



ESPE

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

Extensión Latacunga

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**AUTORES: AGUIRRE GONZAGA PATRICIO GEOVANNY,
SÁNCHEZ ANDRADE BORIS ALEXANDER**

**TEMA: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN HORNO
ELÉCTRICO PARA EL CALENTAMIENTO DE PREPOLYMER Y POLYOL
EN LA ELABORACIÓN DE CALZADO PARA LA EMPRESA CALZADO
CASS”**

**DIRECTOR: ING. JORGE EDUARDO MEYTHALER NARANJO
CODIRECTOR: ING. MILTON FABRICIO PÉREZ GUTIÉRREZ**

LATACUNGA, MAYO 2014

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
EXTENSIÓN LATACUNGA**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICADO

Ing. Jorge Eduardo Meythaler Naranjo

Ing. Milton Fabricio Pérez Gutiérrez

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado Diseño, Construcción y Automatización de un Horno Eléctrico para el Calentamiento de Prepolymer y Polyol en la Elaboración de Calzado para la Empresa Calzado Cass, realizado por Aguirre Gonzaga Patricio Geovanny y Sánchez Andrade Boris Alexander, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de la Fuerzas Armadas – ESPE.

Debido, a los principios de funcionamiento y estudio del diseño térmico de hornos eléctricos, recomiendo su aplicación para la Empresa de Calzado CASS, por tal motivo recomendamos su publicación.

El mencionado trabajo consta de 1 documento empastado y 1 disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf).

Autorizan a Aguirre Gonzaga Patricio Geovanny y Sánchez Andrade Boris Alexander que lo entregue al Ing. Wilson Sánchez Ocaña, en su calidad de Director de la Carrera de Electromecánica.

Latacunga 23 de Mayo del 2014.

Ing. Jorge E. Meythaler N.

DIRECTOR

Ing. Milton F. Perez G.

CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

EXTENSIÓN LATACUNGA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Aguirre Gonzaga Patricio Geovanny.

Sánchez Andrade Boris Alexander.

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “Diseño, Construcción y Automatización de un Horno Eléctrico para el Calentamiento de Prepolymer y Polyol en la Elaboración de Calzado para La Empresa Calzado Cass”, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando los derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuente a este trabajo es de mí autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga 23 de Mayo del 2014.

Aguirre Gonzaga Patricio Geovanny

CC: 210023469-5

Sánchez Andrade Boris Alexander

CC: 210037727-0

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

EXTENSIÓN LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Aguirre Gonzaga Patricio Geovanny.
Sánchez Andrade Boris Alexander

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del trabajo “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN HORNO ELÉCTRICO PARA EL CALENTAMIENTO DE PREPOLYMER Y POLYOL EN LA ELABORACIÓN DE CALZADO PARA LA EMPRESA CALZADO CASS”.

Latacunga 23 de Mayo del 2014.

Aguirre Gonzaga Patricio Geovanny
CC: 210023469-5

Sánchez Andrade Boris Alexander
CC: 210037727-0

DEDICATORIA

El siguiente trabajo quiero dedicar a mis padres: **José Rafael Aguirre, Olga Esperanza Gonzaga y mis hermanos**, que aunque a la distancia siempre me guiaron con sus consejos, cariño y experiencia durante toda mi vida, que tuvieron la paciencia, el amor de criarme y educarme para convertirme en un hombre de bien, sin su apoyo incondicional no lo hubiese logrado.

PATRICIO AGUIRRE

DEDICATORIA

Con mucho cariño este trabajo va dedicado para mi querida madre **Alexandra Andrade**, que con su gran ilusión de verme “grande” siempre estuvo apoyándome con sus grandes consejos y motivándome día a día para lograr lo que con mucha ilusión un día comenzó como un sueño.

Para mi ángel de la guarda “**Mi Padre**”, que la mayor de su alegría fue verme cumpliendo una etapa importante de mi vida.

A mi tía **Magaly Andrade**, que siempre con sus acertados consejos, me alentó para seguir adelante.

A **Rubén Jara**, que en todo momento siempre ha estado apoyándome.
Para mis queridas hermanas **Estefy y Emily** que son mi mayor alegría.

Familia.

BORIS SÁNCHEZ

AGRADECIMIENTO

Al culminar esta nueva etapa de mi vida quiero agradecer a mi **Dios** quien ha guiado mi vida dándome fortaleza y resistencia para enfrentar los retos de esta sociedad, y por permitirme compartir estos momentos de felicidad junto a mis padres, hermanos y amigos.

A mis padres; **José Rafael Aguirre** y **Olga Esperanza Gonzaga**, quienes con amor y respeto me han apoyado de manera incondicional en todo momento para alcanzar mis metas propuestas.

A mis hermanos **Juan Carlos Aguirre**, **William Rafael Aguirre**, **Liliana Estefanía Aguirre** y **Jorge Wilson Aguirre**, quienes fueron de mucha inspiración y me brindaron su apoyo para seguir adelante.

Agradezco a mi Director y Codirector de proyecto de grado al **Ing. Eduardo Meythaler** y al **Ing. Fabricio Pérez** por guiarnos, apoyarnos y darnos la mano en la realización de este presente proyecto, a mi prestigiosa y querida universidad **ESPE** por darme los conocimientos necesarios para llegar a ser un excelente profesional y contribuir con el desarrollo de mi país.

A mi director de carrera el **Ing. Wilson Sánchez**, que me impartió los conocimientos básicos de la carrera de ingeniería electromecánica.

PATRICIO AGUIRRE

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a todas las personas que permitieron que este proyecto fuera posible.

A la Universidad De Las Fuerzas Armadas “**ESPE**”
A mis directores de tesis, por su tiempo y dedicación para que este proyecto finalizara con éxito.

Al director de carrera **Wilson Sánchez**.
A calzado CASS por el apoyo en la realización de la tesis.
A mis profesores que impartieron sus valiosos conocimientos.

A mi familia.

BORIS SÁNCHEZ

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA.....	i
CERTIFICADO.....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
RESUMEN.....	xxi
ABSTRAC.....	xxii
CAPÍTULO I.....	1
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 POLYOL Y PREPOLYMER.....	2
1.2.1 Clasificación del Poliuretano.....	2
1.2.2 Métodos de fabricación del Poliuretano.....	3
1.2.3 Polyol.....	3
1.3 FUNDAMENTOS DE HORNOS ELÉCTRICOS DE RESISTENCIAS.....	4
1.3.1 Hornos Eléctricos de Resistencias.....	4
1.3.2 Aplicaciones de los Hornos de Resistencias.....	5
1.3.3 Clasificación de los Hornos de Resistencias.....	5
1.3.4 Factores para una correcta elección de un Horno de Resistencias.....	5
1.4 MECANISMO DE CONDUCCIÓN DEL CALOR.....	7
1.4.1 Conducción.....	7
1.4.2 Convección.....	8
1.4.3 Radiación.....	9

1.5	LANA DE VIDRIO.	10
1.5.1	Propiedades de la lana de vidrio.	11
1.5.2	Aplicaciones más comunes de la lana de vidrio.	11
1.6	HORNOS DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.	12
1.6.1	Clasificación de las resistencias.	13
1.6.2	Disposición de resistencias metálicas.	18
1.6.3	Terminales y conexiones.	21
1.6.4	Cálculo de las resistencias metálicas.	23
1.7	PARTES CONSTITUTIVAS DEL HORNO ELÉCTRICO.	23
1.7.1	Estructura metálica.	24
1.7.2	Sensores.	28
1.7.3	Controlador de temperatura.	34
1.7.4	El Timer.	37
CAPÍTULO 2		39
DISEÑO Y SELECCIÓN.....		39
2.1	ECUACIONES QUE SE UTILIZARÁN EN EL DISEÑO TÉRMICO.	40
2.1.1	Ecuación para determinar el calor acumulado en las paredes del horno.	40
2.1.2	Ecuación para el cálculo del calor suministrado por el horno para un ciclo de trabajo.	40
2.1.3	Ecuación para determinar las pérdidas de calor por conducción.	41
2.1.4	Ecuación para determinar las pérdidas de calor por convección.	42
2.1.5	Ecuación para determinar las pérdidas de calor por radiación.	43
2.2	ECUACIONES PARA DETERMINAR LA DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS.....	44
2.2.1	Balance térmico para el punto nodal 0.	44
2.2.2	Balance térmico para el punto nodal 1.	46
2.2.3	Balance térmico para el punto nodal 2.	47
2.2.4	Balance térmico para el punto exterior de la pared.	48

2.3	ECUACIÓN PARA DETERMINAR EL TIEMPO DE TRATAMIENTO DEL MATERIAL.....	49
2.4	ECUACIÓN PARA DETERMINAR EL RENDIMIENTO TÉRMICO DE CONVECCIÓN.....	51
2.5	ANÁLISIS DEL SISTEMA.....	51
2.6	CONSIDERACIONES FÍSICAS Y AMBIENTALES PARA EL DISEÑO.....	52
2.6.1	Temperatura del aire atmosférico.....	52
2.6.2	Temperatura en el interior de la cámara de calentamiento.....	53
2.6.3	Medidas de la cámara de calentamiento.....	53
2.6.4	Dimensiones definitivas de la cámara de calentamiento.....	56
2.6.5	Capacidad de carga.....	57
2.7	DISEÑO TÉRMICO DEL SISTEMA.....	57
2.7.1	Consideraciones Generales.....	57
2.7.2	Transferencia de Calor.....	58
2.7.3	Análisis de las Temperaturas en el Horno.....	58
2.7.4	Analogía eléctrica.....	59
2.8	DETERMINACIÓN DEL AISLANTE TÉRMICO.....	60
2.9	CÁLCULO DEL FLUJO DE CALOR.....	60
2.10	CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CALOR.....	62
2.10.1	Cálculo de las pérdidas de calor debido por conducción.....	63
2.10.2	Cálculo de las pérdidas de calor por convección.....	64
2.10.3	Cálculo de las pérdidas de calor por radiación.....	69
2.11	CANTIDAD DEL CALOR ÚTIL PARA EL CALENTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS INTERNOS DEL HORNO.....	69
2.11.1	Calor necesario para calentar el tanque de Prepolymer.....	69
2.11.2	Calor necesario para calentar la plancha de acero de 6 mm de espesor.....	71
2.11.3	Cantidad de calor necesario para calentar la masa de aire en el interior del horno.....	72
2.12	CÁLCULO DEL CALOR TOTAL SUMINISTRADO POR EL SISTEMA.....	73
2.13	CÁLCULO DEL RENDIMIENTO TÉRMICO DE CONVECCIÓN.....	74
2.14	CÁLCULO DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO.....	76

2.15	PARÁMETROS DEL DISEÑO.....	77
2.15.1	Material en paredes internas y externas.	77
2.15.2	Material del Tubo Cuadrado estructural.	78
2.16	DISEÑO ESTRUCTURAL DEL HORNO.	80
2.16.1	Cálculo de momentos.	83
2.16.2	Calculo de Reacciones.	85
2.16.3	Cálculo de los esfuerzos máximos.	86
2.16.4	Análisis de la columna recta.	87
2.17	ANÁLISIS TÉRMICO DEL HORNO MEDIANTE EL SOFTWARE “ANSYS R15.0”.....	93
2.18	CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DE RESISTENCIA ELÉCTRICA.....	100
2.18.1	Calentamiento de la resistencia por Efecto Joule.....	100
2.18.2	Factores que intervienen en el cálculo de la resistencia.	101
2.18.3	Cálculo numérico del elemento de resistencia.	108
2.18.4	Cálculo del diámetro de hilo (d).....	108
2.18.5	Método rápido para el cálculo del diámetro del hilo.	108
2.18.6	Calculo de la resistencia en caliente (Rc).	109
2.18.7	Cálculo de la resistencia en frío (R20°C).	110
2.18.8	Cálculo de la longitud radiante de hilo (L).	110
2.18.9	Cálculo del diámetro de la espiral (D).	110
2.18.10	Cálculo del número de espiras (n).	111
2.18.11	Cálculo de la longitud de la espira comprimida (Lw).	112
2.18.12	Cálculo del paso del arrollamiento (S).....	112
2.18.13	Cálculo de la longitud de la espira extendida (L).	112
2.18.14	Forma del elemento de resistencia.	113
2.19	DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN.	113
2.19.1	Diseño General.....	114
2.19.2	Controlador de temperatura (Universal Input Temperature Controller) ESM-7720.	118
2.19.3	Timer (Universal Input Programable) EZM-4435.....	121
2.19.4	Termocupla TIPO J	125
2.20	SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS DE CONTROL.	127
2.20.1	Selección del contactor.	127

2.20.2	Selección del relé auxiliar.	129
2.20.3	Selección de los fusibles para el circuito de fuerza y control.	130
2.20.4	Selección del breaker para el circuito de fuerza.	131
2.20.5	Diseño del diagrama del circuito de control y fuerza.	132
CAPÍTULO 3		134
CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.		134
3.1	CONSTRUCCIÓN DEL HORNO.	134
3.2	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.	134
3.3	CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL HORNO.	137
3.3.1	Trazado y Corte.	138
3.3.2	Estructura metálica.	138
3.3.3	Paredes del Horno.	139
3.3.4	Puerta del horno.	141
3.3.5	Recubrimiento del horno con lana de vidrio.	142
3.3.6	Ensamble de planchas externas.	143
3.4	MONTAJE DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.	144
3.4.1	Conformación de las resistencias eléctricas en el interior del horno.	144
3.4.2	Terminales y conexiones.	144
3.5	MONTAJE DE LOS ELEMENTOS EN EL TABLERO DE CONTROL.	145
3.5.1	Instalación de circuito de Control y de Fuerza.	146
CAPÍTULO 4		147
PRUEBAS EXPERIMENTALES Y ANÁLISIS ECONÓMICO.		147
4.1	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.	147
4.1.1	Condiciones físicas.	147
4.1.2	Sistema de control.	147
4.2	PARÁMETRO DE FUNCIONAMIENTO.	148
4.3	PROTOCOLO DE PRUEBAS DEL HORNO Y DEL MATERIAL.	148
4.3.1	Resultados.	149
4.3.2	Análisis de resultados.	153
4.4	ANÁLISIS ECONÓMICO.	155

4.5	COSTOS DE CONSTRUCCIÓN.	155
4.5.1	Materia Prima Directa (MPD).	155
4.5.2	Mano de Obra Directa (MOD).	158
4.5.3	Costos Indirectos (CI).	158
4.6	ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE CONSTRUCCIÓN.	160
4.7	DEPRECIACIÓN Y RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN.....	161
4.7.1	Depreciación de los equipos.	161
4.7.2	Cálculo del tiempo de funcionamiento del horno y potencia de consumo al mes.	162
4.8	CALCULO DEL VAN, TIR Y TIEMPO DE RECUPERACIÓN (TR).....	164
4.8.1	Cálculo del V.A.N (Valor Actual Neto).	164
4.8.2	Cálculo del T.I.R (Tasa Interna de Retorno) de una inversión.	166
4.8.3	Cálculo del Tiempo de recuperación de la inversión (TR).	167
4.9	INTERPRETACIÓN.	169
	CAPITULO 5	170
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	170
5.1	CONCLUSIONES.	170
5.2	RECOMENDACIONES.	172
	BIBLIOGRAFÍA	173
	NETGRAFÍA	176
	ANEXOS	176

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla 1. 1: Características principales de aleaciones de base.	14
Tabla 1. 2: Resistividad eléctrica de las aleaciones Ni-Cr.	15
Tabla 1. 3: Aleaciones del Fe-Cr-Al.	16
Tabla 1. 4: Propiedades de las aleaciones Fe-Cr-Al.	17
Tabla 1. 5: Resistividad eléctrica de las aleaciones Fe-Cr-Al.	18
Tabla 1. 6: Rangos de temperatura de sensores más comunes.	29
Tabla 1. 7: Características de sondas de resistencias.	34
Tabla 1. 8: Tamaños Industriales De Corte De Panel.	37

CAPÍTULO 2

Tabla 2. 1: Datos meteorológicos.	52
Tabla 2. 2: Temperatura en el área del proyecto.	53
Tabla 2. 3: Propiedades de los materiales de las paredes del horno.	60
Tabla 2.4: Flujo y temperaturas en función del espesor de la lana de vidrio.	62
Tabla 2. 5: Resultados obtenidos al realizar cálculos.	75
Tabla 2. 6: Propiedades estructurales del tubo cuadrado.	78
Tabla 2. 7: Datos del Flujo de calor total.	96
Tabla 2. 8: Direccional del flujo de calor.	97
Tabla 2. 9: Datos de las resistencias eléctricas.	107
Tabla 2. 10: Datos para el cálculo del diámetro del hilo.	109
Tabla 2. 11: Diámetro de la espiral (D) y Paso del arrollamiento (S).	111
Tabla 2. 12: Características y costo de diferentes Controladores de Temperatura y Timer.	115
Tabla 2. 13: Campos de Aplicación.	121
Tabla 2. 14: Condiciones de Operación.	121
Tabla 2. 15: Campos de Aplicación.	125
Tabla 2. 16: Condiciones de Operación.	125
Tabla 2. 17: Valores de mV, Termocupla tipo J.	126
Tabla 2. 18: Características termocupla tipo J.	127

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. 1: Zapato con plantilla de Polyol y Prepolymer.	1
Figura 1. 2: Creación del poliuretano.	3
Figura 1. 3: Conducción de calor a través de una pared plana.	7
Figura 1. 4: Convección Forzada.	8
Figura 1. 5: Convección natural.	9
Figura 1. 6: Transferencia de calor por radiación entre una superficie y las superficies que la circundan.	10
Figura 1. 7: Lana de vidrio.	10
Figura 1. 8: Equipos de calentamiento directo, intermitente y continuo.	12
Figura 1. 9: Disposición típica de resistencias de calentamiento indirecto.	13
Figura 1. 10: Alambre en espiral sobre tubos.	19
Figura 1. 11: Alambre en espiral sobre ranuras.	20
Figura 1. 12: Ondulado sobre ganchos.	20
Figura 1. 13: Soldadura de terminales y resistencias.	22
Figura 1. 14: Terminal para resistencias de alambre.	22
Figura 1. 15: Potencia específica máxima en hornos.	23
Figura 1. 16: Tubos cuadrados soldados entre si.	25
Figura 1. 17: Tornillo hexagonal auto perforante punta de broca.	26
Figura 1. 18: Instalación Tornillo hexagonal auto perforante punta de broca.	26
Figura 1. 19: Proceso del sistema de soldadura de arco manual.	27
Figura 1. 20: Conexiones soldadas: (a) tipos de juntas y (b) tipos de soldaduras.	28
Figura 1. 21: Termocupla tipo J.	30
Figura 1. 22: Curva característica f.e.m/temperatura de los termopares.	33
Figura 1. 23: Curva de resistencia relativa de varios metales en función de la temperatura.	34
Figura 1. 24: Controlador de Temperatura.	35

Figura 1. 25: Curva de comportamiento control ON/OFF.....	36
Figura 1. 26: Tamaños Industriales Estándar.....	37
Figura 1. 27: Timer o temporizador.....	38

CAPÍTULO 2

Figura 2. 1: Sección de Pared que Incluye el Punto Nodal 0.	44
Figura 2. 2: Sección de Pared que Incluye el Punto Nodal 1.	46
Figura 2. 3: Sección de Pared que Incluye el Punto de la Intercara 2.	47
Figura 2. 4: Sección de Pared que Incluye el Punto Exterior n.	48
Figura 2. 5: Dimensiones del tanque.	54
Figura 2. 6: Altura de la cámara de calentamiento, vista lateral derecho.	54
Figura 2. 7: Ancho de la cámara de calentamiento, vista frontal.	55
Figura 2. 8: Profundidad de la cámara de calentamiento, vista lateral derecho.....	56
Figura 2. 9: Dimensiones de la cámara de calentamiento del horno.	56
Figura 2. 10: Temperaturas en las paredes del horno.....	58
Figura 2. 11: Analogía eléctrica de la pared del horno.	59
Figura 2. 12: Estructura del horno con 7 pórticos.....	80
Figura 2. 13: Estructura simétrica en pórtico de soporte fijo.....	81
Figura 2. 14: Diagrama de cuerpo libre del pórtico.	81
Figura 2. 15: Pórtico fijo con carga concentrada en el centro.....	83
Figura 2. 16: Momentos de una carga concentrada en el centro.....	83
Figura 2. 17: Pandeo de una columna delgada rectangular.	88
Figura 2. 18: Valores de K para longitud efectiva $L_e=K L$ para diferentes conexiones en los extremos.....	88
Figura 2. 19: Análisis térmico del horno realizado en ANSYS R15.0.	94
Figura 2. 20: Curva transitoria térmica.	94
Figura 2. 21: Curva temperatura global máxima.	95
Figura 2. 22: Curva del flujo de calor total.....	95
Figura 2. 23: Flujo total de calor interno del horno.	96
Figura 2. 24: Curva de la direccional del flujo de calor.....	97
Figura 2. 25: Estado Estacionario térmico.	98

Figura 2. 26: Factor de seguridad.....	99
Figura 2. 27: Relación entre magnitudes eléctricas.....	100
Figura 2. 28: Carga específica máxima de las resistencias.....	103
Figura 2. 29: Forma del elemento de resistencia.	104
Figura 2. 30: Carga resistiva en delta doble paralelo.	106
Figura 2. 31: Esquema de la resistencia blindada.....	113
Figura 2. 32: Esquema gráfico del elemento de resistencia.	113
Figura 2. 33: Temperatura Controller ESM-77-20.	118
Figura 2. 34: ESM-7720, Especificaciones generales.	119
Figura 2. 35: Timer digital EZM-4435.....	122
Figura 2. 36: Especificaciones Generales del Timer EZM-4435.....	123
Figura 2. 37: Termocupla tipo J.	125
Figura 2. 38: Contactor Tripolar 220V/60Hz.....	129
Figura 2. 39: Relé auxiliar.	130
Figura 2. 40: Fusible de 220V/25A.....	131
Figura 2. 41: Fusible de 220V/1A.....	131
Figura 2. 42: Breaker CHINT de 32 A de 3 polos.....	132

CAPÍTULO 3

Figura 3. 1: Herramientas para el Proceso de Trazado y corte.	138
Figura 3. 2: Aspecto de la estructura metálica.	139
Figura 3. 3: Paredes interiores del horno.	139
Figura 3. 4: Planchas exteriores del horno.....	141
Figura 3. 5: Cerradura tipo barra mecánica.....	141
Figura 3. 6: Instalación de la lana de vidrio.	142
Figura 3. 7: Horno eléctrico.....	143
Figura 3. 8: Instalación de las resistencias eléctricas.....	144
Figura 3. 9: Terminal de conexión utilizado.....	145
Figura 3. 10: Adaptación de los elementos de control en el tablero.	145
Figura 3. 11: Tablero de control.	146
Figura 3. 12: Circuito de control y de fuerza.....	146

CAPÍTULO 4

Figura 4. 1: verificación de la hermeticidad del tanque de Polyol y Prepolymer.	149
Figura 4. 2: Disposición del material en el horno.	149
Figura 4. 3: Prueba realizada en el horno.	150
Figura 4. 4: Curva de comportamiento del horno con el material.	153
Figura 4. 5: Forma líquida del Polyol.....	153
Figura 4. 6: Forma líquida del Prepolymer.	153
Figura 4. 7: Costos de inversión porcentual.	153

RESUMEN

Este proyecto será ejecutado por la empresa de calzado “CALZADO CASS” con el afán de mejorar la calidad de la producción de calzado, y dar un mejor servicio al consumidor final. El proyecto consiste en el diseño, construcción y automatización de un horno eléctrico, para lo cual el diseño cumplirá con los estándares de seguridad establecidos. El material que será calentado es el Polyol y el Prepolymer, este nos servirá para la fabricación de las plantillas que serán usadas en los distintos tipos de zapatos. El tipo de horno que se va a construir es un horno eléctrico, donde el elemento que proporciona la energía calorífica serán las resistencias eléctricas, para la adquisición de datos se utilizará una termocupla tipo “J” industrial la cual enviará los datos hasta el controlador de temperatura. Posterior a la automatización se realizarán las pruebas de campo, las que nos ayudarán a establecer la eficiencia del horno en su proceso.

Palabras claves:

Horno eléctrico, Controlador de temperatura, Termocupla, Polyol , Prepolymer.

ABSTRAC

This project will be implemented by the shoe company "SHOE CASS" in an effort to improve the quality of footwear production and provide better service to the consumer. The project consists of the design, construction and automation of an electric oven, which design to meet safety standards set. The material to be heated is the Polyol and Prepolymer, this serviara us for making the templates that will be used in different types of shoes. The type of furnace that is going to build an electric furnace, where the element that provides the heat energy will be electric immersion for data acquisition a "J" type thermocouple industry which will send data to the controller will be used temperature. After the automation field tests will be conducted, which will help us to establish the efficiency of the furnace in the process.

keyword:

Electric oven, Temperature controller, Thermocouple, Polyol , Prepolymer.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 INTRODUCCIÓN.

La empresa de **Calzado CASS** se encuentra ubicada en la ciudad de Ambato en el barrio Guachi Chico, esta empresa familiar está dedicada a la fabricación de todo tipo de calzados tanto de hombres como mujeres, sus calzados son realizados a base de cuero y con plantillas de una mezcla de Polyol y Prepolymer, ver la **Figura 1. 1**.



Figura 1. 1: Zapato con plantilla de Polyol y Prepolymer. (Calzado Cass 2014)

El material utilizado para la elaboración de las plantillas de zapatos son una mezcla de Polyol y Prepolymer, estos dos materiales vienen separados en tanques metálicos de 58,5 cm de diámetro por 89 cm de alto, los tanques son calentados en el horno a 80°C por un tiempo de 24 horas, luego el material por separado es reubicado en tanques metálicos pequeños lo cual facilita su maniobra, los tanques pequeños de Polyol y Prepolymer, son calentados en el horno a 80°C durante 4 horas antes de ser montados en la máquina inyectora de plantillas.

Para el calentado de los tanques de Polyol y Prepolymer, se realizará el diseño, construcción y automatización de un horno de resistencias eléctricas, que cumpla con los requisitos de calentado.

1.2 POLYOL Y PREPOLYMER.

El poliuretano es un material muy usado en la fabricación de suelas en la industria del calzado debido a sus características de flexión, confort y resistencia a la abrasión.

Su versatilidad y sus propiedades físicas robustas lo han convertido en un material de elección para muchos fabricantes de calzado.

El material Polyol, ofrece una gama amplia de sistemas de poliuretano a base polyester, para la fabricación de suelas de calzado para técnicas tanto de inyección como de vaciado al molde y tiempo de desmolde para cubrir sus necesidades de productividad.

El poliuretano es una resina sintética que se caracteriza por su escasa permeabilidad a los gases, alta resistencia química, excelente aislamiento eléctrico.

1.2.1 Clasificación del Poliuretano.

Los poliuretanos se clasifican en dos formas que son:

- a. Rígidas:** Son rígidas y de densidad más elevada ($30-50 \text{ kg/m}^3$), se pueden formar paneles que son usados ampliamente para la aislación térmica. La capacidad de aislación térmica del poliuretano se debe al gas aprisionado en las celdillas cerradas del entramado del polímero.
- b. Flexibles:** Los poliuretanos flexibles son ampliamente usados en espumas resilientes, elastómeros durables, adhesivos y selladores de alto rendimiento, pinturas, fibras, sellos, empaques, juntas, condones, bajo

alfombras, partes automotrices, industria de la construcción, del mueble y miles de aplicaciones más.

1.2.2 Métodos de fabricación del Poliuretano.

La creación del poliuretano espumoso debe seguir las siguientes etapas en orden, para obtener el resultado esperado. El proceso es el siguiente, ver la **Figura 1. 2**.

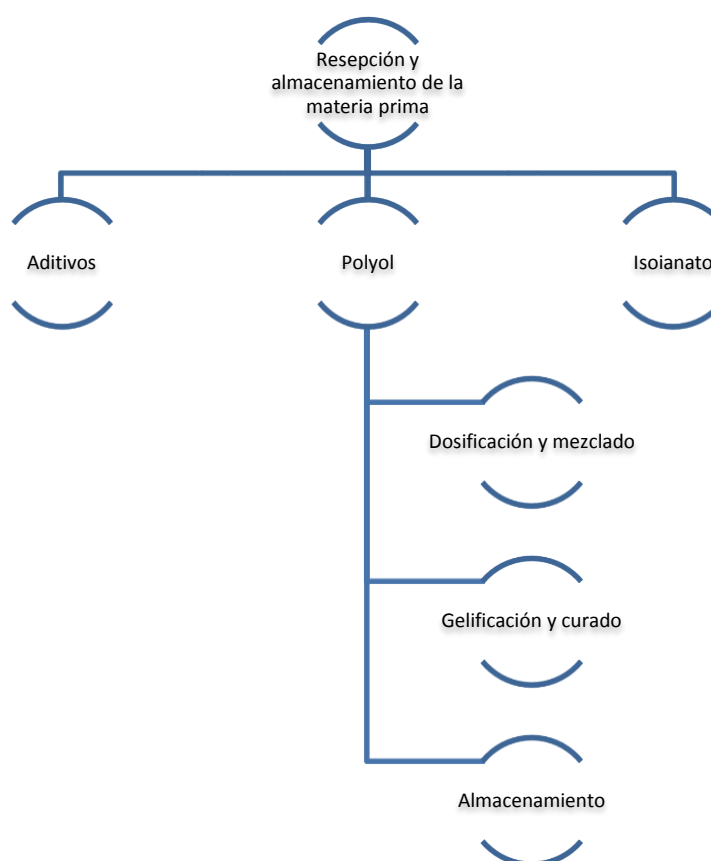


Figura 1. 2: Creación del poliuretano. (2014).

1.2.3 Polyol.

Los polyoles son líquidos viscosos, cuya principal característica química son los grupos hidroxilo (OH), constituidos por oxígeno e hidrógeno. Estos grupos reaccionan con los grupos Isocianato del Polisocianato dando lugar a grupos uretanos.

Los polyoles destinados a la fabricación de espuma rígida se obtienen fundamentalmente del óxido de propileno, la funcionalidad de un Polyol indica el número de grupos hidroxilo existente en la molécula.

Si el Polyol es una mezcla de componentes de distintas funcionalidades, entonces se indica la funcionalidad media. Las partes de una molécula que son susceptibles de reaccionar, un ejemplo son los grupos hidroxilo, se llaman grupos funcionales.

El contenido en grupos hidroxilo dentro de un compuesto se llama índice de hidroxilo o índice OH. En el momento de elegir un Polyol, aparte de conocer su naturaleza química, es necesario disponer de su índice de hidroxilo OH, de su viscosidad y de su contenido en agua.

1.3 FUNDAMENTOS DE HORNOS ELÉCTRICOS DE RESISTENCIAS.

1.3.1 Hornos Eléctricos de Resistencias.

Los hornos eléctricos por resistencias o más conocidos como hornos industriales, son equipos o dispositivos utilizados en la industria, en las que se calientan piezas o elementos colocados en su interior por encima de una temperatura ambiente.

Hay que señalar que esta definición, aparentemente clara, no es tanto en la práctica, ya que es frecuentemente utilizar otros términos tales como:

- a. Estufa:** Para hornos que operan a baja temperatura normalmente hasta 500 – 600°C, el término estufa se aplica a un determinado tipo de construcción con doble o triple cardería (la exterior, la intermedia para sujetar el aislamiento y la de canalización de aire).
- b. Secaderos (estufas de secado):** La temperatura de secado puede ser elevada y adoptar una técnica de construcción similar a la de los hornos.

c. Incineradores: Equipos destinados a la combustión y eliminación de residuos.

1.3.2 Aplicaciones de los Hornos de Resistencias.

Se puede también plantear las aplicaciones de los hornos industriales en relación con el procedimiento o procesos utilizados, desde este punto de vista se puede encontrar diversos tipos de hornos para diferentes aplicaciones.

- Sinterizado y calcinación.
- Fusión de metales.
- Calentamiento de los materiales.
- Tratamientos térmicos de metales.
- Otros procesos para materiales no metálicos, por ejemplo, vulcanizado de gomas y tratamientos de plásticos.
- Recubrimiento de piezas metálicas y no metálicas.
- Secado, en general, reducción del contenido de humedad en ciertos elementos (bobinas, etc.).

1.3.3 Clasificación de los Hornos de Resistencias.

La clasificación adoptada es de acuerdo al uso que se le pueda dar, por lo tanto los hornos de resistencias tiene la siguiente clasificación:

- Hornos de fusión.
- Hornos de recalentamiento.
- Hornos de tratamientos térmicos.

1.3.4 Factores para una correcta elección de un Horno de Resistencias.

Para la elección correcta de un horno de resistencias eléctricas, se debe tener en cuenta los tres criterios principales que son detallados a continuación:

a. Requerimiento y datos del usuario.

- b. Posibilidades tecnológicas del constructor.
- c. Posibilidades económicas.

a. Requerimiento y datos del usuario: Entre las exigencias técnicas, se debe resolver un problema concreto de fabricación dentro de un contexto industrial como se indica a continuación:

➤ **Carga a tratar:**

- Naturaleza y forma de la carga.
- Naturaleza del material.
- Temperatura inicial.

➤ **Tratamiento:**

- Ciclo temperatura-tiempo.
- Temperatura normal de utilización, máxima y mínima.
- Precisión de temperatura requerida.
- Presencia o no de atmósfera controlada.

➤ **Producción:**

- Producción horaria o por ciclo/carga.
- Utilización del equipo (horas, días, semanas, etc.).

b. Posibilidades tecnológicas del constructor: Las posibilidades tecnológicas de construcción del horno, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- **Comprobación:** El ciclo de temperatura requerido es realizable en condiciones industriales razonables.
- **Determinar el horno alrededor de:** La carga cuando se trata de cargas unitarias grandes y la producción, que es el caso más frecuente cuando se trata de un gran número de piezas unitarias.

c. Posibilidades económicas: Se refiere a la unidad productiva (horno), es la suma de los siguientes factores principales:

- Costo de energía.
- Costo de mano de obra directa.
- Costo de la mano de obra de control y supervisión.
- Costo de materiales consumibles.
- Amortización de la instalación.
- Costo de mantenimiento.

1.4 MECANISMO DE CONDUCCIÓN DEL CALOR.

Existen tres mecanismos diferentes de transferencia de calor, que se detallan a continuación:

1.4.1 Conducción.

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases, ver la **Figura 1. 3**.

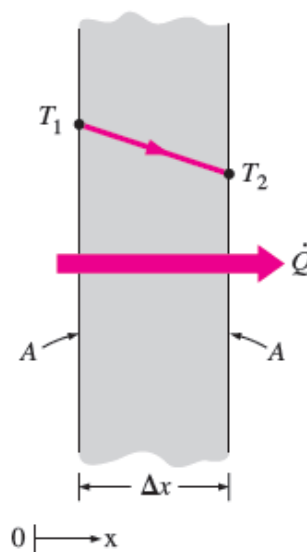


Figura 1. 3: Conducción de calor a través de una pared plana. (Cengel, 2011)

Este tipo de transmisión es característico de los sólidos, ya que los líquidos conducen muy mal y los gases prácticamente no conducen. Dentro de los sólidos existen muy buenos conductores, como los metales y malos conductores, como la madera o el papel.

1.4.2 Convección.

En la transferencia de calor por convección se da cuando el calor es transferido por el movimiento relativo de partes del cuerpo calentado de forma natural o forzada, por lo tanto tenemos la siguiente clasificación de convección:

- a. Convección Forzada:** El calor es forzado a fluir sobre la superficie de los materiales, mediante medios artificiales (ventiladores, bombas, etc.), ver la **Figura 1. 4**



Figura 1. 4: Convección Forzada. (Cengel, 2011)

- b. Convección natural:** El movimiento del fluido de calor es debido a causas naturales, las fuerzas de empuje son inducidas por la diferencia de densidad debida a la variación de temperatura en ese fluido, como lo indica la **Figura 1. 5**.

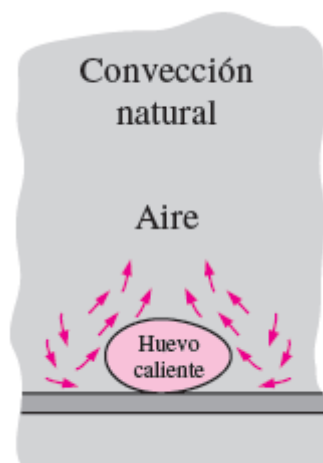


Figura 1. 5: Convección natural. (Cengel, 2011)

La transmisión por convección es típica de los fluidos (líquidos y gases), en ella se produce un transporte de energía asociado al desplazamiento de masas de fluido dentro del propio fluido, debido a las diferencias de densidad originadas por las distintas temperaturas de unas zonas y otras.

1.4.3 Radiación.

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas o fotones 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 la presencia de un medio interventor.

De hecho, la transferencia de calor por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz), ver la **Figura 1. 6.**

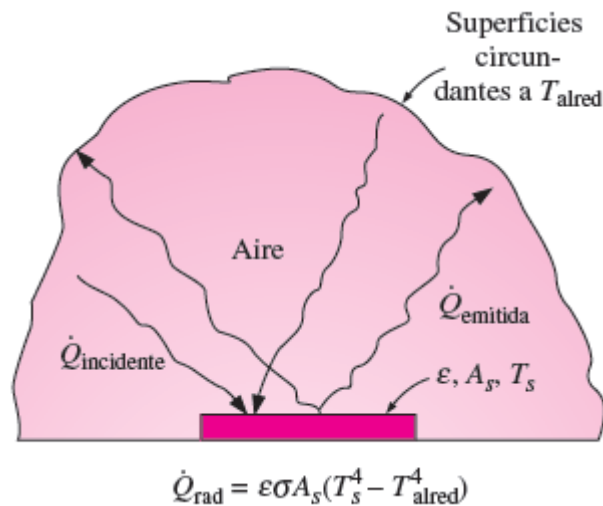


Figura 1. 6: Transferencia de calor por radiación entre una superficie y las superficies que la circundan. (Cengel, 2011)

1.5 LANA DE VIDRIO.

La lana de vidrio es una fibra mineral fabricada con millones de filamentos de vidrio unidos con un aglutinante.

El espacio libre con aire atrapado entre las fibras aumenta la resistencia a la transmisión de calor, ver la **Figura 1. 7**.



Figura 1. 7: Lana de vidrio. (Souyet, 2011)

Hay una serie de detalles importantes que predefinen el aislamiento acústico de un sistema. El material aislante debe ser seleccionado por su estructura, que es fundamental para el comportamiento del aislamiento acústico.

La capacidad del aislamiento para rellenar completamente una cavidad tiene un impacto positivo en el rendimiento del sistema, el ajuste correcto del aislamiento en los lugares donde los puentes acústicos suelen aparecer.

1.5.1 Propiedades de la lana de vidrio.

Las propiedades que tiene la lana de vidrio son las siguientes:

a. Resistencia Térmica: Gracias a una unión densa de los materiales con una baja conducción y atrapando una gran cantidad de aire, la lana de vidrio es un excelente aislante térmico.

A mayor grosor, mayor será la resistencia térmica de la misma.

b. Absorción Acústica: Gracias a su elasticidad y estructura, la lana de vidrio es absorbente, elástica y tiene un efecto disipante.

c. Incombustible: La lana de vidrio es incombustible por naturaleza, por lo cual esta puede estar directamente en contacto con fuego y no tendrá ninguna reacción de combustión.

d. Suavidad para una aplicación fácil: La lana de vidrio es suave al tacto, fácil de manejar y de instalar.

e. Liviandad: La liviandad ofrece confort y seguridad durante la instalación.

f. Libre de putrefacción: El producto no se degradará ni será afectada por microorganismo, que puede ser mejor que productos con origen mineral.

g. No nocivo para el medio ambiente: La lana de vidrio ahorra mucha más energía durante su vida útil que la consumida durante su producción.

1.5.2 Aplicaciones más comunes de la lana de vidrio.

La lana de vidrio se le puede dar diferentes aplicaciones las cuales se mencionan a continuación:

- Aislamiento acústico y térmico en paredes.
- Aislamiento acústico y térmico en techos.
- Aislamiento de conductos de aire acondicionado.
- Aislamiento térmico en hornos.

1.6 HORNOS DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.

El calentamiento de piezas por resistencias eléctricas puede ser de forma directa, cuando la corriente eléctrica pasa por las piezas, o indirecto, cuando las piezas se calientan por radiación, convección o una combinación de ambas, procedente de las resistencias propiamente dichas dispuestas en las proximidades de las piezas.

En la **Figura 1. 8**, se muestran dos tipos de equipos de calentamiento por resistencia directa, la pieza se somete a una corriente eléctrica de baja tensión.

El calentamiento por resistencia directa es adecuado para piezas metálicas de gran longitud y sección pequeña y uniforme, tales como barras, palanquillas, varillas, alambres y pletinas.

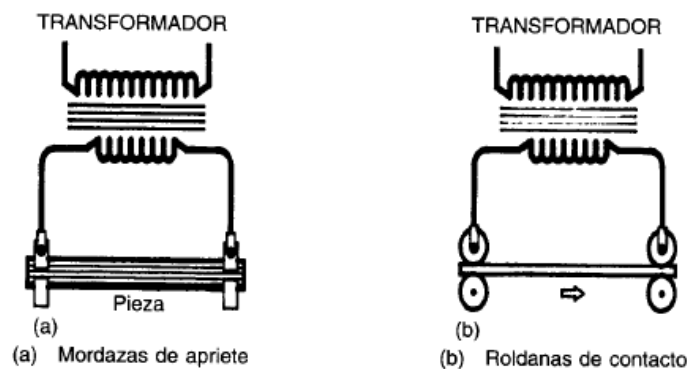


Figura 1. 8: Equipos de calentamiento directo, intermitente y continuo.

(Astigarraga Urquiza, 1994)

En las industrias es mucho más frecuente el calentamiento indirecto por resistencias eléctricas.

Dichas resistencias pueden ser:

- Barras, varillas, alambres o pletinas, dispuestos en las paredes de la cámara de calentamiento del horno, transmiten calor a la pieza por radiación.
- Paquetes de resistencias de los mismos materiales que transmiten el calor por convección al aire o gases, y también por convección, a las piezas.
- Resistencias blindadas, dispuestas en el interior de fundas metálicas de pequeño diámetro con un material cerámico de llenado de las fundas metálicas. Se adquieren de fabricantes especializados y, normalmente, se aplican a temperaturas inferiores.

En la **Figura 1. 9**, muestra una disposición típica de resistencias de alambre o pletina en las paredes laterales de un horno de carro para tratamientos térmicos hasta una temperatura máxima de 1100 °C. (Astigarraga Urquiza, 1994)

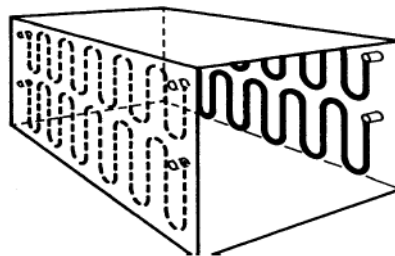


Figura 1. 9: Disposición típica de resistencias de calentamiento indirecto. (Astigarraga Urquiza, 1994)

1.6.1 Clasificación de las resistencias.

Las resistencias de calentamiento indirecto se clasifican del siguiente modo:

- a. Metálicas.
- b. No metálicas.
- c. Tubos radiantes.
- d. Resistencias blindadas.

De la clasificación de las resistencias, solo se estudiara las resistencias metálicas, por su mayor uso en el mercado.

a. Resistencias metálicas: Los materiales empleados para la fabricación de resistencias metálicas en hornos industriales se pueden clasificar en dos grandes grupos que son los siguientes:

Aleaciones de base Ni-Cr: Cuyas características principales se recogen en la **Tabla 1. 1.**

Tabla 1. 1: Características principales de aleaciones de base.

(Astigarraga Urquiza, 1994)

Aleación Ni-Cr	80-20	70-30	60-15	40-20	30-20	20-25
Composición aproximada:						
Ni %	80	70	60	37	30	20
Cr%	20	30	15	18	20	25
Fe%	<1	<1	20	40	45	50
Densidad kg/m^3	8.300	8.100	8.200	7.900	7.900	7.800
Temperatura de fusión °C	1.400	1.380	1.390	1.390	1.390	1.380
Temperatura máxima de utilización °C	1.200	1.250	1.150	1.100	1.100	1.150
Calor específico a 20°C kJ/kg.k	0,45	0,45	0,45	0,46	0,50	0,50
Conductividad térmica w/mk a 20°C	15	14	13	13	13	13
Coeficiente dilatación lineal 20 – 1.000°C/°C ⁻¹	18	18	17	19	19	19
Resistencia a la rotura: 20°C N/mm^2	700	800	700	700	700	700
900°C N/mm^2	100	100	100	120	120	120
Resistencia al Creep: 800°C N/mm^2	15	15	15	20	20	20
1.000°C N/mm^2	14	14	14	4	4	4

La más utilizada en resistencias de hornos eléctricos es la primera, 80 Ni-20 Cr. (Astigarraga Urquiza, 1994)

La segunda se ha desarrollado para una mayor resistencia a las atmósferas reductoras.

La última aleación, 20 Ni-25 Cr, se utiliza muy frecuentemente en la fabricación de elementos mecánicos en el interior de los hornos, tanto a base de materiales laminados como de piezas fundidas. (Astigarraga Urquiza, 1994).

Una característica más importante de una aleación es la resistividad eléctrica que varía sensiblemente con la temperatura, como lo indica en la **Tabla 1. 2.**

Tabla 1. 2: Resistividad eléctrica de las aleaciones Ni-Cr. (Astigarraga Urquiza, 1994)

Aleación Ni-Cr	80-20	70-30	60-15	40-20	30-20	20-25
Resistividad eléctrica $\mu\Omega\text{cm}$						
20°C	112	119	113	105	104	95
100°C	113	120	114	108	107	99
200°C	113	122	116	111	111	103
300°C	114	123	118	114	114	107
400°C	115	124	120	117	117	111
500°C	116	125	122	120	120	115
600°C	115	124	121	122	122	118
700°C	114	124	121	124	124	120
800°C	114	124	122	126	126	122
900°C	114	124	123	128	128	124
1.000°C	115	124	124	130	130	126
1.100°C	116	125	125	132	132	126
1.200°C	117	126	-	-	-	-
coeficiente de resistividad						
20°C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
100°C	1,009	1,009	1,009	1,028	1,029	1,042
200°C	1,009	1,025	1,027	1,057	1,067	1,084
300°C	1,018	1,034	1,044	1,086	1,096	1,126
400°C	1,027	1,042	1,062	1,114	1,125	1,168
500°C	1,036	1,050	1,080	1,143	1,154	1,210

Continúa

600°C	1,027	1,042	1,071	1,162	1,173	1,242
700°C	1,018	1,042	1,071	1,181	1,192	1,263
800°C	1,018	1,042	1,080	1,200	1,211	1,284
900°C	1,018	1,042	1,089	1,219	1,231	1,305
1.000°C	1,027	1,042	1,097	1,238	1,250	1,326
1.100°C	1,036	1,050	1,115	1,257	1,269	-
1.200°C	1,045	1,050	-	-	-	-

Es útil el coeficiente de resistividad (factor multiplicador de la resistividad a 20°C para obtener la resistividad a diferentes temperaturas).

La potencia absorbida por las resistencias, cuando se les aplica una tensión constante, será muy superior a 20 °C que a 1000 °C para dicha aleación, y prácticamente constante para las dos primeras.

- **Aleaciones Fe-Cr-Al:** Con posible adición de elementos, obtenidas por fusión o por pulvimetalurgia.

La variación entre los diversos fabricantes es mayor que en las aleaciones Ni-Cr. Las más representativas se muestran en la siguiente **Tabla 1. 3.**

Tabla 1. 3: Aleaciones del Fe-Cr-Al. (Astigarraga Urquiza, 1994)

Grupo 1	22/25 Cr-6 Al-70 Fe.
Grupo 2	20/22 Cr-5 Al-72 Fe.
Grupo3	120/22 Cr-4,5 A1-73 Fe.
Grupo 4	114 Cr-4 Al-80 Fe.

En el grupo 1 se ha introducido una variante obtenida por pulvimetalurgia. A muchas de estas aleaciones se les adiciona Ytrio lo que aumenta considerablemente la ductibilidad después de un

funcionamiento prolongado a alta temperatura, sus características principales se muestran en la **Tabla 1. 4.**

Tabla 1. 4: Propiedades de las aleaciones Fe-Cr-Al. (Astigarraga Urquiza, 1994)

Aleación	22-6 PM	22-6	22-5	22-4	14-4	
Composición química aproximada						
Cr %	22	22	22	22	14	
Al %	5,8	5,8	5,3	4,8	4	
Fe %	70	70	72	73	80	
Densidad kg/m^3	7.100	7.100	7.150	7.250	7.300	
Temperatura de fusión °C	1.500	1.500	1500	1500	1.500	
Temperatura máxima de utilización °C	1.400	1.400	1.400	1.300	1.100	
Calor específico a 20 C kJ/kg.k	0,46	0,46	0,46	0,46	0,48	
Calor específico medio a 0-1.000 °C kJ/kg.k	0,54	0,54	0,54	0,54	0,56	
Conductividad térmica a 20 C W/mk	13	13	13	13	15	
Coeficiente dilatación lineal 20 – 1.000°C $10^{-6} °C^{-1}$	15	15	15	15	15	
Resistencia a la rotura:	20°C N/mm^2	750	800	800	800	700
	900°C N/mm^2	40	34	37	34	35
Resistencia al Creep:	800°C N/mm^2	14	6	8	6	4
	1.000°C N/mm^2	1,8	1	1,5	1	0,8

En relación con las resistencias de las aleaciones Ni-Cr se tiene que: (Astigarraga Urquiza, 1994)

- La densidad es netamente inferior.
- La temperatura de fusión es más elevada.
- La temperatura máxima de utilización es más alta.
- El calor específico y la conductividad térmica son similares.
- La dilatación lineal es más baja.
- La resistencia a la rotura en caliente son más bajas, lo que exige el uso de aleaciones Ni-Cr.

La **Tabla 1. 5**, muestra la resistividad eléctrica de las aleaciones Fe-Cr-Al. Es notablemente más elevada que las aleaciones Ni-Cr lo que resulta favorable en el cálculo de las resistencias en hornos eléctricos.

La aleación 22 Cr-6 Al PM permite operar a temperaturas altas donde otras aleaciones presentaban problemas de deformación, fluencia y oxidación, presenta una mayor resistencia y una excelente resistencia a la oxidación.

Tabla 1. 5: Resistividad eléctrica de las aleaciones Fe-Cr-Al. (Astigarraga Urquiza, 1994)

Aleación	22-6 PM	22-6	22-5	22-4	14-4
Resistividad eléctrica $\mu\Omega\text{cm}$.					
Coefficiente de resistividad:					
20 °C	145	145	139	135	125
20 °C	1	1	1	1	1
100 °C	1	1	1	1	1,01
200 °C	1	1	1,01	1,01	1,02
300 °C	1	1	1,01	1,01	1,03
400 °C	1	1	1,02	1,02	1,04
500 °C	1,01	1,01	1,03	1,03	1,05
600 °C	1,02	1,02	1,04	1,04	1,07
700 °C	1,02	1,02	1,04	1,05	1,09
800 °C	1,03	1,03	1,05	1,06	1,11
900 °C	1,03	1,03	1,05	1,06	1,13
1.000 °C	1,04	1,04	1,06	1,07	1,14
1.100 °C	1,04	1,04	1,06	1,07	1,15
1.200 °C	1,04	1,04	1,06	1,08	-
1.300 °C	1,04	1,04	1,06	1,08	-
1.400 °C	1,05	1,05	1,07	-	-

1.6.2 Disposición de resistencias metálicas.

Las resistencias se disponen en una o varias de las siguientes superficies: paredes laterales, bóveda, solera y puertas.

Cada una de ellas presenta sus particularidades en cuanto a:

- Soporte mecánico de las resistencias.
- Posibilidades de ataque por cascarilla.
- Tensiones mecánicas por dilataciones y contracciones.
- Aislamiento eléctrico, que se reduce en los productos refractarios cerámicos al elevar la temperatura.

Entre las disposiciones de las resistencias metálicas, se tiene la disposición para diferentes tipos de resistencias que son:

a. Disposición de resistencias metálicas de alambre: El alambre para fabricación de resistencias en hornos es de uso más frecuente que la pletina y su diámetro varía de 1 a 12 mm, siendo posible elegir entre un gran número de diámetros normalizados.

Las disposiciones más frecuentes son:

- **Arrollado en espiral sobre tubos cerámicos (Figura 1. 10):** Permite una radiación térmica libre y se disponen en bóvedas, paredes laterales o solera; sobre aislamientos de mantas de fibra cerámica, placas o módulos al vacío de fibra cerámica, mantas de fibra plegada en acordeón o sobre ladrillos cerámicos, siendo fácil su adaptación a diferentes potencias y zonas de regulación.

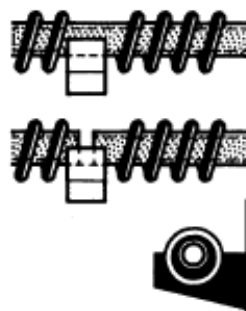


Figura 1. 10: Alambre en espiral sobre tubos. (Astigarraga Urquiza, 1994)

- **Arrollado en espiral sobre ranuras cerámicas (Figura 1. 11):** Es una disposición muy antigua y económica, pero la resistencia no radia libremente, por lo que debe calcularse para una menor carga específica.

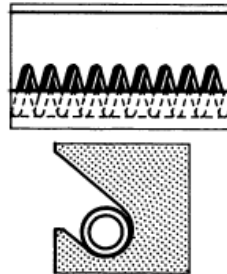


Figura 1. 11: Alambre en espiral sobre ranuras. (Astigarraga Urquiza, 1994)

- **Ondulado con soportes de gancho (Figura 1. 12):** Esta disposición es muy conveniente para conseguir una elevada potencia específica en kW/m^2 se emplean varillas de 5 a 8 mm de diámetro, soportadas por ganchos metálicos de aceros refractarios o cerámicos de silimanita. La temperatura máxima es de 1050°C para Ni-Cr y 1250°C para Fe-Cr-Al. (Astigarraga Urquiza, 1994)

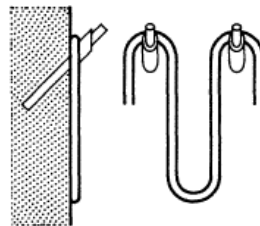


Figura 1. 12: Ondulado sobre ganchos. (Astigarraga Urquiza, 1994)

Para temperaturas de trabajo de 1000°C , la altura máxima de los lazos es de 350 mm y el paso mínimo de 40 mm.

- b. Disposición de resistencias de pletina.** Con pletina se consiguen unas disposiciones de resistencias de gran robustez mecánica y gran potencia

específica en kW/m², por lo que suelen adoptarse, frecuentemente, para hornos de más de 100-200 kW, las más frecuentes son:

- **Ondulada con soportes de gancho:** Se utiliza para pletinas desde 15 x 1 mm a 40 x 3 mm de sección, permite temperaturas máximas de 1150 °C para aleación Ni-Cr y 1300 °C para Fe-Cr-Al. (Astigarraga Urquiza, 1994).

La máxima altura de las resistencias es 350 mm y el paso mínimo depende de la anchura a de la pletina siendo aconsejable no bajar de 2 mm.

Alcanzan potencias específicas en pared de 60 kW/m² para 1000 °C de temperatura del horno, y la carga específica de las resistencias puede llegar, para la misma temperatura, a 5 W/cm².

1.6.3 Terminales y conexiones.

Tienen por objeto realizar la unión eléctrica y mecánica entre las resistencias del interior del horno y los cables eléctricos de conexión en el exterior.

Deben efectuar tres funciones básicas:

- Paso de la corriente eléctrica a través del aislamiento térmico del horno, consiguiendo el suficiente aislamiento eléctrico.
- Unión eléctrica y mecánica con las resistencias del horno y por tanto sometida a la temperatura de las resistencias.
- Unión eléctrica con los cables o barras de alimentación en el exterior del horno.

Los terminales para resistencias de alambre son siempre redondos, para resistencias de pletina pueden ser redondos, sobre todo en hornos de atmósfera controlada, para conseguir una buena estanqueidad.

La sección de los terminales deben ser grande para reducir las pérdidas por el efecto Joule, pero, una sección grande conduce a unas mayores pérdidas de calor por efecto de puente térmico, lo que da lugar a una mayor temperatura del extremo exterior del terminal.

La soldadura entre el terminal y la resistencia debe realizarse con gran cuidado, ver la **Figura 1. 13**.

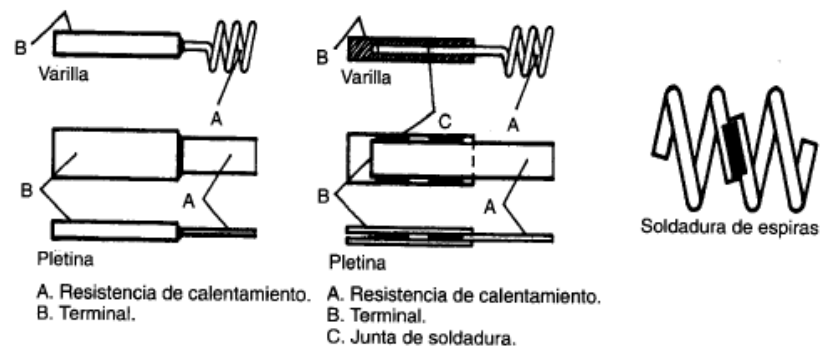


Figura 1. 13: Soldadura de terminales y resistencias. (Astigarraga Urquiza, 1994)

El terminal de resistencias se puede roscar en un extremo frío donde se atornilla el terminal del cable de alimentación.

En la **Figura 1. 14**, se muestran dos soluciones típicas para resistencias de alambre en espiral y de pletina ondulada, ambas con terminales redondos, es preferible colocar mordazas sobre los terminales lisos que se atornillan, interponiendo láminas de cobre para asegurar un buen contacto.

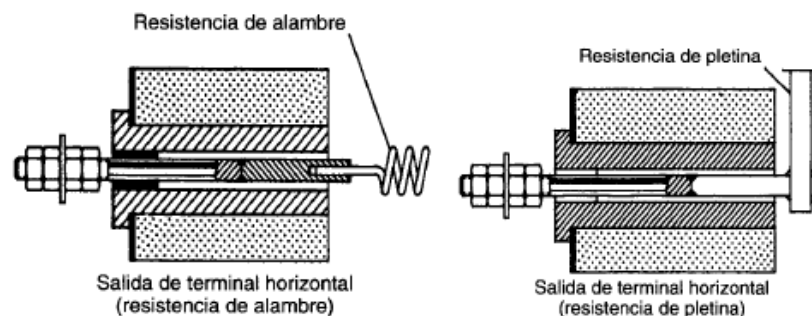


Figura 1. 14: (a).- Terminal para resistencias de alambre. (b).- Terminal para resistencias de pletina. (Astigarraga Urquiza, 1994)

1.6.4 Cálculo de las resistencias metálicas.

La potencia máxima que puede disponerse en el interior de un horno con resistencias metálicas depende de la temperatura máxima y de la disposición que se adopte para las mismas, en la **Figura 1. 15**, señala dicha potencia máxima para cuatro disposiciones típicas:

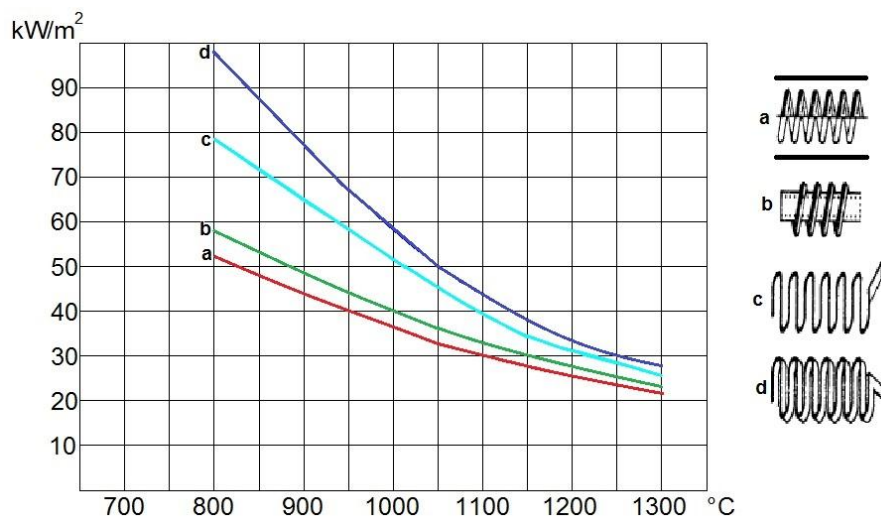


Figura 1. 15: Potencia específica máxima en hornos. (Astigarraga Urquiza, 1994)

- a) Alambre arrollado en espiral o pletina ondulada sobre ranuras.
- b) Alambre arrollado en espiral sobre tubos cerámicos.
- c) Alambre ondulado y dispuesto verticalmente con soportes de gancho.
- d) Pletina ondulada y dispuesta verticalmente con soportes de gancho.

1.7 PARTES CONSTITUTIVAS DEL HORNO ELÉCTRICO.

Después de analizar las diferentes aplicaciones que se les puede dar a los hornos eléctricos por resistencias dentro de la industria, ya sea en relación con el procedimiento o proceso a utilizar, los cuales pueden ser: sinterizado y calcinación, fusión de metales, tratamientos térmicos, recubrimiento de piezas metálicas, secado o reducción de humedad, procesos químicos, y otros procedimientos.

Se concluye que los tipos de hornos eléctricos muestran grandes y numerosas ventajas técnicas y económicas en su utilización, tanto por su versatilidad, costos, tamaño, resistencia y durabilidad.

Para lo cual un horno eléctrico de resistencias está constituido de las siguientes partes principales:

- Estructura metálica.
- Cámara de calefacción.
- Circulación de aire forzado o natural.
- Elementos de resistencia (resistencias de calentamiento).
- Control de temperatura y potencia.

1.7.1 Estructura metálica.

Se la define como la distribución de las partes mecánicas unidas entre sí y elaboradas para soportar con seguridad las cargas aplicadas a las mismas.

a. Miembros estructurales y conexiones: La estructura del horno eléctrico, está compuesta de varios miembros unidos entre sí por medio de conexiones soldadas.

Un miembro puede ser un tubo cuadrado o bien estar formado por varios tubos cuadrados unidos entre sí, como se detalla en la **Figura 1.**

16.

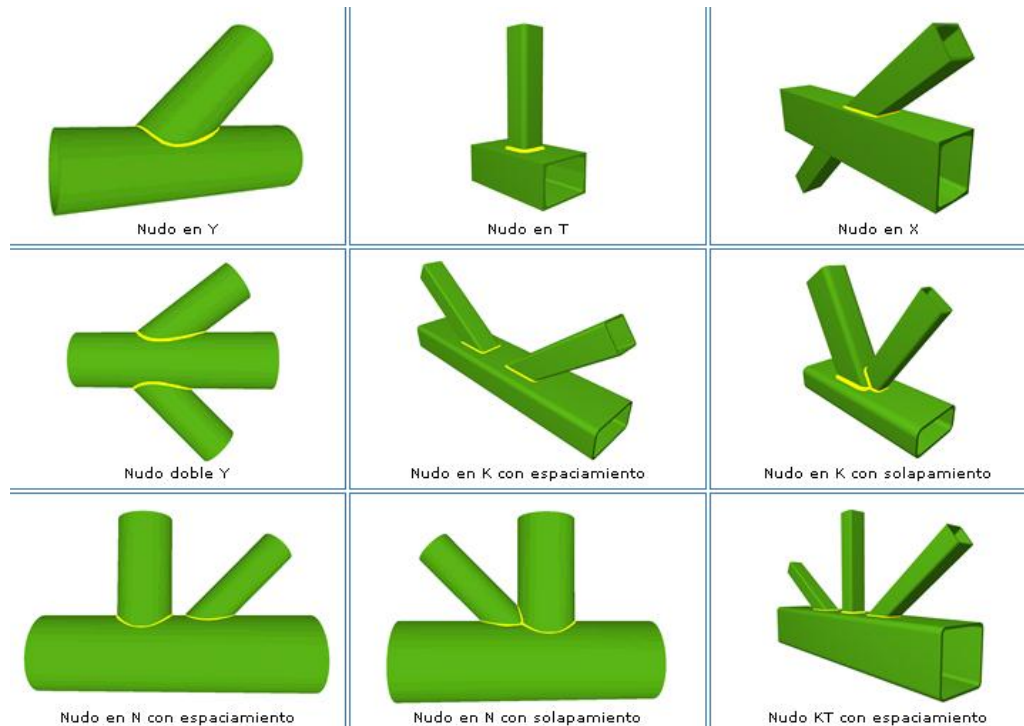


Figura 1. 16: Tubos cuadrados soldados entre sí. (CYPECAD, 2014)

b. Uniones simples: Para unir dos o más elementos metálicos, se puede emplear uno o varios de los siguientes métodos:

- **Uniones con tornillo hexagonal auto perforante punta de broca:** (Collins, 2012) Los tornillos hexagonales auto perforante punta de broca con rondana plástica y metálica integrada, son excelentes en fijaciones de estructuras metálicas, en la punta del tornillo se dispone de una punta de broca que automáticamente perfora las piezas metálicas con la ayuda de un taladro.

La capacidad de perforación es óptima en metales de calibre medianos, en la **Figura 1. 17** y **Figura 1. 18**, se puede apreciar sus medidas e instalación.

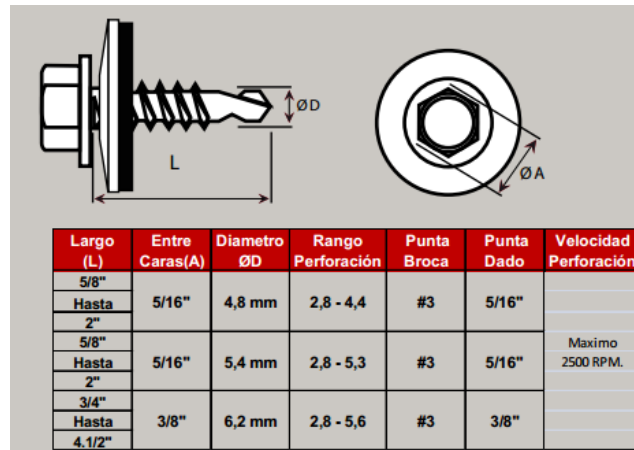


Figura 1. 17: Tornillo hexagonal auto perforante punta de broca.
(Collins, 2012)

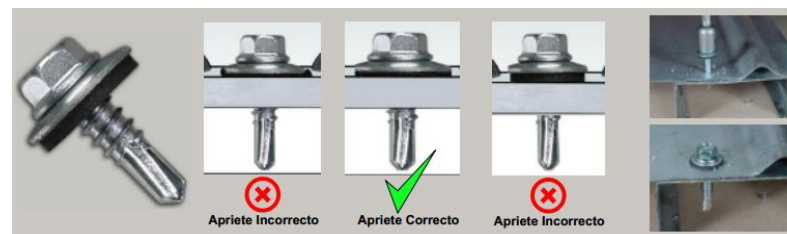


Figura 1. 18: Instalación Tornillo hexagonal auto perforante punta de broca. (Collins, 2012)

- **Uniones soldadas:** La soldadura es el proceso de conectar piezas de metal entre sí por medio de la aplicación de calor, ya sea con o sin presión, esta definición se aplica a una gran variedad de procesos, que varían desde soldaduras simples por calentamiento y fusión de metales blandos, hasta las soldaduras bajo el agua.

El sistema de soldadura de arco manual se define como el proceso en que se unen dos metales mediante fusión, producida por un arco eléctrico entre el electrodo metálico y el metal base que se desea unir. Todo este proceso se puede ver en la **Figura 1. 19**.

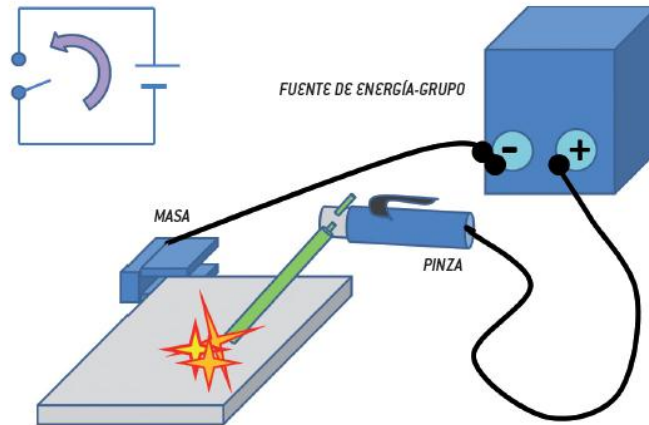


Figura 1. 19: Proceso del sistema de soldadura de arco manual.
(Fernandez, 2012)

El electrodo consiste en un núcleo o varilla metálica, rodeada por una capa de revestimiento, donde el núcleo es transferido hacia el metal base a través de una zona eléctrica generada por una corriente de soldadura.

El revestimiento del electrodo que determina las características mecánicas y químicas de la unión, esta constituida por un conjunto de componentes minerales y orgánicos que cumplen las siguientes funciones:

- Producir gases protectores para evitar la contaminación atmosférica y gases ionizantes para dirigir y mantener el arco.
- Producir escoria para proteger el metal ya depositado hasta su solidificación.
- Suministrar materiales desoxidantes, elementos de aleación de hierro en polvo.

Una ventaja de las uniones soldadas sobre las atornilladas es que no existen perforaciones, no hay una sección crítica de falla.

En la **Figura 1. 20**, se puede apreciar los diferentes tipos de uniones soldadas.

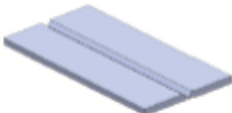
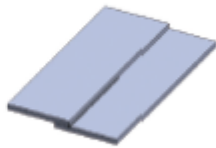
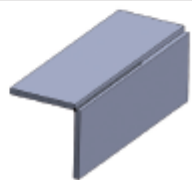

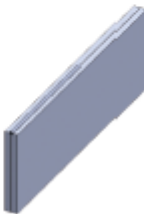
Tipos de unión	
Unión "a tope": Es la unión al mismo nivel	
Unión "a solape": Las chapas están solapadas una sobre otra	
Unión "en esquina": Angulo exterior.	
Unión "en T": Angulo interior.	
Unión "de canto".	

Figura 1. 20: Conexiones soldadas: (a) tipos de juntas y (b) tipos de soldaduras. (Fernandez, 2012)

1.7.2 Sensores.

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

Las variables de instrumentación más comunes pueden ser; temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, movimiento, PH, etc. Las magnitudes eléctricas pueden ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una Tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como en un fototransistor), etc.

a. Sensores de temperatura: Cada proceso en la industria debe ser controlado de alguna manera, y esta necesidad muchas veces también incluye la medición de la temperatura, por lo tanto se dispone de una gran variedad de sensores de temperatura para realizar las mediciones.

Se debe decidir cuál de los sensores debe seleccionar para cada situación en particular. A fin de seleccionar el mejor, para cada aplicación, se deben tener en cuenta varios factores:

- Temperatura Máxima.
- Rango de Temperatura a medir.
- Exactitud Velocidad de respuesta.
- Costo Requerimiento de mantenimiento.

Los rangos de temperatura serán analizados a continuación en relación con los sensores de uso más frecuente en las industrias de procesos, ver **Tabla 1. 6**.

Tabla 1. 6: Rangos de temperatura de sensores más comunes. (Antonio Creus, 2011)

SENSOR DE TEMPERATURA	Temp. Mínima	Temp. Máxima
Termocuplas	-220°C	2300°C
Sistemas de dilatación	-195°C	760°C
Termo resistencias	-250°C	850°C
Termistores	-40°C	260°C
Pirómetros de radiación	0°C	4000°C

b. La Termocupla: (Antonio Creus, 2011) El termopar se basa en el efecto descubierto por Seebeck en 1821, de la circulación de una corriente de un circuito formado por dos metales diferentes cuyas uniones (unión de medida o caliente y unión de referencia o fría) se mantiene a distinta temperatura, ver la **Figura 1. 21**.

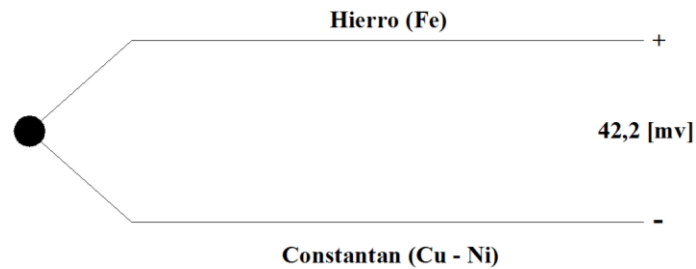


Figura 1. 21: Termocupla tipo J. (Antonio Creus, 2011)

La circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados que son:

- **El efecto Peltier.-** (Antonio Creus, 2011) Que provoca la liberación o absorción de calor en la unión de dos metales distintos cuando una corriente circula a través de la unión.
- **El efecto Thomson.-** (Antonio Creus, 2011) Que consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperaturas.

La combinación de los dos efectos, de Peltier y de Thomson, es la causa de la circulación de corriente al cerrar el circuito en el termopar.

Esta corriente puede calentar el termopar y afectar la precisión en la medida de la temperatura, por lo que durante la medición debe hacerse mínimo su valor.

Estudios realizados sobre el comportamiento de termopares han permitido establecer tres leyes fundamentales:

- **Ley del circuito homogéneo.-** (Antonio Creus, 2011) En un conductor metálico homogéneo no puede sostenerse la circulación de una corriente eléctrica por la aplicación exclusiva de calor.

- **Ley de los metales intermedios.-** (Antonio Creus, 2011) Si en un circuito de varios conductores la temperatura es uniforme desde un punto de soldadura A al otro punto B, la suma algebraica de todas las fuerzas electromotrices es totalmente independiente de los conductores metálicos intermedios y es la misma que si se pusieran en contacto directo A y B.
- **Ley de las temperaturas sucesivas.-** (Antonio Creus, 2011) La f.e.m. generada por un termopar con sus uniones a las temperaturas T1 y T3 es la suma algebraica de la f.e.m. del termopar con sus uniones a T1 y T2 y de la f.e.m del mismo termopar con sus uniones a las temperaturas T2 y T3.

Las termocuplas son las más usadas debido al intervalo de temperatura en el cual pueden utilizarse, su bajo costo y su versatilidad, la desventaja más relevante es que las termocuplas miden diferencias de temperatura y no temperatura absoluta, por lo que debe usarse una junta de referencia.

Las termocuplas se fabrican con metales puros o sus aleaciones, y se usan para medir temperaturas que van desde los aproximadamente -40°C hasta aproximadamente los 1200°C , con termocuplas estándares, con aleaciones especiales pueden llegarse a temperaturas superiores a los 3000°C .

Los valores de esta f.e.m. están tabulados en tablas de conversión con la unión de referencia a 0°C .

c. Tipos de Termocuplas: (Antonio Creus, 2011) Existen varios tipos de termocuplas, que miden diferentes rangos de temperaturas de acuerdo a la norma IEC-584-1, que son:

- **Termopar tipo E:** Este tipo de termocuplas están construidas de Cromel-Constantán, pueden usarse en vacío o en atmosfera inerte

o mediante oxidante o reductora. Este termopar posee la f.e.m más alta por variación de temperatura, y puede usarse para las temperaturas entre -200°C a $+900^{\circ}\text{C}$, ver **Anexo: A**.

- **Termopar tipo T:** Este tipo de termocuplas están construidas de Cobre-Constantán, tiene una elevada resistencia a la corrosión por humedad atmosférica o condensación y puede utilizarse en atmósferas oxidantes o reductoras. Se prefiere generalmente para las medidas de temperatura entre -200°C a $+260^{\circ}\text{C}$, ver **Anexo: A**.

- **Termopar tipo J:** El termopar tipo “J” fabricado de Hierro-Constantán, es adecuado en atmósferas con escaso oxígeno libre. La oxidación del hilo de hierro aumenta rápidamente por encima de 550°C , siendo necesario un mayor diámetro del hilo hasta una temperatura límite de 750°C , ver **Anexo: A**.

- **Termopares tipo R, S, B:** Este tipo de termocuplas son enchufadas en una lanza, el operario sumerge ésta en acero y aunque el cartucho se funde en unos segundos, da tiempo para que un circuito especial fije la máxima temperatura alcanzada. Por eso son muy utilizadas en la industria siderúrgica, ver **Anexo: A**.

A continuación se muestran las curvas características de los diferentes tipos de termocuplas, ver la **Figura 1. 22**.

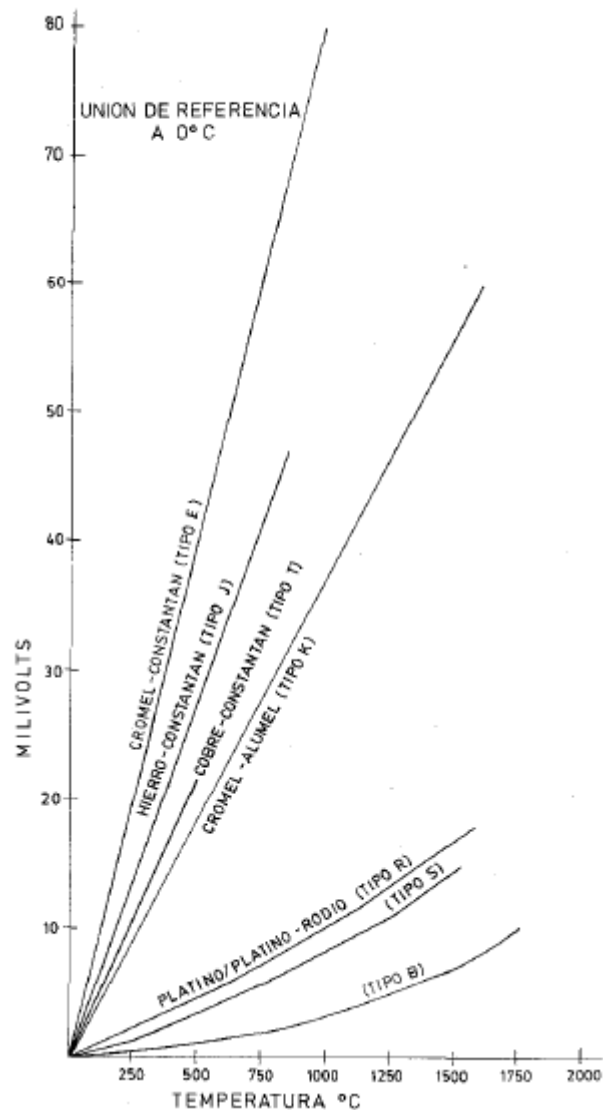


Figura 1. 22: Curva característica f.e.m/temperatura de los termopares.
(Antonio Creus, 2011)

d. Sensores de temperatura con resistencias: La termo-resistencia o RTD (Resistance Temperature Detector) trabaja según el principio de que en la medida que varía la temperatura su resistencia varia, en la **Figura 1. 23** y la **Tabla 1. 7**, la magnitud de la modificación puede relacionarse con la variación de la temperatura, el valor de la resistencia aumenta con el aumento de la temperatura.

El material que forma el conductor se caracteriza por el llamado coeficiente de temperatura de resistencia que expresa a una temperatura

especificada, la variación de la resistencia en ohmios del conductor por cada grado que cambia su temperatura.

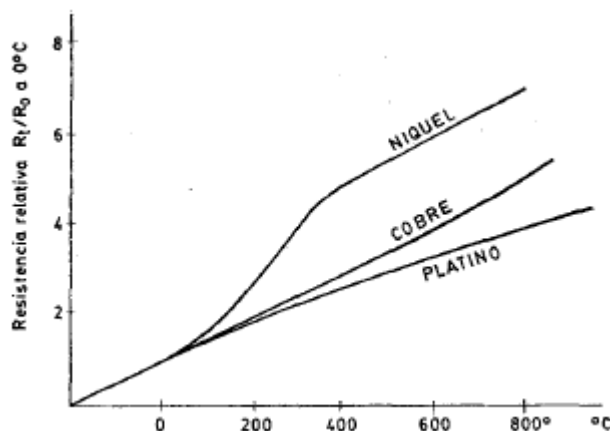


Figura 1. 23: Curva de resistencia relativa de varios metales en función de la temperatura. (Antonio Creus, 2011)

En la siguiente se indican las características de las sondas de resistencia del platino, níquel y de cobre.

Tabla 1. 7: Características de sondas de resistencias. (Antonio Creus, 2011)

Metal	Resistividad $\mu\Omega/\text{cm}$	Coef. de T. $\Omega/\Omega\text{ }^\circ\text{C}$	Valor útil de T. $^\circ\text{C}$	\varnothing mín. del hilo mm	Coste Relativo	Resist. sonda a 0°C ohmios	Precisión $^\circ\text{C}$
Platino	9.83	0.00358	-200 a 950	0.05	Alto	25, 100, 30	0.01
Níquel	6.38	0.0063 a 0,0066	-150 a 300	\geq	Medio	100	0,5
Cobre	1.56	0.00425	-200 a 120	\geq	Bajo	10	0,1

1.7.3 Controlador de temperatura.

Un controlador de temperatura es un instrumento usado para mantener la temperatura en un valor estable, tiene una entrada procedente de un sensor de temperatura y tiene una salida que está conectada a un elemento de control, ver la **Figura 1. 24**.



Figura 1. 24: Controlador de Temperatura. (Manual E. E., 2013)

Controla con precisión la temperatura del proceso con un sensor de temperatura que puede ser un Termopar, RTD, etc de entrada. El controlador compara la temperatura real a la temperatura de control deseada, o punto de ajuste, y proporciona una salida a un elemento de control.

Los siguientes puntos deben ser considerados al seleccionar un controlador:

- Tipo de sensor de entrada (termopar, RTD) y rango de temperatura.
- Tipo de salida requerida (relé electromecánico, SSR, salida analógica).
- Algoritmo de control necesario (encendido / apagado, proporcional, PID).
- Número y tipo de salidas (calor, frío, alarma, límite).

a. Tipos de controladores y su funcionamiento: Hay tres tipos básicos de controles: ON/OFF, proporcional y PID, dependiendo del sistema a ser controlado, el operador será capaz de utilizar uno u otro tipo para controlar el proceso.

A continuación se describirán los tres tipos básicos de controles.

- **Control On/Off:** Un control ON/OFF, es más simple y elemental forma de controlar una variable, es usado por casi todos los

termostatos domésticos. La acción de control de temperatura de un horno consiste en activar el mando del elemento calefactor cuando la temperatura está por debajo de la temperatura deseada y luego desactivarla cuando la temperatura este por arriba.

Cabe señalar que este método es conocido también como TODO/NADA, porque cuando se activa el elemento calefactor este transfiere toda la potencia para calentar el horno y a su vez cuando se desactiva no hay transferencia de potencia.

En la **Figura 1. 25** se puede observar el comportamiento de un control ON/OFF.

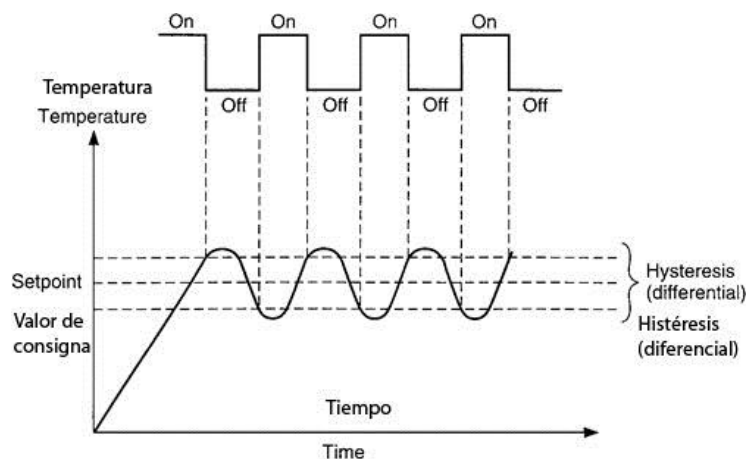


Figura 1. 25: Curva de comportamiento control ON/OFF. (Amadori, 2013)

- **Control proporcional:** Los controles proporcionales están diseñados para eliminar el ciclo asociado del control ON/OFF. Un controlador proporcional disminuye la potencia media suministrada al calentador cuando la temperatura se aproxima al punto de ajuste. Esto tiene el efecto de disminuir la energía del calentador al aproximarse al punto de ajuste sin que lo sobrepase, manteniendo una temperatura estable.
- **Control PID:** El control PID, ofrece una combinación del proporcional con control integral y derivativo, este controlador

combina control proporcional con dos ajustes adicionales, que ayuda a la unidad automáticamente a compensar los cambios en el sistema. Los términos proporcional, integral y derivativo se deben ajustar de manera individual mediante el método prueba y error.

b. Tamaños DIN estándar: los controladores de temperatura, vienen diseñados de acuerdo a su tamaño, lo cual obedece a una norma DIN los cuales son fabricados. Los tamaños DIN más comunes se muestran a continuación en la siguiente **Figura 1. 26** y la **Tabla 1. 8**.

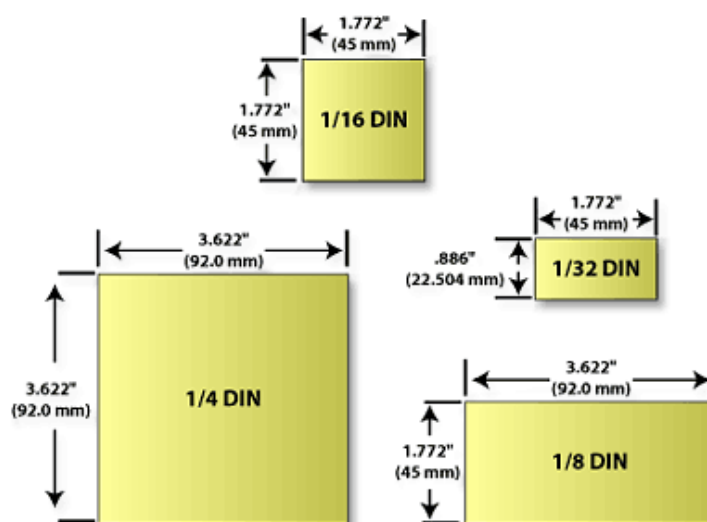


Figura 1. 26: Tamaños Industriales Estándar. (Omega, 2009)

Tabla 1. 8: Tamaños Industriales De Corte De Panel. (Omega, 2009)

TAMAÑO DIN	Alto	Ancho
1/32 DIN	22.5mm	45mm
1/16 DIN	45mm	45mm
1/8 DIN	45mm	92mm
1/4 DIN	92mm	92mm

1.7.4 El Timer.

Se denomina temporizador al dispositivo mediante el cual podemos regular la conexión o desconexión de un circuito eléctrico durante un tiempo determinado, ver la **Figura 1. 27**.



Figura 1. 27: Timer o temporizador. (Manual E. E., 2013)

Las formas de trabajo de un temporizador se detallan a continuación:

- a. Temporizador a la conexión:** Es un relé cuyo contacto de salida conecta después de un cierto retardo a partir del instante de conexión de los bornes de su bobina.
- b. Temporizador a la desconexión:** Al quedar sin alimentación, el relé permanece conectado durante el tiempo ajustado por el potenciómetro frontal o remoto, desconectándose al final de dicho tiempo.

CAPÍTULO 2

DISEÑO Y SELECCIÓN

El capítulo previo fue el preámbulo para la construcción de un horno eléctrico de calentamiento, el cual contendrá diseños estructurales en función de las ecuaciones que se presentan en los puntos siguientes:

- El calor acumulado en las paredes del horno que indicara la cantidad de calor que se acumula por efectos de la radiación, convección y conducción.
- El cálculo de las ecuaciones por pérdidas de calor que se dan por efecto de los fenómenos de transmisión de calor, servirán para determinar los calores perdidos en la pared del horno.
- La ecuación de distribución de temperatura nos ayudara a conocer, la temperatura que tiene cada nodo de la pared para determinar la perdida de calor por conducción.
- La ecuación de transferencia de calor se determinará para conocer la cantidad de calor que la pieza a calentar requiere, y el material aislante que se emplea para reducir las pérdidas de calor hacia el medio ambiente.
- Las ecuaciones para determinar el rendimiento térmico de convección y de operación, nos servirán para determinar el porcentaje de calor que se transfiere a la pieza por convección y la cantidad de calor que se transfiere por kilogramo de masa.
- Con la realización de todos los cálculos mencionados, se podrá determinar el tipo de material a utilizar para la construcción.

Además de la selección de materiales y elementos de control adecuados para su correcto control como funcionamiento.

2.1 ECUACIONES QUE SE UTILIZARÁN EN EL DISEÑO TÉRMICO.

A continuación se determinaran las ecuaciones que se utilizaran para el diseño térmico del horno.

2.1.1 Ecuación para determinar el calor acumulado en las paredes del horno.

Siendo el régimen estacionario, la densidad del flujo calorífico es constante e igual para todas las capas por lo tanto para el cálculo del calor acumulado en las paredes del horno se determina mediante la ecuación (2. 1). (Mills, 1997)

$$q = \frac{T_{int} - T_{\alpha}}{\frac{1}{h_{int}A} + \frac{X_1}{K_1A} + \frac{X_2}{K_2A} + \frac{X_3}{K_3A} + \frac{1}{h_{\alpha}A}} \quad (2. 1)$$

Dónde:

T_{int} = Temperatura de diseño del horno.

T_{α} = Temperatura ambiente.

$X_1 = X_3$ = Espesor de las placas de acero.

X_2 = Espesor de la lana de vidrio.

$K_1 = K_3$ = Constante de conductividad del acero.

K_2 = Constante de conductividad de la lana de vidrio.

A = Área de la pared lateral del horno.

h_{ext} = Coeficiente de transferencia de calor externo interno.

h_{α} = Coeficiente de transferencia de calor interno.

2.1.2 Ecuación para el cálculo del calor suministrado por el horno para un ciclo de trabajo.

La cantidad total de calor suministrado por el sistema, es igual a la cantidad de calor absorbido por la carga más las pérdidas de calor producidas durante el tiempo que dura un ciclo de trabajo, la cantidad de calor total suministrado por el sistema se calcula con la ecuación (2. 2).

$$Q_s = Q_p + Q_{\text{Carga Total}} \quad (2. 2)$$

Dónde:

Q_s = Calor suministrado por el sistema

Q_p = Pérdidas de calor

$Q_{\text{Carga Total}}$ = Calor total absorbido por la carga

Pero las pérdidas de calor se producen por la acumulación de calor en las paredes de la cámara, debido a la conducción, las pérdidas de calor se deben también a la radiación y convección desde la superficie libre del horno (parte exterior del horno) hacia el medio circulante, por lo tanto tendremos la siguiente ecuación (2. 3).

$$Q_p = Q_{kT} + Q_{CT} + Q_R \quad (2. 3)$$

Dónde:

Q_p = Pérdidas de calor.

Q_{kT} = Pérdidas por conducción.

Q_{CT} = Pérdidas por convección.

Q_R = Pérdidas por radiación.

2.1.3 Ecuación para determinar las pérdidas de calor por conducción.

Para determinar la pérdida de calor por conducción en el interior del horno, se utilizara la ecuación (2. 4) (Holman J. , 1999)

$$Q_k = m * C_p * \Delta T \quad (2. 4)$$

Dónde:

Q_k = Calor acumulado debido a la conducción [Kcal]

m = Masa del cuerpo que acumula el calor [Kg]

C_p = Calor específico del cuerpo [$\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$]

Δt = variación de temperatura [°C]

2.1.4 Ecuación para determinar las pérdidas de calor por convección.

Los procesos de convección libre se expresan en función de los tres parámetros adimensionales N_u (Número de Nusselt), Pr (Número de Prandlt) y Gr (Número de Grashof). (Holman J. , 1999)

Como generalmente se desea calcular el coeficiente de película (h_c), implicado en ($N_u = h_c \cdot L / k$) el proceso de convección libre se presenta mediante las siguientes ecuaciones:

$$N_u = F(Gr, Pr) \quad (2.5)$$

$$Gr = (\Delta T * \beta) * \frac{L^3 * \rho^2 * g}{u^2} \quad (2.6)$$

$$Pr = \frac{u * CP}{k} \quad (2.7)$$

En todas las expresiones de convección libre es acostumbrado calcular las propiedades del fluido (aire) a la temperatura media de película como indica la ecuación (2.8).

$$T_m = \frac{T_s + T_f}{2} \quad (2.8)$$

Dónde:

T_m = Temperatura media.

T_s = Temperatura de la superficie de la chapa de acero.

T_f = Temperatura del fluido ambiente (aire).

N_u = Número de Nusselt (adimensional).

Gr = Número de Grashof (adimensional).

Pr = Número de Prandlt (adimensional).

Por lo tanto el análisis de N_u , Pr y Gr depende si el régimen del aire si es laminar o turbulento en el exterior del horno para lo cual se usara las siguientes condiciones.

➤ **Régimen laminar.-**

$$Gr * Pr < 10^9$$

$$Nu = 0.68 + \frac{0.670(Gr * Pr)^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}} \quad (2.9)$$

➤ **Régimen Turbulento.-**

$$Gr * Pr > 10^9$$

$$Nu = 0.10(Gr * Pr)^{1/3} \quad (2.10)$$

Coeficiente de película convectivo, está representada de la siguiente forma, ecuación (2. 11)

$$hc = \frac{Nu * K}{L} \quad (2.11)$$

Por lo tanto, la pérdida de calor por convección en el exterior del horno se calcula con la siguiente ecuación (2. 12)

$$Q_c = hc * A * \Delta T \quad \left(\frac{Kcal}{h}\right) \quad (2.12)$$

2.1.5 Ecuación para determinar las pérdidas de calor por radiación.

Las superficies emiten y absorben energía radiante con diferente intensidad según la temperatura que tengan, y la naturaleza de su propia superficie, la mayor parte de cuerpos sólidos son opacos, la cantidad de calor transmitida por radiación viene expresada mediante la ecuación (2. 13) : (Holman J. , 1999)

$$Q_R = \epsilon * \tau * A(Ts^4 - Ta^4) \quad (2.13)$$

Dónde:

Q_R = Calor transmitido por radiación [Kcal/h]

ε = Emisividad de la superficie emisora 0.066, **Anexo: C.** (Holman J. , 1999)

τ = Constante universal de Stefan-Boltzman $5.67 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2K^4} \right]$

T_s = Temperatura de la superficie emisora $30^\circ\text{C}=303^\circ\text{K}$

T_a = Temperatura ambiente $10^\circ\text{C}=283^\circ\text{K}$

A = Área de la superficie emisora 1.372 m^2

2.2 ECUACIONES PARA DETERMINAR LA DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS.

Para obtener las ecuaciones que determinan dicha distribución de temperaturas, se debe establecer un balance energético para cada punto de pared (0, 1, 2,..., 12) tomando en cuenta las condiciones de borde que presentan dichos puntos (conducción, convección, radiación), de ésta manera se tendrá:

2.2.1 Balance térmico para el punto nodal 0.

La **Figura 2. 1**, nos muestra en forma detallada los puntos 0, 1 y 2 en los cuales se va a determinar la temperatura en dichos puntos.

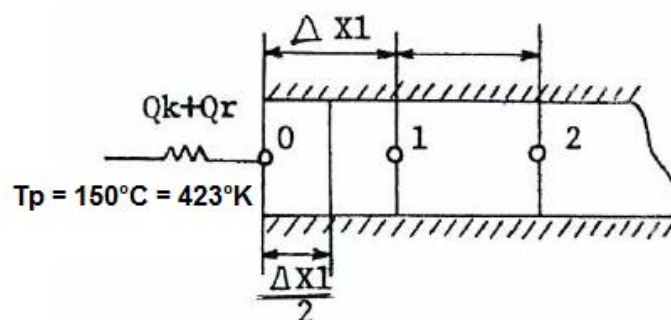


Figura 2. 1: Sección de Pared que Incluye el Punto Nodal 0. (Holman J. , 1999)

La variación de energía interna en el punto nodal 0, se debe a la transmisión de calor por radiación (que emiten los elementos de resistencia), más el calor por conducción (elementos de resistencia aislados en la pared),

el balance térmico en el punto nodal 0, se calcula con la ecuación **(2. 14)** y **(2. 15)**. (Holman J. , 1999)

$$\rho_0 * \frac{\Delta X_1}{2} * C_{p0} * \frac{\Delta T_0}{\Delta t} = \frac{K}{\Delta X_1} [T_0(t) - T_1(t)] + \delta * F_R - p[T_r(t)^4 - T_0(t)^4] \text{ Balance Térmico en el Punto Nodal 0} \quad (2. 14)$$

$$\frac{\Delta T_0}{\Delta t} = \frac{T_0(t + \Delta t) - T_0(t)}{\Delta t} \quad (2. 15)$$

Dónde:

$F_R - p$ = Factor de forma (Cuantifica la cantidad de energía calorífica que emite la resistencia y que llega a la pared).

δ = Constante universal.

T_r = Temperatura de los elementos de resistencia.

T_0 = Temperatura en el punto 0.

C_{p0} = Calor específico a presión constante en el punto nodal cero.

Reduciendo la ecuación **(2. 14)**, en función del Módulo Fourier (M) se tienen las ecuaciones **(2. 16)**, **(2. 17)** y **(2. 18)**

$$M = \frac{\Delta X^2}{a \Delta t} \quad (2. 16)$$

$$a = \frac{K}{\rho \cdot C_p} \quad (2. 17)$$

Dónde:

M = Módulo de Fourier

ΔX = Intervalo de distancia [m]

A = Difusividad térmica [$\frac{m^2}{h}$]

Δt = Intervalo de tiempo [h]

K = Conductividad térmica [$\frac{Kcal}{m \cdot h \cdot ^\circ C}$]

$\rho = \text{Densidad} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$

$C_p = \text{Calor Específico} \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \right]$

$$T_0(t + \Delta t) = \frac{2}{M} * T_0(t) + T_0(t) - \frac{2}{M} * T_1(t) + \frac{2}{M} * R[T_r^4(t) - T_0^4(t)] \quad (2.18)$$

2.2.2 Balance térmico para el punto nodal 1.

El balance térmico analizado en el punto nodal 1, corresponde al análisis en la chapa de acero que se encuentra en el interior del horno, como muestra la **Figura 2. 2**.

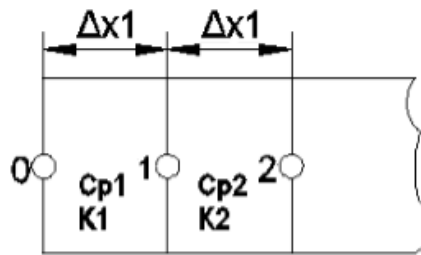


Figura 2. 2: Sección de Pared que Incluye el Punto Nodal 1. (Holman J. , 1999)

En estos puntos la transmisión de calor se produce por conducción, como se indica en la ecuación (2. 19).

$$\frac{\delta T}{\delta X^2} = \frac{\delta T}{a \delta t}$$

$$\frac{\delta^2 T}{\delta X^2} = \frac{T_0(t) + T_2(t) - 2T_1(t)}{\Delta X^2}$$

$$\frac{\delta T}{\delta t} = \frac{T_1(t + \Delta t) + T_1(t)}{\Delta t} \quad (2.19)$$

Balance Térmico en el Punto Nodal 1

Reduciendo la ecuación (2. 14). En función de M, nos queda la siguiente ecuación (2. 20):

$$T_1(t + \Delta t) = \frac{T_0(t) - T_2(t) + T_1(t)(M - 2)}{M} \quad (2. 20)$$

2.2.3 Balance térmico para el punto nodal 2.

Se supone que el contacto térmico entre las superficies es ideal, es este punto la transmisión de calor imperante es la conducción; se considerará las propiedades de los materiales (chapa de acero y aislante), que están en contacto directo, como se muestra en la **Figura 2. 3**.

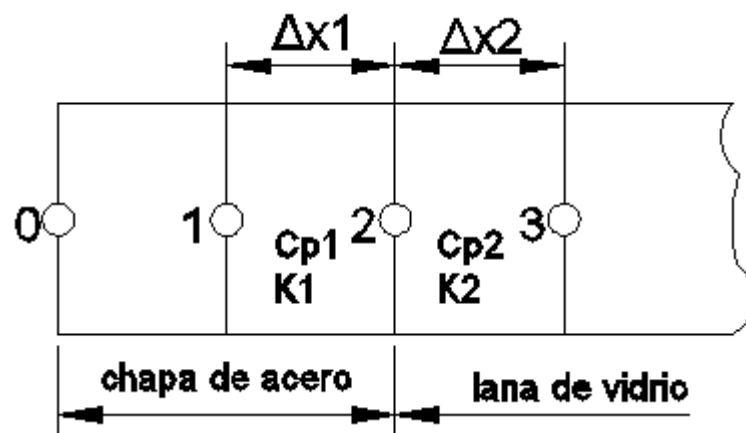


Figura 2. 3: Sección de Pared que Incluye el Punto de la Intercara 2.

(Holman J. , 1999)

El balance térmico en el punto nodal 2, se demuestra a continuación:

$$(\rho_1 * Cp_1 * \frac{\Delta X_1}{2} + \rho_2 * Cp_2 * \frac{\Delta X_2}{2}) \frac{\Delta T_2}{\Delta t} = \frac{K_1}{\Delta X_1} [T_1(t) - T_2(t)] + \frac{K_2}{\Delta X_2} [T_3(t) - T_2(t)]$$

$$T_2(t + \Delta t) = \frac{\frac{K_1}{\Delta X_1} * T_1(t) + \frac{K_2}{\Delta X_2} * T_3(t)}{\frac{M}{2} (\frac{K_1}{\Delta X_1} + \frac{K_2}{\Delta X_2})} + \frac{M - 2}{M} * T_2(t) \quad (2. 21)$$

Balance Térmico en el Punto de la Intercara 2

2.2.4 Balance térmico para el punto exterior de la pared.

En este punto nodal exterior de la pared, se tienen las tres formas de transferencia de calor, las cuales son por conducción, convección y radiación, como se muestra en la siguiente **Figura 2. 4**.

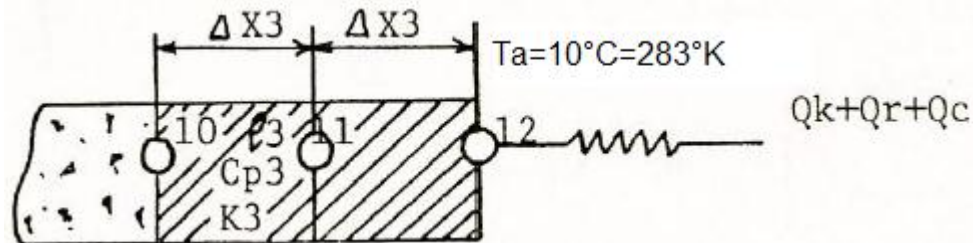


Figura 2. 4: Sección de Pared que Incluye el Punto Exterior n. (Holman J. , 1999)

El balance térmico en el punto exterior de pared, se calcula con la siguiente ecuación (2. 22):

$$\rho_3 * C_{p3} * \frac{\Delta X_3}{2} * \frac{\Delta T_n}{\Delta t} = \frac{K_3}{\Delta X_3} [T_{n-1}(t) - T_n(t)] + h[T_a(t) - T_n(t)]$$

$$T_n(t + \Delta t) = \frac{2}{M} * T_{n-1}(t) + T_n(t) * \left(1 - \frac{2}{M} * h * \frac{\Delta X_3}{K_3}\right) + \frac{2}{M} * h * \frac{\Delta X_3}{K_3} \quad (2. 22)$$

Balance Térmico para el Punto Exterior de Pared

Dónde:

h = Coeficiente de transferencia de calor que considera la convección hacia el medio circundante (Holman J. , 1999), **Anexo: B**.

$$h = 5 \frac{\text{Kcal}}{\text{hm}^2\text{°C}} \text{ ó } 25 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de distribución de temperaturas en toda la pared de la cámara del horno son:

Nodo (0).-

$$T_0(t + \Delta t) = 0.67T_1(t) + 0.33T_0(t) + 0.015 \times 10^{-8} \quad (2. 23)$$

Nodo (1).-

$$T_1(t + \Delta t) = \frac{T_0(t) + T_2(t) + T_1(t)}{3} \quad (2. 24)$$

Nodo (2).-

$$T_2(t + \Delta t) = 0.6T_3(t + 0.073T_5(t)) + 0.33T_4(t) \quad (2. 25)$$

Nodo (10).-

$$T_{10}(t + \Delta t) = \frac{T_9(t) + T_{10}(t) + T_{11}(t)}{3} \quad (2. 26)$$

Nodo (n).-

$$T_n(t + \Delta t) = 0.67T_{n-1}(t) + 0.37T_a(t) - 0.4T_n(t) \quad (2. 27)$$

2.3 ECUACION PARA DETERMINAR EL TIEMPO DE TRATAMIENTO DEL MATERIAL.

El balance energético cuya resolución llevará a predecir el cálculo del tiempo de calentamiento del material, se ha planteado de la siguiente manera:

- La energía radiante precedente de las paredes interiores de la cámara del horno que llega a la carga, provocará un cambio de energía interna, en la misma que se verá reflejada en el aumento de su temperatura.

El balance energético quedará establecido así: ecuación (2. 28).
(Holman J. , 1999)

$$Q_{pc} = Q_c \quad (2. 28)$$

La energía radiante procedente de la pared hacia la carga, es igual al calor absorbido por la carga como lo indica la ecuación (2. 29):

$$\tau * A_p * F_p - c(T_p^4 - T^4) = mc * C_{pc} * \frac{dT}{dt} \quad (2. 29)$$

Resolviendo la ecuación diferencial se tendrá el tiempo:

$$\frac{\tau * A_p * F_p - c * T_p^4}{mc * C_{pc}} - \frac{\tau * A_p * F_p - c * T^4}{mc * C_{pc}} = \frac{dT}{dt}$$

Dónde:

$$K2 = \frac{\tau * A_p * F_p - c * T_p^4}{mc * C_{pc}}$$

$$K1 = \frac{\tau * A_p * F_p - c}{mc * C_{pc}}$$

$$K2 - K1T^4 = \frac{dT}{dt}$$

$$\int_0^t dt = \int_{T_0}^{T_f} \frac{dT}{K2 - K1T^4}$$

Resolviendo la ecuación diferencial e integrando la expresión tendremos la ecuación (2. 30):

$$t = \frac{1}{4K1^{1/4} * K2^{1/4}} * \left[\ln \left(1 + \frac{T}{T_p} \right) - \ln \left(1 - \frac{T}{T_p} \right) + \frac{2\pi}{180} * \text{tg}^{-1} \left(\frac{T}{T_p} \right) \right]_{T_0}^{T_f} \quad (2. 30)$$

Dónde:

$$\tau = \text{Constante universal } 4.965 \times 10^{-8} \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{h} * \text{m}^2 * \text{K}} \right]$$

$$mc = \text{Masa de la carga} = 143.52 \text{ kg} = 315.744 \text{ lb}$$

$$C_{pc} = \text{Calor específico de la carga} = 1800 \frac{\text{J}}{\text{Kg} * \text{K}}$$

T_o = Temperatura inicial de la carga = $10^{\circ}\text{C} = 283 \text{ }^{\circ}\text{K}$

T_f = Temperatura final de la carga = $80^{\circ}\text{C} = 353 \text{ }^{\circ}\text{K}$

T = Temperatura de la carga (variable con el tiempo).

2.4 ECUACIÓN PARA DETERMINAR EL RENDIMIENTO TÉRMICO DE CONVECCIÓN.

El rendimiento de convección de un sistema de calefacción viene determinado por la relación entre el calor absorbido por el material, es decir la carga, para una determinada elevación de temperatura y el correspondiente calor suministrado por el sistema.

El rendimiento térmico por convección se puede calcular con la siguiente ecuación (2. 31): (Holman J. , 1999)

$$N_{tc} = \frac{Q_{carga\ total}}{Q_s} \times 100 \quad (2. 31)$$

2.5 ANÁLISIS DEL SISTEMA.

El sistema de calentamiento por medio de resistencias eléctricas, está encaminado a disminuir accidentes laborales y nos permite tener un mayor control de la temperatura en el interior del horno, en comparación de los hornos a gas.

Este sistema trata de un Horno Estacionario con el empleo de resistencias eléctricas, cuyo objetivo principal es calentar los tanques de Prepolymer a una temperatura de 80°C por un tiempo estimado de 24 hrs, (temperatura y tiempo establecidos por los fabricantes de Prepolymer y Polyol). (ELAchem Srl, 2009).

El sistema debe mantener una temperatura casi constante en el interior del horno, aproximadamente con una variación de $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

La selección de los métodos, teorías e información estará de acuerdo a los criterios y conocimientos alcanzados durante la carrera de ingeniería.

Se tomarán los parámetros que sean necesarios para realizar los cálculos que estén directamente relacionados con los datos.

2.6 CONSIDERACIONES FÍSICAS Y AMBIENTALES PARA EL DISEÑO.

Para realizar el diseño termodinámico, el área en la cual se está realizando el proyecto no se garantiza por las condiciones atmosféricas en las que se encuentra, existen factores como la altura sobre el nivel del mar, la densidad del aire, como se indica en la **Tabla 2. 1**

Tabla 2. 1: Datos meteorológicos. (Aguirre/Sánchez, Datos meteorológicos , 2013)

Sector:	Provincia del Tungurahua / Ambato
Altitud (m):	2640 m.
Temperatura media:	15°C
Temperatura mínima:	10°C
Humedad Relativa (Φ):	82%
Presión Atmosférica (P):	73.4 kPa. (Anexo: F).

2.6.1 Temperatura del aire atmosférico.

Para el diseño y construcción del horno de resistencias eléctricas, es fundamental conocer la temperatura atmosférica del lugar, ya que de este dependerá el resto del cálculo del diseño, para lo cual se ha realizado varias tomas de datos tanto en la noche como en el día, con la ayuda de un pirómetro, ver la **Tabla 2. 2**.

Tabla 2. 2: Temperatura en el área del proyecto. (Aguirre/Sánchez, Medición de temperatura)

Número de Tomas	Mañana	Noche
1	20°C	13°C
2	15°C	12°C
3	18°C	10°C
4	19°C	13°C

Con los datos obtenidos en la **Tabla 2. 2**, y al realizar la suma de las temperaturas, tenemos una temperatura promedio en Ambato que es de 15°C, y una temperatura crítica de 10°C con la que vamos a trabajar para el cálculo del horno.

2.6.2 Temperatura en el interior de la cámara de calentamiento.

La temperatura necesaria para calentar el tanque de Prepolymer, en el interior de la cámara de calentamiento es de 80°C durante 24 hrs, con esta temperatura y tiempo se logra calentar el tanque en su totalidad.

Es necesario indicar que esta temperatura debe permanecer constante (días soleados, nublados y lluviosos) en el periodo de funcionamiento.

2.6.3 Medidas de la cámara de calentamiento.

Para determinar las dimensiones de la cámara de calentamiento, estas son basadas en las dimensiones del tanque de Prepolymer, de la **Figura 2. 5**.

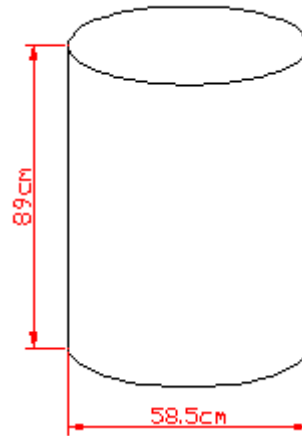


Figura 2. 5: Dimensiones del tanque. (Aguirre/Sánchez, Diseño en Autocad 2012)

- a. Altura:** Corresponde a la medida del piso al techo interno de la cámara, para el diseño de la altura se considera el diámetro del tanque de Prepolymer que es de 58,5cm, el tanque va a entrar en el horno de forma horizontal para facilitar su montaje y desmontaje, quedando un espacio libre de 39,5cm en la parte superior del tanque para el ingreso del aire caliente, teniendo en cuenta estos parámetros se considera que la altura interna de la cabina sea de 98cm, ver la **Figura 2. 6.**

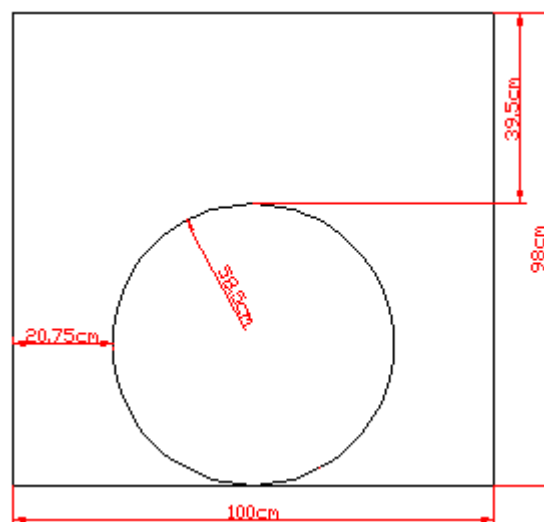


Figura 2. 6: Altura de la cámara de calentamiento, vista lateral derecho. (Aguirre/Sánchez, Diseño en Autocad 2012)

b. Ancho: Corresponde a la medida entre las paredes lateral derecha e izquierda internas de la cabina, para el diseño del ancho de la cabina, se considera la altura del tanque de Prepolymer que es de 89cm, quedando un espacio de 25,5cm a cada lado lateral del tanque para la circulación del aire caliente y maniobra del tanque, teniendo en cuenta estos parámetros se considera que el ancho interna de la cabina sea de 140cm, ver la **Figura 2. 7.**

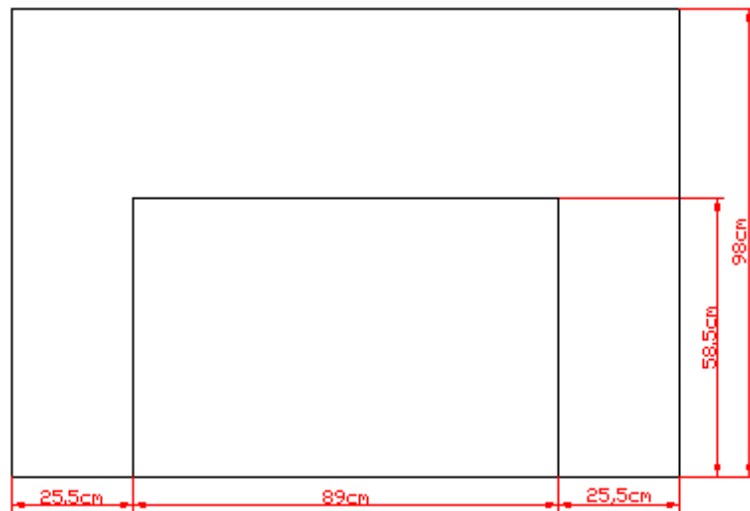


Figura 2. 7: Ancho de la cámara de calentamiento, vista frontal.

(Aguirre/Sánchez, Diseño en Autocad 2012)

c. Profundidad: Corresponde a la medida desde la puerta hacia la pared frontal, para el diseño de la profundidad, se considera el diámetro del tanque de Prepolymer que es de 58,5cm, quedando un espacio libre de 20,75cm de la puerta y la pared posterior para la circulación del aire caliente, teniendo en cuenta estos parámetros se considera que la profundidad interna de la cabina sea de 100cm, ver la **Figura 2. 8.**

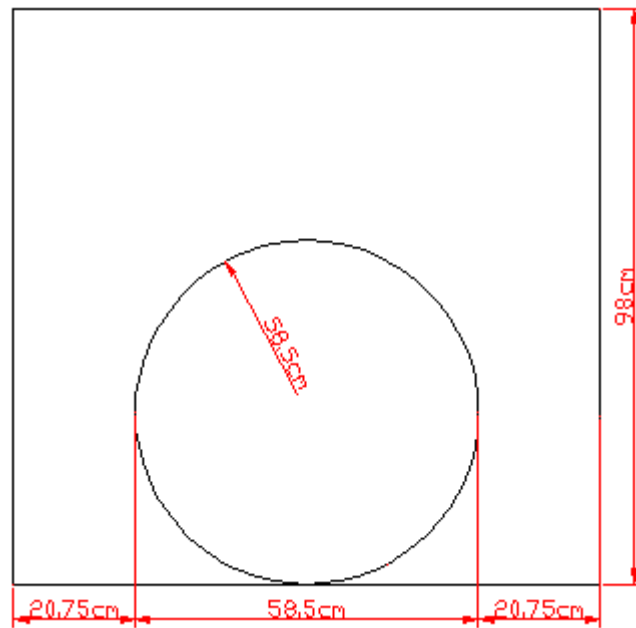


Figura 2. 8: Profundidad de la cámara de calentamiento, vista lateral derecho. (Aguirre/Sánchez, Diseño en Autocad 2012)

2.6.4 Dimensiones definitivas de la cámara de calentamiento.

Como ya se definió anteriormente las dimensiones de la cámara de calentamiento, esta tendrá las siguientes dimensiones como lo indica la **Figura 2. 9**

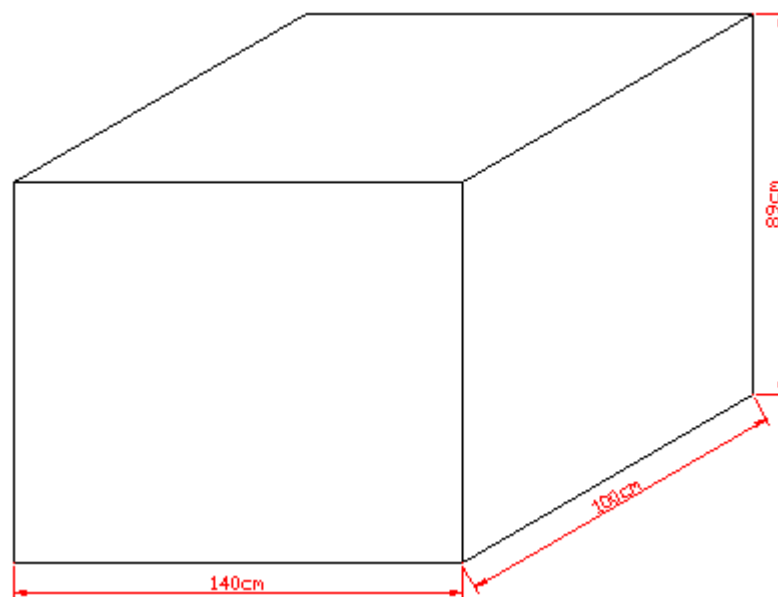


Figura 2. 9: Dimensiones de la cámara de calentamiento del horno. (Aguirre/Sánchez, Diseño en Autocad 2012)

Alto: 98cm = 0.98 m.

Ancho: 140cm = 1.40 m.

Profundidad: 100cm = 1 m.

$$\text{volúmen} = 1.40 \text{ m} \times 0.98 \text{ m} \times 1 \text{ m.}$$

$$\text{volúmen} = 1.372 \text{ m}^3$$

2.6.5 Capacidad de carga.

Dada las necesidades de la empresa se tomará como dato para los respectivos cálculos una capacidad de carga de 143.52 Kg, que corresponde al peso del tanque del Prepolymer, sabiendo que la producción es continua durante los cinco días laborables de la semana.

Esta capacidad de carga puede ser variable, pero no superior a la capacidad de carga dada.

2.7 DISEÑO TÉRMICO DEL SISTEMA.

2.7.1 Consideraciones Generales.

En los sólidos, la única forma de transferencia de calor es la conducción. Si se calienta un extremo de una varilla metálica, de forma que aumente su temperatura, el calor se transmite hasta el extremo más frío por conducción.

Se cree que se debe, en parte, al movimiento de los electrones libres que transportan energía cuando existe una diferencia de temperatura.

Esta teoría explica por qué los buenos conductores eléctricos también tienden a ser buenos conductores del calor.

La ley de Fourier de la conducción del calor afirma que la velocidad de conducción de calor a través de un cuerpo por unidad de sección transversal es proporcional al gradiente de temperatura que existe en el cuerpo (con el signo cambiado).

2.7.2 Transferencia de Calor.

Transferencia de calor es el intercambio de energía en forma de calor entre dos cuerpos a distintas temperaturas, el calor se transfiere mediante convección, radiación y conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos.

2.7.3 Análisis de las Temperaturas en el Horno.

Para el análisis de temperaturas en las paredes del horno, se considera un estado estable, como se puede apreciar existe un fluido caliente y uno frío, lógicamente el primero circula en el interior y el segundo en el exterior del horno, respectivamente ver la **Figura 2. 10**.

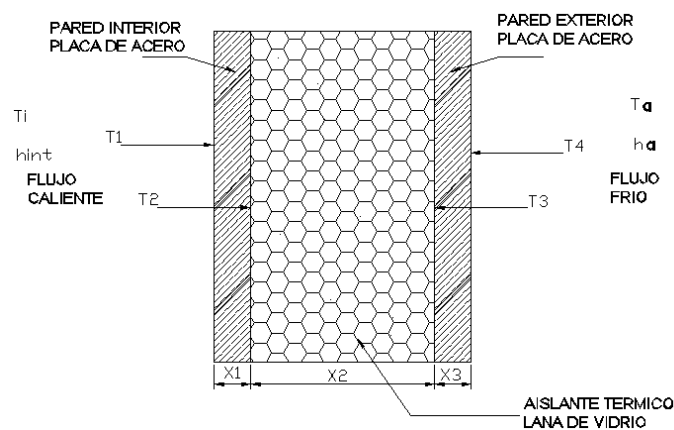


Figura 2. 10: Temperaturas en las paredes del horno. (Aguirre/Sánchez, Diseño en Autocad 2012)

A continuación se describe que representa cada símbolo utilizado en el esquema:

Dónde:

T_{int} : Temperatura en el interior del horno.

h_{int} : Coeficiente de Transferencia de Calor interno.

T_a : Temperatura del medio ambiente.

h_a : Coeficiente de Transferencia de Calor por el ambiente.

T_1 : Temperatura de contacto entre la cara interior de la placa interior y el fluido caliente.

T_2 : Temperatura de contacto entre la cara exterior de la placa interior y el aislante térmico.

T_3 : Temperatura de contacto entre la cara interior de la placa externa y el aislante térmico.

T_4 : Temperatura de contacto entre la cara externa de la placa exterior y el ambiente, está en algunos cálculos futuros puede ser mencionada como T_P o T_s .

X_1 : Espesor de la placa de acero interna.

X_2 : Espesor del aislante térmico.

X_3 : Espesor de la placa de acero externa.

A : Área lateral de la pared del horno.

2.7.4 Analogía eléctrica.

En la siguiente **Figura 2. 11**, podemos encontrar el análisis de temperaturas en las paredes del horno, desde la parte interior del horno hacia la parte exterior, por medio de esta analogía eléctrica podemos facilitar algunos cálculos, tal como se muestra:

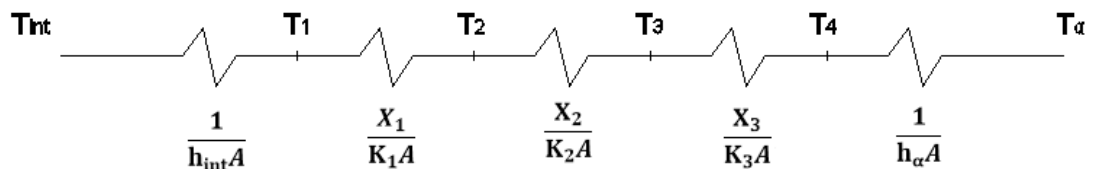


Figura 2. 11: Analogía eléctrica de la pared del horno. (Holman J. , 1999)

Se establecen las siguientes resistencias térmicas para determinar el flujo de calor hacia la parte exterior del horno por unidad de área:

$$R_1 = \frac{1}{h_{int}A}, R_2 = \frac{X_1}{K_1A}, R_3 = \frac{X_2}{K_2A}, R_4 = \frac{X_3}{K_3A}, R_5 = \frac{1}{h_{\alpha}A}$$

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

En resumen, el flujo de calor se puede representar de diferentes maneras como se muestra en la ecuación (2. 32).

$$q = \frac{T_{int} - T_1}{R_1} = \frac{T_1 - T_2}{R_2} = \frac{T_2 - T_3}{R_3} = \frac{T_3 - T_4}{R_4} = \frac{T_4 - T_\alpha}{R_5}$$

$$q = \frac{\Delta T}{R_T} = \frac{T_{int} - T_\alpha}{R_T} \quad (2. 32)$$

2.8 DETERMINACIÓN DEL AISLANTE TÉRMICO.

Como aislante térmico para el horno, vamos a utilizar la lana de vidrio, por su bajo costo y por la facilidad de obtención en el mercado, ver **Anexo: D**.

A continuación se presenta las propiedades a utilizarse en los cálculos, ver la **Tabla 2. 3**.

Tabla 2. 3: Propiedades de los materiales de las paredes del horno.

(Holman J. , 1999)

MATERIAL	DENSIDAD (ρ) [$\frac{Kg}{m^3}$]	CONDUCTIVIDAD TERMICA (k) [$\frac{W}{m^\circ K}$]	CALOR ESPECIFICO (C_p) [$\frac{J}{Kg.^\circ K}$]
Láminas de Acero	7850	58	460
Lana de Vidrio	18	0.040	660

2.9 CÁLCULO DEL FLUJO DE CALOR.

Haciendo uso de la herramienta de cálculo matemático “MATHCAD”, se realizó el cálculo de las temperaturas T_1 , T_2 , T_3 y T_4 , en función del espesor

de la lana de vidrio, para determinar qué espesor es el más óptimo para el diseño.

Datos para obtener las temperaturas en función del espesor de la lana de vidrio:

$$T_{\text{int}} = 150^{\circ}\text{C} = 423.15^{\circ}\text{K}$$

$$T_{\alpha} = 10^{\circ}\text{C} = 283.15^{\circ}\text{K}$$

$$\text{area} = 0.98 \text{ m}^2$$

$$h_{\text{int}} = 25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Placa 1

$$x_1 = 0.002\text{m}$$

$$K_1 = 58 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{K}}$$

Lana de vidrio

$$x_2 = 0.05\text{m}$$

$$K_2 = 0.040 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{K}}$$

Placa 2

$$x_3 = 0.002\text{m}$$

$$K_3 = 58 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{K}}$$

La ecuación que se aplicó para el cálculo de flujo de calor, corresponde a la ecuación (2. 1), y la ecuación que se aplicó para determinar el cálculo de las temperaturas corresponde a la ecuación (2. 32).

Resultados obtenidos, ver la **Tabla 2. 4**:

Tabla 2. 4: Flujo y temperaturas en función del espesor de la lana de vidrio. (Mathcad V14)

Espesor lana de vidrio (X ₂) Pulg	Flujo de calor (q) W	T ₁ °K	T ₂ °K	T ₃ °K	T ₄ °K
1	194.590894	415.207515	415.200668	291.099332	291.092485
2	103.152546	418.939692	418.936062	287.363938	287.360308
3	70.176553	420.285651	420.283182	286.016818	286.014349
4	52.365034	421.012652	421.010809	285.289191	285.287348

Con los resultados obtenidos en la **Tabla 2. 4**, de acuerdo al flujo de calor y a la temperatura T₄, determinamos que el espesor de la lana de vidrio óptimo para el diseño es de 2 pulgadas.

2.10 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CALOR.

La distribución final de temperatura en la pared de la cámara luego de un ciclo de funcionamiento de 24 horas, es como se muestra en la **Figura 2. 10**.

Luego procedemos a encontrar las temperaturas medias y las variaciones de temperatura con respecto a la temperatura crítica que es de 10°C, que existe en la pared del horno, aplicando la ecuación **(2. 8)**.

$$T_m = \frac{T_s + T_f}{2}$$

$$T_{m1} = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$T_{m1} = \frac{(418.939692 + 418.936062)^\circ K}{2}$$

$$T_{m1} = 418.937877^\circ K$$

$$T_{m2} = \frac{T_2 + T_3}{2}$$

$$T_{m2} = \frac{(418.936062 + 287.363938)^\circ K}{2}$$

$$T_{m2} = 353.1509075^\circ K$$

$$T_{m3} = \frac{T_3 + T_4}{2}$$

$$T_{m3} = \frac{(287.363938 + 287.360308)^\circ K}{2}$$

$$T_{m3} = 287.362123^\circ K$$

$$\Delta T_1 = T_{m1} - T_\alpha = 135.787877^\circ K$$

$$\Delta T_2 = T_{m2} - T_\alpha = 70.0009075^\circ K$$

$$\Delta T_3 = T_{m3} - T_\alpha = 4.212123^\circ K$$

2.10.1 Cálculo de las pérdidas de calor debido por conducción.

Para encontrar las pérdidas de calor por conducción, tanto de las chapas de acero como de la lana de vidrio, aplicamos la ecuación (2. 4):

a. **Sección 1:** (chapa de acero).

$$Q_{k1} = m * C_p * \Delta T_1$$

$$Q_{k3} = 15.39kg * 0.46 \frac{kJ}{Kg^\circ K} * 135.787877^\circ K$$

$$Q_{k1} = 961.29669 kJ$$

b. **Sección 2:** (lana de vidrio).

$$Qk2 = m * Cp * \Delta T_2$$

$$Qk2 = 0.88Kg * 0.66 \frac{kJ}{Kg^{\circ}K} * 70.0009075^{\circ}K$$

$$Qk2 = 40.656527 kJ$$

c. Sección 3: (chapa de acero).

$$Qk3 = m * Cp * \Delta T_3$$

$$Qk3 = 15.39kg * 0.46 \frac{kJ}{Kg^{\circ}K} * (4.212123^{\circ}K)$$

$$Qk3 = 29.819304 kJ$$

La acumulación de calor total en las paredes de la cámara para un ciclo de funcionamiento de (t = 24h= 86400 seg) es:

$$Q_{KT} = (961.29669 + 40.656527 + 29.819304) kJ$$

$$Q_{KT} = 1031.772521 kJ$$

$$Q_{KT} = \frac{1079.732 kJ}{86400 seg}$$

$$Q_{KT} = 0.0119 kW$$

2.10.2 Cálculo de las pérdidas de calor por convección.

En la convección libre o natural, la velocidad del fluido en puntos alejados de la superficie del cuerpo es esencialmente nula.

En las cercanías del cuerpo se registrará un cierto movimiento de aire, en este caso serán diferentes las densidades del aire que se encuentra

cerca de la superficie, y del que se encuentra alejado de ésta, esta diferencia de densidad dará lugar a una fuerza de empuje, flotación positiva o negativa (según que la superficie esté más caliente o más fría que el aire) sobre el fluido que se encuentra cerca de la superficie.

Esta fuerza se traduce en un movimiento del aire, substancialmente en dirección vertical, a lo largo de la superficie, con la consiguiente transmisión de calor por convección.

La temperatura de la superficie de la chapa de acero externa del horno calculado es: $T_s = T_4$, esta temperatura se aplicará para determinar la temperatura media en el exterior del horno.

$$T_4 = 287.360308 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_\alpha = 10^\circ\text{C} = 283.15^\circ\text{K}$$

$$\Delta T = T_m = \frac{T_s + T_\alpha}{2}$$

$$\Delta T = T_m = \frac{287.360308 \text{ } ^\circ\text{K} + 283.15^\circ\text{K}}{2}$$

$$\Delta T = T_m = 285.25515 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Las propiedades del aire a presión atmosférica para T_m , viene dadas en el **Anexo: F**:

Por lo tanto tenemos los siguientes datos:

$$Pr = \text{Numero de Prandt} = 0.708$$

$$\Delta T = \text{Diferencia de temperatura (superficie-aire)} = 285.25515 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$\rho = \text{Densidad del aire} = 1.1774 \text{ } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$g = \text{Gravedad} = 9.8 \text{ } \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$u =$ Viscosidad cinemática del aire $= 15.69 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$K =$ Conductividad del aire $= 0.02624 \text{ W}/\text{m}^\circ\text{C}$

$L =$ Longitud característica $= 0.24747 \text{ m}$

La longitud característica la obtenemos aplicando la condición $L = \frac{A}{P}$.

Donde:

$A =$ área de la pared vertical del horno, $A = 0.98 \text{ m}^2$

$P =$ perímetro de la pared vertical del horno, $P = 3.96 \text{ m}$

Otro factor importante en la Convección libre es el Coeficiente Volumétrico de Expansión Térmica (β), debido a que la densidad en el ambiente puede ser variable y se obtiene con la siguiente ecuación (2. 33):

$$\beta = \frac{1}{T_\alpha} \quad (2. 33)$$

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación (2. 33), se tiene:

$$\beta = \frac{1}{283.15 \text{ }^\circ\text{K}}$$

Con estos valores obtenidos, procedemos a encontrar G_r ((Número de Grashof)), aplicando la ecuación (2. 6):

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

$$G_r = \frac{285.25515 \text{ }^\circ\text{K}}{283.15 \text{ }^\circ\text{K}} * \frac{(0.24747 \text{ m})^3 * (1.1774 \text{ kg}/\text{m}^3)^2 * 9.8 \text{ m}/\text{s}^2}{(15.69 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})^2}$$

$$G_r = 8.4258 \times 10^8$$

Por lo tanto el producto entre Gr (Número de Grashof) y Pr (Número de Prandtl), nos indica si el flujo de aire es laminar o turbulento, para el cálculo de N_u (Número de Nusselt):

$$G_r \times P_r = 8.4258 \times 10^8 * 0.708$$

$$\mathbf{G_r \times P_r = 5.9654 \times 10^8}$$

El resultado de $G_r \times P_r$, nos indica que el flujo de aire es laminar en el exterior del horno por la condición dada anteriormente, por lo tanto aplicamos la ecuación (2. 9), para el cálculo de N_u (Número de Nusselt):

$$Gr * Pr < 10^9$$

$$N_u = 0.68 + \frac{0.670(5.9654 \times 10^8)^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{0.708}\right)^{9/16}\right]^{4/9}} \quad (2.34)$$

$$\mathbf{N_u = 81.0219}$$

A continuación procedemos a calcular el coeficiente de película convectiva, para lo cual aplicamos la ecuación (2. 11).

$$hc = \frac{N_u * K}{L}$$

$$hc = \frac{81.0219 * 0.02624 \text{ W/m}^\circ\text{C}}{0.24747 \text{ m}}$$

$$\mathbf{hc = 8.5910 \frac{W}{m^2^\circ C}}$$

A continuación procedemos a encontrar las pérdidas de calor por convección para la superficie horizontal superior, inferior y superficies verticales, aplicando la ecuación (2. 12) para todos los casos:

a. Para la superficie horizontal inferior:

$$Q_{c_i} = hc * A * \Delta T \quad (w)$$

$$Q_{c_i} = 8.5910 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 1.4m^2 * 12.10515 \text{ } ^\circ C$$

$$Q_{c_i} = 145.5936 W$$

b. Para la superficie horizontal superior: Se considera el 50% menor que la inferior, por motivo de la disposición de las resistencias en la superficie inferior del horno.

$$Q_{c_s} = 72.7968 W$$

c. Para las superficies verticales: Se considera el coeficiente convectivo hc un 35% inferior que para superficies horizontales encaradas hacia arriba:

$$Q_{c_v} = 0.65hc * A * \Delta T$$

$$Q_{c_v} = 0.65 \left(8.5910 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right) * 0.98m^2 * 12.10515 \text{ } ^\circ C$$

$$Q_{c_v} = 66.2450 W$$

Por lo tanto la pérdida de calor por convección total es:

$$Q_{c_T} = (145.5936 + 72.7968 + 66.2450) W$$

$$Q_{c_T} = 284.6354 W$$

2.10.3 Cálculo de las pérdidas de calor por radiación.

Para determinar la pérdida de calor que existe por radiación, aplicamos la ecuación (2. 13), para lo cual obtenemos lo siguiente:

$$Q_R = \varepsilon * \tau * A(T_s^4 - T_a^4)$$

$$Q_R = 0.066 * 5.67 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right] * 0.98 m^2 (287.360308^4 - 283.15^4) \text{ } ^\circ K^4$$

$$Q_R = 1.4337 W$$

Las pérdidas por radiación son bajas a estas temperaturas.

A continuación procedemos a calcular las pérdidas totales de calor, para lo cual aplicamos la ecuación (2. 3).

$$Q_p = Q_{KT} + Q_{cT} + Q_R$$

$$Q_p = 11.9 W + 284.6354 W + 1.4337 W$$

$$Q_p = 297.9691 W$$

2.11 CANTIDAD DEL CALOR ÚTIL PARA EL CALENTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS INTERNOS DEL HORNO.

2.11.1 Calor necesario para calentar el tanque de Prepolymer.

El calor útil, es la energía que es absorbida por las piezas que se encuentran en el interior del horno, conocida la temperatura de calentamiento, se aplica la siguiente ecuación (2. 35):

$$Q_{tanque} = m_{tanque} \times c_{p\ tanque} \times \Delta T \quad (2. 35)$$

Dónde:

$Q_c\ tanque$ = Calor necesario para calentar la carga en kJ.

m = Masa total de la carga en Kg.

C_p = Calor específico del material en kJ/Kg °K.

ΔT_c = Diferencia de temperatura en la placa con respecto al ambiente en °K.

Las propiedades termo físicas del tanque de Prepolymer se detallan en el **(Anexo: G)**:

$$C_p = 1800 \frac{J}{Kg^\circ K} = 1.8 \frac{kJ}{Kg^\circ K}$$

$$\rho = 0,56 - 0,6 \frac{g}{cm^3}$$

Datos específicos del tanque, ver la **Figura 2. 5**.

$$densidad\ polietileno = 0,56 - 0,6 \frac{g}{cm^3}$$

$$V = \Pi D^2 \left(\frac{h}{4}\right)$$

$$V = \Pi (0,585m)^2 \left(\frac{0,89m}{4}\right)$$

$$V = 0,24m^3$$

$$\rho = \frac{m_{tanque}}{V}$$

$$m_{tanque} = \rho * V = \left(0,6 \frac{g}{cm^3}\right) \left(\frac{1Kg}{1000g}\right) * (0,24m^3) \left(\frac{100^3 * cm^3}{1m^3}\right)$$

$$m_{tanque} = 143,52Kg$$

Datos:

$$m_{tanque} = 143,52Kg$$

$$T_f = 80^\circ C = 353^\circ K$$

$$T_o = 10^\circ C = 283^\circ K$$

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación **(2. 35)**, se tiene:

$$Q_{tanque} = m_{tanque} \times c_{p\ tanque} \times \Delta T$$

$$Q_{tanque} = 143.52\text{kg} * 1.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{K}} * (353 - 283)^\circ\text{K}$$

$$Q_{tanque} = 18083.52\ \text{kJ}$$

2.11.2 Calor necesario para calentar la plancha de acero de 6 mm de espesor.

La plancha de acero se utiliza para separar las resistencias eléctricas del tanque de Prepolymer, al mismo tiempo soportará el peso del tanque.

Para determinar el calor que se necesita para calentar la plancha de acero, se aplica la misma ecuación (2. 36).

$$Q_{plancha\ de\ acero} = m_{plancha} * c_{p\ plancha} * \Delta T \quad (2. 36)$$

Para el cálculo de la masa de la plancha de acero se debe usar la ecuación (2. 37) del catálogo de acero DIPAC, productos de acero en el Ecuador.

Las dimensiones de la plancha es la siguiente:

- L=1m=1000mm, A=0.80m=800mm y E=6mm.

$$m_{plancha} = \frac{L \times A \times E \times 7.85}{1000} \quad (2. 37)$$

$$m_{plancha} = \frac{1000\text{mm} \times 800\text{mm} \times 6\text{mm} \times 7.85}{1000}$$

$$m_{plancha} = 37.68kg$$

El calor específico se determinó según el **Anexo: D**, que es de:

$$C_p = 460 \text{ J/kg}^\circ\text{K} = 0.46 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}.$$

Con estos datos, se procede a calcular el calor necesario para calentar la plancha de acero aplicando la ecuación **(2. 36)**:

$$Q_{plancha \text{ acero}} = m_{plancha} * c_{p \text{ plancha}} * \Delta T$$

$$Q_{plancha \text{ acero}} = 37.68kg * 0.46 \frac{kJ}{kg^\circ K} * (353 - 283)^\circ K$$

$$Q_{plancha \text{ acero}} = 1213.30 \text{ kJ}$$

2.11.3 Cantidad de calor necesario para calentar la masa de aire en el interior del horno.

Las Propiedades termo-físicas del aire a $10^\circ\text{C} = 283,15^\circ\text{K}$, del **Anexo: F**, son los siguientes:

$$C_{p \text{ aire}} = 1,0057 \frac{kJ}{Kg^\circ C}$$

$$masa_{\text{aire}} = 1,61Kg$$

Con la ecuación **(2. 38)**, podemos encontrar el calor necesario para calentar la masa de aire de $10^\circ\text{C} = 283,15^\circ\text{K}$ a $150^\circ\text{C} = 423^\circ\text{K}$, con una $\Delta T = 140^\circ\text{C}$.

$$Q_{\text{aire}} = masa_{\text{aire}} * C_{p \text{ aire}} * \Delta T \quad (2. 38)$$

$$Q_{aire} = 1,61Kg * 1,0057 \frac{kJ}{Kg^{\circ}C} * 140^{\circ}C$$

$$Q_{aire} = 227.44 kJ$$

El calor total necesario para calentar la carga total en el interior del horno durante las 24 horas = 86400seg, es:

$$Q_{Carga\ Total} = Q_{tanque} + Q_{plancha\ acero} + Q_{aire}$$

$$Q_{Carga\ Total} = 18083.52 kJ + 1213.30 kJ + 227.44 kJ$$

$$Q_{Carga\ Total} = 19524.26 kJ$$

$$Q_{Carga\ Total} = \frac{19524.26 kJ}{86400 seg}$$

$$Q_{Carga\ Total} = 220 W$$

2.12 CÁLCULO DEL CALOR TOTAL SUMINISTRADO POR EL SISTEMA.

Una vez que se conoce el valor de las pérdidas de calor, y la cantidad de calor absorbido por la carga durante el periodo de calentamiento de 24 horas, para determinar el calor total aportado por el sistema, aplicamos la ecuación (2. 2):

$$Q_s = Q_p + Q_{Carga\ Total}$$

$$Q_s = Q_p = 297.9691 \text{ W} + 220 \text{ W}$$

$$Q_s = 517.9691 \text{ W}$$

Por lo tanto la potencia del horno es igual a **517.9691 W**

2.13 CÁLCULO DEL RENDIMIENTO TÉRMICO DE CONVECCIÓN.

El rendimiento de convección de un sistema de calefacción viene determinado por la relación entre el calor absorbido por el material, es decir la carga, para una determinada elevación de temperatura y el correspondiente calor suministrado por el sistema, para lo cual aplicamos la ecuación **(2. 31)** para hallar el rendimiento térmico por convección.

$$Ntc = \frac{220 \text{ W}}{517.9691 \text{ W}} \times 100$$

$$Ntc = 42.47 \%$$

Los resultados de la **Tabla 2. 5**, servirán como parámetros de comparación con los resultados reales obtenidos durante las pruebas que se realicen en el horno.

Tabla 2. 5: Resultados obtenidos al realizar cálculos. (Aguirre/Sánchez, Resultados de la transferencia de calor.)

Calor acumulado en las Paredes (q)	Espesor de las Paredes		Distribución de Temperaturas
$q = 103.152546 \text{ w}$	$X1 = 0.002 \text{ m}$	$X2 = 0.05 \text{ m}$	$T_{\text{int}} = 423.15 \text{ }^\circ\text{K}$ $T_1 = 418.939692 \text{ }^\circ\text{K}$ $T_2 = 418.936062 \text{ }^\circ\text{K}$ $T_3 = 287.363938 \text{ }^\circ\text{K}$ $T_4 = 287.360308 \text{ }^\circ\text{K}$ $T_\alpha = 283.15 \text{ }^\circ\text{K}$
PÉRDIDAS DE CALOR			
Pérdidas de calor por Convección (Q_{CT})	Pérdidas de calor por Radiación (Q_R)	Pérdidas de calor en las Paredes por conducción (Q_{KT})	Pérdidas Totales de calor (Q_p)
284.6354 W	1.4337 W	11.9 W	297.9691 W
CALOR SUMINISTRADO			
El calor Total necesario para calentar la Carga y elementos internos		Calor Total Suministrado por el Sistema (Q_s)	
220 W		517.9691 W	
RENDIMIENTO TÉRMICO DE CONVECCIÓN			
42.47 %			

2.14 CÁLCULO DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO.

Se estimará que durante el proceso de calentamiento del horno, las pérdidas de calor por las uniones del horno o por los espacios vacíos al cerrar la puerta del horno, están en el orden del 8 al 10% con respecto a la energía que ingresa al horno, este porcentaje se ha tomado en cuenta en relación a varios diseños de hornos, es importante que las pérdidas sean mínimas se considera un 8% con respecto a la energía que ingresará al horno.

Para encontrar el tiempo de calentamiento, para conocer en qué momento el horno alcanza la temperatura de curado de $80^{\circ}\text{C} = 353,15^{\circ}\text{K}$, se calcula mediante la ecuación (2. 39):

$$\Delta t = \frac{m c_p \Delta T}{0.92 Q_s - Q_p} \quad (2. 39)$$

Con la ecuación (2. 39), se puede encontrar el intervalo de tiempo de calentamiento, tiempo que toma en calentar la masa de aire en interior del horno, considerando el calor que ingresa al horno y el calor que se pierde, a continuación realizaremos el cálculo para encontrar Δt :

El calor específico del aire tomamos de acuerdo al **Anexo: F**, que es la siguiente:

$$C_{p \text{ aire}} = 1,005 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{K}}$$

$$\Delta t = \frac{m * c_p * \Delta T}{0,92 Q_s - Q_p}$$

$$\Delta t = \frac{1,61 \text{Kg} * 1,005 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{K}} * (353,15 - 283,15)^{\circ}\text{K}}{0,92(0.5179691 \text{ KW}) - 0.2979691 \text{ KW}}$$

El tiempo de calentamiento de la masa de aire en el interior del horno es:

$$\Delta t = 634,3074 \text{ s} \approx 10,57 \text{ min}$$

Tiempo de curado para calentar el tanque de Prepolymer es de 24 horas, recomendado por el fabricante: (ELAchem Srl, 2009)

$$\Delta t = 24\text{hrs} = 1440\text{min} = 86400\text{seg}$$

2.15 PARÁMETROS DEL DISEÑO.

2.15.1 Material en paredes internas y externas.

El material que se va a utilizar en el recubrimiento del horno son planchas de Acero ASTM-A 36 de las siguientes especificaciones: (DIPAC, 2013)

- **Plancha exterior:** L = 2.44m x A = 1.22m x E = 2mm de 46.74 Kg.
- **Plancha interior:** L = 2.44m x A = 1.22m x E = 2mm de 46.74 Kg.

Peso total de las planchas interiores (W1) como exteriores (W2) en el techo se calcula con la ecuación (2. 40):

- **Dimensiones en el interior del techo:** L = 1400mm x A = 1000mm
- **Dimensiones en el exterior del techo:** L = 1540mm x A = 1140mm

$$w = \frac{L * A * E * 7.85}{1000} \quad (2. 40)$$

Dónde:

L = ancho de la plancha de acero.

A = altura de la plancha de acero.

E = espesor de la plancha de acero.

$$W1 = \frac{(1400\text{mm} * 1000\text{mm} * 2\text{mm}) * 7.85}{1000}$$

$$W1 = 32.97 \text{ Kg}$$

$$W2 = \frac{(1540\text{mm} * 1140\text{mm} * 2\text{mm}) * 7.85}{1000}$$

$$W2 = 27.56 \text{ Kg}$$

2.15.2 Material del Tubo Cuadrado estructural.

Los materiales de tubo cuadrado estructural del catálogo de "DIPAC" que vamos a utilizar para la estructura de la cámara de calentamiento es ASTM A-500 de 50 mm x 50 mm x 3 mm, peso = 4.18Kg/m, longitud= 12m, con una dimensión longitudinal total de 20 metros, estas dimensiones del tubo cuadrado se tomó en base al espesor del aislante térmico en el horno, ver la **Tabla 2. 6**.

Tabla 2. 6: Propiedades estructurales del tubo cuadrado. (DIPAC, 2013)

PROPIEDAD ESTRUCTURAL DEL TUBO CUADRADO		
Denominación	Valor	Unidad
módulo de elasticidad (E)	2.2 X 10 ⁶	$\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$
resistencia a la Fluencia (Sy)	2536	$\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$
Área (A)	5.33	cm ²
peso aproximado (W)	4.18	$\frac{\text{Kg}}{\text{m}}$
Propiedades del eje "x"=propiedades del eje "y"		
inercia (Ix=Iy)	14.13	cm ⁴
módulo de sección (Zx=Zy)	5.65	cm ³
radio de giro (rx=ry)	1.94	cm

El peso total del tubo cuadrado (W3) es:

$$W3 = 21.16\text{m} * 4.18 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$$

$$\mathbf{W3 = 88.45 \text{ Kg}}$$

Para el cálculo del peso de la lana de vidrio, tendremos que calcular el volumen total que va a ocupar la lana de vidrio tanto en las paredes laterales como en el piso y techo con un espesor de 5 cm, (W4) es:

$$\rho_{\text{lana de vidrio}} = 18 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$V_T = (0.1188 + 0.162 + 0.165) \text{ m}^3$$

$$V_T = 0.4458 \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{lana de vidrio}} = \frac{W_4}{V_T}$$

$$W4 = 18 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0.4458 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{W4 = 8.02 \text{ Kg}}$$

El peso del tanque de Prepolymer (W5) es:

$$\mathbf{W5 = 143.52 \text{ Kg}}$$

La estructura tiene 7 pórticos ver la **Figura 2. 12**, por lo tanto el peso total que va a existir en el techo es:

$$W1' = \frac{W1 + W2 + W3 + W4}{7}$$

$$W1' = \frac{(32.97 + 27.56 + 88.45 + 8.02) \text{Kg}}{7}$$

$$W1' = 22.43 \text{ Kg}$$

El peso (P) concentrado en cada pórtico se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = W1' + W5$$

$$P = (22.43 + 143.52) \text{Kg}$$

$$P = 165.95 \text{ Kg}$$

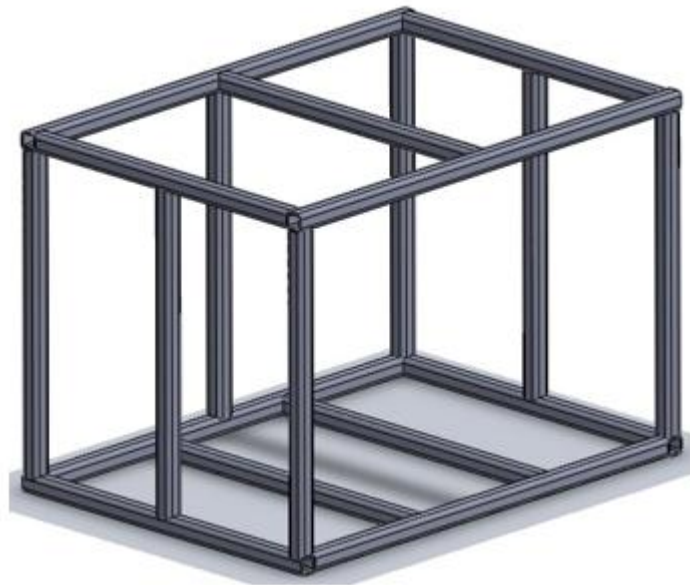


Figura 2. 12: Estructura del horno con 7 pórticos. (Aguirre/Sanchez, Diseño estructural realizado en Solid Word)

2.16 DISEÑO ESTRUCTURAL DEL HORNO.

En la presente sección se realizara el análisis de las estructuras, para prevenir el pandeo de las mismas. Razón por la cual se determinará el factor de empotramiento adecuado, que nos permitirá determinar la longitud efectiva de la columna.

Para construir una estructura confiable se tomará en cuenta los factores de diseño, de esta forma se sabrá la magnitud de la carga en que la estructura sea segura partiendo de la carga de diseño.

Entonces para realizar todo el análisis antes mencionado, se debe representar en forma de cuerpo libre la estructura simétrica de un pórtico de soporte fijo para poder visualizar cada uno de los parámetros que nos servirán para el análisis estático de la estructura ver la **Figura 2. 13** y **Figura 2. 14**, respectivamente.

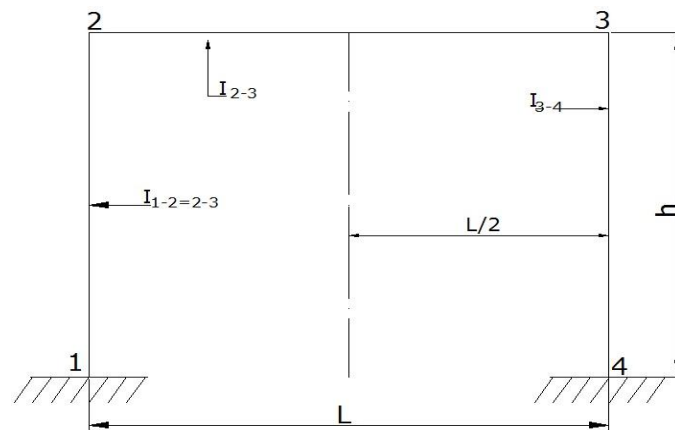


Figura 2. 13: Estructura simétrica en pórtico de soporte fijo. (Mott R. L., 1998)

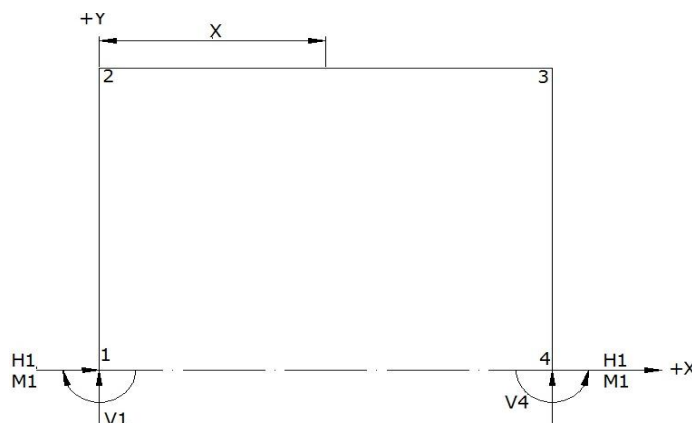


Figura 2. 14: Diagrama de cuerpo libre del pórtico. (Mott R. L., 1998)

De las figuras anteriores se obtienen las siguientes ecuaciones: (Mott R. L., 1998)

$$\Phi = \frac{I_{1-2} * L}{I_{2-3} * h} \quad (2.41)$$

$$F = 6 \left[2 + \left(\frac{1}{\Phi} \right) \right] \quad (2.42)$$

Dónde:

I_{1-2} = Momento de inercia de la sección transversal del miembro 1-2.

I_{2-3} = Momento de inercia de la sección transversal del miembro 2-3.

L = Arco entre las líneas centrales de los apoyos.

h = Dimensiones del eje vertical.

F y Φ = Constantes adimensionales, dependen de las propiedades geométricas y físicas de la estructura.

Para obtener los valores de momentos de inercia $I_{1-2} = I_{2-3}$. Tomamos los siguientes valores del **Anexo: E**.

$$I_{1-2} = I_{2-3} = 18.98 \text{ [cm}^4\text{]}.$$

$$L = 1 \text{ [m]}.$$

$$h = 0.98 \text{ [m]}$$

Reemplazando valores en la ecuación (2.41), se obtiene lo siguiente:

$$\Phi = \frac{I_{1-2} * L}{I_{2-3} * h}$$

$$\Phi = \frac{(18.98 \text{ cm}^4)(1\text{m})}{(18.98\text{cm}^4)(0.98\text{m})}$$

$$\Phi = 1.02$$

Reemplazando el valor obtenido de Φ lo reemplazamos en la ecuación (2.42).

$$F = 6 \left[2 + \left(\frac{1}{\phi} \right) \right]$$

$$F = 6 \left[2 + \left(\frac{1}{1.02} \right) \right]$$

$$F = 17.88$$

2.16.1 Cálculo de momentos.

Por simetría, los momentos de la mitad derecha de la estructura son iguales a los de la mitad izquierda, como lo indica en la **Figura 2. 15** y **Figura 2. 16**.

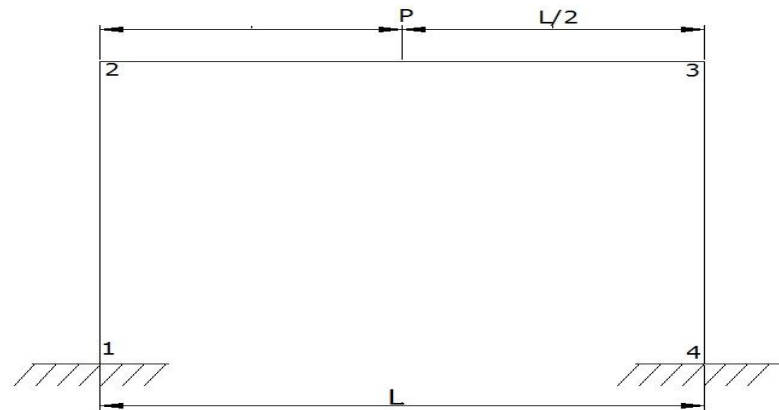


Figura 2. 15: Pórtico fijo con carga concentrada en el centro. (Mott R. L., 1998)

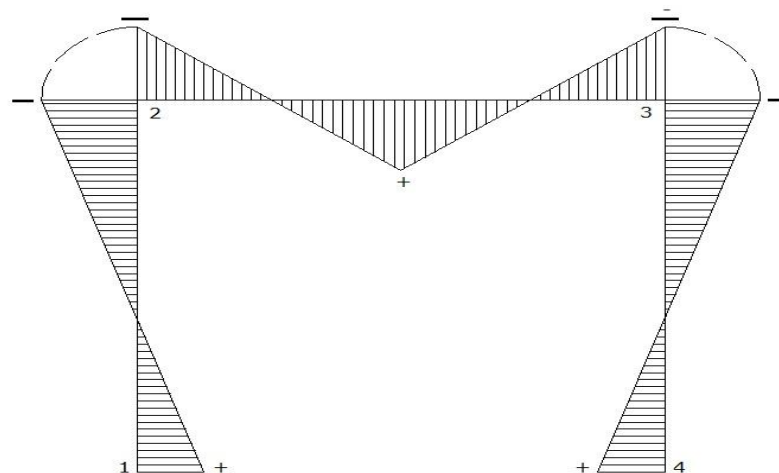


Figura 2. 16: Momentos de una carga concentrada en el centro. (Mott R. L., 1998)

El cálculo de los momentos en los puntos 1 y 4 se resuelve con la ecuación (2. 43) y en los puntos 2 y 3 se resuelve con la ecuación (2. 44).

$$M_1 = M_4 = \frac{3PL}{4F} \quad (2. 43)$$

$$M_2 = M_3 = \frac{-3PL}{2F} \quad (2. 44)$$

Dónde:

P = Carga concentrada.

Mn = Momento de flexión en la sección n.

L = Arco entre las líneas centrales de los apoyos.

Con los siguientes valores ya calculados anteriormente, procedemos a calcular los momentos:

$$P = 174.36 \text{ kg}$$

$$F = 17.88$$

$$L = 1$$

$$M_1 = M_4 = \frac{3(174.36)(1)}{4(17.88)}$$

$$M_1 = M_4 = 7.31 \text{ kg.m}$$

$$M_2 = M_3 = \frac{-3(174.36)(1)}{2(17.88)}$$

$$M_2 = M_3 = -14.63 \text{ kg.m}$$

El momento de diseño se obtendrá con la carga concentrada en el punto medio de la viga horizontal, utilizando la ecuación (2. 45):

$$M_x = \frac{P_x}{2} + M_2 \quad (2.45)$$

Dónde:

M_x = Momento de diseño.

P_x = Carga concentrada.

x = Distancia al centro de la viga horizontal.

M_2 = Momento de flexión en la sección 2.

Reemplazando los valores siguientes en la ecuación (2. 45), obtenemos lo siguiente:

$$P_x = 174.36 \text{ kg}$$

$$x = 0.5 \text{ m}$$

$$M_2 = -14,628 \text{ kgm}$$

$$M_x = \frac{(174.36 \text{ kg})(0.5\text{m})}{2} + (-14.63 \text{ kg.m})$$

$$M_x = 29 \text{ kgm}$$

2.16.2 Cálculo de Reacciones.

Las reacciones horizontales en los puntos 1 y 4 son los mismos por lo que se utiliza la ecuación (2. 46).

$$H_1 = H_4 = \frac{3M_1}{h} \quad (2.46)$$

Dónde:

H_1 = Componente horizontal de la reacción de la estructura de la sección n.

M_1 = Momento de flexión en la sección 1.

h = Dimensiones del eje vertical.

Reemplazando los siguientes datos en la ecuación (2. 46), obtenemos:

$$M_1 = 7.314 \text{ kgm}$$

$$h = 0.98 \text{ m}$$

$$H_1 = H_4 = \frac{3M_1}{h}$$

$$H_1 = H_4 = \frac{3(7.31 \text{ kg.m})}{0.98}$$

$$H_1 = H_4 = 22.40 \text{ kg}$$

Para el cálculo de las reacciones verticales, se utiliza la ecuación (2. 47).

$$V_1 = V_4 = \frac{P}{2} \quad (2. 47)$$

Dónde:

V_n = Componente vertical de las reacciones de la estructura de la sección n.

P = Carga concentrada.

Reemplazando el valor de P, y obtenemos:

$$V_1 = V_4 = \frac{P}{2}$$

$$V_1 = V_4 = \frac{174.36 \text{ kg}}{2}$$

$$V_1 = V_4 = 87.18 \text{ kg}$$

2.16.3 Cálculo de los esfuerzos máximos.

El esfuerzo máximo que va a soportar la viga horizontal se calcula con la ecuación (2. 48):

$$\sigma = \frac{Mx}{Z} \quad (2. 48)$$

Dónde:

σ = Esfuerzo máximo que soporta la viga horizontal.

$S = Z$ = Módulo de sección del eje X.

M_x = Momento de diseño.

Reemplazando los siguientes datos en la ecuación (2. 48), obtenemos:

$$M_x = 298.63 \text{ kg.cm}$$

$$Z = 9.19 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = \frac{M_x}{Z}$$

$$\sigma = \frac{2896.3 \text{ kg.cm}}{9.19 \text{ cm}^3}$$

$$\sigma = 315.15 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

2.16.4 Análisis de la columna recta.

A continuación se determinara el análisis de la columna del horno:

a. Propiedades de la sección transversal de la columna: La tendencia de una columna a pandearse depende de la forma y las dimensiones de sección transversal junto con su longitud.

La columna de cualquier estructura que soporta una carga axial tiende a pandearse por el resultado de una inestabilidad elástica donde la columna no es lo suficientemente rígida para mantenerse recta bajo la acción de una carga.

Una columna tiende a pandearse alrededor del eje para la cual el radio de giro al igual que el momento de inercia es mínimo. En este caso estos valores mínimos se encuentran con respecto al eje Y, como se puede ver en la **Figura 2. 17**.

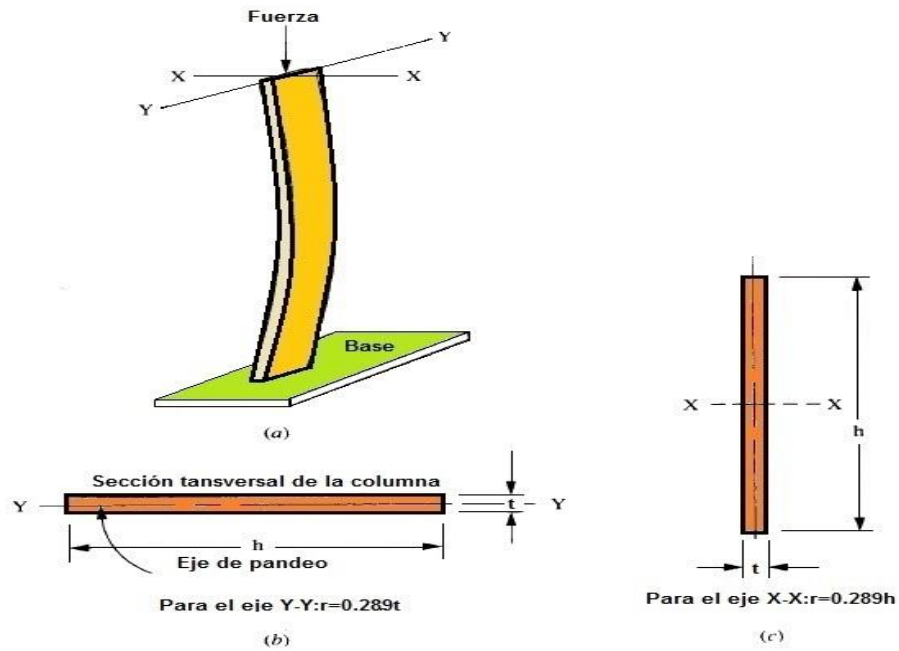


Figura 2. 17: Pandeo de una columna delgada rectangular. (Mott R. L., 1998)

b. Longitud Efectiva: El tipo de fijación de la columna indica la manera en que se apoyan los extremos de la misma. La variable más importante es la cantidad de sujeción o fijación que se presenta en los extremos de la columna en contra de la tendencia a girar. Las formas de sujeción son atornilladas, fija y libre, como lo indica la **Figura 2. 18**.

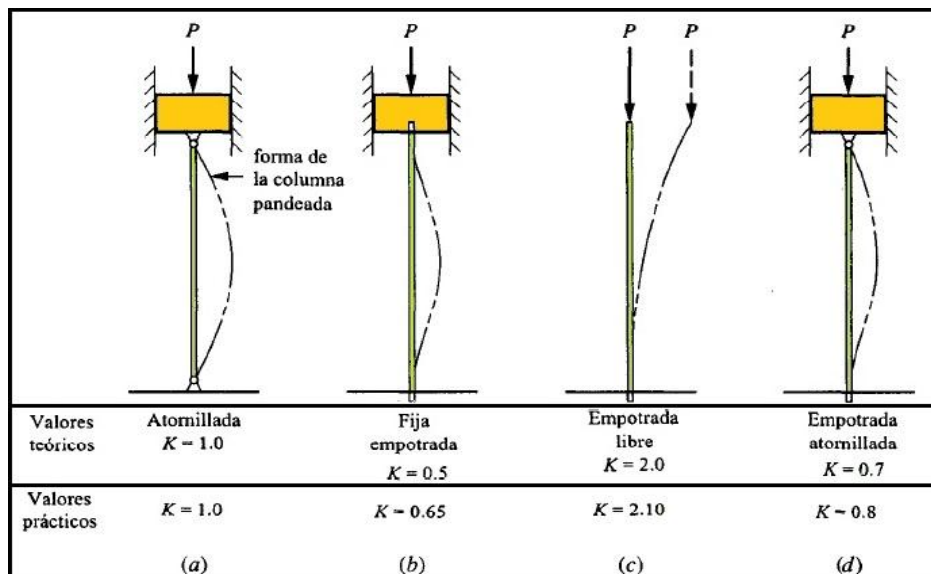


Figura 2. 18: Valores de K para longitud efectiva $L_e = KL$ para diferentes conexiones en los extremos. (Mott R. L., 1998)

La manera en que se apoyan o se sustentan ambos extremos de la columna afecta la longitud efectiva de la columna que se define con la ecuación (2. 49).

$$Le = K * L \quad (2. 49)$$

Dónde:

Le = Longitud efectiva.

K = Constante práctica de fijación de los extremos.

L = Arco entre las líneas centrales de los apoyos.

Reemplazando los valores en la ecuación (2. 49), obtenemos:

$$K = 2.10$$

$$L = 0.98 \text{ m}$$

$$Le = (2.10)(0.98 \text{ m})$$

$$Le = 2.058 \text{ m}$$

$$Le = 205.8 \text{ cm}$$

c. Razón de delgadez o relación de Esbeltez: (Mott R. L., 1998) La razón de delgadez es la relación de la longitud efectiva de la columna con su radio de giro mínimo, esto se indica en la ecuación (2. 50).

$$\text{Razon de delgadez} = \frac{Le}{r_{\min}} = \frac{Le}{r_y} \quad (2. 50)$$

Dónde:

Le = Longitud efectiva.

K = Constante práctica de fijación de los extremos.

L = Arco entre las líneas centrales de los apoyos.

r_y = propiedad estática de tubo cuadrado estructural.

Reemplazando los siguientes valores en la ecuación (2. 50), obtenemos:

$$L_e = 205.8 \text{ cm}$$

$$r_y = 1.89 \text{ cm}$$

$$\text{Razon de delgadez} = \frac{L_e}{r_{\min}} = \frac{L_e}{r_y}$$

$$\text{Razon de delgadez} = \frac{205.8 \text{ cm}}{1.89 \text{ cm}}$$

$$\text{Razon de delgadez} = 108.89$$

d. Razón de transición de delgadez: Para el cálculo de la razón de transmisión de delgadez, vamos a usar la ecuación (2. 51).

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot E}{S_y}} \quad (2. 51)$$

Dónde:

E = Módulo de elasticidad del tubo cuadrado.

C_c = Constante de columna.

S_y = Resistencia al punto cedente del material.

Con los valores obtenidos de la **Tabla 2. 6**, de las propiedades estructurales del tubo cuadrado, reemplazamos en la ecuación (2. 51) y obtenemos lo siguiente:

$$E = 2.2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_y = 2536 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot E}{S_y}}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2(2.2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2)}{2536 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$C_c = 130.86$$

e. Selección del método: Para determinar si la columna es larga o corta tenemos la siguiente condición:

$$\frac{KL}{r} < C_c$$

- Si KL/r es mayor que C_c la columna es larga, y se debe utilizar la ecuación de Euler.
- Si KL/r es menor que C_c la columna es corta y se debe utilizar la ecuación de J.B. Johnson.

Para nuestro análisis tenemos lo siguiente:

$$\frac{KL}{r} < C_c$$

$$108.89 < 130.86$$

Por lo tanto el método a utilizar es el de columna corta, es decir el de J.B Johnson y se utilizara la ecuación **(2. 52)**:

$$P_{er} = A S_y \left[1 - \frac{S_y (KL/r)^2}{4\pi^2 E} \right] \quad (2. 52)$$

Reemplazando los valores en la ecuación **(2. 52)**, se tiene lo siguiente.

$$P_{er} = (5.33)(2536 \text{ kg/cm}^2) \left[1 - \frac{(2536 \text{ kg/cm}^2)(108.889)^2}{4\pi^2(2.2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2)} \right]$$

$$P_{er} = 8837.25 \text{ Kg/cm}^2$$

El factor de diseño está definido por organizaciones de normalización como la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (ASME). Para el cálculo de la carga admisible o tolerable, se ha tomado en cuenta el factor de seguridad de $N=1.25$ ya que este corresponde para estructuras metálicas hechas de materiales dúctiles con alto grado de confianza en el conocimiento de las propiedades del material, y magnitud de la carga. (Mott R. L., 1998)

Por lo siguiente tenemos la siguiente ecuación (2. 53):

$$P_a = \frac{P_{er}}{N} \quad (2. 53)$$

Dónde:

P_{er} = Carga crítica a la cual la columna empezará a pandearse.

N = Factor de diseño.

P_a = Carga admisible o tolerable.

Reemplazando los valores siguientes en la ecuación (2. 53), obtenemos lo siguiente:

$$P_a = \frac{8837.25 \text{ Kg}}{1.25}$$

$$P_a = 7069.8 \text{ kg}$$

Por lo tanto las columnas del horno soportaran un peso de **7069.8kg**, en caso de extremos con un factor de seguridad de **1.25** para caras estáticas.

2.17 ANÁLISIS TÉRMICO DEL HORNO MEDIANTE EL SOFTWARE “ANSYS R15.0”.

Mediante el programa ANSYS R15.0, demostraremos la distribución uniforme de calor dentro del horno eléctrico, determinando los puntos más calientes del horno y también el factor de diseño térmico.

Para poder simular los calores del horno en el programa, se realizó la estructura del horno en el programa de diseño “INVENTOR 2014”.

En las siguientes figuras y tablas, se mostrará y explicará los resultados del modelamiento del horno.

La **Figura 2. 19**, muestra en 3D la disposición de los elementos internos que conforma el horno e incluido la carga, para realizar este procedimiento se tomó en cuenta los siguientes parámetros:

- Temperatura ambiente.
- Temperatura de diseño.
- Peso de la carga.

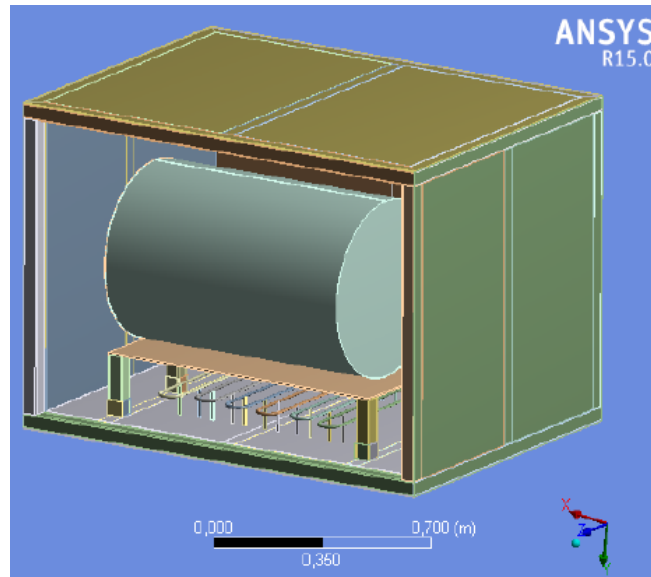


Figura 2. 19: Análisis térmico del horno realizado en ANSYS R15.0.
(Aguirre/Sánchez., Análisis Térmico en "ANSYS R15.0")

En la siguiente **Figura 2. 20**, se muestra la temperatura de trabajo, la cual indica que va a ser constante en todo el proceso de la simulación.

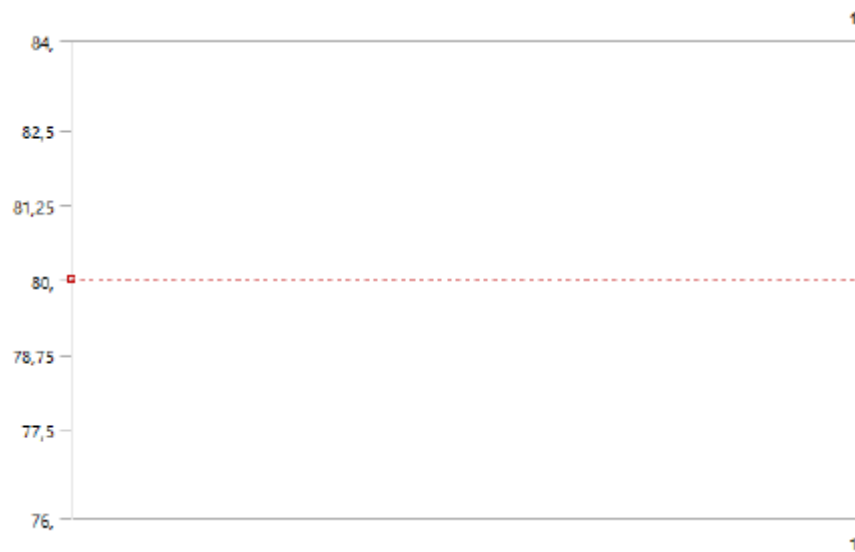


Figura 2. 20: Curva transitoria térmica. (Aguirre/Sánchez., Análisis Térmico en "ANSYS R15.0")

La siguiente **Figura 2. 21**, muestra el decremento de temperatura que existe al realizar la simulación, hasta llegar a establecerse a una temperatura estable.

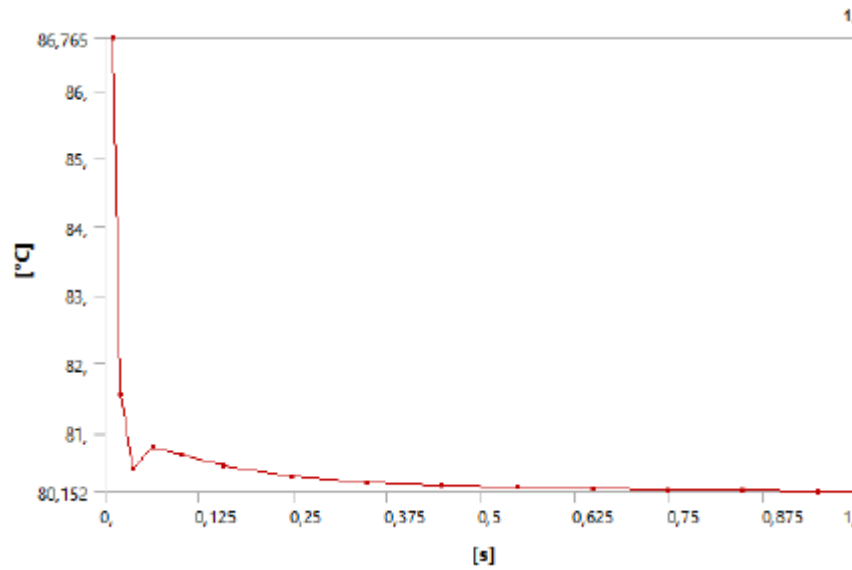


Figura 2. 21: Curva temperatura global máxima. (Aguirre/Sánchez., Análisis Térmico en "ANSYS R15.0")

La **Figura 2. 22** y la **Tabla 2. 7**, indica como el flujo de calor desde un valor $6,2159 \times 10^6 \text{ W/m}^2$, se distribuye por todo el espacio de la cámara de calentamiento, hasta llegar a calentar todo el espacio vacío e incluso el material que se va a calentar.

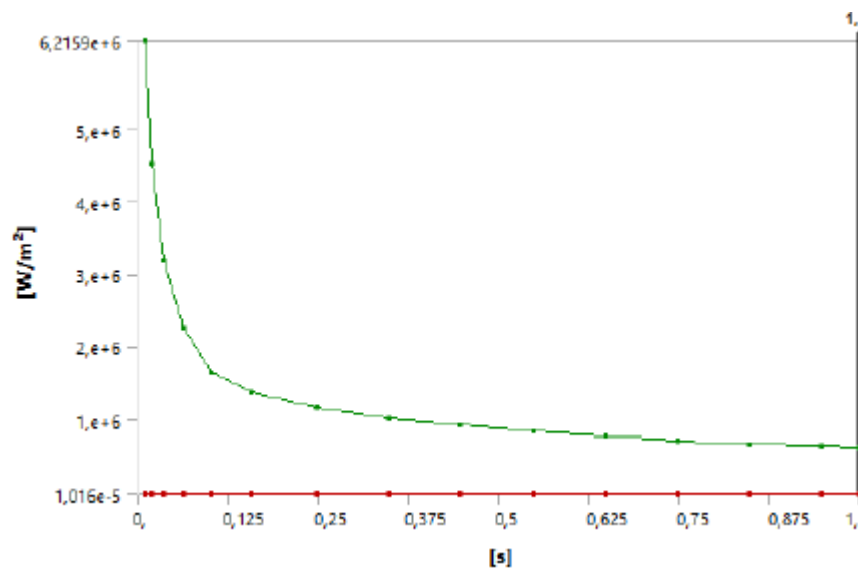


Figura 2. 22: Curva del flujo de calor total. (Aguirre/Sánchez., Análisis Térmico en "ANSYS R15.0")

Time [s]	Minimum [W/m ²]	Maximum [W/m ²]
1,e-002	1,016e-005	6,2159e+006
2,e-002	1,297e-005	4,5264e+006
3,6644e-002	1,1916e-005	3,1874e+006
6,2925e-002	1,4762e-005	2,2581e+006
0,10074	1,8047e-005	1,6548e+006
0,1562	5,0632e-005	1,3659e+006
0,24792	6,469e-005	1,1625e+006
0,34792	2,3236e-005	1,022e+006
0,44792	2,4104e-005	9,2071e+005
0,54792	5,9888e-005	8,4278e+005
0,64792	2,9299e-005	7,8047e+005
0,74792	1,6433e-005	7,293e+005
0,84792	7,8766e-005	6,864e+005
0,94792	4,0679e-005	6,4979e+005
1,	6,6105e-005	6,322e+005

Tabla 2. 7: Datos del Flujo de calor total. (Aguirre/Sánchez., Análisis Térmico en "ANSYS R15.0")

La **Figura 2. 23**, indica como el flujo total de calor en W/m² envuelve el material en sus tres ejes X, Y y Z.

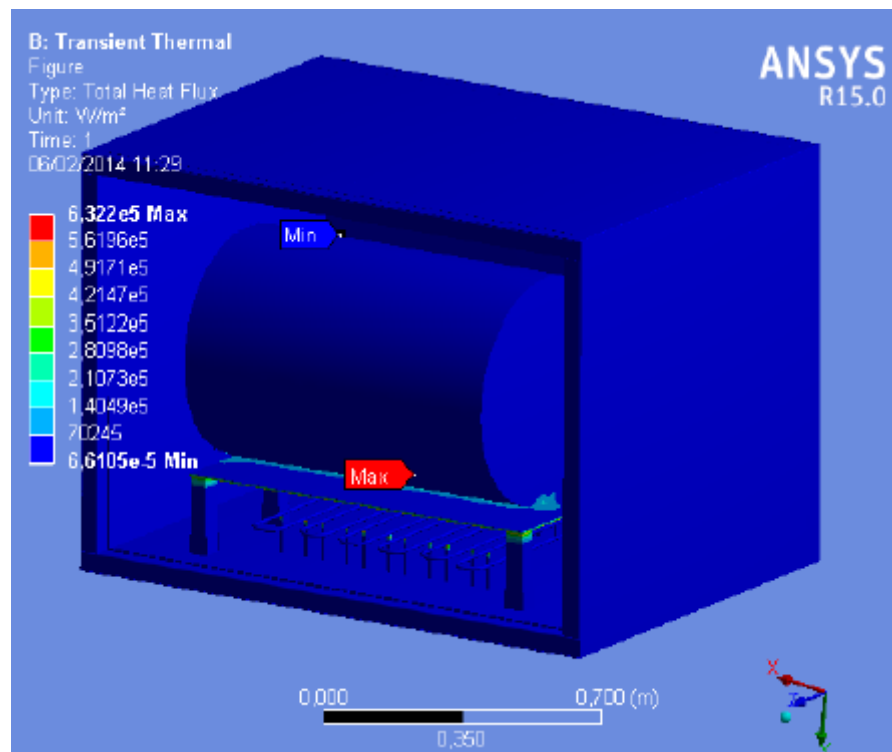


Figura 2. 23: Flujo total de calor interno del horno. (Aguirre/Sánchez., Análisis Térmico en "ANSYS R15.0")

A continuación en la **Figura 2. 24** y **Tabla 2. 8**, se observa cómo trabaja la curva de flujo de calor y temperatura en la direccional Y.

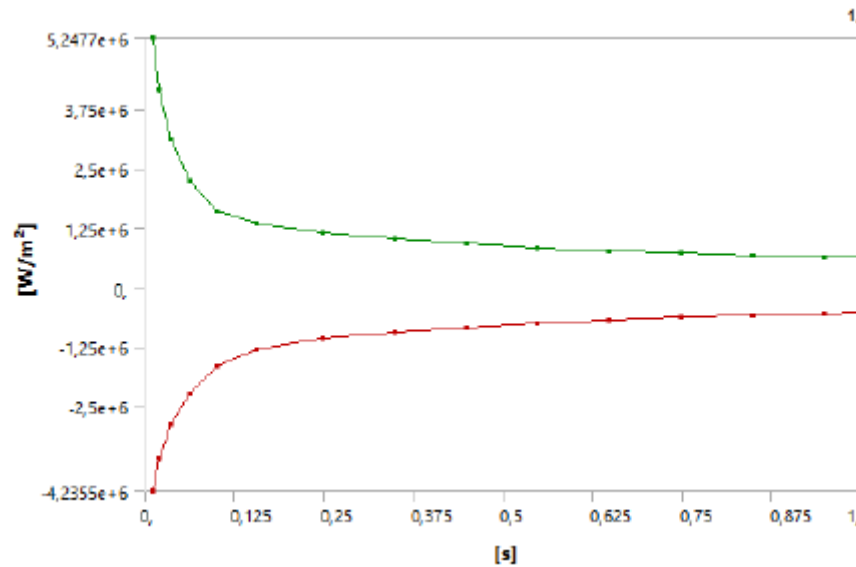


Figura 2. 24: Curva de la direccional del flujo de calor. (Aguirre/Sánchez., Análisis Térmico en "ANSYS R15.0")

Tabla 2. 8: Direccional del flujo de calor. (Aguirre/Sánchez., Análisis Térmico en "ANSYS R15.0")

Time [s]	Minimum [W/m²]	Maximum [W/m²]
1,e-002	-4,2355e+006	5,2477e+006
2,e-002	-3,5691e+006	4,1492e+006
3,6644e-002	-2,8952e+006	3,1105e+006
6,2925e-002	-2,2237e+006	2,2395e+006
0,10074	-1,6446e+006	1,5921e+006
0,1562	-1,2905e+006	1,3577e+006
0,24792	-1,0811e+006	1,1554e+006
0,34792	-9,4105e+005	1,0157e+006
0,44792	-8,3304e+005	9,1506e+005
0,54792	-7,4382e+005	8,376e+005
0,64792	-6,739e+005	7,7567e+005
0,74792	-6,2343e+005	7,2481e+005
0,84792	-5,8073e+005	6,8217e+005
0,94792	-5,434e+005	6,4579e+005
1,	-5,2515e+005	6,2831e+005

En la **Figura 2. 25**, se observa como la direccional de flujo de calor en Y, es la que mayor valor tiene con respecto a los ejes X y Z, esto se debe a la disposición de las resistencias en el interior del horno.

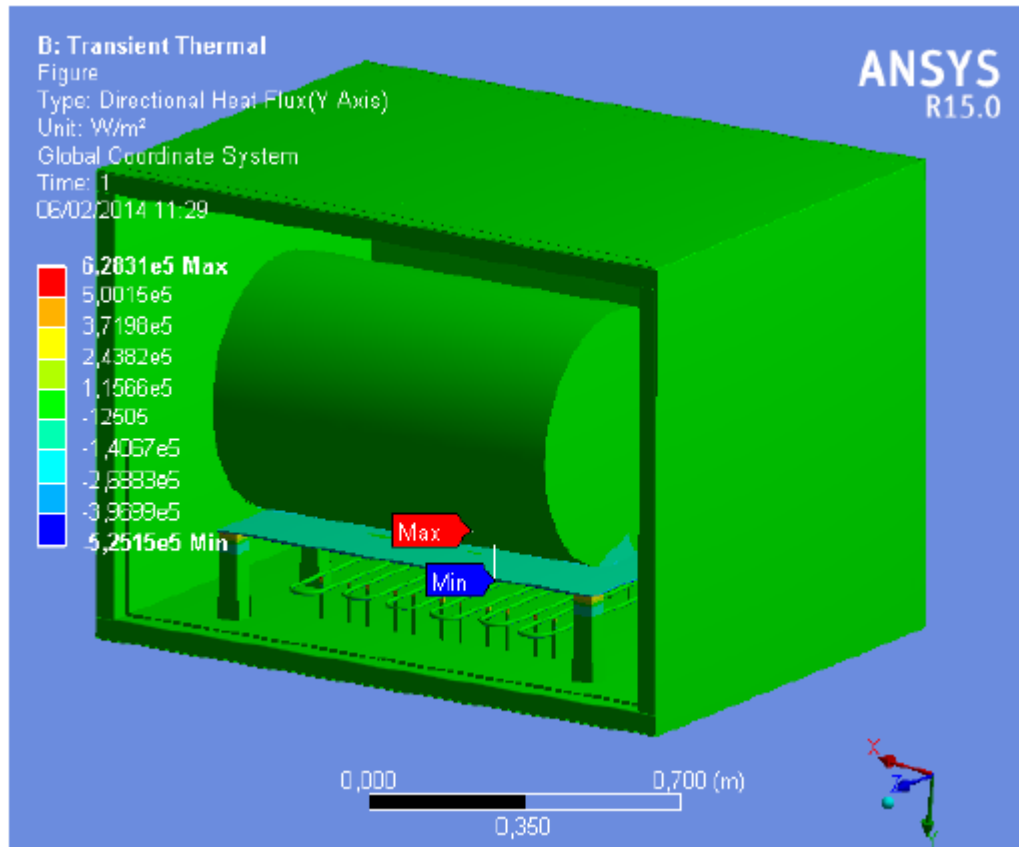


Figura 2. 25: Estado Estacionario térmico. (Aguirre/Sánchez., Análisis Térmico en "ANSYS R15.0")

En la **Figura 2. 26**, se observa el análisis estático estructural, que indica la resistencia que tiene el material utilizado en la construcción del horno frente a una carga bajo temperatura de trabajo, por lo tanto como el valor de factor de seguridad es >1 , esto significa que el diseño y elección de los materiales son los correctos.

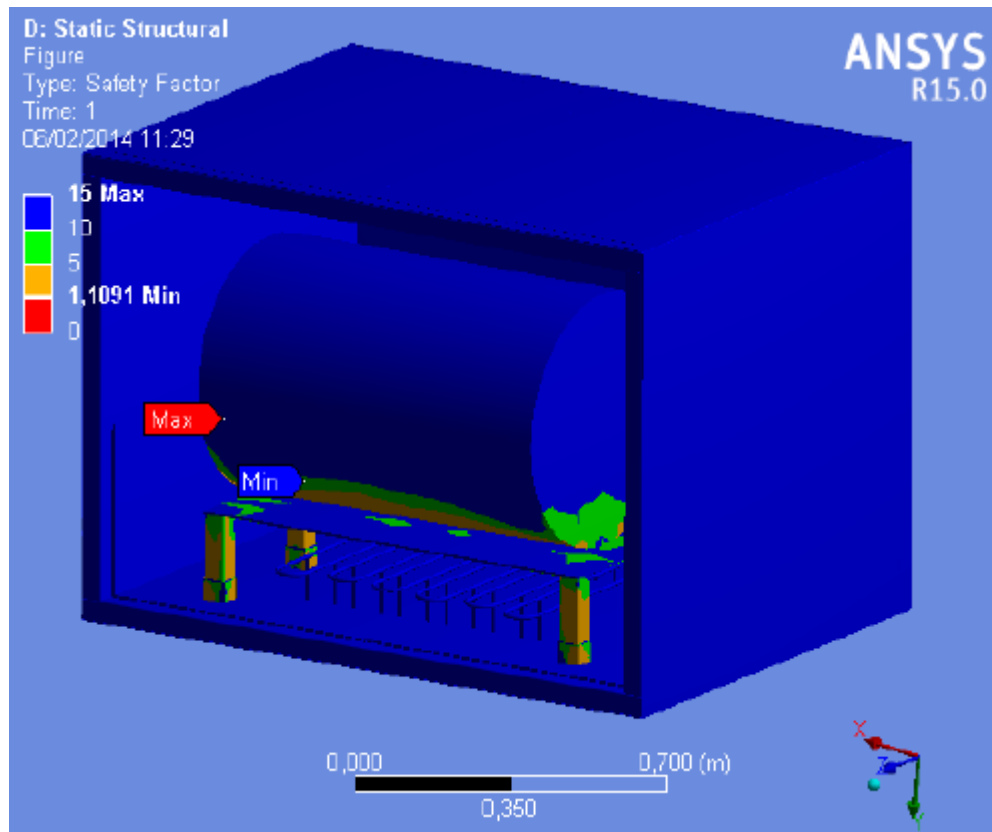


Figura 2. 26: Factor de seguridad. (Aguirre/Sánchez., Análisis Térmico en "ANSYS R15.0")

Los resultados del análisis estructural de la mesa y la estructura del horno realizado en "COMSOL", se detallan en el **Anexo: T**.

2.18 CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DE RESISTENCIA ELÉCTRICA.

Las resistencias instaladas en un horno se comportan como una carga eléctrica puramente resistiva. Las relaciones entre la tensión V , la intensidad I , la potencia P y la resistencia eléctrica a temperatura R_T se deducen de la ley de Ohm, la **Figura 2. 27**, permite determinar fácilmente todas las relaciones existentes entre dichas magnitudes.

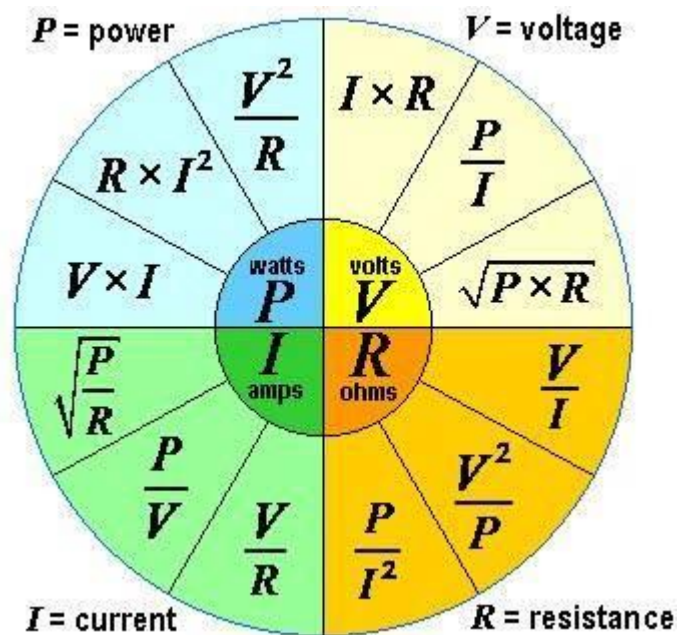


Figura 2. 27: Relación entre magnitudes eléctricas. (Astigarraga Urquiza, 1994)

2.18.1 Calentamiento de la resistencia por Efecto Joule.

En los hornos eléctricos de resistencia, la potencia eléctrica absorbida por los elementos (KW), es disipada en forma de calor (Kcal/h) hacia el medio (cámara), esta transformación de energía eléctrica en calor, se basa en el efecto Joule.

Una corriente eléctrica de intensidad (I) (Amperios) que circula por un conductor de resistencia (R) (Ohmios) produce una disipación de calor (Q) (cal/seg), ver la ecuación (2. 54).

$$1Watt = 0.24 \text{ cal/seg}$$

$$P = I^2 * R \text{ (Watt)}$$

(2. 54)

El equivalente térmico de la entrada en KW de los elementos es igual al consumo del calor del horno (Kcal/h). Para el cálculo de los elementos para hornos industriales, deben conocerse ante todo, la tensión disponible y la temperatura.

2.18.2 Factores que intervienen en el cálculo de la resistencia.

Dentro el cálculo de las resistencias para el horno, intervienen varios factores importantes:

- a. Potencia del horno.
- b. Tensión disponible en la red.
- c. Temperatura de los elementos.
- d. Carga específica.
- e. Coeficiente de resistividad.
- f. Elementos de resistencia y duración de los elementos.
- g. Conexión eléctrica.

a. Potencia del horno: El cálculo de la potencia del horno se la obtiene en base a la cantidad de calor necesaria para calentar dicha carga, en un determinado tiempo, más el cálculo de las pérdidas de calor que existen en el sistema.

La potencia determinada para calentar dicha carga es de **517.9691 W = 0.5179691KW** la resistencias Kanthal recomendado por el fabricante "VEGA OMEGA" es de 1.2KW, esto se debe por su fácil obtención en el mercado y para alargar la vida útil de la resistencia.

b. Tensión disponible en la red: La tensión disponible comúnmente en la red local es de 220V trifásica ó 110V monofásica, para la cual la mayor

parte de hornos están dispuestos o diseñados para este tipo de tensión, utilizaremos 220V.

- c. Temperatura de los elementos:** En el momento de calcular los elementos de resistencia se deberá tener muy en cuenta la temperatura de trabajo apropiada de los elementos, además de la sección de los mismos, ya que estos tienen una gran influencia en la duración de dichos elementos.

En nuestro caso la temperatura de trabajo va a ser de 80 °C, pero la temperatura la cual fue diseñada el horno es de 150 °C y la aleación Fe-Cr-Al (22-5) (kanthal) será la adecuada para ser utilizada como elemento de resistencia.

- d. Carga específica ($p=W/cm^2$):** La carga específica es lo primero que se debe tener en cuenta en el cálculo de los elementos de resistencia.

En una resistencia de determinada forma y dimensión, la temperatura de trabajo varía con los watts absorbidos, ya que el área de la superficie permanece constante.

Para nuestro diseño tenemos una carga específica de 5 (W/cm^2) obtenida de la **Figura 2. 28**.

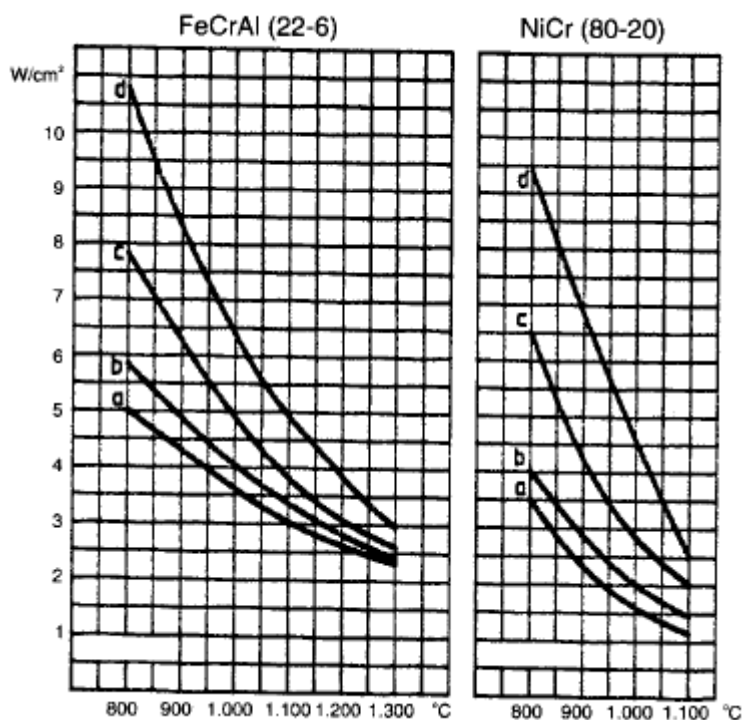


Figura 2. 28: Carga específica máxima de las resistencias. (Astigarraga Urquiza, 1994)

- e. Coeficiente de resistividad (C_t):** El coeficiente de resistividad determina la variación de la resistencia del elemento (Ohmios) en función de la temperatura. Se tiene un coeficiente de resistividad para 150 °C de 1.01 obtenido de la **Tabla 1. 5**.

Si se requiere calcular el valor de resistencia del elemento a la temperatura de trabajo, se multiplicara el valor de la resistencia en frío (20 °C) por el coeficiente de resistividad (C_t), ver ecuación **(2. 55)**.

$$R_c = R_f * C_t \quad (2. 55)$$

Dónde:

R_c = Resistencia en caliente

R_f = Resistencia en frío (20°C)

C_t = coeficiente de resistividad

- f. **Elementos de resistencia:** Estos elementos son arrollados en espiral, como se puede ver en la **Figura 2. 29**, con esto parte del calor radiado se refleja dentro de la hélice.

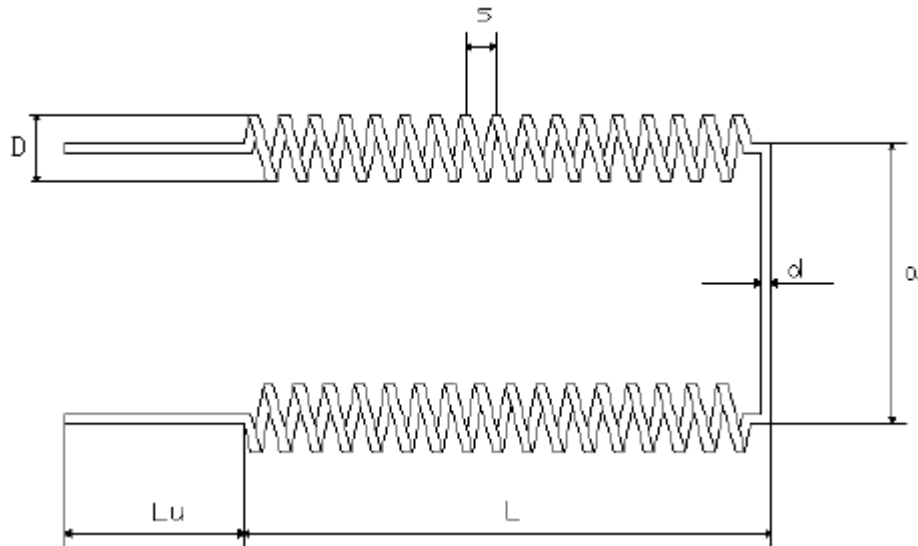


Figura 2. 29: Forma del elemento de resistencia. (Aguirre/Sánchez, Diseño en Autocad 2012)

Dónde:

S = paso del arrollamiento (mm)

D = diámetro de la hélice (mm)

d = diámetro del hilo (mm)

a = distancia eje-brazos (mm)

L = longitud del elemento (mm)

L_u = longitud de los terminales (mm)

Los elementos de resistencias fallan normalmente por pérdidas de sección debidas a la oxidación en sus terminales de conexión, volatilización o estiramiento.

La resistencia mecánica de todos los materiales metálicos resistentes a altas temperaturas disminuye al aumentar la temperatura.

Dependiendo la duración también de la sección del material de la resistencia, es preciso elegir el diámetro del hilo (d) no demasiados pequeños.

Esto hay que tener en cuenta sobre todo para temperaturas de trabajo elevadas.

g. Conexiones eléctricas: La fuente de alimentación eléctrica utilizada es trifásica y la potencia de la resistencia está dada por la ecuación **(2. 56)**:

$$P_T = \sqrt{3} * V_L * I_L * \text{Cos } \theta \quad (2. 56)$$

Dónde:

P_T = potencia total

V_L = voltaje de línea

I_L = corriente de línea

$\text{Cos } \theta$ = factor de potencia

La conexión de las resistencias esta es triangulo (delta), como es una carga equilibrada y puramente resistiva por lo tanto: $\text{Cos } \theta = 1$.

El circuito consta de dos resistencias iguales en paralelo por fase como se indica en la **Figura 2. 30**.

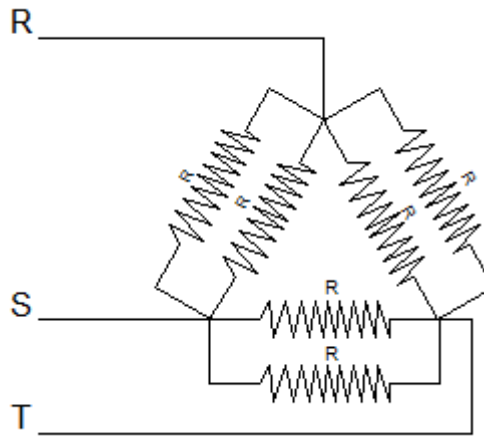


Figura 2. 30: Carga resistiva en delta doble paralelo. (Aguirre/Sánchez, Diseño en Autocad 2012)

La conexión en triángulo tiene las siguientes deducciones:

$$V_L = V_F$$

$$I_L = \sqrt{3} * I_F$$

$$P_F = V_L * I_F$$

$$P_T = \sqrt{3} * I_L * I_F$$

$$P_T = 3 * P_F$$

Dónde:

V_L = Voltaje de línea (V)

V_F = Voltaje de fase (V)

I_L = Corriente de línea (A)

I_F = Corriente de fase (A)

P_T = Potencia total (W)

P_F = Potencia de fase (W)

R = Resistencia del elemento (Ω)

Para nuestro caso tenemos los datos de la **Tabla 2. 9**.

Tabla 2. 9: Datos de las resistencias eléctricas. (Aguirre/Sánchez 2.)

Potencia del horno	1200 W
Tensión	220 V
Temperatura de trabajo	150 °C

Para el cálculo de la potencia total que tiene el circuito de las resistencias en triángulo, procedemos a realizar lo siguiente:

$$1200w + 1200w = 2400w$$

Que es el valor de potencia de un ramal.

Como en el circuito de triángulo tenemos tres ramales, procedemos a multiplicar por tres el valor de potencia encontrada.

$$P = 2400w * 3 = \mathbf{7200w}$$

Con el valor de potencias (P) encontrado, se procede a calcular las corrientes de línea y de fase que servirán para dimensionar los elementos de protección, cuya ecuación utilizada se determinó anteriormente en la deducción para circuito en triángulo.

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} * V_L} = \frac{7200W}{\sqrt{3} * 220}$$

$$\mathbf{I_L = 18.9A}$$

Con el valor de corriente de línea calculado, se dimensiona los elementos de protección que son el contactor, fusibles y relé térmico.

$$I_F = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{18.9A}{\sqrt{3}}$$

$$I_F = 10.9A$$

El valor de la resistencia eléctrica (R), recomendada por el fabricante de "OMEGA VEGA" es:

$$R = 40.3\Omega$$

2.18.3 Cálculo numérico del elemento de resistencia.

Con lo expuesto anteriormente se calcula los parámetros que determinan los elementos de resistencia.

2.18.4 Cálculo del diámetro de hilo (d).

Para el cálculo del diámetro del hilo de la resistencia aplicamos la ecuación (2. 57):

$$d = 0.74 * \sqrt[3]{\left(\frac{P}{V}\right)^2 * \frac{\rho * Ct}{p}} \quad (cm) \quad (2. 57)$$

Dónde:

d = diámetro del hilo (cm.)

P = potencia de entrada a los elementos (W)

ρ = Resistividad $\Omega mm^2/m$

p = Carga específica (W/cm^2)

R = Resistencia del elemento Ω

V = Caída de tensión (V)

Ct = Coeficiente de resistividad (Factor de temperatura).

2.18.5 Método rápido para el cálculo del diámetro del hilo.

Este método rápido hace uso de tablas, se utiliza la relación $Ac/R20$ (cm^2/Ω) de la ecuación (2. 58), y se compara este valor dado en las tablas de los elementos kanthal. (Astigarraga Urquiza, 1994)

$$\frac{A_c}{R_{20}} = \frac{P}{R_{20} * p} = \frac{I^2 * R_t}{R_{20} * p} = \frac{I^2 * C_t}{p} = \frac{P^2 * C_t}{V^2 * p} \quad (cm^2/\Omega) \quad (2.58)$$

Para calcular el diámetro del elemento mediante este método utilizaremos los siguientes datos de la **Tabla 2. 10**.

Tabla 2. 10: Datos para el cálculo del diámetro del hilo.

Potencia del horno	1200 W
Tensión	220 V
Temperatura de trabajo	150 °C
Factor de temperatura Ct, para T	150 °C, tenemos un valor de 1.01
Carga específica (p)	$5 \text{ W}/cm^2$.
Resistividad eléctrica (ρ)	$139 \mu\Omega/cm = 1.39 * 10^{-4} \Omega/cm$.

Entonces aplicando los datos de la **Tabla 2. 10**, en la ecuación **(2. 58)**, nos da como resultado lo siguiente:

$$\frac{A_c}{R_{20}} = \frac{P^2 * C_t}{V^2 * p} = \frac{(1200W)^2 * 1.01}{(220 V)^2 * 5} = 6 \quad (cm^2/\Omega)$$

Con este valor vamos a la tabla del **Anexo: H**, y seleccionamos un valor cercano a $6 \frac{cm^2}{\Omega}$, observamos que corresponde a un valor de $17 \frac{cm^2}{\Omega}$, y un diámetro $d = 1 \text{ mm}$ (diámetro de hilo), cuya resistencia por unidad de longitud es $1.85 \Omega/m$.

2.18.6 Cálculo de la resistencia en caliente (Rc).

El valor de la resistencia en caliente, es el recomendado por el fabricante.

$$R_c = R = 40.3\Omega$$

2.18.7 Cálculo de la resistencia en frío ($R_{20^{\circ}\text{C}}$).

Aplicamos la ecuación (2. 59), para determinar el valor de la resistencia en caliente.

$$R_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{R_c}{C_t} \quad (2. 59)$$

$$R_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{40.3\Omega}{1.01}$$

$$R_{20^{\circ}\text{C}} = 40 \Omega$$

2.18.8 Cálculo de la longitud radiante de hilo (L).

Aplicamos la ecuación (2. 60), para determinar la longitud radiante de la resistencia.

$$L = \frac{P}{\pi * d * p} \quad (2. 60)$$

$$L = \frac{1200w}{\pi * 0.1cm * 5 \frac{w}{cm^2}}$$

$$L = 769.94 \text{ cm}$$

$$L = 7.6 \text{ m}$$

2.18.9 Cálculo del diámetro de la espiral (D).

Para el calcular del diámetro de la espiral, se procede a utilizar la **Tabla 2. 11**, la cual se puede determinar el diámetro para diferente rango de temperaturas del horno.

Tabla 2. 11: Diámetro de la espiral (D) y Paso del arrollamiento (S).

(Astigarraga Urquiza, 1994)

Disposición	Aleación Ni-Cr		Aleación Fe-Cr-Al	
	En ranuras (mm)	En tubos (mm)	En ranuras (mm)	En tubos (mm)
D/d para elementos ≤ 1000 °C	6-9	12-14	6-8	12-14
D/d para elementos > 1000 °C	5-8	12-14	5-6	12-14
Paso S/d	2-3	3-6	2-3	3-6

Como la temperatura de trabajo del horno es inferior a 1000°C, para el cálculo del diámetro de la espiral se escoge la relación:

$$D/d = 6\text{mm a } 8\text{mm}$$

Se coge 8 mm, y obtenemos lo siguiente:

$$D = 6 * d = 6 * 1\text{mm}$$

$$D = 6\text{ mm}$$

2.18.10 Cálculo del número de espiras (n).

Con la ecuación (2. 61), se puede calcular el número de espiras que tendrá la resistencia.

$$n = \frac{1000 * L}{\pi * (D - d)} \quad (2. 61)$$

$$n = \frac{1000 * 7.6\text{m}}{\pi * (6 - 1)}$$

$$n = 573\text{ espiras}$$

2.18.11 Cálculo de la longitud de la espira comprimida (L_w).

Aplicando la ecuación (2. 62), podemos encontrar la longitud de la espira comprimida.

$$L_w = n * d \quad (2. 62)$$

$$L_w = 573 * 1\text{mm}$$

$$L_w = 573\text{mm}$$

2.18.12 Cálculo del paso del arrollamiento (S).

Para calcular el paso del arrollamiento entre las espiras vecinas, se utiliza la **Tabla 2. 11**, mencionada anteriormente, y se escoge la siguiente relación:

$$S/d = 2 - 3\text{mm}$$

Se coge 2 mm, y obtenemos lo siguiente:

$$S = 2 * d = 2 * 1\text{mm}$$

$$S = 2 \text{ mm}$$

2.18.13 Cálculo de la longitud de la espira extendida (L).

Con la ecuación (2. 63), se determina la longitud de la espira extendida.

$$L = S * n \quad (2. 63)$$

$$L = 2\text{mm} * 573 \text{ espiras}$$

$$L = 1146 \text{ mm} = 1.146 \text{ m}$$

2.18.14 Forma del elemento de resistencia.

En la **Figura 2. 31**, se puede observar el elemento de resistencia esquemáticamente donde la resistencia esta embebida en la masa refractaria de magnesia electro fundida dentro de una funda metálica.



Figura 2. 31: Esquema de la resistencia blindada. (Astigarraga Urquiza, 1994)

Finalmente en la **Figura 2. 32**, tenemos el elemento de resistencia con sus respectivas mediciones y forma que serán utilizados en el horno.

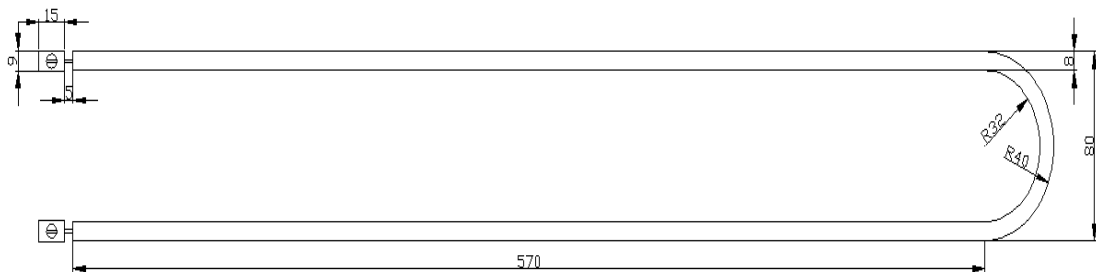


Figura 2. 32: Esquema gráfico del elemento de resistencia.
(Aguirre/Sánchez, Diseño en Autocad 2012)

2.19 DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN.

En la industria se requiere que los procesos sean lo más estables posible para su correcto funcionamiento así, como para darle calidad de calentamiento al producto final, para esto se necesita realizar un diseño adecuado al entorno a controlar.

2.19.1 Diseño General.

La selección de los elementos para el control de temperatura y tiempo del horno, se escogió en base a las siguientes características: Tipo de control, voltaje de alimentación, tipo de entradas, tipo de proceso y costo en el mercado.

Entre los varios tipos de control que existen ON/OFF, PID, PI y PD, se escogió el control **ON/OFF**, porque la variable temperatura tiende a ser muy lenta en variar de un valor máximo a un mínimo, otra de las razones es porque su costo bajo de mantenimiento y por su simplicidad a la hora de programar. (Gibbons, 2007)



El voltaje de alimentación será de 220V trifásico, por motivo de economizar el consumo de las resistencias eléctricas en kw/h.

Las entradas son de tipo universal, se pueden utilizar en muchas aplicaciones para salidas de control y funciones de alarma.



En la industria se puede tener el control de diferentes tipos de proceso que son: Temperatura, nivel, presión, caudal, etc. el procesos a controlar será el de temperatura.

En el mercado existen diferentes tipos de Controladores de Temperatura y Timer, de características diferentes, en la **Tabla 2. 12**, se muestra el costo de algunos de ellos.


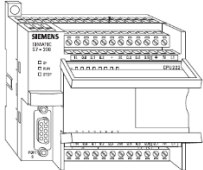
Tabla 2. 12: Características y costo de diferentes Controladores de Temperatura y Timer. (Aguirre/Sánchez, Costos de controladores de temperatura y PLC 2014)

Controlador de temperatura.	Características principales	Costo \$
Controlador de temperatura analógico E5C2 	<ul style="list-style-type: none"> • Incorpora control proporcional y la función de ajuste de reinicio. • Incorpora el conector plug-in por lo tanto permite a DIN-pista y el montaje empotrado. 	95
Controlador de temperatura digital doble pantalla ESM -7720 	<ul style="list-style-type: none"> • Procesador de 4 dígitos (PV) y proceso de 4 dígitos de valor set (SV) de visualización. • Entradas de proceso universal (TC y RTD). • Formas configurables de control ON/OFF, P, PI, PD y PID. • Adaptación de PID, con coeficiente para el sistema con la operación Self-Tune (paso de sintonía de respuesta). • Funciones de alarma para la salida de alarma. 	106,20

Continúa

<p>Controlador de Temperatura N1040</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrada para termocuplas J, K, T y termo resistencia Pt100, sin ninguna alteración de hardware o recalibración. • Auto sintonía de los parámetros PID, ON/OFF, PI y PD. • Salidas: Pulso lógico (ideal para accionar relés de estado sólido) y 1 relé SPST. • Las salidas poseen 2 funciones programables: control o alarma • Dos funciones de alarma direccionadas para una misma salida • Fuente de alimentación de 220V. • Función LBD (Loop Break Detection). Percibe fallas en la malla de control. • Número de serie electrónico indeleble con 8 dígitos, accesible por display. 	178,99
<p>Timer doble pantalla EZM- 4435</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Posee 6 dígitos de proceso (PV) y 6 dígitos de ajuste (SV) valor de pantalla. • Opera con un valor de ajuste. • Posee reseteo, pausa y entradas de arranque. • Tiene operación automático y reseteo manual. • NPN/PNP tipo de operación. • Bases programables en (segundos, minutos y horas). 	85

Continúa

<p>Contador de tiempo programable NT240</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Tipos de Entrada: Sensores con salida tipo NPN/PNP Contacto Seco NA/NF • Pulso de Tensión: Nivel lógico 1: 5 a 30Vdc. • Nivel lógico 0: -0,5 a +0,5Vdc • Tipos de Salida: 1 Relé SPST - 3A/250Vac y 1 Salida Pulso de tensión 5V/25mA • Retardo de tiempo al encender el temporizador: 200 ms • Precisión del temporizador: 0,05% del tiempo indicado • Fuente de Tensión auxiliar: 12Vdc \pm10% / 50 mA. 	116,50
<p>PLC Siemens S7-200 (Siemens, 2010)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • ENTRADAS/SALIDAS (e/s). La cantidad de E/S es la suma de entradas y salidas que tiene el PLC, indica cuántos sensores y actuadores pueden conectarse. • FÍSICAS. <ul style="list-style-type: none"> a) Los PLCs Compactos: incluyen la CPU, la fuente de alimentación y las interfaces de entrada y salida en un mismo gabinete. b) Los PLCs Modulares: incluyen la CPU, fuente de alimentación, interface de entradas e interface de salidas, constituyendo cada una un módulo independiente que se montan en un rack (o en un riel DIN) para conformar el PLC • SET DE INSTRUCCIONES. Es el conjunto de instrucciones de programación y podría clasificarse en: <ul style="list-style-type: none"> a) Simple: limitado hasta aprox. 30 instrucciones. b) Complejo: en controladores para aplicaciones más complejas. 	360

La razón de aplicar un Controlador de Temperatura en vez de un PLC, es porque el PLC tiene la capacidad de controlar procesos donde el número de entradas de variables son mayores que los controlados en nuestro proceso.- En tanto si utilizaríamos un PLC, estaríamos subutilizando sus funciones operativas, en cambio la aplicación del Timer será solo para la desconexión total del sistema en un determinado tiempo.

Otra de las razones para la selección de los equipos de control, es a partir del presupuesto económico que dispone la empresa de Calzado CASS.

En el sistema de control se distinguen cuatro elementos fundamentales:

- Controlador de temperatura ESM-7720, de medición y control, el cual envía una señal de actuación.
- Timer EZM-4435, que regula el tiempo de funcionamiento del horno.
- El detector de temperatura propiamente dicho (Termocupla tipo J).
- El órgano regulador, el cual recibe la señal de la termocupla y actúa sobre la entrada de corriente del horno.

2.19.2 Controlador de temperatura (Universal Input Temperature Controller) ESM-7720.

Para medir la temperatura en el interior del horno, se utilizara un Controlador de Temperatura digital ESM- 7720 de la marca de EMKO, ver la **Figura 2. 33**, cuyas especificaciones se detallan en el **Anexo: I.** (Manual E. E., 2013)



Figura 2. 33: Temperatura Controller ESM-77-20. (Manual E. E., 2013)

Los detalles de funcionamiento, conexión y programación se encuentran en el **Anexo: J**.

- a. Descripción del ESM-7720:** El controlador de temperatura está diseñado para controlar el valor del proceso. Se pueden utilizar en muchas aplicaciones con su entrada de proceso universal, salidas de control y funciones de alarma seleccionables, como se muestra en la siguiente **Figura 2. 34**.

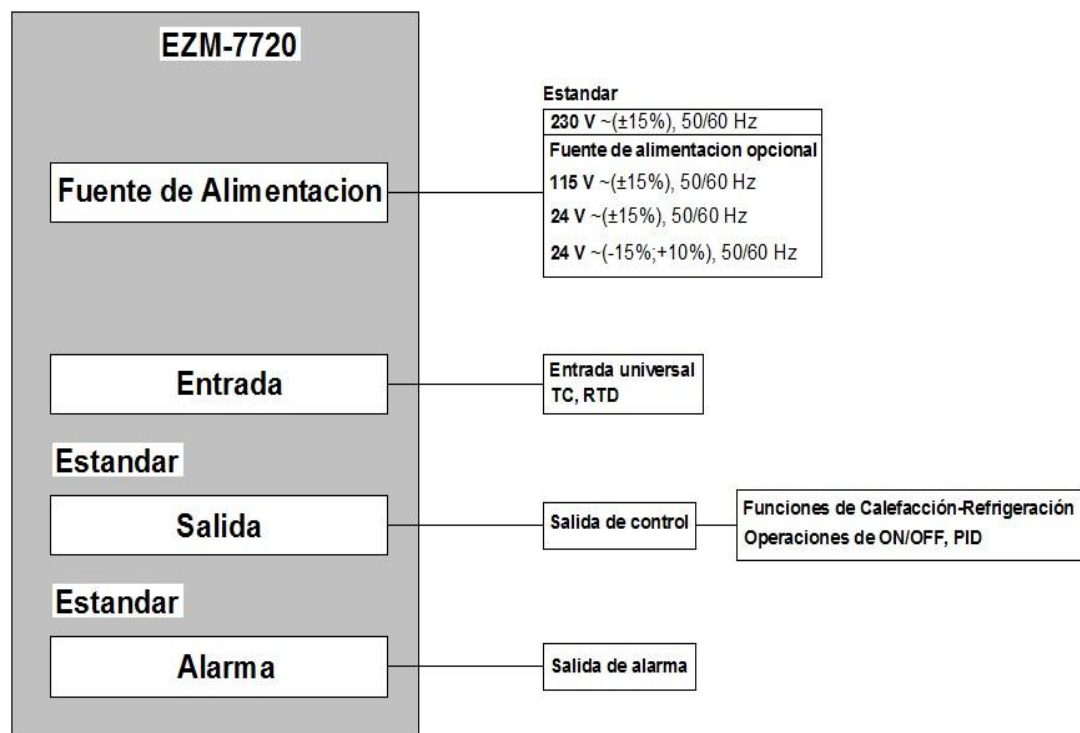


Figura 2. 34: ESM-7720, Especificaciones generales. (Manual E. E., 2013)

Ha sido diseñado y fabricado acorde a las siguientes especificaciones:

- EN 61000-6-4:2001 EMC Estandarización de Emisiones Genéricas para Ambientes Industriales (Generic Emission Standard for the Industrial Environment).
- EN 61000-6-2:2001 EMC Estandarización de Inmunidad Genérica para Ambientes Industriales (Generic Immunity Standard for the Industrial Environment).

- EN 61010-10-1:2001 Requerimientos de seguridad para los equipos de medición eléctrica, de uso de control y laboratorio (Safety Requirements for the electrical equipment for measurement, control and laboratory use).

b. Características del ESM-7720: Las principales características que posee el ESM-7720 serán traducidas al lenguaje español para mayor entendimiento del lector, caso contrario ver el **Anexo: I**.

- Procesador de 4 dígitos (PV) y proceso de 4 dígitos de valor set (SV) de visualización.
- Entradas de proceso universal (TC y RTD).
- Formas configurables de control ON/OFF, P, PI, PD y PID.
- Adaptación de PID, con coeficiente para el sistema con la operación Self-Tune (paso de sintonía de respuesta).
- Calefacción programable o funciones de refrigeración para la salida de control.
- Funciones de alarma para la salida de alarma.

c. Instalación del ESM-7720: Antes de comenzar con la instalación del ESM-7720, se debe leer el manual de instrucciones que está en lenguaje inglés dado en el **Anexo: J**, para lo cual se tradujo al lenguaje español para facilitar su entendimiento.

A continuación se detallan las principales instrucciones a seguir:

- Para la instalación del ESM-7720, es necesario asegurarse de que los técnicos mecánicos y eléctricos cualificados instalen este equipo.
- Si existe peligro de accidente grave resultante de una falla o defecto de esta unidad, apague el sistema y extraiga la conexión eléctrica del dispositivo del sistema.
- Utilizar un interruptor de alimentación y un fusible, para proteger el equipo.

- Asegúrese de utilizar la tensión nominal de alimentación para proteger la unidad contra daños.
- Mantenga la unidad apagada hasta que todo el cableado se ha completado de manera que las descargas eléctricas y problemas con la unidad se pueden prevenir.




d. Aplicaciones: Algunos campos de aplicación que utilizan los ESM-7720 se muestran a continuación en la **Tabla 2. 13**.

Tabla 2. 13: Campos de Aplicación. (Manual E. E., 2013)

Campo de Aplicación	Aplicación
Vidrio	Control de proceso PID.
Plástico	
Petro-Química	
Textil	

e. Condiciones de operación: El ESM-7720, está diseñado para trabajar en las siguientes condiciones de operación que se muestran en la **Tabla 2. 14**.

Tabla 2. 14: Condiciones de Operación. (Manual E. E., 2013)

	Temperatura de operación	0 a 50°C
	Máxima humedad de operación	90% Rh (no condensación)
	Altitud	Arriba de los 2000m

2.19.3 Timer (Universal Input Programmable) EZM-4435. (Manual E. E., 2013)

Para controlar el tiempo de funcionamiento del horno eléctrico, se utilizara un Timer digital EZM-4435 48x48 DIN 1/16 de la marca EMKO, ver la **Figura 2. 35**, cuyas especificaciones de detallan en el **Anexo: K**.



Figura 2. 35: Timer digital EZM-4435. (Manual E. E., 2013)

Los detalles de funcionamiento, conexión y programación se encuentran en el **Anexo: L**.

a. Descripción del Timer.EZM-4435: El dispositivo que controla el tiempo de funcionamiento del horno eléctrico EZM-4435, puede ser usado en máquinas de paquetes, producción y calidad de control de rodillos, y puede ser adaptado fácilmente para todo tipo de construcción mecánica y sistemas de automatización, las especificaciones generales se detallan en la siguiente **Figura 2. 36**.

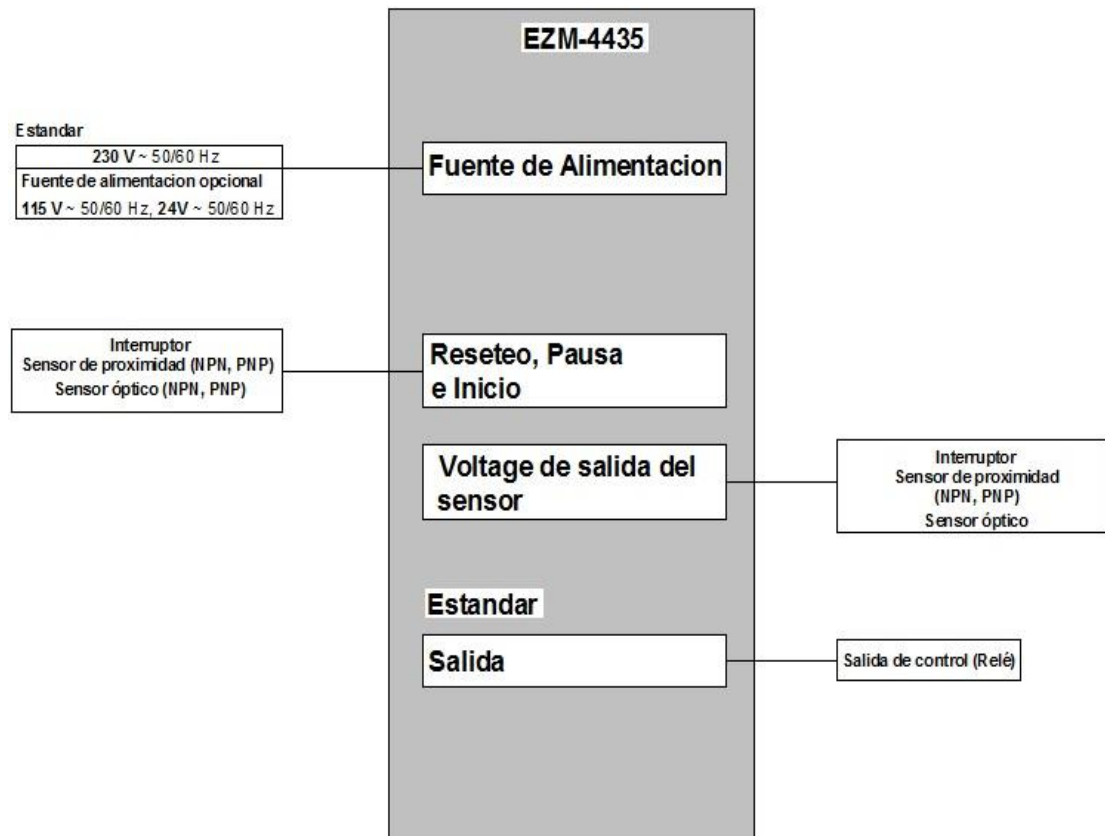


Figura 2. 36: Especificaciones Generales del Timer EZM-4435. (Manual E. E., 2013)

Ha sido diseñado y fabricado acorde a las siguientes especificaciones:

- EN 61000-6-4:2001 EMC Estandarización de Emisiones Genéricas para Ambientes Industriales (Generic Emission Standard for the Industrial Environment).
- EN 61000-6-2:2001 EMC Estandarización de Inmunidad Genérica para Ambientes Industriales (Generic Immunity Standard for the Industrial Environment).
- EN 61010-10-1:2001 Requerimientos de seguridad para los equipos de medición eléctrica, de uso de control y laboratorio (Safety Requirements for the electrical equipment for measurement, control and laboratory use).

b. Características del EZM-4435: Las principales características que posee el EZM-4435 serán traducidas al lenguaje español para mayor entendimiento del lector, caso contrario ver el **Anexo: K**.

- Posee 6 dígitos de proceso (PV) y 6 dígitos de ajuste (SV) valor de pantalla.
- Opera con un valor de ajuste.
- Posee reseteo, pausa y entradas de arranque.
- Tiene operación automático y reseteo manual.
- NPN/PNP tipo de operación.
- Bases programables en (segundos, minutos y horas).

c. Instalación del ESM-7720: Antes de comenzar con la instalación del ESM-7720, se debe leer el manual de instrucciones que está en lenguaje inglés dado en el **Anexo: L**, para lo cual se tradujo al lenguaje español para facilitar su entendimiento.

A continuación se detallan las siguientes instrucciones a seguir:

- Para la instalación del ESM-7720, es necesario asegurarse de que los técnicos mecánicos y eléctricos cualificados instalen este equipo.
- Si existe peligro de accidente grave resultante de una falla o defecto de esta unidad, apague el sistema y extraiga la conexión eléctrica del dispositivo del sistema.
- Utilizar un interruptor de alimentación y un fusible, para proteger el equipo.
- Asegúrese de utilizar la tensión nominal de alimentación para proteger la unidad contra daños y para evitar el fracaso.
- Mantenga la unidad apagada hasta que todo el cableado se ha completado de manera que las descargas eléctricas y problemas con la unidad se pueden prevenir.

d. Aplicaciones: Los campos de aplicación en los cuales son utilizados los EZM-4435, se muestran en la siguiente **Tabla 2. 15**.




Tabla 2. 15: Campos de Aplicación. (Manual E. E., 2013)

Aplicaciones
Máquinas del paquete
Rodillos de control de calidad
Sistemas de llenado
Herramientas de banco
Automatización de Edificios
Bandas de Producción

e. **Condiciones de operación:** El EZM-4435, está diseñado para trabajar en las siguientes condiciones de operación que se muestran en la

f. **Tabla 2. 16.**

Tabla 2. 16: Condiciones de Operación. (Manual E. E., 2013)

	Temperatura de operación	0 a 50°C
	Máxima humedad de operación	90% Rh (no condensación)
	Altitud	Arriba de los 2000m

2.19.4 Termocupla TIPO J.

El dimensionamiento de la termocupla se lo hace mediante recomendaciones técnicas que vienen dadas por el órgano controlador de temperatura, el cual nos recomienda utilizar una termocupla tipo J, **Figura 2. 37**, para la entrada de la señal, el valor de mili-voltaje generado por la termocupla, de acuerdo a la temperatura aplicada, se muestra en la **Tabla 2. 17**.

**Figura 2. 37: Termocupla tipo J.** (EMKO, 2013)

Tabla 2. 17: Valores de mV, Termocupla tipo J. (Antonio Creus, 2011)

TABLE 7 Type J Thermocouple— thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C

J°C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
-210	-8.095											-210
-200	-7.890	-7.912	-7.934	-7.955	-7.976	-7.996	-8.017	-8.037	-8.057	-8.076	-8.095	-200
-190	-7.659	-7.683	-7.707	-7.731	-7.755	-7.778	-7.801	-7.824	-7.846	-7.868	-7.890	-190
-180	-7.403	-7.429	-7.456	-7.482	-7.508	-7.534	-7.559	-7.585	-7.610	-7.634	-7.659	-180
-170	-7.123	-7.152	-7.181	-7.209	-7.237	-7.265	-7.293	-7.321	-7.348	-7.376	-7.403	-170
-160	-6.821	-6.853	-6.883	-6.914	-6.944	-6.975	-7.005	-7.035	-7.064	-7.094	-7.123	-160
-150	-6.500	-6.533	-6.566	-6.598	-6.631	-6.663	-6.695	-6.727	-6.759	-6.790	-6.821	-150
-140	-6.159	-6.194	-6.229	-6.263	-6.298	-6.332	-6.366	-6.400	-6.433	-6.467	-6.500	-140
-130	-5.801	-5.838	-5.874	-5.910	-5.946	-5.982	-6.018	-6.054	-6.089	-6.124	-6.159	-130
-120	-5.426	-5.465	-5.503	-5.541	-5.578	-5.616	-5.653	-5.690	-5.727	-5.764	-5.801	-120
-110	-5.037	-5.076	-5.116	-5.155	-5.194	-5.233	-5.272	-5.311	-5.350	-5.388	-5.426	-110
-100	-4.633	-4.674	-4.714	-4.755	-4.796	-4.836	-4.877	-4.917	-4.957	-4.997	-5.037	-100
-90	-4.215	-4.257	-4.300	-4.342	-4.384	-4.425	-4.467	-4.509	-4.550	-4.591	-4.633	-90
-80	-3.786	-3.829	-3.872	-3.916	-3.959	-4.002	-4.045	-4.088	-4.130	-4.173	-4.215	-80
-70	-3.344	-3.389	-3.434	-3.478	-3.522	-3.566	-3.610	-3.654	-3.698	-3.742	-3.786	-70
-60	-2.893	-2.938	-2.984	-3.029	-3.075	-3.120	-3.165	-3.210	-3.255	-3.300	-3.344	-60
-50	-2.431	-2.478	-2.524	-2.571	-2.617	-2.663	-2.709	-2.755	-2.801	-2.847	-2.893	-50
-40	-1.961	-2.008	-2.055	-2.103	-2.150	-2.197	-2.244	-2.291	-2.338	-2.385	-2.431	-40
-30	-1.482	-1.530	-1.578	-1.626	-1.674	-1.722	-1.770	-1.818	-1.865	-1.913	-1.961	-30
-20	-0.995	-1.044	-1.093	-1.142	-1.190	-1.239	-1.288	-1.336	-1.385	-1.433	-1.482	-20
-10	-0.501	-0.550	-0.600	-0.650	-0.699	-0.749	-0.798	-0.847	-0.896	-0.946	-0.995	-10
0	0.000	-0.050	-0.101	-0.151	-0.201	-0.251	-0.301	-0.351	-0.401	-0.451	-0.501	0
0	0.000	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	0.456	0.507	0
10	0.507	0.558	0.609	0.660	0.711	0.762	0.814	0.865	0.916	0.968	1.019	10
20	1.019	1.071	1.122	1.174	1.226	1.277	1.329	1.381	1.433	1.485	1.537	20
30	1.537	1.589	1.641	1.693	1.745	1.797	1.849	1.902	1.954	2.006	2.059	30
40	2.059	2.111	2.164	2.216	2.269	2.322	2.374	2.427	2.480	2.532	2.585	40
50	2.585	2.638	2.691	2.744	2.797	2.850	2.903	2.956	3.009	3.062	3.116	50
60	3.116	3.169	3.222	3.275	3.329	3.382	3.436	3.489	3.543	3.596	3.650	60
70	3.650	3.703	3.757	3.810	3.864	3.918	3.971	4.025	4.079	4.133	4.187	70
80	4.187	4.240	4.294	4.348	4.402	4.456	4.510	4.564	4.618	4.672	4.726	80
90	4.726	4.781	4.835	4.889	4.943	4.997	5.052	5.106	5.160	5.215	5.269	90
100	5.269	5.323	5.378	5.432	5.487	5.541	5.595	5.650	5.705	5.759	5.814	100
110	5.814	5.868	5.923	5.977	6.032	6.087	6.141	6.196	6.251	6.306	6.360	110
120	6.360	6.415	6.470	6.525	6.579	6.634	6.689	6.744	6.799	6.854	6.909	120
130	6.909	6.964	7.019	7.074	7.129	7.184	7.239	7.294	7.349	7.404	7.459	130
140	7.459	7.514	7.569	7.624	7.679	7.734	7.789	7.844	7.900	7.955	8.010	140
150	8.010	8.065	8.120	8.175	8.231	8.286	8.341	8.396	8.452	8.507	8.562	150
160	8.562	8.618	8.673	8.728	8.783	8.839	8.894	8.949	9.005	9.060	9.115	160
170	9.115	9.171	9.226	9.282	9.337	9.392	9.448	9.503	9.559	9.614	9.669	170
180	9.669	9.725	9.780	9.836	9.891	9.947	10.002	10.057	10.113	10.168	10.224	180
190	10.224	10.279	10.335	10.390	10.446	10.501	10.557	10.612	10.668	10.723	10.779	190

El uso de la termocupla tipo J, es la más útil por los siguientes aspectos:

- Son más económicos por su rango de temperatura de trabajo.
- El rango de temperatura de la termocupla tipo J, satisface las necesidades para las condiciones de trabajo requeridas.
- La lectura que realiza la termocupla tipo J, es compatible con la señal de entrada requerida por el controlador seleccionado.

Por lo tanto se utilizará una Termocupla tipo J, de la norma IEC 584 cuyas características se muestran en la **Tabla 2. 18**.

Tabla 2. 18: Características termocupla tipo J. (EMKO, 2013)

Marca:	EMKO
Termopar:	Tipo J
Rango Temperatura:	-200 a 1200 °C
Precisión:	1%
Composición:	Hierro – Constan
Recubierto:	Acero inoxidable.

2.20 SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS DE CONTROL.

La selección de los dispositivos de control se la debe realizar en función de las acciones que el proceso necesita realizar.

Los dispositivos de control que se han seleccionado son los contactores ya que estos tendrán el control sobre las resistencias eléctricas del horno.

De acuerdo a la corriente de línea IL calculado anteriormente, se tomó como base para la selección del calibre del conductor a utilizar tanto para el circuito de control y de fuerza, ver el **Anexo: M**, (Harper, 2003)

2.20.1 Selección del contactor.

Para la selección del contactor hay que tener en cuenta las sobre corrientes por motivos de cortocircuitos, arranques de motores, etc, en el caso de la calefacción mediante elementos resistivos utilizados en los hornos industriales o para la calefacción de locales (radiadores de infrarrojos o de resistencia, convectores, acumuladores de calor, etc.).

La variación de la resistencia entre el estado frío y el caliente genera un pico de corriente que nunca supera 2 a 3 I_n en el momento inicial de la

conexión si, a continuación, se limitan las variaciones de temperatura con un regulador. (Telemecanique, 08/08/2013)

Por lo tanto se seleccionara un contactor cuya corriente de funcionamiento sea de $2 I_n$, razón por la cual su costo es considerable y cumple con las características de funcionamiento del horno.

$$I_{\text{contactor}} = 2 \text{ o } 3I_n$$

$$I_{\text{contactor}} = 2 * 18.9A$$

$$I_{\text{contactor}} = 37.8A$$

Otras características que se deben tener en cuenta en la selección del contactor son; categoría de empleo, clase de servicio, intensidad de empleo, tensión de alimentación y frecuencia, que se detallara en el **Anexo: N**.

Tomando en consideración las especificaciones anteriores se escogió un contactor GMC40-12Hp-220V-L.S, fabricado bajo la norma IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) 60947-4, ver la **Tabla 2. 19** y la **Figura 2. 38**.

Tabla 2. 19: Características del Contactor. (LS, 2013)

Marca:	LS
Modelo:	MC-40a
Cantidad:	1
Voltaje de Alimentación de la Bobina:	220 VAC
Intensidad de Corriente:	40 A
Frecuencia:	50 – 60 Hz



Figura 2. 38: Contactor Tripolar 220V/60Hz. (LS, 2013)

2.20.2 Selección del relé auxiliar.

La función principal que cumplirá el relé auxiliar es de mantener energizado el circuito de control, a partir de esto consideración se tomara en cuenta los siguientes aspectos para su selección:

- Voltaje.
- Corriente de operación.
- Frecuencia.
- Datos de la bobina del contactor.
- Disponibilidad en el mercado.
- Numero de contactos normalmente abiertos (NO) y normalmente cerrados (NC).

En la **Tabla 2. 20** y la **Figura 2. 39**, se detallan las características del relé auxiliar.

Tabla 2. 20: Características del relé auxiliar. (CNC, 2013)

Marca:	CNC
Modelo:	70.3
Cantidad:	1
Voltaje de Alimentación de la Bobina:	220 VAC
Contactos NA	3
Contactos NC	3
Frecuencia:	60 HZ



Figura 2. 39: Relé auxiliar. (CNC, 2013)

2.20.3 Selección de los fusibles para el circuito de fuerza y control.

La selección del fusible para el circuito de fuerza, se utilizara para proteger los conductores, aparatos e instalaciones contra las sobrecargas, sobrecorrientes (sobrecargas y cortocircuitos), para lo cual tomó en cuenta la corriente de nominal que se sobredimensionara con el 25% que es la corriente máxima de cortocircuito estándar para instalaciones residenciales comerciales, con lo que obtenemos lo siguiente: (Marquez, 2001)

Selección del fusible: $I_L \times 25\%$

Selección del fusible: $18.9 \times 1.25 = 23.62A$

Con la corriente de selección del fusible, vamos al **Anexo: Ñ**, y seleccionamos un fusibles de 25A, tipo gG/gL, de la norma IEC 2691-1,2,2-1, es un cartucho limitador de corriente empleado fundamentalmente en la protección de circuitos sin puntas de corrientes importantes, tales como circuitos de alumbrado, calefacción, etc, ver la **Figura 2. 40**. (Marquez, 2001)



Figura 2. 40: Fusible de 220V/25A. (CAMSCO, 2013)

El fusible seleccionado para la protección del circuito de control, será de 1A, ya que este es el recomendado por el fabricante del Controlador de Temperatura y Timer, sus características se detalla en la **Tabla 2. 21** y la **Figura 2. 41**

Tabla 2. 21: Características del fusible para el circuito de control.

(SASSIN, 2013)

Marca:	SASSIN
Modelo:	VDE0636
Cantidad:	2
Capacidad:	500v-80KA
Amperaje:	1A



Figura 2. 41: Fusible de 220V/1A. (SASSIN, 2013)

2.20.4 Selección del breaker para el circuito de fuerza.

Con el cálculo de la corriente de línea se puede seleccionar el breaker adecuado para la protección del sistema de fuerza, por lo tanto la condición para calcular la corriente del breaker es: (Enriquez Harper, 2003)

$$I_{Breaker} = 1.5I_n .$$

$$I_{Breaker} = 1.5 * 18.9A$$

$$I_{Breaker} = 28.35A$$

Por lo tanto el breaker seleccionado del **Anexo: O**, indica que se debe seleccionar un breaker de 32 amperios de la marca CHINT de 3 polos, ver la **Figura 2. 42**.



Figura 2. 42: Breaker CHINT de 32 A de 3 polos. (CHINT, 2013)

2.20.5 Diseño del diagrama del circuito de control y fuerza.

A continuación se detalla el funcionamiento del circuito de control con el cual funcionará el horno.

- a. El proceso de encendido del horno comienza cuando se presiona el botón **P1**.
- b. Una vez presionado este botón se da la señal a la bobina K1, la cual activa el contacto normalmente abierto de la bobina K1, lo que permite que esta bobina quede enclavada, y de esta manera no se desconecte una vez presionado P1.
- c. Seguidamente de esto se activará la bobina del controlador de temperatura y la del Timer, el cual comenzará a contar desde ese instante el tiempo que las resistencias necesitan estar conectadas, en este caso son 24 horas continuamente, luego de esto apague el sistema. El Timer

también se lo programará para diferentes tiempos de trabajo según lo requiera el proceso de calentamiento.

- d. La función del controlador específicamente es de mantener la temperatura a la cual el producto debe calentarse durante el tiempo antes mencionado, con un rango de temperatura de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, con el cual no se afectaría al proceso de calentamiento del producto.
- e. El controlador activara un contacto R1, el cual activará a la bobina C1 que activara las resistencias con los contactos C1 en el circuito de fuerza.
- f. También se dispuso de un pulsador normalmente cerrado P2 que nos permitirá apagar el circuito en caso de emergencia.
- g. Para visualización, se colocó una lámpara la cual indicará cuando el horno está en funcionamiento y así evitar quemaduras en los operadores.
- h. Con lo expuesto anterior, se obtiene el Diagrama Eléctrico de Control y de Fuerza del proceso, ver **Anexo: P**.

CAPÍTULO 3

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.

3.1 CONSTRUCCIÓN DEL HORNO.

En este capítulo trataremos todo lo referente al desarrollo en la parte de la construcción, aquí se detalla todos los pasos que fueron necesarios para la elaboración del horno de resistencias eléctricas.

3.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.

En la **Tabla 3. 1**, se describirá el cronograma de actividades de la construcción de todos los elementos que forman parte del sistema de calentamiento del horno.

Tabla 3. 1: Cronograma de actividades para la construcción del horno. (Aguirre/Sánchez, Cronograma de actividades 2014)

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																												
CONSTRUCCIÓN DEL HORNO																												
Mes	Agosto 2013				Septiembre 2013				Octubre 2013				Noviembre 2013				Diciembre 2013				Enero 2014				Febrero 2014			
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
CONSTRUCCIÓN ESTRUCTURAS																												
Corte de los tubos cuadrados.	■																											
Suelda de la estructura del horno.		■	■	■	■	■																						
Suelda de puerta del horno							■																					
Fabricación de la cerradura tipo barra mecánica.								■																				
Corte de las planchas galvanizadas.									■	■																		
Suelda de las planchas internas del horno.											■	■	■															
Armado de la mesa de soporte del tanque.														■														

Continúa

En el capítulo 2 se realizaron los cálculos y la selección de los materiales, en este capítulo se procederá a la construcción y ensamblaje del horno.

A continuación se hará una rápida descripción de las partes, y luego se indicara como están elaboradas:

- Construcción de la estructura del horno.
- Construcción e Instalación de los elementos de resistencias.
- Instalación eléctrica del sistema de control.
- Montaje del sistema.

3.3 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL HORNO.

En el **Anexo: Q**, se encuentra los planos del horno con sus medidas respectivas.

La selección de los materiales que conforman en el horno se ha visto en el capítulo anterior, puesto que se hizo la elección de la forma y el material del cual se va a construir la estructura.

La elección del material se realizó de acuerdo a las siguientes características las cuales son: estructura sólida y ligera, bajo costo del material y su fácil obtención en el mercado local, y que no se requiere de trabajos especiales, ni máquinas especiales para trabajarlo.

En el desarrollo de la construcción mecánica del horno, se debe tener en cuenta los conocimientos técnicos en la utilización de máquinas herramientas, la selección correcta del equipo de soldadura y la planificación adecuada para el proceso de construcción.

3.3.1 Trazado y Corte.

Para realizar esta operación generalmente se utiliza un flexómetro, un rayador, una escuadra, y la mesa de trabajo donde serán medidos y trazados los materiales en función de las medidas de los planos proyectados, ver la **Figura 3. 1**.



Figura 3. 1: Herramientas para el Proceso de Trazado y corte.

(Aguirre/Sánchez, Fotografías del horno Electrico 2013)

3.3.2 Estructura metálica.

La estructura del horno es construida de tubo cuadrado estructural ASTM A-500 de 50 mm x 50 mm x 3 mm de espesor, unidos entre sí mediante soldadura del mismo material con electrodo E 60-11, la cual presenta buena penetración y agarre, posteriormente se procede a esmerilar las rebabas o cualquier otro defecto, el amperaje está comprendido entre 80 y 120 amperios como lo indica el **Anexo: R**, ver la **Figura 3. 2**.



Figura 3. 2: Aspecto de la estructura metálica. (Aguirre/Sánchez, Fotografías del horno Electrico 2013)

3.3.3 Paredes del Horno.

A continuación se detallara el procedimiento que se les dio a las planchas del horno, antes de su instalación.

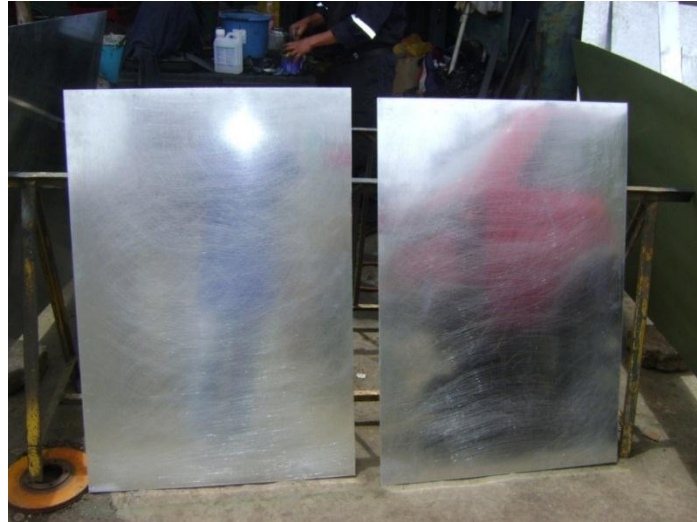
- a. Paredes interiores:** Las paredes interiores del horno son construidas de plancha de acero galvanizado ASTM-A 36 cuyo espesor es de 3mm, esto ayudara al horno a soportar golpes internos y la oxidación por el uso frecuente en el trabajo, ver la **Figura 3. 3.**



Figura 3. 3: Paredes interiores del horno. (Aguirre/Sánchez, Fotografías del horno Electrico 2013)

b. Paredes exteriores: Las paredes exteriores del horno son construidas de plancha de acero galvanizado ASTM-A 36 de 2mm de espesor.

Las planchas exteriores tienen un recubrimiento de pintura de fondo verde y de acabado color celeste, ver la **Figura 3. 4.**



a.- Lijado de las planchas.



b.- Aplicación del fondo.



c.- Aplicación de la pintura de acabados.

Figura 3. 4: Planchas exteriores del horno. a.- Lijado de las planchas.

b.- Aplicación del fondo. c.- Aplicación de la pintura de acabados.

(Aguirre/Sánchez, Fotografías del horno Electrico 2013)

3.3.4 Puerta del horno.

Las puertas del horno, se unirán mediante bisagras las cuales permiten la apertura y cierre de las mismas.

Para asegurar las puertas y evitar aperturas inesperadas del horno, se fabricó una cerradura tipo barra mecánica como se muestra en la siguiente **Figura 3. 5.**



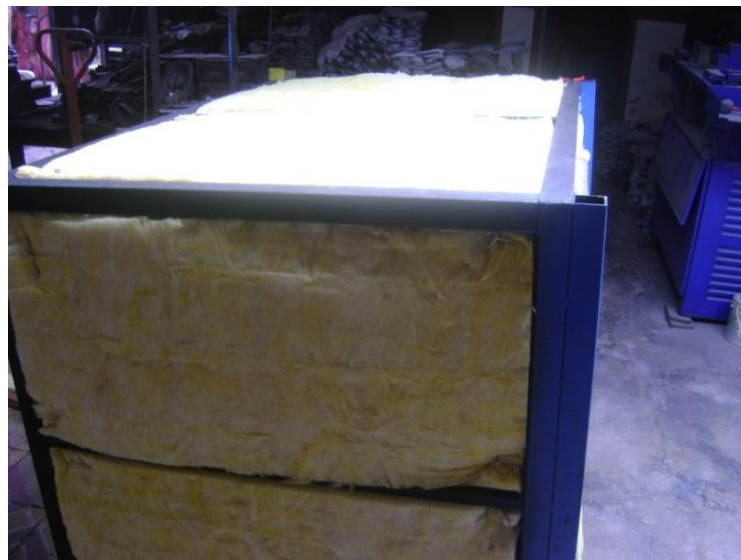
Figura 3. 5: Cerradura tipo barra mecánica. (Aguirre/Sánchez, Fotografías del horno Electrico 2013)

3.3.5 Recubrimiento del horno con lana de vidrio.

Para el aislamiento térmico del horno, se utilizara lana de vidrio de 2 pulgadas de espesor, ya que este sistema maneja temperaturas que bordea los 200°C, el aislante térmico va sujeto mediante alambre de acero galvanizado en las paredes laterales del horno, esto evitar que se escurra con el tiempo, ver la **Figura 3. 6**.



a.- Malla de acero galvanizado.



b.- Sujeción de la lana de vidrio

Figura 3. 6: Instalación de la lana de vidrio. a.- Malla de acero galvanizado. b.- Sujeción de la lana de vidrio. (Aguirre/Sánchez, Fotografías del horno Electrico 2013)

3.3.6 Ensamble de planchas externas.

Una vez instalado la lana de vidrio, se procede a ensamblar las planchas exteriores del horno mediante tornillos hexagonales auto-perforante con la ayuda de un taladro, ver la **Figura 3. 7**.



a.- Ensamble mediante tornillo hexagonal autopercorante.



b.- Ensamble de las paredes del horno.

Figura 3. 7: Horno eléctrico. a.- Ensamble mediante tornillo hexagonal auto-perforante. b.- Ensamble de las paredes del horno.

(Aguirre/Sánchez, Fotografías del horno Electrico 2013)

3.4 MONTAJE DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.

A continuación se detallara la instalación de las resistencias en el interior del horno.

3.4.1 Conformación de las resistencias eléctricas en el interior del horno.

Para conformar las ondulaciones en los elementos de resistencia, se deberá tomar en cuenta que deben estar perfectamente distribuidas en la parte inferior, en un espacio de 1x0.70m, elevadas a una distancia de 10cm del piso, de tal forma que el calor aportado a la carga sea uniforme dentro de la cámara interna.

Las resistencias estarán sujetas mediante soportes porta resistencias hechas de lámina de acero galvanizado de 2mm de espesor, recomendado por el fabricante de resistencias “VEGA OMEGA”.

La instalación de las resistencias en el porta resistencias se muestra en la **Figura 3. 8**.



Figura 3. 8: Instalación de las resistencias eléctricas. (Aguirre/Sánchez, Resistencia Electrica 2013)

3.4.2 Terminales y conexiones.

Realizado la instalación de los soportes de resistencias y la instalación de las resistencias, se procede a realizar la conexión trifásica delta doble paralelo, para lo cual se utilizó cable # 12AWG para altas temperaturas,

especiales para conexiones de resistencias, en la **Figura 3. 9**, muestra el tipo de terminal y la conexión de las resistencias.



Figura 3. 9: Terminal de conexión utilizado. (Aguirre/Sánchez, Resistencia Electrica 2013)

3.5 MONTAJE DE LOS ELEMENTOS EN EL TABLERO DE CONTROL.

El montaje de los elementos de control en el tablero, se realizó de manera adecuada, de manera que todos los elementos quedaran distribuidos uniformemente.

Para la adaptación de los elementos, se utilizó varias herramientas las cuales facilitaron el proceso, ver la **Figura 3. 10**.



Figura 3. 10: Adaptación de los elementos de control en el tablero.
(Aguirre/Sánchez, Tablero de control 2013)

En la siguiente **Figura 3. 11**, se puede apreciar la distribución de los elementos de control.



Figura 3. 11: Tablero de control. (Aguirre/Sánchez, Tablero de control 2013)

3.5.1 Instalación de circuito de Control y de Fuerza.

En la **Figura 3. 12**, se muestra el diagrama de control y de fuerza la cual indica que para la conexión del circuito de control se utilizó cable flexible #12 AWG de color amarillo y para la conexión del circuito de fuerza se empleó cable #12AWG solido de color amarillo, sus conexiones son de acuerdo a los diagramas de control y fuerza del **Anexo: O**.



Figura 3. 12: Circuito de control y de fuerza. (Aguirre/Sánchez, Tablero de control 2013)

CAPÍTULO 4

PRUEBAS EXPERIMENTALES Y ANÁLISIS ECONÓMICO.

4.1 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Para realizar las pruebas y análisis de resultados, se utilizó el control **ON-OFF**, adecuado para aplicaciones de hornos.

4.1.1 Condiciones físicas.

El horno de calentamiento tiene un espacio físico de 1,5m de ancho, 1m de profundidad y 0,98 m de alto.

El tablero de control, donde están ubicados los circuitos de control y de fuerza, se encuentra ubicado en la parte superior del horno, esto facilita su visualización y operación.

Las resistencias eléctricas de calentamiento que elevan la temperatura dentro del horno, están ubicadas en la parte inferior interna del horno.

4.1.2 Sistema de control.

La finalidad del sistema de control es controlar la temperatura del horno mediante la activación y desactivación de las resistencias eléctricas, donde esta función la realiza un contactor.

El Controlador de Temperatura, recibe la señal de la termocupla tipo “J” y de acuerdo al valor establecido por la condiciones del material a calentar, este envía una señal al contactor, que mediante un contacto normalmente cerrado (NO), activara y desactivara las resistencias eléctricas de calentamiento controlando así la temperatura del horno.

Los valores censados por la termocupla se los visualizan claramente en

la pantalla del controlador, de igual manera los valores de tiempo en el Timer.

El Timer controla el tiempo de calentamiento del material dentro del horno, que una vez cumplido el tiempo de calentamiento, este desactiva el sistema con el contacto normalmente cerrado (NC).

4.2 PARÁMETRO DE FUNCIONAMIENTO.

Los parámetros de funcionamiento del horno para el calentamiento del Polyol y Prepolymer, se muestran en la **Tabla 4. 1**.

Tabla 4. 1: Parámetro de funcionamiento. (Aguirre/Sánchez, Parámetros de funcionamiento del horno eléctrico 2013)

Voltaje de alimentación	220V
Corriente de línea	$I_L=18,9A$
Temperatura de calentamiento	80 °C
Histéresis	± 2 °C
Resistencias eléctricas	1200 w c/u

4.3 PROTOCOLO DE PRUEBAS DEL HORNO Y DEL MATERIAL.

Antes de realizar las pruebas tanto del horno como de la pieza, se debe tener en cuenta las siguientes condiciones:

- Verificar que no exista fugas de calor por ranuras desde el interior del horno hacia el exterior.
- Comprobar la temperatura de calentamiento del Polyol y del Prepolymer.
- Comprobar el tiempo de calentamiento del Polyol y del Prepolymer.
- Verificar que no existan fugas en los respectivos tanques que contiene el material a calentar, ver la **Figura 4. 1**.



Figura 4. 1: Verificación de la hermeticidad del tanque de Polyol y Prepolymer. (Aguirre/Sánchez, Tanques de Polyol y Prepolymer 2014)

4.3.1 Resultados.

Para determinar el buen funcionamiento del horno, se realizaron varias pruebas a diferentes niveles de temperatura y tiempo con los materiales a calentar, ver la **Figura 4. 2** y **Figura 4. 3**.






Figura 4. 2: Disposición del material en el horno. (Aguirre/Sánchez, Tanques de Polyol y Prepolymer 2014)



Figura 4. 3: Prueba realizada en el horno. (Aguirre/Sánchez, Medicion de temoeratura con el controlador de temperatura 2014)

En la **Tabla 4. 2**, se observan los valores tomados al realizar la prueba del horno con el material que se va a calentar.

Tabla 4. 2: Medición de la temperatura del horno con el material.
(Aguirre/Sánchez, Valores tomados de la prueba de funcionamiento del horno 2014)

Tiempo(min)	Temperatura Termocupla °C	Encendido y Apagado de las Resistencias Eléctricas. Encendido=  Apagado= 
0	20	 (0:0)
1	20	
2	23	
3	28	
4	35	
5	43	
6	50	
7	57	
8	63	
9	69	
10	75	

Continúa

11	81	✓ (11:08)
12	83	
13	84	
14	84	
15	82	
16	80	
17	78	✗ (17:30)
18	77	
19	77	
20	82	✓ (20:11)
21	83	
22	84	
23	85	
24	84	
25	83	
26	82	
27	80	
28	81	✗ (28:20)
29	77	
30	77	
31	82	✓ (30:56)
32	83	
33	85	
34	85	
35	85	
36	84	
37	83	
38	82	
39	80	
40	80	✗ (40:40)

Continúa

41	78	
42	77	
43	81	↙ — (43:12)
44	83	
45	85	
46	85	
47	85	
48	85	
49	84	
50	83	
51	82	
52	81	
53	80	↘ (53:58)
54	78	
55	77	
56	81	↙ — (56:27)
57	82	
58	85	
59	85	
60	85	

A partir de 1 hora de funcionamiento del horno, los parámetro de cambio de estado de encendido y apagado se mantienen constantes, lo cual corresponde a un control ON-OFF, en la **Figura 4. 4**, se muestra la curva de funcionamiento con los valores tomados de la **Tabla 4. 2**

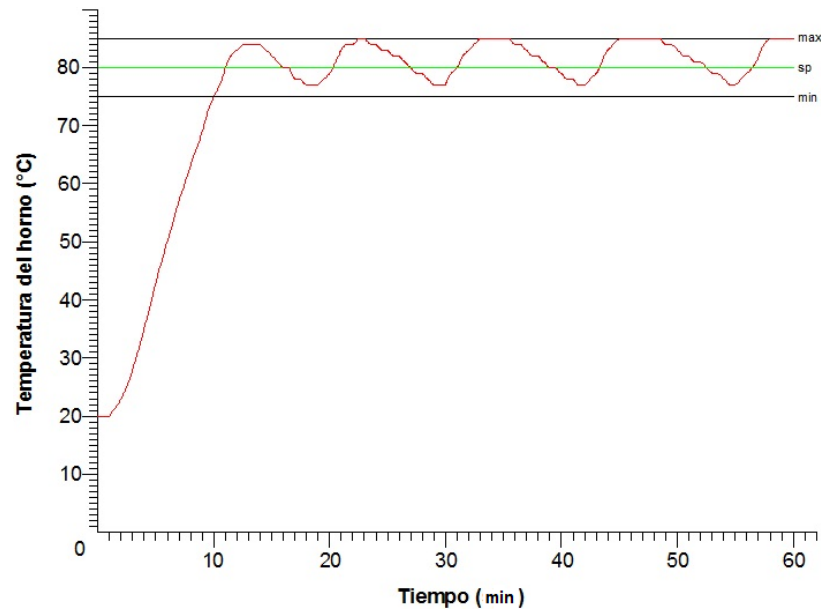


Figura 4. 4: Curva de comportamiento del horno con el material.

(Aguirre/Sánchez, Diseño en Autocad 2012)

4.3.2 Análisis de resultados.

Como resultado de varias pruebas hechas en el horno, tenemos que el calor generado por las resistencias eléctricas, calientan el horno en su totalidad en un tiempo de 10 min hasta calentar toda el espacio interno, luego el material a calentar comenzara a absorber calor en un tiempo de 9 min por lo tanto desde ese momento las resistencias calientan al horno en un tiempo mínimo de 3min aproximadamente, el tiempo de calentamiento será constante para todo el proceso, e incluso para el tiempo en que el material absorbe calor.

Dando como resultado el calentamiento total del tanque de Polyol y Prepolymer, en su forma líquida, Ver **Figura 4. 5** y **Figura 4. 6**.



Figura 4. 5: Forma líquida del Polyol. (Aguirre/Sánchez, Fotorafia del tanque de Polyol en su forma liquida 2014)



Figura 4. 6: Forma líquida del Prepolymer. (Aguirre/Sánchez, Fotorafia del tanque de Polyol en su forma liquida 2014)

4.4 ANÁLISIS ECONÓMICO.

Mediante este análisis económico se tratara de determinar los beneficios que se obtiene en la construcción del horno.

Se hará una comparación entre los gastos que se tiene en la construcción del horno frente a los beneficios que se obtendrá para su uso, y así poder analizar la tasa de recuperación de la inversión. (Ochoa Setzer, 2002)

4.5 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN.

La determinación de los costos consiste en determinar el capital total de inversión en la construcción del horno, teniendo en cuenta los factores tangibles e intangibles que son la materia prima y trabajo intelectual con la mano de obra respectivamente, necesarios para su desarrollo.

En términos económicos los costos de construcción están dados en función de tres parámetros que son:

- Materia Prima Directa (MPD).
- Mano de Obra Directa (MOD).
- Costos Indirectos (CI).

Los mismos que se detallan a continuación:

4.5.1 Materia Prima Directa (MPD).

La materia prima directa consiste en la adquisición del material para la construcción, por lo tanto se han dividido los costos en dos secciones como se muestran en la **Tabla 4. 3** y **Tabla 4. 4**, todos los precios incluyen el 12% de IVA.

Tabla 4. 3: Tabla Costos de los materiales para la construcción del horno industrial. (Aguirre/Sánchez, Análisis económico 2013)

HORNO DE CALENTAMIENTO				
Detalle	Cantidad	Valor Unitario	Valor 12% IVA	Total &
Estructura				
Tubo cuadrado de 50x50x3mm.	6	22,01	15,85	147,91
Plancha de acero galvanizado de 3mm espesor.	4	37,05	17,79	166,00
Plancha de acero de 100cmX70cmX6mm.	1	54,33	6,52	60,85
Plancha de acero galvanizado de 2mm espesor.	4	29,06	13,95	130,20
Malla soldada de (2x1)".	5	5,22	3,13	29,25
Angulo de (1x1/8)".	1	6,33	0,76	7,09
Rollo de lana de vidrio de 2".	1	89,29	10,71	100,00
Cerradura tipo barra mecánica.	1	35,00	4,20	39,20
Tornillos auto-perforante	100	0,05	0,60	5,60
RESISTENCIAS ELÉCTRICAS				
Resistencias Diam. 3/8x140cm en forma de U, 220V, 1200w	6	49,00	35,28	329,28
TOTAL \$				1015,38

Tabla 4. 4: Costos de los materiales para el sistema de automatización.

(Aguirre/Sánchez, Análisis económico 2013)

AUTOMATIZACIÓN				
Detalle	Cantidad	Valor Unitario	Valor 12% IVA	Total
Estructura				
Termocupla tipo "J" EMKO 2mts.MOB-L12-K02.	1	14,05	1,69	15,74
Tablero de control de 40x30x20cm MEGABOOS.	1	47,00	5,64	52,64
TIMER EZM-4435.	1	85,50	10,26	95,76
Controlador de Temperatura ESM-7720.	1	106,20	12,74	118,94
Riel DIN acero.	1	1,95	0,23	2,18
Tope Schneider para riel.	2	0,69	0,17	1,55
Pulsador de Emergencia NP2-ES545.	1	3,00	0,36	3,36
Cable térmico de asbesto # 12.	15	2,32	4,18	38,98
Fusible 1A porcelana.	2	0,31	0,07	0,69
Fusible 25A porcelana.	4		0,00	0,00
Porta fusible	6	1,87	1,35	12,57
Contactador MC-40a, 12Hp, 220V.	1	25,35	3,04	28,39
Relé 220V-11 pines.	1	6,86	0,82	7,68
Luz piloto rojo 220V.	1	1,42	0,17	1,59
Pulsador CAMSCO rojo 220V.	1	1,87	0,22	2,09
Pulsador CAMSCO verde 220V.	1	1,87	0,22	2,09
Disyuntor CHINT C32-3polos.	1	5,70	0,68	6,38
Cable #14 amarillo	20	0,40	0,96	8,96
Cable #12 rojo	2	0,55	0,13	1,23
Canaleta 2m	1	2,45	0,29	2,74
TOTAL \$				403,58

La inversión total de la materia prima directa se detalla en la **Tabla 4. 5.**

Tabla 4. 5: Materia Prima Directa. (Aguirre/Sánchez, Análisis económico 2013)

INVERSIÓN TOTAL MPD	
Tipo de Inversión	Monto
Horno de Calentamiento	1015,38
Automatización	403,58
TOTAL \$	1418,96

4.5.2 Mano de Obra Directa (MOD).

Estos costos se refieren a la mano de obra técnica y no técnica, legalmente no existe una ley que determine cierto monto de remuneración para este tipo de trabajo.

En todo trabajo, la mano de obra directa técnica fluctúa entre el 20 y 25% de los costos de inversión de la MPD, por lo tanto se tomara como referencia el 25% de inversión de MPD, ver **Tabla 4. 6.**

Tabla 4. 6: Mano de Obra Directa. (Aguirre/Sánchez, Análisis económico 2013)

COSTOS ESPECIALIZADOS				
Mano de obra	Descripción	Cantidad	%MPD	Total
Técnica	Jefe de obra	2	25	351,51
Mano de obra	Descripción	Cantidad	Subtotal	Total
No Técnica	Soldador	1	250,00	250,00
TOTAL \$				601,51

4.5.3 Costos Indirectos (CI).

Los CI corresponden a costos en los cuales no intervienen MPD y MOD, entre estos gastos se puede considerar la materia prima indirecta, transportación y comida.

La materia prima indirecta se refiere a materiales tales como electrodos, discos de amolar, entre otros, como se detalla en la **Tabla 4. 7**.

Tabla 4. 7: Costos indirectos. (Aguirre/Sánchez, Análisis económico 2013)

MATERIALES COMPLEMENTARIOS					
	Cantidad	Descripción	V. unitario	12% IVA	Total
Materia Prima Indirecta	10	lbs. Electrodos E-6011 AGA.	2,60	3,12	29,12
	1	Disco de amolar 4 X1/4 X5/8.	1,50	0,18	1,68
	2	Guantes de caucho # 8.	1,50	0,36	3,36
	1	Estilite.	0,50	0,06	0,56
	1	Flexómetro de 3m.	3,00	0,36	3,36
	1	Pintura esmalte anticorrosivo color negro mate.	3,95	0,47	4,42
	1	Pintura esmalte color celeste.	8,00	0,96	8,96
	2	Mascarilla de pintar color blanco.	0,75	0,18	1,68
	Transporte	90	Movilización	2,50	-
TOTAL					278,14

4.6 ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE CONSTRUCCIÓN.

Para realizar el análisis de los costos de inversión, se considera el % de inversión de cada una de las secciones MPD, MOD y CI con la finalidad de diferenciar los gastos de la construcción y sugerir cambios de los materiales para su construcción. (Baca Urbina, 2003)

En la **Tabla 4. 8**, se detalla la inversión total y parcial.

Tabla 4. 8: Inversión Total. (Aguirre/Sánchez, Análisis económico 2013)

INVERSIÓN TOTAL					
Descripción	Descripción	INV.	% INV.	INV. Total	% INV. Total
Materia Prima Directa	Horno de Calentamiento	1015,38	73,25	1386,18	61,09
	Automatización	370,80	26,75		
Mano de Obra Directa	Técnica	354,74	58,66	604,74	26,65
	No Técnica	250,00	41,34		
Costos Indirectos	Materia Prima Indirecta	53,14	19,11	278,14	12,26
	Transporte	225,00	80,89		
TOTAL				2269,06	100,00

Determinado los costos totales de inversión, se puede determinar el porcentaje de cada uno de los costos.

A continuación en la **Figura 4. 7**, se detallan los costos de inversión porcentual.

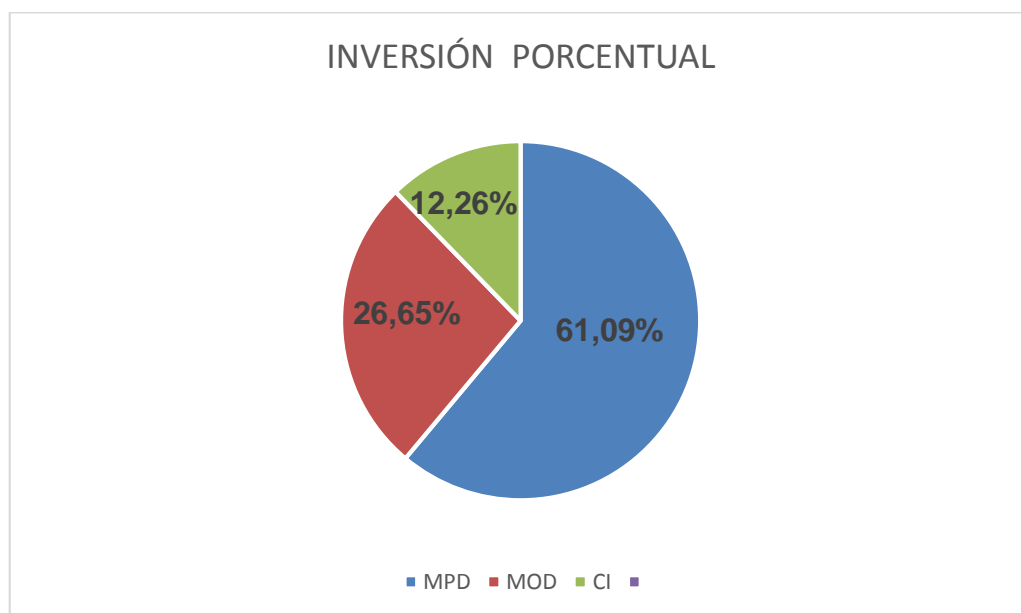


Figura 4. 7: Costos de inversión porcentual. (Aguirre/Sánchez, Porcentaje de inversión, Excel 2014)

4.7 DEPRECIACIÓN Y RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN.

4.7.1 Depreciación de los equipos.

La depreciación surge porque los activos fijos pierden valor con el tiempo, por lo tanto la empresa debe tener la capacidad de reponer sus activos para que el horno continúe con su misma capacidad de operación.

El análisis de la depreciación para una vida útil del horno de 10 años, se va a realizar con una tasa del 10 % por cada año a partir del momento que el horno empiece su funcionamiento. (Ochoa Setzer, 2002)

Por lo tanto, en la **Tabla 4. 9**, se determina la depreciación de los equipos.

Tabla 4. 9: Depreciación de los equipos del horno. (Aguirre/Sánchez, Análisis económico 2013)

RUBROS DEPRECIADOS					
AÑOS	% DEPR.	RESISTENCIAS METÁLICAS	TABLERO DE CONTROL	LANA DE VIDRIO	TOTAL DEPR. ANUAL
0	10	329,28	403,58	100	832,86
1	10	296,35	363,22	90,00	749,57
2	10	266,72	326,90	81,00	674,62
3	10	240,05	294,21	72,90	607,16
4	10	216,04	264,79	65,61	546,44
5	10	194,44	238,31	59,05	491,80
6	10	174,99	214,48	53,14	442,62
7	10	157,49	193,03	47,83	398,35
8	10	141,74	173,73	43,05	358,52
9	10	127,57	156,36	38,74	322,67
10	10	114,81	140,72	34,87	290,40

4.7.2 Cálculo del tiempo de funcionamiento del horno y potencia de consumo al mes.

En la **Tabla 4. 10** y **Tabla 4. 11**, se describe el tiempo total que se requiere calentar un tanque de Polyol y uno de Prepolymer, y a su vez 4 pares de tanques pequeños de dichos materiales, y la potencia total de consumo.

Tabla 4. 10: Tiempo de funcionamiento del horno. (Aguirre/Sánchez, Análisis económico 2013)

TIEMPO DE CALENTAMIENTO DEL HORNO			
Descripción	Cantidad	Tiempo (hrs)	Subtotal Tiempo (hrs)
Tanque de Polyol	1	24	24
Tanque de Prepolymer	1	24	24
Pares de tanques pequeños de Polyol/Prepolymer	4	4	16
TIEMPO TOTAL DE CALENTAMIENTO (hrs)			64

Tabla 4. 11: Potencia total de consumo. (Aguirre/Sánchez, Análisis económico 2013)

POTENCIA TOTAL			
Descripción	Cantidad (KW)	Tiempo Total de Calentamiento (hrs)	Pot. Total (KW*h)
Potencia del horno	1,2	64	76,8

A continuación se determinara costo en la compra directa de las plantillas de zapatos y la producción propia de las plantillas el horno, ver **Tabla 4. 12** y **Tabla 4. 13**.

Tabla 4. 12: Costo de la compra directa de plantillas. (Aguirre/Sánchez, Análisis económico 2013)

COMPRA DIRECTA DE PLANTILLAS			
Descripción	Cantidad/par	Costo c/par	Costo total \$
# de Plantillas	2000	3	6000
COSTO TOTAL AL MES \$			6000
COSTO TOTAL AL AÑO \$			72000

Tabla 4. 13: Costo de la producción de plantillas. (Aguirre/Sánchez, Análisis económico 2013)

ELABORACIÓN DE PLANTILLAS			
Descripción	Cantidad	Costo Unitario \$	Subtotal
Tanque de Polyol	1	1500	1500
Tanque de Prepolymer	1	1000	1000
Pago de trabajador	1	400	400
FABRICACIÓN DEL HORNO			
Costo de fabricación del horno			2269,06
CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A 220V			
Descripción	Cantidad	Costo (ctvs.) KW/h	Subtotal \$
Consumo de KW*h al mes	76,80	0,07	5,38
COSTO TOTAL AL MES			5174,44
COSTO TOTAL AL AÑO			62093,25

En la empresa de **Calzado CASS**, se compra un promedio de 2000 pares de plantillas al mes a un costo de \$3 dólares el par, con la implementación del horno y la compra de la materia prima se podrá producir 2500 pares de plantillas al mismo tiempo, por lo tanto en la **Tabla 4. 14**, se aprecia el ahorro que se tiene con la elaboración propia de plantillas.

Tabla 4. 14: Determinación del Ahorro obtenido con el Horno.

(Aguirre/Sánchez, Análisis económico 2013)

AHORRO		
Descripción	Costo total al mes	Costo total al año
	\$	\$
COMPRA DIRECTA DE PLANTILLAS	6000	72000,00
ELABORACIÓN DE PLANTILLAS	5174,44	62093,25
AHORRO TOTAL \$	825,56	9906,75

4.8 CÁLCULO DEL VAN, TIR Y TIEMPO DE RECUPERACIÓN (TR).

La tasa de interés activa promedio para el sector comercial, está alrededor de 11.27%, según datos obtenidos del Banco Central del Ecuador para el periodo 2014, este valor será la tasa de descuento a ser tomado en cuenta para calcular el VAN, TIR y el Tiempo de Recuperación. (Baca Urbina, 2003)

4.8.1 Cálculo del V.A.N (Valor Actual Neto).

Es un indicador financiero que mide los flujos de los ingresos y egresos futuros que tendrá un proyecto, significa traer del futuro al presente cantidades monetarias a su valor equivalente, el método además descuenta una determinada tasa o tipo de interés igual para todo el período considerado, en la **Tabla 4. 15**, indica el valor del VAN y su decisión a tomar.

Tabla 4. 15: Consideraciones a tomar del VAN. (Aguirre/Sánchez, Análisis económico 2013)

Valor	Significado	Decisión a tomar
VAN > 0	La inversión producirá ganancias.	El proyecto puede aceptarse.
VAN < 0	La inversión producirá pérdidas.	El proyecto debería rechazarse.
VAN = 0	La inversión no producirá ni ganancias ni pérdidas.	Dado que el proyecto o agrega valor monetario, la decisión debería basarse en otros criterios, tales como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado, beneficios sociales, u otros factores.

El VAN se calcula con la siguiente ecuación **(4. 1)**

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} \quad (4. 1)$$

Dónde:

V_t = Flujos de caja en cada periodo t .

k = Tasa de interés.

I_0 = Inversión inicial.

t = Periodo en años.

De la **Tabla 4. 17**, se obtiene:

$$VAN = \$ 52513,97$$

Como el VAN >0, el proyecto de la construcción del horno y fabricación de plantillas de zapatos, es rentable, considerando la vida útil del horno de 10 años.

4.8.2 Cálculo del T.I.R (Tasa Interna de Retorno) de una inversión.

La tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR), está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto (VAN) de una inversión sea igual a cero (VAN = 0).

Indica si el proyecto es o no rentable, esto implica el supuesto de una oportunidad para "reinvertir".

Las consideraciones a tomar del T.I.R, se muestran a continuación en la siguiente **Tabla 4. 16**.

Tabla 4. 16: Consideraciones a tomar del TIR. (Aguirre/Sánchez, Análisis económico 2013)

Valor	Decisión a tomar
K<TIR	Conviene realizar la inversión.
K>TIR	No se debería realizar el proyecto.
La TIR representa entonces, la tasa de interés (tasa de descuento) más alta que puede tener un proyecto para que sea rentable	

- La TIR puede utilizarse como indicador de la rentabilidad de un proyecto.
- A mayor TIR, mayor rentabilidad.

El TIR se calcula con la siguiente ecuación (4. 2).

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad (4. 2)$$

Se obtiene:

$$TIR = 191\% \text{ anual}$$

$$TIR = 15,95\% \text{ mensual}$$

Como la TIR es mayor que la Tasa de Interés Activa, el proyecto es muy rentable.

4.8.3 Cálculo del Tiempo de recuperación de la inversión (TR).

En inglés Payback Period, este método de evaluación de proyecto indica el plazo en la que la inversión original se recupera con las utilidades futuras.

El tiempo de recuperación de la inversión se calcula con la siguiente ecuación (4. 3):

$$I_o = \frac{A}{i} ((1 + i)^{-n}) \quad (4. 3)$$

Dónde:

A = Ganancia mensual.

i = Tasa de interés mensual.

lo = Inversión inicial.

n = Número de meses de recuperación de la inversión.

De la ecuación (4. 4), se despeja n:

$$TR = n = - \frac{\ln\left(\frac{A - I_o i}{A}\right)}{\ln(1 + i)} \quad (4. 4)$$

Los valores de ganancia mensual, tasa de interés mensual y la inversión inicial, que se detallan en la **Tabla 4. 17**, reemplazando en la ecuación (4. 4), se procede a calcular el tiempo de recuperación del dinero invertido.

$$TR = n = - \frac{\ln \left[\frac{825,56 - (5174,44)(9,375 \times 10^{-3})}{825,56} \right]}{\ln(1 + 9,375 \times 10^{-3})}$$

$$TR = 6,48 \text{ meses} = 7 \text{ meses}$$

Por lo tanto el capital invertido en la construcción del horno y la fabricación de plantillas de zapatos, se recupera en un tiempo de 7 meses, lo que indica que es rentable la inversión en el horno.

Tabla 4. 17: Cálculo del VAN, TIR y Tiempo de recuperación.

(Aguirre/Sánchez, Análisis económico 2013)

Tasa de descuento (anual):	11,25%
Inversión inicial:	\$ 5.174,44
Ahorro mensual:	\$ 825,56
Ahorro anual:	\$ 9.906,75
PERIODO	
0	-5.174,44
1	9906,75
2	9906,75
3	9906,75
4	9906,75
5	9906,75
6	9906,75
7	9906,75
8	9906,75
9	9906,75
10	9906,75
FLUJO DE FONDOS ANUALES	
Valor Actual Neto (VAN):	\$ 52.513,97
Tasa Interna de Retorno (TIR) mensual:	15,95%
Tasa Interna de Retorno (TIR) anual:	191%
Tiempo de Recuperación (TR):	7 meses

4.9 INTERPRETACIÓN.

Todos resultados de los parámetros financieros aplicados anteriormente son positivos y por ende son atractivos y viables, logrando recuperar la inversión en 7 meses, concluyendo que la construcción e implementación del horno para el calentamiento de Polyol y Prepolymer para la empresa de **Calzado CASS** en Ambato del Sr. Luis Castro, es factible y aplicable.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES.

- El horno de resistencias eléctricas, es diseñado y construido de tal forma que existe el 92% de ganancia de calor.
- El calor del horno se distribuye homogéneamente gracias a que las resistencias fueron ubicadas de manera que se aproveche al máximo la potencia que entregan.
- El calor que se transmite hacia las paredes externas del horno es mínima, debido a que el diseño de las dimensiones de las paredes del aislamiento nos permiten tener una temperatura de 30°C, con lo que se evita que los operarios sufran quemaduras.
- Con la simulación realizada del diseño horno en “ANSYS R15.0”, se puede concluir que el diseño tendrá un factor de seguridad del 1.1, con lo que se puede concluir que la estructura del horno soportara la temperatura para la que fue diseñado sin sufrir daños.
- En el análisis estructural que se realizó en el software “COMSOL” se determinó que la estructura de la mesa podría soportar hasta 7,62 veces el peso del tanque, con lo que no existiría peligro que la estructura colapse.
- De igual manera se realizó el análisis de la estructural del esqueleto del horno, en el cual nos indica que la estructura soportará 4,77 veces la carga a la que fue diseñada.
- Para una mejor lectura de temperatura del horno, se dispuso a la termocupla en la parte superior media del horno, ya que por sus dimensiones el calor en su totalidad sube, y de esta forma esta nos permitirá una mejor lectura de la temperatura interna del horno.
- En las pruebas que se realizó a partir de un control “ON-OFF”, con una histéresis de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, con el que se tomaron datos cada minuto de la temperatura interna del horno, permitiendo obtener un registro el

cual nos permitió dibujar la curva de control del horno, para el proceso de calentamiento requerido es satisfactoria.

- La cantidad total con la que fue construido el horno fue de \$2269.06 (dólares americanos), que serán recuperados en 7 meses, eso tomando en cuenta la producción de plantillas. Dadas estas cifras se ha hecho un gran ahorro ya que un horno en el mercado un horno de las mismas características cuesta \$7500 dólares americanos.
- Anteriormente se adquirirían 2000 plantillas a \$3 c/u, con la puesta en marcha de este horno la producción de plantillas de buena calidad será de 2500 plantillas, con lo que mejorará la producción y calidad de zapatos.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Antes de cualquier operación del horno, tomar en cuenta el manual de operación y mantenimiento para evitar daños tanto personales como de la máquina, todo esto va documentado en el **Anexo: S**.
- Para realizar el mantenimiento de la lana de vidrio, se debe usar equipo de protección personal (EPP), y se lo deberá realizar cada año para evitar que el horno pierda sus propiedades térmicas aislantes.
- El controlador deberá ser manipulado por una persona autorizada, ya que la manipulación incorrecta podría afectar seriamente la producción y producir daños a los equipos.
- Para obtener resultados óptimos en el diseño térmico y estructural del horno, es recomendable realizar la simulación de los prototipos en software tales como “ANSYS” y “COMSOL”, que son de gran ayuda en la construcción de máquinas térmicas o de cualquier tipo.
- Es recomendado antes de realizar cualquier proyecto un estudio de factibilidad, para determinar si es viable seguir con el proyecto y que impacto ambiental producirá en el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA:

- Antonio Creus, S. (2011). Instrumentación Industrial. 8^{va} Ed. México: Alfaomega S.A.
- Astigarraga Urquiza, J. (1994). Hornos Industriales de Resistencias. Madrid: McGraw-Hill.
- Baca Urbina, G. (2003). Fundamentos de Ingeniería Económica. México: D.F:McGraw-Hill.
- BOBROW, L. S. (1993). Análisis de circuitos Eléctricos. México: Mc Graw Hill Interamericana.
- YUNUS A. CENGEL / AFSHIN J. GHAJAR. (2011). Transferencia de calor y masa fundamentos y aplicaciones 4^{ta} Ed. Mexico: McGRRAW-HILL/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- CHAPMAN. (1965). Transmisión de Calor, 2^{da} Ed. Madrid: Interciencia.
- Enriquez Harper, G. (2003). Guía para el Diseño de Instalaciones Eléctricas Residenciales, Industriales y Comerciales. México: D.F: Limusa.
- Gibbons, I. R. (2007). Electrónica de Potencia. En Control de Temperatura. Argentina.
- J. P. Holman, (1999). Transferencia de Calor. 8^a Ed. México: D.F: Continental.
- Marquéz, A. L. (2001). Instalaciones Eléctricas de baja tensión Comerciales e Industriales, 5^{ta} Ed. España: Paraninfo S.A.
- Mills, A. F. (1997). Transferencia de Calor. México: Addison_Wesly Iberoamericana, S.A.
- Mott, R. L. (1998). Diseño de Elementos de Máquinas, 4da Edición. México: Englewood Cliffs.
- Ochoa Setzer, G. A. (2002). AdministrarCIÓN Financiera. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Fernandez, M. M. (2012). Manual de prácticas de soldadura con electrodo revestido. España: Paraninfo S.A.

- Gibbons, I. R. (2007). *Electrónica de Potencia. En Control de Temperatura*. Argentina.

NETGRAFÍA:

- ACERO., D. P. (2013). DIPAC MANTA CIA.TLDA. Obtenido de DIPAC PPRODUCTOS DE ACERO.: WWW.quitosur@dipacmanta.com
- CNC. (2013). Reles Auxiliares.
- Collins. (2012). Inversions Collins & Collions Ltda. Obtenido de www.importper.cl
- CYPECAD. (2014). CYPE Latinoamericana. Obtenido de <http://www.cypelatam.com/productos/estructuras/nuevo-metal-3d/item/221-metal-3d-union-es-v-celos%C3%ADAs-planas-con-perfiles-tubulares>.
- ELAchem Srl. (2009). Technical Data Sheet. ELAchem System., 1.
- EMKO. (2013). Termocupla tipo "J". China.
- CAMSCO. (2013). Fusibles.
- CHINT. (2013). Breakers.
- Omega. (2009). Fuente de Medición y Control de Procesos.
- SASSIN. (2013). Fusibles.
- Siemens. (2010). S7-200 Programmable Controller System Manual. Siemens.
- Souyet, K. (2011). Obtenido de Kaefer Souyet-Distribución: www.kaefer.cl
- Telemecanique. (08/08/2013). Manual de selección de contactores. Contactores Telemecanique, 1/60.
- LS. (2013). Contactor.
- Manual, E. E. (2013). Programmable Timer. EMKO, EZM-4435.
- Manual, E. E. (2013). Temperature Controller. ESM-7720. DOSAB, Karanfil Sokak, No: 6.
- Amadori, A. (2013). El ABC de la Automatización. Obtenido de http://www.wisc-online.com/objects/index_tj.asp?objid=SSE4503

ANEXOS

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los Sres. Aguirre Gonzaga Patricio Geovanny y Sánchez Andrade Boris Alexander, bajo nuestra supervisión.

**ING. JORGE E. MEYTHALER N.
DIRECTOR DE PROYECTO**

**ING. MILTON F. PÉREZ G.
CODIRECTOR DE PROYECTO**

**ING. WILSON SÁNCHEZ O.
DIRECTOR DE CARRERA**

**DR. RODRIO VACA C.
SECRETARIO ACADÉMICO**