin tratamiento térmico.

8. CONCLUSIONES

Se comprendió el funcionamiento y operación del horno de resistencias

Se realizó el temple de las probetas de acero SAE 1045 y se comparó la dureza de 343 HL del material original y se obtuvo una mayor dureza, en aceite 462 HL, agua 572 HL, salmuera 646 HL. Con los resultados obtenidos graficamos la curva de dureza, donde se observó que el coeficiente de determinación es muy bueno.

9. RECOMENDACIONES

En el temple de una probeta se debe tomar el tiempo de calentamiento del material, el cual debe ser lento y progresivo hasta llegar a la temperatura de austenización de 30 a 50 °C por encima del punto crítico.

Se debe tomar en cuenta el tiempo de sostenimiento una vez que ha llegado a la temperatura de austenización, tomamos el criterio de 1 minuto por cada milímetro de espesor.

Es muy importante tomar en cuenta la velocidad de enfriamiento después de llevar al material al estado martensítico. En nuestro caso lo enfriamos en salmuera, agua y aceite.

10. PREGUNTAS DE CONTROL

a) Explique el procedimiento seguido para realizar el tratamiento térmico de temple del acero.

1) Se revisa el manual de operación del horno

2) Energiza el horno con el disyuntor

3) Pre calentamos el horno a una 100°C

4) Ingresamos las probetas a la cámara del horno

5) Programamos el pirómetro a 850 °C

6) Una vez alcanzada la temperatura programamos el temporizador para un tiempo de 12 minutos y se apaga.

7) Sacamos las probetas del horno y procedemos a enfriarla en salmuera, agua y aceite.

8) Procedemos a limpiar las probetas para medir la dureza con un durómetro portátil

9) El durómetro esta calibrado para dar el promedio de tres mediciones por probeta

10) Procesamos los datos obtenidos para sacar la curva de dureza versus el medio de enfriamiento.

b) Para el tratamiento térmico de temple, que material se va usar.

Utilizamos el acero SAE 1045

c) ¿Cuál es el volumen de la probeta de acero?

Las dimensiones son 12 mm de ancho, 12 mm de altura y 20 mm de longitud dando un volumen de 2880 mm³.

d) ¿Cuál es la temperatura para realizar el tratamiento térmico de temple?

La temperatura de temple es de 850 °C

11. BIBLIOGRAFÍA:

Fe-c, D. (2010). *Tratamientos Térmicos De Los Aceros Contenidos.*

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

S.A., C. G. de A. (2013). SAE 1020 y SAE 1045. *Cía General de Aceros*, 6.

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7826/VasquezTorresEdwinLibardo2013Anexos.pdf?sequence=2>

12. ANEXOS:

Anexo 1 SAE 1045

ACERO SAE 1045

DIN	CK - 45
UNI	C - 45
AFNOR	XC - 45
SAE	1045

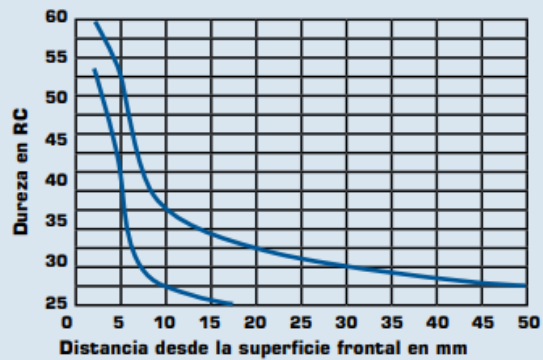
CARACTERÍSTICAS DE EMPLEO

SAE 1045 es un acero grado ingeniería de aplicación universal que proporciona un nivel medio de resistencia mecánica y tenacidad a bajo costo con respecto a los aceros de baja aleación. Frecuentemente se utiliza para elementos endurecidos a la llama ó por inducción. Este acero puede ser usado en condiciones de suministro: laminado en caliente o con tratamiento térmico (templado en aceite y revenido; ó templado en agua y revenido).

SAE 1045 es un acero de baja templabilidad que puede ser endurecido totalmente en espesores delgados por temple en agua. En secciones más gruesas se puede obtener un endurecimiento parcial de la sección de la pieza y el incremento de la resistencia será proporcional a la capa o espesor endurecido, al ser deformado en frío se presenta un incremento en la dureza y la resistencia mecánica.

COMPOSICION QUÍMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
Análisis típico en %	0.43 0.50	0.6 0.9	0.04	0.05	0.2 0.4

BANDA DE TEMPLABILIDAD



TRATAMIENTOS TÉRMICOS

TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO
Forja	850 - 1100	Arena seca
Normalizado	856 - 900	Aire
Recocido total	815 - 885	Horno
Recocido posterior al trabajo en frío	595 - 662	Horno luego aire
Temple (*)	815 - 870	Agua - aceite
Revenido		Aire

Anexo 2 Probetas de prueba



Anexo 3 Mediciones de dureza sin tratamiento térmico S/TT



Anexo 4 Mediciones de dureza enfriado en salmuera.



Anexo 5 Mediciones de dureza enfriado en agua.



Anexo 6 Mediciones de dureza enfriado en aceite.



7. Discusión.

En la ciudad de Loja no existe ninguna fábrica de hornos de resistencia, solo existen empresas que comercializan algunos elementos del horno, por lo que se puede indicar que el horno de resistencia es de gran ayuda. Además, es amigable con el medio ambiente ya que no contamina.

La repotenciación del horno de resistencias se realizó en el Taller Electromecánico, en base de las necesidades del laboratorio de contar con un horno de resistencias, para realizar los tratamientos térmicos. Así como la aplicación de los conocimientos alcanzados en las aulas de la Carrera de Electromecánica.

Los resultados en el horno de resistencias, al comparar con los resultados del Sr, Lenin Monteros difieren en el tiempo que se demora el horno en alcanzar la temperatura de trabajo, esto por las diferencias en el diseño de construcción de la cámara del horno. Además, en los materiales de construcción son similares, pero difieren por las dimensiones del horno, lo que conlleva a una mayor utilización de materiales e implica un mayor costo.

También se comparó los resultados con la tesis del Sr. Diego Gonzales y los resultados en la construcción del horno son parecidos, así como el tiempo que se demora en calentarse el horno a la temperatura de 700 °C, con la diferencia de que la cámara del horno del Taller Electromecánico es de dimensiones más grandes.

También se comparó los resultados de la tesis Sr. Luis Ushiña en los tiempos para alcanzar la temperatura de trabajo, estos difieren con el horno del taller por el mayor dimensionamiento de la cámara del horno. Además, los costos de repotenciación son más bajos en comparación del Sr. Luis Ushiña. En cuanto los materiales utilizados son similares.

De manera similar, se contrastó los resultados de los señores Andrés Guevara y Cristian Riofrío en los materiales de reconstrucción del horno son similares. Con relación a los tiempos

para alcanzar la temperatura de trabajo difieren un poco por las dimensiones de la cámara del horno, que en nuestro caso es más grande. A cerca de los costos el horno de la Universidad Nacional de Loja son mayores ya que se incluye la compra de un durómetro portátil.

8. Conclusiones.

1. Se realizó la repotenciación del horno de tratamientos térmicos del taller electromecánico de la Universidad Nacional de Loja con el objetivo de aplicar los conocimientos adquiridos en las aulas, así como para realizar diferentes prácticas de tratamiento del acero de bajo carbono como temple, recocido y revenido.
2. Se realizó el rediseño del sistema de aislamiento térmico de la cámara del horno, la acometida eléctrica principal y tablero de control del horno.

Se instaló una capa adicional de aislamiento con fibra cerámica refractaria de 2,54 cm en el exterior del horno y se reconstruyó la puerta del horno con mortero refractario.

Se independizó la acometida eléctrica principal del horno de resistencias con cable 4 AWG y un termomagnético de 70 A, ya que la anterior compartía varios equipos.

También se cambió los elementos del tablero de control y fuerza, dejando solo un voltímetro analógico del tablero anterior y se añadió un temporizador. Todos los materiales utilizados en el aislamiento del horno soportan los 1000°C y el tiempo promedio de calentamiento del mismo a 850 °C es de 130 minutos.
3. Se elaboró una guía práctica para el buen uso del horno de tratamientos térmicos, al igual que un manual de seguridad porque se trabaja con altas temperaturas.
4. Se efectuó la validación del horno de resistencias realizando una práctica de temple en el horno de tratamientos térmicos, enfriando el material en agua, salmuera y aceite. El temple que se realizó con las probetas de acero SAE 1045, se comparó la dureza de

343 HL del material original y se obtuvo una mayor dureza, en aceite 462 HL, agua 572 HL y salmuera 646 HL. Con los resultados obtenidos se graficó la curva de dureza donde se pudo apreciar que existió una tendencia al incremento de la misma, dependiendo del medio de enfriamiento. Además, el coeficiente de regresión fue de 0,9993; es decir, la curva teórica reflejó fielmente los datos del experimento.

9. Recomendaciones.

Se recomienda seguir el manual de operación, para entender el funcionamiento del horno y evitar accidentes al realizar las prácticas de tratamiento térmico.

El pirómetro o control de temperatura debe ser manejado por personal capacitado ya que puede dañarse o desconfigurarse.

Se sugiere para operar el horno de resistencias, leer el manual de seguridad, utilizar los equipos de protección personal como pantalla facial, guantes, gafas, overol, mandil de cuero, zapatos de seguridad y pinzas.

El área donde se ubica el horno de tratamiento térmico debe estar ventilado, limpio y separado de las paredes u otros equipos.

10. Referencias Bibliográficas.

- Acotron Electrónica Industrial. (2020). *Catálogo TCN4*.
https://www.acotron.com/index.php?route=product/product&product_id=11724
- Appold, H., Feiler, K., & Reinhar, A. (1984). *TECNOLOGIA DE LOS METALES APPOLD GTZ*. (p. 423). [https://doi.org/ISBN 84-291-6014-0](https://doi.org/ISBN%2084-291-6014-0)
- Apraiz, J. (1971). TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS ACEROS. In *Tratamientos térmicos_1.pdf*. <https://doku.pub/download/tratamientos-termicos-de-los-aceros-apraiz-barreiro-el9vzn66xjqy>
- Astigarraga, U. (1994). *Hornos Industriales de Resistencia*.
- Autonics. (2020). *Serie TCN4* (pp. 2–3).
<https://www.controlinteligente.com.mx/files/TC4.pdf>
- Brototermic. (2014). *Catálogo de instrumentación industrial* (p. 32).
<http://www.brototermic.com/docs/catalogo-instrumentacion.pdf>
- Catálogo Ecobadajoz*. (2020). <https://www.ecobadajoz.es/pilotos-selectores-y-pulsadores-industriales/piloto-voltimetro-digital-tras-cuadro-o-225-mm-5-60-vdc-verde-mod-pv22.html>
- Cengel, & Ghajar. (2011). *Transferencia de Calor y Masa*. 7(2), 1–16.
<https://itscv.edu.ec/wp-content/uploads/2019/06/Transferencia-de-calor-y-masa.-Fundamentos-y-aplicaciones-Cuarta-Edición.pdf>
- Cetronic. (2020). *Catálogo de Componentes Electrónicos*.
<https://www.cetronic.es/sqlcommerce/disenos/plantilla1/seccion/producto/DetalleProducto.jsp?idIdioma=&idTienda=93&codProducto=421065024&cPath=702>

Chapman, A. (1984). *Transmisión del calor*. <https://pdfslide.net/documents/221221854-transmision-del-calor-3-ed-alan-j-chapman.html>

CHNT. (2011). *Contactores*. 126. <http://www.chint.net/uploads/files/2011060216082124.pdf>

CICS. (2005). *Producto : MANTA FIBRA CERAMICA KAOWOOL ZR 1400*. 2. <https://www.marbex.com.uy/site/mt-content/uploads/2017/09/manta-de-fibra-de-ceramica.pdf>

Collahuazo, J., Morocho, L., & Pullaguari, M. (2010). *Diseño y construcción de un horno para tratamientos térmicos empleando* [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/16980>

CONDUMEX. (2009). *Manual técnico de Instalaciones Electricas*. <https://www.uv.mx/personal/jdominguez/files/2012/10/Manual-de-Instalaciones-Electricas-en-BT-2009.pdf>

EATON. (2013). *Catálogo general* (p. 242). <http://www.eaton.cl/conosur/ProductosSoluciones/Energia/ProductosyServicios/AutomatizacionyControl/ContactoresArranadoresyRelesProteccion/index.htm>

EATON. (2019). *Guía de Productos*. 162. <https://euroelectrica.com.mx/wp-content/uploads/2019/02/Catalogo-Control-y-Distribucion-EATON.pdf>

ELECTROCABLES. (2018). *Catálogo de productos 2018*. 182. <https://www.electrocable.com/uploads/catficha/cata-logo-electrocables-2018.pdf>

equotip. (2020). *Ensayos de dureza portátiles usando Leeb y Portable Rockwell* (p. 14). <http://www.gisiberica.com/durometros/Equotip510.pdf>

ERECOS. (2017). *Catalogo Erecos* (p. 3). <https://www.colmaquinas.com/wp-content/uploads/2017/08/erecos.pdf>

Fe-c, D. (2010). *Tratamientos Térmicos De Los Aceros Contenidos*.
<http://www.tecnologiaycultura.net/UD5TraTer.pdf>

Gonzales, E. (2016). *Diseño y construcción de un horno de tratamientos térmicos de 0 - 700°C (Tesis) Universidad Tecnológica Equinoccial*. <https://1library.co/document/zw5k5mlz-construccion-tratamientos-laboratorio-ingenieria-mecatronica-universidad-tecnologica-equinoccial.html>

Groover, M. P. (2007). Fundamentos de manufactura moderna. In *Gestión de procesos* (Tercera ed.).
https://www.academia.edu/33002366/Fundamentos_de_manufactura_moderna_3edi_Groover

HEVAC. (2020). *PET-010* (p. 2). https://hevac.com.au/uploads/PET010_7_DAY_TIME_SWITCH.pdf

Holman, J. (1998). *Transferencia de Calor* (Vol. 7, Issue 2). https://doi.org/ISBN_007-844785-2

Incropera, F., & DeWitt, D. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor* (Cuarta Edi).
https://www.academia.edu/37028342/Fundamentos_de_transferencia_de_calor_Frank_Incropera

Industriales, S. A. (2014). *Instrumentos analógicos*. 68. https://saci.es/wp-content/uploads/2014/06/ESP_6-ANALOGICOS.pdf

ISOVER. (2018). *Catalogo Soluciones de Aislamiento para conductos metálicos* (p. 96).
https://www.isover.es/documentacion?f%5B0%5D=field_document_tr_category%3A516

Kalpakjian, S. (2008). *ManufacturA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA* (Quinta Edi).
https://www.academia.edu/39049497/Manufactura_Ingeniería_y_Tecnología_5ta_Edición_S_Kalpakjian_S_R_Schmid

Kanthal. (2001). *Resistance Heating Alloys and Systems for Industrial Furnaces*.
<https://www.scribd.com/doc/230309763/The-Kanthal>

Kucher, A. (1987). *Tecnología de metales*. <https://fddocuments.ec/document/tecnologia-de-los-metales-a-kucher.html>

La Revista De Los Profesionales De Los Tratamientos Térmicos. (2012). *Tratamientos Térmicos*, 131, 21–27.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2018). *NEC Instalaciones Eléctricas*. 33.
<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-SB-IE-Final.pdf>

Ministerio de Medio Ambiente. (1997). RESOLUCIÓN 619 DE 1997. *Artículo 2.15*, 1997(Julio 7), 1–5. https://www.catorce6.com/images/legal/Resolucion_619_de_1997.pdf

Morgan. (2019). *Ladrillo Refractario*. 2018–2019. <https://morganthermalceramics.com/e>
Nabertherm. (2019). *Tecnología para Procesos Térmicos II* (p. 84).
https://www.nabertherm.es/produkte/thermprozesstechnik/thermalprocesstechnology_spanish.pdf

Newell, J. (2011). *Ciencia de Materiales Aplicaciones en Ingeniería*. In *Alfaomega* (Primera Ed).
https://www.academia.edu/36347813/Ciencia_De_Los_Materiales_Aplicados_En_Ingeniería_-_James_Newell

Robbins, A., & Miller, W. (2008). *Análisis de Circuitos Teoría y práctica* (Cuarta Ed).
http://prof.usb.ve/mirodriguez/circuito_electrico_i/libro.pdf

Rodríguez, J., Castro, L., & Romero, J. (2006). *Procesos Industriales para materiales metálicos* (VISIÓN NET (Ed.); 2a ed.).

https://books.google.com.ec/books?id=SVBGgraQiREC&hl=es&source=gbs_navlinks_s



S.A., C. G. de A. (2013). SAE 1020 y SAE 1045. *Cía General de Aceros*, 6. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7826/VasquezTorresEdwinLibardo2013Anexos.pdf?sequence=2>

Smith, W., & Hashemi, J. (2014). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. <https://chirinosilvaroger.files.wordpress.com/2012/05/fundamentos-de-la-ciencia-e-ingenieria-de-materiales-4ta-edicion-william-f-smith-javad-hashemi.pdf>

Ushiña, L. (2014). Departamento de ciencias de la vida. In *Espe*.

11.ANEXOS

Anexo 1. Propiedades del ladrillo refractario

 		THERMAL CERAMICS						
Data sheet		Metric and Imperial information						
IFB Structural Range:		Temperatures 1200 - 1430°C (2190 - 2600°F)						
	TJM™B4	K [®] 23 HS	TJMB5	TJMC1	TJM26C	TJMB6	TJMC2	JM™26 HD
Manufacturing Method	Extrusion	Cast	Extrusion	Extrusion	Extrusion	Extrusion	Extrusion	Slinger
Manufacturing Location	Asia	NA	Asia	Asia	Asia	Asia	Asia	EU
Product Identification - printed on brick	-	-	-	-	-	-	-	26-HD
Physical Properties								
Classification Temperature, °C (°F)	1200 (2200)	1260 (2300)	1300 (2400)	1300 (2400)	1400 (2550)	1400 (2550)	1400 (2550)	1400 (2550)
Density, kg/m ³ (pcf), ASTM C-134	800 (49.92)	714 (44.55)	800 (49.92)	1000 (62.4)	800 (49.92)	800 (49.92)	1100 (68.64)	920 (57.41)
Modulus of Rupture, Mpa (psi), ASTM C-133	1.2 (174)	1.2 (174)	1.2 (174)	2.1 (304.5)	1.2 (174)	1.8 (261)	3 (435)	2.2 (319)
Cold Crushing Strength, Mpa (psi), ASTM C-133	2 (290)	2.8 (406)	2 (290)	3.5 (507.5)	1.8 (261)	2.5 (362.5)	4 (580)	3.5 (507.5)
Permanent Linear Shrinkage, (ASTM C-210) % after 24 hrs Soaking								
@ 1200°C (2192°F)	-1	-	-	-	-	-	-	-
@ 1230°C (2246°F)	-	-0.1	-	-	-	-	-	-
@ 1300°C (2372°F)	-	-	-0.5	-0.5	-	-	-	-
@ 1400°C (2552°F)	-	-	-	-	-0.8	-0.5	-0.5	-0.3
Reversible Linear Expansion, max. %	0.7	-	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Deformation under hot load, % after 90 min. (ASTM C-16) (JM brick tested according to ISO 3187)								
1100°C @ 0.034 Mpa (2012°F @ 5 psi)	0.2	-	0.2	0.1	0.1	-	-	-
1260°C @ 0.069 Mpa (2300°F @ 10 psi)	-	-	-	-	0.7	0.3	0.2	0.1
Thermal Conductivity, W/m•K (BTU•in/hr•ft²•°F), ASTM C-182								
200°C (392°F)	0.24	-	0.2	0.28	0.25	0.28	0.34	-
260°C (500°F)	-	0.17	-	-	-	-	-	-
400°C (752°F)	0.26	-	0.24	0.3	0.27	0.29	0.36	0.33
540°C (1004°F)	-	0.2	-	-	-	-	-	-
600°C (1112°F)	0.28	-	0.3	0.34	0.29	0.32	0.38	0.35
800°C (1472°F)	0.3	-	-	0.38	0.32	0.36	0.42	0.37
815°C (1500°F)	-	0.23	-	-	-	-	-	-
1000°C (1832°F)	0.34	-	-	0.42	0.36	0.4	0.46	0.39
1100°C (2012°F)	-	0.27	-	-	-	-	-	-

Anexo 2. Propiedades del aire

TABLA A.5 Holman
Propiedades del aire a la presión atmosférica*.

Los valores de μ , k , c_p y Pr dependen poco de la presión y se pueden utilizar en un intervalo bastante amplio de presiones

T, K	ρ , kg/m ³	c_p , kJ/kg · °C	$\mu \times 10^5$, kg/m · s	$\nu \times 10^6$, m ² /s	k , W/m · °C	$\alpha \times 10^4$, m ² /s	Pr
100	3,6010	1,0266	0,6924	1,923	0,009246	0,02501	0,710
150	2,3675	1,0099	1,0283	4,343	0,013735	0,05745	0,753
200	1,7684	1,0061	1,3289	7,490	0,01809	0,10165	0,739
250	1,4128	1,0053	1,5990	11,31	0,02227	0,15675	0,722
300	1,1774	1,0057	1,8462	15,69	0,02624	0,22160	0,708
350	0,9980	1,0090	2,075	20,76	0,03003	0,2983	0,697
400	0,8826	1,0140	2,286	25,90	0,03365	0,3760	0,689
450	0,7833	1,0207	2,484	31,71	0,03707	0,4222	0,683
500	0,7048	1,0295	2,671	37,90	0,04038	0,5564	0,680
550	0,6423	1,0392	2,848	44,34	0,04360	0,6532	0,680
600	0,5879	1,0551	3,018	51,34	0,04659	0,7512	0,680
650	0,5430	1,0635	3,177	58,51	0,04953	0,8578	0,682
700	0,5030	1,0752	3,332	66,25	0,05230	0,9672	0,684
750	0,4709	1,0856	3,481	73,91	0,05509	1,0774	0,686
800	0,4405	1,0978	3,625	82,29	0,05779	1,1951	0,689
850	0,4149	1,1095	3,765	90,75	0,06028	1,3097	0,692
900	0,3925	1,1212	3,899	99,3	0,06279	1,4271	0,696
950	0,3716	1,1321	4,023	108,2	0,06525	1,5510	0,699
1.000	0,3524	1,1417	4,152	117,8	0,06752	1,6779	0,702
1.100	0,3204	1,160	4,44	138,6	0,0732	1,969	0,704
1.200	0,2947	1,179	4,69	159,1	0,0782	2,251	0,707
1.300	0,2707	1,197	4,93	182,1	0,0837	2,583	0,705
1.400	0,2515	1,214	5,17	205,5	0,0891	2,920	0,705
1.500	0,2355	1,230	5,40	229,1	0,0946	3,262	0,705
1.600	0,2211	1,248	5,63	254,5	0,100	3,609	0,705
1.700	0,2082	1,267	5,85	280,5	0,105	3,977	0,704
1.800	0,1970	1,287	6,07	308,1	0,111	4,379	0,704
1.900	0,1858	1,309	6,29	338,5	0,117	4,811	0,702
2.000	0,1762	1,338	6,50	369,0	0,124	5,260	0,700
2.100	0,1682	1,372	6,72	399,6	0,131	5,715	0,707
2.200	0,1602	1,419	6,93	432,6	0,139	6,120	0,710
2.300	0,1538	1,482	7,14	464,0	0,149	6,540	0,718
2.400	0,1458	1,574	7,35	504,0	0,161	7,020	0,730
2.500	0,1394	1,688	7,57	543,5	0,175	7,441	

Anexo 3. Propiedades del acero SAE 1045

ACERO SAE 1045

DIN	CK - 45
UNI	C - 45
AFNOR	XC - 45
SAE	1045

CARACTERÍSTICAS DE EMPLEO

SAE 1045 es un acero grado ingeniería de aplicación universal que proporciona un nivel medio de resistencia mecánica y tenacidad a bajo costo con respecto a los aceros de baja aleación. Frecuentemente se utiliza para elementos endurecidos a la llama ó por inducción. Este acero puede ser usado en condiciones de suministro: laminado en caliente o con tratamiento térmico (templado en aceite y revenido; ó templado en agua y revenido).

SAE 1045 es un acero de baja templabilidad que puede ser endurecido totalmente en espesores delgados por temple en agua. En secciones más gruesas se puede obtener un endurecimiento parcial de la sección de la pieza y el incremento de la resistencia será proporcional a la capa o espesor endurecido, al ser deformado en frío se presenta un incremento en la dureza y la resistencia mecánica.

COMPOSICION QUÍMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
Análisis típico en %	0.43 0.50	0.6 0.9	0.04	0.05	0.2 0.4

Estado de suministro: Recocido

Dureza de suministro: 160 - 200 Brinell

PROPIEDADES FÍSICAS

Estos valores son obtenidos a partir de probetas bajo condiciones específicas de laboratorio y deben ser usados como referencia.

- Densidad → 7.85 gr/cm³.
- Módulo de elasticidad → 2 x 10¹¹ Pa (24 x 10⁶ PSI).
- Conductividad térmica → 52 W/(m·°C).
- Calor específico J/(Kg·K) → 460
- Coeficiente de Poisson → 0,3
- Resistividad eléctrica (microhm-cm):
a 32°F = 16.2
a 212°F = 22.3
- Coeficiente de dilatación térmica / °C
(20 - 100°C) 12.3 x 10⁻⁶
(20 - 200°C) 12.7 x 10⁻⁶
(20 - 400°C) 13.7 x 10⁻⁶

Anexo 4. Resistencia Kanthal

KANTHAL A-1, APM		Standard stock items	Alloy	Diameter range mm	Resistivity $\Omega\text{mm}^2\text{m}^{-1}$	Density gcm^{-3}
Wire		■	KANTHAL A-1	10.0-0.050	1.45	7.10
		■	KANTHAL APM	10.0-0.20	1.45	7.10

To obtain resistance at working temperature, multiply by the factor C_t in the following table:

$^{\circ}\text{C}$	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
C_t	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03	1.03	1.04	1.04	1.04	1.04	1.05

Diameter mm		at 20 $^{\circ}\text{C}$	Resistance $\text{cm}^2/\Omega\text{m}^{-1}$	Weight g/m	Surface area cm^2/m	Cross sectional area mm^2
A-1	APM	Ω/m	at 20 $^{\circ}\text{C}$			
10.0	10.0	0.0185	17017	558	314	78.5
9.5	9.5	0.0205	14590	503	298	70.9
	9.27	0.0215	13555	479	291	67.5
8.25	8.25	0.0271	9555	380	259	53.5
8.0	8.0	0.0288	8713	357	251	50.3
7.35	7.35	0.0342	6757	301	231	42.4
7.0	7.0	0.0377	5837	273	220	38.5
6.54		0.0432	4760	239	205	33.6
6.5	6.5	0.0437	4673	236	204	33.2
6.0	6.0	0.0513	3676	201	188	28.3
5.83		0.0543	3372	190	183	26.7
5.5	5.5	0.0610	2831	169	173	23.8
5.0	5.0	0.0738	2127	139	157	19.6
4.75	4.75	0.0818	1824	126	149	17.7
4.62		0.0855	1678	119	145	16.8
4.5	4.5	0.0912	1551	113	141	15.9
4.25	4.25	0.102	1306	101	134	14.2
4.11		0.109	1181	94.2	129	13.3
4.06		0.112	1139	91.9	128	12.9
4.0	4.0	0.115	1089	89.2	126	12.6
3.75	3.75	0.131	897	78.4	118	11.0
3.65		0.139	827	74.3	115	10.5
3.5	3.5	0.151	730	68.3	110	9.62
3.35		0.165	640	62.6	105	8.81
3.25	3.25	0.175	584	58.9	102	8.30
3.2		0.180	558	57.1	101	8.04

Diameter mm		at 20 $^{\circ}\text{C}$	Resistance $\text{cm}^2/\Omega\text{m}^{-1}$	Weight g/m	Surface area cm^2/m	Cross sectional area mm^2
A-1	APM	Ω/m	at 20 $^{\circ}\text{C}$			
3.0	3.0	0.205	459	50.2	94.2	7.07
2.95		0.212	437	48.5	92.7	6.83
2.9	2.9	0.220	415	46.9	91.1	6.61
2.8	2.8	0.235	374	43.7	88.0	6.16
2.65		0.263	317	39.2	83.3	5.52
2.6	2.6	0.273	299	37.7	81.7	5.31
2.5	2.5	0.295	266	34.9	78.5	4.91
2.4		0.321	235	32.1	75.4	4.52
2.34		0.337	218	30.5	73.5	4.30
2.3	2.3	0.349	207	29.5	72.3	4.15
2.25		0.365	194	28.2	70.7	3.98
2.2	2.2	0.381	181	27.0	69.1	3.80
2.05		0.439	147	23.4	64.4	3.30
2.03		0.448	142	23.0	63.8	3.24
2.0	2.0	0.462	136	22.3	62.8	3.14
1.83		0.551	104	18.7	57.5	2.63
1.8	1.8	0.570	99	18.1	56.5	2.54
1.7	1.7	0.639	83.6	16.1	53.4	2.27
1.6		0.695	73.7	14.8	51.2	2.09
1.6		0.721	69.7	14.3	50.3	2.01
1.5	1.5	0.821	57.4	12.5	47.1	1.77
1.4		0.942	46.7	10.9	44.0	1.54
1.3		1.09	37.4	9.42	40.8	1.33
1.2	1.2	1.28	29.4	8.03	37.7	1.13
1.1		1.53	22.6	6.75	34.6	0.950
1.0	1.0	1.85	17.0	5.58	31.4	0.785

Anexo 5. Interruptor termomagnético

Protección contra sobrecarga y corto circuito

Garantía de Calidad de por vida

120/240 VCA

Capacidad Interruptiva de 10kA

Capacidad Nominal de 10-100A

1, 2 y 3 polos

- **Para centros de carga BR**

Catálogo	Polos	Amperes	Voltaje
BR115	1	15	120/240V
BR120	1	20	120/240V
BR130	1	30	120/240V
BR140	1	40	120/240V
BR150	1	50	120/240V
BR215	2	15	120/240V
BR220	2	20	120/240V
BR230	2	30	120/240V
BR240	2	40	120/240V
BR250	2	50	120/240V
BR260	2	60	120/240V
BR270	2	70	120/240V
BR280	2	80	120/240V
BR290	2	90	120/240V
BR2100	2	100	120/240V
BR2125	2	125	120/240V
BR2150	2	150	120/240V



Anexo 6. Manual del Pirómetro TCN4



Muchas gracias por elegir los productos Autonics.
Por su seguridad, por favor lea lo siguiente antes de usar el producto.

Precauciones de seguridad

- Por favor, guarde estas instrucciones y revíselas antes de utilizar esta unidad.
- Por favor, siga las reglas de seguridad que se presentan a continuación:
- Advertencia** Puede resultar herido si no sigue las instrucciones adecuadamente.
- Precaución** Puede causar una lesión si no se siguen correctamente las instrucciones.
- La siguiente es una explicación de los símbolos utilizados en el manual de operación.
- Precaución:** Puede haber peligro o causar una lesión bajo condiciones especiales.

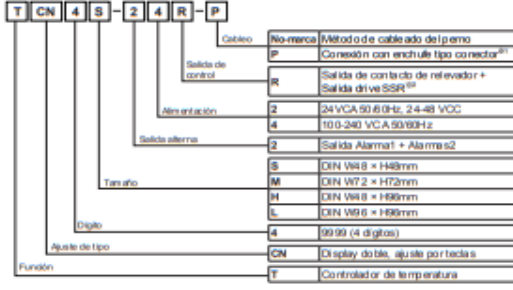
Advertencia

- En caso de usar esta unidad con maquinaria (Nuclear, equipo médico, vehículos, trenes, aviones, aparatos de combustión, de dirección o dispositivos de seguridad, etc.) es necesario instalar dispositivos de seguridad. Podría causar un incendio, lesiones personales o daños a la propiedad.
- Instale la unidad en un panel. Puede causar una descarga eléctrica.
- No conecte, inspeccione o repare esta unidad cuando está encendida. Puede causar una descarga eléctrica.
- Conecte y conecte entre días puede comprobar el número de las terminales. Podría causar un incendio.
- No desarme o modifique esta unidad. Por favor contacte con el proveedor si así lo requiere. Puede causar un choque eléctrico o provocar un incendio.

Precaución

- Esta unidad no se debe de usar en exteriores. Puede acortar el ciclo de vida del producto o un choque eléctrico.
- Cuando use el cable AGW 20 (0.90m²) debe usar los terminales y apretar con un torque de 0.74 a 0.90N·m. Puede ocasionar un mal funcionamiento o incendio debido a la falta en los contactos.
- Observe las especificaciones nominales. Se puede acortar el ciclo de vida del producto y provocar un incendio.
- No usar más allá de la capacidad de conmutación especificada del contacto de relé/alar. Puede causar una falla de aislamiento, fusión de contactos, falla de contactos, rotura de relé/alar o incendio.
- En la limpieza de la unidad, no utilice agua o solventes orgánicos. Use un paño seco. Podría causar una descarga eléctrica o un incendio.
- No use esta unidad en el lugar donde hay gas inflamable o explosivo, humedad, rayos directos de luz solar radiante, vibración e impacto, etc. Puede provocar un incendio o una explosión.
- No permita la entrada de polvo o de otros sólidos dentro de la unidad. Puede provocar un incendio o mal funcionamiento.
- Por favor verifique la polaridad del sensor de temperatura antes de hacer conexiones. Puede causar un incendio o una explosión.
- Con el fin de instalar la unidad con aislamiento reforzado, use una fuente de alimentación que garantice un nivel de aislamiento reforzado.

Como especificarlo



!1: Solo para el modelo TCN4S.
 !2: En caso del modelo con voltaje CA, permite seleccionar el método de salida drive SSR (control ON/OFF estándar, control de ciclo, control de fase).
 !3: Las especificaciones mencionadas están sujetas a cambios sin previo aviso.

Especificaciones

Serie	TCN4S	TCN4M	TCN4H	TCN4L
Alimentación	CA 100-240VCA/50/60 Hz	CA/CC 24VCA/50/60Hz; 24-48VCC	CA 100-240VCA/50/60Hz; 24VCA/50/60Hz	CA/CC 24VCA/50/60Hz; 24-48VCC
Rango de voltaje o corriente	CA 110% rango nominal	CA 110% rango nominal	CA 110% rango nominal	CA 110% rango nominal
Consumo de energía	CA Máx. 5VA/100-240VCA/50/60Hz; 24VCA/50/60Hz	CA Máx. 3W (24-48VCC)	CA Máx. 5VA/100-240VCA/50/60Hz; 24VCA/50/60Hz	CA Máx. 3W (24-48VCC)
Método de visualización	LED de 7 segmentos (PV, rojo; SV, verde)	LED de 7 segmentos (PV, rojo; SV, verde)	LED de 7 segmentos (PV, rojo; SV, verde)	LED de 7 segmentos (PV, rojo; SV, verde)
Tamaño de pantalla	PV(W×H) 7.0×15.0mm; SV(W×H) 6.0×12.0mm	PV(W×H) 7.0×15.0mm; SV(W×H) 6.0×12.0mm	PV(W×H) 7.0×15.0mm; SV(W×H) 6.0×12.0mm	PV(W×H) 7.0×15.0mm; SV(W×H) 6.0×12.0mm
Tipo de entrada	RTD ITC, TC	RTD ITC, TC	RTD ITC, TC	RTD ITC, TC
Precisión de visualización	RTD ±0.1°C (23°C ambiente) (±0.5% PV a 1°C, seleccione la medida a 1 dígito)	RTD ±0.1°C (23°C ambiente) (±0.5% PV a 1°C, seleccione la medida a 1 dígito)	RTD ±0.1°C (23°C ambiente) (±0.5% PV a 1°C, seleccione la medida a 1 dígito)	RTD ±0.1°C (23°C ambiente) (±0.5% PV a 1°C, seleccione la medida a 1 dígito)
Salida de control	Relayador SSR	Relayador SSR	Relayador SSR	Relayador SSR
Salida de alarma	AL1, AL2 Relayador 250VCA/1A	AL1, AL2 Relayador 250VCA/1A	AL1, AL2 Relayador 250VCA/1A	AL1, AL2 Relayador 250VCA/1A
Método de control	Control ON/OFF, P, PI, PD, PID	Control ON/OFF, P, PI, PD, PID	Control ON/OFF, P, PI, PD, PID	Control ON/OFF, P, PI, PD, PID
Resistencia	1 a 100°C/10.1 a 50.0°C/1°C variable	1 a 100°C/10.1 a 50.0°C/1°C variable	1 a 100°C/10.1 a 50.0°C/1°C variable	1 a 100°C/10.1 a 50.0°C/1°C variable
Banda proporcional(P)	0.1 a 999.9°C/F	0.1 a 999.9°C/F	0.1 a 999.9°C/F	0.1 a 999.9°C/F
Tiempo integral(I)	0 a 999.9 seg.	0 a 999.9 seg.	0 a 999.9 seg.	0 a 999.9 seg.
Tiempo derivativo(D)	0 a 999.9 seg.	0 a 999.9 seg.	0 a 999.9 seg.	0 a 999.9 seg.
Periodo de control(T)	0.5 a 120.0 seg.	0.5 a 120.0 seg.	0.5 a 120.0 seg.	0.5 a 120.0 seg.
Periodo manual	0.0 a 100.0%	0.0 a 100.0%	0.0 a 100.0%	0.0 a 100.0%
Periodo de muestreo	100ms	100ms	100ms	100ms
Rango de salida eléctrica	CA 2000VCA/50/60Hz; 1min. (entre los terminales de entrada y terminales de alimentación)	CA/CC 1000VCA/50/60Hz; 1min. (entre los terminales de entrada y terminales de alimentación)	CA 2000VCA/50/60Hz; 1min. (entre los terminales de entrada y terminales de alimentación)	CA/CC 1000VCA/50/60Hz; 1min. (entre los terminales de entrada y terminales de alimentación)
Vibración	Amplitud de 0.75 mm a una frecuencia de 55Hz (por 1min.) en cada una de las direcciones X, Y, Z por 2 horas	Amplitud de 0.75 mm a una frecuencia de 55Hz (por 1min.) en cada una de las direcciones X, Y, Z por 2 horas	Amplitud de 0.75 mm a una frecuencia de 55Hz (por 1min.) en cada una de las direcciones X, Y, Z por 2 horas	Amplitud de 0.75 mm a una frecuencia de 55Hz (por 1min.) en cada una de las direcciones X, Y, Z por 2 horas
Ciclo de vida del relé/alar	Méctrico: OUT: Más de 200,000 veces (A1,2: Más de 5,000,000 veces) Eléctrico: AL1,2: Más de 300,000 veces (A1,2: 250VCA carga resistiva)	Méctrico: OUT: Más de 200,000 veces (A1,2: Más de 5,000,000 veces) Eléctrico: AL1,2: Más de 300,000 veces (A1,2: 250VCA carga resistiva)	Méctrico: OUT: Más de 200,000 veces (A1,2: Más de 5,000,000 veces) Eléctrico: AL1,2: Más de 300,000 veces (A1,2: 250VCA carga resistiva)	Méctrico: OUT: Más de 200,000 veces (A1,2: Más de 5,000,000 veces) Eléctrico: AL1,2: Más de 300,000 veces (A1,2: 250VCA carga resistiva)
Resistencia de aislamiento	Mín.100MΩ @ 500VCC (megger)	Mín.100MΩ @ 500VCC (megger)	Mín.100MΩ @ 500VCC (megger)	Mín.100MΩ @ 500VCC (megger)
Inmutabilidad	Ciclo de ajuste de nudo por simulador (ancho de pulso 1µs @ 2V-R-base y fase)	Ciclo de ajuste de nudo por simulador (ancho de pulso 1µs @ 2V-R-base y fase)	Ciclo de ajuste de nudo por simulador (ancho de pulso 1µs @ 2V-R-base y fase)	Ciclo de ajuste de nudo por simulador (ancho de pulso 1µs @ 2V-R-base y fase)
Retención de memoria	Aprox. 10 años (cuando se usa el tipo de memoria de semiconductor no-volatile)	Aprox. 10 años (cuando se usa el tipo de memoria de semiconductor no-volatile)	Aprox. 10 años (cuando se usa el tipo de memoria de semiconductor no-volatile)	Aprox. 10 años (cuando se usa el tipo de memoria de semiconductor no-volatile)
Temperatura ambiente	-10 a 50°C, almacenamiento: -20 a 60°C	-10 a 50°C, almacenamiento: -20 a 60°C	-10 a 50°C, almacenamiento: -20 a 60°C	-10 a 50°C, almacenamiento: -20 a 60°C
Humedad ambiente	35 a 95% RH, almacenamiento: 35 a 95% RH	35 a 95% RH, almacenamiento: 35 a 95% RH	35 a 95% RH, almacenamiento: 35 a 95% RH	35 a 95% RH, almacenamiento: 35 a 95% RH
Tipo de aislamiento	Doble aislamiento o aislamiento reforzado (marca registrada del fabricante entre la medición y parte de entrada y la parte de energía; 2MVA de corriente alterna, corriente CA/CC 1A/2)	Doble aislamiento o aislamiento reforzado (marca registrada del fabricante entre la medición y parte de entrada y la parte de energía; 2MVA de corriente alterna, corriente CA/CC 1A/2)	Doble aislamiento o aislamiento reforzado (marca registrada del fabricante entre la medición y parte de entrada y la parte de energía; 2MVA de corriente alterna, corriente CA/CC 1A/2)	Doble aislamiento o aislamiento reforzado (marca registrada del fabricante entre la medición y parte de entrada y la parte de energía; 2MVA de corriente alterna, corriente CA/CC 1A/2)
Certificación	CE, RoHS (excepto para el modelo TCN4S-1P)	CE, RoHS (excepto para el modelo TCN4S-1P)	CE, RoHS (excepto para el modelo TCN4S-1P)	CE, RoHS (excepto para el modelo TCN4S-1P)
Peso	Aprox. 147g (Aprox. 100g)	Aprox. 203g (Aprox. 133g)	Aprox. 194g (Aprox. 124g)	Aprox. 275g (Aprox. 173g)

- !1: ○ Temperatura ambiente (23°C ± 5°C)
 - Bajo 20°C de temporales R(PR), S(PR) es (PV ± 0.5% ó ± 3°C, el mayor) ± 1 dígito
 - Sobre 20°C de temporales R(PR), S(PR) es (PV ± 0.5% ó ± 2°C, el mayor) ± 1 dígito
 - Temporales L(C), RTD Cu(Ω) es (PV ± 0.5% ó ± 2°C, el mayor) ± 1 dígito
 ○ Fuera del rango de la temperatura ambiente
 - Bajo 20°C de temporales R(PR), S(PR) es (PV ± 1.0% ó ± 6°C, el mayor) ± 1 dígito
 - Sobre 20°C de temporales R(PR), S(PR) es (PV ± 0.5% ó ± 5°C, el mayor) ± 1 dígito
 - Temporales L(C), RTD Cu(Ω) es (PV ± 0.5% ó ± 2°C, el mayor) ± 1 dígito
 Para la serie TCN4S-1P, agregar ± 1°C por precisión estándar.
 !2: El peso entre paréntesis es solo el peso de la unidad.
 !3: La resistencia ambiental se encuentra en estado sin congelación o condensación.

Descripción de las partes



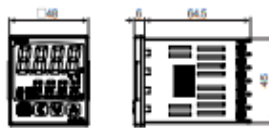
Sensor de entrada y rango de temperatura

Sensor de entrada	Display	Rango de temperatura(°C)	Rango de temperatura(°F)
R(CA)	P(RH)	-50 a 1300	-59 a 2392
	P(LR)	-50 a 999.9	-59 a 1999.9
	L(LR)	-30 a 800	-22 a 1472
	L(LR)	-30 a 800.0	-22 a 1999.9
The mo couple	L(LC)	-40 a 800	-40 a 1472
	L(LC)	-40 a 800.0	-40 a 1999.9
T(CO)	L(C)	-50 a 400	-59 a 752
	L(C)	-50 a 400.0	-59 a 752.0
R(PR)	+P+	0 a 1700	32 a 3092
	S(PR)	0 a 1700	32 a 3092
DP(H 000)	+P+	-100 a 400	-148 a 752
	+P+	-100 a 400.0	-148 a 752.0
	L(CS)	-50 a 200	-59 a 392
	L(US)	-50 a 200.0	-59 a 392.0
RTD	L(CS)	-50 a 200	-59 a 392
	L(US)	-50 a 200.0	-59 a 392.0

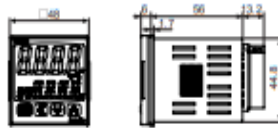
Dimensiones

[Unidad: mm]

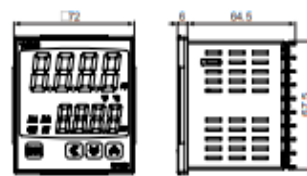
TCN4S Serie



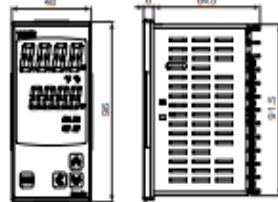
TCN4S-P



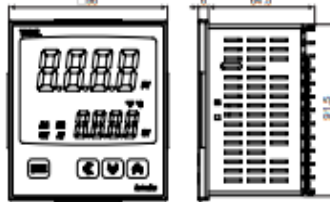
TCN4M Serie



TCN4H Serie



TCN4L Serie

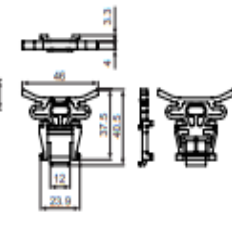


Soporte

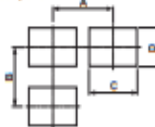
TCN4S Serie



TCN4M, TCN4H, TCN4L Serie



Corte del panel



Unidad Serie	A	B	C	D
TCN4S	Mín. 65	Mín. 65	45°	45°
TCN4M	Mín. 90	Mín. 90	60°	60°
TCN4H	Mín. 65	Mín. 115	45°	92°
TCN4L	Mín. 115	Mín. 115	92°	92°

Cubierta para terminales (Se vende por separado)

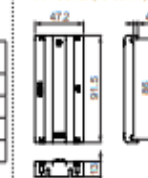
• RSA-COVER48+48mm



• RMA-COVER72+72mm



• RLA-COVER48+66mm

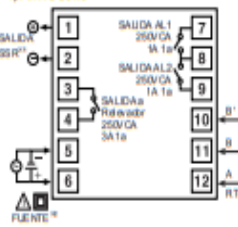


• RLA-COVER66+66mm

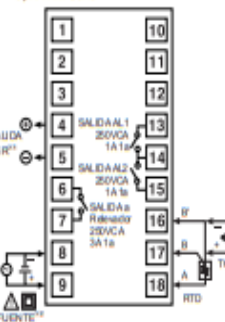


Conexiones

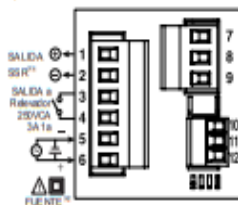
1)TCN4S Serie



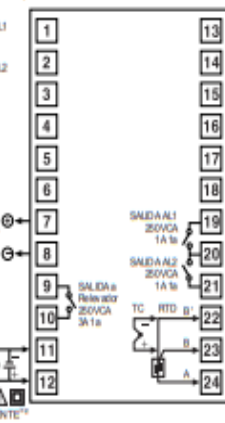
3)TCN4M Serie



2)TCN4S-P



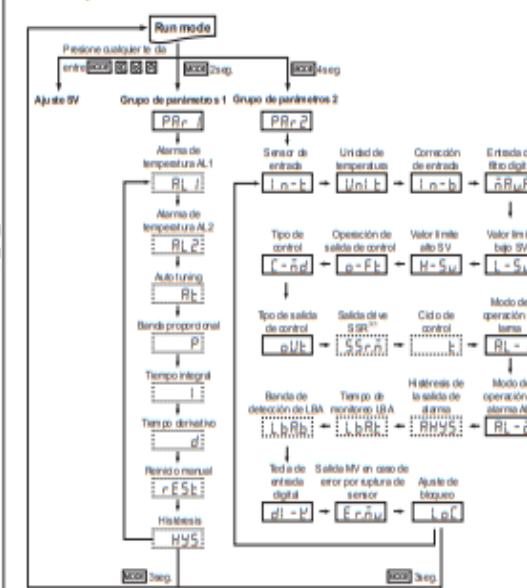
4)TCN4L Serie



K1: 12VDC/2V20mA Máx.
K2: Alimentación CA: 100-240VCA 5VA 50/60Hz
CA/CC: 24VCA 50/60Hz 5VA
24-48VCC 3W

Diagrama de flujo para los grupos de ajuste

1. Todos los parámetros



*Pulse **[ESC]** más de 3 segundos en cualquier grupo de ajustes, guarda el valor de ajuste y vuelve al modo RUN. (Excepción: Pulse **[ESC]** una vez en el grupo de ajuste SV, vuelve al modo RUN).
 *Si no se presiona alguna tecla por 30 seg., vuelve al modo RUN automáticamente y el valor ajustado del parámetro no se guarda.
 *Presione la tecla **[ESC]** nuevamente, dentro del 1er. seg. después de retornar del modo RUN, con esto se avanzará al primer parámetro del grupo de ajustes previamente ingresado.
 *Pulse **[ESC]** para moverse al parámetro siguiente.
 *Parámetro marcado en gris podría no aparecer, dependiendo de otros ajustes de parámetros.
 *Ajuste los parámetros en el siguiente orden: Grupo de parámetros 2 "Grupo de parámetros 1" grupo de ajuste de SV para considerar la relación entre cada grupo de ajuste.
 *†: No se muestra para el modelo de alimentación CA/CC (TCN4L1-ZBR).

Anexo 7. Manual PET-010

MANUAL DE INSTRUCCIONES PARA CONFIGURAR EL RELOJ

TEMPORIZADOR PET-010

1.- Funciones de los botones.

- 1) Ajuste de reloj (🕒)
- 2) Ajuste diario (D)
- 3) Ajuste de horas (H)
- 4) Ajuste de minutos (M)
- 5) Programación (PROG): Configura las 6 programaciones disponibles. Desplega:
1 ON, 1 OFF, 2 ON, 2 OFF, ... , 6 ON, 6 OFF.
- 6) Borrar/Rellamada (D/R)
- 7) Selección Manual/Automático (👉)
- 8) Reset (RST)

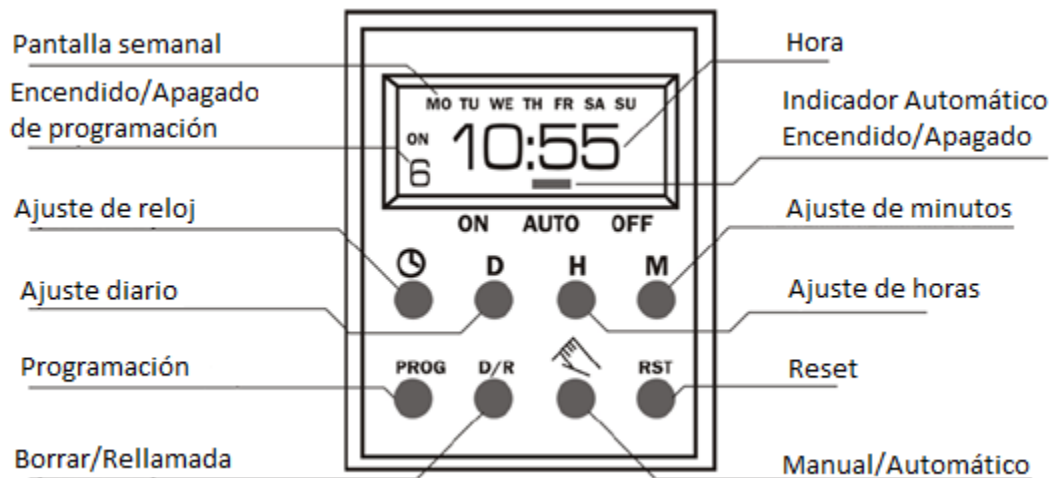


Fig 1. Vista frontal del reloj temporizador.

2.- Programación del reloj

- 1) Presione (D) y (D) juntos hasta que seleccione el día correcto.
- 2) Presione (D) y (H) al mismo tiempo hasta que seleccione la hora correcta.
- 3) Presione (D) y (M) simultáneamente hasta que seleccione los minutos correctos.


3.- Programación del temporizador


- 1) Presione (PROG) – Esto activa la configuración de hora de encendido del primer temporizador (1 ON)
- 2) Presione (D) para elegir entre los diferentes modos:
 - 1-Lunes
 - 2-Martes
 - 3-Miércoles
 - 4-Jueves
 - 5-Viernes
 - 6-Sábado
 - 7-Domingo
 - 8-Lunes, Martes, Miércoles, Jueves, Viernes
 - 9- Sábado, Domingo
 - 10-Todos los días.
- 3) Presione (H) para elegir la hora requerida
- 4) Presione (M) para elegir los minutos requeridos.
- 5) Presione (PROG) Esto activa la configuración de hora de apagado del primer temporizador (1 OFF)

6) Repita los pasos del 2 al 4


7) Repita los pasos del 1 al 6 si desea utilizar mas temporizadores, existen 6 disponibles.

8) Puede presionar (PROG) para verificar los tiempos de encendido y apagado de los temporizadores.

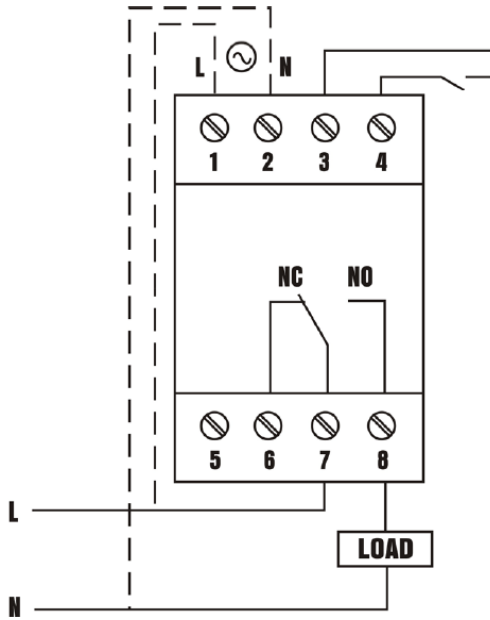
9) Presione () para activar la función automática (AUTO encendido)

10) Presione () para volver a visualizar el tiempo actual.

4.- Indicaciones adicionales

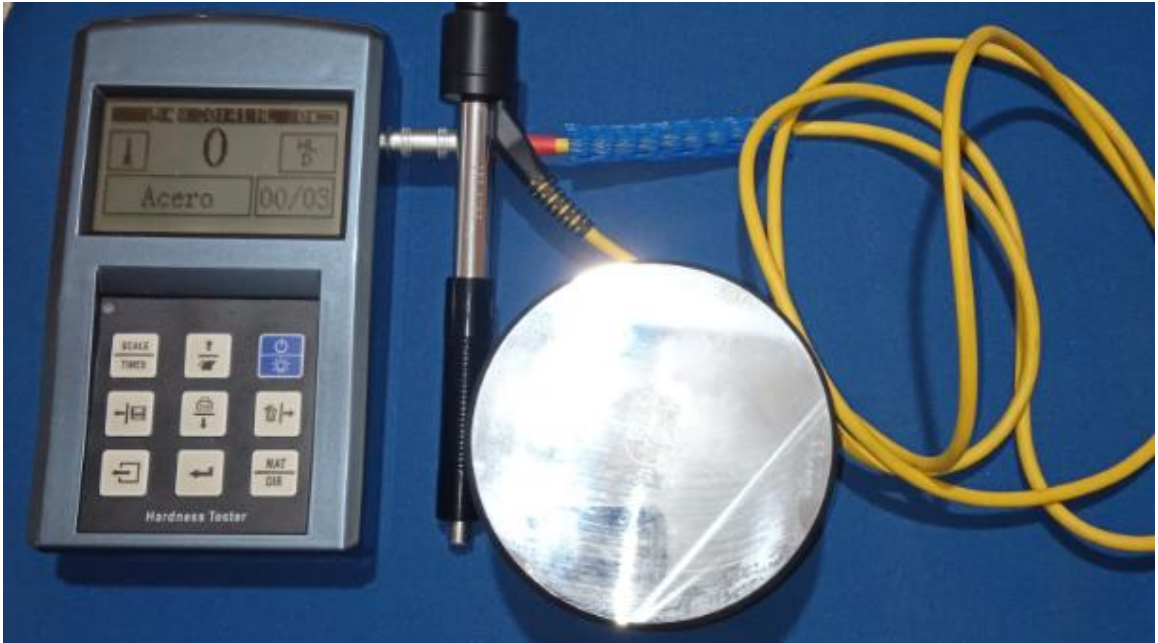
- Para que la función automática se encuentre activa se debe estar encendido (AUTO).
- Presione () para cambiar entre los modos LOCK ON – AUTO – LOCK OFF para operación manual. Seleccione AUTO para la operación automática. LOCK ON para un encendido continuo. LOCK OFF para un apagado continuo.
- Para cancelar los temporizadores presione (D/R), entonces se mostrará (--:--) en la pantalla para confirmar la cancelación. Puede presionar nuevamente (D/R) para volver a la configuración inicial.
- Pulse reset (RST) antes de configurar el reloj temporizador.
- El reloj temporizador incluye una batería Ni-Cd, recargarla por 10 minutos si la pantalla no se muestra clara o desaparece.

5.- Esquema de conexión



- Los terminales 3 y 4 pueden ser utilizados como un interruptor externo. Cuando se necesite que el temporizador se active continuamente, cierre el interruptor. Si desea volver a la configuración del reloj temporizador, abra el interruptor entre los terminales 3 y 4.

Anexo 8. Durómetro portátil



Anexo 10. Fotos proceso de horno repotenciado



