



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

DISEÑO DE UN HORNO MULTITAPA PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS TERMICOS DE TEMPLE Y RECOCIDO EN DISCO DE ARADO AGRICOLA

Autores: Martínez Samuel

C.I: V- 26.817.338

Mujica Jesús

C.I: V- 26.614.260

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono (0241) 8714240 (máster) – Fax: (0241) 871239



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE UN HORNO MULTITETAPA PARA LA APLICACIÓN DE
TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE TEMPLE Y RECOCIDO EN DISCO DE
ARADO AGRICOLA

Proyecto de Trabajo de Grado para optar al título de

INGENIERO MECÁNICO

Autores:

Martínez Samuel

C.I: V- 26.817.338

Mujica Jesús

C.I: V- 26.614.260

Tutor:

Ing.: Donato Romanello

San diego, abril del 2021



FLN-001-2020-3CR (TG)

Valencia, 24 de marzo de 2021

Ciudadanos:
Mujica Ortiz, Jesús Guillermo.
CI. 26.614.260
Martínez Pinto, Samuel Orlando.
CI. 26.817.338
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 04-2021 de fecha 21-01-2021 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado ***DISEÑO DE UN HORNO MULTIETAPA PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS TERMICOS DE TEMPLE Y RECOCIDO EN DISCO DE ARADO AGRICOLA*** presentado por usted (es) como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico

Se ratifica la designación del Ing. Donato Romanello C.I: 4.131.877 como Tutor Académico que los asesorara en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

Dr. Francisco Gelanzé Sevilla.
Decano

c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

GF/aa



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA

APROBRACION DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero. Donato Romanello, portador de la cédula de identidad N° V-4.131.877, en mi carácter de tutor del Trabajo de Grado presentado por los ciudadanos Martínez Pinto, Samuel Orlando, portador de la Cédula de Identidad N° V-26.817.338, y Mujica Ortiz, Jesús Guillermo, portador de la Cédula de Identidad N° V-26.614.260, titulado **DISEÑO DE UN HORNO MULTITAPA PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS TÉRMICO DE TEMPLE Y RECOCIDO EN DISCO DE ARADO AGRICOLA** presentado como requisito parcial para optar al título de INGENIERO MECANICO, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los días del mes de abril del año dos mil veinte y uno.

Ing. Donato Romanello

V-4.131.87

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, doy gracias a Dios y a la virgen por haberme dado la oportunidad de haber escogido esta carrera tan maravillosa gracias además por haberme brindado la salud necesaria y el tiempo para haber culminado este logro tan importante. Así como también la fe, la constancia y las fuerzas necesarias para continuar a pesar de los momentos difíciles de mi vida.

Gracias a mis padres, Orlando Martínez y Jessica Pinto por haberme inculcado sus valores los valores de responsabilidad, perseverancia y sobre todo la constancia para hacer posible mi sueño hecho realidad. Ese apoyo y amor incondicional que nunca me faltó, haciendo sacrificios para ayudarme a seguir con mis estudios y, a pesar de pasar por situaciones difíciles, siempre hemos estado juntos en todo momento. Gracias a Dios darme el placer de disfrutar con ellos mi logro.

Gracias a mis hermanos, tíos, tías, primas y primos siempre apoyándome y dándome la motivación necesaria para seguir adelante y siempre deseándome lo mejor. Mención especial a mis tías Yamilet Martínez y Maritza Martínez y a mi tío Oscar Martínez por darme siempre el amor, cariño y apoyo incondicional en mi vida.

Gracias a mi amiga y futura colega Alejandra Serrano Marval que ha estado presentes en los momentos buenos y malos, compartiendo mis alegrías y tristezas, siempre brindándome consejos a la hora de tomar decisiones, en el transcurso de estos últimos años de mi carrera, dándome el apoyo incondicional, así como levantarme el ánimo cuando me veía caer. Y que ha aportado de alguna u otra forma a mi formación tanto personal como profesional.

Gracias a mi profesor y tutor Donato Romanello por ayudarme en estos años en el transcurso de cada semestre de carrera, haciendo posible el poder cumplir mi meta la cual al pasar del año siempre ha estado como prioridad en mi vida.

Y, por último, pero no menos importante a mi compañero de tesis Jesús Mujica por aceptar este reto conmigo, que Dios los bendiga.

Samuel Martínez

AGRADECIMIENTOS

A Dios todo poderoso, que guía mi camino.

A mis padres, Guillermo Mujica e Iris Ortiz a quienes les debo todos mis logros en la vida, que en todo momento estuvieron para apoyarme incondicionalmente en cada paso, por sus consejos, palabra de aliento y sobre todo por creer en mí.

A mi familia, que siempre estuvieron presentes y con cada pequeño o grande sus gestos de apoyo me impulsaron a seguir adelante mis tíos, abuelos, por sobre todo resalto a mi hermana Yolanda Mujica por su apoyo y confianza en todo.

A mi novia, Yulianny Navas con quien comparto todos mis triunfos, por su apoyo y ayuda en esta última etapa del camino, por creer y confiar en mí.

A mis compañeros, a quienes considero mis hermanos y hermana que sin ellos no hubiera sido posible alcanzar esta meta, estuvieron presentes en muchas ocasiones apoyándome en diferentes circunstancias, de los cuales todos y cada uno fueron especiales, pero debo resaltar a Aleana Marval quien fue una segunda madre para mí, Alejandra María Marval, Samuel Martínez, Emerson Diaz, me complace poder compartir este logro juntos y llamarlos colegas.

Jesús Mujica

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron en el logro de esta meta.

Una dedicatoria primeramente a DIOS todo poderoso que guía e ilumina nuestro camino en todo momento.

A nuestro Padres por ser nuestro apoyo, nuestra motivación, en cada paso que nos tomó para llegar al cumplimiento de esta meta trazada.

A nuestros familiares, que en todo momento estuvieron presentes para darnos apoyo en un largo camino y fortaleza en momento difíciles.

A nuestros compañeros que más que nadie sabe lo difícil que fue, por toda la ayuda y por siempre estar presente en momentos de necesidad.

Los autores

ÍNDICE

| CONTENIDO | | Pág. |
|---|--|-------------|
| ÍNDICE DE TABLAS | | x |
| ÍNDICE DE FIGURAS | | x |
| RESUMEN INFORMATIVO | | xiii |
| INTRODUCCIÓN | | 1 |
| CAPÍTULO | | |
| I EL PROBLEMA | | 7 |
| 1.1 Planteamiento del Problema... .. | | 7 |
| 1.2 Formulación del Problema... .. | | 10 |
| 1.3 Objetivos de la investigación... .. | | 10 |
| 1.3.1 Objetivo General... .. | | 10 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos... .. | | 10 |
| 1.4 Justificación... .. | | 10 |
| 1.5 Alcance | | 12 |
| 1.6 Limitaciones... .. | | 12 |
| II MARCO TEÓRICO | | 13 |
| 2.1. Antecedentes de la investigación..... | | 13 |
| 2.2 Bases Teóricas. | | 15 |
| 2.2.1 Termodinámica..... | | 15 |
| 2.2.2 Primera ley de la termodinámica | | 16 |
| 2.2.3 Segunda ley de la termodinámica | | 16 |
| 2.2.4 La ley cero de la termodinámica..... | | 17 |
| 2.2.5 Transferencia de Calor..... | | 17 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.2.6 | Conducción..... | 17 |
| 2.2.7 | Convección..... | 18 |
| 2.2.8 | Radiación..... | 19 |
| 2.2.9 | Tratamiento térmico..... | 20 |
| 2.2.10 | Clasificación de los diferentes tratamientos térmicos..... | 21 |
| 2.2.11 | Recocido..... | 22 |
| 2.2.12 | Temple..... | 26 |
| 2.2.13 | Características generales del temple..... | 27 |
| 2.2.14 | Normalizado..... | 27 |
| 2.2.15 | Revenido..... | 28 |
| 2.2.16 | Características generales del revenido..... | 28 |
| 2.2.17 | Hornos..... | 28 |
| 2.2.18 | Tipos de hornos..... | 28 |
| 2.2.19 | Materiales refractarios..... | 31 |
| 2.2.20 | Los ladrillos refractarios..... | 31 |
| 2.2.21 | Materiales refractarios neutros..... | 33 |
| 2.2.22 | Materiales refractarios básicos..... | 33 |
| 2.2.23 | Arado de discos..... | 33 |
| 2.2.24 | Tipos de arados de disco..... | 34 |
| 2.2.25 | Suspendidos..... | 34 |
| 2.2.26 | Semisuspendidos..... | 35 |
| 2.2.27 | Arrastrados..... | 36 |
| 2.2.28 | Por su forma de trabajo..... | 36 |
| 2.2.29 | Disco..... | 37 |
| 2.3 | Definición de términos básicos..... | 38 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| III | MARCO METODOLÓGICO | 40 |
| | 3.1 Tipo de investigación..... | 40 |
| | 3.2 Diseño de la investigación..... | 41 |
| | 3.3 Nivel de la investigación..... | 41 |
| | 3.4 Población | 42 |
| | 3.5 Muestra | 43 |
| | 3.6 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos..... | 43 |
| | 3.7 Fases metodológicas de la investigación..... | 44 |
| IV | RESULTADOS..... | 46 |
| | 4.1 Diagnosticar la severidad de la fragilización de los discos escotados, productor de los procesos errados de manufactura | 46 |
| | 4.1.1 Diseño mecánico y térmico del horno electico..... | 46 |
| | 4.1.2 Dimensiones internas de la cámara | 47 |
| | 4.1.3 Configuración del Horno Eléctrico..... | 49 |
| | 4.2 analizar el tipo de material y propiedades mecánicas del mismo al que se le aplicaran los tratamientos térmicos | 53 |
| | 4.2.1 Cantidad de calor impartida por la carga..... | 54 |
| | 4.2.2 Calor perdido por convección-radiación | 59 |
| | 4.2.3 Modelamiento matemático de transferencia de calor... .. | 64 |
| | 4.2.4 Cálculo de las pérdidas de calor | 65 |
| | 4.2.5 Rendimiento del horno | 72 |
| | 4.2.6 Cálculo de la resistencia eléctrica..... | 73 |
| | 4.2.7 Modelado del horno..... | 79 |
| | 4.2.8 Diseño del sistema de control... .. | 84 |
| | 4.2.9 Diseño de la banda transportadora..... | 102 |
| | 4.3 Determinar los procesos de tratamientos térmicos a realizar y las temperaturas correspondientes para cada uno | 122 |

| | |
|--|------------|
| 4.3.1 Tanque de enfriamiento | 123 |
| 4.3.2 Diseño del chiller..... | 125 |
| 4.3.3 Medidas de seguridad para realizar la operación del horno..... | 136 |
| 4.3.4 Análisis de las especificaciones del horno | 144 |
| 4.3.5 Análisis del costo de los materiales... .. | 145 |
| 4.3.6 Análisis e interpretación de los resultados obtenidos | 147 |
| CONCLUSIONES | 152 |
| RECOMENDACIONES | 154 |
| REFERENCIAS | 155 |
| ANEXOS | 156 |
| A Estados de los discos de arado los cuales se le realizaran los tratamientos Térmicos..... | 157 |
| B Catálogo de las propiedades de los discos de arado..... | 158 |
| C Catálogo de las propiedades del acero AISI 1045..... | 159 |
| D Catálogo de las propiedades de los tratamientos térmico del acero AISI 1045E Propiedades del aire a 1 atm de presión. | 160 |
| F Catálogo de las fichas de los ladrillos refractarios utilizados. | 161 |
| G Catálogo de la ficha técnica de la manta de la fibra cerámica..... | 162 |
| H Catalogo del concreto refractario que se utilizara | 163 |
| I Catalogo del mortero refractario que se utilizara..... | 164 |
| J Catálogo de las propiedades de las distancias de las resistencias eléctricas..... | 165 |
| K Catálogo de las propiedades de la resistencia KANTHAL A-1. | 166 |
| L Planos del Modelamiento del horno. | 167 |

ÍNDICE DE TABLAS

| TABLA | | Pág. |
|--------------|--|-------------|
| 1 | Especificaciones de los materiales seleccionados para el horno. | 53 |
| 2 | Propiedades del aire a las temperaturas correspondientes (Cengel & Ghajar, 2011). | 55 |
| 3 | Las principales propiedades del acero AISI 1045, que serán utilizados para los cálculos. | 57 |
| 4 | Propiedades de la resistencia Kanthal A-1 | 75 |
| 5 | Cuadro comparativo de los dispositivos de control | 87 |
| 6 | Ajuste de parámetros del grupo 1 del controlador | 96 |
| 7 | Análisis de la especificación del chiller | 136 |
| 8 | Análisis de las especificaciones del horno | 145 |
| 9 | Análisis de los precios de los materiales | 146 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| FIGURA | | Pág. |
|---------------|---|-------------|
| 1 | Representación del principio básico de la conservación de energía. | 16 |
| 2 | El calor se transfiere en la dirección de lo caliente a lo frío. | 17 |
| 3 | Conductividad térmica de los materiales más importantes a temperatura ambiente. | 18 |
| 4 | Coefficientes más comunes de transferencia por convección, (h). | 19 |
| 5 | Constante de emisividad de algunos materiales. | 20 |
| 6 | Transformación de la austenita. | 23 |
| 7 | Diagrama Hierro-Carbono Temperaturas | 24 |
| 8 | Diagrama de Temperatura en la Globulización | 25 |
| 9 | Temperatura en el Recocido de Eliminación de Tensiones | 26 |
| 10 | Metalografía temple y revenido. | 27 |
| 11 | Arado de discos | 33 |
| 12 | Arado de disco suspendido | 35 |
| 13 | Arado de disco Semisuspendidos | 36 |
| 14 | Arado de discos arrastrado | 37 |
| 15 | Arado de disco reversible manual | 38 |
| 16 | Disco de arado bonem | 39 |
| 17 | Marco del horno eléctrico | 48 |
| 18 | ladrillo refractario | 50 |
| 19 | Fibra cerámica (papel cerámico FIBL TP 23) | 51 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 20 | Lamina de acero inoxidable calibre 18 | 52 |
| 21 | Circuito equivalente para una pared compuesta en serie. | 64 |
| 22 | Corte lateral de la pared de la cámara de calentamiento | 66 |
| 23 | Vista frontal de la cámara de calentamiento | 69 |
| 24 | Vista lateral de la cámara de calentamiento | 70 |
| 25 | Modelado de la estructura del horno | 80 |
| 26 | Modelado de la colocación de los ladrillos refractarios | 81 |
| 27 | Modelado de la colocación de la fibra cerámica | 81 |
| 28 | Modelado de la colocación de la lámina de acero | 82 |
| 29 | Ensamble final del horno | 83 |
| 30 | Sistema de control de lazo cerrado del equipo | 84 |
| 31 | Controlador de temperatura y/o procesos TZ4ST-24S | 85 |
| 32 | Temporizador digital análogo 76299 | 87 |
| 33 | Diagrama de flujo para el grupo 1 de ajustes | 88 |
| 34 | Operación de salida de alarma del controlador | 89 |
| 35 | Funcionamiento de la opción rampa de ascenso | 90 |
| 36 | Funcionamiento de la opción rampa de descenso | 92 |
| 37 | Diagrama de flujo para el grupo 2 de ajustes | 92 |
| 38 | Opciones de ajuste de alarma | 93 |
| 39 | Respuestas del PIDF y del PIDS | 94 |
| 40 | Descripción del panel frontal del controlador | 94 |
| 41 | Ajuste de parámetros del grupo 2 del controlador | 95 |
| 42 | Encendido del controlador | 96 |
| 43 | Resistencia encendida | 97 |
| 44 | Inicio temporizador | 98 |
| 45 | Estabilización del sistema a 700°C | 99 |
| 46 | Resistencia apagada | 100 |
| 47 | Temporizador apagado | 101 |
| 48 | Proceso terminado | 101 |
| 49 | tabla de algunos materiales que se transportan con bandas transportadora | 102 |
| 50 | Angulo de sobrecarga | 103 |
| 51 | Velocidades máximas de las bandas | 104 |
| 52 | Capacidad de transporte volumétrica | 106 |
| 53 | Factor de inclinación de la banda | 107 |
| 54 | Paso máximo de las estaciones | 108 |
| 55 | Diámetros de los rodillos | 109 |
| 56 | Peso del núcleo de la banda | 111 |
| 57 | Correa de carcasa para materiales pesados | 112 |
| 58 | Factores de servicio, ambiental y de choche | 113 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 59 | Factor de velocidad | 113 |
| 60 | Factor de participación | 114 |
| 61 | Manual de los tipos de rodillos para bandas transportadora | 115 |
| 62 | Peso de las partes giratorias | 117 |
| 63 | Factor de abrazamiento | 118 |
| 64 | Tanque de enfriamiento | 124 |
| 65 | Componentes del chiller | 126 |
| 66 | Compresor | 128 |
| 67 | Condensador | 129 |
| 68 | Intercambiador de calor | 132 |
| 69 | Ciclo de refrigeración | 137 |
| 70 | Vestuario laboral | 138 |
| 71 | Calzado de seguridad | 139 |
| 72 | Protección facial, ocular y de la cabeza | 140 |
| 73 | Protección respiratoria | 140 |
| 74 | Protección auditiva | 141 |
| 75 | Guantes para sujetar las piezas de trabajo | 142 |
| 76 | Pinzas dentadas | 143 |



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE UN HORNO MULTITAPA PARA LA APLICACIÓN DE
TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE TEMPLE Y RECOCIDO EN DISCO DE
ARADO AGRÍCOLA**

Autores: Martínez S. y Mujica J.

Tutor: Ing. Donato Romanello

Fecha: abril 2021.

RESUMEN INFORMATIVO

El presente trabajo de grado tiene como objetivo: “diseñar un horno multitapa para la aplicación de tratamientos térmicos de temple y recocido en disco de arado agrícola”; ahora bien, con este diseño se pretende mejorar y aumentar la calidad y las propiedades físicas del material con que están fabricados los discos de cortes del arado. Todo ello, con el propósito de hacerlos más resistentes y que puedan desempeñar de forma eficiente un trabajo mecánico, para lo que son fabricados, destinados para las tierras de cultivo; pretendiendo aumentar las propiedades, específicamente la dureza y la resistencia al trabajo mecánico, mejorándolos, hasta el punto, de lograr valores aceptables para mayor funcionalidad y aumento de la vida útil de los mismos. Además de todo esto, se presenta la opción de abaratar costos, con la reducción de la mano de obra, por la característica de ser multitapa; es decir, que se realizarán los tratamientos térmicos de forma automática, esto en vista de la capacidad que tiene un horno y el peso que presentan los disco, dando como resultado, que el proceso sea más rápido y eficiente y, por consiguiente, lograr una reducción en el riesgo con los operadores. Aseverando, que la fragilidad del actual disco de arado, es el producto de procesos errados de manufactura; por tal razón, es conveniente conocer los diferentes defectos que pueden presentar a nivel microscópico. En fin, se debe analizar el tipo de material adecuado al cual se le aplicara el tratamiento térmico para mejorar la microestructura y sus propiedades mecánicas; previamente, hay establecer los procesos de las temperaturas adecuadas en cada uno de los tratamientos térmicos.

Palabras claves: diseño, horno, térmicos, propiedades mecánicas, disco de arado.

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista industrial, las piezas agrícolas representan una de las herramientas fundamentales para desarrollar la actividad agrícola, como es el caso de los discos de corte agrícola, los cuales representan un conjunto de casquetes esféricos hechos de acero, los mismos son piezas que forman parte de una maquina agrícola llamada rastra o rastra de disco unida a ella por un eje común, generalmente las rastras constan de 10 a 48 discos, divididos en lo que se conoce como cuerpo de rastra, cada rastra cuenta con dos cuerpos. la rastra es empleada para cumplir la función de labranza, utilizadas en tierras con mucha maleza para triturar raíces y cortar la tierra. Existen dos tipos de discos de corte, los discos lisos y los escotados, cada uno destinados a funciones similares dependiendo el tipo de suelo que se deba labrar.

En esta perspectiva, para que los discos cumplan con su función de manera eficaz estos deben contar con una alta resistencia y tener una alta dureza, debido a que su trabajo es en un ambiente externo es afectado por varios factores ambientales, de los que se pueden resaltar la humedad, los diferentes tipos de suelos que son trabajados, los impactos ocasionales con grandes rocas, etc. por lo cual son fabricados utilizando materiales como el acero al carbono y diferentes procesos para que cumplan con los estándares requeridos.

Realmente, esta investigación se considera como un proyecto factible, porque con él se pretende “Proponer un diseño de un horno multietapa para la aplicación de tratamientos térmicos de temple y recocido, en los discos del arado agrícola”. Por tal razón, es necesario y de gran importancia, realizar investigaciones proyectadas a desarrollar y mejorar la producción agrícola en Venezuela. Cabe destacar, que esta propuesta es una consecuencia de la necesidad que tienen los autores de la misma, en desarrollar y optimizar el desempeño de los componentes o piezas agrícolas de una maquinaria de labranza, como son los “discos del arado agrícola”, tan requerido en las labores del campo o la siembra.

Por otra parte, hay que considerar desde el punto de vista industrial y mecánico, que las herramientas y maquinarias utilizadas en la actividad agrícola, representan aspectos fundamentales para desarrollar y mejorar la producción de cualquier rublo o cosecha que se desee lograr. Destacando que las maquinarias usadas en los cultivos, generalmente están compuestas por diferentes piezas, tal es el caso de los arados agrícolas, llamados también rastras o rastras de discos; quienes comúnmente, están conformados por uno o dos ejes. Asimismo, que cada eje cuenta a su vez, con varias piezas unidas a él, llamadas discos de corte, quienes suman un total de diez (10) a cuarenta y ocho (48); esta cantidad de discos, depende del tamaño de la rastra y del número de ejes que presente la misma.

Ahora bien, los discos de corte del arado, representan un conjunto de piezas unidas a un eje común, separadas o divididas equidistantemente, en lo que se conoce como cuerpo de rastra. Estos discos, tienen la forma de casquetes redondeados y comúnmente son fabricados de acero; con esta perspectiva de fabricación, los discos deberían cumplir su función de manera eficaz y supuestamente, deberían contar con una alta resistencia al trabajo requerido y, además, deberían tener una alta dureza de impacto. En definitiva, la rastra es empleada para cumplir las funciones de labranza; o sea, utilizada para arar en terrenos con mucha maleza, donde además de cortar la tierra, se deben triturar raíces y rocas.

Está comprobado, que existen dos tipos de discos de corte, los discos con el borde liso (discos lisos) y los que presentan el borde escotados (discos escotados o dentados), ambos son destinados a funciones similares (arar o rastrear), pero dependiendo del tipo de suelo que se deba labrar, se debe considerar el disco a utilizar; esto generalmente, se debe a que su trabajo se realiza es en un ambiente externo y es afectado por varios factores ambientales, de los que se pueden resaltar: la humedad, los diferentes tipos de suelos que son trabajados, los impactos ocasionales con grandes raíces, rocas, etc. Por tales razones, estos discos son fabricados utilizando materiales resistentes, como el acero (hierro

combinado con el carbono); pero por supuesto, se aplican diferentes procesos en su fabricación, tratando de cumplir con los estándares de calidad requeridos en el mercado.

Cabe resaltar, que en Venezuela los principales consumidores o compradores de estos productos, como son los arados y las rastras, generalmente son las empresas de mayor envergadura comercial, precisamente porque son ellos los que manejan el mercado, tanto para la distribución y venta, como la utilización de los mismos productos ya terminados. Por otro lado, existen algunas empresas importantes y algunas asociaciones de productores en los estados, quienes demandan o exigen a los fabricantes, la máxima calidad de estos productos. Prácticamente, estas empresas son las que les distribuyen a terceros, como son los agricultores, quienes actúan directamente en el proceso de labranza y por supuesto, son los primeros en determinar los estándares de calidad de estas maquinarias.

Fundamentalmente, las distribuidoras de estas maquinarias (arados o rastras), reciben directamente las quejas del mismo agricultor, acerca de las fallas o baja calidad de los arados, especialmente los discos que lo componen y específicamente los discos escotados o dentados. Ocasionalmente, estas son situaciones intolerantes tanto para los agricultores, como para los distribuidores y por supuesto, estas quejas llegan hasta los mismos fabricantes. Por otro lado, las empresas fabricantes de los diferentes equipos agrícolas que existen en el mercado, generalmente se excusan, señalando o diciendo que aplican pruebas para el control de calidad en sus productos terminados; donde determinan y exponen, que aquellos productos que no se consideren aptos son reciclados o en algunos casos desechados.

Precisamente, los investigadores de este trabajo de grado, han podido indagar y observar, que el problema de los discos escotados, radica en determinadas piezas que son ensambladas al final de todo el proceso de fabricación, sin llevar un control de calidad inicial o intermedio; tal vez, esto es debido a que la cantidad de piezas que no son adecuadas para ser ensambladas es muy elevada y los investigadores de este trabajo, determinan que estas piezas no se pueden reciclar o desechar, ya que sería una pérdida

considerable (gran cantidad de materia prima), en los activos de cualquier industria fabricante. Por supuesto, que ciertos fabricantes no consideran o no les importan alcanzar los estándares de calidad exigidos y que tanto demandan los consumidores o los mismos distribuidores.

Definitivamente, esta situación que se ha presentado con la fabricación de los arados, específicamente con algunas piezas que los conforman, como son los discos escotados, conlleva, a los investigadores de este trabajo, plantearse una situación problema, que podría ser solucionada o minimizada, con la actuación de ellos, de una forma lógica y correcta. Por supuesto, esta actuación es de acuerdo a los conocimientos previos que han ido adquiriendo en sus estudios “ingenieriles” y que pretenden, poner en práctica o aplicar en el campo laboral de la Ingeniería Mecánica, apoyándose especialmente en ciencias como la Física, la Termodinámica, los Materiales, las Maquinas Eléctricas, Sistemas Térmicos, entre otras; todo ello, con el propósito de realizar un aporte significativo al agro venezolano.

En este marco de ideas, los investigadores presentan una propuesta, que consiste en diseñar un horno multietapa para la aplicación de tratamientos térmicos de temple y recocido, en los discos escotados del arado agrícola. Efectivamente, la propuesta resulta del estudio y análisis a una serie de discos del tipo escotado, que no cumplen con los requerimientos necesarios para ser utilizados en la fabricación de nuevas rastras, debido a que son muy frágiles, por lo que suelen fracturarse con esfuerzos leves. Esto tal vez, se debe a que, en su previa fabricación, los procesos de manufactura no fueron del todo correctos o no se llevaron a cabo de manera adecuada y sistemática (sin control de calidad adecuado); ocasionando de esta forma, fallas en el material y dando como resultado un producto terminal deficiente.

En vista de esta problemática, se han realizado indagaciones, a través de entrevistas en forma de diálogos a varios agricultores (por cierto, muy receptivos), quienes utilizan estos implementos agrícolas y por supuesto, se entrevistó a algunos distribuidores de estos implementos (por cierto, son muy reservados en sus informaciones). Pero, en definitiva, se

ha podido determinar también, a través de la observación directa y la información recogida, que, si existen fallas o defectos en los discos, mayormente en los escotados. Esta determinación, se basa principalmente en el resultado que arrojan los discos después de ser sometidos a un trabajo mecánico fuerte y continuo; demostrándose así, que si existe deficiencia en las propiedades físicas del material con que son fabricados estos discos.

En definitiva, con la presente propuesta, aparte de analizar el material o componentes físico-químicos, con que son fabricados los discos, también se determinará, la calidad de las propiedades mecánicas de ellos, como es la resistencia al trabajo, a la fatiga y al impacto, así como su ductilidad. Esperando, que, con todos estos análisis, luego se pueda lograr una solución eficaz y rentable, basada específicamente, en aumentar los parámetros de calidad de los discos escotados; para ello, se pretende enfocarse en los tratamientos térmicos, de los cuales se consideran como los más necesarios, el temple y el recocido. Destacando que estos procesos, consisten en el calentamiento y enfriamiento controlado de un determinado metal, con el fin de cambiar sus propiedades físicas y elevar sus capacidades mecánicas.

Ante tal escenario, se ha considerado la factibilidad de proponer un diseño de un horno multietapa para la aplicación de tratamientos térmicos de temple y recocido, en los discos del arado agrícola, con la finalidad de realizar una investigación objetiva, coherente y que sea un aporte significativo para el agro venezolano. Finalmente, la investigación se ha estructurado en capítulos, como se desglosan a continuación. **El Capítulo I**, contiene lo relacionado al Planteamiento del Problema: contextualización y su delimitación; además de los objetivos, tanto el general como los específicos. Contiene también, la justificación de la investigación. **El Capítulo II**, está referido al Marco Teórico, el cual contiene todo lo referente a los antecedentes históricos y las bases teóricas y legales que la sustentan.

Seguidamente en el **Capítulo III**, el cual está referido al Marco Metodológico, quien contempla lo relacionado al tipo, diseño y nivel de la investigación. Igualmente contempla la población y la muestra seleccionada y por supuesto, las técnicas e instrumento de recolección de la información; así como, su validez y confiabilidad. **El Capítulo IV**, que

habla sobre los resultados que se utilizaron durante el desarrollo de la investigación, cerrando con las referencias bibliográficas con las que se apoyó el trabajo.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

Los discos de corte agrícola son un conjunto de casquetes esféricos hechos de acero, los mismos son piezas que forman parte de una máquina agrícola llamada rastra o rastra de disco unida a ella por un eje común, generalmente las rastras constan de 10 a 48 discos, divididos en lo que se conoce como cuerpo de rastra, cada rastra cuenta con dos cuerpos. La rastra es empleada para cumplir la función de labranza, utilizadas en tierras con mucha maleza para triturar raíces y cortar la tierra. Existen dos tipos de discos de corte, los discos lisos y los escotados, cada uno destinados a funciones similares dependiendo el tipo de suelo que se deba labrar.

Para que los discos cumplan con su función de manera eficaz estos deben contar con una alta resistencia y tener una alta dureza, debido a que su trabajo es en un ambiente externo y esta afecta por varios factores ambientales, de los que se pueden resaltar la humedad, los diferentes tipos de suelos que son trabajados, los impactos ocasionales con grandes rocas, etc. Por lo cual son fabricados utilizando materiales como el acero al carbono y diferentes procesos para que cumplan con los estándares requeridos.

Los principales consumidores o compradores en Venezuela de estos productos son empresas de gran envergadura destinadas tanto a distribución como a utilización de los productos terminados, algunas de las empresas que se pueden mencionar están Tanapo, Roto Agro, AFI (Agro Fuerzas Integradas), Asociación de Productores de Portuguesa, Cometa (Construcciones Metálicas y Trabajos Agrícolas) al ser empresas importante demandan gran calidad al momento de la compra de productos utilizados en sus procesos de labranza o ya sea de distribución a terceros. En vista de esto, cualquier incumplimiento en los estándares de calidad no puede ser tolerados por parte de las empresas fabricantes de los diferentes equipos agrícolas que existen en el mercado

por tanto toda empresa tiene una prueba de control de calidad en sus productos terminados y aquellos que no se consideren aptos son reciclados o en algunos casos desechados; en este caso el problema radica en determinadas piezas que son ensambladas al final de todo el proceso de fabricación, debido a que la cantidad de piezas que no son adecuadas para ser ensambladas; es muy elevada no pueden reciclar o desechar una gran cantidad de material ya que sería una pérdida considerable en los activos de cualquier fabricante, por lo tanto surge la necesidad de alcanzar los estándares de calidad que demandan los consumidores.

Especificando, que los discos de corte agrícola forman parte de una máquina agrícola llamada rastra o arado y que son un conjunto de casquetes esféricos, o sea, con forma redondeada; se establece que existen dos tipos de discos de corte, los discos lisos y los escotados (dentados), cada uno destinados a funciones similares, pero son usados dependiendo del tipo de suelo que se deba labrar. Además, existen discos de diferentes diámetros, pero todos ellos comúnmente son fabricados de acero, con esta perspectiva de fabricación, los discos deberían cumplir su función de manera eficaz y supuestamente, deberían contar con una alta resistencia al trabajo requerido y, además, deberían tener una alta dureza de impacto en su función de mecanización.

Permanentemente, los agricultores esperan que los discos de corte del arado cumplan con los requerimientos exigidos, en su función de manera eficaz, así como presentar una alta resistencia al trabajo a que son sometidos y por supuesto, tener una alta dureza para el impacto con las raíces y las rocas, que se pudieran encontrar en los terrenos de siembra. Considerando, que estos implementos trabajan en un ambiente externo y están afectados por varios factores ambientales, de los que se pueden resaltar la humedad, los diferentes tipos de suelos que son trabajados, los impactos ocasionales con grandes rocas, etc. Se ha podido determinar, que algunos discos presentan defectos y pareciera que no están fabricados de acuerdo a los parámetros o estándares de calidad requeridos para su desempeño.

Evidentemente, los investigadores de este trabajo han podido indagar, diagnosticar y analizar, como ha sido el trabajo a que son sometidos los discos de estos arados y rastras, demostrándose algunas fallas o defectos, como son rupturas o doblez en la estructura de estos. Por lo cual, los investigadores tienen la impresión o sospechan, de que los discos son fabricados utilizando materiales como es el acero (hierro combinado con carbono), pero de baja calidad en los procesos de fabricación. Además, han determinado, que las rastras presentan discos muy frágiles, por lo que suelen fracturarse con esfuerzos leves; tal vez, esto se deba, a que, en su fabricación, los procesos de manufactura no han sido del todo correctos o no se llevaron adecuadamente, ocasionando deficiencia en los resultados.

Ahora bien, la propuesta va dirigida a una serie de discos de tipo escotado, que no cumplen con los requerimientos necesarios para ser utilizados en la fabricación de nuevas rastras debido a que son muy frágiles por lo que suelen fracturarse con esfuerzos muy leves esto se debe, a que en su previa fabricación los procesos de manufactura no fueron del todo correctos no se llevaron a cabo de manera adecuada ocasionando fallas en el material. En vista de esta problemática se tuvo una serie de diálogos para llegar a una solución eficaz y rentable, se llegó a la conclusión de que la solución es aumentar una serie de características enfocadas a las propiedades mecánicas del material como la resistencia, así como su ductilidad y resistencia a la fatiga y al impacto. La presente propuesta busca alcanzar dichos parámetros con procesos de tratamientos térmicos de los cuales los necesarios son el temple y el recocido, los cuales consisten en el calentamiento y enfriamiento controlado en un determinado metal con el fin de cambiar sus propiedades físicas y elevar sus propiedades mecánicas, con el temple se busca aumentar la dureza y resistencia del acero calentando el material entre 900 a 950°C seguido de un enfriamiento rápido en agua o en aceite.

Por otra parte, el recocido se basa en el calentamiento hasta la temperatura de austenización entre 800 a 925°C seguido de un enfriamiento lento con este proceso de busca disminuir la dureza y aumentar la elasticidad del material, en todos estos procesos se

basa la propuesta de diseñar un horno multietapa para realizar los tratamientos térmicos antes mencionados, y no solo eso sino, que también lo haga de forma automática sin la intervención

humana dentro del proceso, tanto para el temple como para el recocido. Lo que se busca con esta propuesta de diseño es agilizar la fabricación de los productos terminados, elevar la calidad de los productos que esperan salir al mercado y de la misma manera dar uso a piezas que se consideraban no aptas para los procesos de ensamblaje y fabricación, elevando los ingresos y reduciendo los costos para la empresa fabricantes.

1.2 Formulación del problema.

¿Cómo se puede mejorar las propiedades mecánicas y la microestructura en una serie de discos escotados de arado agrícola de acero al carbono?

1.3. Objetivos de la Investigación

Para dar claridad a lo que se busca mediante el desarrollo del presente trabajo de investigación, se plantea un objetivo general y varios objetivos específicos.

1.3.1 Objetivo General

Plantear el diseño de un horno multietapa para la aplicación de tratamientos térmicos de temple y recocido en discos de arado agrícola para mejorar las propiedades mecánicas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- * Diagnosticar la severidad de la fragilización de los discos escotados, producto de procesos errados de manufactura.
- * Analizar el tipo de material y propiedades mecánicas del mismo al que se le aplicara el tratamiento térmico.
- * Determinar los procesos térmicos a realizar y las temperaturas correspondientes de cada uno.

1.4. Justificación de la investigación.

Las características de los actuales escenarios mundiales han conllevado a que, en muchos países, los inversionistas se interesan mucho en crear, desarrollar, pequeñas y

medianas empresas y de este modo saber aprovechar las oportunidades que se le presentan. Por su parte las consecuencias administrativas de las Pequeñas y Medianas Empresas. (PYME).

En este sentido, se pretende diseñar un horno multietapa para la aplicación de tratamientos térmicos de temple y recocido en discos de arado agrícola para mejorar las propiedades mecánicas. Cabe señalar que los discos de corte agrícola son un conjunto de casquetes esféricos hechos de acero, los mismos son piezas que forman parte de una maquina agrícola llamada rastra o rastra de disco unida a ella por un eje común. Ante tal escenario, se pretende alcanzar y desarrollar los siguientes objetivos que permitirán evaluar la factibilidad del proyecto: Diagnosticar la severidad de la fragilización de los discos escotados, producto de procesos errados de manufactura, Analizar el tipo de material y propiedades mecánicas del mismo al que se le aplicara el tratamiento térmico. y finalmente Determinar los procesos térmicos a realizar y las temperaturas correspondientes de cada uno. De este modo el siguiente trabajo justifica sus ámbitos de la manera siguiente:

Desde el punto de vista económico, se le garantizara al productor o clientes potenciales la reparación de los discos a un precio más asequibles a lo existentes en el mercado, lo cual favorece a los productores de los diferentes niveles, es decir pequeño, mediano y grande, quienes independientemente su capacidad de producción, siempre requieren de esta pieza mecánica para realizar sus actividades laborables. y garantizándole que los discos cumplan con su función de manera eficaz por ser de alta resistencia y tener una alta dureza.

Cabe resaltar, que esta propuesta va dirigida a mejorar las propiedades mecánicas en una serie de discos escotados de arado agrícola de acero al carbono por medio de la aplicación de tratamientos térmicos de temple y recocido ya que, que son muy frágiles por lo que suelen fracturarse con esfuerzos muy leves, esto obedece a que en su previa fabricación en los procesos de manufactura no fueron del todo correctos, es decir no se llevaron a cabo de manera adecuada ocasionando fallas en el material. Lo importante radica en recuperar piezas que no se puedan reciclarse o desechar, que en ciertos casos representan

una pérdida considerable en los activos de un determinado productor o propietario de maquinaria

Desde la apreciación social: esta investigación se argumenta, por cuanto presenta una perspectiva relevante, ya que ofrecerá soluciones o estrategias a las pequeñas y medianas empresas o productores independientes del sector agrícola de una determinada región, beneficiando a un determinado número de productores y por ende de familias.

En cuanto a la relevancia teórica, esta investigación permitirá reforzar los conocimientos mecánicos adquiridos en el transcurso de la carrera permitiendo de esta manera las aplicaciones y enfoques conceptuales vinculando el apoyo a otros investigadores, logrando materializar los conocimientos teóricos.

1.5. Alcance

La presente propuesta de diseño va dirigida al mejoramiento de las propiedades mecánicas de piezas metálicas fabricadas de acero al carbono, mediante la aplicación de los diferentes tratamientos térmicos.

1.6. Limitaciones

Al momento de realizar el siguiente proyecto se debe tomar en cuenta una serie de restricciones, entre las resaltantes: el no contar con los recursos económicos para la construcción de un horno multietapa; para la aplicación de tratamientos térmicos, lo que nos lleva a realizar solamente el planteamiento de diseño correspondiente por otra parte en el caso hipotético de contar con los recursos económicos para la fabricación del mismo, el proyecto se califica como de gran envergadura, ya que algunas de las piezas no podrían encontrarse en el país por ende deberían importarse lo que aumentaría en gran medida el costo de fabricación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Según Arias, 2012 “El marco teórico o marco referencial es el producto de la revisión documental – bibliográfica y consiste en una recopilación de ideas, posturas de autores, conceptos y definiciones que sirven de base a la investigación por realizar.”

2.1. Antecedentes de la investigación

Por otro lado, Arias (2012) afirma que “Los antecedentes reflejan los avances y el estado actual del conocimiento en un área determinada y sirven de modelo o ejemplo para futuras investigaciones”. (p. 108).

En este sentido se inicia con los antecedentes a nivel Internacional En El Año (2015) En La Universidad Técnica Del Norte. Facultad De Ingeniería En Ciencias Aplicadas Carrera de Ingeniería en Mecatrónica. Ibarra-Ecuador. Lenin Andrés Monteros Vizcaíno. Presento Su Trabajo de Grado Titulado “**Diseño Y Construcción de Un Horno Mufla Para La Realización De Tratamientos Térmicos En Aceros**”. Cuya investigación presentan los resultados de un trabajo realizado para determinar si el diseño y construcción de un horno mufla garantiza la realización de los diferentes tratamientos térmicos. El horno mufla fue construido para realizar tratamientos térmicos en el laboratorio, para esto se utilizó materiales como el ladrillo refractario, lana de vidrio, mortero refractario y chapa metálica, con lo que se logra tener una cámara sumamente apropiada para realizar diferentes prácticas de calentamiento de piezas. Este horno mufla posee una potencia de 3,3 KW y funciona con voltaje de 220V bifásico, es así que para alcanzar la temperatura máxima de 1050 °C necesita de 40 minutos. y se logró diseñar y construir un horno mufla para tratamientos térmicos en el acero, por su utilización en el laboratorio.

Seguidamente Parada Araya R. Presento en el año (2015) Su Tesis De Grado Titulada: **Combustión De Concentrados De Cobre En Hornos De Fusión Flash. En La Universidad De Oviedo. España. Programa De Doctorado De Ciencia Y Tecnología De Materiales.** En La Universidad De Oviedo. España para optar el título de doctor de Ciencia y Tecnología de Materiales. Esta investigación está referida conceptualmente a un proceso de fusión flash, el cual se opera asistido por un balance de masa y energía (BME) para definir los parámetros de su control operacional. Operacionalmente se ha comprobado, que cuando son procesados concentrados bajos en azufre y/o con un alto contenido de insolubles, se produce un descontrol operacional. Entonces el BME es una herramienta útil, pero insuficiente para lograr una exitosa operación. se propone entonces, un nuevo enfoque conceptual al fenómeno de combustión de concentrado, que permita caracterizar la llama del quemador del horno flash. con el objetivo de diseñar e implementar, una respuesta operacional a la fusión de concentrados de bajo azufre y/o alto insoluble.

El plan de trabajo de esta investigación, consistió en una primera formulación teórica del fenómeno de combustión de concentrados de cobre, utilizando la teoría de “grupo de combustión”, posteriormente, se diseñó una campaña de mediciones industriales en un horno flash, y finalmente se desarrolló un modelo que se implementó en Matlab simulink, donde se simula el aporte de los escenarios del interés de esta investigación.

Desde el punto de vista nacional. Troconis, Luis. (2.016) en su estudio titulado **“Análisis Administrativo De La Implementación De Medidas De Seguridad Exigidas Por La Ley Orgánica De Prevención, Condiciones Y Medio Ambiente De Trabajo En La Gestión De Empresa Laboratorios Asociados”.** Universidad Bicentennial de Aragua - Turmero, Estado Aragua para optar el título de ingeniero en seguridad industrial. Esta investigación se enfoca sobre los respectivos tramites que debe realizar los gerentes para actualizar la documentación del personal y asegurarlos, con la finalidad que estén amparados ante cualquier accidente. Teniendo como objetivo principal el resguardo e integridad del personal que labora en las industrias para evitar los riesgos laborales, los

cuales están constituidos por accidentes, enfermedades ocupacionales y muertes, ya que se encuentra expuesto el trabajador, por los hechos con ocasión directa la presentación del servicio que realiza, ya sea dentro o fuera del trabajo. Tal investigación se sustenta en lo establecidos en la Ley orgánica de prevención, condiciones y medio ambiente de trabajo son los estados patológicos contraídos o agravados con ocasión del trabajo o exposición al medio en el que el trabajador o la trabajadora se encuentra obligado a trabajar, tales como los imputables a la acción de agentes físicos y mecánicos, condiciones o riesgos disergonómicos, meteorológicas, agentes químicos, biológicos, factores psicosociales y emocionales, que se manifiesten por una lesión orgánica, trastornos enzimáticos o bioquímicos, trastornos funcionales o desequilibrio mental, temporales o permanentes.

En tal sentido, es necesario y muy importante tomar en consideración este antecedente teórico para la presente investigación, ya que se debe minimizar aquellos factores externos que pudieran afectar la dinámica del proyecto en su ejecución.

2.2 Bases Teóricas

Es una de las fases más importantes de la investigación, ya que en ella se desarrollan las teorías que van a fundamentar el proyecto con base al planteamiento del problema que se ha realizado. Según arias (2006) la investigación se constituirá de una serie de variables que a continuación se plantean documentalmente a fin de obtener una idea de los aspectos a considerar, tanto en la recolección de información, como en la formulación de la propuesta, debido a que estas comprenden un conjunto de conceptos y proposiciones que constituyen un punto de vista o enfoque determinado, dirigido a explicar el fenómeno o problema planteado.

2.2.1 Termodinámica

La termodinámica se define como la ciencia de la energía. Siendo la energía considerada como la capacidad de realizar cambios por la cual el calor se convierte en energía. Este término en la actualiza se amplía para incluir lo que son la generación de potencia, la refrigeración, como también los aspectos de energía y sus transformaciones.

2.2.2 Primera ley de la termodinámica

La primera ley representa el principio de la conservación de la energía, por la cual la energía es una propiedad termodinámica. Siendo este capaz de pasar de una forma a otra, pero su cantidad total de energía permanece constante, ya que la energía no se crea ni se destruye. En la figura 1 se ilustra el principio básico de la conservación de la energía. En la cual se observa una piedra la cual adquiere velocidad como resultado de una energía potencial convirtiéndose en energía cinética.

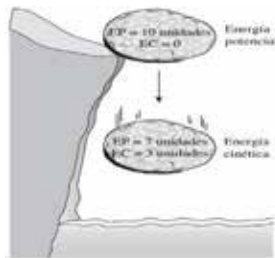


Figura 1. Representación del principio básico de la conservación de energía.

Fuente: Cengel, Y. (2012) termodinámica.

2.2.3 Segunda ley de la termodinámica

Afirma la determinación de que la energía tiene calidad, así como cantidad. Y los procesos van en una sola dirección y no son reversibles ya que la primera ley de la termodinámica no restringe la dirección de los procesos. Ya que los procesos reales ocurren hacia donde disminuye la calidad de la energía. Un ejemplo conciso de la disminución de la energía es una taza de café en la figura 2 en una mesa, en algún momento se enfría, pero una taza de café fría en el mismo espacio nunca se calienta



Figura 2. El calor se transfiere en la dirección de lo caliente a lo frío.

Fuente: Cengel, Y. (2012) termodinámica.

2.2.4 La ley cero de la termodinámica

Esta ley establece que, si dos cuerpos se encuentran en equilibrio térmico con un tercero, estos estarán en equilibrio térmico entre sí. Si el tercer cuerpo se cambia por un termómetro la ley cero se puede expresar de nuevo como dos cuerpos están en equilibrio térmico si ambos tienen la misma lectura de temperatura incluso si no están en contacto. Parece algo tonto, pero es un hecho tan obvio que se conozca como una de las leyes básicas de la termodinámica además sirve de base para la validez de la medición de la temperatura.

2.2.5 Transferencia de Calor

Transferencia de calor, proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura y se estabiliza cuando ambos cuerpos o partes llegan a la misma temperatura. El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos.

2.2.6 Conducción

Es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o

gases. Para los líquidos y gases la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio por otro lado los sólidos se deben a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una red o retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres, la figura 3 se encuentra la conductividad térmica de los materiales más importantes a temperatura ambiente.

| Material | k , W/m · °C* |
|------------------------|-----------------|
| Diamante | 2 300 |
| Plata | 429 |
| Cobre | 401 |
| Oro | 317 |
| Aluminio | 237 |
| Hierro | 80.2 |
| Mercurio (l) | 8.54 |
| Vidrio | 0.78 |
| Ladrillo | 0.72 |
| Agua (l) | 0.607 |
| Piel humana | 0.37 |
| Madera (roble) | 0.17 |
| Helio (g) | 0.152 |
| Caucho suave | 0.13 |
| Fibra de vidrio | 0.043 |
| Aire (g) | 0.026 |
| Uretano, espuma rígida | 0.026 |

Figura 3. Conductividad térmica de los materiales más importantes a temperatura ambiente.

Fuente: Cengel, Y. (2012) termodinámica.

2.2.7 Convección

Es el modo de transferencia de energía entre una superficie solidad y el líquido o gas adyacente que está en movimiento el cual comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido sea el movimiento de un fluido, mayor será la transferencia de calor por convección, si no hay movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre la superficie solidad y el fluido adyacente es por convección pura. La presencia de flujo de movimiento másico acelera la transferencia de calor entre las superficies solidad y el fluido medio existente pero también complica la determinación de las razones de esa transferencia. Existen 2 tipos de convección la forzada y la natural.

- Convección forzada: es cuando el fluido es forzado a fluis sobre la superficie mediante medios externos como ventilador, una bomba o el viento.

- Convección natural: es también llamado convección libre, es cuando el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura en ese fluido. Es decir, debido a la ausencia de un ventilador, cuando el objeto se encuentra caliente y la transferencia debe ocurrir de forma natural en el cual cualquier movimiento en el aire se deberá a la elevación del aire más caliente (y, por lo tanto, más ligero) siendo este el más cercano a la superficie y la caída del aire más frío (y, por lo tanto, más pesado) para llenar su lugar. En la figura 4, observamos los coeficientes de transferencia de calor por convección comunes.

| Tipo de convección | $h, \text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}^*$ |
|--------------------------------|--|
| Convección libre de gases | 2-5 |
| Convección libre de líquidos | 10-1 000 |
| Convección forzada de gases | 25-250 |
| Convección forzada de líquidos | 50-20 000 |
| Ebullición y condensación | 2 500-100 000 |

Figura 4. Coeficientes más comunes de transferencia por convección, (h).

Fuente: Cengel, Y. (2012) termodinámica.

2.2.8 Radiación

Es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere de la presencia de medio interventor. De ello es la transferencia más rápida (velocidad de la luz) y no sufre atenuación en un vacío. La radiación es un fenómeno volumétrico y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados. Sin embargo la radiación suele considerarse como un fenómeno

superficial para los sólidos que son opacos a la radiación térmica, como los metales, la madera y las rocas, ya que las radiaciones emitidas por las regiones interiores de un material de ese tipo nunca pueden llevar a la superficie, y la radiación incidente sobre esos cuerpos suelen absorberse en unas cuentas micras hacia dentro de dichos sólidos. En la siguiente figura 5, encontramos algunos materiales a temperatura de 300 k, su correspondiente emisividad.

| Material | Emisividad |
|-------------------------|------------|
| Hoja de aluminio | 0.07 |
| Aluminio anodizado | 0.82 |
| Cobre pulido | 0.03 |
| Oro pulido | 0.03 |
| Plata pulida | 0.02 |
| Acero inoxidable pulido | 0.17 |
| Pintura negra | 0.98 |
| Pintura blanca | 0.90 |
| Papel blanco | 0.92-0.97 |
| Pavimento de asfalto | 0.85-0.93 |
| Ladrillo rojo | 0.93-0.96 |
| Piel humana | 0.95 |
| Madera | 0.82-0.92 |
| Suelo | 0.93-0.96 |
| Agua | 0.96 |
| Vegetación | 0.92-0.96 |

Figura 5. Constante de emisividad de algunos materiales.

Fuente: Cengel, Y. (2012) transferencia de calor.

2.2.9 Tratamiento térmico

El tratamiento térmico es un proceso controlado que se utiliza para modificar la microestructura de materiales, como metales y aleaciones, para aportar propiedades beneficiosas -mayor dureza superficial, resistencia a la temperatura, ductilidad y* fortaleza- para la vida útil de un componente.

Como líder mundial en el tratamiento térmico, Bodycote ofrece una vasta gama de servicios de tratamiento térmico. Nuestras instalaciones procesan una amplia variedad de tamaños de componentes, siguiendo las normas más exigentes y ofreciendo resultados fiables y repetibles. Nuestras operaciones son gestionadas por algunos de los mejores ingenieros y técnicos de la industria, que poseen la experiencia y los conocimientos necesarios para proporcionar el soporte necesario y una comprensión real de las necesidades del cliente.

2.2.10 Clasificación de los diferentes tratamientos térmicos

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

Recocido

- Difusivo (para homogenización)
- Completo
- Incompleto
- Isotérmico
- Esferoidizante
- Recristalización
- Relajación (alivio de tensiones)

Normalizado:

Templado:

- En un solo medio
- Programado

•Térmicos

- Escalonado
- Isotérmicos
- Templado
- Auto revenido a temperaturas bajo 0
- Superficial: Flameado y por corrientes de baja frecuencia

Revenido:

- A bajas temperaturas
- A temperaturas
- Medianas a altas temperaturas

2.2.11 Recocido:

Este tratamiento térmico tiene como finalidad principal ablandar el acero, regenerar la estructura de aceros sobrecalentados o simplemente eliminar las tensiones internas que siguen a un trabajo en frío. Como se puede observar en la Figura 6, este proceso consiste en un calentamiento hasta la temperatura de austenización (800-925°C) seguido de un enfriamiento lento a una velocidad controlada. Con este tratamiento se logra aumentar la elasticidad, mientras que disminuye la dureza.

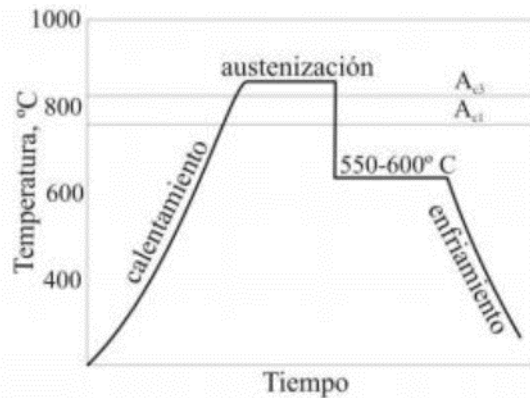


Figura 6. Transformación de la austenita.
 Fuente: (METALOGRAFIA Y TRATAMIENTOS TERMICOS)

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

Recocido de regeneración o total

Consiste en calentar el acero hipo eutectoide en 50 °C por encima del punto Ac3, como se puede observar en la Figura 7, este punto se encuentra a una temperatura de 800°C y luego se debe mantenerlo durante cierto tiempo a esta temperatura, para lograr un calentamiento total del 16. Metal y luego un enfriamiento lento en el horno para conseguir estructuras con grandes masas de perlitas rodeadas de ferrita o cementita.

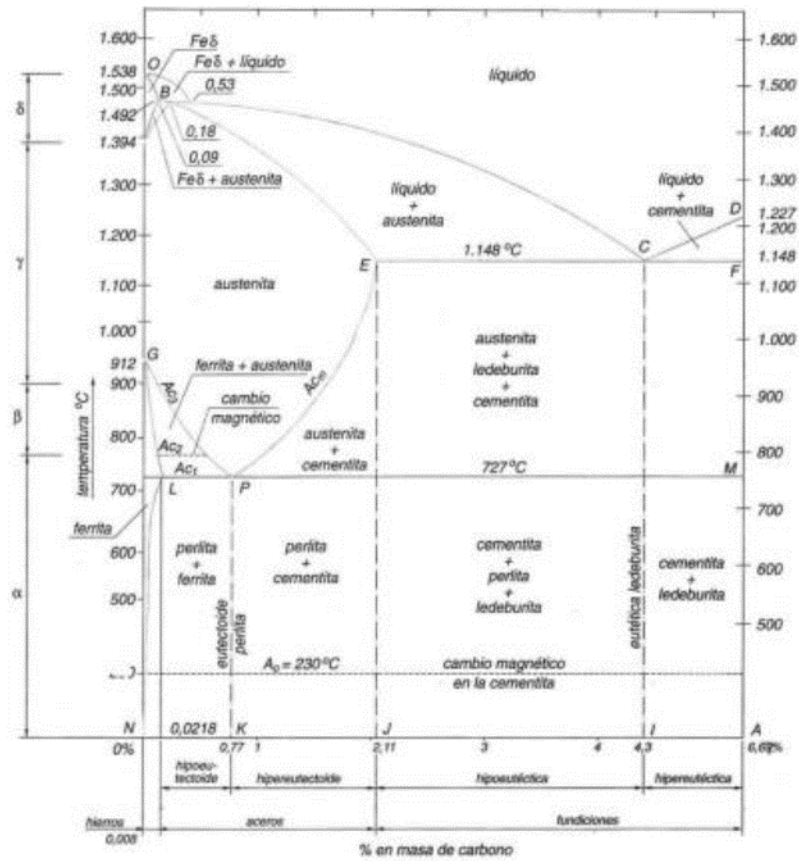


Figura 7. Diagrama Hierro-Carbono Temperaturas Críticas

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

Recocido de Globulización

Se aplican particularmente a aceros que demandan la mínima dureza y la máxima plasticidad como se puede observar en la figura 8.

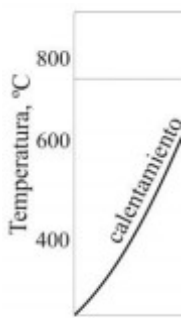


Figura 8. Diagrama de Temperatura en la Globulización
Fuente: (METALOGRAFIA Y TRATAMIENTOS TERMICOS)

Los métodos más frecuentes de realizar este tratamiento térmico son:

- Permanencia prolongada para lograr la esferoidización o Globulización del carburo de hierro (Cementita) en la matriz ferrítica, a una temperatura inmediatamente por debajo de la crítica inferior Ac1 (700 °C).

Empleo de un ciclo oscilante de calentamiento y enfriamiento a temperaturas que son unas veces inmediatamente superiores y otras inferiores a las correspondientes a la línea crítica inferior Ac1.

Recocido de alivio de tensiones

Este tipo de tratamiento térmico se realiza a temperaturas relativamente bajas, unos 550°C aproximadamente, durante un periodo de 30 minutos a varias horas dependiendo del espesor 18. De la pieza tratada, con el fin de eliminar tensiones en piezas que han sido enfriadas bruscamente desde la temperatura de solidificación a la temperatura ambiente, como se puede aplicar en la figura 9.

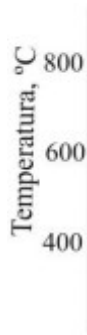


Figura 9. Temperatura en el Recocido de Eliminación de Tensiones

Fuente: (METALOGRAFIA Y TRATAMIENTOS TERMICOS)

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

2.2.12 Temple

Es un tratamiento térmico al que se somete al acero para aumentar su dureza, resistencia a esfuerzos y tenacidad. Para ello, se calienta el acero a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior A_c (entre 900°C y 950°C), a esta temperatura se produce que la ferrita se convierta en austenita, luego la velocidad del enfriamiento deberá ser suficientemente rápida para llegar a la máxima dureza (ver figura 10).

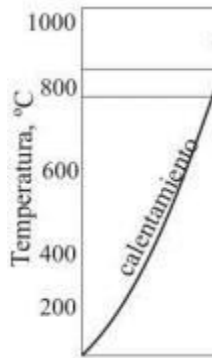


Figura 10. Metalografía temple y revenido.
Fuente:(METALOGRAFIA Y TRATAMIENTOS TERMICOS)

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

2.2.13 Características generales del temple

- Es el tratamiento térmico más importante que se realiza.
- Hace el acero más duro y resistente pero más frágil.
- La temperatura de calentamiento puede variar de acuerdo a las características de la pieza y resistencia que se desea obtener.
- El enfriamiento es rápido.
- Incrementa la tenacidad.

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

2.2.14 Normalizado

Es un tratamiento térmico que se emplea para dar al acero una estructura y cierta característica tecnológica que se consideran el estado natural o inicial del material, es decir, ausencia de 19 tensiones internas y con una distribución uniforme del carbono. Se suele emplear como tratamiento previo al revenido y al temple.

2.2.15 Revenido

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

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

2.2.16 Características generales del revenido

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

2.2.17 Hornos

Es un dispositivo que genera calor y que lo mantiene dentro de un compartimiento cerrado. Se utiliza tanto en la cocina para preparar, calentar o secar alimentos, como en la industria. La energía calorífica utilizada para alimentar un horno puede obtenerse directamente, por combustión (leña, gas u otro combustible), radiación (luz solar), o indirectamente, por medio de electricidad (horno eléctrico).

2.2.18 Tipos de hornos

Horno de leña o horno de barro.

Funciona a partir de materiales forestales. Desde el punto de vista del consumo energético, es el menos eficiente y el que más emisiones de dióxido de carbono tiene, pero desde el

punto de vista gastronómico, en ciertos casos da un sabor especial a ciertos platos. Se utiliza ampliamente en la cocina tradicional castellana: por ejemplo, para el cordero asado o el cochinillo asado.

Horno de gas.

Los avances en la utilización del gas natural como combustible han permitido conceder a los hornos de gas una opción viable en las alternativas que brinda su uso, y se muestran muy eficaces tanto por la reducción de los tiempos de cocción de las materias primas como la reducción de las emisiones al ambiente. La regulación de la atmósfera en el interior del horno se puede controlar variando la inyección de la mezcla de gas y aire, por lo que resultan muy útiles para hacer reducciones. Otra ventaja digna de mención es que se alcanzan altas temperaturas en un menor tiempo.

Horno eléctrico.

Son hornos alimentados con energía eléctrica de un uso muy extendido, por su comodidad y fácil manejo. Con los sistemas de programación que se incorporan, son muy útiles y fiables. En las cámaras de estos hornos se alojan, en unas zanjias o vías de las paredes, unas espirales de hilo conductor de energía eléctrica, que actúan como resistencias formadas por aleaciones de cromo-níquel y otros metales cuya característica es la buena conductividad, según las temperaturas que se desee alcanzar. Cocina solar. Su principal ventaja radica en el óptimo aprovechamiento del recurso solar para obtener energía calorífica.

Horno de crisol

Es un depósito en forma de tronco cónica en el cual el metal está completamente aislado del combustible, y es su principal característica la de que presenta un envase con la parte superior descubierta, lo cual permite la eliminación de los gases y la obtención del metal líquido. Una de las ventajas de fundir metales no ferrosos con crisol es que se tiene una aleación más limpia, los tiempos de mantenimiento son más rápidos y el control de

energía es más preciso. Se cuenta con diferentes formas, como tipo barril, jofaina y con pico, entre otros.

Horno de microondas

Funciona mediante la generación de ondas electromagnéticas que interactúan con las moléculas de agua contenidas en los alimentos. La interacción consiste en aprovechar las propiedades resonantes de las moléculas de agua que absorben la energía de las ondas electromagnéticas, con lo que se eleva su temperatura.

Horno de cubilote

Este es un tipo de horno cilíndrico vertical de aproximadamente 6 metros de alto que lleva los metales en él colocados hasta el estado líquido, y permite su colado. Puede utilizarse para la fabricación de casi todas las aleaciones de hierro, y tiene ventilación forzada por toberas, ubicadas en la parte inferior.

Horno de inducción

No es posible clasificar de manera rígida, por la frecuencia de la corriente usada, las muchas variantes existentes de hornos de inducción. Los hornos que trabajan con frecuencias superiores a los 500 ciclos por segundo tienen un baño en forma de crisol cilíndrico y no llevan un núcleo de hierro. Habitualmente, estos hornos se llaman hornos de inducción sin núcleo. En los últimos años se han construido muchos hornos de este tipo que trabajan a 50 ciclos por segundo, es decir, la frecuencia normal de las redes de suministro. Los primitivos hornos de inducción tenían un canal de fusión que formaba el secundario en cortocircuito de un transformador; estos se pueden denominar hornos de inducción de canal.

Horno de resistencia.

Hay dos clases fundamentales de hornos de resistencia. Los de la primera se calientan mediante resistencias de aleaciones tales como la S níquel-cromo 80/20, en forma de cintas o varillas; generalmente un crisol o recipiente para el metal líquido y sirven para aleaciones de bajo punto de fusión, como las de soldadura, las de tipos de imprenta, los metales

antifricción para cojinetes y algunas veces las de aluminio. Los elementos de caldeo se disponen alrededor del exterior del crisol y todo el horno queda dentro de una carcasa rellena con un material refractario y aislante térmico. Los elementos de caldeo suelen estar soportados por el revestimiento refractario.

Horno en la refinería de petróleo

La energía necesaria para destilar el petróleo y permitir que los productos se distribuyan en la torre de destilación es suministrada por la combustión de fuel oil o gas natural. El petróleo a calentar circula dentro de tubos dispuestos en serpentines a lo largo de las paredes del horno de combustión.

2.2.19 Materiales refractarios

Los Materiales refractarios son un conjunto de productos indispensables para toda actividad industrial, que permite soportar operaciones severas (tensiones mecánicas, resistencia de ataques químicos, etc.) y en la que casi siempre necesita la funcionalidad de temperaturas elevadas sin sufrir ningún deterioro.

2.2.20 Los ladrillos refractarios

Actualmente son empleados para revestir calderas, ollas de aceración, parrillas, hornos rotatorios de cementeras, por mencionar algunas, en donde estos deben estar adheridos uno con otro con tierra refractaria y para lograr mejorar la firmeza del pegado también se puede agregar cemento; dándonos por resultado una mezcla que tendrá una apariencia barrosa; esta mezcla permite que el pegado en la tierra sea suficientemente resistente para los procesos.

El manejo de estos ladrillos no es tan simple como manejar ladrillos comunes, debido a que por sus mismas propiedades reacciona de manera explosiva con otros materiales que no sean los correctos. Al igual que la tierra refractaria, los ladrillos refractarios además de cumplir con su función de refractar, son excelentes contenedores de calor, es decir, mantienen el calor al que son expuestos durante sus diferentes usos

Una de las peculiaridades de este tipo de material es que son fabricados en calidades variadas de la concentración de alúmina y con base en esta concentración el ladrillo resiste mayores temperaturas o puede ser usado para distintos medios. Las concentraciones van desde el 36% hasta el 99% de alúmina, aunque también se puede emplear sílice.

Principalmente cuando se quiere recubrir hornos destinados para la fundición de acero, el tipo de ladrillo empleado es el de dióxido de silicio, en algunos casos cuando los ladrillos comienzan a licuarse estos trabajan con temperaturas superiores 3000 °F (1650 °C).

Para poder crear estos ladrillos es necesario que sus componentes estén expuestos a bajas presiones y que sean a su vez cocidos a temperaturas muy altas. Las excepciones a este proceso son aquellos ladrillos que son químicamente ligados, o los que utilizan el alquitrán, resina o gomo para permanecer aglutinados. Los óxidos de aluminio (alúmina), de silicio (sílice) y magnesio (óxido de magnesio) son los materiales refractarios más importantes. Otro óxido que se encuentra generalmente en materiales refractarios es el óxido de calcio (cal). Las arcillas refractarias también se utilizan ampliamente en la fabricación de materiales refractarios, como puede ser la chamota.

El dióxido de circonio (circonita) se utiliza cuando hay que soportar temperaturas extremadamente elevadas. El carburo de silicio y el carbono son materiales refractarios de gran resistencia a altas temperaturas, pero arden en presencia de oxígeno si desaparece su protección de dióxido de silicio. Compuestos binarios, tales como el carburo de wolframio o el nitruro de boro pueden ser muy refractarios. El carburo de hafnio es el compuesto binario más refractario conocido, con un punto de fusión de 3890 °C. El compuesto ternario carburo de tántalo hafnio tiene uno de los más altos puntos de fusión conocidos (4215 °C).

Los materiales utilizados se deben elegir en función de las condiciones de utilización; por ejemplo, el carbono no puede usarse si debe estar en contacto con el oxígeno porque ardería. Los materiales refractarios ácidos no se pueden utilizar en presencia de una base química y viceversa dado que se produciría corrosión. El circonio, la chamota y el dióxido de silicio son ácidos, la dolomita y la magnesita son básicas, mientras que el óxido de

aluminio, la cromita, el carburo de silicio o el carbono son neutros. También son utilizados metales refractarios como el wolframio, el molibdeno o el tántalo.

2.2.21 Materiales refractarios neutros

Son los más comunes y se usan en todo tipo de industrias. Son estables químicamente ante ácidos y bases. Son producidos a base de bauxita o chamote. Tienen SiO_2 y Al_2O_3 ; son igual de resistentes.

2.2.22 Materiales refractarios básicos

Sus principales componentes son el óxido de magnesio y óxido de calcio; el ladrillo más común es el de magnesita, el cual tiene buena resistencia a la compresión y alta refractariedad. Se usa principalmente en hornos abiertos, convertidores alimentados por oxígeno, hornos eléctricos y otros equipos operados a altas temperaturas.

2.2.23 Arado de discos

El arado de disco es un implemento de utilización en la labranza primaria del suelo. Donde el elemento operativo es el disco. En su operación el disco gira con una inclinación con la dirección de avance (ver figura 11).



Figura 11 Arado de discos

Fuente: (Deere & Company, 2017)

La penetración en el suelo de los discos de arado está determinada por su peso y por el ángulo de penetración y de ataque, que forman los discos con respecto a la línea del suelo al

ser jalados por el tractor, los discos penetran en el suelo y producen el efecto de casquetes giratorios que cortan el prisma de suelo con menor consumo de energía que un arado rígido. (Polanco, 2007) Su utilización es posible en cualquier tipo de suelo y realiza una labor aceptable con diferentes estados de humedad.

Los arados de disco, tiene menos inconvenientes en terrenos pedregosos, no necesita una alta cantidad de potencia de tracción, reducido desgaste, efectúan un mullido más perfecto, realizan una mezcla uniforme de tierra y restos vegetales.

2.2.24 Tipos de arados de disco

Por el número de cuerpos

Según cuantos cuerpos que tenga el arado pueden ser mono disco de un solo disco (no muy regulares); bidisco (de dos discos); tridisco (de tres), y así sucesivamente. (Laguna, 1999)

Por el ancho de trabajo

El ancho de trabajo de un arado de discos está ligado al diámetro de circunferencia del mismo, esto quiere decir que la anchura de trabajo se corresponda con dicha medida, sino que depende directamente. Los diámetros más generalizados suelen variar de 26” a 32” (pulgadas).

2.2.25 Suspendidos

Son aquellos aperos que van generalmente enganchados a los tres puntos hidráulicos del tractor, descansando la totalidad del peso del apero durante el transporte. Durante el trabajo transfiere el peso del apero al tractor. Aumentando la adherencia y disminuyendo el deslizamiento.

Este tipo de enganche facilita las maniobras con el tractor y el transporte del apero por caminos. Como contrapartida, los aperos suspendidos tienen su limitación en el número de cuerpos: un apero largo y pesado provoca el levantamiento del eje delantero del tractor (ver figura12)



Figura 12. Arado de disco suspendido

Fuente: (Juan, 2015)

2.2.26 Semisuspendidos

Estos aperos van enganchados a los dos brazos de tiro del tractor, y deben llevar como mínimo una rueda en la parte posterior. Quedan por lo tanto apoyados sobre sus propias ruedas y sobre los brazos del tractor. Con esta estructura, prácticamente, no existe limitación en el número de cuerpos, al poseer un punto de apoyo posterior (ver figura 13).



Figura 13. Arado de disco Semisuspendidos

Fuente: (Juan, 2015)

2.2.27 Arrastrados

Estos aperos van equipados con ruedas que soportan la totalidad del peso. Se engancha en un solo punto, no teniendo que soportar el tractor el peso del apero. Este sistema permite poner lo suficientemente distanciados los cuerpos entre sí para conseguir un gran desahogo del arado (ver figura 14).



Figura 14. Arado de discos arrastrado

Fuente: (Laguna, 1999)

2.2.28 Por su forma de trabajo

El arado de disco puede estar dispuesto para labrar a una sola mano realizando el volteo de la tierra siempre hacia el mismo lado, lo cual les impide volver labrando por el mismo surco por donde han ido, denominándose en este caso fijo, o bien puede estar dispuesto para labrar indistintamente a una u otra mano, siendo el caso reversible (ver figura 15).



Figura 15. Arado de disco reversible manual

2.2.29 Disco

Fuente:(Laguna, 1999)

El elemento fundamental, es el encargado de realizar el trabajo. Se trata de un casquete esférico que gira en un eje. Los casquetes poseen diámetros y radios de curvatura de diámetros diferentes, acondicionadas a las distintas labores y suelos. El valor del radio del casquete esférico viene a estar comprendido entre 0.8 y 1.2 veces el valor del diámetro. (Ortiz Cañavate, 2012)

Los discos se construyen a partir de una chapa de acero laminada, la cual es troquelada, estampada y tratada térmicamente para conseguir mediante esta última operación la dureza superficial necesaria para evitar los posibles desgastes, sobre todo en el borde. (Ortiz Cañavate, 2012)

Normalmente, el borde de los discos utilizados en los arados es liso, aunque para aplicaciones especiales se puede montar discos con escotaduras en el borde en un número igual a la mitad de su diámetro expresado en pulgadas. (Agrotécnica, 2000)

Para la fabricación de los discos se debe utilizar acero con contenido medio-alto de carbono, de esta manera se aumenta su resistencia al desgaste, aunque también la fragilidad. Por esta razón las aleaciones más apropiadas son las mangano-silicosas, que resisten bien la

fatiga y los choques con bajos tratamientos. Se recomiendan aleaciones con el 0.40-0.65 %de carbono, 0.50-1.00% de manganeso y 1.40-2.00% de silicio, con inclusiones, en ocasiones de cromo o molibdeno en muy pequeñas cantidades (ver figura 16).

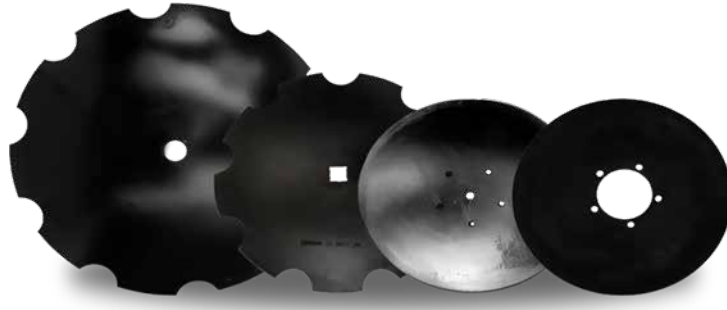


Figura 16. Disco de arado bonem
Fuente: (Dinámica Implentos & Pesca, 2013)

2.3 Definición de términos básicos

Alto Horno: es un horno especial en el que tienen lugar la fusión de los minerales de hierro y la transformación química en un metal rico en hierro llamado arrabio (Figura 1.2). Es un horno de cuba, formado por dos troncos de cono unidos por sus bases mayores.

Calentamiento Por Inducción: es un método de calentamiento sin contacto ni llama, que puede poner al rojo vivo, en segundos, una sección determinada de una barra metálica con gran precisión.

Calor: Es la forma de la energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia en la temperatura.

Condiciones O Riesgos Disergonómicos, Son aquellos factores inadecuados del sistema hombre maquina desde el punto de vista de diseño, construcción, operación, ubicación de maquinaria, conocimientos, habilidades con el entorno y el medio ambiente.

Conductividad térmica: Se define como la razón de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área, por unidad de diferencia de temperatura.

Hornos: Es un dispositivo que genera calor y que lo mantiene dentro de un compartimiento cerrado. Se utiliza tanto en la cocina para preparar, calentar o secar alimentos, como en la industria

Hornos Industriales: son los equipos o dispositivos utilizados en la industria, en los que se calientan los materiales y las piezas colocados en su interior por encima de la temperatura ambiente

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

La presente investigación requiere constar con la sucesión de pasos, en lo que requiere para su metodología, permitiendo exponer sus objetivos. Por esta razón Según Hurtado Y Toro (1999)

El marco metodológico, constituye la medula de la investigación. “se refiere al desarrollo propiamente dicho del trabajo investigativo: haciendo referencia al tipo, diseño y nivel de la investigación, la definición de la población sujeta a estudio y la selección de la muestra, diseño y aplicación de los instrumentos, la recolección de los datos, y las fases de la investigación.

3.1 Tipo de investigación

El tipo y diseño de este estudio están enmarcadas bajo la investigación de un proyecto factible que, según la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL, 2010), se define como:

La investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. El proyecto debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades.

La presente investigación consiste en un proyecto factible con apoyo en la investigación de campo y documental. el proyecto factible consiste en la investigación elaboración y desarrollo de una propuesta viable para solucionar problemas o necesidades. El estudio permitirá captar la información de una forma directa desde donde se desenvuelven los acontecimientos, ayudando con las observaciones y anotaciones de los datos, facilitando la

realización de un análisis y así poder llegar a conclusiones concisas en cuanto al funcionamiento de un de un horno multietapa para la realización de tratamientos térmicos.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño del proyecto está planteado bajo el enfoque de una investigación del tipo documental, definida por Arias (2012) como:

Un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos.

En este mismo orden de ideas, el estudio se apoyará en una investigación documental de corte bibliográfica, caracterizada fundamentalmente porque realiza análisis de fuentes secundarias de manera sistemática, es decir, material elaborado por otros autores. Bajo esta perspectiva, se desarrollará una investigación basada en su sentido teórico en la examinación de otros elementos teóricos que puedan conceptuar y definir técnicamente las variables objeto de estudio, con la finalidad de lograr una efectiva inferencia en los resultados que se obtendrán en el diagnóstico.

Esta investigación corresponde a un estudio de campo, que según la universidad pedagógica experimental libertador (2018) consiste en:

“el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos o en desarrollo”. (p.5)

3.3 Nivel de la investigación

Esta investigación corresponde a un estudio de nivel descriptivo que según la universidad pedagógica experimental libertador (2018) consiste en:

“el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos o en desarrollo”. (p.5)

Esto puede ser corroborado ya que el presente trabajo describe a detalle y con todos los lineamientos correspondientes el proceso de diseño de un horno destinado a la aplicación de tratamientos térmicos como lo son el temple y el revenido en productos derivados del acero, enfocándonos específicamente en discos de arado agrícola, donde se analizaran antes y después de ser los tratamientos térmicos correspondientes su microestructura y así maximizar el desempeño de estas piezas en los trabajos correspondientes, por otro lado cabe resaltar el aumento de la vida útil y de la propiedades mecánicas de los mismos.

3.4 Población

La población escrita por Castro (2003), puede ser según su tamaño de dos tipos:

- Población finita: cuando el número de elementos que la forman es finito.
- Población infinita: cuando el número de elementos que la forman es infinito, o tan grande que pudiesen considerarse infinitos (p.75).

En esta investigación, la población objeto de estudio está constituida por un total de doce (12) industrias que desarrollan actividades inherentes al proceso de fabricación y/ o reparación de piezas, de acuerdo a la información suministrada en las oficinas de la cámara de comercio del Municipio Miranda Del Estado Guárico. Debido a que la población anteriormente descrita es sumamente pequeña se ha decidido tomar una empresa específica y estudiarla, y considerarla como una muestra. En este sentido, se seleccionó a la empresa Cometa C.A, en la comunidad de Misión Abajo la cual se dedica a la actividad de reparación y/o fabricación de piezas y partes agrícolas de maquinarias agrícolas. la empresa seleccionada se encuentra localizada en la carretera nacional vía san Fernando de apure en la zona industrial el “Que”.

3.5 Muestra

En una investigación una muestra se refiere a “un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible” (Arias 2012) (p. 83). En este sentido, la muestra correspondiente para esta investigación a realizar será la resistencia eléctrica con la que va a contar el horno, para realizar un adecuado calentamiento al disco de arado, al cual se le realizaran los tratamientos térmicos.

3.6 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Se define como un conjunto de procedimientos y métodos que se utilizan durante el proceso de investigación, con el propósito de conseguir la información pertinente a los objetivos formulados en una investigación (Arias. 2012; p. 376).

- **Técnica**

Al respecto, hurtado y toro (2016) expresa que las técnicas “comprenden procedimientos y actividades que le permiten al investigador obtener la información necesaria para dar respuestas a sus preguntas de investigación” (p.91).

La técnica empleada para esta investigación es la observación, debido a que, durante su realización, se va obteniendo detenidamente todos los aspectos, datos y procedimientos que constituyen a un horno para la realización de tratamientos térmicos, para así obtener la información necesaria y dar una conclusión a la problemática planteada.

- **Instrumentos**

Para Arias, F. (2006), los instrumentos de investigación "son los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información." (p. 25). Además, según Sabino (1997) “Un instrumento de recolección de datos es en principio cualquier recurso de que pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información. De este modo el instrumento sintetiza en si toda la labor previa de la investigación, resume los aportes del

marco teórico al seleccionar datos que corresponden a los indicadores y, por lo tanto, a las variables o conceptos utilizados” (p. 150).

Para el presente trabajo se utilizaron una serie de instrumentos como fórmulas para el cálculo la transferencia de calor en sus tres definiciones tanto convectiva, radiativa y conductiva presentes en los procesos de operación del horno, tablas estandarizadas para la selección de materiales de carácter refractario vitales en la construcción de cualquier horno, medios para los análisis microscópico para valga la redundancia la determinación de la microestructura de los discos de arado, todos los implementos antes mencionados bajo las especificaciones de diseño de un horno destinado a la aplicación de tratamientos térmicos.

3.7 Fases metodológicas de la investigación

Este punto se refiere a un análisis de los tres objetivos específicos trazados, analizando cada uno de ellos.

Fase I. Diagnosticar la severidad de la fragilización de los discos escotados, producto de procesos errados de manufactura.

En la primera fase de la investigación es preciso señalar que los discos se construyen a partir de una chapa de acero laminada, la cual es troquelada, estampada y tratada térmicamente para conseguir mediante esta última operación la dureza superficial necesaria para evitar los posibles desgastes, sobre todo en el borde. (Ortiz Cañavate, 2012). Normalmente, el borde de los discos utilizados en los arados es liso, aunque para aplicaciones especiales se puede montar discos con escotaduras en el borde en un número igual a la mitad de su diámetro expresado en pulgadas. (agrotécnica, 2000)

Por lo tanto, para la fabricación de los discos se debe utilizar acero con contenido medio-alto de carbono, de esta manera se aumenta su resistencia al desgaste, aunque también la fragilidad. por esta razón las aleaciones más apropiadas son las mangano-silicosas, que resisten bien la fatiga y los choques con bajos tratamientos. se recomiendan aleaciones con el 0.40-0.65 %de carbono, 0.50-1.00% de manganeso y 1.40-2.00% de silicio, con

inclusiones, en ocasiones de cromo o molibdeno en muy pequeñas cantidades (agrotécnica, 2000).

Fase II. Analizar el tipo de material y propiedades mecánicas del mismo al que se le aplicara el tratamiento térmico.

Los discos destinados a la tarea del arado en las labores agrícolas deben presentar una serie de requisitos para que se consideren aptos para el trabajo, por lo tanto, una selección adecuada y minuciosa es importante en este aspecto, principalmente los discos están fabricados por acero AISI 1045 el cual se puede describir como un acero al carbono, que consta de 0,45% C; 0,29% Si; 0,2-0,4% Mn; 0,6% P; 0,04% S. Dicho material aprueba los requerimientos necesarios para la fabricación de los discos, pero el material por sí solo no basta, una característica importante es la aplicación de tratamientos térmicos, el material necesita ser templado para aumentar su dureza, y posteriormente se le debe aplicar un revenido para aliviar tensiones producto del temple, de esta manera se busca elevar sus propiedades como la resistencia al desgaste, resistencia a la fatiga entre otros.

Fase III: Determinar los procesos térmicos a realizar y las temperaturas correspondientes de cada uno.

Mediante esta última fase el tratamiento térmico es un proceso controlado que se utiliza para modificar la microestructura de materiales, como metales y aleaciones, para aportar propiedades beneficiosas -mayor dureza superficial, resistencia a la temperatura, ductilidad y* fortaleza- para la vida útil de un componente. El tratamiento térmico tiene como finalidad principal ablandar el acero, regenerar la estructura de aceros sobrecalentados o simplemente eliminar las tensiones internas que siguen a un trabajo en frío. este proceso consiste en un calentamiento hasta la temperatura de austenización (800-925°C) seguido de un enfriamiento lento a una velocidad controlada. con este tratamiento se logra aumentar la elasticidad, mientras que disminuye la dureza.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En el presente capítulo se desarrolla cada una de las fases metodológicas implementadas en el capítulo anterior, las cuales serán expuestas de la siguiente manera:

4.1 Diagnosticar la severidad de la fragilización de los discos escotados, productor de los procesos errados de manufactura

Objetivo de los discos

Utilizados para el corte de los suelos destinados para la siembra de productos como el arroz Caddy con la finalidad de incrementar la fertilidad de la tierra, tenía que repetir el proceso de 2 a 3 veces en un determinado terreno este proceso es llamado pase de rastra.

Fractura

Variando de acuerdo a la resistencia material y los esfuerzos aplicados, en algunos casos las ~~rastras~~ se evidencian solo al soportar el peso de la estructura de la rastra en si

Servicio tratamiento térmico

Aplicación de procesos de manufactura resaltando los tratamientos térmicos con el fin de elevar la dureza del material utilizando un horno multietapa el cual maneja temperaturas entre los 900°C hasta los 1000°C alcanzando los estándares para aplicar determinados procesos térmicos como el temple y el recocido ideales para garantizar un proceso de manufactura adecuado.

4.1.1 Diseño mecánico y térmico del horno eléctrico

Se buscan definir los parámetros fundamentales a tomar en cuenta al momento de afrontar el diseño del horno para tratamientos térmicos, junto a los criterios básicos para la selección de las principales variables del equipo, que especifiquen los materiales a utilizar y sus dimensiones, para lograr soportar sus altas temperaturas de operación y su uso constante.

Parámetros de Diseño del Horno Eléctrico.

A continuación, se expondrán las principales variables que se consideraron para el diseño mecánico y térmico del horno eléctrico, los factores más importantes y determinantes para la selección de materiales, dimensionamiento y demás elementos constituyentes.

El equipo que se construirá será un horno eléctrico que cumpla los siguientes parámetros:

- Calentamiento por resistencias eléctricas
- Temperatura de trabajo hasta los 1200 grados Celsius de acuerdo a la disponibilidad de los elementos refractarios en el mercado nacional.
- Disponibilidad de una puerta aislante y hermética que facilite la maniobra de ingreso y salida del material (probeta) a la cámara de tratamiento térmico.
- Disponibilidad de una cinta transportadora para llevar las probetas o en este caso los discos de arados hasta la puerta del horno
- Temperatura superficial del exterior máxima será de 35 grados Celsius con el fin de garantizar la seguridad del operario
- Control eléctrico por medio de PLC, programado para mayor eficiencia y efectividad en el tratamiento térmico

De acuerdo con los factores ya mencionados anteriormente y el cronograma de ejecución establecido para el diseño del horno eléctrico, se procederá a realizar el cálculo, dimensionamiento y selección de materiales.

4.1.2 Dimensiones internas de la cámara

La cámara interna del horno se ha diseñado de acuerdo a los requerimientos del disco de arados y según los criterios de trabajo del equipo.

Las dimensiones seleccionadas para la construcción de la cámara interna del horno se deben al uso que se le va a dar al equipo en la empresa cometa C.A.(Ver figura17).

$x = 1.488m$

$y = 0.410 m$

$z = 2.7 m$

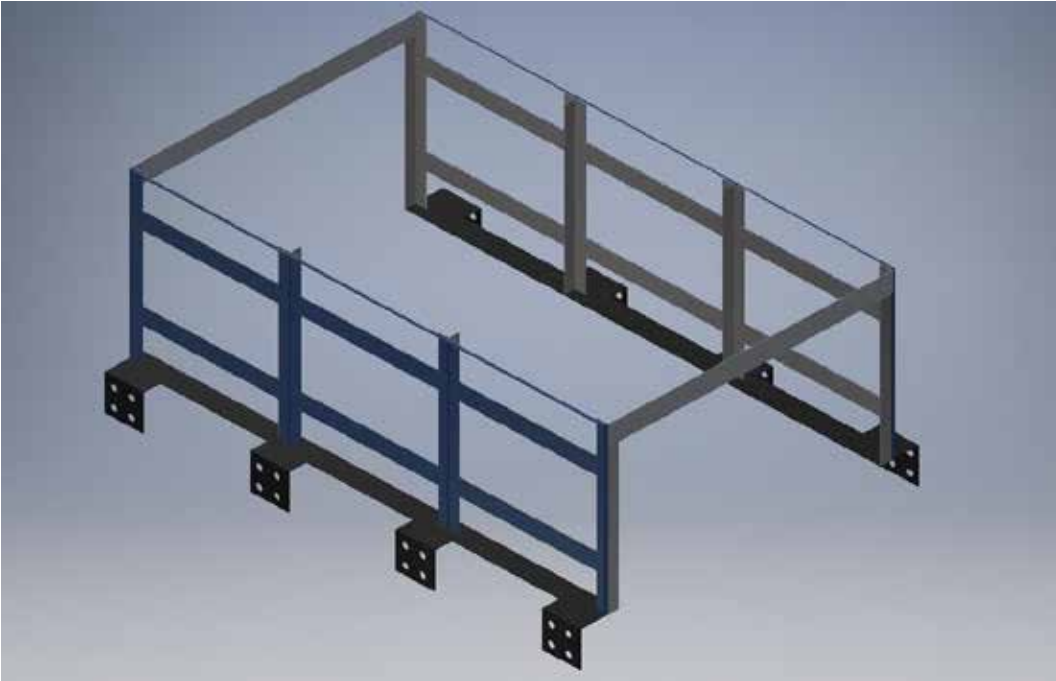


Figura 17. Marco del horno eléctrico

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

Donde:

x : Ancho

y : Alto

z : Profundidad

El volumen interno de la cámara de calentamiento será calculado mediante la (ecuación 1).

$V_{cámara} = x$

- Conductividad térmica: 0,17 W/m K
- Densidad media: 480 kg/m³
- Calor específico: 1130,23 J/ kg K

Es un ladrillo refractario aislante utilizado para la construcción de paredes interiores y revestimientos de hornos. Su característica principal es la máxima temperatura de servicio recomendado 1260 °C, pero además posee baja conductividad térmica para ahorrar energía, baja densidad y una elevada resistencia mecánica y química (ver figura18).

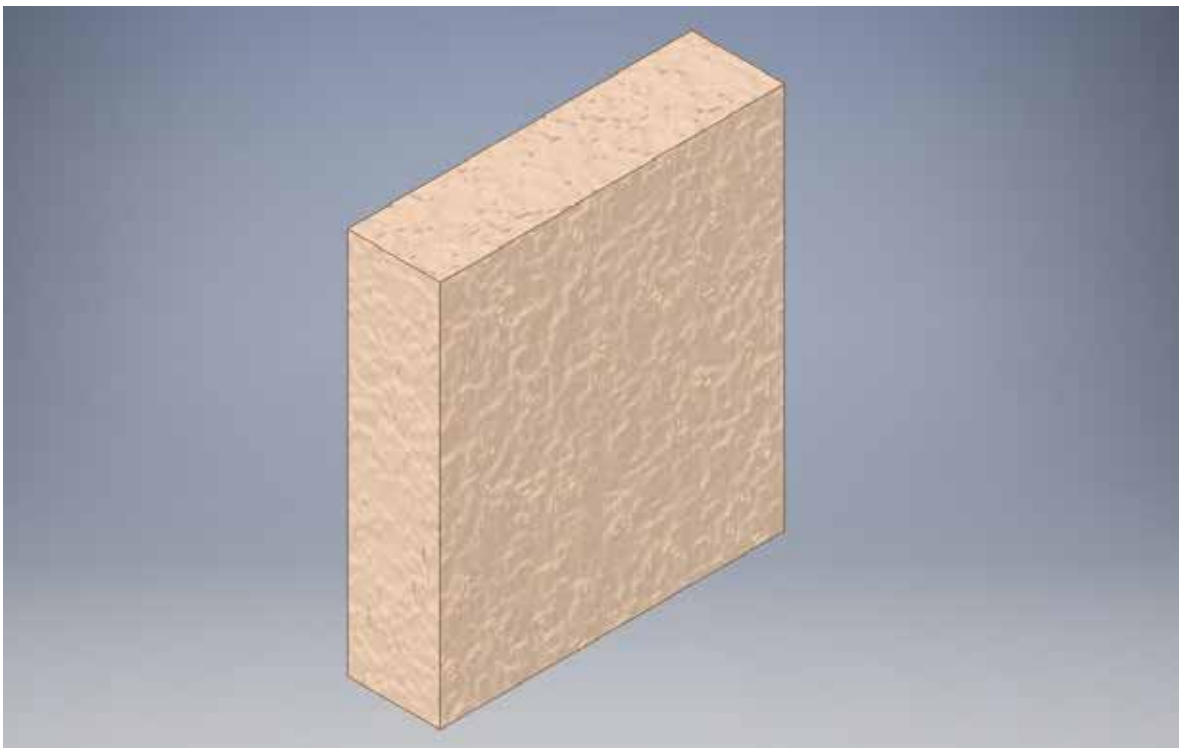


Figura18.Ladrillo refractario

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

Fibra cerámica (papel cerámico FIBL TP 23)

La fibra de cerámica es un material refractario ligero fabricado con fibras de alúmina y sílice, presentan alta resistencia a elevadas temperaturas. Pueden ser sometidas a temperaturas que varían de los 1000 °C a los 1500°C sin modificar su estructura,

soportando calentamientos y enfriamientos, choque térmico y fenómenos diferentes inducidos por altas temperaturas. Se caracterizan por su baja densidad, su excelente resistencia al choque térmico y baja conductividad térmica (ver figura19).

- Densidad: 128 kg/m^3
- Temperatura máxima de uso continuo: $1315 \text{ }^\circ\text{C}$
- Punto de fusión: $1760 \text{ }^\circ\text{C}$
- Conductividad térmica: $0,23 \text{ W/m K}$

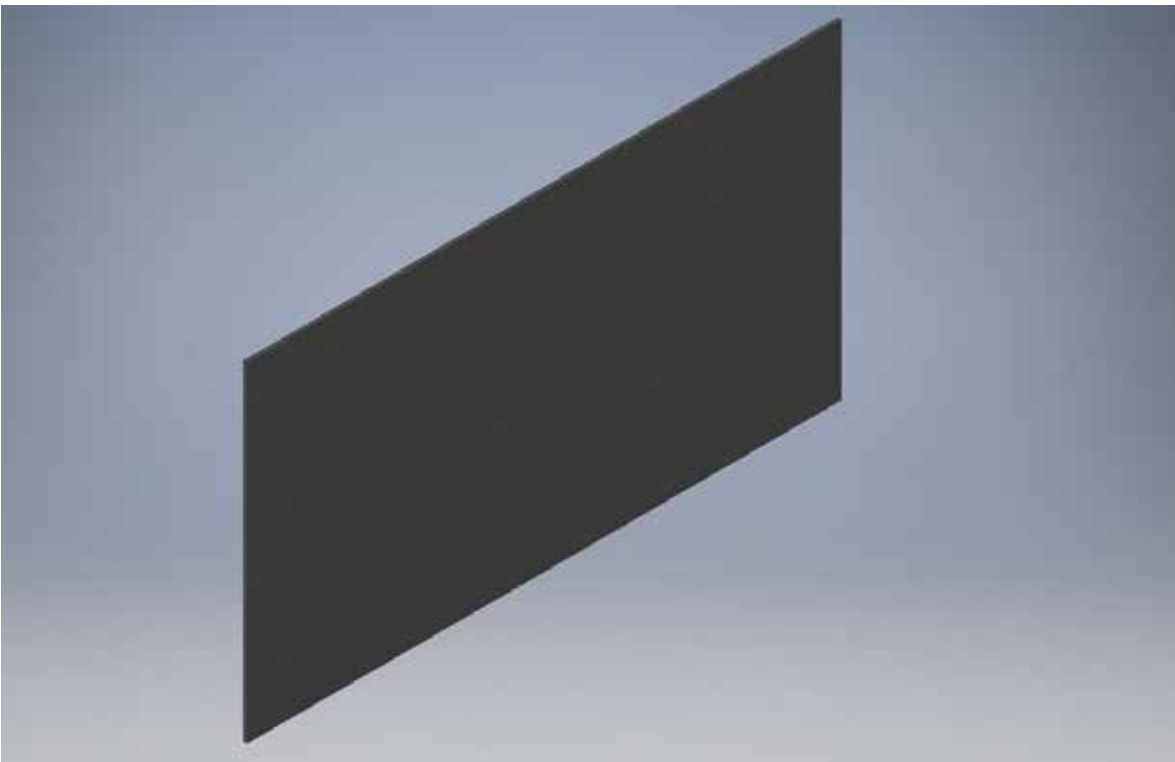


Figura 19. Fibra cerámica (papel cerámico FIBL TP 23)

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

Lamina de acero inoxidable calibre 18

- Conductividad térmica: 28 W/m K
- Densidad: 7,93 E03 kg/m³
- Calor específico: 500 J/kg K
- Temperatura máxima de servicio: 35°C

El acero inoxidable Tipo 18 proporciona excelente resistencia a la formación de sarro a alta temperatura. Está directamente soldado mediante el uso de métodos convencionales. No se somete a la fragilidad ni a la pérdida de resistencia a la corrosión en las zonas afectadas térmicamente que afecta a muchas otras aleaciones de cromo directas. Esta aleación resulta especialmente útil para aplicaciones que requieren resistencia al sarro a alta temperatura superior a los aceros inoxidables de tipos 409, 430 y 304 y para las aplicaciones en las que los tipos 442 y 446 sólo brindan protección marginal (ver figura 20).

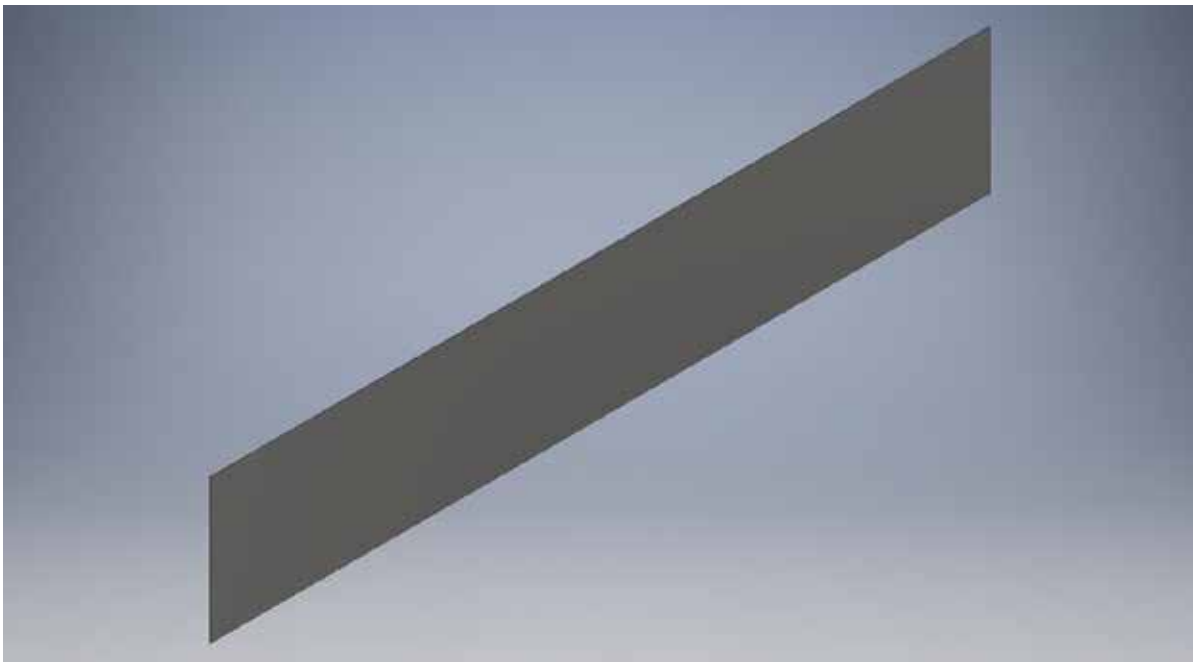


Figura 20. Lamina de acero inoxidable calibre 18

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

Tabla 1. Especificaciones de los materiales seleccionados para el horno.

| Materiales | Temperatura máxima de servicio (°C) | Calor especifico (J/kg K) | Conductividad térmica (W/m K) | Densidad (kg/m³) |
|--|--|--|--|--|
| Tabla cerámica JM 23 | 1260 | 1130,43 | 0,17 | 480 |
| Fibra cerámica Cerachem | 1315 | 1130,43 | 0,23 | 128 |
| Lamina de acero inoxidable calibre 18 | 35 | 500 | 28 | 7,93 E03 |

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

4.2 analizar el tipo de material y propiedades mecánicas del mismo al que se le aplicaran los tratamientos térmicos.

Debido a las condiciones de trabajo que se han resaltado una selección de material adecuada y minuciosa es importante en este aspecto, principalmente los discos están fabricados por acero AISI 1045 el cual se puede describir como un acero al carbono, que consta de 0,45% C; 0,29% Si; 0,2-0,4% Mn; 0,6% P; 0,04% S. Dicho material aprueba los requerimientos necesarios para la fabricación de los discos, pero el material por sí solo no basta, una característica importante es la aplicación de tratamientos térmicos, cabe resaltar que los discos constan de una serie de propiedades mecánicas las cuales no conocemos del todo, por ende se aplicó una prueba de dureza a los discos para tener un análisis más detallado de su microestructura.

Análisis de resultados

Primeramente, acotamos que los discos deben de contar con una dureza estándar de 54 a 57 Rockwell C lo cual es el punto de partida para asegurar un estándar de calidad adecuado, por otra parte, los resultados obtenidos de en la prueba de dureza arrojan un estado de recocido en el material es decir sin rastro de tratamiento térmico alguno por lo cual podemos asumir teniendo en cuenta el tipo de material que constan de una dureza natural de 207 Brinell proveniente del acero 1045.

Criterios y parámetros.

Teniendo en cuenta la información producto de las pruebas aplicadas se deben fijar una serie de parámetros enfocados a los diferentes tratamientos térmicos para ello se realizaron una serie de cálculos empleando diferentes ecuaciones de transferencia de calor todo esto para obtener una serie de valores que son necesarios para lograr que el tratamiento térmico nos dé como resultado la dureza necesaria antes mencionada.

4.2.1 Cantidad de calor impartida por la carga

La cantidad total de calor suministrado por el sistema hacia la carga es igual a la suma del calor necesario para elevar la temperatura del aire más la cantidad de calor que absorbe el material a realizar el tratamiento térmico

$$QC = QA + Qm \text{ [Ec.3]}$$

Donde:

QA : Calor debido al calentamiento del aire [W]

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

Se obtiene el valor del calor necesario para el calentamiento del aire mediante el uso de la (ecuación 4)

$$QA = mA \text{ CpA } T \text{ [Ec.4]}$$

Donde:

m_A : Masa del aire [kg]

$C_p A$: Calor específico del aire [$kgJK$]

T : Diferencia de temperaturas [K]

Se utilizan ciertos valores obtenidos de la Tabla 2, donde se especifican las propiedades del aire necesarias para realizar los cálculos, con las temperaturas de diseño del horno.

Las temperaturas establecidas para el diseño del horno con las cuáles se realizarán los cálculos son: temperatura ambiente $30^\circ C$, que es una temperatura promedio del lugar donde va a trabajar el equipo, temperatura en la superficie exterior del horno $35^\circ C$, debido a que ésta es la temperatura recomendada para el trabajo seguro con hornos en la industria y la temperatura en el interior del horno se considerará de $1200^\circ C$ para tener un mayor rango de utilización.

Tabla 2. Propiedades del aire a las temperaturas correspondientes

| Temperatura $T, ($ | Densidad $\rho, (kg\ m^3)$ | Calo respe cúfico $C_p,$ $(J\ kgK)$ | Conductiv idad térmica $k, (W\ mK)$ | Viscosidad Dinamica $\mu, (kg\ ms)$ | Número depuran dol Pr |
|------------------------------|--------------------------------------|--|---|---|---|
| 30 | 1.1640 | 1007 | 0.02588 | 1.872×10^{-5} | 0.728 2 |
| 35 | 1.145 0 | 1007 | 0.026 25 | 1.895×10^{-5} | 0.726 8 |
| 1200 | 0.24599 | 1204 | 0.085 60 | 5.22×10^{-5} | 0.734 7 |

Fuente: Martínez y Mujica (2021).

Primero se obtiene el valor de la masa de aire que existe en el interior de la cámara (ecuación 5), cuando dentro de ésta tenemos una pieza con el volumen máximo permitido

$$mA = \rho A VA \text{ [Ec.5]}$$

Donde:

ρA : Densidad del aire a 1200 °C [Kg/ m³]

VA : Volumen de aire [m³]

El volumen del aire en el interior del horno será igual al volumen de la cámara menos el volumen de la pieza (ecuación 6), para efectos de cálculos se lo realiza con el volumen máximo de una pieza a tratar térmicamente.

$$VA = V_{\text{cámara}} - V_{\text{pieza}} \text{ [Ec.6]}$$

$$VA = 1,642m^3 - 0,549m^3$$

$$VA = 1,093 m^3$$

Sustituyendo en la (ecuación 5) se obtiene que masa del aire es de:

$$mA = 0,2459 \text{ kg/m}^3 \times 1.093 m^3 = 0,2468 \text{ kg}$$

La diferencia de temperaturas se la realiza entre la temperatura en el interior del horno y la temperatura ambiente (ecuación 7).

$$T = T_f - T_i \text{ [Ecu.7]}$$

$$T_i = 30 + 273 = 303^\circ K$$

$$T_f = 1200 + 273 = 1473^\circ K$$

$$T = 1473 K - 303 K$$

$$T = 1170 K$$

$$QA = mA C_p A T$$

$$Q_a = 0,2468 \times 1204 \times (303) = 378609.0923J = 378,609 kJ$$

Después se calcula el calor que requiere el material que será tratado térmicamente, mediante la (ecuación 8) El material que se va a emplear para realizar los tratamientos térmicos es un acero con medio porcentaje de carbono, para efectuar los cálculos se toman los valores de un acero representativo, el AISI 1045. Cuyos valores se pueden ver en la tabla3

$$Q_m = m_{pieza} C_{pm} T \text{ [Ec.8]}$$

Donde:

m_{pieza} : Masa de la pieza de acero AISI 1045 [kg]

C_{pm} : Calor específico del acero AISI 1045 [kgJK]

T : Diferencia de temperaturas [K]

Tabla 3. Las principales propiedades del acero AISI 1045, que serán utilizados para los cálculos.

| Acero | Densidad (kg/m ³) | Calor específico Cp, (J/kg. °K) | Conductividad térmica K, (W/°K) |
|-----------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| AISI 1045 | 7850 | 460 | 52 |

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

La masa de la pieza de volumen máximo a tratar térmicamente se obtiene mediante la (ecuación 9)

$$m_{pieza} = \rho_m V_{pieza} \text{ [Ec.9]}$$

Donde:

ρ_m : Densidad del acero AISI 1045

$$m_{pieza} = 7850 \text{ kg/ m}^3 \times 0.549 \text{ m}^3$$

$$m_{pieza} = 4309,65 \text{ kg}$$

$$Q_m = m_{pieza} C_{pm} T \text{ [Ec.10]}$$

$$Q_m = Q_m = 4309,65 \text{ kg} \times 460 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{K} \times (1473^\circ\text{K} - 303^\circ\text{K})$$

$$Q_m = 2319453,60 \text{ J} = 2319,453 \text{ kJ}$$

Se obtiene el valor total de calor que debe ser suministrado por el sistema hacia la carga en kilovatios por hora, mediante la (ecuación 3).

$$Q_C = Q_A + Q_m$$

$$Q_C = 378,609 + 2319,453 = 2698,062 \text{ kJ}$$

$$Q_C = 2698062 \text{ kJ} \frac{0,277 \text{ W}}{1 \text{ kJ}} = 747363,174 \text{ W.}$$

$$Q_C = 747,363 \text{ kW.}$$

- **Calor perdido por conducción.**

El cálculo de del calor perdido q_k está determinado por la siguiente ecuación:

$$q_k = \frac{T_{si} - T_{se}}{\sum \frac{L_i}{k_i}} \text{ [Ec. 13]}$$

Encontramos que:

T_{si} = Temperatura superficial en el interior del horno [$^\circ\text{K}$]

T_{se} = Temperatura superficial exterior del revestimiento (asumida o calculada)

[$^\circ\text{K}$] L_i = Espesor de la capa de revestimiento [m]

k_i = Conductividad térmica promedio de cada material [$\text{W}/^\circ\text{K}$]

El calor perdido por conducción está dado por:

$$q_k = \frac{T_{si} - T_{se}}{\frac{1}{1A} + \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{2A}} \text{ [Ec. 13]}$$

$$= \frac{480 \times 1130,43 \times 4,57 \times 10^{-3}}{0,0894} = 27737,26 \text{ W m}^2 \cdot \text{°K}$$

$$= \frac{7,93 \times 10^3 \times 500 \times 1,10 \times 10^{-4}}{0,0902} = 4835,36 \text{ W m}^2 \cdot \text{°K}$$

Sustituyendo h1 y h2 en la ecuación 13, se obtiene el que calor perdido por condición es de:

$$qk = \frac{1473 \text{ °K} \quad 308 \text{ °K}}{\frac{1}{27737,26 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°K}} \times 0,0894 \text{ m}^2} + \frac{0,0508 \text{ m}}{0,17 \text{ W/°K}} + \frac{0,005 \text{ m}}{0,23 \text{ W/°K}} + \frac{1}{4835,36 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°K}} \times 0,0902 \text{ m}^2}}$$

$$qk = 3612,06 \text{ W/m}^2$$

4.2.2 Calor perdido por convección-radiación.

El calor que se pierde por convección – radiación qcr del revestimiento exterior hacia los alrededores están dados por:

$$qcr = cr \times (Tse - Te) \text{ [Ec. 14]}$$

Donde:

cr = Coeficiente combinado de convección – radiación $cr = c + r$

Tse = Temperatura superficial exterior del revestimiento

Te : Temperatura exterior del ambiente

c = Coeficiente de convección

r = Coeficiente de radiación, $r = \varepsilon \sigma (Ts + Tair) \times (Ts^2 + Tair^2)$

para este caso se asume que $T = Tair$

= 0,88 Emisividad de la superficie exterior

= Constante de Boltzmann $5,67 \times 10^{-8} \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$

T = Temperatura promedio anual de la ciudad de calabozo determina como

$$T = \frac{Tmax + Tmin}{2} \text{ [Ec. 15]}$$

Donde:

T máx.= 35 °C

T min= 24 °C

$$T = \frac{35 + 24}{2} = 29.5 \quad 30 \text{ °C}$$

r = Coeficiente de radiación

$$r = \varepsilon \sigma (T_s + T_{air}) (T_s^2 + T_{air}^2) \text{ [Ec. 16]}$$

$$r = 0,88 \times 5,67 \times 10^{-8} \times (1473 \text{ K} + 303 \text{ K}) \times ((1473 \text{ K})^2 + (303 \text{ K})^2)$$

$$r = 200,40 \frac{W}{m^2 \cdot \text{°K}}$$

c = Coeficiente de convección

$$c = \frac{Nu \cdot k}{L} \text{ [Ec. 17]}$$

Donde:

Nu = número de Nussel

k = resistencia por convección

L = longitud promedio

El número de Nusselt es un valor adimensional que relaciona la transferencia de calor por conducción entre la película del fluido en contacto con la pared sólida y por convección del fluido en movimiento; se lo determina mediante la función de la (ecuación

$$Nu = f(Gr * Pr) \quad \text{[Ec.18]}$$

Donde:

Gr : Número de Grashof

Pr : Número de Prandtl

Para encontrar el número de Grashof, se debe desarrollar la (ecuación 19)

$$Gr = (T \beta) \left(\frac{L^3 \rho^2 g}{u^2} \right) \text{ [Ec.19]}$$

Donde:

T : Diferencia de temperatura entre la superficie exterior del horno y la media del ambiente [$^{\circ}\text{K}$]

β : Coeficiente de expansión térmica volumétrica [K]

L : Longitud característica [m]

ρ : Densidad del aire [$\frac{Kg}{m^3}$]

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

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

$$T = T_{\text{superficie}} - T_{\text{ambiente}}$$

$$T = 308^{\circ}\text{K} - 303^{\circ}\text{K}$$

$$T = 5 \text{ K}$$

Se determina el coeficiente de expansión térmica mediante el uso de la (ecuación 20)

$$\beta = \frac{1}{T^4} [\text{Ec.20}]$$

$$\beta = \frac{1}{308^4 \text{ } ^{\circ}\text{K}}$$

$$\beta = 0,0032^{\circ}\text{K}^{-1}$$

Se calcula la longitud característica, mediante el despeje de la (ecuación 21)

$$L = \frac{1}{\frac{1}{LH} + \frac{1}{LV} + \frac{1}{LL}} [\text{Ec. 21}]$$

$$L = \frac{1}{\frac{1}{1,650 \text{ m}} + \frac{1}{0,4954 \text{ m}} + \frac{1}{2,7 \text{ m}}}$$

$$L = 0,334 \text{ m}$$

Donde:

LH : Longitud horizontal del horno [m]

LV : Longitud vertical del horno [m]

LL: Longitud lateral del horno [m]

Para los siguientes cálculos se emplean los valores de densidad, viscosidad dinámica y número de Prandtl del aire a 35 °C, que es la temperatura en la superficie exterior del horno, obtenidos de la Tabla 2.

$$Gr = (5 \cdot 0,0032) \frac{(0,334m)^3 (1,145 \frac{Kg}{m^3})^2 9,81 \frac{m}{s^2}}{(1,895 \times 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s})^2}$$

$$Gr = 2,134 \times 10^7$$

El cálculo del número de Rayleigh se lo realiza a través de la (ecuación 22)

$$Ra = Gr \cdot Pr [EC. 22]$$

$$Ra = 2,134 \times 10^7 \cdot 0,726$$

$$Ra = 1,55 \times 10^7$$

Para obtener finalmente el número de Nusselt, se sigue el criterio que se muestra para la función de la (ecuación 18)

$$Si 10^4 < Gr \cdot Pr < 10^9 \quad Nu = 0,54 (Gr \cdot Pr)^{\frac{1}{4}}$$

$$Nu = 0,59 (1,55 \times 10^7)^{\frac{1}{4}}$$

$$Nu = 34,57$$

- **Coefficiente de convección**

$$c = \frac{Nu \cdot k}{L} [Ec. 23]$$

$$c = \frac{34,47 \times 28 \text{ W/}^\circ\text{K}}{0,3 \text{ m}}$$

$$c = 3226.67 \text{ W m}^2 \cdot \text{°K}$$

cr = Coeficiente combinado de convección – radiación $cr = c + r$

$$cr = 3226.67 \text{ W m}^2 \cdot \text{°K} + 200,406 \text{ W m}^2 \cdot \text{°K} = 3427,076 \text{ W m}^2 \cdot \text{°K}$$

- **Calor perdido por convección – radiación**

El calor que se pierde por convección – radiación q_{cr} del revestimiento exterior hacia los alrededores son:

$$q_{cr} = cr (T_{se} - T_e) \text{ [Ec. 24]}$$

$$q_{cr} = 3427,076 \text{ W m}^2 \cdot \text{°K} (308^\circ\text{K} - 303^\circ\text{K}) = 17135,380 \text{ W m}^2 \cdot \text{°K}$$

- **Calor que se pierde al ambiente por convección y radiación**

$$q_{cr} = \frac{T_{se} - T}{R_{cr}} \text{ [Ec. 25]}$$

Donde R_{cr} : Es la resistencia de convección-radiación.

$$R_{cr} = \frac{1}{cr} \text{ [Ec. 25]}$$

$$R_{cr} = \frac{1}{3427,076 \text{ W m}^2 \cdot \text{°K}}$$

$$R_{cr} = 0,0002876 \text{ W m}^2 \cdot \text{°K}$$

Sustituyendo el valor obtenido de R_{cr} , en la ecuación 25 se obtiene que calor perdido en el ambiente por convección y radiación es:

$$q_{cr} = \frac{308^\circ\text{K} - 303^\circ\text{K}}{0.0002876}$$

$$q_{cr} = 117385,257 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

4.2.3 Modelamiento matemático de transferencia de calor

Se considera un flujo de calor unidimensional, como se muestra en la Figura 21, a través de las estructuras compuestas de las paredes del horno. Se supone que el sistema está expuesto en su interior a su temperatura máxima de trabajo, constante y conocida y en su exterior a una baja temperatura, la del ambiente, también constante y conocida.

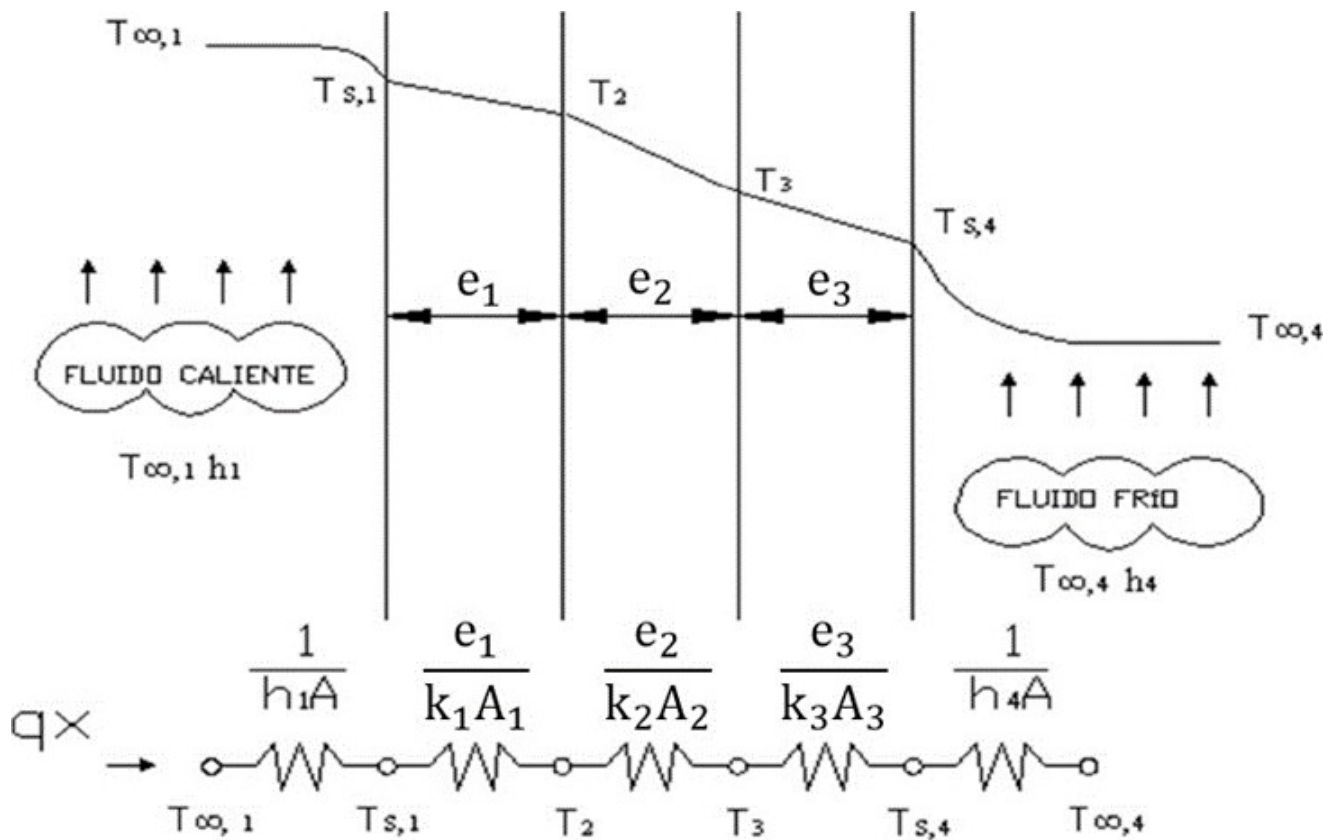


Figura 21. Circuito equivalente para una pared compuesta en serie.

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

4.2.4 Cálculo de las pérdidas de calor

En relación directa con el recinto del horno y los materiales refractarios y aislantes empleados, se encuentran las pérdidas de calor. Este análisis permite determinar la potencia extra que va a consumir el horno.

Las pérdidas de calor consideradas para el cálculo serán las que se produzcan a través de las paredes; y no se considerarán las pérdidas por aberturas o ranuras, debido al tipo de aislamiento y sellado que va a poseer el horno, estas pérdidas serán mínimas y despreciables.

Se debe calcular el flujo de calor que se pierde a través de las resistencias térmicas, (ecuación 26). Cada segmento o material de la pared representa una resistencia o restricción al paso normal de calor.

$$q = \frac{T1 - T5}{R1 + R2 + R3 + R4} \text{ [Ec. 26]}$$

- Resistencias térmicas en las paredes del horno

Para el horno se considerarán las resistencias expuestas en la Figura 21. Se detallan todos los valores conocidos para realizar el análisis de las pérdidas a través de las paredes.

$$T1 = 1473^{\circ}K$$

$$T4 = 308^{\circ}K$$

$$T5 = 303^{\circ}K$$

$$e1 = 0.0508 \text{ m}$$

$$e2 = 0.005 \text{ m}$$

$$e3 = 0.00122 \text{ m}$$

$$k1 = 0.17 \text{ W/m}^{\circ}K$$

$$k2 = 0.23 \text{ W/m}^{\circ}K$$

$$k3 = 28 \text{ W/m}^{\circ}K$$

Donde:

T_1 : Temperatura en la pared interior del horno [$^{\circ}\text{K}$]

T_4 : Temperatura en la superficie exterior del horno [$^{\circ}\text{K}$]

T_5 : Temperatura del ambiente [$^{\circ}\text{K}$]

e_1 : Espesor del ladrillo refractario [m]

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

e_3 : Espesor de la chapa de acero [m]

k_1 : Conductividad térmica del ladrillo refractario [$\text{W m}^{\circ}\text{K}$]

k_2 : Conductividad térmica de la manta de fibra cerámica [$\text{W m}^{\circ}\text{K}$]

k_3 : Conductividad térmica de la chapa de acero [$\text{W m}^{\circ}\text{K}$]

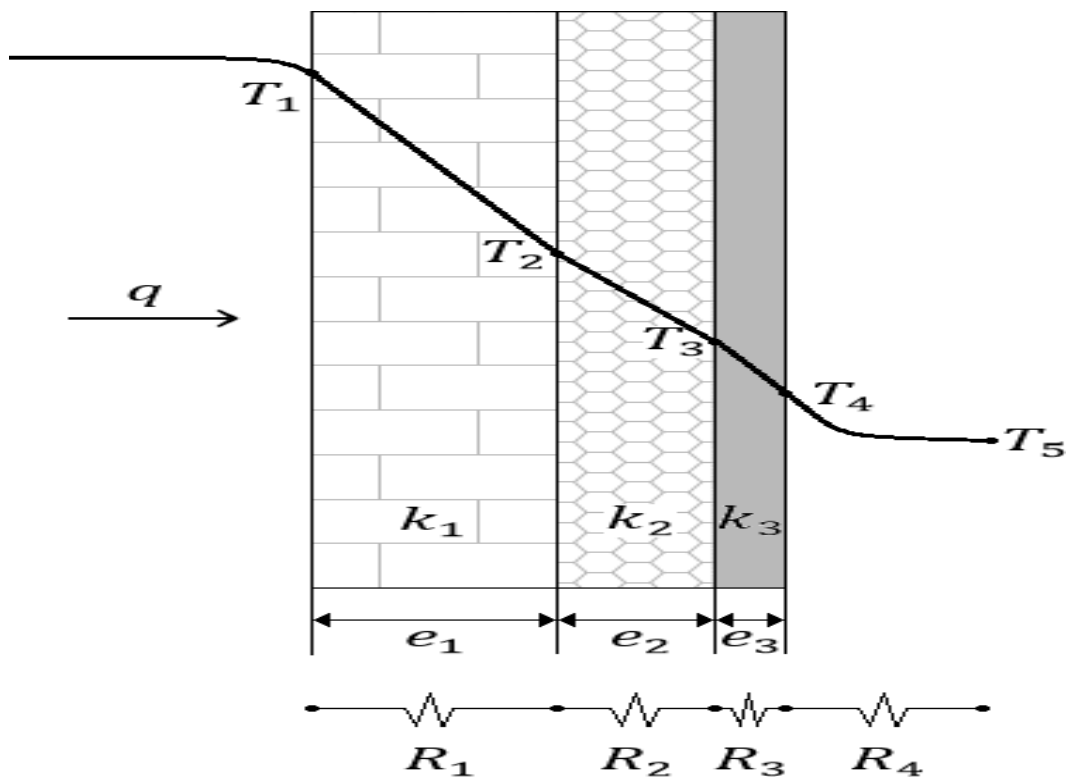


Figura 22. Corte lateral de la pared de la cámara de calentamiento

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

Se encuentran las resistencias térmicas por conducción de cada material y la resistencia de calor por convección, mediante las ecuaciones [Ec.27] y [Ec.28]

$$R_{cond} = \frac{e}{k A} [Ec. 27]$$

$$R_{conv} = \frac{e}{c A} [Ec. 28]$$

Donde:

R_{cond} : Resistencia de calor por conducción [$\frac{^{\circ}K}{W}$]

e : Espesor del material [m]

k : Conductividad térmica del material [$W m^{\circ}K$]

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

R_{conv} : Resistencia de calor por convección [$\frac{^{\circ}K}{W}$]

c : Coeficiente de transferencia de calor por convección [$W m^{\circ}K$]

Se desprecia la resistencia de calor por radiación debido a que la temperatura en el interior del horno no llega a los parámetros mínimos para que sea considerada.

La radiación existirá cuando el horno se encuentre en temperaturas altas desde 900°C hasta 1000°C.

$$R_1 = \frac{e_1}{k A_1}$$

$$R_2 = \frac{e_2}{k A_2}$$

$$R_3 = \frac{e_3}{k A_3}$$

$$R_4 = \frac{1}{A_3}$$

Donde:

R_1 : Resistencia térmica de la capa de ladrillos refractarios [$\frac{K}{W}$]

R_2 : Resistencia térmica de la capa de manta de fibra cerámica [$\frac{K}{W}$]

R_3 : Resistencia térmica de la chapa de acero [$\frac{K}{W}$]

R_4 : Resistencia de calor por convección [$\frac{K}{W}$]

A_1 : Área de transferencia de calor del ladrillo refractario [m^2]

A_2 : Área de transferencia de calor de la manta de fibra cerámica [m^2]

A_3 : Área exterior del horno [m^2]

: Coeficiente de convección en el exterior del horno [$W m^2 K$]

Se determina las áreas de transferencia de calor en cada capa, gracias a las dimensiones en los tres planos que se pueden observar (en la figura 23 y 24)

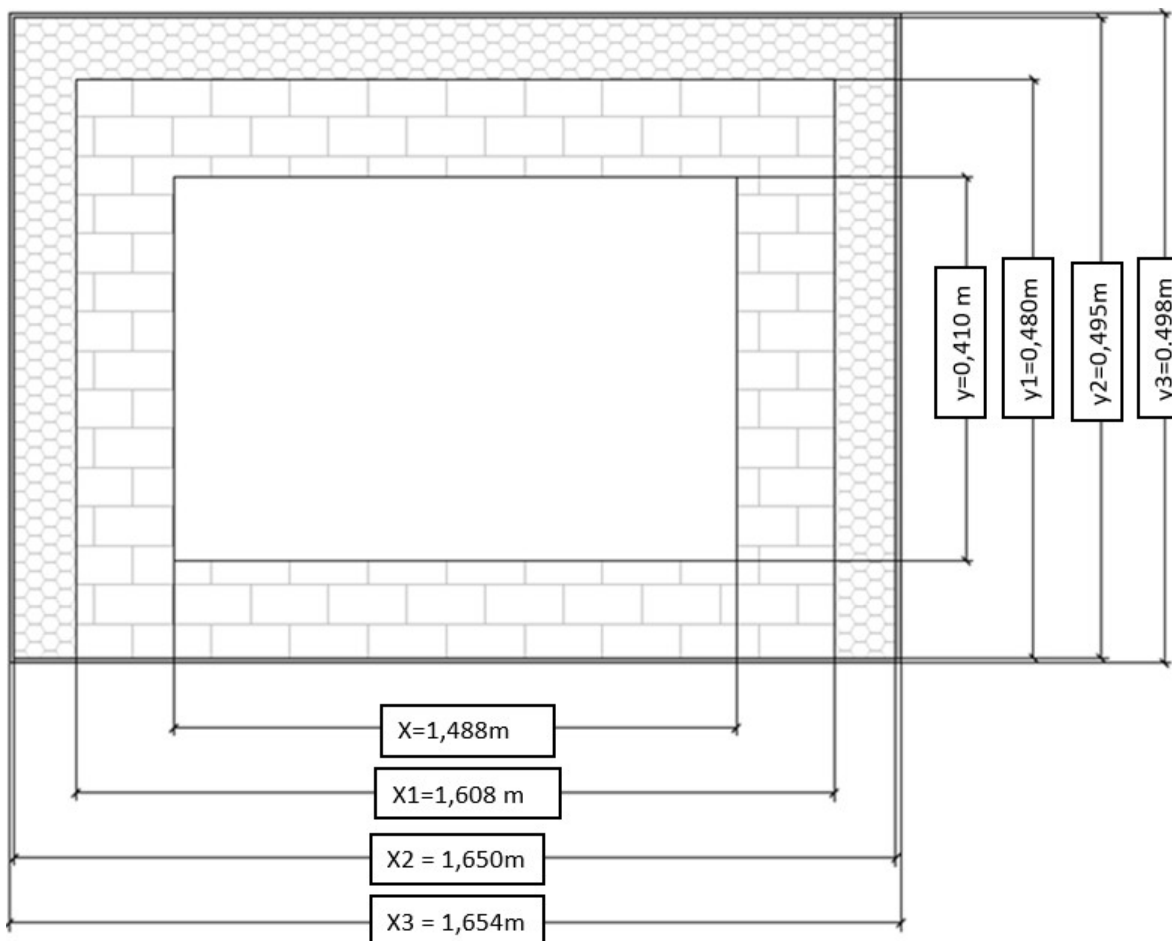


Figura 23. Vista frontal de la cámara de calentamiento

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

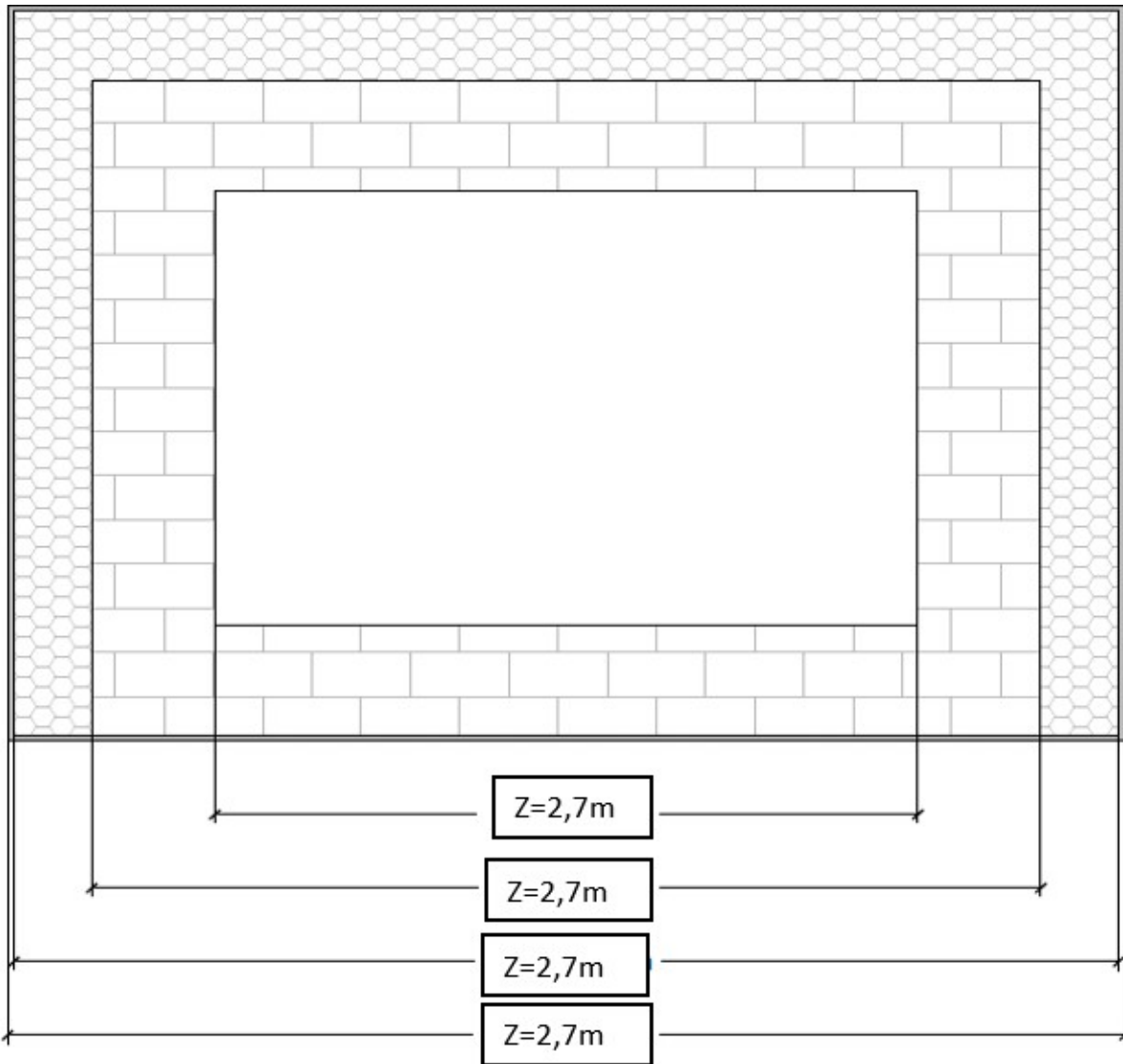


Figura24. Vista lateral de la cámara de calentamiento

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

- Cálculo de las áreas del horno

Para calcular las áreas se supondrá que las paredes son homogéneas, es decir, no se tomarán en cuenta las ranuras dejadas para el posicionamiento de las resistencias eléctricas dentro de los ladrillos refractarios.

$$A1 = 2[(x1 - z1) + (y1 - z1) + (x1 - y1)]$$

$$A1 = 2[(1,608 - 2,7) + (2,7) + (1,608 - 0,480)]$$

$$A1 = 12,81m^2$$

$$A2 = 2[(x2 - z2) + (y2 - z2) + (x - y2)]$$

$$A2 = 2[(1,650 - 2,7) + (2,7) + (1,650 - 0,495)]$$

$$A2 = 13,21m^2$$

$$A3 = 2[(x3 - z3) + (y3 - z3) + (x - y3)]$$

$$A3 = 2[(0,498 - 2,7) + (2,7) + (1,654 - 0,498)]$$

$$A3 = 13,26m^2$$

Se obtienen los valores de las resistencias de calor por conducción de cada una de las capas que componen las paredes del horno

$$R1 = \frac{0,0508m}{\frac{0,17 \frac{W}{m^{\circ}K}}{12,81m^2}}$$

$$R1 = 0,0234 \frac{^{\circ}K}{W}$$

$$R2 = \frac{0,005m}{\frac{0,23 \frac{W}{m^{\circ}K}}{13,21m^2}}$$

$$R2 = 0,000165 \frac{^{\circ}K}{W}$$

$$R3 = \frac{0,00122m}{\frac{28 \frac{W}{m^{\circ}K}}{13,26m^2}}$$

$$R3 = 3,28 \times 10^{-5} \frac{^{\circ}K}{W}$$

Se obtiene el valor de la resistencia de calor por convección

$$R4 = \frac{1}{3226.67}$$

$$R4 = 3,099 \times 10^{-4} \frac{^{\circ}K}{W}$$

Con el uso de la (ecuación 25), se determina la pérdida de calor total.

$$q = \frac{1470^{\circ}K - 303K}{0,0234 \frac{^{\circ}K}{W} + 0,000165 \frac{^{\circ}K}{W} + 3,28 \times 10^{-5} \frac{^{\circ}K}{W} + 3,099 \times 10^{-4} \frac{^{\circ}K}{W}}$$

$$q = 48808,03 W = 48,808 kW$$

4.2.5 Rendimiento del horno

- Rendimiento térmico

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

El rendimiento térmico del horno se determina mediante la (ecuación 29)

$$\eta = \frac{Q_c}{Q_c + q} [Ec. 29]$$

$$Q_c = 747631,174 W. \quad \times \frac{1W}{1W} = Q_c = W$$

$$\eta = \frac{747631,174 W}{747631,174 W + 48808,03 W}$$

$$\eta = 0,9390 = 93,90\%$$

- **Rendimiento térmico neto de operación**

Es igual a la relación existente entre el peso de la carga máxima del material a tratar térmicamente expresado en (kg) y la respectiva cantidad de calor suministrada al sistema para una determinada elevación de temperatura en (kWh), mediante la (ecuación 30)

$$Nto = \frac{\text{peso de la carga}}{Qc} [Ec. 30]$$

$$Nto = \frac{180kg}{747,631 kW.}$$

$$Nto = 0,240 \frac{kg}{kw.}$$

- **Cálculo de la potencia del horno**

Se lo realiza mediante la relación del calor suministrado por el sistema y su rendimiento en un determinado tiempo (ecuación 31).

$$P = \frac{Qc}{\eta t} [Ec. 31]$$

$$P = \frac{747631,174 W.}{1}$$

$$P = 796199,333W = 796,199kW$$

4.2.6 Cálculo de la resistencia eléctrica

En los hornos eléctricos de resistencias, la potencia eléctrica que es absorbida por los elementos es disipada en forma de calor hacia el medio, con base en el efecto Joule.

Es necesario encontrar el valor de la resistencia que permita disipar toda la potencia entregada por el horno; para este cálculo se debe conocer la tensión disponible. Mediante el despeje de la (ecuación 32) y sustituyendo los valores ya obtenidos de potencia y tensión eléctrica disponible, se puede encontrar la intensidad eléctrica.

$$P = V I \text{ [Ec. 32]}$$

Donde:

P : Potencia del horno [W]

V : Tensión eléctrica [V]

I : Intensidad eléctrica [A]

Despejando la corriente de la (ecuación 32) se obtiene el valor de la corriente inducida en el horno:

$$I = \frac{P}{A} \text{ [Ec. 33]}$$

$$I = \frac{769199 \text{ W}}{220 \text{ V}}$$

$$I = 3496,359A$$

Gracias al uso de la ley de Ohm (ecuación 34), se obtiene el valor de la resistencia requerida.

$$R = \frac{V}{I} \text{ [Ec. 34]}$$

$$R = \frac{220V}{3496,359A}$$

$$R = 0,0629 \Omega$$

Para el sistema de calentamiento del horno se utilizarán resistencias de Kanthal A-1, que es un metal de la más alta calidad de las aleaciones de Hierro-Cromo-Aluminio y está diseñado para trabajar a temperaturas de hasta 1400°C. Es indispensable conocer ciertas propiedades del Kanthal

1, como las que se muestran en la Tabla4, para poder conocer cuánto material se va a utilizar en la fabricación de las resistencias.

Tabla4. Propiedades de la resistencia KanthalA-1

| Aleación | | Kanthal A-1 |
|--|----|------------------------|
| Resistividad a 20°C | Am | 1.45x 6 |
| Diámetro del conductor | mm | 2 |
| Coefficiente de resistividad a 1200°C | | 1.04 |

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

Las resistencias que se utilizarán serán del tipo arrollado en espiral y estarán ubicadas en las ranuras de los ladrillos refractarios que componen las paredes del horno. La (ecuación 32) sirve para conocer el valor de la resistencia por cada metro.

$$R_{20} = \frac{\rho \times L}{A} [Ec. 35]$$

Donde:

R_{20} Resistencia eléctrica a 20°C [

ρ : Resistividad [$\Omega \cdot m$]

L : Longitud del material [m]

A : Área transversal [m^2]

El área transversal de la resistencia se encuentra mediante la (ecuación 33), junto con el diámetro seleccionado para el hilo conductor en la Tabla 4.

$$A = \frac{\pi\phi^2}{4} \text{ [Ec. 36]}$$

Donde:

ϕ : Diámetro del conductor [m]

$$A = \frac{\pi(0,0020m)^2}{4}$$

$$A = 3,141 \times 10^{-6} m^2$$

Determinamos la resistencia por metro con la (ecuación 35).

$$R_{20} = \frac{1,45 \times 10^{-6} \text{ m} \times 1 \text{ m}}{3,141 \times 10^{-6} m^2}$$

$$R_{20} = 0,4615 \frac{\Omega}{m}$$

Entonces, se tiene que por cada metro del hilo de Kanthal A-1 habrá una resistencia de

- Cálculo de la resistencia eléctrica a la temperatura de trabajo

Se halla mediante el uso de la (ecuación 37), empleando el coeficiente de resistividad de la Tabla 11, que determina cuánto cambia la resistencia con la variación de temperatura hasta los 1200°C.

$$RT = Ct R_{20} \text{ [Ec. 37]}$$

Donde:

RT : Resistencia eléctrica a la temperatura de trabajo $\frac{\Omega}{m}$

Ct : Coeficiente de resistividad a 1200°C

$$RT = 1.04$$

$$RT = 0,48 \frac{\Omega}{m}$$

Se tiene que la resistencia eléctrica cambia a 0.48 $\frac{\Omega}{m}$ por metro a la temperatura de trabajo máxima del horno.

- **Cálculo de la longitud del hilo para realizar la resistencia**

Se determina el largo total de hilo Kanthal A-1 que será necesario para la fabricación de la resistencia, con el desarrollo de la (ecuación 38).

$$Lt = \frac{R}{RT} [Ec. 38]$$

Donde:

$$R = \text{resistencia requerida } [\Omega]$$

$$Rt = \text{Resistencia eléctrica a la temperatura de trabajo } \left[\frac{\Omega}{m}\right]$$

$$Lt = \frac{0,0629\Omega}{0,48 \frac{\Omega}{m}}$$

$$Lt = 0,1310 m$$

Las resistencias serán colocadas en dos paredes del horno, por lo tanto, se determina la cantidad de material que debe contener cada una de ellas, dividiendo la longitud total del material para el número de paredes en las cuales se ubicarán las resistencias.

$$Lu = \frac{Lt}{2} [Ec. 39]$$

$$Lu = \frac{0,131m}{2}$$

$$Lu = 0,066m$$

- **Cálculo del diámetro de la espira**

Existen dos criterios cuando se trabaja con hornos industriales:

Si la temperatura de - 8.

Si la temperatura de trabajo de los elementos es mayor a 1000°C, entonces D/ 5 - 6.

Se trabaja con el segundo criterio y se obtiene el diámetro que será utilizado para el bobinado de las resistencias (ecuación 40)

$$D = 5 \quad [Ec. 40]$$

Donde:

D: Diámetro de la espira [m]

Diámetro del conductor [m]

$$D = \quad m$$

$$D = 0.010 \text{ m}$$

- Cálculo del número de vueltas de la resistencia

Empleando la (ecuación 41) se logra determinar el número total de vueltas que debe tener la resistencia

$$Nt = \frac{Lt}{\pi (D \phi)} [Ec. 41]$$

Donde:

Nt: Número de vueltas total de la resistencia [vueltas]

D = diámetro de espiras [m]

Lt = longitud total de hilo [m]

Diámetro del conductor [m]

$$Nt = \frac{0,131 \text{ m}}{\pi (0,010 \text{ m} \quad 0,0020 \text{ m})}$$

$$Nt = 5,240 \text{ vueltas}$$

Para calcular el número de vueltas que debe poseer cada resistencia se divide el número total de vueltas para el número de resistencias que se utilizarán en el horno.

$$Nu = \frac{Nt}{2} [Ec. 42]$$

$$Nu = \frac{5,240 \text{ vueltas}}{2}$$

$$Nu = 2,620 \text{ vueltas}$$

- Cálculo del paso entre espiras

Se busca obtener una buena distancia entre cada espira, para que la radiación recíproca entre cada una se menor. El rango recomendado para calcular el paso entre espiras es: $S/\phi = 2 - 4$. Se considera como mejor opción la relación de 4 y se obtiene el espacio que debe existir entre cada espira (ecuación 43).

$$S = 4 \phi [Ec: 43]$$

Donde:

S: Distancia entre espiras [m]

ϕ : Diámetro del conductor [m]

$$S = 4 \cdot 0,0020 \text{ m}$$

$$S = 0,0080 \text{ m}$$

4.2.7 Modelado del horno

Se lo realiza en un programa de Diseño Asistido por Computadora CAD, con las dimensiones planteadas en los cálculos y con materiales que se encuentren en el mercado, para tener una idea clara de la apariencia final del horno. El modelado servirá como guía para la construcción de cada una de las piezas que componen el horno y para su correcto ensamblaje.

- Modelado de la estructura

Está hecho a base de ángulos, platinas y láminas de acero como se muestra en la figura 25. Se lo realizará tomando en cuenta principalmente el espacio que debe existir entre

cada ángulo para que en su interior se coloquen los ladrillos refractarios de manera que exista el volumen interno de la cámara de calentamiento definido en los parámetros de construcción del equipo.

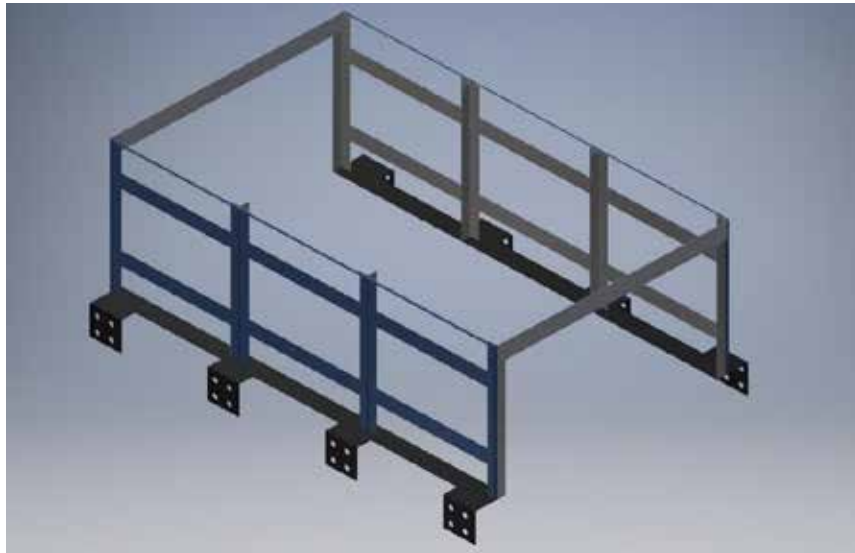


Figura 25. Modelado de la estructura del horno

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

- Modelado de la colocación de los ladrillos refractarios

Los ladrillos refractarios se deben distribuir de la mejor forma posible dentro de la estructura, procurando cubrir todos los espacios en el interior de la cámara para evitar pérdidas de calor, se debe tomar en cuenta el espacio que existirá entre cada ladrillo por el uso del mortero refractario, el mismo que servirá para pegarlos y sellar las aberturas.

El techo del horno es una sola pieza, debido a que está construido de concreto refractario, el mismo que dará una mejor estabilidad a toda la estructura. Además, en el modelado se deben mostrar las ranuras que tendrán los ladrillos para la colocación de la resistencia, como se observa en la figura 26.

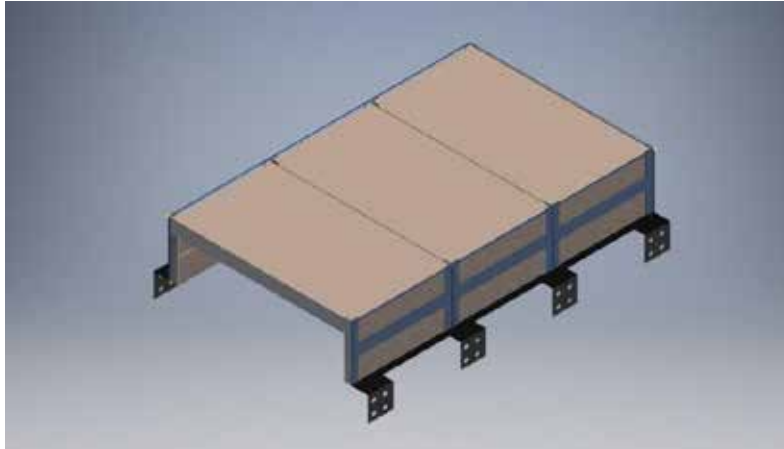


Figura 26. Modelado de la colocación de los ladrillos refractarios

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

- **Modelado de la colocación de la fibra de cerámica**

Se debe colocar la manta de fibra cerámica sobre los ladrillos refractarios de las paredes laterales, la pared posterior y el techo de cemento refractario, para aislar completamente del calor la superficie exterior del horno, como se observa en la figura 27. De esta forma se utiliza toda la estructura de acero del horno y se tapan los espacios dejados para evitar pérdidas de calor.



Figura 27. Modelado de la colocación de la fibra cerámica

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

- **Modelado de la colocación de la lámina de acero galvanizado**

Se incorpora al modelado la última capa que compone el horno que es la chapa de acero galvanizado, sobre la manta de fibra cerámica, como se muestra en la Figura 27.

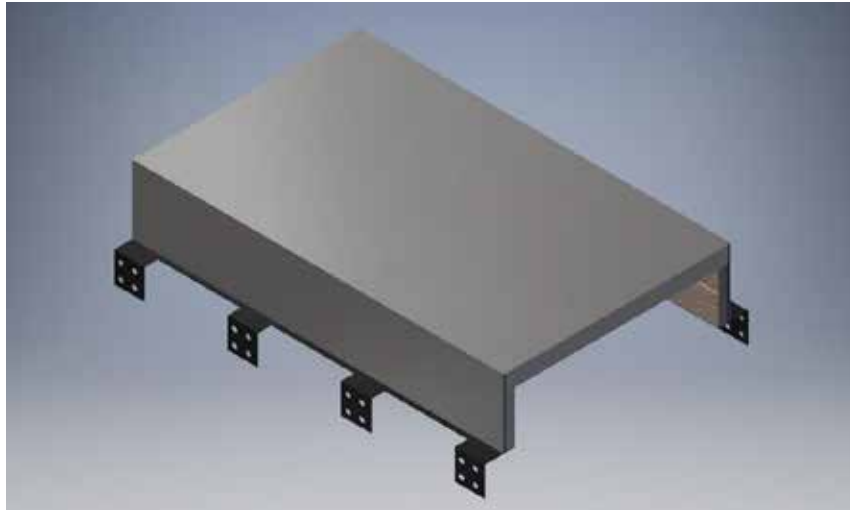


Figura 28. Modelado de la colocación de la lámina de acero

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

- **Ensamblaje final del horno para tratamientos térmico**

Finalmente se realiza el ensamblaje de todas las piezas que han sido modeladas, para obtener el prototipo virtual del horno para tratamientos térmicos y de esta forma tener una idea clara para su construcción, en la figura 29.

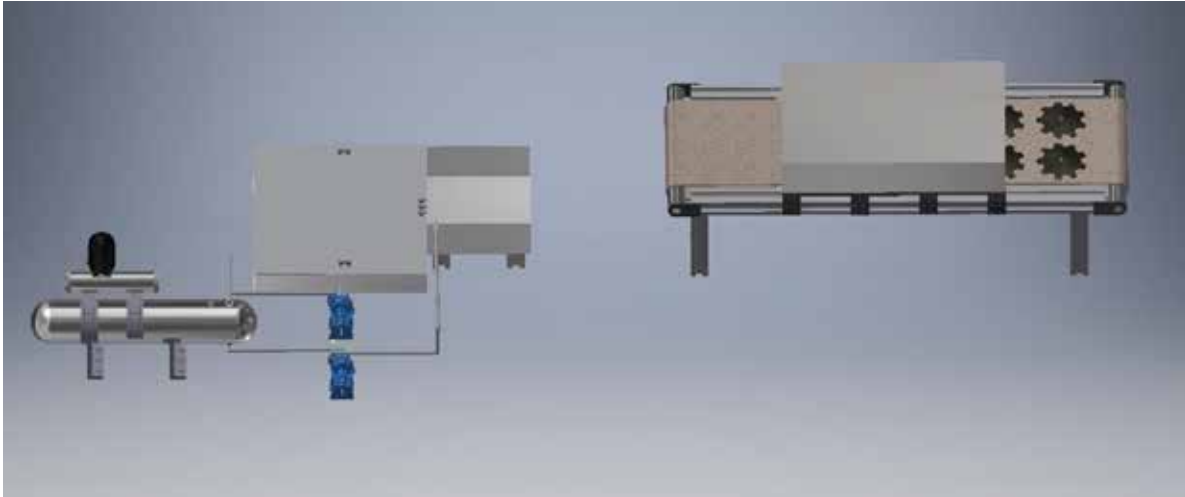


Figura 29. Ensamble final del horno

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

4.2.8 Diseño del sistema de control

Una vez realizada la parte mecánica, térmica y eléctrica del horno se procede a realizar el sistema de control automatizado, en este sistema todos los elementos o componentes tecnológicos deben estar relacionados entre sí, de manera que trabajen en conjunto para realizar el trabajo sin intervención de agentes externos, incluyendo el factor humano. Además, el conjunto debe ser capaz de corregir posibles fallas que ocurran durante el funcionamiento, o alertar de alguna manera al usuario para identificar los problemas que se presenten.

Para entender de mejor manera los sistemas de control, es necesario conocer ciertos términos básicos. Sistema es la unión de elementos relacionados que interactúan entre sí, con el objetivo de lograr un fin determinado.

Variables del sistema son todas las magnitudes que se someten a control y observación, además definen el comportamiento del sistema. Señal de referencia o set Point es la entrada que especifica al sistema de control el valor que se desea que alcance la señal de salida.

Señal de salida es la variable que se debe controlar para obtener el valor deseado o estar dentro de un rango aproximado, también se la conoce como variable controlada. Error es la discrepancia entre el valor del set Point y el de la señal de salida real.

Planta es el objeto o elemento físico que se requiere controlar, proceso es cualquier operación que pueda ser controlada y que conduzca a un resultado. Perturbación es cualquier señal de entrada que tiende a afectar o desviar la salida del sistema del valor deseado. Controlador es el elemento que realiza acciones sobre el actuador para regular la señal de salida. Actuador es el elemento final de control, que recibe la señal del controlador y produce la variación que se requiere en la variable manipulada.

- **Selección del sistema de control**

Para el horno de tratamientos térmicos se emplea un sistema de control de lazo cerrado o también llamado sistema de control realimentado, donde se establece un constante monitoreo entre la relación de la señal de salida y la entrada de referencia, para calcular el error y aplicar la diferencia como medio de control y lograr obtener el valor deseado en la señal de salida, como se observa en la (Figura30).



Figura30. Sistema de control de lazo cerrado del equipo

Fuente: (UNIMAG, 2012)

El controlador es un PID llamado regulador electrónico en el cual es posible establecer la temperatura deseada, el dispositivo compara el valor de referencia con el valor de temperatura dentro del horno.

El actuador es un dispositivo encargado de entregar energía o realizar trabajo para mantener el valor de salida en el valor deseado, en este caso el actuador es la resistencia eléctrica, la señal de entrada o set Pont será la temperatura deseada y la señal de salida la temperatura actual dentro del horno.

El proceso es preservar la temperatura, en este proceso pueden existir señales de perturbación, las cuales provoquen una desviación de la señal real con respecto a la señal deseada, una perturbación puede ser externa como abrir la compuerta o cerrarla de forma inadecuada, lo cual afecta al proceso desviándolo de la temperatura preestablecida, las perturbaciones internas pueden ser variaciones de potencia en la red eléctrica o el envejecimiento de ciertos componentes como el material aislante.

El sensor del horno de tratamientos térmicos es la termocupla, la misma que capta directamente la temperatura en cada instante al interior del horno y mediante un transmisor envía la señal al controlador electrónico, el cual se encarga de compararla con el valor deseado.

- **Selección del dispositivo de control**

Para seleccionar el dispositivo que nos brinde mejores beneficios, se presenta en la figura un cuadro comparativo con las características principales de varios dispositivos de control.

Tabla 5. Cuadro comparativo de los dispositivos de control

| ÍTEM | MICROCONTROLADOR PIC | PLC | PC INDUSTRIAL | CONTROLADOR DE TEMPERATURA |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| PRECIO | Bajo | Alto | Alto | Medio |
| DISPONIBILIDAD | Alta | Regular | Baja | Alta |
| TAMAÑO | Poco espacio | Espacio considerable | Espacio considerable | Poco espacio |
| SOFTWARE | Libre | Propio | Propio | Propio |
| PROGRAMACIÓN | Difícil | Fácil | Difícil | Fácil |
| PRECISIÓN | Alta | Alta | Alta | Alta |

Fuente: Martínez y Mujica

Se puede observar que el dispositivo de control más adecuado para el horno de tratamientos térmicos es el controlador de temperatura, debido a que puede encontrarse con facilidad en el mercado a un precio medianamente cómodo. Se ha seleccionado el controlador de temperatura y/o procesos TZ4ST-24S de la marca Autónics, que se muestra en la figura 31.



Figura 31. Controlador de temperatura y/o procesos TZ4ST-24S

Fuente: Autónics

El controlador es muy útil para aplicaciones en hornos de tratamientos térmicos, debido a que no controla solamente la estabilización de la temperatura por medio de un control PID,

Sino que además es posible regular el tiempo de las rampas de subida y bajada de la temperatura.

Junto con él trabajará un temporizador, ambos realizarán un control totalmente automatizado; se ha seleccionado el temporizador digital análogo On-Delay 76299 de la marca EBCHQ, que se observa en la figura 32.



Figura 32. Temporizador digital análogo 76299

Fuente: (ASEIN, 2014)

Con el temporizador es posible controlar el tiempo de mantenimiento de la temperatura y activar alarmas.

- **Selección del sensor**

De acuerdo a la temperatura de trabajo del horno, las condiciones de uso y basado en los criterios, se ha seleccionado la termocupla tipo K; además este sensor es apto para trabajar con el controlador elegido y brinda una gran precisión en la medición de la temperatura al interior del horno.

- **Diagramas de flujo para la programación del controlador**

Mediante los diagramas de flujo es posible comprender la lógica de programación del controlador y los pasos que se deben seguir para configurar los parámetros con los cuales se requiere trabajar. El diagrama de flujo para el grupo 1 de ajustes se muestra en la figura33.

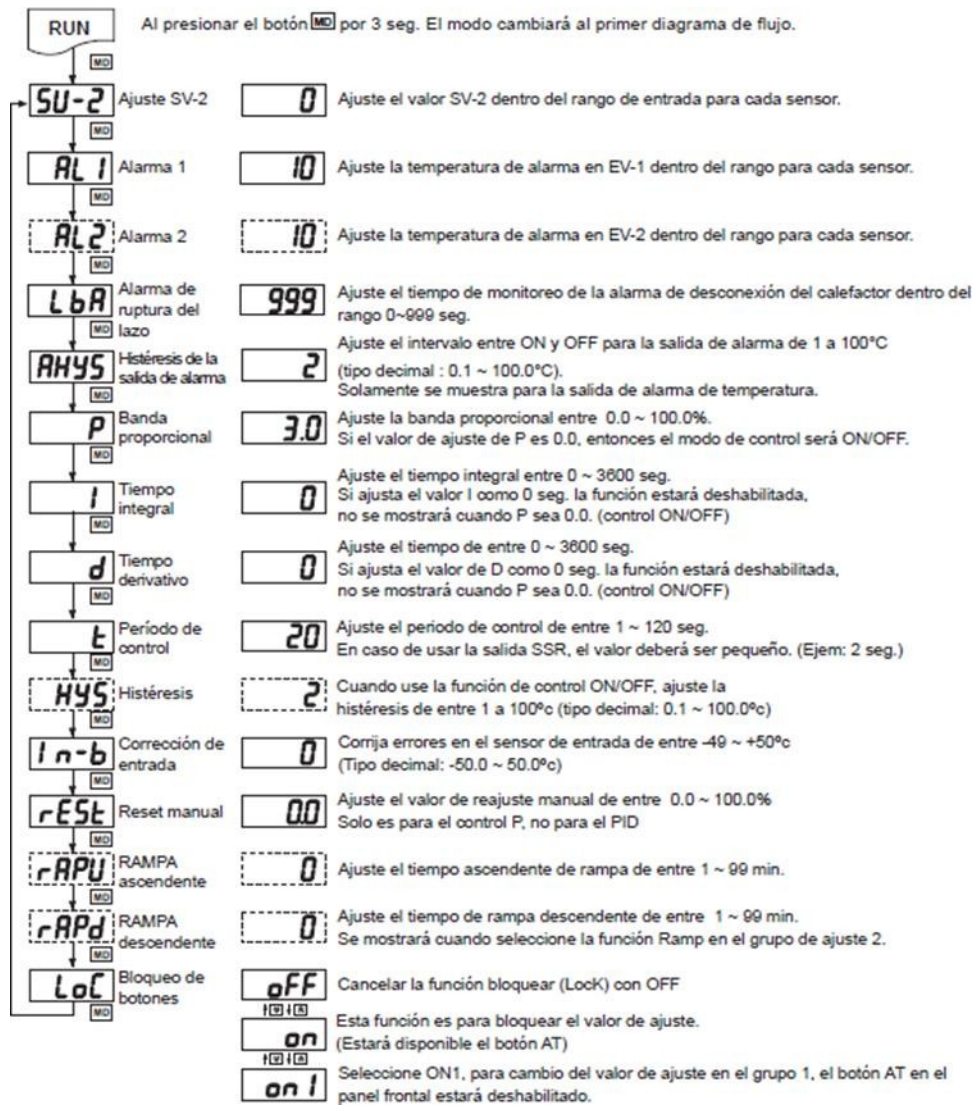


Figura33.Diagrama de flujo para el grupo 1 de ajustes

Fuente: (RHONA, 2014)

Antes de ingresar al primer grupo de ajustes se programa en la pantalla principal el valor de ajuste o set valú SV hasta la temperatura que se necesita que el horno se caliente.

Para ingresar al grupo 1 de ajustes del controlador de temperatura y procesos se debe presionar el botón MD durante 3 segundos, el primer parámetro que se programa es el SV-2 o valor de ajuste 2, que será la temperatura a la cual tendrá que llegar el horno una vez

Concluido el proceso de calentamiento hasta el SV y el tiempo de mantenimiento. Este valor se puede configurar a una temperatura mayor o una menor del SV, según el proceso que se requiera aplicar.

Para cambiar de parámetro se presiona MD; el segundo parámetro que se programa es la alarma 1, este valor va de acuerdo al tipo de alarma que se seleccione en el EV-1 del grupo 2 de ajustes; en la figura 34 se puede observar las operaciones de salida de alarma que posee el controlador.

| | | |
|-------------|---|--|
| AL-0 | — | Sin salida de alarma. |
| AL-1 | <p>⊗Ajuste 10°C en AL 1(AL 2) desviación de temperatura</p> | <p>■Alarma de desviación de límite superior Si la desviación entre PV y SV se encuentra mas arriba que el valor de ajuste de la desviación de temperatura, la salida estará en ON. La desviación de temperatura se selecciona en el grupo 1 de ajustes AL-1 o AL-2 .</p> |
| AL-2 | <p>⊗Ajuste 10°C en AL 1(AL 2) desviación de temperatura</p> | <p>■Alarma de desviación de límite inferior Si la desviación entre PV y SV se encuentra mas abajo que el valor de ajuste de la desviación de temperatura, la salida estará en ON. La desviación de temperatura se selecciona en el grupo 1 de ajustes AL-1 o AL-2 .</p> |
| AL-3 | <p>⊗Ajuste 10°C en AL 1(AL 2) desviación de temperatura</p> | <p>■Alarma de desviación de límite superior /inferior Si la desviación entre PV y SV se encuentra mas arriba o mas abajo que el valor de ajuste de la desviación de temperatura, la salida estará en ON. La desviación de temperatura se selecciona en el grupo 1 de ajustes AL-1 o AL-2 .</p> |
| AL-4 | <p>⊗Ajuste 10°C en AL 1(AL 2) desviación de temperatura</p> | <p>■Alarma de desviación inversa de límite superior /inferior Si la desviación entre PV y SV se sucede mas arriba o mas abajo que el valor de ajuste de la desviación de temperatura, la salida estará en OFF. La desviación de temperatura se selecciona en el grupo 1 de ajustes AL-1 o AL-2 .</p> |
| AL-5 | <p>⊗Ajuste 110°C en AL 1(AL 2) alarma de temperatura</p> | <p>■Alarma de valor absoluto de límite superior Si PV es igual o mayor que el valor del ajuste de la alarma de temperatura la salida sera ON. La alarma de temperatura se establece en el grupo 1 de ajustes AL-1 o AL-2</p> |
| AL-6 | <p>⊗Ajuste 90°C en AL 1(AL 2) alarma de temperatura</p> | <p>■Alarma de valor absoluto de límite inferior. Si PV es igual o menor que el valor del ajuste de la alarma de temperatura la salida sera ON. La alarma de temperatura se establece en el grupo 1 de ajustes AL-1 o AL-2.</p> |

⊗"b" es el intervalo entre ON y OFF, el rango de ajuste es 1 ~ 100°C(0.1 ~ 100.0°C) y se puede ajustar en "RHYS", grupo 1 de ajustes.

Figura 34. Operación de salida de alarma del controlador

Fuente: (RHONA, 2014)

El tercer punto para configurar es la alarma 2, que será la temperatura a la cual se encenderá y apagará el indicador de proceso en el tablero de control. Luego se configura el valor de la histéresis de la salida de alarma, procurando que sea un valor bajo. A

continuación, se programa la banda proporcional, en un rango entre 0.0 y 100.0%, si el valor de ajuste es 0.0, entonces el modo de control será ON/OFF. Se ajusta el tiempo integral y posteriormente el tiempo derivativo en un rango ente 0 y 3600 segundos; si se coloca un valor de 0, las funciones estarán deshabilitadas y si el valor de la banda proporcional es 0.0 no se mostrarán estas opciones.

La siguiente opción para programar es el período de control que se debe ajustar en un valor entre 1 y 120 segundos, cuando se dispone de la salida SSR, se debe emplear un valor pequeño. Luego se ajusta la corrección de la entrada, que sirve para corregir errores en el sensor. El paso siguiente es el roset manual para calibrar el valor de reajuste manual entre 0.0 y 100.0%; cuando el control ya es estable o un poco antes de conseguirlo, si PV y SV son iguales, el valor roset será 50.0% si la temperatura de proceso es menor que SV, el valor reset deberá ser mayor, de otro modo el valor de reajuste deberá ser más pequeño; este método debe ser ajustado de acuerdo a los resultados de las pruebas de control.

Las funciones de rampa ascendente y descendente se mostrarán únicamente si en el grupo 2 de ajustes se encuentra encendida la función rampa; se puede ajustar el tiempo ascendente y descendente de la rampa ente 1 y 99 minutos; la función sirve únicamente para retrasar los tiempos de ascenso como se observa en la figura 35 y de descenso de la temperatura, como se muestra en la figura 36. La última opción que brinda el controlador en el grupo 1 de ajustes la función de bloqueo de botones.

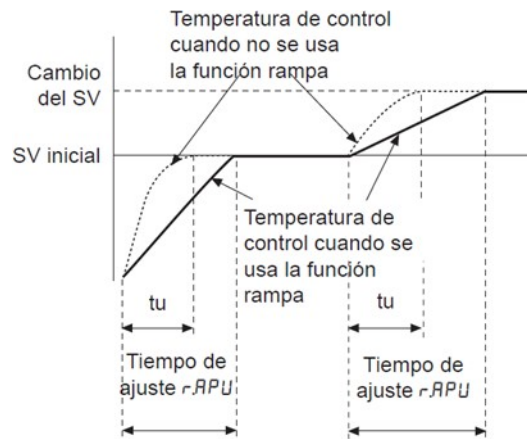


Figura35.Funcionamiento de la opción rampa de ascenso

Fuente: (RHONA, 2014)

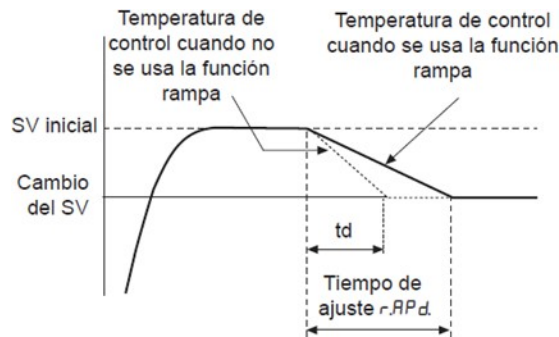


Figura36. Funcionamiento de la opción rampa de descenso

Fuente: (RHONA, 2014)

Una vez concluida la configuración del grupo 1 de ajustes se procede a programar el grupo 2 de ajustes. Para ingresar a este menú se deben presionar al mismo tiempo los botones MD y la flecha hacia arriba durante 3 segundos, el diagrama de flujo se muestra en la Figura 66. Primero se muestra la opción para elegir el sensor de entrada, para el horno se ha seleccionado una termocupla tipo K, para este sensor existen dos opciones la una que permite censar desde -100 hasta 1300°C y la segunda desde -100.0 hasta 999.9°C.

Para avanzar en el menú se presiona MD; la siguiente opción es el evento 1, debe seleccionarse el tipo de alarma que se requiere utilizar de la figura 37. Para el evento 2, de igual forma se selecciona un tipo de alarma de los que nos brinda el controlador.

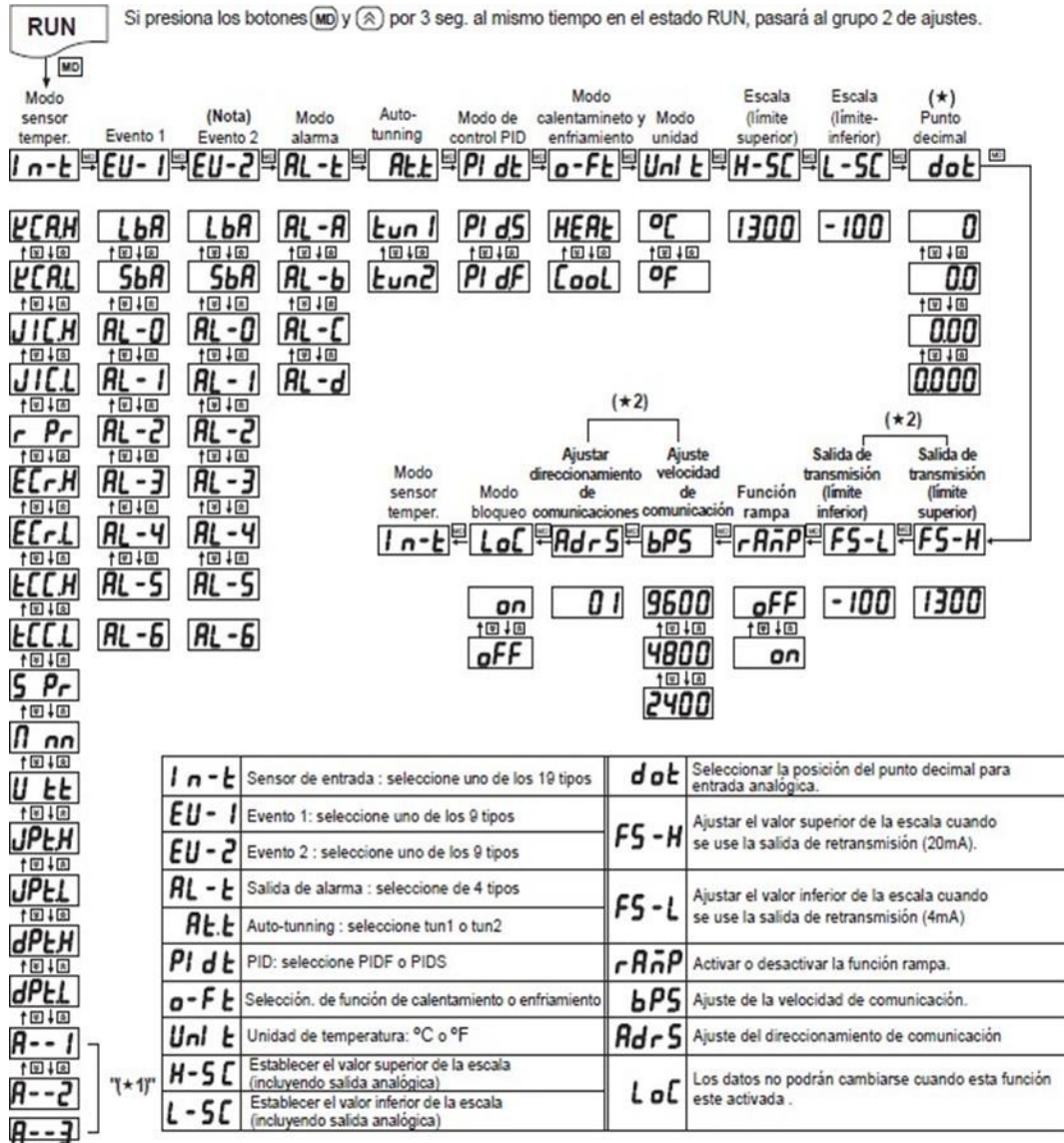


Figura 37. Diagrama de flujo para el grupo 2 de ajustes

Fuente: (RHONA, 2014)

Luego se selecciona la salida de alarma entre las opciones que se muestran en la figura 38.

| Símbolo | Nombre de operación | Función |
|--------------|--|---|
| AL -A | Alarma general | Salida de alarma general sin opciones. |
| AL -b | Función de enclavamiento | Cuando la salida de alarma se enciende una vez, la salida permanecerá encendida de manera continua. |
| AL -C | Función de secuencia de espera | No hay salida en la primera operación. (cuando alcanza por primera vez el valor señalado) |
| AL -d | Función de enclavamiento y secuencia de espera | Opera con funciones de enclavamiento y secuencia de espera juntas. |

Figura38.Opciones de ajuste de alarma

Fuente:(RHONA, 2014)

Posteriormente el controlador brinda la opción de seleccionar entre dos tipos de auto-tuning, la misma que se ejecuta al comienzo, después de haber conectado el controlador y el sensor, y se debe presionar el botón AT por 3 segundos o más para activarla, se debe ejecutar periódicamente. Se selecciona el modo de control PID, entre los dos tipos que se observan en la figura 39; con el PIDF existe una respuesta de alta velocidad, con un ligero sobrepaso y con el PIDS se tiene una respuesta lenta, minimizando el sobrecalentamiento.

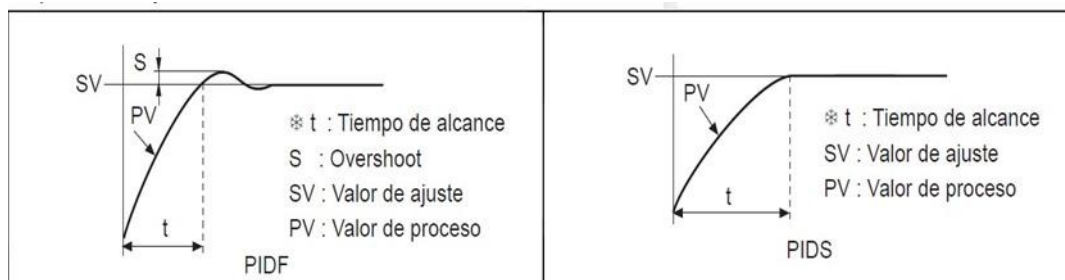


Figura 39. Respuestas del PIDF y del PIDS

Fuente:(RHONA, 2014)

El controlador posee dos funciones de calentamiento o enfriamiento, se selecciona HEAT para el trabajo del horno. Se elige la unidad de temperatura para trabajar entre °C y F y se seleccionan los límites máximo y mínimo de temperatura que pueden soportar los componentes en el interior del horno. La siguiente opción que se muestra es la activación de la función rampa. Finalmente se muestra el modo de bloqueo.

- **Descripción del panel frontal del controlador**

Para entender el trabajo que realiza el controlador y las señales que envía es necesario conocer las partes que componen el panel frontal, que se muestran en la Figura.

● **TZ4ST**

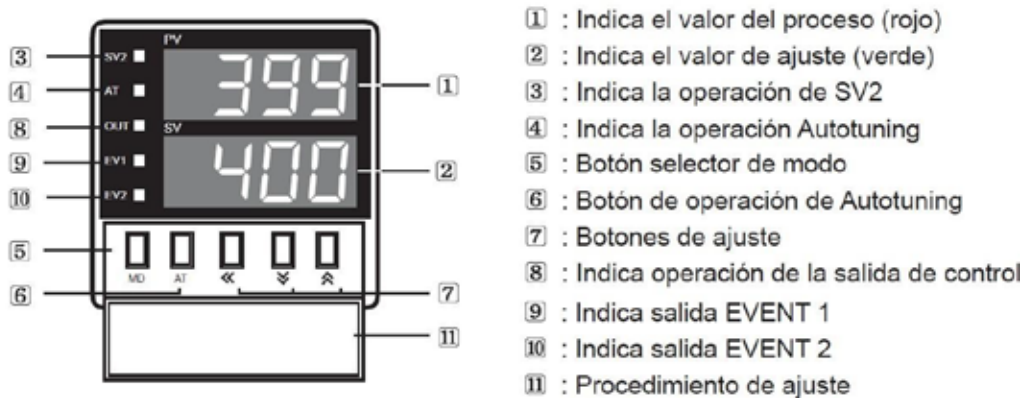


Figura 40. Descripción del panel frontal del controlador

Fuente: (RHONA, 2014)

- **Configuración de ajuste del controlador de temperatura y procesos**

Para un proceso de calentamiento de la cámara a 700°C, partiendo desde la temperatura ambiente, con mantenimiento de la temperatura por 20 minutos y que baje hasta 40°C, se programa el grupo de ajustes 1 de la forma que muestra en la tabla y el grupo de ajustes 2 como se observa en la figura. Antes de programar el controlador de temperatura y procesos, se coloca el tiempo deseado, en este caso 20 minutos en el temporizador.

Tabla 6. Ajuste de parámetros del grupo 1 del controlador

| Parámetro | Indicaciones | Valor de ajuste |
|-----------|-----------------------------------|-----------------|
| SU-2 | Ajuste SV-2 | 40 |
| AL1 | Alarma 1 | 700 |
| AL2 | Alarma 2 | 45 |
| AHYS | Histéresis de la salida de alarma | 1 |
| P | Banda proporcional | 1.0 |
| I | Tiempo integral | 0 |
| d | Tiempo de derivativo | 0 |
| t | Período de control | 2 |
| In-b | Corrección de entrada | 0 |
| rESt | Reset manual | 80.0 |
| LoC | Bloqueo de botones | off |

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

| Modo | Valor de ajuste |
|--------|-----------------|
| In-t | PCRH |
| EU-1 | AL-S |
| EU-2 | AL-S |
| AL-t | AL-R |
| At-t | tun1 |
| PI d-t | PI dF |
| o-F-t | HEAt |
| Unl-t | °C |
| H-SC | 1300 |
| L-SC | -100 |
| rAñP | oFF |
| LoC | oFF |

Figura 41. Ajuste de parámetros del grupo 2 del controlador

Fuente: (RHONA, 2014)

- Funcionamiento del sistema de control

Antes de conectar el equipo es necesario comprobar que todo se encuentre apagado en el panel de control, incluyendo el paso de corriente en el disyuntor. Una vez conectado el horno se debe activar el paso de corriente mediante el disyuntor, luego se enciende el controlador

Y se realiza la programación del mismo. Cuando ya se hayan configurado todos los parámetros en el controlador y el temporizador, como se observa en la figura 42, se procede a poner en modo ON el switch del temporizador, el mismo que permite el paso de corriente hacia la resistencia y comienza el ciclo de trabajo del horno.



Figura 42. Encendido del controlador

Fuente: (RHONA, 2014)

La temperatura comenzará a subir hasta el valor programado en SV; el indicador rojo muestra el inicio y el fin del proceso, se encenderá cuando la temperatura supere el valor seleccionado para la alarma 2 y se apagará cuando la temperatura baje del mismo valor al culminar todo el proceso. Mientras la resistencia esté prendida se encenderá el primer indicador verde, como se muestra en la figura 43.



Figura 43. Resistencia encendida

Fuente: (RHONA, 2014)

Cuando el valor del proceso PV llegue al valor de ajuste SV, comenzará a trabajar el temporizador y se encenderá el segundo indicador verde, como se muestra en la figura 44.



Figura 44. Inicio temporizador

Fuente: (RHONA, 2014)

Cuando la temperatura de la cámara de calentamiento llega al set point, el controlador tratará de estabilizar la temperatura y mantenerla de esta forma por el tiempo seleccionado en el temporizador, como se observa en la figura 45.



Figura 45. Estabilización del sistema a 700°C
Fuente: (RHONA, 2014)

Cuando el valor del proceso PV sobrepasa al valor de ajuste SV, la resistencia se apagará para tratar de igualar los dos valores y el indicador verde también se apaga, como se muestra en la figura 46.



Figura 46. Resistencia apagada

Fuente: (RHONA, 2014)

Cuando se acaba el tiempo que se programó en el temporizador, el valor de SV cambiará automáticamente al valor seleccionado para SV-2, como se observa en la figura 47; el indicador verde del temporizador se apagará, mostrándonos que ha dejado de trabajar y la temperatura de la cámara de calentamiento tratará de llegar al valor de SV-2.



Figura 47. Temporizador apagado

Fuente: (RHONA, 2014)

Cuando la temperatura baja del valor programado para la alarma 2, se apaga el indicador rojo, como se muestra en la figura 48 y se entiende que el proceso ha terminado.



Figura 48. Proceso terminado

Fuente: (RHONA, 2014)

4.2.9 Diseño de la banda transportadora

- Cálculo del Angulo de inclinación

Con la distancia y el desnivel se
la (ecuación 44) el cual es:

$$\delta = \tan^{-1} \frac{h}{d} [Ec. 44]$$

Donde:

h = la altura de la banda [m]

d = desnivel de la banda [m]

$$\delta = \tan^{-1} \frac{1,250 \text{ m}}{5,556 \text{ m}} = 12.67^\circ$$

- Propiedades del material a transportar

Buscamos en la figura de los materiales, las propiedades del acero que nos interesan y que utilizaremos para los cálculos.

| | | | | | |
|---------------------------|-----------|---------|---|---|---|
| Virutas de acero | 1,60-2,40 | 100-150 | - | C | A |
| Virutas de aluminio | 0,11-0,24 | 7-15 | - | B | A |
| Virutas de hierro fundido | 2,08-3,20 | 130-200 | - | B | A |
| Virutas de madera | 0,16-0,48 | 10-30 | - | A | A |

Figura 49. tabla de algunos materiales que se transportan con bandas transportadora

Fuente: Informaciones técnicas y criterios para el diseño de bandas transportadoras

$$\text{peso específico} = \rho_s = 1,60 \text{ T m}^3$$

$$\text{Angulo de reposo} = 30^\circ$$

- **Angulo de sobrecarga**

Con el ángulo de reposo de 30° y la fluidez del material, vamos a la figura obtenemos el ángulo de sobrecarga 20°.

Tab. 1 - Angulo de sobrecarga, de reposo y fluidez del material

| Fluidez | | | | | |
|---|--|--|--|--|---|
| Muy elevada | Elevada | Media | Baja | Perfil en la banda plana | |
| Ángulo de sobrecarga β | | | | | |
| 5° | 10° | 20° | 25° | 30° | B |
| Ángulo de reposo | | | | | |
| 0-19° | 20-29° | 30-34° | 35-39° | 40° y más | otros |
| Características del material | | | | | |
| Dimensión uniforme, particular redondas muy pequeñas, muy húmedas, o muy secas como arena sílicea seca, cemento y hormigón húmedo, etc. | Particular redondeadas, secas y lisas, con peso medio como, por ejemplo, semillas de cereales, trigo y judías. | Material irregular, granular en tamaño de peso medio, como, por ejemplo, carbón de antracita, harina de semillas de algodón, arcilla, etc. | Materiales típicos comunes, como, por ejemplo, carbón bituminoso, grava, la mayor parte de los minerales, etc. | Material irregular, viscoso, fibroso y que tiende a entrelazarse (virutas de madera, bagazos exprimidos), arena de fundición, etc. | Pueden incluir material con cualquier característica indicada a continuación en la Tab.2. |

Figura 50. Angulo de sobrecarga

Fuente: Informaciones técnicas y criterios para el diseño de bandas transportadoras

- **Selección del ancho de la cinta y de la velocidad**

Se deduce que el material en cuestión es del grupo B y dado que se puede considerar tamaño medio, máximo 600 mm, la velocidad debe ser 0,5 m/s y el ancho mínimo de la banda de 1400 mm.

$$qg = \frac{Iv}{(3,6)v} [Ec. 45]$$

Donde:

$qg =$

$Iv =$ la capacidad de transporte [T]

$V =$ velocidad de la banda [m_s]

$$qg = \frac{0,18}{(3,6)} = 0.10$$

Tab. 3 - Velocidades máximas aconsejables

| Tamaño dimensiones máximas | | Banda ancho mín mm | velocidad max | | | |
|-------------------------------|-------------------|--------------------------|---------------|------|------|------|
| uniforme hasta mm | mixto hasta mm | | A m/s | B | C | D |
| 50 | 100 | 400 | 2.5 | 2.3 | 2.38 | 1.65 |
| 75 | 150 | 500 | | | | |
| 125 | 200 | 650 | 3 | 2.75 | 2.38 | 2 |
| 170 | 300 | 800 | 3.5 | 3.2 | 2.75 | 2.35 |
| 250 | 400 | 1000 | 4 | 3.65 | 3.15 | 2.65 |
| 350 | 500 | 1200 | | | | |
| 400 | 600 | 1400 | 4.5 | 4 | 3.5 | 3 |
| 450 | 650 | 1600 | | | | |
| 500 | 700 | 1800 | 5 | 4.5 | 3.5 | 3 |
| 550 | 750 | 2000 | | | | |
| 600 | 800 | 2200 | 6 | 5 | 4.5 | 4 |

A - materiales ligeros deslizables, no abrasivos, peso específico de 0,5÷1,0 t/m³

B - materiales no abrasivos de tamaño medio, peso específico de 1,0÷1,5 t/m³

C - materiales medianamente abrasivos y pesados, peso específico de 1,5÷2 t/m³

Entre los factores que limitan la velocidad máxima de un transportador citamos:

Figura 51. Velocidades máximas de las bandas

Fuente: Informaciones técnicas y criterios para el diseño de bandas transportadoras

- Cálculo de la capacidad de transporte volumétrica

La capacidad de transporte $Iv = 0.180t/h$, como el peso específico considerado es de 1,60 t/m³, la capacidad de transporte volumétrica.

$$IM = \frac{Iv}{qs} [Ec. 46]$$

Donde:

Im= es la capacidad volumétrica [m^3]

Iv = la capacidad de transporte [T]

qs = peso específico [$T m^3$]

sustituyendo los valores en la (ecuación 46) se obtiene que el valor de la capacidad volumétrica es:

$$IM = \frac{0.180}{1,60} = 0.1125 m^3$$

Para poder cumplir con esta capacidad de transporte volumétrica, vamos a la figura 52, y se selecciona una capacidad de transporte volumétrica para

1 m/s y $\theta = 25^\circ$.

| Ancho banda mm | Ángulo de sobrecarga β | IvT m ³ /h | | | | |
|-------------------|------------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | $\lambda = 20^\circ$ | $\lambda = 25^\circ$ | $\lambda = 30^\circ$ | $\lambda = 35^\circ$ | $\lambda = 45^\circ$ |
| 2400 | 5° | 1403.7 | 1632.9 | 1832.9 | 2010.7 | 2275.5 |
| | 10° | 1730.5 | 1945.8 | 2130.1 | 2288.8 | 2514.2 |
| | 20° | 2431.0 | 2618.6 | 2776.3 | 2896.2 | 3041.2 |
| | 25° | 2749.4 | 2972.1 | 3112.2 | 3211.8 | 3317.9 |
| | 30° | 3225.0 | 3364.4 | 3488.7 | 3565.0 | 3636.4 |
| 2600 | 5° | 1670.0 | 1936.7 | 2175.9 | 2382.4 | 2697.3 |
| | 10° | 2058.8 | 2307.9 | 2528.6 | 2711.8 | 2981.5 |
| | 20° | 2886.4 | 3099.6 | 3281.7 | 3425.0 | 3592.0 |
| | 25° | 3264.5 | 3518.0 | 3678.7 | 3798.3 | 3918.8 |
| | 30° | 3829.2 | 3982.3 | 4123.8 | 4216.1 | 4295.0 |
| 2800 | 5° | 1930.8 | 2240.7 | 2517.8 | 2759.4 | 3119.7 |
| | 10° | 2380.3 | 2670.1 | 2926.0 | 3141.0 | 3448.4 |
| | 20° | 3342.6 | 3592.0 | 3805.5 | 3971.5 | 4168.4 |
| | 25° | 3780.0 | 4076.9 | 4265.9 | 4404.3 | 4547.7 |
| | 30° | 4433.9 | 4615.0 | 5185.6 | 4888.7 | 4984.2 |
| 3000 | 5° | 2227.0 | 2585.8 | 2905.6 | 3184.8 | 3597.8 |
| | 10° | 2745.7 | 3079.0 | 3376.8 | 3625.2 | 3976.9 |
| | 20° | 3851.2 | 4140.3 | 4390.9 | 4579.5 | 4800.2 |
| | 25° | 4355.7 | 4699.2 | 4922.1 | 5078.6 | 5237.0 |
| | 30° | 5109.2 | 5319.4 | 5517.6 | 5637.2 | 5739.7 |

Figura 52. Capacidad de transporte volumétrica

Fuente: Informaciones técnicas y criterios para el diseño de bandas transportadoras

La capacidad de transporte volumétrica con la (ecuación 47):

$$Ivt = \frac{IM}{v \times K \times K1} \text{ [Ec. 47]}$$

Donde:

K = 0,983 (factor inclinación)

K1 = 0,90 (alimento irregular)

Fig. 8 - Factor de inclinación K

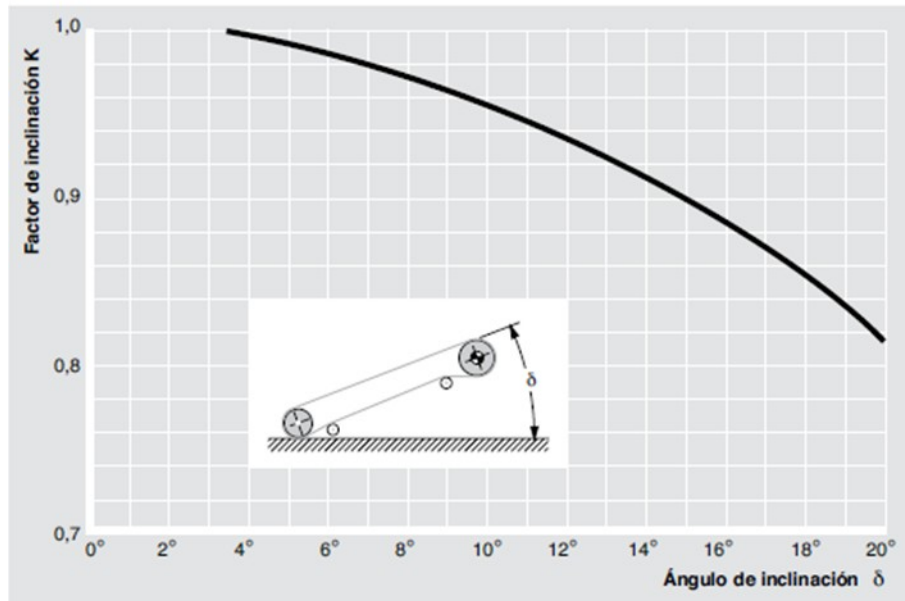


Figura 53. Factor de inclinación de la banda

Fuente: Informaciones técnicas y criterios para el diseño de bandas transportadoras

Sustituyendo, se tiene:

$$I_{vt} = \frac{0,1125}{0,5 \times 0,90 \times 0,983} = 0,254'''$$

En la figura 52 para $\delta = 20^\circ$, escogemos una estación cortante plana de 3 rodillos con un ángulo de apertura de $\alpha = 25^\circ$

- **Selección del paso estacional**

Paso de las estaciones.

El paso elegido en función de la flexión de la banda entre dos estaciones portantes consecutivas. La figura 54, nos permite determinar el paso máximo de las estaciones en función del ancho de banda y del peso específico del material a transportar. En las bandas transportadoras el paso más usado normalmente para las estaciones de ida es de un metro, mientras que para el retorno es de tres metros (au).

La flecha de flexión de la banda, entre dos estaciones portantes consecutivas, no tiene que superar el 2% del paso. Una flecha de flexión mayor originaría durante el movimiento de la banda deformaciones de la masa del material y por lo tanto rozamientos más elevados. En nuestro ejemplo, para un ancho de banda de 1400 mm y con un peso específico del material de 1,69 t/m³, la figura 53 indica que:

Tab. 6 - Paso máximo aconsejable de las estaciones

| Ancho banda m | Paso de las estaciones ida | | | retorno m |
|------------------|---|----------------|------------|--------------|
| | peso específico del material a transportar t/m ³ | | | |
| | < 1.2 m | 1.2 ÷ 2.0 m | > 2.0 m | |
| 300 | 1.65 | 1.50 | 1.40 | 3.0 |
| 400 | | | | |
| 500 | | | | |
| 650 | | | | |
| 800 | 1.50 | 1.35 | 1.25 | 3.0 |
| 1000 | 1.35 | 1.20 | 1.10 | 3.0 |
| 1200 | 1.20 | 1.00 | 0.80 | 3.0 |
| 1400 | | | | |
| 1600 | | | | |
| 1800 | | | | |
| 2000 | 1.00 | 0.80 | 0.70 | 3.0 |
| 2200 | | | | |

Figura 54. Paso máximo de las estaciones

Fuente: Informaciones técnicas y criterios para el diseño de bandas transportadoras

Para las estaciones portantes de ida el paso aconsejado es $a_o = 1,20$ m, y

Para las estaciones portantes de retorno el paso aconsejado es $a_u = 3$ m.

- **Elección de los rodillos.**

De la figura 55, el rodillo aconsejado para un ancho de banda N = 1400 mm, y una velocidad de entre a 2 m/s y 4 m/s es de diámetro 133mm, del Manual RULMECA pág.84 escogemos un rodillo PSV2.

53

Tab.16 - Diámetro de los rodillos aconsejado

| Ancho banda mm | Para velocidad | | | | | | | |
|-------------------|----------------|-----|---------------|-----|---------------|-----|-----|--|
| | ≤ 2 m/s | | 2 + 4 m/s | | ≥ 4 m/s | | | |
| | Ø rodillos mm | | Ø rodillos mm | | Ø rodillos mm | | | |
| 500 | 89 | | 89 | | | | | |
| 650 | 89 | | 89 | 108 | | | | |
| 800 | 89 | 108 | 89 | 108 | 133 | 133 | | |
| 1000 | 108 | 133 | 108 | 133 | | 133 | 159 | |
| 1200 | 108 | 133 | 108 | 133 | 159 | 133 | 159 | |
| 1400 | 133 | 159 | 133 | 159 | | 133 | 159 | |

Figura 55. Diámetros de los rodillos

Fuente: Informaciones técnicas y criterios para el diseño de bandas transportadoras

- **Velocidad de giro de los rodillos**

$$n = \frac{60000 \times v}{D\pi} \text{ [Ec. 48]}$$

$$n = \frac{60000(0,5)}{(133)} = 71.799 \text{ rpm}$$

- **Carga sobre los rodillos.**

Una vez definido el diámetro del rodillo en relación con la velocidad y con el número de revoluciones, hay que determinar la carga estática en las estaciones de ida, que se determina con la siguiente (ecuación 49):

$$ca = a0 \times \left(qb + \frac{lv}{3.6 \times v} \right) 981 \text{ daN [Ec. 49]}$$

Donde:

a0= El paso aconsejado

Iv = la capacidad de transporte [T]

v = velocidad de la banda [m/s]

qb= peso total de la banda $\frac{Kg}{m^2}$

Multiplicando luego por los factores de funcionamiento, obtendremos la carga dinámica en la estación mediante la (ecuación 50):

$$Ca1 = ca \times Fd \times Fs \times Fm \text{ daN [Ec. 50]}$$

Donde:

Ca = la carga estática en las estaciones de ida

Fd = Factor de choque de la banda

Fs = Factor de servicio de la banda

Fm = Factor ambiental de la banda

Multiplicando luego por el factor de participación, se obtendrá la carga sobre el rodillo sometido a mayor esfuerzo (rodillo central en el caso de estaciones con tres rodillos de igual longitud mediante la (ecuación 51):

$$ca = ca1 \times Fp \text{ daN [Ec: 51]}$$

Donde

Ca1= La carga dinámica

Fp= factor de participación

Para calcular el peso de la banda qb, el peso total de la banda qb se puede determinar sumándole al peso del núcleo de la banda, el del revestimiento superior e inferior, es decir aprox. 1,15 Kg/m² por cada mm de espesor del revestimiento. Arbitrariamente, en la figura56, fijamos una carga de rotura de 630 N/mm para banda reforzada EP con un peso del núcleo de la banda qbn = 6 Kg/m²

Tab. 10 - Peso del núcleo de la banda q_{bn}

| Carga de rotura de la banda N/mm | Banda reforzada con productos textiles (EP) Kg/m ² | Con elementos metálicos Steel Cord (ST) Kg/m ² |
|-------------------------------------|--|--|
| 200 | 2.0 | - |
| 250 | 2.4 | - |
| 315 | 3.0 | - |
| 400 | 3.4 | - |
| 500 | 4.6 | 5.5 |
| 630 | 5.4 | 6.0 |
| 800 | 6.6 | 8.5 |
| 1000 | 7.6 | 9.5 |
| 1250 | 9.3 | 10.4 |
| 1600 | - | 13.5 |
| 2000 | - | 14.8 |
| 2500 | - | 18.6 |
| 3150 | - | 23.4 |

Figura 56. Peso del núcleo de la banda

Fuente: Informaciones técnicas y criterios para el diseño de bandas transportadoras

Del Manual PHOENIX de la figura 57, tomamos correas con carcasa de metal con revestimiento superior de 4 mm e inferior de 3 mm

| Tipo de correa | Uso | Material transportado | Cubierta superior | Cubierta de retorno |
|----------------------------|--|--|-------------------|---------------------|
| Correas con carcasa textil | Correas transportadoras móviles | Material fino Material liviano | 2 | 1 |
| | Plantas de carga y descarga y plantas donde se transporta carbón mineral | Carbón mineral, potasio, gravilla, arena, mineral fino | 2 a 4 | 2 |
| | Plantas de carga y descarga, pozos de gravilla, canteras | Trozos de carbón mineral, rocas, gravilla áspera, mineral, peso excesivo | 4 a 8 | 2 a 3 |
| | Excavadoras y cargadores, chancadores | Trozos de roca grandes, mineral y peso excesivo | 8 a 16 | 3 a 4 |

Figura 57. Correa de carcasa para materiales pesados

Fuente: Manual PHOENIX

$$qb = 6 + 1,15(4 + 3) = 14,50 \text{ kg/m [Ec. 52]}$$

Haciendo las sustituciones en la (ecuación 49) la carga estática obtenida sobre los rodillos es:

$$ca = 1,20 \left(14,50 + \frac{0,180}{3,6(0,5)} \right) \times 0,981 = 159,51 \text{ daN}$$

Los factores de funcionamiento son:

$Fd = 1,12$ de la fig 58.

$Fs = 1,1$ de la fig 58.

$Fm = 1$ de la fig 58.

$FV = 1,04$ de la fig 59.

Tab. 18 - Factor de servicio

| Duración | F _s |
|-------------------------|----------------|
| Menos de 6 horas al día | 0.8 |
| De 6 a 9 horas al día | 1.0 |
| De 10 a 16 horas al día | 1.1 |
| Más de 16 horas al día | 1.2 |

Tab. 19 - Factor ambiental

| Condiciones | F _m |
|--|----------------|
| Limpio y con mantención regular | 0.9 |
| Con presencia de material abrasivo o corrosivo | 1.0 |
| Con presencia de material muy abrasivo o corrosivo | 1.1 |

Tab. 20 - Factor de choque F_d

| Tamaño del material | Velocidad de la banda m/s | | | | | | |
|--|---------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 5 | 6 |
| 0 ÷ 100 mm | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 100 ÷ 150 mm | 1.02 | 1.03 | 1.05 | 1.07 | 1.09 | 1.13 | 1.18 |
| 150 ÷ 300 mm en estrato de material fino | 1.04 | 1.06 | 1.09 | 1.12 | 1.16 | 1.24 | 1.33 |
| 150 ÷ 300 mm sin estrato de material | 1.06 | 1.09 | 1.12 | 1.16 | 1.21 | 1.35 | 1.50 |
| 300 ÷ 450 mm | 1.20 | 1.32 | 1.50 | 1.70 | 1.90 | 2.30 | 2.80 |

Figura 58. Factores de servicio, ambiental y de choche

Fuente: Informaciones técnicas y criterios para el diseño de bandas transportadoras

Tab. 21 - Factor de velocidad F_v

| Velocidad banda m/s | Diámetro de los rodillos mm | | | | | | |
|---------------------|-----------------------------|------|-------|------|---------|---------|------|
| | 60 | 76 | 89-90 | 102 | 108-110 | 133-140 | 159 |
| 0.5 | 0.81 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| 1.0 | 0.92 | 0.87 | 0.85 | 0.83 | 0.82 | 0.80 | 0.80 |

Figura 59. Factor de velocidad

Fuente: Informaciones técnicas y criterios para el diseño de bandas transportadoras

Sustituyendo los valores en la (ecuación 50) se obtiene que la carga dinámica es:

$$ca1 = 159.51 \times 1,12 \times 1,1 \times 1 \times 1,04 = 204,377 \text{ daN}$$

El factor de participación F_p del rodillo sometido a mayor esfuerzo según la figura, es de 0,65 y la carga sobre el rodillo central es:



Figura 60. Factor de participación

Fuente: Informaciones técnicas y criterios para el diseño de bandas transportadoras

Sustituyendo los valores en la (ecuación 51) se obtendrá que la carga sobre el rodillo sometido a mayor esfuerzo es:

$$ca = 204,377 \times 0,65 = 132,845 \text{ daN}$$

La carga estática en las estaciones de retorno, al no estar presente el peso del material, se determina con la siguiente fórmula:

$$cr = au \times qb \times 0,981 \text{ daN [Ec. 53]}$$

La carga dinámica en la estación de retorno será:

$$cr1 = cr \times Fs \times Fm \times Fv \text{ daN [Ec. 54]}$$

Y la carga en el rodillo de retorno, individual o por pareja, será:

$$cr = cr1 \times Fp \text{ daN [Ec. 55]}$$

Haciendo las sustituciones se obtiene:

La carga estática es:

$$cr = 3(13,45) (0,981) = 39,58 \text{ daN}$$

Carga dinámica:

$$cr1 = 39,58 \times 1,1 \times 1 \times 1,04 = 45,27 \text{ daN}$$

Carga en el rodillo de retorno:

Eligiendo la estación de retorno plana, el factor de participación $F_p = 1$ y Eligiendo la estación de retorno plana, el factor de participación $F_p = 1$

$$cr1 = cr = 37,35 \text{ daN}$$

Se selecciona el rodillo en relación a la capacidad de carga en daN, al diámetro, al ancho de banda y la velocidad en el Manual de RULMECA, se seleccionó un rodillo PSV/2-FHD este rodillo tiene una capacidad de carga entre de entre 193 hasta 293 daN lo cual es más que satisfactorio.

Elija el rodillo en relación a la capacidad de carga en daN, al diámetro, al ancho de banda y velocidad (para una vida prevista del rodamiento de L10h de 30.000 h)

| RODILLO | | PSV 1 (eje ø 20, rodamiento 6204) | | | | | | | | PSV 2 (eje ø 25, rodamiento 6205) | | | | | | | | PSV 3 (eje ø 25, rodamiento 6305) | | | | | | | | | |
|---------|----------------------------------|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| Ø | Ancho de banda Rakenbet mm | velocidad de la banda m/s | | | | | | | | velocidad de la banda m/s | | | | | | | | velocidad de la banda m/s | | | | | | | | | |
| | | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 4.5 | | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 4.5 | |
| 89 | 300 | 400 | 168 | 179 | 157 | 142 | 132 | 124 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 500 | 208 | 179 | 157 | 142 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | | | | | | | | | | |
| | 400 | 650 | 258 | 179 | 157 | 142 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | | | 404 | 353 | 321 | 298 | 280 | | |
| | 500 | 800 | 323 | 179 | 157 | 142 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | | | 404 | 353 | 321 | 298 | 280 | | |
| | 650 | 1000 | 368 | 179 | 157 | 142 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | | | 404 | 353 | 321 | 298 | 280 | | |
| | 800 | 1200 | 473 | 179 | 157 | 142 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | | | 404 | 353 | 321 | 298 | 280 | | |
| | 400 | | 508 | 179 | 157 | 142 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | | | 404 | 353 | 321 | 298 | 280 | | |
| | 500 | 1400 | 538 | 179 | 157 | 142 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | | | 404 | 353 | 321 | 298 | 280 | | |
| | 650 | 1600 | 608 | 179 | 157 | 142 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | | | 404 | 353 | 321 | 298 | 280 | | |
| | 800 | | 708 | 173 | 157 | 142 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | | | 404 | 353 | 321 | 298 | 280 | | |
| | 1000 | | 758 | 161 | 157 | 142 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | | | 392 | 353 | 321 | 298 | 280 | | |
| | 1400 | | 808 | 150 | 150 | 142 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | | | 367 | 353 | 321 | 298 | 280 | | |
| 1600 | | 908 | 133 | 133 | 133 | 132 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | | | 327 | 327 | 321 | 298 | 280 | | | |
| 800 | | 958 | 126 | 126 | 126 | 126 | 124 | | | 274 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | | | 310 | 310 | 310 | 298 | 280 | | | |
| 1000 | | 1158 | 104 | 104 | 104 | 104 | 104 | | | 267 | 240 | 218 | 202 | 190 | | | | | | 299 | 299 | 299 | 299 | 299 | | | |
| 1200 | | 1408 | 85 | 85 | 85 | 85 | 85 | | | 224 | 224 | 218 | 202 | 190 | | | | | | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | | | |
| 1400 | | 1608 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | | | 201 | 201 | 201 | 201 | | | | | | | 194 | 194 | 194 | 194 | 194 | | | |
| 1600 | | 1908 | | | | | | | | 183 | 183 | 183 | 183 | | | | | | | 177 | 177 | 177 | 177 | 177 | | | |
| 100 | 300 | 400 | 168 | 191 | 167 | 152 | 141 | 133 | 126 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 500 | 208 | 191 | 167 | 152 | 141 | 133 | 126 | | | 293 | 256 | 232 | 216 | 203 | 193 | | | | | | | | | | | |
| | 400 | 650 | 258 | 191 | 167 | 152 | 141 | 133 | 126 | | | 293 | 256 | 232 | 216 | 203 | 193 | | | | 431 | 376 | 342 | 317 | 299 | 284 | |
| | 500 | 800 | 323 | 191 | 167 | 152 | 141 | 133 | 126 | | | 293 | 256 | 232 | 216 | 203 | 193 | | | | 431 | 376 | 342 | 317 | 299 | 284 | |
| | 650 | 1000 | 368 | 191 | 167 | 152 | 141 | 133 | 126 | | | 293 | 256 | 232 | 216 | 203 | 193 | | | | 431 | 376 | 342 | 317 | 299 | 284 | |
| | 800 | 1200 | 473 | 191 | 167 | 152 | 141 | 133 | 126 | | | 293 | 256 | 232 | 216 | 203 | 193 | | | | 431 | 376 | 342 | 317 | 299 | 284 | |
| | 400 | | 508 | 191 | 167 | 152 | 141 | 133 | 126 | | | 293 | 256 | 232 | 216 | 203 | 193 | | | | 431 | 376 | 342 | 317 | 299 | 284 | |
| | 500 | 1400 | 538 | 191 | 167 | 152 | 141 | 133 | 126 | | | 293 | 256 | 232 | 216 | 203 | 193 | | | | 431 | 376 | 342 | 317 | 299 | 284 | |
| | 650 | 1600 | 608 | 191 | 167 | 152 | 141 | 133 | 126 | | | 293 | 256 | 232 | 216 | 203 | 193 | | | | 431 | 376 | 342 | 317 | 299 | 284 | |
| | 800 | | 708 | 170 | 167 | 152 | 141 | 133 | 126 | | | 293 | 256 | 232 | 216 | 203 | 193 | | | | 404 | 376 | 342 | 317 | 299 | 284 | |
| | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1400 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1600 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura61. Manual de los tipos de rodillos para bandas transportadora

Fuente: Grupo RULMECA C. A

- **Esfuerzo tangencial y Potencia absorbida en el tambor motriz.**

$$Fa = [L \times Ca \times Ct \times f (qb + qG + qRo) \pm (+qg + qb) H] \times 0,981 [daN] [Ec. 56]$$

$$Fr = [L \times Ca \times Ct \times f (qb + qRu) \pm (qb + H)] \times 0,981 [daN] [Ec. 57]$$

Donde:

Fa = El esfuerzo de la tensión de parte giratorio superior [daN]

Fr = El esfuerzo de la tensión de la parte giratoria inferior [daN]

L: longitud de la banda [m]

Ca: Coeficiente de la resistencia fija

Ct: Coeficiente de la resistencia pasiva

f: Coeficiente de razonamiento interior de las partes giratoria

qb: peso por metro línea de la banda [$Kg \ m$]

qG: peso de material a transportar por metro lineal [$Kg \ m$]

qRo: peso de las partes giratorias superior [$Kg \ m$]

qRu: peso de las partes giratorias inferior [$Kg \ m$]

H: desnivel de la cinta transportadora [m]

- **Resistencias pasivas**

Las resistencias pasivas se expresan mediante coeficientes proporcionales a la longitud de la cinta transportadora, a la temperatura ambiente, a la velocidad, al tipo de mantenimiento, a la limpieza y a la fluidez, al rozamiento interior del material y a la inclinación de la banda transportadora. Luego, se tiene que:

$$L = 5.556 \text{ m}$$

$$q_b = 14,50 \text{ Kg/m}$$

Coeficiente de las resistencias fijas $Cq=2,6$

Coeficiente de las resistencias pasivas debidas a la temperatura $Ct=1$

Coeficiente de rozamiento interior f del material y de los elementos giratorios

$$f=0,0170$$

Los pesos aproximados de las partes giratorias de una estación superior de tres rodillos y de una estación inferior plana. El peso de las partes giratorias superior qRO e inferior qRU vendrá dado por:

$$q_{RO} = \frac{P_{prs}}{a_o} \text{ [Ec. 58]}$$

$$q_{RU} = \frac{P_{pri}}{a_u} \text{ [Ec. 59]}$$

De la figura, se obtienen los pesos giratorios de los rodillos

Pprs= 29,2 y Ppri= 23,2

Tab.11 - Peso de las partes giratorias de los rodillos de las estaciones (sup/inf)

| Ancho banda mm | Diámetro rodillos mm | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 89 | | 108 | | 133 | | 159 | | 194 | |
| | Pprs Kg | Ppri | Pprs | Ppri | Pprs | Ppri | Pprs | Ppri | Pprs | Ppri |
| 400 | — | — | — | | | | | | | |
| 500 | 5.1 | 3.7 | — | | | | | | | |
| 650 | 9.1 | 6.5 | — | | | | | | | |
| 800 | 10.4 | 7.8 | 16.0 | 11.4 | — | | | | | |
| 1000 | 11.7 | 9.1 | 17.8 | 13.3 | 23.5 | 17.5 | | | | |
| 1200 | | | 20.3 | 15.7 | 26.7 | 20.7 | — | | | |
| 1400 | | | | | 29.2 | 23.2 | — | | | |
| 1600 | | | | | 31.8 | 25.8 | — | | | |
| 1800 | | | | | | | 47.2 | 38.7 | 70.5 | 55.5 |
| 2000 | | | | | | | 50.8 | 42.2 | 75.3 | 60.1 |
| 2200 | | | | | | | — | — | — | — |

Figura 62. Peso de las partes giratorias

Fuente: Informaciones técnicas y criterios para el diseño de bandas transportadoras

Sustituyendo los valores, en las ecuaciones 58 y 59 obtenemos:

$$qRO = \frac{29,2}{1,2} = 24.33 \frac{Kg}{m}$$

$$qRU = \frac{23,2}{3} = 7.73 \frac{Kg}{m}$$

El peso del material transportado por metro lineal viene dado por la (ecuación 45):

$$qg = \frac{0,18}{3,6 \times 0,5} = 0,10 \frac{Kg}{m}$$

El esfuerzo tangencial total F_u viene dado por la suma algebraica de los esfuerzos tangenciales F_a y F_r correspondientes a los tramos de banda superior e inferior por lo que:

$$F_u = F_a + F_r \text{ [Ec. 60]}$$

Sustituyendo los valores, en la ecuación 56 y 57, se obtiene los valores de los esfuerzos tangenciales F_a y F_r :

$$F_a = [0,180(1,5) (1) (0,0170) (13,45 + 0,10 + 24,33) + (0,10 + 13,45)1,250] 0,981]$$

$$F_a = 167,854 \text{ daN}$$

$$F_r = [0,180(2,6) (1) (0,0170) (13,45 + 7,73) (1,250 \times 13,45) 0,981] =$$

$$F_r = 16,33 \text{ daN}$$

Entonces sumando los valores de F_a y F_r , mediante la (ecuación 60), obtenemos el valor total del esfuerzo tangencial de la banda el cual es:

$$F_u = 16,33 + 151,524 = 167,854 \text{ daN}$$

- **Potencia del tambor**

Hipóticamente una eficacia del reductor y de eventuales transmisiones = 0,86. La potencia necesaria para el motor en kW será:

$$P = \frac{F_u \times v}{100 \times n} \text{ [Ec. 61]}$$

Donde:

F_u = El esfuerzo tangencial total de la banda [daN]

v = velocidad de la banda [m/s]

n = eficacia del reductor

Sustituyendo los valores en la (ecuación 61) se obtiene una potencia de:

$$P = \frac{167,854 \times 0,5}{100 \times 0,86}$$

$$P = 0,97 \text{ kW}$$

- **Tensión de la banda**

La tensión después del tambor

$$T2 = Fu \times Cw \text{ [Ec. 62]}$$

Donde:

$T2$ = La tensión después del tambor [daN]

Fu = El esfuerzo tangencial total de la banda [daN]

Cd = factor de abrazamiento según la figura, es de 0,42

Tab. 12 - Factor de abrazamiento Cw

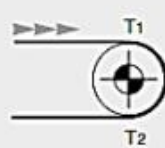
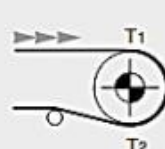

| Tipo de motorización | Ángulo de abrazamiento α | tensor de contrapeso tambor | | tensor de tornillo tambor | |
|---|---------------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|
| | | sin revestimiento | con revestimiento | sin revestimiento | con revestimiento |
|  | 180° | 0.84 | 0.50 | 1.20 | 0.80 |
|  | 200° | 0.72 | 0.42 | 1.00 | 0.75 |
| | 210° | 0.66 | 0.38 | 0.95 | 0.70 |
| | 220° | 0.62 | 0.35 | 0.90 | 0.65 |
| | 240° | 0.54 | 0.30 | 0.80 | 0.60 |
|  | 380° | 0.23 | 0.11 | - | - |
| | 420° | 0.18 | 0.08 | - | - |

Figura 63. Factor de abrazamiento

Fuente: Informaciones técnicas y criterios para el diseño de bandas transportadoras

Sustituyendo los valores se obtiene:

$$T2 = 151,524 \times 0,42 = 63.640 \text{ daN}$$

La tensión máxima después del tambor

$$T1 = Fu + T2 \text{ [Ec. 63]}$$

Donde:

T1 = La tensión máxima después del tambor [daN]

Fu = El esfuerzo tangencial total de la banda

T2 = La tensión después del tambor [daN]

Sustituyendo los valores, en la (ecuación 63) se obtiene que el valor de la tensión máxima después del tambor es de:

$$T1 = 151.524 + 63.640 = 215,164 \text{ daN}$$

La tensión en el tambor de retorno

$$T3 = T2 \quad Fr \text{ [Ec. 64]}$$

Donde:

T3 = La tensión en el tambor de retorno [daN]

T2 = La tensión después del tambor [daN]

Fr = l esfuerzo de la tensión de la parte giratoria inferior [daN]

Sustituyendo los valores en la (ecuación 64) se obtiene un valor de la tensión en el tambor de retorno de:

$$T3 = \quad = 38,110 \text{ daN}$$

La flecha de flexión

$$T0 = 6,25 \times (qb + qG) \times a0 \times 0,981 \text{ daN [Ec. 65]}$$

Donde:

T0 = La tensión en el tambor de retorno [daN]

qb: peso por metro línea de la banda [Kg m]

qG: peso de material a transportar por metro lineal [$Kg \ m$]

Sustituyendo los valores en la (ecuación 64) se obtiene que el valor de la tensión en el tambor de retorno es:

$$T_o = 6,25(13,45 + 0,0412) (1,20) (0,981) = 82,71 daN$$

Como la tensión T3 es menor que la tensión To, por lo que se tendría que utilizar un contrapeso dimensionado para obtener la tensión T0. Por lo tanto, se asume que T3= T0

La tensión Tg en el punto de la banda en dispositivo de tensión

$$Tg = 2 \times T3 [Ec. 65]$$

Donde:

Tg = La tensión en el punto cero de la banda

T3 = La tensión en el tambor de retorno [daN]

Sustituyendo los valores se obtiene:

$$Tg = 2 \times 82,71 = 165,42 daN$$

4.3 Determinar los procesos de tratamientos térmicos a realizar y las temperaturas correspondientes para cada uno.

Para la determinación de los tratamientos térmicos debemos tener en cuenta los equipos y herramientas, así como mano de obra capacitada las cuales son necesarias ya que cada contar con ciertos factores para que sea llevado a cabo de manera efectiva.

Tipo de tratamientos.

Los tratamientos térmicos seleccionados a llevar a cabo son principalmente el temple el cual requiere un método de enfriamiento rápido de la pieza previamente calentada esto en un fluido como el agua por otra parte el agua debe mantenerse a una temperatura determinada de 24°C para garantizar el proceso de manera efectiva, por otra parte, esta tenemos un proceso de recocido el cual necesita un control en cuanto a la temperatura de calentamiento ya que no puede ser tan elevada.

4.3.1 Tanque de enfriamiento

La realización del temple de los discos de forma manual utilizando con pinzas largas, con estas se sujetará el disco por un costado para facilitar la manipulación a la hora de introducir los discos en el agua para realizar el temple, en vista de esto optamos por utilizar agua para este procedimiento, ya que de esta manera eliminamos el riesgo de incendio y aumentamos la seguridad del operador al momento de realizar el mismo.

Para este procedimiento se diseñó un sistema de dos tanques, uno destinado al templado de los discos el cual está abierto, y con una capacidad de 1000 litros de agua que puede almacenar, el otro está destinado a almacenar agua a temperatura ambiente, este con una capacidad de 1500 litros de agua, este tanque esta estará cerrado con una tapa para evitar la contaminación del agua con desperdicios provenientes del ambiente, también usaremos un filtro que estará posicionado en la entrada de succión de la bomba para proteger a la misma de la escoria presente en el agua proveniente del proceso de temple, unido a este tenemos una bomba cuya finalidad es la de enviar el agua almacenada en el tanque número dos de vuelta al tanque número uno con el fin de que exista una recirculación de fluido y que de esta forma el agua mantenga una temperatura apropiada para realizar el proceso de temple de una manera apropiada, cabe resaltar que entre el tanque número uno y el tanque numero dos existen tres conductos de tuberías para que el agua caliente proveniente de primer tanque pase al tanque número dos y se complete el circuito para dicha recirculación.

Cada tanque tiene una estructura metálica en su base que los separa del suelo tomando en cuenta un cierto desnivel entre cada uno de los tanques para que el agua pase de un tanque a otro por medio de gravedad, los tanque serán fabricados en aluminio debido a que se trata de un material ligero y resistente, las uniones de tuberías serán de acero galvanizado para protegerlos de la corrosión. Cada tanque contara con un control de nivel de agua para controlar la cantidad de agua que tienen los tanques y saber cuándo es necesario el suministro de más agua, ya que el tenemos en cuenta que cierta cantidad de la misma de ira

evaporando durante el proceso. Lo que se quiere lograr con este sistema es que el agua se mantenga a una cierta temperatura y cada tanque tenga una cierta cantidad de agua, de modo que el proceso sea óptimo.

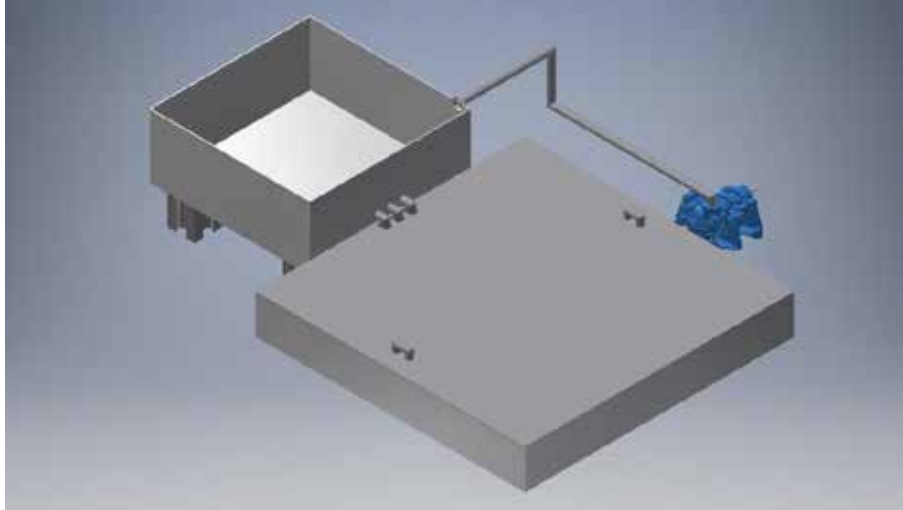


Figura 64. Tanque de enfriamiento

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

4.3.2 Diseño del chiller

Un Chiller es un refrigerador de líquido, que como en un sistema de expansión directa. El chiller como característica principal tiene:

- Mantener el líquido refrigerado cuando funciona en función frío.
- Mantener el líquido calentado en función bomba de calor.

La idea consiste en extraer el calor generado en un proceso por contacto con agua a una temperatura menor a la que el proceso finalmente debe quedar. Así, el proceso cede calor bajando su temperatura y el agua, durante el paso por el proceso, la eleva. El agua ahora "caliente" retorna al chiller, donde nuevamente se reduce su temperatura para ser enviada nuevamente al proceso.

- Características del chiller

La presentación de los enfriadores de agua, varían en sus dimensiones y formas, dependiendo de factores como capacidad de refrigeración y fabricante de los mismos, dentro de la composición de los chiller se usan varios tipos de compresores según su función. Para el caso de los evaporadores, pueden ser de casco y tubos o de placas según sea su aplicación.

Generalmente, los condensadores componentes de un chiller son enfriados por aire. Los chillers son equipos mecánicos que basan su funcionamiento en la transferencia de calor de una sustancia a través de un refrigerante con el fin de disminuir la temperatura de salida del fluido.

- Componentes del chiller

Los chiller son equipos básicos de refrigeración por lo que sus componentes son los siguientes detallados en la figura 72.



Figura 65. Componentes del chiller

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

- 1) Compresor (es) de refrigeración
- 2) Intercambiador de calor del tipo casco y tubo
- 3) Condensador
- 4) Circuito de control
- 5) Líneas y accesorio de refrigeración
- 6) Gabinete
- 7) Refrigerante R-22 o ecológico.

- Compresor

El compresor es el principal componente del equipo chiller, debido a que su función es la impulsión o circulación del refrigerante por todo el sistema; extrae el refrigerante en estado gaseoso a baja presión y temperatura, lo hace posible de condensar por medio del aumento

De presión y temperatura. Por las tuberías de descarga hacia el condensador, circula el refrigerante a alta presión y temperatura.



Figura 66. Compresor

Fuente: Martínez y Mujica

- **Condensador**

El condensador es un dispositivo de intercambio de calor muy parecido al evaporador, que se encarga de expulsar el calor del sistema que ha sido absorbido por el evaporador. El condensador funciona a presiones y temperaturas más elevadas que el evaporador y suele estar situado en el exterior. No obstante, los materiales de los que está hecho el condensador y el medio que se utiliza para la transferencia de calor, hacen que el rendimiento del intercambiador de calor disminuya debido a las condiciones externas de trabajo, tales como el agua en condensadores refrigerados por agua o elementos abrasivos como polvo en condensadores refrigerados por aire.



Figura 67. Condensador

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

- **Intercambiador de calor**

Se trata de un intercambiador de calor de casco y tubo, cuya función se basa en la transferencia de calor del líquido a refrigerar hacia el refrigerante. En el evaporador, el refrigerante cambia de estado líquido a gaseoso y dirige este gas a baja presión hacia el compresor para volver a inicial el ciclo del sistema. Los principales componentes del evaporador son la cámara de calefacción y la de evaporación. Estas cámaras son separadas por la circunferencia sólida contenida en los tubos, por los cuales se realiza el intercambio de calor.



Figura 68. Intercambiado

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

- **Dispositivos y controles**

Para que un sistema Chiller trabaje de manera automática, hay que proveerlo de determinados dispositivos eléctricos. Estos controles son termostatos, presostatos y relés (protección eléctrica). Los dispositivos y controles más importantes que componen un Chiller son los mencionados a continuación.

Termostato: Estos dispositivos se los implementa con la finalidad de que den marcha o interrumpan un proceso cuando hay una variación de temperatura.

Presostatos: El presostato de baja presión va instalado en la succión del compresor y actúa en el caso de que detectara bajas de presión en el sistema, sea esta ocasionada por temperatura baja en el fluido, falta de refrigerante o taponamiento en las líneas del sistema. El presostato de alta presión se utiliza como elemento de seguridad, ya que actúa al haber aumentos de presión en niveles que sobrepasen los permitidos en el sistema, este elemento se debe restablecer manualmente.

Calefactor de cárter: El objetivo de este elemento es calentar el aceite del compresor de manera tal que al momento de poner en marcha el sistema, el aceite pueda alcanzar una viscosidad idónea. Cuando se apaga el equipo, el calefactor trabaja evaporando cualquier residuo de refrigerante resultante de la operación y se desenergiza de manera automática en la puesta en marcha.

Filtro deshidratador de succión: Este elemento se implementa en la línea de succión del compresor y su objetivo es extraer la humedad que pueda contener el refrigerante o cualquier partícula no deseada en el sistema.

Filtro deshidratador de líquido: Este elemento se implementa en la línea de líquido del sistema y su función es la misma del elemento anterior.

Indicador de líquido o cristal mirilla: También se instala en la línea de líquido y sirve para medir la cantidad y el nivel de humedad del refrigerante.

Circuito de control: Se trata de varios elementos eléctricos conectados a un tablero, y que realizan la puesta en marcha y parada del sistema, así como también las determinadas alarmas del mismo.

El Gabinete abarca los controles en general y sirve de respaldo a los componentes del sistema.

El refrigerante extrae el calor del fluido a enfriar y lo dispersa en un medio enfriante como agua o aire.

- **Bombas de agua**

Las bombas de agua mueven líquidos como agua, glicol, aceites, lodos, entre otros. Las Bombas de agua son muy utilizadas en muchas aplicaciones de Chiller portátil. El tipo más común para estas aplicaciones es la bomba centrífuga.

Las bombas centrífugas son clasificadas en tres categorías básicas:

- De flujo radial
- De flujo mixto
- De Flujo axial

La bomba Centrífuga, de presión de flujo radial, es desarrollada íntegramente por la fuerza centrífuga. La presión de las Bombas de agua Centrífugas de flujo mixto es desarrollada en parte de la fuerza centrífuga y en parte por la elevación del impulsor. En bombas de líquido axial la presión de la bomba es desarrollada por el movimiento de retroceso o la acción de elevación de las alabes de la turbina y en el líquido el impulsor y la voluta son los componentes principales de una bomba centrífuga. El impulsor produce la velocidad en el líquido y la voluta esfuerza los líquidos para descargar la velocidad y presión que la bomba convierte.

- **Dimensiones del chiller**

La implementación de un intercambiador de calor es imperativa para el tratamiento térmico, se determinó que debe haber una correlación entre las zonas de ubicación del chiller y los tanques, así como también con la zona de trabajo de los operadores, de tal manera que ninguna instalación ya sean de tuberías u otros dispositivos interfieran con esta zona de trabajo. Se designo una zona en la parte posterior derecha del tanque número dos en cual tiene una dimensioe de un ancho de 2.1 metros, una altura de 0,3 metros y una profundidad de 2.1 metros. Para la colocación del chiller el cual mide 2 metros de largo con una separación de medio metro del tanque de esta manera nos aseguramos que no existirían problemas a la hora de la operación o cualquier otra tarea, como mantenimiento del tanque, etc.

- **Ciclo de refrigeración del chiller**

El Ciclo de Refrigeración por compresión del chiller se encarga de recoger el calor del agua para bajarle suficientemente la temperatura y convertirla en la llamada “Agua helada”. Este proceso ocurre en el evaporador del chiller. El compresor se encarga de llevar el refrigerante al condensador del ciclo de refrigeración que es enfriado por un circuito de agua secundario que no tiene nada que ver con el circuito de agua helada.

El agua que enfría al condensador del ciclo de refrigeración recoge el calor proveniente del refrigerante. Este calor es trasladado por el circuito de agua secundaria hacia una torre

de enfriamiento, donde el agua puede abandonar el calor y regresar a su temperatura inicial para volver a retornar al condensador del circuito de refrigeración. Después del condensador el refrigerante dentro del circuito de refrigeración llega al dispositivo de expansión para retornar la presión original y volver a estar frío para reiniciar el ciclo.

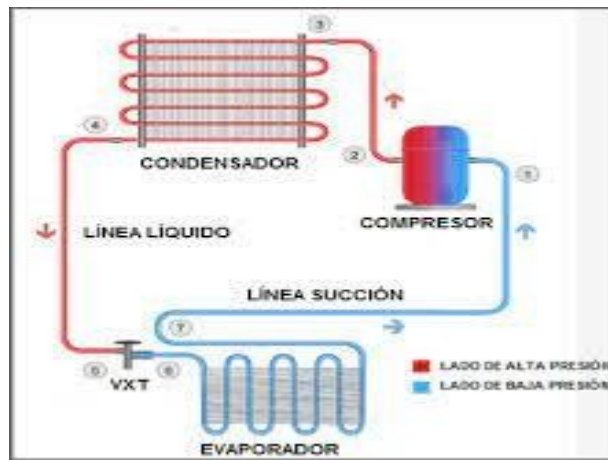


Figura 69. Ciclo de refrigeración

Fuente: Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2009.

- **Cálculo para la selección del equipo generador de agua helada.**

El proceso de selección es de mucha importancia por lo que se deben considerar muchas variables dentro de éste. Se debe considerar la temperatura de trabajo, el aumento de la demanda de producción de agua helada para el proceso, las condiciones climáticas en el cual va a trabajar el equipo, la variabilidad de la potencia eléctrica en el lugar a instalar entre otras. La selección de la unidad generadora de agua helada se debe basar principalmente, en el tipo de proceso para el que va a ser utilizado el equipo, la temperatura de trabajo, la capacidad térmica, y las características del agua.

- **Rangos de Temperatura y caudal.**

Debido a su ubicación ecuatorial costanero la ciudad de Calabozo tiene una temperatura cálida con una media anual de 30°C. El rango de temperatura en este proceso está entre los 30°C, que en promedio se tiene como temperatura ambiente del agua en el lugar propuesto de instalación; hasta los 24°C, que es la temperatura óptima utilizada en el

proceso. La capacidad del caudal que se necesita para que el dispositivo enfríe el agua que va hacia el tanque de enfriamiento de 1500 l, el cual se llena por una bomba de 1 Hp en un tiempo de 25 minutos por lo tanto el caudal del chiller sería de:

$$q = \frac{1500 \text{ l}}{25 \text{ min}} = 60 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

$$q = 60 \frac{\text{l}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \times \frac{60 \text{ min}}{1} = 3,6 \text{ m}^3$$

El valor del caudal de trabajo que va a tener el chiller es de $3,6 \text{ m}^3$

- **Selección del equipo según el requerimiento energético.**

Se consideran dos tipos de equipos según su rango de consumo de energía.

- Bajo. - que va desde los 100 a los 700 Watts.
- Alto. - que va desde los 740 Watts a más.
- **Método de selección del equipo según sus condiciones ambientales**

Si la temperatura ambiente se encuentra por encima de los $20 \text{ }^\circ\text{C}$ se debe agregar un

enfriados por aire son vulnerables a flujos restringidos, además su rendimiento satisfactorio depende de la limpieza y temperatura del aire.

Una reducción en su capacidad en 1,8% por cada grado de incremento de temperatura (1% por $^\circ\text{C}$), cuando la unidad debe operar en temperaturas ambiente por encima de los $35 \text{ }^\circ\text{C}$, por lo tanto, la unidad debe instalarse del modo que el aire caliente no sea recirculado.

- **Balance de Carga Térmica.**

La selección de la unidad generadora de agua helada se la realiza según las capacidades calculadas con anterioridad.

Para determinar la carga térmica es necesario obtener la cantidad de calor absorbido en el proceso (CENGEL, 2006), por tanto:

$$Q_{ABS} = Cp \cdot q \cdot (t1 - t2) \text{ [Ec. 66]}$$

Donde:

QABS: flujo de calor en el absorbente [W]

Cp: calor específico de agua [$\frac{J}{Kg}$]

T1= Temperatura ambiente en []

T2= Temperatura ambiente del agua en []

q = Caudal de trabajo [m^3]

En el caso de este proceso:

$$q = 3,6 \text{ m}^3$$

$$t1 =$$

$$t2 =$$

$$Cp = 4186.8 \text{ J/Kg}$$

Sustituyendo los valores en la (ecuación 66) se obtiene que el valor del balance es de:

$$Q_{ABS} = 4186.8 \frac{J}{Kg} (3,6 \text{ m}^3) [1000 \frac{kg}{m^3}] ()$$

$$Q_{ABS} = 90434880 \text{ W} \quad 90434,880 \text{ Kw} \times \frac{1 \text{ TR}}{3,517 \text{ kW}}$$

$$Q_{ABS} = 25,713 \text{ TR}$$

Para este proceso se agrega un 10% de factor de seguridad a la carga térmica.

$$Q_{ABS} = 25,713 \times 10\% + 25,713$$

$$Q_{ABS} = 28,284 \text{ TR}$$

La temperatura ambiente donde se va a operar se encuentra por encima de los 20 °C, por lo tanto, se debe agregar un 1% a los BTU/hr calculadas por cada de los 20 °C.

Entonces se tiene que $T = 30$ = 18 , por lo tanto $\frac{10}{17} = 0,58$, entonces el factor de funcionamiento a una temperatura ambiente de 30 °C o es de 0,58.

El 1% de $Q_{ABS} = 0,28$, por lo tanto: $0.28 \text{ TR} \times 0.58 = 0.16$

$$Q_{ABS} = 28 \text{ TR} + 0.16 = 28,16 \text{ TR}$$

- **Sobrecalentamiento y Sub-enfriamiento.**

El sub-enfriamiento debe revisarse antes de establecer el sobrecalentamiento, la temperatura de sub-enfriamiento debe ser obtenida tomando la temperatura del líquido refrigerante a la salida del condensador y la presión de la válvula de servicio, convirtiéndola en temperatura por medio de una tabla presión/temperatura del refrigerante utilizado.

Refrigerante R

$$15,4 \frac{kg}{cm^2} (220PSI_g) R$$

Presión de válvulas de servicio = 42°C

Temperatura de línea de líquido = 34 °C

Sub-enfriamiento = 9 °C

Una vez establecido el sub-enfriamiento se procede al ajuste del sobrecalentamiento, el cual debe ser establecido después de que la operación del enfriador sea estable y de que el líquido haya bajado a la temperatura requerida.

El sobrecalentamiento es la diferencia entre la temperatura real del gas refrigerante del retorno, entrando al compresor y la temperatura correspondiente a la presión de succión.

Temperatura de Succión (7 °C) R

$$4.2 \frac{kg}{cm^2} (60PSI_g)$$

En Válvula de succión = 1°C.

Sobrecalentamiento = 12,22 °C

La temperatura de succión debe tomarse a 0,15 m antes de la válvula de succión del compresor y la presión se toma en la válvula de succión del compresor. Un indicaría una insuficiencia de carga.

- **Análisis de las especificaciones del chiller**

Se muestra un listado con las especificaciones y requerimientos técnicos con las cuales debía trabajar el equipo, gracias al diseño adecuado y una selección apropiada de materiales se logró cumplir con todos los puntos.

Tabla 7. Especificaciones del chiller

| ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO | |
|---|--------------------|
| Caudal de trabajo | 3,6 m ³ |
| Temperatura del agua a condensar | 24 °C |
| Temperatura ambiente | 30 °C |
| Capacidad nominal total en kW | 90434,880 Kw |
| Temperatura de sub enfriamiento | De 5°C a 9 °C |
| Temperatura de sobre calentamiento | °C |
| Cantidad de compresores | 1 |
| Refrigerante | R o ecológico |
| Ciclo del trabajo | 100% continuo |
| Suministro de energía | Trifásico |
| | |

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

4.3.3 Medidas de seguridad para realizar la operación del horno

Dada la cantidad de riesgos que existen, es preciso realizar una exhaustiva evaluación de riesgos para que los responsables de prevención puedan adoptar las medidas oportunas. Eliminar los riesgos por completo no siempre es posible por lo que es necesario valorar aquellos que puedan ser minimizados a través de una serie de medidas generales en cuanto a seguridad y salud de los trabajadores en su puesto de trabajo. Los trabajadores necesitan buenas prácticas de trabajo, ventilación adecuada y equipos de protección personal (PPE, por sus siglas en inglés) para estar seguros.

- **Vestuario laboral**

Confeccionado con tejido ignífugo, que repela las salpicaduras y minimice la transferencia de calor, evitando que arda o se produzcan quemaduras. Es importante la combinación decolores para facilitar la visibilidad de los operarios (ver figura70).



Figura 70. Vestuario laboral

Fuente: IUNCA

- **Calzado de seguridad**

Los requisitos básicos que debe cumplir son la calidad de los materiales utilizados para su fabricación; resistencia en la punta para evitar aplastamientos por caídas de objetos; capacidad de la suela para absorber energía; suela antideslizante, aislamiento eléctrico y térmico; diseño ergonómico y facilidad de mantenimiento (ver figura71).



Figura 71. Calzado de seguridad

Fuente: IUNCA

- **Protección facial, ocular y de la cabeza**

Cascos y gafas protectoras frente a impactos a alta velocidad; pantalla facial para protección frente a impactos a velocidad media y protección frente a radiaciones térmicas (ver figura72).



Figura 72. Protección facial, ocular y de la cabeza

Fuente: IUNCA

- **Protección respiratoria**

Filtros de boquilla, mascarilla o máscaras dependiendo del tipo de contaminantes a los que se esté expuesto (ver figura73).



Figura 73. Protección respiratoria

Fuente: IUNCA

- **Protección auditiva**

Orejeras protectoras del ruido o tapones, dependiendo de la intensidad y tiempo que se esté expuesto al mismo (ver figura74)



Figura 74. Protección auditiva

Fuente: IUNCA

- **Guantes**

Deben proteger acciones mecánicas, eléctricas, térmicas y químicas (ver figura75).



Figura 75. Guantes para sujetar las piezas de trabajo

Fuente: IUNCA

- **Pinzas para sujetar los discos**

Es una herramienta tipo pinza modificada, especial para sujetar ya sean crisoles u otros objetos muy calientes. Básicamente es un dispositivo de seguridad que brinda protección contra quemaduras de calor o químicas. Son parecidas en forma a una tijera, remplazando las hojas cortantes por un par de puntas dentadas (ver figura76).



Figura 76. Pinzas dentadas

Fuente: IUNCA

Todos estos equipos de protección individual están sujetos a una normativa de calidad y seguridad que podemos consultar en el portal del instituto nacional de seguridad e higiene en el Trabajo.

- **Formas de reducir los riesgos que ocasionen accidentes**
- Mantener un estricto plan tanto de mantenimiento como de constante supervisión en cuanto a algunos de los dispositivos del horno
- Válvula de seguridad
- Utilizar el tipo de válvula adecuado.
- Realización de pruebas para corroborar que se encuentra debidamente cerrada.
- No está permitido encender un quemador en caso de que la válvula no esté cerrada.
- **Normativas de hornos industriales.**

Como todo dispositivo industrial se rige varias ciertas normas internacionales destinadas a su método de utilización, la normativa para los sistemas de combustión está un

Poco dispersa, por lo que es necesario consultar más de una regulación para seguir los lineamientos.

- NOM 001

Norma que abarca muchos aspectos de la industria en general, entre ellos la seguridad.

NOM 027 - SEDG

Norma de seguridad de falla de flama que establece que quienes manejan sistemas de combustión (gas o combustóleo) deben contar con los dispositivos apropiados y ciertas especificaciones. Esta norma es una buena referencia, sin embargo, fue cancelada hace unos años.

- NOM 004

Enfocada a la seguridad física del personal que labora en la industria. En México no hay una norma específica que hable exclusivamente sobre los sistemas de combustión para hornos. Además de estas existen otras normas, pero por su falta de especificidad en Nutec Bickley preferimos basarnos en las internacionales.

- Normativas de hornos industriales en el resto del mundo

USA - NFPA 86

Es la norma más aceptada en México y habla de los requerimientos para hornos de tipo A, B y C.

Hornos tipo A: Trabajan con elementos volátiles o elementos combustibles que pueden ser explosivos.

Hornos tipo B: No contienen sustancias volátiles, es el tipo de horno más común en el mercado.

Hornos tipo C: Poseen atmósferas controladas que pueden ser peligrosas, donde se inyectan sustancias a la atmósfera del horno para lograr ciertas propiedades de producto.

Regula 2 aspectos importantes:

a) La combustión: Dispositivos mecánicos que debes tener, como reguladores de presión y válvulas de seguridad.

b) Control de la combustión: Cómo deben ser los arreglos eléctricos para que estos dispositivos operen de forma segura.

Canadá - CSA - B149.3

Regula proyectos en Canadá y es muy parecida a la NFPA 86 pero más estricta.

Para aplicar a esta norma los componentes deben contar con la estampa de “Aprobado para CSA”.

Se puede dar el caso de que los instrumentos del horno cuenten con la estampa de CSA, pero si el fabricante del instrumento no la reválida, el producto puede perder la certificación. Hay que asegurarse de que la estampa esté vigente al momento de poner en servicio el equipo.

Europa - EN746-2

Cuenta con los estándares más avanzados a nivel mundial en la industria. No basta con cumplirla, sino que es necesario que la agencia certificadora entregue una estampa “CE”. La empresa puede auto certificarse, pero el proceso es muy complicado y extenso, por lo que es preferible hacerlo con ayuda de una agencia especializada

4.3.4 Análisis de las especificaciones del horno

La tabla 8, muestra un listado con las especificaciones y requerimientos técnicos con las cuales debía trabajar el equipo, gracias al diseño adecuado y una selección apropiada de materiales se logró cumplir con todos los puntos

Tabla 8. Especificaciones del horno

| ESPECIFICACIONESTÉCNICASDEL EQUIPO | |
|---|-----------------------|
| Dimensiones de la cámara de calentamiento | 1,488 × 0,410 × 2,7 m |
| Dimensiones externas del horno | 1,64 × 0,50 × 2,7 m |
| Volumen de la cámara de calentamiento | 1,6472m ³ |
| Temperatura mínima de trabajo | 30 °C |
| Temperatura máxima de trabajo | 1200 °C |
| Capacidad del disco que pueden ser tratados térmicamente | 6 disco |
| Tiempo de permanencia del disco en el horno | Entre 5 y 6 min |
| Potencia | 796,199 kW |
| Rendimiento | 93.90% |
| Alimentación | 220V |
| Amperaje | 3496,359 A |
| Conexión eléctrica del horno | Trifásica |

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

4.3.5 Análisis del costo de los materiales

Se realiza el presupuesto ingresando las cantidades y valores de los materiales, las herramientas o elementos que se va a utilizar para realizar la construcción del horno eléctrico. Es importante aclarar que la cotización se realiza con los precios actuales del mercado nacional, pero esto puede generar una variación con respecto al constante cambio que presenta el precio del dólar, ya que hay materiales que no son fabricados en Venezuela,

pero sí son importados. Se resalta la importancia del presupuesto ya que sirve de guía durante la ejecución o construcción del horno eléctrico.

El costo total del horno es \$5537,32 pesos, donde el mayor costo se lo lleva la adquisición de herramientas haciendo elevar su costo en comparación con un horno convencional.

Teniendo las herramientas y fabricándolos hornos en mayor cantidad baja el costo comercial siendo competitivos en el mercado como su puede ver en la tabla 9.

Tabla 9. Costo de los materiales

| Descripción | Cantidad | Unidad | Valor Unitario | Valor Total |
|---------------------------------------|-----------------|---------------|-----------------------|--------------------|
| Controlador de temperatura/o procesos | 1 | unidad | 215,04 | 215,04 |
| Temporizador analógico digital | 1 | unidad | 30,36 | 30,36 |
| Termocupla tipo K | 1 | unidad | 29,98 | 29,98 |
| Relé de estado sólido SSR100A | 1 | unidad | 20,51 | 20,51 |
| Disipador de calor para SSR | 1 | unidad | 5,52 | 5,52 |
| Relé auxiliar | 1 | unidad | 10,81 | 10,81 |
| Base para relé | 1 | unidad | 5 | 5 |
| Indicador luminoso | 3 | unidades | 2,16 | 6,48 |
| Breaker 2P63A220V | 1 | unidad | 8,81 | 8,81 |
| Switch interruptor | 2 | unidades | 3 | 6 |
| Cable 3X8AWG | 3 | metros | 2,80 | 8,40 |
| Cable 2X16AWG | 5 | metros | 0,76 | 3,80 |
| Enchufe trifásico 220V | 1 | unidad | 5,40 | 5,40 |
| Ladrillos refractarios | 80 | unidades | 3,50 | 280 |
| Mortero refractario | 25 | kilogramos | 1,12 | 28 |
| Concreto refractario | 25 | kilogramos | 1,57 | 39,25 |
| Resistencia de Kanthal A-1 | 35,24 | metros | 5 | 176,24 |
| Manta de fibra cerámica | 6 | metros | 20 | 120 |
| Lámina de acero de 2mm | 4 | unidades | 37,80 | 151,20 |

| | | | | |
|--|----|--------------|-------|----------------|
| Banda transportadora de acero inoxidable | 1 | unidad | 2000 | 2000 |
| Rodillos de la banda transportadora | 5 | unidades | 20 | 100 |
| Reductor Busi De 1 3/4 a 1 Galvanizado | 1 | unidad | 2,78 | 2,78 |
| Base de la banda tubo cuadrado estructural | 22 | 220x220x12 m | 6,67 | 146,74 |
| Bomba De Agua Periférica De 1 Hp | 2 | unidad | 65,72 | 131,44 |
| Laminas acero 4140 Lisas para el tanque | 9 | unidades | 122 | 1098 |
| Tubo Redondo H P. 1 pulg | 5 | unidades | 1,67 | 8,35 |
| Vestuario laboral | 2 | unidades | 70 | 140 |
| Calzado de seguridad | 2 | unidades | 65 | 130 |
| Protección facial, ocular y de la cabeza | 2 | unidades | 25 | 50 |
| Protección respiratoria | 2 | unidades | 18,64 | 37,29 |
| Protección auditiva | 2 | unidades | 5,90 | 11,80 |
| Guantes | 2 | unidades | 34,21 | 68,43 |
| Pinzas dentadas | 6 | unidades | 15 | 90 |
| Compresor | 1 | unidades | 81,80 | 81,08 |
| Condensador | 1 | unidades | 96,50 | 96,50 |
| Intercambiador de calor | 1 | unidades | 200 | 200 |
| Refrigerante R 22 | 1 | unidades | 93 | 93 |
| TOTAL (USD) | | | | 5537,32 |

Fuente: Martínez y Mujica (2021)

4.4.6 Análisis e interpretación de los resultados obtenidos

En cuanto al diseño mecánico y térmico, se procedió a definir los factores más importantes y determinantes para la selección de materiales, dimensionamiento y demás elementos constituyentes. Tales como calentamiento por resistencia. La temperatura de trabajo hasta los 1200 grados Celsius de acuerdo a la disponibilidad de los elementos refractarios en el mercado nacional. una vez realizada la parte mecánica, térmica y eléctrica del horno se procedió a realizar el sistema de control automatizado, en este sistema todos los elementos o componentes tecnológicos deben estar relacionados entre sí, de manera que trabajen en conjunto para realizar el trabajo sin intervención de agentes externos, incluyendo el factor humano.

Y teniendo presente la señal de salida, la cual es la variable que se debe controlar para obtener el valor deseado o estar dentro de un rango aproximado, también se la conoce como variable controlada. Es evidente mencionar que los discos de corte agrícola son un conjunto de casquetes esféricos hechos de acero, los mismos son piezas que forman parte de una maquina agrícola llamada rastra o rastra de disco unida a ella por un eje común.

En cuanto al proceso operativo o práctico, es preciso resaltar que la realización del temple de los discos de forma manual utilizando con pinzas largas, en vista de esto optamos por utilizar agua para este procedimiento, ya que de esta manera se elimina el riesgo de incendio y se aumenta la seguridad del operador al momento de realizar el mismo. Mediante la implementación de este proyecto se pudo aplicar todos los conocimientos adquiridos en la carrera universitaria, además de permitir a los estudiantes conocer el proceso de realizar un tratamiento térmico en las piezas. Una vez realizada la parte mecánica, térmica y eléctrica del horno se procede a realizar el sistema de control automatizado, en este sistema todos los elementos o componentes tecnológicos deben estar relacionados entre sí, de manera que trabajen en conjunto para realizar el trabajo sin intervención de agentes externos, incluyendo el factor humano. Además, el conjunto debe ser capaz de corregir posibles fallas que ocurran durante el funcionamiento, o alertar de alguna manera al usuario para identificar los problemas que se presenten.

Para entender de mejor manera los sistemas de control, es necesario conocer ciertos términos básicos. Sistema es la unión de elementos relacionados que interactúan entre sí, con el objetivo de lograr un fin determinado. Variables del sistema son todas las magnitudes que se someten a control y observación, además definen el comportamiento del sistema.

Dentro de este marco de ideas se logró demostrar que los discos cumplen con su función de manera eficaz y esto se debe a que cuentan con una alta resistencia y tienen una alta dureza, debido a que su trabajo, y se pueden utilizar en diferentes ambientes externo afectado por varios factores ambientales, de los que se pueden resaltar la humedad, los diferentes tipos de suelos que son trabajados, los impactos ocasionales con grandes rocas, entre otras. Ya que son fabricados utilizando materiales como el acero al carbono y diferentes procesos para que cumplan con los estándares requeridos. Demostrando su alta calidad y resistencia al trabajo constante, logrando tener una vida útil que favorece al propietario.

En el aspecto técnico operacional. La realización del temple de los discos, se realiza en forma manual utilizando pinzas largas, y se sujeta el disco por el orificio por donde pasaría el eje, para evitar dañarlo y lograr un equilibrio en su manipulación al momento de introducirlo en el agua. Se ha preferido la utilización del agua para el enfriamiento tomando en consideración las ventajas como son el riesgo de incendio y garantiza la seguridad del operador al momento de manipular el disco.

Para este procedimiento se diseñó un sistema de dos tanques, uno destinado al templado de los discos el cual está abierto, y con una capacidad de 1000 litros de agua que puede almacenar, el otro está destinado a almacenar agua a temperatura ambiente, el cual tiene una capacidad de 1500 litros de agua, este tanque está cerrado con una tapa para evitar la contaminación del agua con desperdicios provenientes del ambiente, y colocándole un filtro posicionado en la entrada de succión de la bomba para proteger a la misma de algún objeto presente en el agua proveniente del proceso de temple, cabe resaltar que entre el

tanque número uno y el tanque numero dos existen tres conductos de tuberías para que el agua caliente proveniente de primer tanque pase al tanque número dos.

Cabe resaltar que en este proceso se consideró muy importante la instalación de un chiller, el cual es un dispositivo para refrigerar el agua, el cual está conformado por tres componentes, son ellos un condensador, un evaporador y una compresora. Para un mejor funcionamiento del condensador se usa el refrigerante R 22. A través de este dispositivo se logra un intercambio de calor, manteniendo una temperatura estable de 24 grados Celsius, la cual es la indicada para lograr un temple perfecto, posicionados tanto en la salida como en la entrada de dicho dispositivo estarán acopladas dos bombas que se encargarán de impulsar el agua a través de las tuberías.

Referente a los tanques cada uno tiene una estructura metálica en su base que los separa del suelo tomando en cuenta un cierto desnivel entre cada uno de los tanques para que el agua pase de un tanque a otro por medio de gravedad. Poseen un control de nivel de agua para controlar la cantidad de agua que tienen de capacidad y saber cuándo es necesario el suministro de más agua, ya que la misma se va evaporando durante el proceso. Lo que se quiere lograr con este sistema es que el agua se mantenga a una cierta temperatura y cada tanque mantenga una cierta cantidad de agua, de modo que el proceso sea óptimo. Este proceso de enfriamiento en el agua, tiene una duración de aproximadamente 5 ser en el primer tanque para aliviar las tensiones. Y luego un enfriamiento completo de 5 horas. Referente al suministro de agua para surtir los tanques, en la zona donde funciona la empresa no hay problema de suministro. Sin embargo, se dispone con el apoyo de un pozo profundo, tradicionalmente llamado aljibe, el cual se encuentra en mantenimiento periódicamente, es decir cada seis meses, ante cualquier eventualidad que se pueda presentar en un determinado momento.

En el Diseño del Horno Eléctrico. Se exponen a continuación las principales variables que se consideraron para el diseño mecánico y térmico, los factores más importantes y determinantes para la selección de materiales, dimensionamiento y demás elementos

constituyentes. El equipo cumple los siguientes parámetros. Calentamiento por resistencias eléctricas, temperatura de trabajo hasta los 1200 grados Celsius de acuerdo a la disponibilidad de los elementos refractarios en el mercado nacional. Sin tener una puerta se facilita la maniobra de ingreso y salida del material (disco) a la cámara de tratamiento térmico, y con la disponibilidad de una cinta transportadora para llevar los discos de arado de un extremo a otro por la cámara del horno, temperatura superficial del exterior máxima será de 35 grados Celsius con el fin de garantizar la seguridad de los operarios.

En el presente caso se ha tomado como referencia la temperatura ambiente de calabozo la cual es de aproximadamente 30 y la colocación de un Control eléctrico por medio de PLC, programado para mayor eficiencia. Y efectividad en el tratamiento térmico. Igualmente, el horno puede ser utilizado en el proceso de normalizado y recocido de las piezas.

Los materiales que se utilizan en la construcción del horno en su mayoría se encuentran en el mercado en presentaciones que favorecen una estructura rectangular, tales como los ladrillos refractarios, fibra cerámica, papel cerámico elementos estructurales y planchas rectangulares; por lo anterior se selecciona la configuración cúbica para mayor facilidad de construcción. El horno eléctrico presentará una configuración a partir de las dimensiones de la cámara dispuestas hacia el exterior con paredes verticales y horizontales. En tal sentido, la presente propuesta busca alcanzar dichos parámetros con procesos de tratamientos térmicos de los cuales los necesarios son el temple y el recocido, los cuales consisten en el calentamiento y enfriamiento controlado en un determinado metal con el fin de cambiar sus propiedades físicas y elevar sus propiedades mecánicas, con el temple se busca aumentar la dureza y resistencia del acero calentando el material 1.200°C seguido de un enfriamiento rápido en agua.

CONCLUSIONES

Es importante resaltar que las conclusiones se forman a partir de los objetivos para verificar si estos se Cumplieron o no. Con la finalidad de establecer una relación que debe existir una recomendación para cada conclusión. En relación al presente proyecto relacionado al diseño de un horno multietapa para la aplicación de tratamientos térmicos de temple y recocido en discos de arado agrícola para mejorar las propiedades mecánicas.

En este sentido, se seleccionó una empresa metalmecánica, ubicada en la ciudad de Calabozo Estado Guárico, denominada COMETA. C.A, esta empresa se encuentra localizada en la carretera nacional vía San Fernando De Apure En La Zona Industrial El Que, Comunidad De Misión Abajo, en la cual se realizó todo el proyecto, contando con el apoyo y logística en el aspecto de materiales, equipos y herramientas.

Referente al proceso operativo o practico, una de las maneras más idóneas y sencilla para la realización del temple de los discos es la forma manual, tomando las respectivas precauciones como es la utilización de pinzas largas, las cuales permiten sujetar el disco por el eje u orificio para facilitar la manipulación a la hora de introducir los discos en el agua para realizar el temple. Teniendo como estrategia de apoyo la utilización de agua para este procedimiento, con la finalidad de evitar cualquier accidente laboral que afecte al recurso humano o cause alguna pérdida material.

Es necesaria y muy importante la interrelación que debe existir en el sistema, formando una integración entre todos los elementos o componentes tecnológicos relacionados, con la finalidad que trabajen en conjunto para realizar el trabajo sin intervención de agentes externos, incluyendo el factor humano. Además, el conjunto debe ser capaz de corregir posibles fallas que ocurran durante el funcionamiento, o alertar de alguna manera al usuario para identificar los problemas que se presenten. Lo cual se logra con un el sistema de control automatizado. El horno es calentado por resistencias eléctricas que operan con una potencia de 796,199 kW, con una eficiencia de los 93.95% a una temperatura máxima de

1200°C de funcionamiento basados en las propiedades de los materiales utilizados en el cálculo.

En cuanto a la calidad de material utilizado el cual fue acero AISI 1045, permitió demostrar que los discos si cumplen con su función más eficaz y tienen mayor fortaleza y estos se debe a que cuentan con una alta resistencia y dureza, lo cual favorece su utilización y capacidad para ser utilizado en diferentes tipos de ambientes y en cualquier condición ambiental, ya sea en épocas de lluvias o en verano. En este sentido, se sugiere que las conexiones necesarias que se requieran realizar sean de tuberías de acero galvanizado para protegerlos de la corrosión, lo cual garantiza un mayor tiempo de vida útil

Referente a las medidas de seguridad se debe tener presente que el operador reúna buenas prácticas de trabajo, halla una ventilación adecuada y los indicados equipos de protección personal. Entre los que se pueden mencionar el vestuario laboral y su respectiva Protección respiratoria y auditiva, como son los filtros de boquilla, mascarilla o máscaras dependiendo del tipo de contaminantes a los que se esté expuesto. Las Orejeras protectoras del ruido o tapones, dependiendo de la intensidad y tiempo que se esté expuesto al mismo. Y es imprescindible la utilización de guantes, los cuales permiten proteger las acciones mecánicas, eléctricas, térmicas y químicas.

La ubicación del extintor debe colocarse en un sitio de fácil acceso y libre de obstáculos a una altura aproximada de 1,3 m. Y dicha zona debe estar señalizada con su respectivo nombre extintor.

En caso de una circunstancia que se requiera utilizar el recurso del pozo profundo, es necesario el agua será tratada químicamente, a objeto de disminuir o eliminar la presencia de los materiales pesados, los cuales con su constante uso tienden a dañar las conexiones.

RECOMENSIONES

Basado en las conclusiones que se obtuvieron se lograron realizar las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones o para cualquier otro interesado en este tema.

- Se recomienda capacitar a futuros operadores de forma adecuada en el uso del equipo antes de utilizarlo, para comprender su correcto funcionamiento y evitar daños y accidentes.
- El horno debe ser ubicado en un lugar seco y ventilado, sobre una superficie nivelada y con una separación con las paredes, para garantizar la circulación de aire y sin estorbos de ningún tipo.
- Se recomienda la utilización de indumentaria de seguridad en todo momento de la operación del horno o manipulación de los discos.
- Los equipos de enfriamiento como son el chiller deben ser posicionados de tal manera que no interfieran con la zona de trabajo de los operadores.
- Se recomienda contar con un plan de seguridad donde se detalle rutas de escape y ubicación de extintores al momento de un accidente.
- Se recomienda la disponibilidad de una fuente de energía eléctrica alternativa como una planta eléctrica de 10 mil KVA en caso de fallas en el suministro eléctrico.

REFERENCIAS

- Antonio H. De Aza (2015) **“Corrosión de materiales refractarios por escorias y vidrios fundidos”**. Disponible en: <http://boletines.secv.es/upload/199635087.pdf>
- Arias (2006) **“El proyecto de investigación”** Sexta edición. Editorial Espíteme
- Arias (2012) **“El proyecto de investigación”** Sexta edición. Editorial Espíteme
- Castro (2003) **“El proyecto de investigación y su esquema de elaboración.”** 2da edición
- Cengel, Yunus (2011). **Transferencia de Calor**. Editorial McGraw-Hill, 4ta. Edición. México.
- Cengel, Yunus (2012). **Termodinámica**. Editorial McGraw-Hill, 7ta. Edición. México.
- Diego Fernando Duarte Barrero y Jesús David Vargas Álvarez (2018). **“Diseño de horno eléctrico para tratamientos térmico con atmosfera controlada”**. Fundación universitaria Los Libertadores disponible en: <https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/1562/duartediego2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hurtado Y Toro (1999) **“Paradigma y métodos de la investigación”**. Primera edición
- Hurtado Y Toro (2016) **“Paradigma y métodos de la investigación”**. 5ta edición
- Ing. Jorge Tato López, (2019) **“Materiales refractarios para uso en las fundiciones”**. disponible en: <https://cecma.com.ar/wp-content/uploads/2019/04/presentacion-j-lopez-mat-refractarios-para-usos-en-las-fund-ferrosas.pdf>
- Niño Carrero Jonathan Javier y Rosa Alarcón Jonathan Javier. (2018.), **“Diseño y construcción de un horno al vacío para tratamientos térmicos”**. Tesis de grado. Universidad Pedológica y tecnología de Colombia Facultad de Ingeniería Escuela de Metalúrgica Tunja
- Calleja José Dr. en ciencias químicas. (1971). **“Corrosión interna de la envolvente de acero de los hornos rotatorios para fabricar cemento”**. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9221/1/65T00263.pdf>

KALPAKJIAN, Serope. **Manufactura, Ingeniería y Tecnología**. México: Pearson Educación, 2008, pp 1-5.

Quito Abad, Juan José; Solorzano Peñafiel, Carlos Alberto. 2016. **“Diseño y construcción de un horno para tratamientos térmicos con interfaz gráfica para comprobación de dureza del material tratado”**. Disponible en:

<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/11732>

Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales de La Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL, 2018),

Mora Bagua Cesar Javier Copa y Mullo Enrique (2017) **“Diseño y construcción de un arado de disco para ser acoplado al motocultor YTO DF-15L para la zona de Ecuador”**. Trabajo institucional de la Escuela Superior politécnica de Chimborazo disponible en:

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9221/1/65T00263.pdf>

Nelson Felipe Llovet de Armas, Briseida Fernández García, María Elena Casas Vázquez y Yichsy Rivera Beltrán. Centro de Investigaciones del Petróleo, **“Factores**

tecnológicos que propiciaron deterioro inusual en tubos de horno.”. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612017000200008#:~:text=Dentro%20de%20los%20tipos%20de,a%20altas%20temperaturas%20en%20hornos.&text=La%20oxidaci%C3%B3n%20a%20altas%20temperaturas%20puede%20ser%20del%20tipo%20localizada,la%20pel%C3%ADcula%20que%20se%20forma.

Sabino (1997). **“Proyecto de investigación”**. Tercera edición. Editorial Episteme

ANEXOS

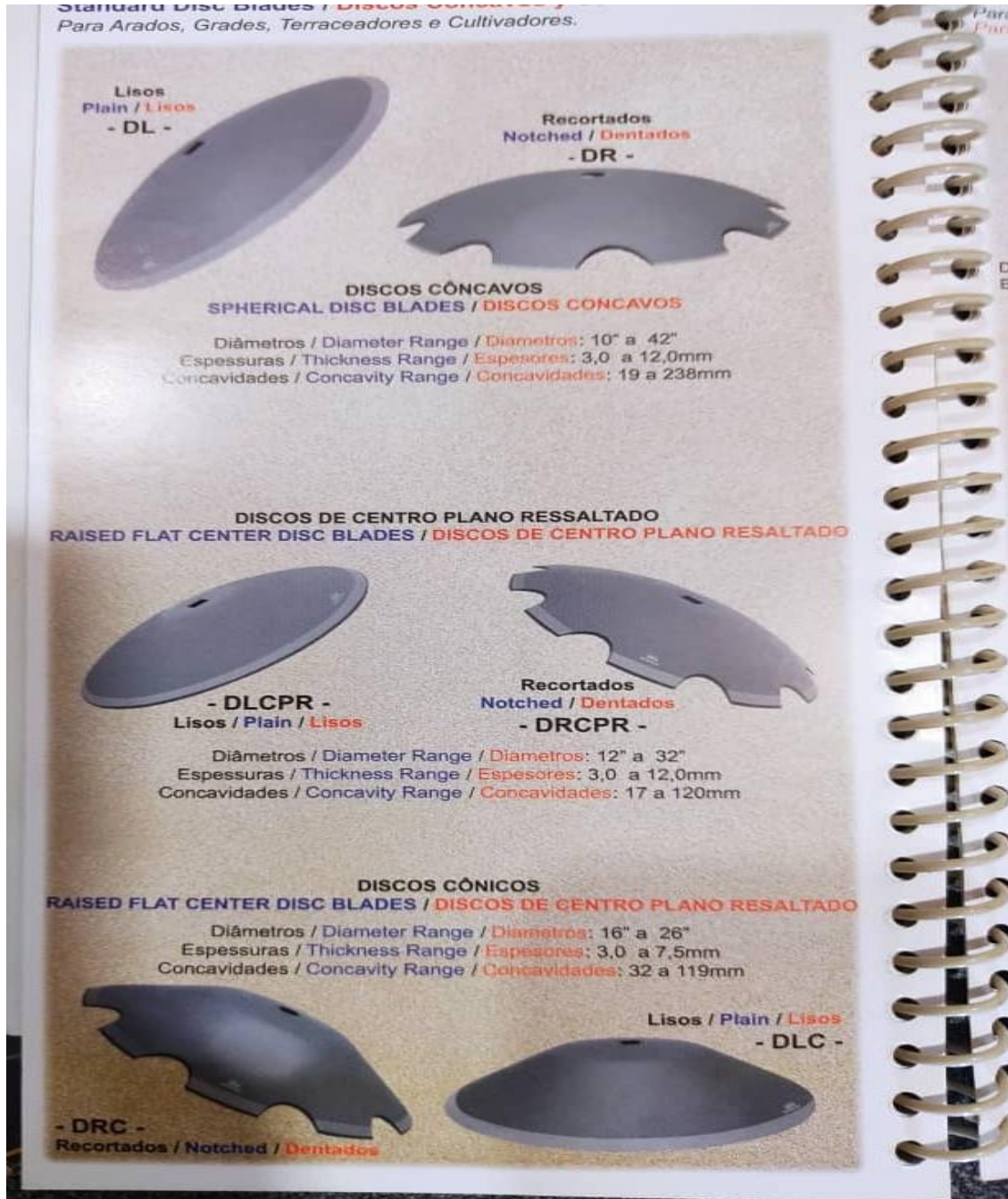
ANEXO A

ESTADO DE LOS DISCO DE ARADOS A LOS CUALES SE LE REALIZARA LOS TRATAMIENTOS TRERMICOS



ANEXO B

CATALOGO DE LAS PROPIEDADES DE LOS DISCO DE ARADO



ANEXO C

CATALOGO DE LAS PROPIEDADES DEL ACERO AISI 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 QUIMICA | 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 D

CATALOGO DE LAS PROPIEDADES DEL TRATAMIENTO TERMICO EN EL ACERO AISI 1045

PROPIEDADES TÍPICAS A TEMPERATURA AMBIENTE CON TEMPLE EN ACEITE - REDONDO DE 25 MM

(Temple en aceite desde 820°C, revenido a la temperatura indicada)

| Temperatura de revenido °C | Resistencia a la tracción MPa | Punto de Fluencia MPa | Elongación (en 50 mm) % | Reducción de área % | Dureza Brinell (3000 Kg.) |
|----------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|---------------------------|
| 320 | 965 | 655 | 11 | 34 | 278 |
| 430 | 875 | 621 | 15 | 39 | 257 |
| 540 | 793 | 558 | 18 | 45 | 228 |
| 650 | 703 | 482 | 23 | 51 | 203 |
| 705 | 641 | 462 | 25 | 55 | 195 |

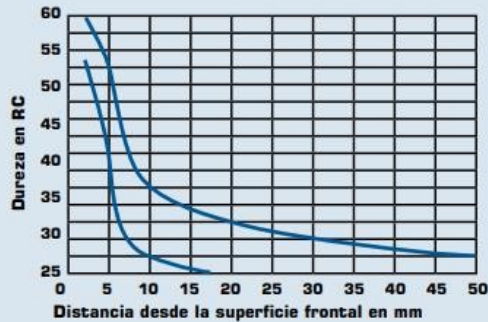


PROPIEDADES TÍPICAS A TEMPERATURA AMBIENTE CON TEMPLE EN AGUA - REDONDO DE 25 MM

(Temple en agua desde 820°C, revenido a la temperatura indicada)

| Temperatura de revenido °C | Resistencia a la tracción N/mm ² | Punto de Fluencia N/mm ² | Elongación (en 50 mm) % | Reducción de área % | Dureza Brinell (3000 Kg.) | Impacto Izod ft - lb |
|----------------------------|---|-------------------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------------|----------------------|
| 320 | 1034 | 786 | 8 | 33 | 313 | 15 |
| 430 | 965 | 731 | 13 | 43 | 281 | 24 |
| 540 | 827 | 621 | 19 | 52 | 242 | 38 |
| 650 | 717 | 503 | 24 | 60 | 210 | 61 |
| 705 | 669 | 455 | 27 | 62 | 198 | 70 |

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 |

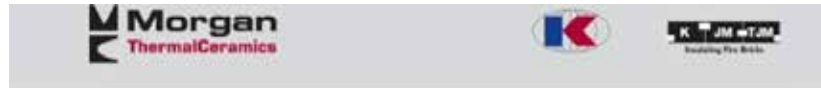
ANEXO E

PROPIEDADES DEL AIRE A 1 ATM DE PRESION

| Propiedades del aire a la presión de 1 atm | | | | | | | |
|--|---|--|---|--|---|--|-----------------------------|
| Temp., T, °C | Densidad, ρ , kg/m ³ | Calor específico, c_p , J/kg · K | Conductividad térmica, k, W/m · K | Difusividad térmica, α , m ² /s ² | Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s | Viscosidad cinemática, ν , m ² /s | Número de Prandtl, Pr |
| -150 | 2.866 | 983 | 0.01171 | 4.158×10^{-6} | 8.636×10^{-6} | 3.013×10^{-6} | 0.7246 |
| -100 | 2.038 | 966 | 0.01582 | 8.036×10^{-6} | 1.189×10^{-6} | 5.837×10^{-6} | 0.7263 |
| -50 | 1.582 | 999 | 0.01979 | 1.252×10^{-5} | 1.474×10^{-6} | 9.319×10^{-6} | 0.7440 |
| -40 | 1.514 | 1 002 | 0.02057 | 1.356×10^{-5} | 1.527×10^{-6} | 1.008×10^{-5} | 0.7436 |
| -30 | 1.451 | 1 004 | 0.02134 | 1.465×10^{-5} | 1.579×10^{-6} | 1.087×10^{-5} | 0.7425 |
| -20 | 1.394 | 1 005 | 0.02211 | 1.578×10^{-5} | 1.630×10^{-6} | 1.169×10^{-5} | 0.7408 |
| -10 | 1.341 | 1 006 | 0.02288 | 1.696×10^{-5} | 1.680×10^{-6} | 1.252×10^{-5} | 0.7387 |
| 0 | 1.292 | 1 006 | 0.02364 | 1.818×10^{-5} | 1.729×10^{-6} | 1.338×10^{-5} | 0.7362 |
| 5 | 1.269 | 1 006 | 0.02401 | 1.880×10^{-5} | 1.754×10^{-6} | 1.382×10^{-5} | 0.7350 |
| 10 | 1.246 | 1 006 | 0.02439 | 1.944×10^{-5} | 1.778×10^{-6} | 1.426×10^{-5} | 0.7336 |
| 15 | 1.225 | 1 007 | 0.02476 | 2.009×10^{-5} | 1.802×10^{-6} | 1.470×10^{-5} | 0.7323 |
| 20 | 1.204 | 1 007 | 0.02514 | 2.074×10^{-5} | 1.825×10^{-6} | 1.516×10^{-5} | 0.7309 |
| 25 | 1.184 | 1 007 | 0.02551 | 2.141×10^{-5} | 1.849×10^{-6} | 1.562×10^{-5} | 0.7296 |
| 30 | 1.164 | 1 007 | 0.02588 | 2.208×10^{-5} | 1.872×10^{-6} | 1.608×10^{-5} | 0.7282 |
| 35 | 1.145 | 1 007 | 0.02625 | 2.277×10^{-5} | 1.895×10^{-6} | 1.655×10^{-5} | 0.7268 |
| 40 | 1.127 | 1 007 | 0.02662 | 2.346×10^{-5} | 1.918×10^{-6} | 1.702×10^{-5} | 0.7255 |
| 45 | 1.109 | 1 007 | 0.02699 | 2.416×10^{-5} | 1.941×10^{-6} | 1.750×10^{-5} | 0.7241 |
| 50 | 1.092 | 1 007 | 0.02735 | 2.487×10^{-5} | 1.963×10^{-6} | 1.798×10^{-5} | 0.7228 |
| 60 | 1.059 | 1 007 | 0.02808 | 2.632×10^{-5} | 2.008×10^{-6} | 1.896×10^{-5} | 0.7202 |
| 70 | 1.028 | 1 007 | 0.02881 | 2.780×10^{-5} | 2.052×10^{-6} | 1.995×10^{-5} | 0.7177 |
| 80 | 0.9994 | 1 008 | 0.02953 | 2.931×10^{-5} | 2.096×10^{-6} | 2.097×10^{-5} | 0.7154 |
| 90 | 0.9718 | 1 008 | 0.03024 | 3.086×10^{-5} | 2.139×10^{-6} | 2.201×10^{-5} | 0.7132 |
| 100 | 0.9458 | 1 009 | 0.03095 | 3.243×10^{-5} | 2.181×10^{-6} | 2.306×10^{-5} | 0.7111 |
| 120 | 0.8977 | 1 011 | 0.03235 | 3.565×10^{-5} | 2.264×10^{-6} | 2.522×10^{-5} | 0.7073 |
| 140 | 0.8542 | 1 013 | 0.03374 | 3.898×10^{-5} | 2.345×10^{-6} | 2.745×10^{-5} | 0.7041 |
| 160 | 0.8148 | 1 016 | 0.03511 | 4.241×10^{-5} | 2.420×10^{-6} | 2.975×10^{-5} | 0.7014 |
| 180 | 0.7788 | 1 019 | 0.03646 | 4.593×10^{-5} | 2.504×10^{-6} | 3.212×10^{-5} | 0.6992 |
| 200 | 0.7459 | 1 023 | 0.03779 | 4.954×10^{-5} | 2.577×10^{-6} | 3.455×10^{-5} | 0.6974 |
| 250 | 0.6746 | 1 033 | 0.04104 | 5.890×10^{-5} | 2.760×10^{-6} | 4.091×10^{-5} | 0.6946 |
| 300 | 0.6158 | 1 044 | 0.04418 | 6.871×10^{-5} | 2.934×10^{-6} | 4.765×10^{-5} | 0.6935 |
| 350 | 0.5664 | 1 056 | 0.04721 | 7.892×10^{-5} | 3.101×10^{-6} | 5.475×10^{-5} | 0.6937 |
| 400 | 0.5243 | 1 069 | 0.05015 | 8.951×10^{-5} | 3.261×10^{-6} | 6.219×10^{-5} | 0.6948 |
| 450 | 0.4880 | 1 081 | 0.05298 | 1.004×10^{-4} | 3.415×10^{-6} | 6.997×10^{-5} | 0.6965 |
| 500 | 0.4565 | 1 093 | 0.05572 | 1.117×10^{-4} | 3.563×10^{-6} | 7.806×10^{-5} | 0.6986 |
| 600 | 0.4042 | 1 115 | 0.06093 | 1.352×10^{-4} | 3.846×10^{-6} | 9.515×10^{-5} | 0.7037 |
| 700 | 0.3627 | 1 135 | 0.06581 | 1.598×10^{-4} | 4.111×10^{-6} | 1.133×10^{-4} | 0.7092 |
| 800 | 0.3289 | 1 153 | 0.07037 | 1.855×10^{-4} | 4.362×10^{-6} | 1.326×10^{-4} | 0.7149 |
| 900 | 0.3008 | 1 169 | 0.07465 | 2.122×10^{-4} | 4.600×10^{-6} | 1.529×10^{-4} | 0.7206 |
| 1 000 | 0.2772 | 1 184 | 0.07868 | 2.398×10^{-4} | 4.826×10^{-6} | 1.741×10^{-4} | 0.7260 |
| 1 500 | 0.1990 | 1 234 | 0.09599 | 3.908×10^{-4} | 5.817×10^{-6} | 2.922×10^{-4} | 0.7478 |
| 2 000 | 0.1553 | 1 264 | 0.11113 | 5.664×10^{-4} | 6.630×10^{-6} | 4.270×10^{-4} | 0.7539 |

ANEXO F

CATALOGO DE LAS FICHAS DE LOS LADRILLOS REFRACTARIOS UTILIZADOS



Insulating Firebricks JM

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

| | | JM 23 | JM 26 | JM 28 | JM 30 | JM 32 | Insalcor* |
|---|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| Clasificación ISO 2245 | | 125 0.5L | 140 0.8L | 150 0.9L | 160 1.0L | 170 1.2L | 180 1.3L |
| Temperatura de clasificación | °C | 1200 | 1430 | 1540 | 1650 | 1760 | 1700 |
| Características a temperatura ambiente (23°C/50% humedad relativa) | | | | | | | |
| Densidad media (ASM C-134-84) | kg/m ³ | 480 | 800 | 890 | 1020 | 1250 | 1310 |
| Módulo de rotura (ASTM C-63-84) | MPa | 1.0 | 1.5 | 1.8 | 2.0 | 2.1 | 3.1 |
| Resistencia a la compresión (ASTM C-63-84) | MPa | 1.2 | 1.6 | 2.1 | 2.1 | 3.5 | 6.3 |
| Prestaciones a alta temperatura | | | | | | | |
| Contracción lineal permanente inmerso durante 24 h a la temperatura de (ASTM C-210) | | | | | | | |
| 1200°C | % | -0.2 | - | - | - | - | - |
| 1400°C | % | - | -0.2 | - | - | - | - |
| 1510°C | % | - | - | -0.4 | - | - | - |
| 1620°C | % | - | - | - | -0.8 | - | - |
| 1730°C | % | - | - | - | - | +0.6 | +0.4 |
| Expansión lineal reversible máxima | % | 0.5 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.1 | 1.1 |
| Resistencia a la compresión en caliente durante 90 min (% de deformación) (ASTM C-16) | | | | | | | |
| 1100°C at 0.034 MPa (5psi) | % | 0.1 | - | - | - | - | - |
| 1260°C at 0.069 MPa (10psi) | % | - | 0.2 | 0.1 | - | - | - |
| 1320°C at 0.069 MPa (10psi) | % | - | - | 0.2 | 0.1 | - | - |
| 1370°C at 0.069 MPa (10psi) | % | - | - | - | 0.5 | 0.2 | - |
| 1450°C at 0.069 MPa (10psi) | % | - | - | - | - | - | +0.1 |
| Conductividad térmica (ASTM C-182) a la temperatura media de: | | | | | | | |
| 400°C | W/m.K | 0.12 | 0.25 | 0.30 | 0.38 | 0.49 | 0.79 |
| 600°C | W/m.K | 0.14 | 0.27 | 0.32 | 0.39 | 0.50 | 0.81 |
| 800°C | W/m.K | 0.17 | 0.30 | 0.34 | 0.40 | 0.51 | 0.90 |
| 1000°C | W/m.K | 0.19 | 0.33 | 0.36 | 0.41 | 0.53 | 1.03 |
| 1200°C | W/m.K | - | 0.35 | 0.38 | 0.42 | 0.56 | 1.17 |
| 1400°C | W/m.K | - | - | - | - | 0.60 | 1.32 |
| Calor específico 1000°C | kJ/kg.K | 1.05 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.10 |

| | | JM 23 | JM 26 | JM 28 | JM 30 | JM 32 | Insalcor* |
|--|---|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| Composición química (sobre producto calcinado) (tr = trazas) | | | | | | | |
| Al ₂ O ₃ | % | 37.0 | 56.0 | 67.1 | 73.4 | 77.0 | 77.0 |
| SiO ₂ | % | 44.4 | 30.1 | 31.0 | 25.1 | 21.5 | 21.0 |
| Fe ₂ O ₃ | % | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.3 | 0.4 |
| TiO ₂ | % | 1.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | tr | 0.6 |
| CaO | % | 15.2 | 0.1 | 0.1 | tr | tr | tr |
| MgO | % | 0.3 | 0.2 | 0.1 | tr | 0.1 | tr |
| Na ₂ O + K ₂ O | % | 1.1 | 1.7 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.2 |


Embalaje

Los ladrillos JM son embalados en cajas de cartón, sobre palets recubiertos con un filme plástico termorretráctil.

| L1 | Número de ladrillos por caja no L2 | | | | | | | | | | | | | Esp. | |
|-----|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|------|-----|
| | 110 | 114 | 124 | 132 | 165 | 172 | 178 | 187 | 220 | 230 | 25 | 305 | 610 | | 640 |
| 220 | 25 | - | - | - | 10 | - | - | - | 12 | - | - | - | - | - | 60 |
| 230 | - | 25 | - | 20 | - | 20 | 16 | - | - | 15 | - | 10 | 5 | - | 64 |
| 230 | - | 20 | - | 16 | - | 16 | 13 | - | - | 12 | - | 8 | 4 | - | 76 |
| 250 | - | - | 25 | - | - | - | 16 | - | - | 12 | - | - | - | 5 | 64 |


ANEXO G

CATALOGO DE LAFICHATECNICA DE LA MANTA DE FIBRA CEREMAICA

|  Thermal Ceramics <i>Innovating Our World</i> | | Datasheet Code US: 514-265 MSDS Code US: 261 12-2009 page 2 of 2 | | | |
|--|--|---|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| Refractory Ceramic Fiber Blankets | | | | | |
| Physical Properties | | | | | |
| | Kaowool | Kaowool RT | Cerablanket | Cerachem | Cerachrome |
| Color | off white | off white | white | white | blue/green |
| Density, pcf (kg/m ³) | 3, 4, 6, 8, 10, 12 (48, 64, 96, 128, 160, 192) | 4, 6, 8 (64, 96, 128) | 3, 4, 6, 8 (48, 64, 96, 128) | 4, 6, 8, 10 (64, 96, 128, 160) | 4, 6, 8 (64, 96, 128) |
| Thickness, in. (mm) | ½ - 1 (3.125-50) | ½ - 2 (25-50) | ½ - 2 (6.25-50) | ½ - 2 (12.5-50) | ½ - 2 (12.5-50) |
| Continuous use limit, °F (°C) | 2000 (1093) | 2000 (1093) | 2150 (1177) | 2400 (1315) | 2500 (1371) |
| Classification temp. rating, °F (°C) | 2300 (1260) | 2300 (1260) | 2400 (1315) | 2600 (1426) | 2600 (1426) |
| Melting point, °F(°C) | 3200 (1760) | 3200 (1760) | 3200 (1760) | 3200 (1760) | 3200 (1760) |
| Chemical Analysis, %, weight basis after firing | | | | | |
| Alumina, Al ₂ O ₃ | 45 | 35 - 47 | 46 | 35 | 43 |
| Silica, SiO ₂ | 50 - 55 | 49 - 54 | 54 | 50 | 54 |
| Ferric oxide, Fe ₂ O ₃ | 1.0 | 0.05 - 1.5 | 0.05 | 0.05 | - |
| Titanium oxide, TiO ₂ | 1.7 | 0.05 - 1.9 | - | - | - |
| Calcium oxide, CaO | 0.1 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | - |
| Magnesium oxide, MgO | trace | 0.05 | 0.05 | 0.05 | - |
| Alkalies as, Na ₂ O | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | - |
| Boron Oxide, B ₂ O ₃ | 0.08 | - | - | - | - |
| Chromium Oxide, Cr ₂ O ₃ | - | - | - | - | 3 |
| Zirconia | - | 0 - 15 | - | 15 | - |
| Other | - | 0 - 3 | trace | trace | trace |
| Leachable chlorides | 1 - 2 | 0 - 3 | trace | traces | trace |
| Thermal Conductivity, BTU•in./hr•ft²•F (w/m•k) (ASTM C 201) | | | | | |
| Mean temperature, 8pcf | | | | | |
| @ 500°F (260°C) | 0.44 (0.06) | 0.44 (0.06) | 0.44 (0.06) | 0.44 (0.06) | 0.44 (0.06) |
| @ 1000°F (538°C) | 0.67 (0.12) | 0.93 (0.13) | 0.93 (0.13) | 0.93 (0.13) | 0.93 (0.13) |
| @ 1500°F (816°C) | 1.45 (0.21) | 1.60 (0.23) | 1.60 (0.23) | 1.60 (0.23) | 1.60 (0.23) |
| @ 1800°F (982°C) | 1.83 (0.26) | 2.05 (0.30) | 2.05 (0.30) | 2.05 (0.30) | 2.05 (0.30) |
| @ 2000°F (1093°C) | 2.09 (0.30) | - | 2.34 (0.34) | 2.34 (0.34) | 2.34 (0.34) |
| Mean temperature, 6pcf | | | | | |
| @ 500°F (260°C) | 0.47 (0.07) | 0.47 (0.07) | 0.47 (0.07) | 0.47 (0.07) | 0.47 (0.07) |
| @ 1000°F (538°C) | 1.01 (0.15) | 1.05 (0.15) | 1.06 (0.15) | 1.06 (0.15) | 1.06 (0.15) |
| @ 1500°F (816°C) | 1.73 (0.25) | 1.90 (0.27) | 1.90 (0.27) | 1.90 (0.27) | 1.90 (0.27) |
| @ 1800°F (982°C) | 2.19 (0.32) | 2.45 (0.35) | 2.45 (0.35) | 2.45 (0.35) | 2.45 (0.35) |
| @ 2000°F (1093°C) | - | 2.83 (0.41) | 2.83 (0.41) | 2.83 (0.41) | 2.83 (0.41) |
| Mean temperature, 4 pcf | | | | | |
| @ 500°F (260°C) | 0.54 (0.08) | 0.54 (0.08) | 0.54 (0.08) | 0.54 (0.08) | 0.54 (0.08) |
| @ 1000°F (538°C) | 1.29 (0.19) | 1.34 (0.19) | 1.34 (0.19) | 1.34 (0.19) | 1.34 (0.19) |
| @ 1500°F (816°C) | 2.30 (0.33) | 2.48 (0.36) | 2.48 (0.36) | 2.48 (0.36) | 2.48 (0.36) |
| @ 1800°F (982°C) | 2.96 (0.43) | 3.23 (0.47) | 3.23 (0.47) | 3.23 (0.47) | 3.23 (0.47) |
| @ 2000°F (1093°C) | - | - | 3.74 (0.54) | 3.74 (0.54) | 3.74 (0.54) |

ANEXO H

CATALOGO DEL CONCRETO REFRACTARIO QUE SE UTILIZARA

|  ERECOS <small>empresa de refractarios colombianos s.a.</small> | |
|--|---|
| CONCRETOS REFRACTARIOS SILICO – ALUMINOSOS | |
| CONCRAX 1300 | |
| Clasificación NTC - 814 , ASTM C - 401 | Clase B |
| Análisis Químico % | |
| Al ₂ O ₃ | 36.3 |
| SiO ₂ | 44.9 |
| Fe ₂ O ₃ | 5.0 |
| TiO ₂ | 1.5 |
| CaO | 9.9 |
| MgO | 0.3 |
| Álcalis | 1.3 |
| Cono Pírométrico Equivalente (PCE) | 14 |
| Temperatura equivalente °C NTC - 706 , ASTM C-24 | 1390 |
| Máxima temperatura de servicio recomendada °C | 1320 |
| Máximo tamaño de grano mm Material seco requerido por metro cúbico kg | 10 2000 - 2150 |
| Agua de preparación cm ³ de agua/kg de material seco NTC - 988 , ASTM C - 860 | 130 - 140 |
| Densidad volumétrica °C - g/cm ³ ASTM C - 124 | 110 2.05 - 2.20 1000 2.00 - 2.10 1260 2.00 - 2.10 |
| Módulo de ruptura en frío °C - Mpa (kg/cm ²) NTC - 988 , ASTM C-133 | 110 5.0 - 8.0 (50 - 80) 1000 2.0 - 5.0 (20 - 50) 1260 5.0 - 8.0 (50 - 80) |
| CONCRAX 1300 | |
| Resistencia a la compresión en frío °C - Mpa (kg/cm ²) NTC - 682 , ASTM C - 133 | 110 25.0 - 50.0 (250 - 500) 1000 20.0 - 30.0 (200 - 300) 1260 20.0 - 30.0 (200 - 300) |
| Cambio lineal permanente °C - % NTC - 988 , ASTM C - 401 y ASTM C - 865 | 1000 0.0 - 0.2C 1260 0.2C - 0.5C |
| Módulo de ruptura en caliente °C - Mpa (kg/cm ²) | 1095 5.0 - 6.0 (50 - 60) 1260 3.0 - 4.0 (30 - 40) |
| Presentación | Sacos de 25 kg |

ANEXO I

CATALOGO DEL MORTERO REFRACTARIO UTILIZADO



ERECOS
empresa de refractarios colombianos s.a.

MORTEROS REFRACTARIOS SILICO ALUMINOSOS

UNIVERSAL

| | |
|---|--------------------------|
| Clasificación NTC - 765 , NTC - 851 | Super refractario |
| Tipo de Mortero | Seco de fraguado térmico |
| Análisis Químico % | |
| Al ₂ O ₃ | 41.5 |
| SiO ₂ | 52.5 |
| Fe ₂ O ₃ | 2.0 |
| TiO ₂ | 2.4 |
| CaO | 0.4 |
| MgO | 0.4 |
| Alcalis | 0.5 |
| Cono Pirométrico Equivalente (PCE) | 32 |
| Temperatura equivalente °C NTC-706, ASTM C-24 | 1717 |
| Refractariedad, (el mortero no fluye de la junta a) °C NTC-861, ASTM C-199 | 1600 |
| Agua de preparación ml/kg mortero para aplicar con palustre | 360 |
| para aplicar por inmersión | 500 |
| Kg de mortero requerido para pega1000 ladrillos de 9 x 4 1/2 x 2 1/2 con palustre | 129 |
| por inmersión | 81 |
| Presentación | Sacos de 30 kg |

ANEXO J

CATALOGO DE LAS PROPIEDADES DE LAS DISTANCIA DE LAS RESISTENCIAS ELECTRICAS

| | KANTHAL APM | KANTHAL A-1 | KANTHAL AF | KANTHAL D | NIKROTHAL 80 | NIKROTHAL 70 | NIKROTHAL 60 | NIKROTHAL 40 |
|---|-------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Max continuous operating temp., °C | 1425 | 1400 | 1300 | 1300 | 1200 | 1250 | 1150 | 1100 |
| °F | 2600 | 2550 | 2370 | 2370 | 2190 | 2280 | 2100 | 2010 |
| Nominal composition, % Cr | 22 | 22 | 22 | 22 | 20 | 30 | 15 | 20 |
| Al | 5.8 | 5.8 | 5.3 | 4.8 | - | - | - | - |
| Fe | Rest | Rest | Rest | Rest | - | - | - | - |
| Ni | - | - | - | - | 80 | 70 | 60 | 35 |
| Resistivity at 20°C, Ωmm ² m ⁻¹ | 1.45 | 1.45 | 1.39 | 1.35 | 1.09 | 1.18 | 1.11 | 1.04 |
| at 68°F, Ω/cm ² | 872 | 872 | 836 | 812 | 655 | 704 | 668 | 626 |
| Density, g/cm ³ | 7.10 | 7.10 | 7.15 | 7.25 | 8.3 | 8.1 | 8.2 | 7.9 |
| lb/in ³ | 0.256 | 0.256 | 0.259 | 0.262 | 0.300 | 0.296 | 0.296 | 0.285 |
| Coefficient of thermal expansion, K ⁻¹ | | | | | | | | |
| 20-750°C, 68-1380°F | 14.10 ^e | 14.10 ^e | 14.10 ^e | 14.10 ^e | 17.10 ^e | 16.10 ^e | 16.10 ^e | 18.10 ^e |
| 20-1000°C, 68-1838°F | 15.10 ^e | 15.10 ^e | 15.10 ^e | 15.10 ^e | 18.10 ^e | 17.10 ^e | 17.10 ^e | 19.10 ^e |
| Thermal conductivity at 20°C | | | | | | | | |
| W m ⁻¹ K ⁻¹ | 13 | 13 | 13 | 13 | 15 | 13 | 13 | 13 |
| 68°F, Btu in ft ⁻² hr ⁻¹ °F ⁻¹ | 90 | 90 | 90 | 90 | 104 | 90 | 90 | 90 |
| Specific heat capacity | | | | | | | | |
| KJ kg ⁻¹ K ⁻¹ , 20°C | 0.46 | 0.46 | 0.46 | 0.46 | 0.46 | 0.46 | 0.46 | 0.50 |
| Btu lb ⁻¹ °F ⁻¹ , 68°F | 0.110 | 0.110 | 0.110 | 0.110 | 0.110 | 0.110 | 0.110 | 0.119 |
| Melting point, °C | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1400 | 1380 | 1390 | 1390 |
| °F | 2730 | 2730 | 2730 | 2730 | 2550 | 2515 | 2535 | 2535 |
| Mechanical properties (approx.)* | | | | | | | | |
| Tensile strength, N mm ⁻² | 680 | 680 | 680 | 680 | 750 | 875 | 750 | 750 |
| psi | 99000 | 99000 | 99000 | 99000 | 109000 | 127000 | 109000 | 109000 |
| Yield point, N mm ⁻² | 445 | 445 | 445 | 445 | 450 | 450 | 450 | 450 |
| psi | 65000 | 65000 | 65000 | 65000 | 65000 | 65000 | 65000 | 65000 |
| Hardness, Hv | 230 | 230 | 230 | 230 | 180 | 185 | 180 | 180 |
| Elongation at rupture, % | 19 | 19 | 19 | 19 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Tensile strength at 900°C, Nmm ⁻² | 40 | 34 | 37 | 34 | 100 | 120 | 100 | 120 |
| 1650°F, psi | 5800 | 5000 | 5400 | 5000 | 14500 | 17400 | 14500 | 17400 |
| Creep strength at 800°C, N mm ⁻² | 14 | 6 | 8 | 6 | 15 | 15 | 15 | 20 |
| 1000°C, N mm ⁻² | 1.8 | 1 | 1.5 | 1 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 1470°F, psi | 2000 | 870 | 1160 | 870 | 2160 | 2160 | 2160 | 2160 |
| 1830°F, psi | 260 | 145 | 215 | 145 | 580 | 580 | 580 | 580 |
| Magnetic properties | Magnetic (Curie point 600°C 1100°F) | | | | Non | Non | Slightly | Non |
| Emissivity, fully oxidized condition | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 0.88 |

ANEXO K

CATALOGO DE LAS PROPIEDADES DE LA RESISTENCIA DE KANTHAL A-1

KANTHAL A-1 and APM

Wire and strip. Standard stock items.

Resistivity $1.45 \Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1}$. Density 7.1 g cm^{-3} . To obtain resistivity at working temperature, multiply by factor C_t in following table.

| °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 |

| Wire dia mm | Resistance $\Omega/\text{m } 20^\circ\text{C}$ | Weight g/m | cm^2/Ω 20°C | Strip*) WxT mm | Resistance $\Omega/\text{m } 20^\circ\text{C}$ | Weight g/m | cm^2/Ω 20°C |
|----------------|---|---------------|--|-------------------|---|---------------|--|
| 1.0 | 1.85 | 5.58 | 17.0 | 5.0x1.0 | 0.290 | 35.5 | 414 |
| 1.1 | 1.53 | 6.75 | 22.7 | 10.0x1.0 | 0.145 | 49.7 | 1520 |
| 1.2 | 1.28 | 8.03 | 29.4 | 15.0x1.0 | 0.0967 | 107 | 3310 |
| 1.3 | 1.09 | 9.43 | 37.4 | 20.0x1.0 | 0.725 | 142 | 5790 |
| 1.4 | 0.942 | 10.9 | 46.7 | 12.0x1.2 | 0.101 | 102 | 2620 |
| 1.5 | 0.821 | 12.5 | 57.4 | 15.0x1.2 | 0.101 | 128 | 4020 |
| 1.6 | 0.721 | 14.3 | 69.7 | 10.0x1.5 | 0.097 | 107 | 2380 |
| 1.7 | 0.639 | 16.1 | 83.6 | 12.0x1.5 | 0.0806 | 128 | 3350 |
| 1.8 | 0.570 | 18.1 | 99.2 | 15.0x1.5 | 0.0644 | 160 | 5120 |
| 2.0 | 0.482 | 22.3 | 136 | 20.0x1.5 | 0.0483 | 213 | 8600 |
| 2.2 | 0.381 | 27.0 | 181 | 25.0x1.5 | 0.0387 | 266 | 13700 |
| 2.3 | 0.349 | 29.5 | 207 | 30.0x1.5 | 0.0320 | 320 | 10900 |
| 2.4 | 0.321 | 32.1 | 235 | 15.0x2.0 | 0.0483 | 213 | 7040 |
| 2.5 | 0.295 | 34.9 | 266 | 20.0x2.0 | 0.0363 | 284 | 12100 |
| 2.6 | 0.273 | 37.7 | 299 | 25.0x2.0 | 0.0290 | 355 | 16600 |
| 2.8 | 0.235 | 43.7 | 374 | 30.0x2.0 | 0.0242 | 426 | 26500 |
| 2.9 | 0.219 | 47.0 | 416 | 20.0x2.5 | 0.0290 | 355 | 15500 |
| 3.0 | 0.205 | 50.2 | 460 | 25.0x2.5 | 0.0232 | 444 | 23700 |
| 3.25 | 0.175 | 58.9 | 584 | 30.0x2.5 | 0.0193 | 533 | 33600 |
| 3.5 | 0.151 | 68.3 | 730 | 20.0x3.0 | 0.0242 | 426 | 19008 |
| 3.75 | 0.131 | 78.4 | 897 | 25.0x3.0 | 0.0193 | 533 | 26200 |
| 4.0 | 0.115 | 89.2 | 1090 | 30.0x3.0 | 0.0161 | 639 | 41000 |
| 4.25 | 0.102 | 101 | 1306 | | | | |
| 4.5 | 0.0912 | 113 | 1550 | | | | |
| 4.75 | 0.0818 | 126 | 1824 | | | | |
| 5.0 | 0.0738 | 139 | 2127 | | | | |
| 5.5 | 0.0610 | 169 | 2831 | | | | |
| 6.0 | 0.0513 | 201 | 3676 | | | | |
| 6.5 | 0.0437 | 236 | 4673 | | | | |
| 7.0 | 0.0377 | 273 | 5840 | | | | |
| 7.35 | 0.0340 | 300 | 5840 | | | | |
| 8.0 | 0.0288 | 357 | 8600 | | | | |
| 8.25 | 0.0271 | 380 | 9500 | | | | |
| 9.5 | 0.0205 | 503 | 14600 | | | | |
| 10.0 | 0.0185 | 558 | 17000 | | | | |

ANEXO L

PLANOS DEL MODELAMIENTO DEL HORNO

