



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
EXTENSIÓN LATACUNGA**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN
HORNO PARA PINTURA ELECTROESTÁTICA A BASE DE
AIRE CALIENTE.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
EN ELECTROMECAÁNICA.**

ESTRELLA CEVALLOS RICARDO SANTIAGO

MUSO AMORES DARWIN JOSÉ

Latacunga, Julio 2011

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por RICARDO SANTIAGO ESTRELLA CEVALLOS y DARWIN JOSÉ MUSO AMORES, bajo nuestra supervisión.

ING. WASHINGTON FREIRE

DIRECTOR DEL PROYECTO

ING. MARIO LARA

CODIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mis agradecimientos:

Primeramente quiero agradecer a **DIOS** por llenar mi vida de dicha y bendiciones.

A toda mi **FAMILIA**, a quienes llevo en mi corazón por su amor, cariño y comprensión, gracias a ustedes soy un hombre de bien.

A mi amor **LILI** por estar siempre a mi lado dándome aliento, ánimo y sobre todo tu amor en los momentos de tristeza y felicidad, en los que te necesitaba. Gracias por escucharme y por tus consejos; eres lo mejor en mi vida.

A mi amigo y compañero de tesis **DARWIN** por haber confiado en mí para la realización de esta tesis y de esta manera formar una armonía grupal logrando culminar este proyecto.

Como no agradecer a mi director y codirector de tesis **Ing. Washington Freire** e **Ing. Mario Lara** quienes nos ayudaron en todo momento, brindándonos su amistad, aportando con sus conocimientos, criterios, consejos y por su valioso tiempo para una feliz culminación de este proyecto. Para ustedes mi gratitud y respeto.

Gracias a todos mis amigos los **CHUCHU'S** que estuvieron conmigo y compartimos tantas aventuras, experiencias, desveladas, chumisas y triunfos (aunque hayan sido pocos). Gracias a cada uno por hacer que mi estancia en la ESPE-L fuera super divertida y extrovertida.

A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

RICARDO ESTRELLA

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Dios infinitamente por regalarme lo más maravilloso del mundo, la vida. Don que nos permite compartir estos momentos de felicidad junto a mis padres, hermanos y amigos.

Gracias Dios porque día a día guías mi camino y fortaleces mi alma y llenas de bendiciones cada uno de mis pasos de mi vida.

A mis padres Vicente y Gloria; Alonso y Nancy, por todo el amor, cariño, comprensión y sobre todo por el apoyo brindado durante toda la vida, gracias a sus consejos permitieron que este sueño se convierta en una hermosa realidad.

A mis hermanos Alex, Javier, Marisol y Evelyn, quienes día a día me motivaron a ser un ejemplo de superación y lucha, compartiendo momentos de alegrías, tristezas, triunfos, donde siempre se ha manifestado todo el cariño que nos tenemos.

A la personita que siempre está a mi lado, brindándome su amor, apoyo, comprensión, Sandrita.

A mis maestros que con responsabilidad supieron transmitir sus conocimientos, guiándome tanto en el desarrollo intelectual como personal, para llegar con éxitos a la culminación de mi carrera.

Para todos ellos, mi eterno agradecimiento y mi admiración.

DARWIN MUSO

DEDICATORIA

La presente tesis la dedico con todo amor y cariño.

A ti **DIOS** que me diste la oportunidad de vivir y salud para lograr mis objetivos y por darme una familia maravillosa.

Con mucho amor principalmente a mi **MADRE ROCIO**, por ser el pilar fundamental en mi vida, para mi formación y educación como persona, por haberme apoyado en todo momento soportando mis errores. Gracias a tus consejos, por el amor que siempre me has brindado, por cultivar e inculcar ese sabio don de la responsabilidad y por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien. **¡Gracias por darme la vida! ¡Te quiero mucho!**

A **PAPÁ PEPE** por darme amor y cariño de padre desde mi infancia, además por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir siempre adelante. A **MAMÁ CARMEN** por hacer de mi una mejor persona a través de sus consejos, enseñanzas y amor.

A mis **HERMANOS, PRIMOS Y FAMILIA**, Freddy, Paola, Evelyn, Renata, Efer, Amelita, Juan Pablito, Pablo por estar siempre a mi lado y contar con ellos para todo, gracias por la confianza que siempre nos hemos tenido; por el apoyo, amistad, comprensión y cariño mutuo de todos. A mis **TÍOS**, Pilar, Mary, por brindarme su apoyo en el momento que más los necesitaba, principalmente a ti **FABY** por darme junto con mi madre una carrera para mi futuro y creer en mí siendo un padre a la vez.

RICARDO ESTRELLA

DEDICATORIA

A mis padres Alonso y Nancy, quienes depositaron su confianza, su apoyo y su amor en mí. A ellos que por su esfuerzo incondicional han permitido forjarme como una persona de bien.

A mi madre Gloria, quien fue mi mayor inspiración para que este proyecto se lleve a cabo. Gracias madre querida porque sin usted nada de lo que he logrado hasta ahora lo hubiese podido conseguir.

A mi padre Vicente, que día a día da su vida por el bienestar de sus hijos, a él porque nunca le defraudé y ahora le puedo regalar una nueva alegría a su vida. Gracias padre querido por haberme compartido todos sus consejos, experiencias y conocimientos, fueron de gran ayuda en el desarrollo de este proyecto.

Queridos padres, una vez más demostrarles que su sacrificio diario no fue en vano y la muestra de gratitud hacia ustedes es dedicándoles este proyecto con todo mi amor.

DARWIN MUSO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	- ii -
AGRADECIMIENTO	- iii -
DEDICATORIA	- v -
ÍNDICE DE CONTENIDOS	- vii -
ÍNDICE DE FIGURAS	- xvii -
ÍNDICE DE TABLAS	- xxi -
ANEXOS	- xxiii -
RESUMEN	- xxiv -
ANTECEDENTES	- xxv -
OBJETIVO GENERAL	- xxvi -
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	- xxvi -
JUSTIFICACIÓN	- xxvii -
METAS	- xxvii -

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1	INTRODUCCIÓN	1
1.2	PINTURA ELECTROSTÁTICA	2
1.2.1	Técnica de pintura en polvo.....	3
1.2.1.1	Equipo tipo Corona	3
1.2.1.2	Equipo tipo Triboeléctrico.....	4
1.2.2	Características de la pintura electrostática	6
1.2.3	Proceso productivo de pintado	7
1.2.3.1	Tratamiento previo de las piezas	7
1.2.3.2	Aplicación de pintura electrostática.....	8
1.2.3.3	Secado al horno.....	8
1.2.4	Temperatura de curado de las piezas pintadas.....	9
1.2.5	Inconvenientes de la Pintura Electrostática	10
1.2.6	Aplicaciones	10
1.3	INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	11
1.3.1	Tipos de Intercambiadores de Calor.....	11
1.3.1.1	Intercambiadores de Carcasa y Tubo	12
1.3.1.2	Intercambiadores tipo Plato	13
1.3.1.3	Intercambiador de Flujo Paralelo	14
1.3.1.4	Intercambiador de Contraflujo.....	15
1.3.1.5	Intercambiador de Flujo Cruzado.....	16
1.3.1.6	Intercambiadores de un solo paso y de múltiple pasos	17
1.3.1.7	Intercambiadores Regenerativos y No-Regenerativos.....	18
1.3.2	Mecanismos de transferencia de calor	19
1.3.2.1	Transferencia de Calor por Conducción.....	19

1.3.2.2	Transferencia de Calor por Convección.....	20
1.3.2.2.1	Tipos de Convección.....	20
1.3.2.3	Transferencia de Calor por Radiación	22
1.4	HORNOS DE COMBUSTIÓN	23
1.4.1	Clasificación	23
1.4.1.1	Clasificación según su aplicación	23
1.4.1.1.1	Hornos domésticos	23
1.4.1.1.2	Hornos Industriales	23
1.4.1.2	Clasificación según su fuente de energía	24
1.4.1.2.1	Combustión de combustible.....	24
1.4.1.2.2	Conversión de la energía eléctrica en calor	24
1.4.1.3	Clasificación según el proceso.....	24
1.4.1.3.1	Hornos de carga por lotes.....	24
1.4.1.3.2	Hornos continuos	24
1.4.1.2	Clasificación según su función.....	24
1.4.1.2.1	Hornos de Fusión.....	24
1.4.1.2.2	Hornos de Recalentar	25
1.4.1.2.3	Hornos de Tratamiento Térmico	25
1.4.2	Partes Fundamentales de un Horno.....	25
1.4.3	Materiales Refractarios y Aislantes	26
1.4.4	Rendimiento de hornos en general.....	27
1.4.5	Economía del combustible para hornos	28
1.5	QUEMADORES	29
1.5.1	Quemador de tiro natural.....	29
1.5.1.1	Quemadores de Fuel-Oil. Atomizador.....	30
1.5.1.2	Quemadores de gas	31
1.5.2	Quemador de Tiro Forzado	32
1.5.2.1	Tipos de quemadores de tiro forzado	32
1.5.3	Combustión	33
1.5.3.1	Combustibles	33
1.5.3.2	Aire de combustión	36

1.5.3.3	Factores para una correcta combustión.....	37
1.5.4	Análisis Estequiométrico	38
1.5.4.1	Ecuación Estequiométrica de la Combustión.....	38
1.5.4.2	Combustión con Aire Teórico.....	38
1.6	VENTILADORES	40
1.6.1	Tipos de Ventiladores.....	40
1.6.1.1	Ventiladores Axiales	40
1.6.1.1.1	Ventiladores de Propulsión	41
1.6.1.1.2	Ventiladores con Envolvente.....	41
1.6.1.1.3	Ventiladores Murales	42
1.6.1.2	Ventiladores Centrífugos.....	42
1.7	SENSORES	43
1.7.1	Sensores para Temperatura.....	43
1.7.1.1	Sensores de Temperatura con Termopares	43
1.7.1.1.1	Tipos de Termocuplas.....	44
1.7.1.2	Circuitos Integrados	46
1.7.1.3	Sensores de Temperatura Resistivos	47
1.7.2	Termistores.....	48
1.7.2.1	Tipos De Termistores.....	48
1.7.2.1.1	Termistor NTC	48
1.7.2.1.2	Termistor PTC.....	48
1.7.2.2	Características Resistencia/Temperatura	49
1.7.2.3	Ventajas e Inconvenientes	49
1.7.2.4	Aplicaciones.....	49
1.7.3	Sensores de Llama.....	50
1.8	MICRO CONTROLADORES.....	51
1.8.1	Descripción de un PLC'S.....	51
1.8.2	Campos de aplicación de los PLC's	52

CAPÍTULO 2

DISEÑO Y SELECCIÓN

2.1	ANÁLISIS DEL SISTEMA	54
2.1.1	Condiciones Físicas	55
2.1.1.1	Dimensionamiento de la cámara de curado.....	55
2.1.1.2	Distribución de los activos en el interior del horno	55
2.1.1.3	Dimensiones definitivas de la cámara de curado.....	57
2.1.2	Capacidad de Carga.....	57
2.2	PARÁMETROS DE DISEÑO	58
2.2.1	Materiales de Paredes Internas y Externas.....	58
2.2.2	Materiales de tubo cuadrado	58
2.2.3	Aislamiento Térmico	61
2.2.3.1	Aislamiento en paredes y ductos	61
2.2.4	Temperaturas	62
2.2.5	Caudal de aire de inyección	62
2.2.6	Caudal de Aire de Descarga.....	62
2.2.7	Velocidad en ductos	63
2.2.8	Material y uniones en ductos.....	64
2.2.9	Ventiladores.....	64
2.3	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL HORNO	65
2.3.1	Cálculo de Momentos.....	66
2.3.2	Cálculo de reacciones	69
2.3.3	Cálculo de esfuerzos máximos.....	70
2.3.4	Análisis de la columna recta.....	70
2.3.4.1	Propiedades de la sección transversal de la columna	70
2.3.4.2	Fijación de la columna	73
2.3.4.3	Longitud efectiva.....	74
2.3.4.4	Razón de delgadez.....	74
2.3.4.5	Razón de transición de delgadez.....	75

2.3.4.6	Análisis de Columna Larga	75
2.4	DISEÑO DE DUCTOS	77
2.4.1	Dimensionamiento de Ductos	77
2.4.1.1	Cálculo de la velocidad del aire de retorno en el ducto.....	78
2.4.2	Pérdidas de Presión en Ductos y Accesorios	79
2.4.2.1	Cálculo de pérdidas de presión en Ductos.....	79
2.4.2.2	Cálculo de pérdidas de presión en Accesorios	79
2.5	SELECCIÓN DEL VENTILADOR.....	83
2.5.1	Determinación de presión estática	83
2.6	DISEÑO TÉRMICO DEL SISTEMA	85
2.6.1	Análisis Termodinámico del Combustible	85
2.6.1.1	Combustión con Aire Real	85
2.6.1.2	Datos meteorológicos	86
2.6.1.3	Combustión con Exceso de Aire	88
2.6.1.4	Análisis Volumétrico de los Productos de Combustión	89
2.6.1.5	Relación Aire-Combustible.....	90
2.6.2	Temperatura Alcanzada por los productos de combustión.....	91
2.6.3	Análisis de Temperaturas en el Horno	94
2.6.4	Coeficientes de Transferencia de Calor	96
2.6.4.1	Coeficientes de Transferencia de Calor en el Interior.	96
2.6.4.1.1	Coeficiente interior por radiación (h_{ri}).....	96
2.6.4.1.2	Coeficiente interior por convección (h_{ci}).....	103
2.6.4.2	Coeficiente de Transferencia de Calor en el exterior	106
2.6.4.2.1	Coeficiente exterior por convección (h_{ca})	106
2.6.4.2.2	Coeficiente exterior por radiación (h_{ra})	109
2.6.4.2.3	Coeficiente Total de Transferencia externo (h_a).....	110
2.7	DETERMINACIÓN DEL AISLANTE TÉRMICO	111
2.7.1	Flujo de Calor por Unidad de Área	111
2.7.2	Representación de la Analogía Eléctrica.....	112
2.7.3	Cálculo del espesor del Aislante Térmico.....	113
2.8	BALANCE ENERGÉTICO.....	115

2.8.1	Análisis por Flujo de Calor.....	116
2.8.2	Determinación del Calor útil para curar la carga.....	117
2.8.3	Determinación del Calor absorbido por paredes	118
2.8.4	Determinación del calor que se pierde al ambiente.....	120
2.8.5	Determinación del calor en los gases de escape	121
2.8.6	Cálculo del calor total requerido por el sistema	123
2.9	SELECCIÓN DEL QUEMADOR	124
2.9.1	Cálculo del tiempo de calentamiento.....	125
2.10	DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO, GLP.	127
2.10.1	Consumo de Combustible	127
2.10.1.1	Gasto de Combustible	127
2.10.1.2	Autonomía del Sistema.....	128
2.10.1.3	Abastecimiento	130
2.10.1.3.1	Tubería de Suministro.....	130
2.10.1.4	Acometida del sistema de alimentación.....	131
2.10.1.5	Acometida del sistema de distribución.....	132
2.11	DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN	134
2.11.1	Selección del Micro Controlador	134
2.11.2	Determinación de las Variables de Control	136
2.11.3	Selección de los Sensores	138
2.11.3.1	Sensor de Temperatura.....	138
2.11.3.1.1	Controlador de temperatura.....	139
2.11.3.2	Sensores de Llama.....	141
2.11.4	Selección de los Actuadores y Pre-Actuadores	142
2.11.4.1	Quemador.....	142
2.11.4.2	Motor Eléctrico.....	143
2.11.4.3	Relés auxiliares	144
2.11.5	Diseño del diagrama de Circuito Control.....	145
2.12	DIAGRAMA DE BLOQUES, SISTEMA DE CONTROL.....	146

CAPÍTULO 3

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

3.1	CONSTRUCCIÓN MECÁNICA	148
3.1.1	Cronograma de actividades.....	148
3.1.2	Materiales	151
3.1.2.1	Estructura metálica	151
3.1.2.2	Paredes del Horno	152
3.1.2.3	Aislamiento térmico.....	153
3.1.2.4	Ductos.....	153
3.1.2.5	Cámara de Combustión	154
3.1.3	Técnicas de construcción	154
3.1.3.1	Trazado y Corte	154
3.1.3.2	Doblado.....	157
3.1.3.3	Proceso de Soldadura	157
3.1.3.4	Esmerilado y Pulido	160
3.1.3.5	Taladrado.....	160
3.1.4	Ensamble.....	161
3.1.4.1	Paredes laterales, techo y puertas.....	161
3.1.4.2	Cámara de Combustión	162
3.1.4.3	Ductos.....	162
3.2	CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN, ACOMETIDA DE GAS	164
3.2.2	Construcción del sistema de distribución del GLP.....	165
3.2.2.1	Corte	165
3.2.2.2	Avellanado	166
3.2.2.3	Doblado.....	166
3.2.2.4	Unión.....	167
3.2.3	Instalación	169
3.2.3.1	Instalación del sistema de Alimentación	169
3.2.3.2	Instalación del sistema de Distribución	170

3.3	INSTALACIÓN ELÉCTRICA	171
3.4	MONTAJE DEL SISTEMA	171
3.4.1	Montaje de la Cabina del Horno	172
3.4.2	Montaje de la Cámara de Combustión	172
3.4.3	Montaje de los ductos.....	174
3.4.4	Montaje del Ventilador.....	174
3.4.5	Montaje del Sistema de Distribución del GLP.....	175
3.4.6	Montaje del Sistema de Control.....	175
3.4.6.1	Instalación del Sistema de Control.....	177
3.4.6.2	Instalación del Sistema de Fuerza	177
3.4.6.3	Instalación de la termocupla	178
3.4.6.4	Instalación y programación del Micro Controlador	179

CAPÍTULO 4

PRUEBAS EXPERIMENTALES

4.1	DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SISTEMA	181
4.1.1	Condiciones Físicas	181
4.1.2	Sistema de Control	181
4.1.3	Principales componentes del Sistema Térmico	183
4.1.3.1	Cámara de combustión.....	183
4.1.3.1.1	Quemadores de GLP	184
4.1.3.1.2	Recuperador	184
4.2	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	184
4.2.1	Parámetros de funcionamiento.....	184
4.2.2	Protocolo de Pruebas	185
4.2.2.1	Instrumentos de medición	185
4.2.2.2	Procedimiento	186
4.2.2.3	Adquisición de datos.....	186

4.2.3.1	Pruebas de adherencia.....	192
4.2.3.1.1	Rayado.....	192
4.2.3.1.2	Doblado.....	192
4.2.3.1.3	Frotación.....	193
4.3	ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO.....	194
4.3.1	Determinación de los Costos de Construcción.....	194
4.3.1.1	Materia Prima Directa (MPD).....	194
4.3.1.1.1	Costos del horno de curado.....	195
4.3.1.1.2	Costos del sistema de automatización.....	196
4.3.1.1.3	Costos de la acometida del GLP.....	197
4.3.1.2	Mano de Obra Directa (MOD).....	199
4.3.1.3	Costos Indirectos (CI).....	200
4.3.2	Análisis de los Costos de Construcción.....	201
4.3.3	Depreciación y Recuperación de la Inversión.....	202
4.3.3.1	Depreciación de los equipos.....	202
4.3.4	Cálculo del VAN, TIR, Tiempo de Recuperación.....	205
4.3.4.1	Cálculo del VAN (Valor Actual Neto).....	205
4.3.4.2	Cálculo de la TIR (Tasa Interna de Retorno).....	206
4.3.4.3	Tiempo de recuperación de la inversión (TR).....	206
4.3.4.4	Interpretación.....	208
4.3.5	Elaboración del manual de operación del horno.....	208

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES.....	209
5.2	RECOMENDACIONES.....	211

BIBLIOGRAFÍA.....	- 213 -
-------------------	---------

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1: Composición básica de la Pintura en Polvo.....	2
Figura 1.2: Funcionamiento del Equipo tipo Corona.....	3
Figura 1.3: Funcionamiento del Equipo tipo Triboeléctrico.....	4
Figura 1.4: Transportador del Polvo Electrostático.....	6
Figura 1.5: Aplicación de la Pintura en Polvo.....	8
Figura 1.6: Horno para el Curado de Pintura.....	8
Figura 1.7: Intercambiador de Calor de carcasa y Tubos.....	12
Figura 1.8: Intercambiador de Calor Tipo Plato.....	13
Figura 1.9: Intercambiador de Calor de Flujo Paralelo.....	14
Figura 1.10: Intercambiador de Calor de Contraflujo.....	15
Figura 1.11: Intercambiador de Calor de Flujo Cruzado.....	16
Figura 1.12: Intercambiador de simple y múltiple pasos.....	17
Figura 1.13: Intercambiador de calor Regenerativo.....	18
Figura 1.14: Intercambiador de calor No-Regenerativo.....	18
Figura 1.15: Transferencia de calor por Conducción.....	19
Figura 1.16: Transferencia de calor por convección.....	20
Figura 1.17: Enfriamiento por convección forzada.....	21
Figura 1.18: Enfriamiento por convección natural.....	21
Figura 1.19: Transferencia de calor por radiación entre dos cuerpos.....	22
Figura 1.20: Partes Fundamentales de un Horno de Pintura.....	26
Figura 1.21: Quemador de Gas de Tiro Natural.....	30
Figura 1.22: Atomizador de chorro a presión.....	30
Figura 1.23: Atomizador de retorno lateral.....	31
Figura 1.24: Atomizador de dos fluidos.....	31
Figura 1.25: Tipos de Boquillas de Gas.....	32
Figura 1.26: Ventiladores con Envolverte.....	41
Figura 1.27: Ventiladores Murales.....	42
Figura 1.28: Ventiladores Centrífugos. Montaje.....	42

Figura 1.29: Termocupla Tipo J.	44
Figura 1.30: Termocupla tipo Cabezal.	44
Figura 1.31: Curvas de distintos tipos de Termocuplas.	46
Figura 1.32: Circuito Integrado LM335.....	47
Figura 1.33: Aspecto externo de un PTC.....	48
Figura 1.34: Características Resistencia/Temperaturas de una PTC.	49
Figura 1.35: Aspecto externo de un sensor de llama ultravioleta.....	50
Figura 1.36: Aspecto externo de un PLC's LOGO.	51
Figura 1.37: Aspecto externo de un PLC's Modular.....	53

CAPÍTULO 2

Figura 2.1: Distribución de los productos en el interior del horno.	56
Figura 2.2: Dimensiones de la cámara de transferencia de calor.	57
Figura 2.3: Estructura del Horno estimada con 6 pórticos.	60
Figura 2.4: Paredes del Horno y Aislante Térmico.....	61
Figura 2.5: Procedimiento para la Unión de Ductos.....	64
Figura 2.6: Estructura simétrica en pórtico de soporte fijo.	65
Figura 2.7: Diagrama de cuerpo libre del pórtico.	65
Figura 2.8: Pórtico fijo con carga concentrada en el centro.	67
Figura 2.9: Momentos de una carga concentrada en el centro.	67
Figura 2.10: Análisis de una columna recta con carga en el centro.	71
Figura 2.11: Pandeo de una columna delgada rectangular.	72
Figura 2.12: Tipos de sujeción para conexiones en los extremos.....	73
Figura 2.13: Vista del ducto seleccionado.	78
Figura 2.14: Temperaturas en las paredes del horno.	95
Figura 2.15: Emisividad de dióxido de carbono, a 1 atm de presión.....	100
Figura 2.16: Emisividad de vapor de agua, a 1 atm de presión	100
Figura 2.17: Factor de corrección, CO ₂ y H ₂ O presentes en recintos ...	101
Figura 2.19: Esquema del balance energético del horno de curado.....	115
Figura 2.20: Temperatura en las paredes del horno.	119

Figura 2.21: Curva de funcionamiento de un horno de curado	126
Figura 2.22: Tipos de Acoples con rosca.	132
Figura 2.23: Válvula Solenoide de una vía.	133
Figura 2.24: Cañería de Cobre.	133
Figura 2.25: Micro PLC SIEMENS LOGO 230 RC.....	136
Figura 2.26: Histéresis del controlador de temperatura.	140
Figura 2.27: Aspecto exterior del Controlador de Temperatura.	140
Figura 2.28: Aspecto exterior del Quemador.	142
Figura 2.29: Aspecto exterior del Motor Eléctrico.	143

CAPÍTULO 3

Figura 3.1: Aspecto de la Estructura Metálica.....	152
Figura 3.2: Aspecto de las Paredes del Horno.....	152
Figura 3.3: Aspecto del Aislamiento Térmico.....	153
Figura 3.4: Aspecto de los Ductos.	153
Figura 3.5: Aspecto de la Cámara de combustión.	154
Figura 3.6: Herramientas para el Proceso de Trazado.	155
Figura 3.7: Proceso de corte con arco de sierra.	155
Figura 3.8: Proceso de corte con Cizalla.	156
Figura 3.9: Proceso de corte con Plasma.	156
Figura 3.10: Proceso de Doblado.	157
Figura 3.11: Proceso de Soldadura con arco Eléctrico.	158
Figura 3.12: Proceso de Soldadura eléctrica MIC.....	159
Figura 3.13: Proceso de unión con Suelda de punto.	159
Figura 3.14: Proceso de Esmerilado y Pulido.	160
Figura 3.15: Empotramientos para el horno de curado.....	160
Figura 3.16: Ensamble de las paredes del horno de curado.....	161
Figura 3.17: Ensamble de la cámara de combustión.....	162
Figura 3.18: Ensamble de los ductos de recirculación.....	162
Figura 3.19: Ensamble del Sistema de Recirculación del aire.	163

Figura 3.20: Construcción de la Centralina de gas.	164
Figura 3.21: Proceso de Corte del tubo de Cobre.....	165
Figura 3.22: Tubo de Cobre Avellanado.	166
Figura 3.23: Proceso de Doblado del tubo de Cobre.....	167
Figura 3.24: Proceso de Soldadura del tubo de Cobre.	168
Figura 3.25: Limpieza del tubo de Cobre.	168
Figura 3.26: Instalación del sistema de Alimentación.	169
Figura 3.27: Sistema de Distribución de alta y baja presión.	170
Figura 3.28: Instalación del Tablero de Protección.	171
Figura 3.29: Empotramiento del horno al piso.	172
Figura 3.30: Montaje de la cámara de combustión.	173
Figura 3.31: Montaje del Quemador	173
Figura 3.32: Montaje de los Ductos.	174
Figura 3.33: Montaje del ventilador.....	174
Figura 3.34: Montaje del sistema de Distribución del GLP.	175
Figura 3.35: Montaje del Tablero de Control.....	176
Figura 3.36: Cableado del sistema de Control.....	177
Figura 3.37: Cableado del sistema de Fuerza.	178
Figura 3.38: Ubicación de la Termocupla.	178
Figura 3.39: Menú de Programación LOGO 230 RC.	179
Figura 3.40: Programación del PLC SIEMENS LOGO 230 RC.	180
Figura 3.41: Horno de Curado para pintura Electroestática.....	180

CAPÍTULO 4

Figura 4.1: Ubicación de sensores de temperatura.	187
Figura 4.2: Temperaturas en el horno en función de la carga.	190
Figura 4.3: Prueba de Rayado de los activos curados.....	192
Figura 4.4: Prueba de Doblado de los activos curados.....	193
Figura 4.5: Prueba de Frotación de los activos curados.	193

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1

Tabla 1.1. Tipos de pre-tratamientos.	7
Tabla 1.2. Comparación entre diferentes clases de Resinas.	9
Tabla 1.3. Duración de horneado de chapas de acero.	9
Tabla 1.4. Rendimiento energético para distintas fuentes de energía.	27
Tabla 1.5. Clasificación de los Combustibles Industriales.	34
Tabla 1.6. Poder Calorífico del GLP.	36
Tabla 1.7. Límite de Inflamabilidad de Gases en el Aire.	37
Tabla 1.8. Clasificación Básica de las Termocuplas.	45
Tabla 1.9: Características de los Materiales usados para las RTD.	47

CAPÍTULO 2

Tabla 2.1. Propiedades Estáticas del Tubo Cuadrado.	59
Tabla 2.2. Velocidad máxima recomendada en ductos (fpm).	63
Tabla 2.3. Resumen de coeficientes de interferencia.	81
Tabla 2.4. Pérdidas de presión en inyección y descarga.	82
Tabla 2.5. Entalpías para Reactantes y Productos.	92
Tabla 2.6. Sumatoria de entalpías por cantidad de cada componente. ...	94
Tabla 2.7. Cálculo del Número de Rayleigh y Grashof para paredes. ...	108
Tabla 2.8. Sumatoria del Coeficiente de Calor externo.	110
Tabla 2.9. Propiedades de los materiales de las paredes del horno.	111
Tabla 2.10. Cálculo del espesor del aislante.	114
Tabla 2.11. Calor total absorbido por las paredes del horno.	119
Tabla 2.12. Cálculo del Calor que se pierde hacia el ambiente.	121
Tabla 2.13. Cálculo de los productos de escape de la combustión.	122
Tabla 2.14. Autonomía del Sistema.	129
Tabla 2.15. Matriz de ponderación del Micro Controlador.	135
Tabla 2.16. Características del PLC SIEMENS LOGO 230 RC.	136
Tabla 2.17. Matriz de ponderación de Sensores de Temperatura.	138

Tabla 2.18. Características Termocupla Tipo J.....	139
Tabla 2.19. Características del Controlador de temperatura.	140
Tabla 2.20. Matriz de ponderación de Sensores de Llama.....	141
Tabla 2.21. Características del Quemador.	142
Tabla 2.22. Características del Motor.	143
Tabla 2.23. Consideraciones para selección de los contactores.	144
Tabla 2.24. Características Contactor LG.....	144

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1. Cronograma de actividades para construcción del horno	149
Tabla 3.2. Partes y accesorios del tablero de control.	176

CAPÍTULO 4

Tabla 4.1. Parámetros de Funcionamiento del Horno de Curado.....	184
Tabla 4.2. Medición de temperaturas con el horno lleno.	188
Tabla 4.3 Medición de temperaturas con el horno a la mitad.	189
Tabla 4.4. Temperatura promedio en el interior del horno.	191
Tabla 4.5. Costo de materiales para el horno de curado.	195
Tabla 4.6. Costo de los Equipos.	196
Tabla 4.7. Costo de materiales para el sistema de Automatización.....	196
Tabla 4.9. Materia Prima Directa.	198
Tabla 4.10. Mano de Obra Directa.....	199
Tabla 4.11. Materia Prima Indirecta.....	200
Tabla 4.12. Costos Indirectos.	200
Tabla 4.13. Inversión Total.	201
Tabla 4.14. Depreciación de Equipos del Horno.....	202
Tabla 4.15. Costos de Producción del horno con Implementación.	203
Tabla 4.16. Costos de Producción del Horno sin Implementación.....	203
Tabla 4.17. Determinación del Ahorro obtenido del Horno Nuevo.....	204
Tabla 4.18. Incremento mensual de la producción.	204
Tabla 4.19. Cálculo del VAN, TIR y Tiempo de recuperación.....	207

ANEXOS

Anexo A: Propiedades térmicas de materiales de construcción y aislantes

Anexo B: Factores de diseño.

Anexo C: Nomograma de fricción en ductos.

Anexo D: Dimensiones equivalentes en ductos.

Anexo E: Coeficientes de pérdidas en accesorios de ductos.

Anexo F: Propiedades de la atmósfera en función de la altitud.

Anexo G: Nomograma de selección de ventiladores centrífugos.

Anexo H: Valores de emisividad de algunas superficies.

Anexo I: Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica.

Anexo J: Propiedades físicas y químicas del GLP.

Anexo K: Características técnicas de las válvulas solenoides Danfoss.

Anexo L: Características técnicas del micro PLC SIEMENS LOGO 230Rc

Anexo M: Características técnicas de contactores LG.

Anexo N: Diagramación eléctrica y sistema de alimentación GLP.

Anexo O: Soldadura.

Anexo P: Planos.

Anexo Q: Manual de Operación y Mantenimiento.

RESUMEN

La presente tesis consiste en el “**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN HORNO PARA PINTURA ELECTROESTÁTICA A BASE DE AIRE CALIENTE**”, para aplicación en la pequeña industria.

El diseño fue realizado para el curado de pintura electroestática en polvo para distintos activos a curar. El diseño del horno concluye en un horno de convección tipo estacionario, con dimensiones de trabajo de 3,60 x 2,40 x 2,00 metros.

Las paredes del horno son tipo sándwich compuestas por planchas de acero y relleno de lana de vidrio mineral en su interior.

La fuente de calor utilizada es el gas natural GLP, ecológico por sus ventajas económicas y ambientales.

El calor es suministrado por un quemador seleccionado de acuerdo a la potencia requerida y es distribuido a la carga por recirculación forzada utilizando para ello un ventilador.

El quemador va precedido por dos ramales, una de alta presión y otra de baja presión, esta última siempre permitirá el paso de combustible al sistema mientras que el ramal de alta presión se estará abriendo y cerrando para controlar la longitud de flama y la temperatura a la que se quiera trabajar.

Para la distribución uniforme de calor en interior de la cámara de curado se cuenta con un difusor de aletas curvas de dos direcciones, con una separación de 25 mm y con un ángulo de inclinación de 15°.

ANTECEDENTES

Existen en la actualidad hornos fabricados en forma artesanal, los mismos que producen desperdicios de combustible en el quemador aumentando el costo de producción. Además no mantienen la temperatura adecuada provocando acabados irregulares, los mismos que pueden ser mejorados con la implementación de procesos más eficientes y automáticos.

Estos procesos automáticos se puede distinguir muchas variables que son controladas por diferentes elementos, sean estos: eléctricos, electrónicos, mecánicos, térmicos, etc.

El avance de la tecnología ha hecho que cada vez los procesos industriales, tengan un mejor rendimiento por medio de la utilización de computadores, los cuales brindan gran ayuda en la supervisión y manejo de todas las variables que se puede controlar dentro de un proceso industrial.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un horno para pintura electroestática a base de aire caliente proporcionado por un intercambiador de calor, para aplicación en la pequeña Industria.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y seleccionar los componentes necesarios para la implementación del horno e intercambiador de calor para pintura electroestática.
- Implementar sensores de temperatura y detectores de flama para el control del sistema.
- Determinar dispositivos electrónicos y eléctricos necesarios, para implementar el control del sistema.
- Diseñar el algoritmo de programación para automatizar el sistema de control por medio de micro controladores (PLC's).

JUSTIFICACIÓN

Este proyecto tiene el propósito de mejorar el proceso de producción de la Empresa, ayudando a los operarios a desarrollar su trabajo con mayor facilidad, de esta forma mejorando el tiempo y la calidad de producción. Dichas mejoras están relacionadas con el manejo de controladores lógicos programables (PLC's). El diseño del Horno es de vital importancia para la mejora e incremento de la producción, basándose en un proceso automático.

Con el diseño del Horno se conseguirá aplicar todos los conceptos basados en el área Termodinámica, maquinas motrices y la automatización mediante el empleo de un PLC, para ello se contarán con dispositivos, tales como sensores de temperatura, válvulas proporcionales entre otros accesorios. Este Horno será de fácil manipulación y operación.

METAS

- Disminuir los tiempos de producción en el área de pintura.
- Mejorar el acabado superficial del producto final.
- Disminuir el consumo eléctrico y combustible.
- Obtener un sistema automático, el cual funcione a su mayor eficiencia.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 INTRODUCCIÓN.

En varios procesos industriales la utilización de energía calorífica es indispensable, ya sea para tratar a un material, producir una atmósfera controlada o incluso la de generar vapor para la conversión de energía u otras aplicaciones. Estos sistemas de calentamiento pueden ser obtenidos a base de energía eléctrica o mediante la combustión de un hidrocarburo.

Cada sistema de calentamiento presenta características propias con ventajas técnico-económicas de funcionamiento muy distintas, en el caso de utilizar combustibles se considera que el sistema es mucho más económico que un eléctrico, pero el control de temperatura no es muy preciso y de la misma manera obtener productos terminados de igual o mejor calidad. Por esta razón, el enfoque económico, determina utilizar un sistema de calentamiento mediante combustibles, que en este caso es el GLP (Gas Licuado de Petróleo) para el curado de la pintura en polvo.

La pintura en polvo es una solución económica para el revestimiento de una amplia variedad de productos. Aplicado electrostáticamente y curado en hornos, el proceso produce una terminación durable y de alta resistencia, con mínimo impacto sobre el medio ambiente. Desde el lanzamiento al mercado, los revestimientos en polvo son el segmento de acabado industrial que más crece en el mundo, pues proporcionan una economía en su aplicación combinado con su adecuación al medio ambiente.

1.2 PINTURA ELECTROSTÁTICA.

La pintura electrostática en polvo es un compuesto granulado en forma de talco, el cual se compone de una mezcla de varios polímeros, que incluyen pigmentos o carga, la cual es básicamente dieléctrica.¹ Entre los polímeros más representativos esta la resina, los pigmentos, los agentes de cura y los aditivos, ver la Figura 1.1.

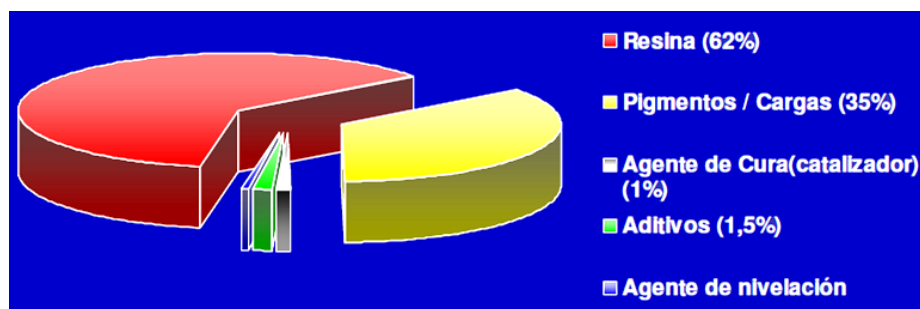


Figura 1.1: Composición básica de la Pintura en Polvo.

- Las Resinas, constituyen el elemento principal que delimita la actuación del rendimiento.
- Los Pigmentos, definen los colores y los efectos, como metálico, texturado, etc.
- Los Agentes de Cura, reaccionan como la resina para formar una película continua y protectora.
- Los Aditivos, son utilizados para optimizar la actuación y los efectos de la película tales como terminación, fluidez y nivelación.

¹ Guía de preguntas y respuestas sobre recubrimientos electrostáticos en polvo, Richard Greswell.

1.2.1 TÉCNICA DE PINTURA EN POLVO.

El principio básico en la aplicación de este tipo de pintura es: "cargar eléctricamente a las partículas de polvo". Se utilizan equipos capaces de generar cargas que luego transfieren a la pintura (equipos Corona) o equipos que provocan las cargas mediante el rozamiento de los granos de pintura entre sí y contra las paredes del cañón de la pistola (equipos Triboeléctricos) como se detalla a continuación.

1.2.1.1 Equipo tipo Corona.

La generación de la carga eléctrica en este tipo de equipo se realiza de la siguiente manera, ver Figura 1.2.

1. La entrada de energía ocurre en bajo voltaje (220 V), a través del panel de control del equipo.
2. La cascada multiplica la potencia, transformando los 220 V en 60000 V.
3. El electrodo transfiere la carga electrostática para la pintura y el aire de transporte, es ionizado.
4. La carga se distribuye tanto para las partículas de pintura como para las moléculas de aire.

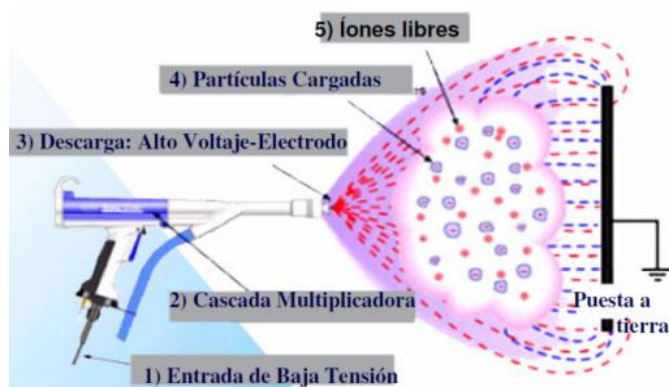


Figura 1.2: Funcionamiento del Equipo tipo Corona.

1.2.1.2 Equipo tipo Triboeléctrico.

La generación de la carga eléctrica en este tipo de equipo se da de la siguiente manera, ver Figura 1.3.

1. No existe entrada de energía, el propio cuerpo de la pistola funciona como venturi, el flujo de polvo es menor que en el sistema de corona.
2. La fricción hace que las partículas adquieran carga electrostática, todo el cuerpo de la pistola está hecho de elementos de carga.
3. El polvo ya cargado es lanzado por los picos que poseen una configuración propia para una buena aplicación.
4. El resultado es una nube de polvo con carga homogénea.

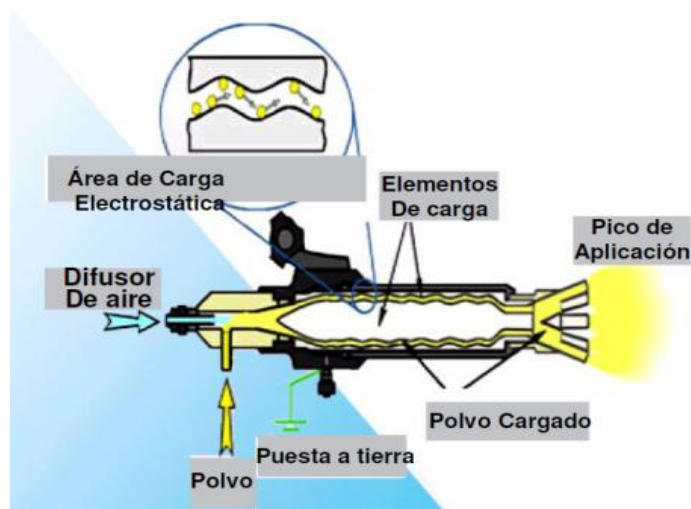


Figura 1.3: Funcionamiento del Equipo tipo Triboeléctrico.

Estos dos equipos se componen de las siguientes secciones:

- Depósito de Pintura.
- Pistola electrostática.
- Panel de Control.

Depósito de Pintura.

El depósito de consta de un tanque cilíndrico el cual tiene una membrana porosa en su base, sobre ella se deposita la pintura la cual es suspendida en una corriente de aire que se inyecta debajo de esta membrana; de este modo el lecho fluido que forman las partículas tiene un comportamiento similar a un líquido y entonces se bombea a través de mangueras hasta la pistola.

Pistola electrostática.

La pistola electrostática es el elemento donde se carga la pintura. En el equipo tipo corona la pistola dispone de electrodos en cascada que brindan al polvo una carga eléctrica entre 60000 y 90000 voltios.

Cuando se trata de equipos tribo, la pistola dispone de un cañón de Teflón, el cual colecta los electrones de la pintura dándole a esta carga positiva.

La pistola dispone asimismo de elementos de regulación de flujo, de punteros con diferentes geometrías para cumplir distintos trabajos y de un gatillo el cual actúa como interruptor de puesta en marcha en equipos manuales.

Panel de Control.

El panel de control permite registrar y regular el caudal de aire, el voltaje aplicado (corona) u obtenido (tribo), presión del aire en el depósito, ver Figura 1.4.

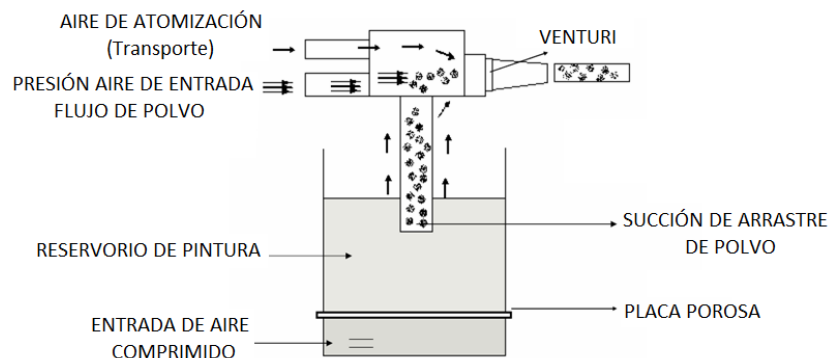


Figura 1.4: Transportador del Polvo Electrostático.

1.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA PINTURA ELECTROSTÁTICA.²

Entre las características más relevantes de la pintura electrostática se tienen:

- Sus componentes reaccionan a temperaturas altas, formando una capa fuertemente adherente, insoluble y estable.
- El pintado redondea los bordes y las aristas de los materiales a pintar.
- Recubre todo tipo de superficies metálicas, lisas o acanaladas.
- Penetra zonas difíciles.
- Disminución de riesgo de accidentes ocasionados por el uso de sustancias volátiles, tales como disolventes, resinas, etc.
- No requiere de aplicación de pinturas anticorrosivas previo proceso de pintura electrostática.
- El manejo y manipulación del polvo es más fácil y menos peligroso que el líquido.
- Alto rendimiento de aplicación, debido a que la materia prima que no es usada se puede recoger y reutilizar.

² Guía de preguntas y respuestas sobre recubrimientos electrostáticos en polvo, Richard Greswell.

1.2.3 PROCESO PRODUCTIVO DE PINTADO.

1.2.3.1 Tratamiento previo de las piezas.

La calidad final del proceso de pintado electrostático depende principalmente del pre-tratamiento de limpieza y desfosfotación que se le realice al producto, dado que las superficies a pintar deben estar perfectamente desengrasadas, limpias, libres de polvo, aceite, grasa, oxido y suciedad, estos deben ser eliminados antes de realizar el tratamiento, de otro modo, interfieren en la formación de la capa protectora. En la Tabla 1.1 se indican los tipos de pre-tratamientos más comunes de implementar.

Tabla 1.1. Tipos de pre-tratamientos.

Fuente: Recubrimientos electrostáticos en polvo, Richard Greswell

PROCESO	CARACTERÍSTICAS	APLICACIÓN	FINALIDAD
DECAPANTES (ÁCIDOS).	- Ácido Sulfúrico. - Ácido Clorhídrico. - Ácido Fosfórico.	Acero al Carbono. Acero laminado Caliente.	Eliminación del la oxidación.
CROMATIZANTES.	- Cromatización Amarilla/Verde, etc.	Aluminio. Zinc.	Adherencia. Resistencia a la Corrosión.
LIMPIEZA MECÁNICA.	- Arena, acero, etc.	Acero al Carbono.	Adherencia.
FOSFATO-HIERRO	- Estructura amorfa. (Inmersión/Aspersión).	Acero Carbono. Acero Laminado Caliente.	Adherencia. Resistencia a la Corrosión.
FOSFATO-ZINC	- Estructura cristalina definida. (Inmersión/Aspersión).	Acero Carbono. Galvanizados. Aluminio, etc.	Adherencia. Resistencia a la Corrosión.

1.2.3.2 Aplicación de pintura electrostática.

Con el metal completamente limpio y preparado se procede al servicio de pintura, el cual se realiza en forma rápida, en un ambiente limpio y libre de impurezas que puedan contaminar el proceso, ver Figura 1.5.



Figura 1.5: Aplicación de la Pintura en Polvo.

1.2.3.3 Secado al horno.

Las piezas pintadas posteriormente son colocadas en el horno para realizar el proceso de curado, necesario para permitir la total adherencia de la pintura a la pieza de metal para una terminación definitiva.

Cuando las piezas permanecen un excesivo tiempo en el horno puede ocurrir un cambio de color, disminución de brillo, manchado, etc. especialmente en colores claros, ver Figura 1.6.



Figura 1.6: Horno para el Curado de Pintura.

Para obtener un pintado de las piezas satisfactorio es fundamental respetar las condiciones de curado dadas por el fabricante de la pintura, ver la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Comparación entre diferentes clases de Resinas.

Fuente: Recubrimientos electrostáticos en polvo, Richard Greswell.

	EPOXI.	POLIÉSTER.	HÍBRIDO. (Epoxi + Poliéster)
TEMPERATURA MÍNIMA DE CURADO.	10 min a 200°C	15 min a 200°C	10 min a 200°C
APLICACIONES.	- Decoración de interiores. - Anticorrosivos.	- Exteriores. - Arquitectura. - Resistencia al calor e intemperies.	- Decoración de interiores. - Uso general.

1.2.4 TEMPERATURA DE CURADO DE LAS PIEZAS PINTADAS.

El peligro reside en hornear las piezas a una temperatura menor, estas se presentan excelentes, pero se saltan es decir se sale la pintura. Las pinturas finas y caras se hornean a 150°C, y las baratas hasta 210°C.

La duración del horneado depende del espesor de la pieza metálica, ver la Tabla 1.3.

Tabla 1.3. Duración de horneado de chapas de acero.

Fuente: Recubrimientos electrostáticos en polvo, Richard Greswell.

Material.	Espesor.	Duración de horneado.
Chapas y aceros.	1.5 mm	17 min.
Aceros.	5 mm	30 min.
Trozos mayores de Acero.	30 mm	60 min.

1.2.5 INCONVENIENTES DE LA PINTURA ELECTROSTÁTICA.

Los inconvenientes del pintado electrostático con polvo son:

- El costo de la implementación de un horno adecuado para curar la pintura.
- Ligera dificultad de pintar lugares de difícil acceso como puntos de soldaduras o en la unión de dos trozos metálicos.
- Poca factibilidad de pintar piezas metálicas grandes como estructuras etc. puesto que se requiere de un horno con las dimensiones suficientes.
- No apto para pintar piezas con gran masa, por ejemplo Ruedas de ferrocarril o planchas de 30 a 40 mm de espesor. La razón es el alto costo de calor a producir.
- Los repuestos de los equipos aplicadores de pintura son excesivamente caros.

1.2.6 APLICACIONES.

Las principales aplicaciones de este tipo de pintura en la industria metal mecánica ecuatoriana son:

- Aluminio Arquitectónico.
- Muebles para interior y exterior.
- Accesorios para automóviles.
- Equipos eléctricos y electrodomésticos.
- Lámparas de iluminación externas.
- Acero galvanizado.

1.3 INTERCAMBIADORES DE CALOR.³

Un intercambiador de calor es un aparato que facilita el intercambio de calor entre dos fluidos que se encuentran a temperaturas diferentes, que estén separados por una barrera o que se encuentren en contacto. Las razones de utilizar intercambiadores de calor son las siguientes:

- Calentar un fluido frío mediante un fluido con mayor temperatura.
- Reducir la temperatura de un fluido mediante un fluido con menor temperatura.
- Llevar al punto de ebullición a un fluido mediante un fluido con mayor temperatura.
- Condensar un fluido en estado gaseoso por medio de un fluido frío.

1.3.1 TIPOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR.

Los intercambiadores de calor se clasifican según su construcción y operación:

Según su construcción se clasifican en:

- Intercambiador tipo Carcasa y tubo; e
- Intercambiador tipo Plato.

Según su operación se clasifican en:

- Intercambiador de Flujo paralelo.
- Intercambiador de Contraflujo.
- Intercambiador de Flujo Cruzado.
- Intercambiador de un solo paso y de múltiple pasos; e
- Intercambiadores Regenerativos y No-regenerativos.

³ <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/HeatExchanger/Intercambiadores.pdf>

1.3.1.1 Intercambiadores de Carcasa y Tubo.

Este tipo de intercambiador consiste en un conjunto de tubos en un contenedor llamado carcasa. El flujo de fluido dentro de los tubos se le denomina comúnmente flujo interno y aquel que fluye en el interior del contenedor como fluido de carcasa o fluido externo.

El fluido interno es separado del fluido externo de la carcasa por la placa de tubos. Los tubos se sujetan o se sueldan a una placa para proporcionar un sello adecuado. Estas placas de soporte actúan como deflectores para dirigir el flujo del líquido dentro de la cáscara hacia adelante y hacia atrás a través de los tubos, ver Figura 1.7.

Aplicaciones:

Este tipo de intercambiador de carcasa y tubo se utiliza para diferentes aplicaciones como:

- Para condensar vapor y/o calentar agua.
- Para enfriar aceite en sistemas de lubricación o hidráulicos y transformadores eléctricos.
- Para enfriar aire como Post-enfriadores de compresor de aire.
- Para condensar refrigerantes.

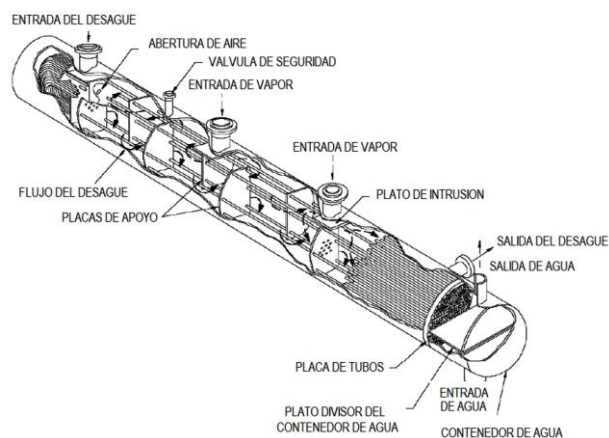


Figura 1.7: Intercambiador de Calor de carcasa y Tubos.

1.3.1.2 Intercambiadores tipo Plato.

El intercambiador de calor de tipo plato, consiste de placas en lugar de tubos para separar a los dos fluidos caliente y frío.

Los líquidos calientes y fríos se alternan entre cada uno de las placas y los deflectores dirigen el flujo del líquido entre dichas placas. Las placas proveen un área extremadamente grande de transferencia de térmica a cada uno de los líquidos, ver Figura 1.8.

Aplicaciones:

Este tipo de intercambiadores de placa no se utiliza extensamente debido a la inhabilidad de sellar confiablemente las juntas entre cada una de las placas, se utiliza en aplicaciones donde la presión no es muy alta, así se tiene:

- Calentadores de Agua y otros fluidos, mediante vapor.
- Enfriadores de Aceite.
- Enfriadores de agua salada.
- Refrigeradores de aceite para máquinas.
- Para usos de refrigeración libres de congelación.

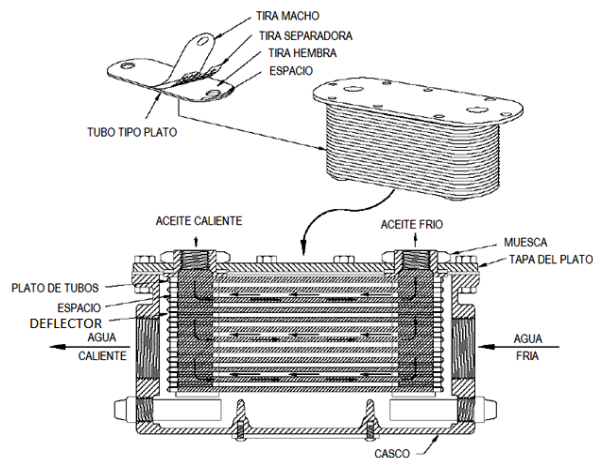


Figura 1.8: Intercambiador de Calor Tipo Plato.

1.3.1.3 Intercambiador de Flujo Paralelo.

Existe un flujo paralelo cuando el flujo interno o de los tubos y el flujo externo o de la carcasa ambos fluyen en la misma dirección. En este caso, los dos fluidos entran al intercambiador por el mismo extremo y estos presentan una diferencia de temperatura significativa.

El calor se transfiere del fluido con mayor temperatura hacia el fluido de menor temperatura, la temperatura de los fluidos se aproxima la una a la otra, es decir que uno disminuye su temperatura y el otro la aumenta tratando de alcanzar el equilibrio térmico entre ellos, ver Figura 1.9.

Aplicaciones:

El intercambiador de flujo paralelo se utiliza para diferentes aplicaciones como:

- Para enfriar agua o cualquier otro fluido mediante vapor.
- Para enfriar aceite en sistemas de lubricación.
- Para condensar refrigerantes.
- Para enfriar Nitrógeno Líquido.

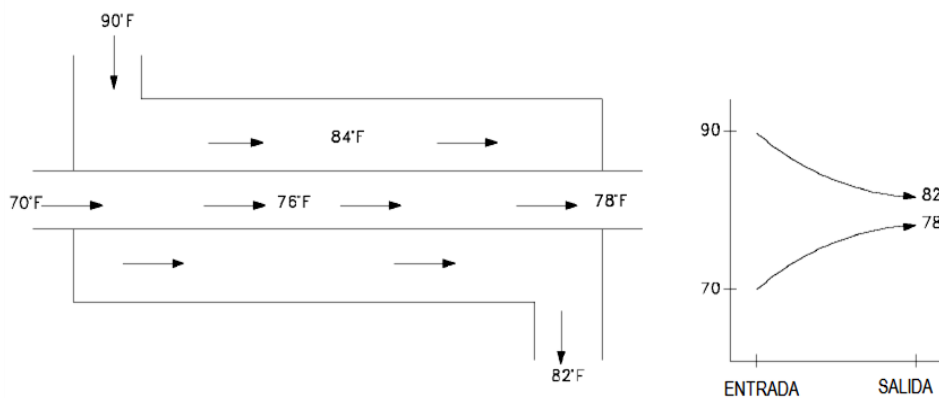


Figura 1.9: Intercambiador de Calor de Flujo Paralelo.

1.3.1.4 Intercambiador de Contraflujo.

Se presenta un contraflujo cuando los dos fluidos fluyen en la misma dirección pero en sentido opuesto. Cada uno de los fluidos entra al intercambiador por diferentes extremos.

El fluido con menor temperatura sale en contraflujo del intercambiador de calor en el extremo donde entra el fluido con mayor temperatura, la temperatura del fluido más frío se aproximará a la temperatura del fluido de entrada.

Este intercambiador puede presentar la temperatura más alta en el fluido frío y la más baja temperatura en el fluido caliente una vez realizada la transferencia de calor en el intercambiador, ver Figura 1.10.

Aplicaciones:

El intercambiador de contraflujo se utiliza para diferentes aplicaciones como:

- Para calentadores de Agua y otros fluidos, mediante vapor.
- Recuperadores de Calor, con diferenciales cortos de temperatura.

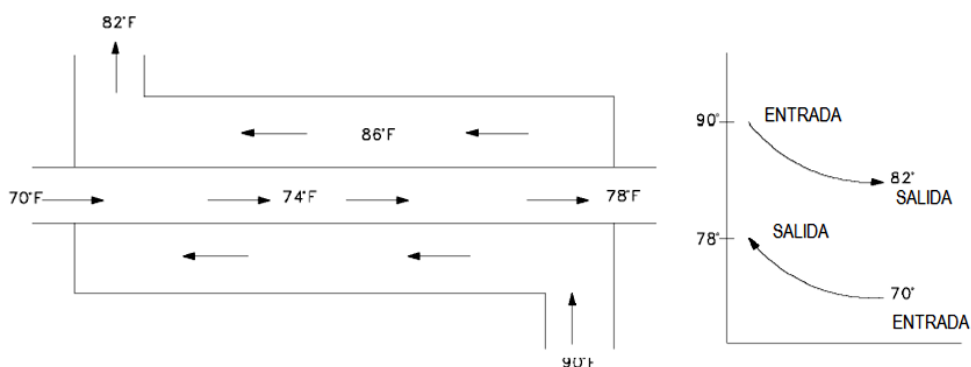


Figura 1.10: Intercambiador de Calor de Contraflujo.

1.3.1.5 Intercambiador de Flujo Cruzado.

En este tipo de intercambiador de calor de flujo cruzado uno de los fluidos fluye de manera perpendicular al otro fluido.

Uno de los fluidos pasa a través de tubos mientras que el otro pasa alrededor de dichos tubos formando un ángulo de 90°, ver Figura 1.11.

Aplicaciones:

Los intercambiadores de flujo cruzado son comúnmente usados donde uno de los fluidos presenta cambio de fase como:

- En sistemas de condensación de vapor.
- Para calentar combustóleo en tanque de almacenamiento, fosas de recepción y estaciones de bombeo.

Por ejemplo el vapor exhausto que sale de una turbina entra como flujo externo a la carcasa del condensador y el agua fría que fluye por los tubos absorbe el calor del vapor y éste se condensa y forma agua líquida.

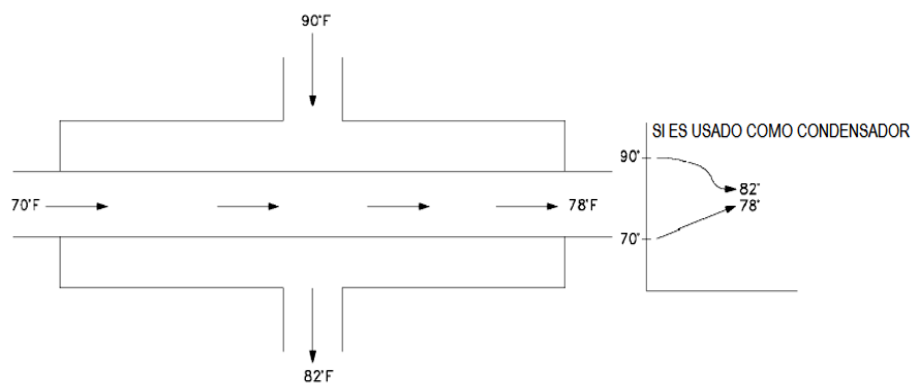


Figura 1.11: Intercambiador de Calor de Flujo Cruzado.

1.3.1.6 Intercambiadores de un solo paso y de múltiple pasos.

Un método que combina las características de dos o más intercambiadores y permite mejorar el desempeño de un intercambiador de calor es tener que pasar los dos fluidos varias veces dentro de un intercambiador de paso simple.

Cuando los fluidos del intercambiador intercambian calor más de una vez, se denomina intercambiador de múltiple pasos. Sí el fluido sólo intercambia calor en una sola vez, se denomina intercambiador de calor de paso simple o de un solo paso, ver Figura 1.12.

Aplicaciones:

Este tipo de intercambiador de simple y múltiple pasos se utiliza para diferentes aplicaciones como:

- Para condensar vapor y/o calentar agua.
- Para enfriar aceite en sistemas de lubricación o hidráulicos.
- Para enfriar aire.

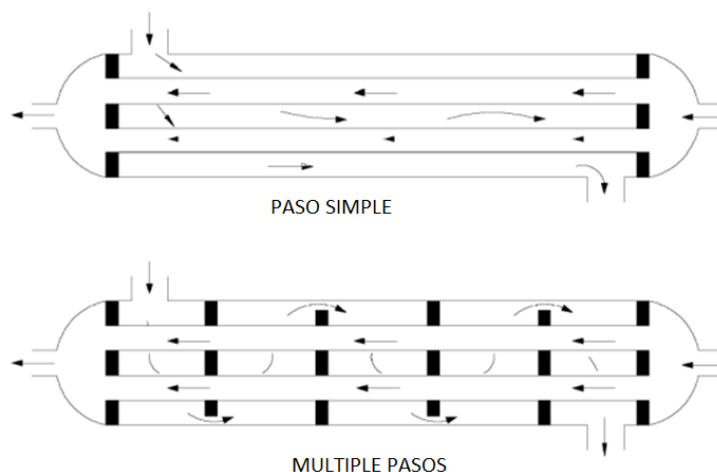


Figura 1.12: Intercambiador de simple y múltiple pasos.

1.3.1.7 Intercambiadores Regenerativos y No-Regenerativos.

Un **intercambiador regenerativo** utiliza el mismo fluido, es decir, el fluido caliente y el fluido frío es el mismo. El fluido caliente abandona el sistema cediendo su calor a un regenerador y posteriormente regresando al sistema, ver Figura 1.13.

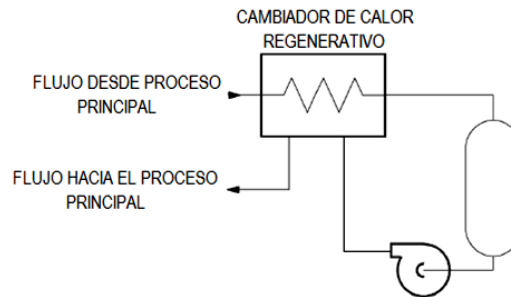


Figura 1.13: Intercambiador de calor Regenerativo.

En un **intercambiador no-regenerativo** el fluido con mayor temperatura es enfriado por un fluido de un sistema separado y la energía removida y no regresaba al sistema, ver Figura 1.14.

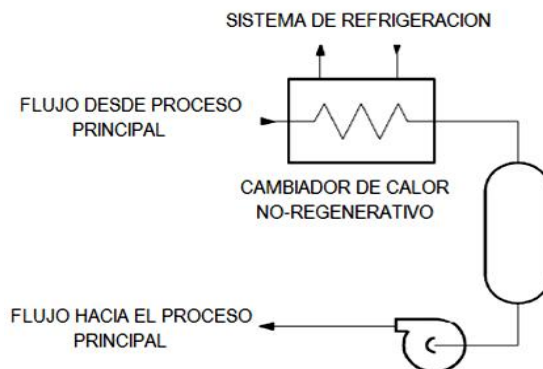


Figura 1.14: Intercambiador de calor No-Regenerativo.

Aplicaciones:

Los intercambiadores de calor regenerativos se emplean para:

- Recalentar el aire en hornos de hogar abierto, en hornos de fundición o de los altos hornos.

1.3.2 MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.⁴

El calor se puede transferir de tres formas distintas: conducción, convección y radiación; Todos los modos de transferencia de calor requieren que exista una diferencia de temperatura y todos pasan de alta temperatura a uno de menor temperatura.

1.3.2.1 Transferencia de Calor por Conducción.

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de sus interacciones, ver Figura 1.15.

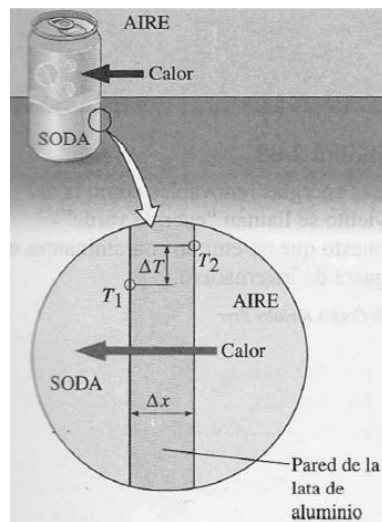


Figura 1.15: Transferencia de calor por Conducción.

La conducción puede ocurrir en sólidos, líquidos o gases; en estos últimos dos la conducción se debe a las colisiones de las moléculas durante su movimiento aleatorio, mientras que en los sólidos se debe a la combinación de la vibración de las moléculas en una red y el transporte de energía mediante electrones libres.

⁴ Termodinámica, Yunus A. Cengel, Quinta Edición, Pág. 92

1.3.2.2 Transferencia de Calor por Convección.

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento y tiene que ver con los efectos combinados de conducción y movimiento del fluido, mientras más rápido sea éste mayor es la transferencia de calor por convección, ver Figura 1.16.

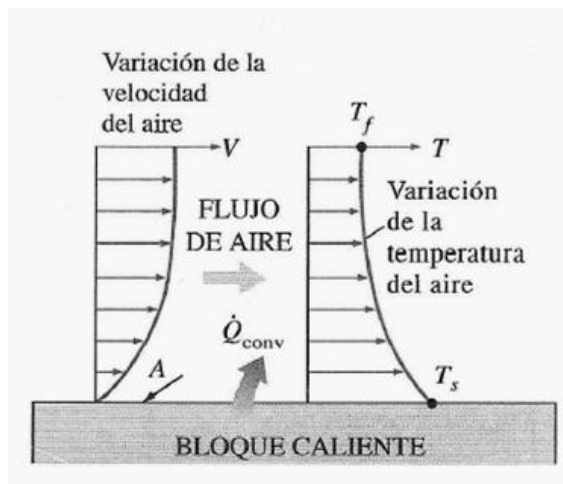


Figura 1.16: Transferencia de calor por convección.

En el enfriamiento del bloque caliente mediante aire frío aplicado sobre su superficie, la energía se transfiere primero a la capa de aire adyacente a la superficie del bloque por conducción.

Posteriormente la energía es llevada después desde la superficie por convección; es decir, por los efectos combinados de conducción dentro del aire, debidos al movimiento aleatorio de sus moléculas elimina el aire caliente cerca de la superficie y lo reemplaza por aire frío.

1.3.2.2.1 Tipos de Convección.

Existen dos tipos de convección las mismas que son:

- Convección Forzada.
- Convección Natural.

Existe **convección forzada** si el fluido es forzado a fluir en un tubo o sobre una superficie por la presencia de medios externos, como un ventilador, una bomba o el viento, ver Figura 1.17.



Figura 1.17: Enfriamiento por convección forzada.

Existe **convección libre** si el movimiento del fluido es ocasionado por las fuerzas de flotación inducidas por diferencias de densidad debidas a la variación de temperatura en el fluido, ver Figura 1.18.



Figura 1.18: Enfriamiento por convección natural.

1.3.2.3 Transferencia de Calor por Radiación.

Radiación es la energía que emite la materia en la forma de ondas electromagnéticas como resultado de cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas.

A diferencia de la conducción y convección, la transferencia de energía por radiación no requiere la presencia de un medio, ver Figura 1.19.

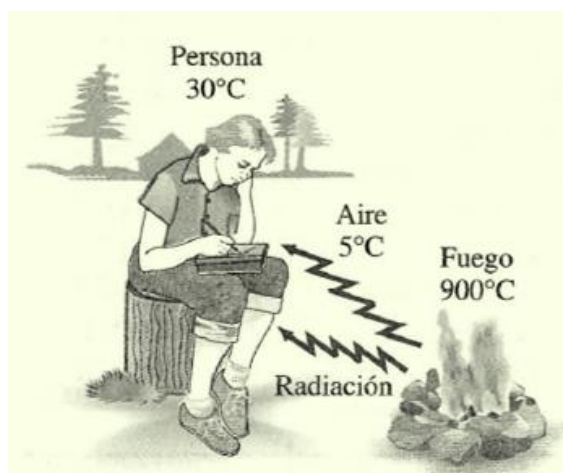


Figura 1.19: Transferencia de calor por radiación entre dos cuerpos.

Una propiedad de radiación importante de una superficie es su **emisividad** (ϵ). Esta propiedad, cuyo valor está en el intervalo $0 \leq \epsilon \leq 1$ es una medida que determina qué tan cerca se aproxima una superficie a un cuerpo negro, para el cual $\epsilon = 1$.

Otra propiedad importante es su **absorbencia** (α) que es la fracción de la energía de radiación incidente sobre una superficie absorbida por ésta, cuyo valor está en el intervalo $0 \leq \alpha \leq 1$. Un cuerpo negro absorbe toda la radiación que incide sobre él.

1.4 HORNOS DE COMBUSTIÓN.⁵

Los Hornos de combustión son utilizados principalmente para transformar materia prima en productos en los cuales su estado físico se altera al impartir calor sobre la misma. En el proceso se puede mantener su composición química.

La generación de calor en el interior del horno se lo puede obtener mediante la combustión de combustible o la conversión de energía eléctrica en calor, todo depende del proceso y las características que se desea alcanzar en la materia prima.

1.4.1 CLASIFICACIÓN.⁶

La amplia gama de hornos se pueden clasificar según su aplicación, su fuente de energía, el proceso y su función.

1.4.1.1 Clasificación según su aplicación.

1.4.1.1.1 Hornos domésticos.

Son hornos de baja temperatura utilizados principalmente para cocer, azar o gratinar alimentos, su uso es específicamente en hogares.

1.4.1.1.2 Hornos Industriales.

Son hornos de media y alta temperatura utilizados para transformar la materia prima mediante el calentamiento o la fundición de la misma.

⁵ www.hornosdegas/grupogasnatural.htm

⁶ Manual del Ingeniero Mecánico, Marks, Pág. 7-54.

1.4.1.2 Clasificación según su fuente de energía.

1.4.1.2.1 Combustión de combustible.

Los hornos de combustión utilizan combustible sólido, líquido o gaseoso dependiendo del tipo de quemador, la flama producto de la combustión puede estar dispuesta en la parte inferior, lateral, superior o una combinación si el calentamiento de la materia lo requiere.

1.4.1.2.2 Conversión de la energía eléctrica en calor.

Se fundamentan en la utilización de resistencias eléctricas que al pasar un alto amperaje tienden a alcanzar altas temperaturas, la transmisión de calor se produce netamente por conducción.

1.4.1.3 Clasificación según el proceso.

1.4.1.3.1 Hornos de carga por lotes.

El material permanece estático durante todo el proceso de calentamiento hasta retirar la carga y sustituirla por otra.

1.4.1.3.2 Hornos continuos.

En estos hornos el material no permanece estático sino se desplaza a lo larga del horno mientras se calienta, utilizando mecanismos de transporte tales como rodillos, transportadores de tornillo o incluso por gravedad.

1.4.1.2 Clasificación según su función.

1.4.1.2.1 Hornos de Fusión.

La función principal de este tipo de horno es la de fundir los materiales o minerales de hierro para elaborar ferroaleaciones.

1.4.1.2.2 Hornos de Recalentar.

Su función es el calentamiento de piezas para procesos de laminación, extrusión, forja, estampación y conformado. En todo momento se mantiene el estado sólido de las piezas, sólo buscándose su reblandecimiento.

1.4.1.2.3 Hornos de Tratamiento Térmico.

Su función es la de inferir una propiedad al material.

Algunos de los tratamientos existentes son:

- Recocido, normalizado, temple, revenido, etc.
- Cementación, carbonitruración, cianuración, etc.
- Recubrimiento por galvanización, estañado, esmaltado, etc.

1.4.2 PARTES FUNDAMENTALES DE UN HORNO.⁷

Las partes fundamentales de un horno son:

- **Hogar o cámara de combustión.-** Es donde se alojan los quemadores y se generan los gases de combustión. Puede coincidir con la cámara de calentamiento o ser una cámara independiente.
- **Cámara de calentamiento.-** Existen distintos tipos, dependiendo de la forma de operación del horno y de su función.
- **Revestimiento aislante.-** Recubre todas las cámaras y equipos del horno.

⁷ www.hornosdegas/grupogasnatural.htm

- **Chimenea y tubos de escape de gases de combustión.-** Suelen ir acoplados a intercambiadores para aprovechamiento de la energía calorífica que poseen, previo a la emisión hacia la atmósfera, ver Figura 1.20.

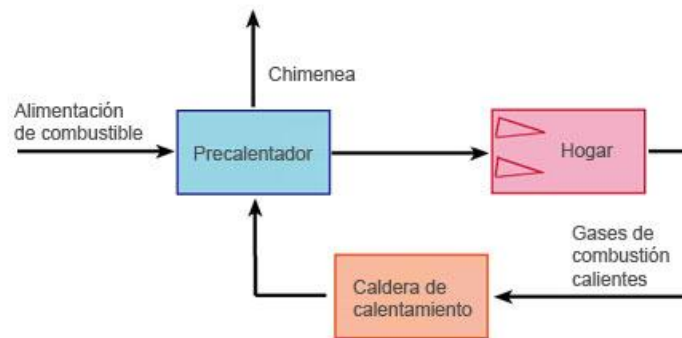


Figura 1.20: Partes Fundamentales de un Horno de Pintura.

1.4.3 MATERIALES REFRACTARIOS Y AISLANTES.⁸

El objetivo de los materiales refractarios es aislar el interior de los hornos, cumpliendo con los siguientes propósitos:

- Reducir las pérdidas de calor.
- Conseguir condiciones ambientales en el exterior suficientemente aceptables.

La capa interior del aislante térmico debe ser capaz de:

- Soportar el ambiente interior como humos, aire en circulación, gases reductores, etc. (Resistencia térmica).
- Contener sin reacción química, en términos generales, metales y no metales fundidos, a alta temperatura, etc. (Resistencia química).

⁸ Manual del Ingeniero Mecánico, Marks, Pág. 6-187.

Dependiendo de la temperatura máxima que deban soportar, tenemos:

- **Productos calorífugos (hasta 150 °C).** La humedad afecta mucho a sus propiedades aislantes.
- **Productos aislantes (hasta 1000 °C).** Hay muchos tipos, como la diatomita, el carbonato de magnesio, las lanas minerales, la arcilla y perlita expandidas y el silicato cálcico.
- **Productos refractarios (hasta 1500 °C).** No tienen un punto de fusión determinado, sino que funden en un rango de temperaturas. Entre ellos están los silicatos de aluminio, las arcillas refractarias, los hidratos y óxidos de aluminio y el carburo de silicio.
- **Fibras cerámicas (hasta 1500 °C).** Son capaces de soportar la acción directa de la llama.

1.4.4 RENDIMIENTO DE HORNOS EN GENERAL.

El rendimiento térmico en los hornos industriales depende mucho del diseño en el cual se debe considerar la parte térmica y la de control automático. En la Tabla 1.4 se muestra algunos rendimientos energéticos.

Tabla 1.4. Rendimiento energético para distintas fuentes de energía.

Fuente: <http://hornosdegas/grupogasnatural.htm>

TIPO DE COMBUSTIBLE.	RENDIMIENTO DEL HORNO (%)
Combustible gaseoso	60-65
Combustible líquido	50-55
Electricidad	65-70

1.4.5 ECONOMÍA DEL COMBUSTIBLE PARA HORNOS.

El óptimo funcionamiento exige que el porcentaje de calor total que pasa a la carga sea tan grande como el generado por el combustible, apuntando siempre a la economía de combustible. Por tal razón se requiere la solución de dos problemas claramente identificados:

- El primero es la determinación de las pérdidas de calor y de los métodos apropiados para reducirlas.
- El segundo es la determinación de la cantidad de combustible o de energía eléctrica que se necesita para calentar cierta cantidad de material.

Existen varios métodos destinados a economizar el combustible, los más comunes son los siguientes métodos:

- Reducción de las pérdidas por las paredes, incluyendo las pérdidas por almacenamiento.
- Precalentamiento de la carga por la recuperación del calor de los humos.
- Precalentamiento del aire, combustible o ambos por la recuperación del calor de los humos.
- Disminuir el tiempo de las paradas, evitando perder todo el calor acumulado en los hornos.
- Evitar una excesiva humedad en el producto a tratar secándolo antes de su introducción al horno.
- Automatizar al máximo el control del proceso, así como las operaciones de carga y descarga.

1.5 QUEMADORES.⁹

El quemador es un dispositivo mecánico diseñado para producir una llama estable, con una forma y tamaño predeterminados. Los combustibles líquidos se rompen en pequeñas gotas por medio de un atomizador. Fuel-oil y gas se introducen dentro de la corriente de aire de combustión para asegurar una buena mezcla y estabilizar la base de la llama.

El diseño del quemador varía dependiendo de la clase de combustible a usar, ya que el tratamiento del mismo para conseguir una buena combustión es diferente. Se tiene quemadores de gas, de combustibles líquidos, y combinados.

En las plantas industriales se utilizan principalmente dos tipos de quemadores:

- El de tiro natural y;
- El de tiro forzado.

1.5.1 QUEMADOR DE TIRO NATURAL.

El quemador se dimensiona de acuerdo con el tiro disponible e invierte la presión de tiro disponible en inducir velocidad a la corriente de aire que circula por él. Debido al reducido valor de presión del tiro la velocidad adquirida por el aire de admisión será reducida, lo que implica que no exista un gran poder de mezcla al unirse la corriente de aire con el combustible, ver Figura 1.21.

⁹ www.mavainsa.com/quemadoresgas.

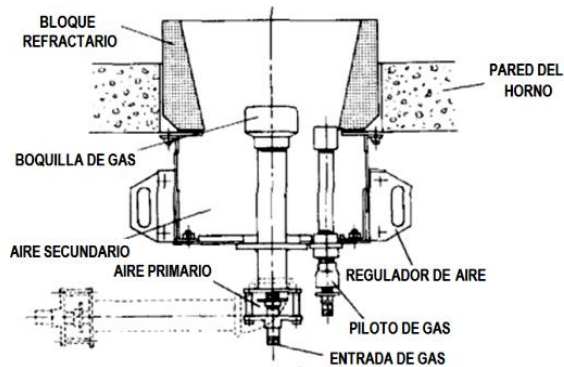


Figura 1.21: Quemador de Gas de Tiro Natural.

1.5.1.1 Quemadores de Fuel-Oil. Atomizador.

Existe una gran variedad de combustibles líquidos que pueden usarse para alimentar a los quemadores de un horno de proceso, el fuel-oil es quizá el más empleado, debido en parte a su reducido costo.

Para lograr una combustión eficiente y controlada de un fuel-oil es necesaria su atomización previa, esto sólo ocurre con los combustibles líquidos. Debido a esta característica estos quemadores deben ir dotados de un atomizador. Existen algunos tipos:

- **Atomizador de chorro a presión.** El combustible se atomiza a consecuencia únicamente de la alta presión a la que es expulsado por la boquilla de la caña, ver Figura 1.22.

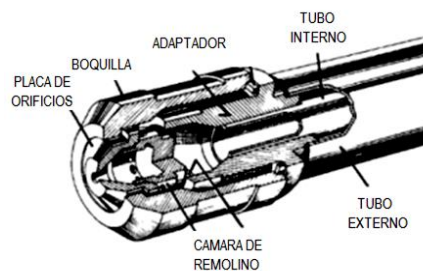


Figura 1.22: Atomizador de chorro a presión.

- **Atomizador de retorno lateral.** La atomización se consigue fragmentando la película de fuel-oil en gotas por fuerza centrífuga, ver Figura 1.23.

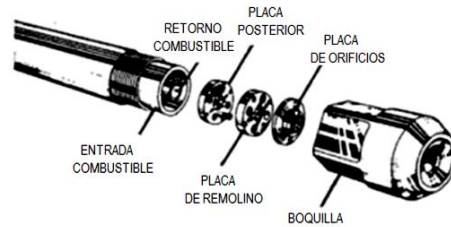


Figura 1.23: Atomizador de retorno lateral.

- **Atomizador de dos fluidos.** El combustible se atomiza usando un segundo fluido (vapor o aire) a alta presión para romper el petróleo en gotitas, ver Figura 1.24.

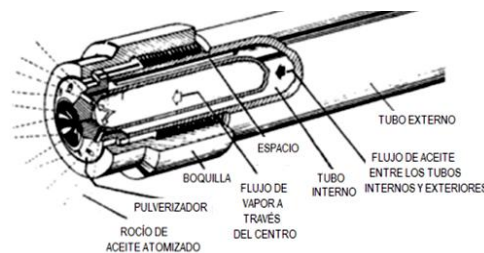


Figura 1.24: Atomizador de dos fluidos.

1.5.1.2 Quemadores de gas.

El gas para su combustión no requiere de ninguna preparación previa, tal y como ocurría con los combustibles líquidos. La función de la caña de gas es dirigir la corriente de gas dentro de la corriente de aire, de forma que se consiga una buena mezcla gas/aire y se obtengan una estabilidad en la llama.

Una caña de gas consiste en una simple conducción en cuyo extremo final va adosada la boquilla de gas.

En la boquilla de gas se disponen los orificios de inyección del chorro de gas en la corriente de aire de combustión, ver Figura 1.25.



Figura 1.25: Tipos de Boquillas de Gas.

Cada quemador va dotado de al menos un piloto de gas para asegurar el encendido de la llama principal.

1.5.2 QUEMADOR DE TIRO FORZADO.

Las funciones básicas que desempeña el quemador de tiro forzado son:

- Introducir o proyectar el combustible y el aire en la cámara de combustión.
- Dirigir el desarrollo de la llama en el proceso de combustión.
- Facilitar la ignición continua.

1.5.2.1 Tipos de quemadores de tiro forzado.

Los quemadores más interesantes debido a sus mejoras de operación y rendimiento energético son:

- **Quemadores de alta velocidad.-** Aumentan la transferencia de calor por convección a la carga consiguiendo mayor uniformidad de temperatura.

- **Quemadores de llama plana.-** Desarrollan la llama en forma de disco para calentar por radiación desde la bóveda. Reducen los tiempos de calentamiento para laminación del acero en un 20%-25%.
- **Quemadores recuperativos.-** Llevan incorporado un recuperador para precalentar el aire de combustión a partir del calor de los humos.
- **Quemadores regenerativos.-** Funcionan por pares que trabajan alternativamente, precalentando bolas de material cerámico en uno de ellos con los humos de la otra.
- **Quemadores Oxigas.-** Utilizan oxígeno puro como comburente.

1.5.3 COMBUSTIÓN.¹⁰

La combustión consiste en una reacción química de oxidación, cuando elementos combustibles, principalmente carbono (C), hidrógeno (H), y azufre (S), se combinan con oxígeno. La reacción se verifica con un gran desprendimiento de energía, en forma de calor y luz.

1.5.3.1 Combustibles.

La reacción de combustión requiere de la presencia de elementos combustibles que reaccionen con el oxígeno, que será denominado elemento comburente. Se denominará combustible a toda aquella sustancia que por su composición haga posible la combustión de la misma, verificándose un desprendimiento de energía.

¹⁰ http://www.mavainsa.com/documentos/1_Combstion.pdf

La principal característica combustible es su poder calorífico. El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía que se produce en la combustión completa de una unidad de masa o de volumen.

Los combustibles se clasifican en función del estado físico que presentan habitualmente. La razón de esta clasificación se debe a que las técnicas y equipos a utilizar en la combustión dependerán del estado físico del combustible, ver la Tabla 1.5.

Tabla 1.5. Clasificación de los Combustibles Industriales.

Fuente: http://www.mavainsa.com/documentos/1_Combstion.htm

SÓLIDOS.	- Naturales. - Artificiales.	Madera y; Residuos Carbón.
LÍQUIDOS.	- Alcoholes.	Naturales. Artificiales.
	- Derivados del petróleo.	Gasóleos. Fuelóleos.
GASEOSOS.	-Residuales	Fuel-gas.
	- Gas natural	Diferentes familias.
	- Gases líquidos del petróleo (GLP).	Propano y butanos.
	- Artificiales o elaborados.	Gas de horno alto. Gas pobre. Gas de agua. Gases gasógeno.
	Biogás.	

Los combustibles gaseosos más empleados en los quemadores son el gas natural, el propano comercial y GLP.

- El **gas natural** se compone principalmente de metano (CH_4) con pequeñas cantidades de etano y otros hidrocarburos. Carece prácticamente de gas incombustible y residuos sólidos.
- El **propano comercial** está compuesto en su mayoría por propano con pequeñas cantidades de etano y butano. Se obtiene de las primeras fracciones de destilación del petróleo y es fácilmente licuable para su almacenamiento en botellas a presión.

El **gas licuado de petróleo (GLP)** es la mezcla de gases condensables presentes en el gas natural o disuelto en el petróleo, como el propano y el butano. Estos gases en estado líquido son más ligeros que el agua y en estado gaseoso son más pesados que el aire. Por ello, cuando existe una fuga de GLP, éste se deposita en las partes más bajas.

EL GLP alcanza el estado gaseoso a temperatura y presión atmosférica, tienen la propiedad de pasar a estado líquido a presiones relativamente bajas, propiedad que se aprovecha para su almacenamiento y transporte en recipientes a presión.

Al abrir el regulador de un cilindro con GLP, la fase gaseosa fluye de manera inmediata produciéndose un desequilibrio en las presiones de la fase líquida y gaseosa. Esta situación rompe el estado de reposo existente y la fase líquida tenderá a vaporizarse.

Para continuar con la vaporización, requiere la aportación de calor, que es tomado de su propia masa, de las paredes del cilindro y del medio ambiente que rodea al cilindro. Esta es la causa por la cual se produce enfriamiento del cilindro y condensación de agua en la parte exterior del mismo, en casos prolongados de uso puede generarse escarcha de hielo alrededor del cilindro.

En la Tabla 1.6 se muestra el poder calorífico del gas licuado de petróleo.

Tabla 1.6. Poder Calorífico del GLP.

Fuente: <http://www.coopelec.com.ar/gas/index.php?opc=gpl>

	Poder calorífico. (Kcal/Kg).	
	Poder calorífico inferior.	Poder calorífico superior.
Butano comercial.	10 983	11 867
Propano comercial.	11 082	12 052

1.5.3.2 Aire de combustión.

El Oxígeno necesario para la combustión, normalmente, es suministrado a través de una corriente de aire. Para conseguir la combustión completa del combustible tenemos que garantizar que existe el suficiente Oxígeno.

En la combustión, es crítica la relación combustible-oxígeno (aire). Si esta relación es muy pequeña, el combustible será muy pobre para quemarse y si es excesivamente grande, la mezcla será excesivamente rica para arder.

El límite de la relación combustible-oxígeno se llama límite de inflamabilidad del combustible. Los límites inferior y superior de inflamabilidad indican el porcentaje de combustible en el aire por debajo y por encima del cual la flama no se propaga.

Cuando la flama se inicia en mezclas que tienen composiciones dentro de estos límites se propaga y, por lo tanto las mezclas son inflamables, ver Tabla 1.7.

Tabla 1.7. Límite de Inflamabilidad de Gases en el Aire.

Fuente: Libro, Manual del Ingeniero Mecánico, Marks, Pág. 7-22.

GAS.	LIMITE DE INFLAMABILIDAD EN AIRE % EN VOLUMEN.	
	Inferior.	Superior.
Metano.	5.0	15.0
Etano.	3.0	12.4
Propano.	2.1	9.5
Butano.	1.8	8.4
Hidrógeno.	4.0	75.0
Monóxido de Carbono.	12.5	74.2
Gas Natural.	4.8	13.5
Gasógeno.	20.2	71.8

1.5.3.3 Factores para una correcta combustión.

En la práctica no interesa tener una combustión perfecta, sino tener la máxima eficiencia de la combustión posible. En cualquier proceso de combustión se debe presentar atención a los siguientes tres puntos:

1. Preparar el combustible para su combustión; si es líquido hay que atomizarlo previamente.
2. Asociar el combustible y el aire en las proporciones adecuadas y a la temperatura correcta para el encendido y la combustión.
3. Mantener una cantidad suficiente de calor en la zona de combustión, con el objeto de mantener una temperatura en el hogar que me permita una adecuada vaporización del combustible.

Resumiendo la combustión depende de “tres T”:

- Tiempo;
- Temperatura y;
- Turbulencia.

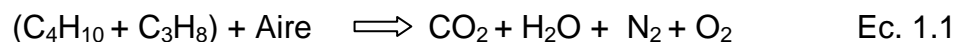
1.5.4 ANÁLISIS ESTEQUIOMÉTRICO.

El GLP es un combustible gaseoso constituido por Propano (C_3H_8), Butano (C_4H_{10}), Propileno (C_3H_6), Butileno (C_4H_8) e Isobutano ($(CH_3)_2CHCH_3$).

Siendo lo más habitual y representativo los dos primeros por lo que para el análisis estequiométrico se considera el 40% de Butano (C_4H_{10}) y 60% de Propano (C_3H_8).¹¹

1.5.4.1 Ecuación Estequiométrica de la Combustión.

La ecuación química del proceso de la combustión del GLP relaciona los reactivos que son de dos tipos; combustible, propano y butano y comburente u oxidante, el aire, para así obtener los productos que en general son el dióxido de carbono, nitrógeno, vapor de agua y oxígeno residual, a continuación se muestra la ecuación 1.1 con los componentes ya mencionados.



1.5.4.2 Combustión con Aire Teórico.

La combustión se puede definir simplemente como una reacción química durante la cual se oxida un combustible y se libera gran cantidad de energía; en la propia naturaleza existe el agente oxidante más utilizado en los procesos de combustión, el Aire.

A continuación se presenta la combustión del GLP, la cual se la realiza en presencia del 100% de aire.

¹¹ Pemex, Gas y Petroquímica Básica, centro de Control Nacional de Ductos.

Combustible: GLP (Gas Licuado de Petróleo).

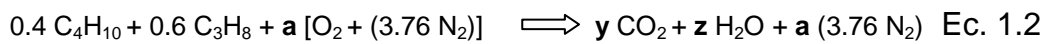
Composición: 40% Butano (C₄H₁₀) y 60% Propano (C₃H₈).

Comburente: Aire.

Composición: 23.2% O₂ y 76.8% N₂ (Expresado en Libras).

21% O₂ y 79% N₂ (Expresado en Volumen).

Reemplazando en la ecuación 1.1 los datos anteriores se obtienen:



Realizando el balance químico de la ecuación 1.2 da como resultado el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\text{H: } 0.4 \times 10 + 0.6 \times 8 = 2z$$

$$\text{O: } 2a = 2y + z$$

$$\text{C: } 0.4 \times 4 + 0.6 \times 3 = y$$

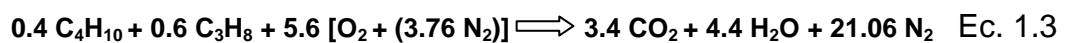
El resultado de las ecuaciones es:

$$a = 5.6$$

$$y = 3.4$$

$$z = 4.4$$

Reemplazando los resultados anteriores en la ecuación 1.2 se tiene:



La expresión anterior (ecuación 1.3) es la ecuación de combustión para el GLP, la misma que será utilizada posteriormente para los análisis térmicos.

1.6 VENTILADORES.

Un ventilador es una máquina rotativa que se utiliza para incrementar la presión del aire o de un gas con el fin de forzar al aire a través de ductos, sistemas de ventilación, calefacción.

Las presiones que se tiene en un ventilador son las siguientes:

- **Presión Estática.-** Es la diferencia entre la presión estática de salida y la presión total a la entrada. Es una presión debida a la compresión.
- **Presión Dinámica.-** Es el promedio de las velocidades a la salida del ventilador. Es una presión debida al movimiento del impulsor.
- **Presión Total.-** Es la suma de la presión estática y dinámica

1.6.1 TIPOS DE VENTILADORES.

Los ventiladores se clasifican en:

- Ventiladores Axiales.
- Ventiladores Centrífugos.

1.6.1.1 Ventiladores Axiales.

Son aquellos que tienen la entrada y la salida de aire en el mismo eje. Su característica principal es que trabajan a bajas presiones, son usados para mover grandes caudales de aire.

Los Ventiladores Axiales a su vez se subdividen en:

- Ventiladores de Propulsión.
- Ventiladores con Envolvente.
- Ventiladores Murales.

1.6.1.1.1 Ventiladores de Propulsión.

Los ventiladores de propulsión tienen un funcionamiento casi axial, toman aire de un lado y lo descargan del otro lado.

Son usados para brindar ventilación en viviendas y espacios de trabajo con el fin de brindar comodidades. Las velocidades de operación están desde las 600 a 1750 rpm, por lo que utilizan motores eléctricos.

1.6.1.1.2 Ventiladores con Envolvente.

Los ventiladores con envolvente son muy parecidos a los ventiladores de propulsión, la diferencia entre estos dos, es que los ventiladores de envolvente están montados dentro de un ducto cilíndrico.

Se clasifica según la posición del impulsor, ver Figura 1.26.

- A.** Impulsores.- Tienen entrada libre y salida entubada.
- B.** Extractores.- Tienen entrada entubada y salida libre.
- C.** Impulsores Extractores.- Tienen entrada y salida entubada.

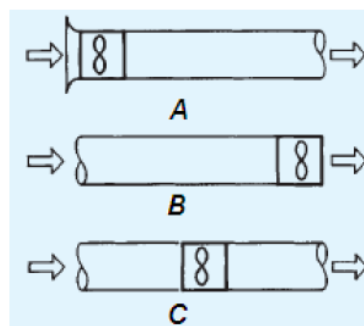


Figura 1.26: Ventiladores con Envolvente.

1.6.1.1.3 Ventiladores Murales.

A este tipo de ventiladores se los conoce como extractores, son utilizados en el campo de la ventilación, ver Figura 1.27.

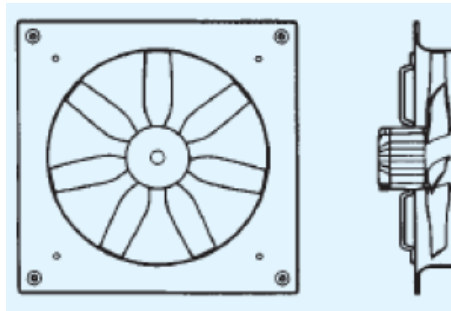


Figura 1.27: Ventiladores Murales.

1.6.1.2 Ventiladores Centrífugos.

Los ventiladores centrífugos toman aire por el centro del rotor, este es lanzado hacia fuera por las aspas generando energía cinética, la entrada y la salida de aire forman un ángulo de 90°.

El aire expulsado por las aspas pasa por la voluta o carcasa del ventilador, convirtiendo la energía cinética en una presión de gas aumentada la que finalmente es entregada a los ductos, ver Figura 1.28.

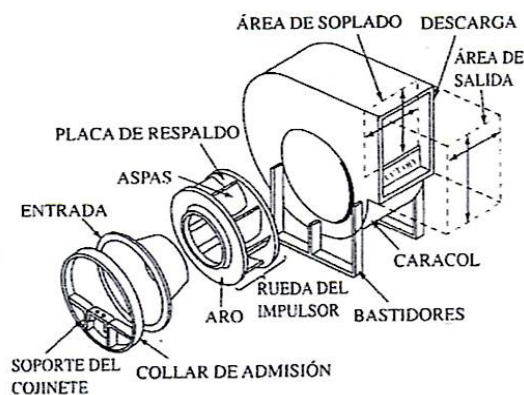


Figura 1.28: Ventiladores Centrífugos. Montaje.

1.7 SENSORES.

La automatización dentro de los sistemas de producción, necesita la utilización de componentes que sean capaces de adquirir y transmitir información relacionada con el proceso de producción, los sensores cumplen con estos requerimientos en la tecnología de medición.

Los sensores proporcionan la información al control en forma de variables individuales del proceso. Estas variables son físicas, tales como: temperatura, presión, fuerza, longitud, ángulo de giro, nivel y caudal, etc.

1.7.1 SENSORES PARA TEMPERATURA.

La temperatura es el parámetro físico más común que se mide en una aplicación industrial, incluso en el caso en que el parámetro de interés no es la temperatura, teniendo por tal motivo un alto grado de importancia, ya que nos sirve como punto de referencia a bastantes eventualidades y diagnósticos.

Los diferentes métodos de medición de temperatura desde el punto de vista electrónico, entre los principales son:

- Sensores de temperatura con termopares.
- Circuitos integrados.
- Sensores de temperatura resistivos.

1.7.1.1 Sensores de Temperatura con Termopares.

El Termopar también llamado termocupla, es un dispositivo para la medición de la temperatura, basado en efectos termoeléctricos.

Es un circuito formado por dos conductores de metales diferentes o aleaciones de metales diferentes, unidos en sus extremos y entre cuyas uniones existe una diferencia de temperatura originando una fuerza electromotriz.

El valor de la fuerza electromotriz proporcional a la temperatura, dependiendo del material de los conductores ver Figura 1.29.

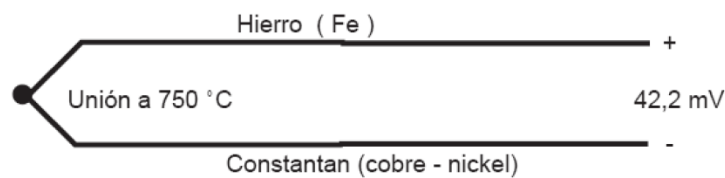


Figura 1.29: Termocupla Tipo J.

Normalmente las termocuplas industriales se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina), en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables, protegido adentro de una caja redonda de aluminio (cabezal), como se indica en la Figura 1.30.



Figura 1.30: Termocupla tipo Cabezal.

1.7.1.1.1 Tipos de Termocuplas.

En la Tabla 1.8 se muestran la clasificación de los diferentes tipos de termocuplas existentes.

Tabla 1.8. Clasificación Básica de las Termocuplas.

Fuente: American Society for Testing and Materials (ASTM).

TIPO	DENOMINACIÓN	COMPOSICIÓN	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	F.E.M. (MV)
B	Platino-rodio vs Platino-rodio	PtRh (30%) - PtRh (6%)	0 – 1500	0 – 10
R	Platino-rodio vs Platino	PtRh (13%) – Pt	0 – 1400	0 – 16
S	Platino-rodio vs Platino	PtRh (10%) – Pt	0 – 1300	0 – 13
J	Hierro vs Constatán	Fe – CuNi	- 200 – 700	- 8 – 39
K	Níquel-cromo vs Níquel	NiCr – Ni	0 – 1000	0 – 41
T	Cobre vs Constatán	Cu – CuNi	- 200 – 700	- 5 – 15
E	Níquel-cromo vs Constatán	NiCr – CuNi	- 200 – 600	- 10 – 53

- **Termocupla Tipo J.-** Este tipo de Termocuplas resultan satisfactorias para uso continuo en atmósferas oxidantes, reductoras e inertes y en vacío hasta 760°C. Por encima de 540°C, el alambre de hierro se oxida rápidamente.

Se usan en la industria del plástico, goma (extrusión e inyección) y fundición de metales a bajas temperaturas.

- **Termocupla Tipo K.-** Se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300°C, por ejemplo fundición de cobre y hornos de tratamientos térmicos.

- **Termocuplas Tipos R, S, B.-** Se usan casi exclusivamente en la industria siderúrgica (fundición de acero).
- **Termocuplas Tipo T.-** Eran usadas en la industria de alimentos, pero han sido desplazadas en esta aplicación por los Pt100.

En la Figura 1.31 se muestra las diferentes curvas (Temperatura-Voltaje) para cada tipo de termocuplas.

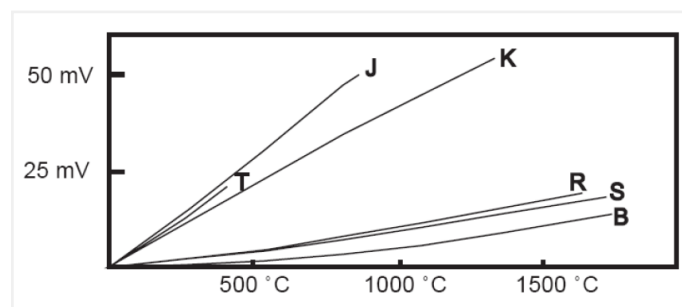


Figura 1.31: Curvas de distintos tipos de Termocuplas.

1.7.1.2 Circuitos Integrados.

Son sensores de temperatura con base en semiconductores, tienen la forma de transistores, capacitores y resistencias.

Entre sus características se tiene:

- Son lineales.
- Entregan voltajes o corrientes lineales a la salida.
- No tienen aplicaciones industriales.
- No tienen protecciones.
- No son sensores activos ya que tienen acondicionamiento incluido, se necesita polarizarlos.

El circuito integrado LM335, un sensor de temperatura de estado sólido, que posee una sensibilidad de 10 mV/°K.

Se usa en aplicaciones en las que se necesita medir temperaturas comprendidas entre -10 y 100°C , su diseño es similar al Zener de dos terminales, ver Figura 1.32.

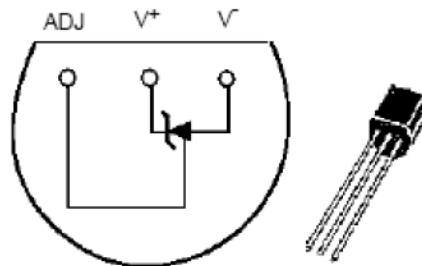


Figura 1.32: Circuito Integrado LM335.

1.7.1.3 Sensores de Temperatura Resistivos.

Las **RTD** (Resistance Temperature Detector) son sensores basados en elementos conductores, están contruidos con una resistencia de platino (Pt), llamadas también PRTD, aunque también se utilizan otros materiales, como se puede apreciar en la Tabla 1.9.

Tabla 1.9: Características de los Materiales usados para las RTD.

Fuente: http://www.medicion_control_industrial.term

MATERIAL.	RANGO DE TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$).	VARIACIÓN ($\%/^{\circ}\text{C}$) a 25°C .
Platino.	-200 a 850	0.39
Níquel.	-80 a 320	0.67
Cromo.	-200 a 260	0.38
Níquel-Acero	-200 a 260	0.46

Las RTD tienen una resistencia entre 20 y 20000 Ω . La ventaja más importante es que son lineales dentro del rango de temperatura entre 200°C y 850°C .

1.7.2 TERMISTORES.

Un termistor es un componente electrónico cuya resistencia varía sensiblemente con la temperatura. Se trata de una resistencia no lineal, ya que la corriente que la atraviesa no es función lineal del voltaje.

1.7.2.1 Tipos De Termistores.

Se clasifican en termistores NTC y PTC.

1.7.2.1.1 Termistor NTC.

Un termistor de coeficiente negativo de temperatura (NTC) es aquel cuya resistencia disminuye a medida que la temperatura aumenta, funcionan por calentamiento externo y son utilizados como sensores de temperatura.

1.7.2.1.2 Termistor PTC.

Un termistor de coeficiente positivo de temperatura (PTC) es aquel cuya resistencia aumenta conforme aumenta la temperatura, funcionan por autocalentamiento y se emplean para proteger los componentes electrónicos de un circuito de las sobrecorrientes, ver Figura 1.33.



Figura 1.33: Aspecto externo de un PTC.

1.7.2.2 Características Resistencia/Temperatura.

La Figura 1.34 muestra una comparación típica entre las curvas características resistencia/temperatura de un termistor PTC y una NTC.

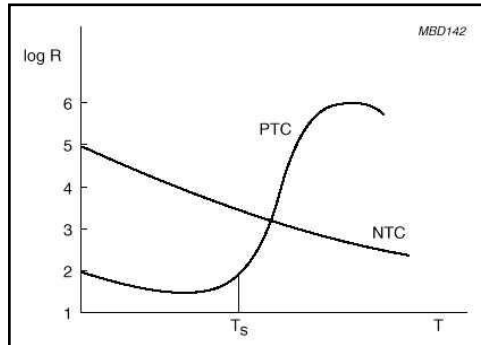


Figura 1.34: Características Resistencia/Temperaturas de una PTC.

1.7.2.3 Ventajas e Inconvenientes.

Las ventajas de los termistores son:

- Alta resistividad de los materiales empleados, permiten disponer de termistores de tamaño reducido.
- La sensibilidad elevada, con grandes variaciones de resistencia ante pequeñas variaciones de temperatura. Facilita su utilización.
- Reducido costo del sensor.

Los inconvenientes de los termistores son:

- El margen de funcionamiento de un termistor, de -100°C a 450°C.
- La variación de la resistencia con la temperatura muy no lineal.

1.7.2.4 Aplicaciones.

Los termistores se utilizan en una gran variedad de aplicaciones:

- Limitación de corrientes.
- Sensor de temperatura.
- Protección contra el recalentamiento de equipos.
- Indicadores de nivel.
- Resistores de compensación.

1.7.3 SENSORES DE LLAMA.

Los sensores de llama tienen como fin principal hacer de la combustión, un proceso seguro, con cualquier tipo de combustible y cualquier tipo de quemador.

En los combustibles del tipo gaseoso, se utiliza como sensor de llama:

- La varilla de ionización.
- Sensores ultravioletas (UV);
- Infrarrojos (IR).

En los combustibles líquidos, se utiliza como sensor principalmente:

- La fotocélula o fotoresistor.
- Los sensores infrarrojos (IR).

La llama tiene la propiedad de conducir y rectificar la corriente, estas particularidades son las que aprovechan los equipos para realizar el censado de la misma por medio de la varilla de ionización.

Otras de las propiedades de la llama son la emisión de rayos UV e infrarrojos, los cuales también se aprovechan para ser detectados por sensores como las lámparas UV e infrarroja, ver Figura 1.35.



Figura 1.35: Aspecto externo de un sensor de llama ultravioleta.

1.8 MICRO CONTROLADORES.

La automatización con micro controladores PLC's (Programador Lógico Controlable) ha tenido una enorme acogida en el campo industrial, principalmente por su gran versatilidad y sencillez en cuanto a conexiones y fácil operación del mismo, ver la Figura 1.36.



Figura 1.36: Aspecto externo de un PLC's LOGO.

Dentro de las funciones que un PLC's puede cumplir se encuentran operaciones como las de detección y de mando, en las que se elaboran y envían datos de acción a los pre-accionadores y accionadores.

1.8.1 DESCRIPCIÓN DE UN PLC'S.¹²

El Programador Lógico Controlable (PLC's), es un dispositivo electrónico, diseñado para controlar en tiempo real dentro de un entorno industrial, máquinas o procesos lógicos, y/o secuenciales.

¹² http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/plcautomatizacion/

Un PLC's trabaja en base a la información recibida por los captadores y el programa lógico interno, actuando sobre los accionadores de la instalación.

Sus principales beneficios son:

- Menor cableado, reduce costos y tiempos de parada de planta.
- Reducción del espacio en los tableros.
- Mayor facilidad para el mantenimiento y puesta en servicio.
- Flexibilidad de configuración y programación, lo que permite adaptar fácilmente la automatización a los cambios del proceso.

1.8.2 CAMPOS DE APLICACIÓN DE LOS PLC'S.

Hoy la tecnología ofrece PLC's acorde las necesidades de cada usuario y cada aplicación.

Para automatizaciones de pequeña escala como:

- Dosificadores.
- Alimentadores para máquinas.
- Montacargas.
- Lavadoras industriales y de automóviles.
- Calefacción, vidrieras, etc.,

Para automatizaciones de mediana complejidad se utilizan por lo general PLC's compactos, donde se necesitan de señales analógicas y comunicación como:

- Máquinas inyectoras de plástico, goma etc.
- Cintas transportadoras, etc.

Para automatizaciones de mayor complejidad se utilizan PLC's modulares (ver Figura 1.37), como:

- Supervisión remota de subestaciones de energía, estaciones de bombeo, plantas potabilizadoras de agua etc.
- Sistemas de control de luces en aeropuertos.
- Líneas de producción en la industria automotriz.
- Procesos molienda en la industria cementera, etc.

Para automatizaciones donde la complejidad del proceso requiere gran velocidad de procesamiento del programa, manejo de lazos de control, alta prestación en múltiples protocolos de comunicación, elevada cantidad de entradas/salidas controladas en forma remota y descentralizada, se utilizan por lo general grandes PLC's modulares como:

- Automatización de una planta siderúrgica, de un oleoducto, de una refinería, de una planta minera completa, de una planta de extracción de aceites, etc.



Figura 1.37: Aspecto externo de un PLC's Modular.

CAPÍTULO 2

DISEÑO Y SELECCIÓN

2.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA.

El sistema de calentamiento está encaminado a disminuir los costos de producción, el sistema trata de un Horno Estacionario con el empleo de un quemador de flujo directo cuya fuente de calor es la combustión de GLP.

El objetivo principal es curar el material alojado en el interior del horno, el mismo que es cubierta con el polvo electrostático en la cabina de pintado ya construida, al exponerse al calor se adhiere para formar una capa continua y uniforme sobre dicho material, proporcionando una alta durabilidad y resistencia a una temperatura de 200°C por un tiempo estimado de 30 minutos (temperatura y tiempo establecidos por los fabricantes de la pintura).

El sistema debe mantener una temperatura casi constante en el interior del horno, aproximadamente con una variación de $\pm 5^{\circ}\text{C}$, por lo que se ve la necesidad de trabajar con dos potencias de flama, es decir la flama de mayor longitud (mayor flujo de gas) hasta alcanzar la temperatura máxima (205 °C) y la de menor longitud hasta llegar a la temperatura mínima (195 °C).

El sistema a gas a implementar cubre todo el Hogar con la temperatura necesaria con el fin de garantizar la homogeneidad del curado de la pintura electroestática a la salida del hogar.

2.1.1 CONDICIONES FÍSICAS.

El horno de curado para pintura electrostática se construirá basándose en dos aspectos importantes:

- Primero cumplir las expectativas de la mediana industria y;
- Segundo utilizar el espacio físico determinado.

2.1.1.1 Dimensionamiento de la cámara de curado.

En este punto del proyecto es fundamental determinar las dimensiones que tendrá la cámara de carga, para establecer el volumen del horno y empezar con el diseño estructural y térmico del mismo.

En la Empresa se consideró que el producto a curar de mayor tamaño son armarios, que tiene por dimensiones 1.00 x 1.50 x 0.40 metros (ancho, alto y largo respectivamente).

Para cambios eventuales que se puedan efectuar en este producto con respecto a la altura interior del horno hay que considerar que una persona promedio en el Ecuador mide 1.67 metros, con esta medida se puede afirmar que una altura prudente para facilitar la colocación y extracción de los productos es 2.00 metros.

2.1.1.2 Distribución de los activos en el interior del horno.

En el apartado anterior se analizó la altura del horno, pero para poder definir las dimensiones de la base hay que tener en cuenta el volumen de producción deseado.

El curado del armario antes mencionada está entre 20 a 28 unidades por semana, es decir un promedio de 24 unidades semanales, para cumplir con esta cantidad es necesario realizar una distribución de las piezas en el interior.

Las dimensiones de acuerdo a las exigencias antes mencionadas estarían alrededor de 2.40 x 3.60 metros para la base. Para optimizar el espacio en el interior del horno se realizó la siguiente distribución, ver Figura 2.1.

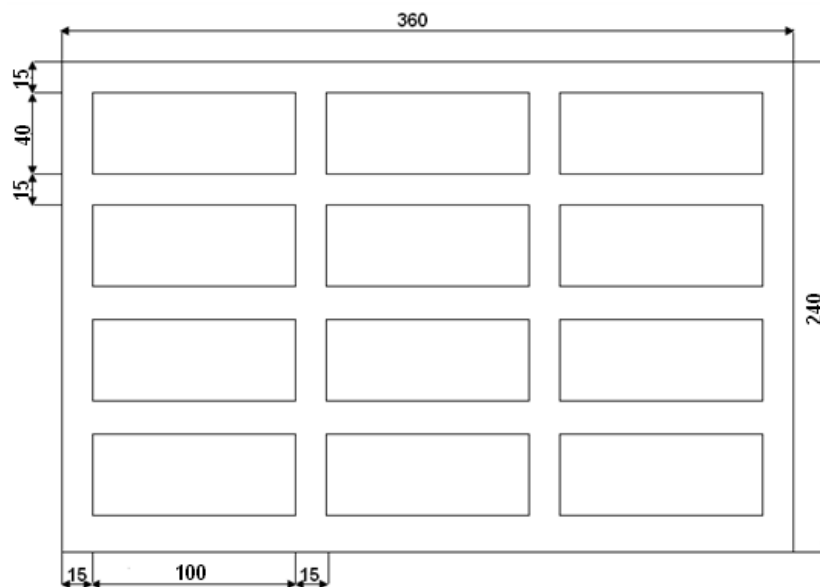


Figura 2.1: Distribución de los productos en el interior del horno.

En la Figura 2.1 se puede ver que colocando 12 productos en el interior del horno se obtienen como dimensiones de la base de 1.60 x 3.00 metros, dejando unos espacios entre productos y las paredes del horno de 15 centímetros que es suficiente para evitar el contacto entre las piezas.

2.1.1.3 Dimensiones definitivas de la cámara de curado.

Como ya se definió anteriormente la cámara de curado tendrá las siguientes dimensiones:

Largo: 3.60 metros.

Alto: 2.00 metros.

Ancho: 2.40 metros.

El volumen interior del horno es de 17.3 m^3 , este valor es importante para los cálculos posteriores del diseño térmico, ver Figura 2.2.

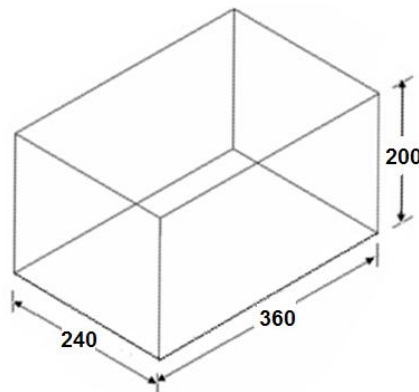


Figura 2.2: Dimensiones de la cámara de transferencia de calor.

2.1.2 CAPACIDAD DE CARGA.

Dada las necesidades de la Empresa se tomará como dato para los respectivos cálculos una capacidad de carga de 120 Kg, sabiendo que la producción es continua durante los cinco días laborables de la semana.

Esta capacidad de carga puede ser variable dependiendo principalmente de la forma y tamaño de los activos a curar.

2.2 PARÁMETROS DE DISEÑO.

2.2.1 MATERIALES DE PAREDES INTERNAS Y EXTERNAS.

Los materiales que se emplearán son planchas de Acero ASTM-A 36 de las siguientes especificaciones:

Planchas interiores y exteriores de: **2.40 m x 1.20 m x 1 mm de 7.5 $\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$**

Peso total de las planchas interiores (W_1) como exteriores (W_2) en el techo es:

Área del techo:

$$A = 3.60 \times 2.40 = 8.64m^2$$

$$W_1 = W_2 = 8.64 \times 7.5$$

$$W_1 = W_2 = 65 \text{ Kg.}$$

2.2.2 MATERIALES DE TUBO CUADRADO.

Para levantar la estructura se emplearán tubos cuadrados Astm-A-569 de acero (40 mm x 40 mm x 3 mm) con una dimensión longitudinal total de 48.00 metros cuyas especificaciones se indican en la Tabla 2.1.

El espesor de la estructura depende de los cálculos posteriores del diseño térmico en los que se presentarán las situaciones más críticas y se tratará de optimizar los materiales.

Tabla 2.1. Propiedades Estáticas del Tubo Cuadrado.

Fuente: Industrias Unicon C.A.

PROPIEDADES ESTÁTICAS.		
Denominación.	Valor.	Unidad.
Módulo de elasticidad (E).	2.2×10^6	$\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$
Resistencia a la Fluencia (Sy).	2 536	$\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$
Área (A).	4.13	cm^2
Peso Aproximado (W).	3.24	$\frac{\text{Kg}}{\text{m}}$
Propiedades del eje "x" = Propiedades del eje "y"		
Inercia (I_x=I_y).	9.01	cm^4
Módulo de Sección (Z_x=Z_y).	5.57	cm^3
Radio de Giro (r_x=r_y).	1.48	Cm

Peso total del tubo cuadrado (**W₃**) es:

$$W_3 = 48 \times 3.24$$

$$W_3 = 156 \text{ Kg.}$$

Peso del aislamiento térmico (**W₄**) es:

$$W_4 = 1 \text{ Kg. (Asumido)}$$

Peso de los ductos (**W₅**) es:

$$W_5 = 10 \text{ Kg.}$$

Es el peso en cada uno de los 3 puntos de apoyo en el techo, para un peso total de 30 Kg.

Peso de dos personas (W_6):

$$W_6 = 200 \text{ Kg.}$$

La estructura tiene 6 pórticos, ver Figura 2.3, por lo que el peso del techo se calcula a partir de la ecuación 2.1:

$$W_1' = \frac{W_1+W_2+W_3+W_4}{6} \quad \text{Ec. 2.1}$$

$$W_1' = 48 \text{ Kg.}$$

El peso concentrado en cada pórtico P se calcula con la ecuación 2.2:

$$P = W_1' + W_5 + W_6 \quad \text{Ec. 2.2}$$

$$P = 258 \text{ Kg.}$$

El valor calculado de P es el peso concentrado que soportara cada pórtico.



Figura 2.3: Estructura del Horno estimada con 6 pórticos.

2.2.3 AISLAMIENTO TÉRMICO.

Los aislamientos térmicos irán entre las planchas de acero interiores y exteriores de las paredes y en el exterior de los ductos con el fin de evitar una pérdida excesiva de calor que se traduce en ahorro de energía en el curado de los activos, ver Figura 2.4.

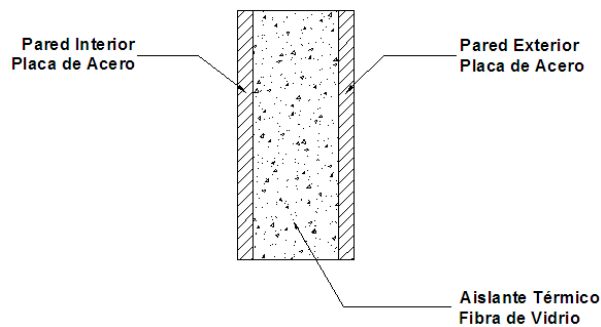


Figura 2.4: Paredes del Horno y Aislante Térmico.

2.2.3.1 Aislamiento en paredes y ductos.

Como la temperatura no es extremadamente alta, no se justifica el uso de material refractario como aislante, las temperaturas bajo las cuales va a operar el horno no afectan las propiedades del acero ni del aislante.

Para el aislamiento en paredes, techos, puertas y ductos se utilizará como material aislante lana de vidrio, cuyas características térmicas se encuentran en el **Anexo: A**, estas son:

K_1 = Coeficiente de conductividad térmica de lana de vidrio mineral.

$$K_1 = 0.044 \frac{W}{m \cdot K}$$

2.2.4 TEMPERATURAS.

- La temperatura ambiente mínima: **10°C**.
- La temperatura apropiada de curado: **200°C**.

Donde:

$$\Delta T_c = 190^\circ C = 190^\circ K$$

2.2.5 CAUDAL DE AIRE DE INYECCIÓN.

Actuará un ventilador de inyección por la parte inferior, la cantidad de aire necesaria para la inyección es de 120 veces por hora el volumen interno de la cámara, y se calcula con la ecuación 2.3.

$$C_1 = V_i \times \#r \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:

C₁ = Caudal de inyección.

V_i = Volumen interno de la cámara.

#r = Número de renovaciones de aire.

Reemplazando los datos en la ecuación 2.3 se tiene:

$$V_i = 610 \text{ ft}^3.$$

#r = 2 veces por minuto.

$$C_1 = 1\,220 \text{ cfm.}$$

2.2.6 CAUDAL DE AIRE DE DESCARGA.

La cantidad de aire necesario para la descarga es 10% menos el caudal de inyección es decir:

$$C_2 = C_1 - 0.1 C_1 \quad \text{Ec. 2.4}$$

$$C_2 = 1\,098 \text{ cfm.}$$

2.2.7 VELOCIDAD EN DUCTOS.

Los ductos tienen una velocidad máxima recomendable con el objetivo de mantener un factor de ruido controlado, tanto en la circulación de aire en ductos principales como ramales de entrada y de retorno.

En la Tabla 2.2 se puede seleccionar las máximas velocidades para diversas aplicaciones.

Tabla 2.2. Velocidad máxima recomendada en ductos (fpm).

Fuente: Manual Pintuco 2003.

APLICACIÓN	FACTOR DE RUIDO DUCTO PRINCIPAL	FACTOR DE FRICCIÓN EN DUCTOS			
		DUCTO PRINCIPAL		RAMALES	
		SUMINISTRO	RETORNO	SUMINISTRO	RETORNO
RESIDENCIAS	600	1000	800	600	600
APARTAMENTOS CUARTOS DE HOTEL CUARTOS DE HOSPITAL	1000	1500	1300	1200	1000
OFICINAS PRIVADAS CUARTOS DIRECTORIOS LIBRERIAS	1200	2000	1500	1600	1200
TEATROS AUDITORIOS	800	1300	1100	1000	800
OFICINAS GENERALES RESTAURANTES DE CLASE ALTA TIENDA DE CLASE ALTA BANCOS	1500	2000	1500	1600	1200
TIENDAS DE CLASE MEDIA CAFETERIA	1800	2000	1500	1600	1200
INDUSTRIA	2500	3000	1800	2200	1500

De la Tabla 2.2, se escogió la velocidad en el ducto de:

8,1 (m/s) ≈ 1800 (fpm) recomendada por fabricantes.

2.2.8 MATERIAL Y UNIONES EN DUCTOS.

Los ductos se construirán de manera que proporcione resistencia estructural y estabilidad. Los ductos se unen mediante el uso de cinchos y ganchos de S, ver Figura 2.5.

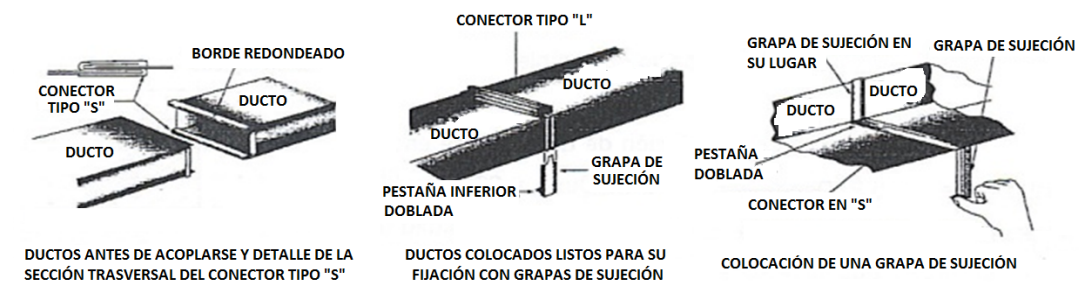


Figura 2.5: Procedimiento para la Unión de Ductos.

Es de extrema importancia que se mantenga el mínimo de fuga de aire en el ducto. Con este fin se puede sellar uniones utilizando cintas.

2.2.9 VENTILADORES.

Se utilizará un ventilador de inyección. El ventilador se escogerá dependiendo de los siguientes factores:

- 1) Cantidad de aire necesario.
- 2) Presión estática.
- 3) Densidad del aire en Ambato.
- 4) Tipo de ventilador.
- 5) Espacio disponible.

2.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL HORNO.

Para el diseño de la estructura del horno se utilizará un diagrama de cuerpo libre con el objetivo de obtener un mejor entendimiento. La cual es una estructura simétrica con pórtico de soporte fijo, ver Figura 2.6.

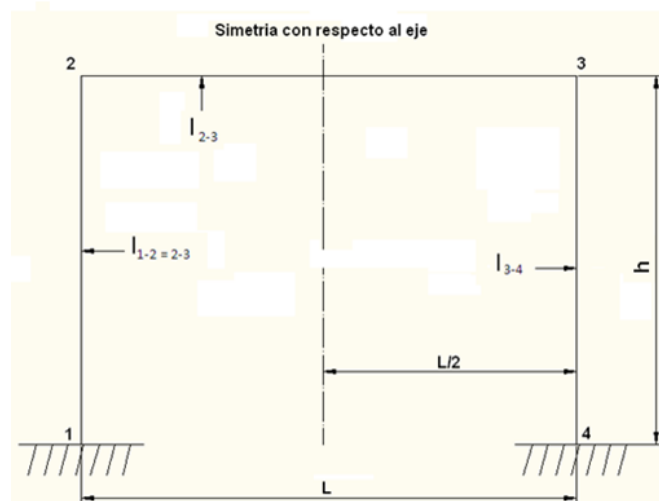


Figura 2.6: Estructura simétrica en pórtico de soporte fijo.

Las notaciones, coordenadas y constantes de la estructura se encuentran en el diagrama de cuerpo libre, ver Figura 2.7.

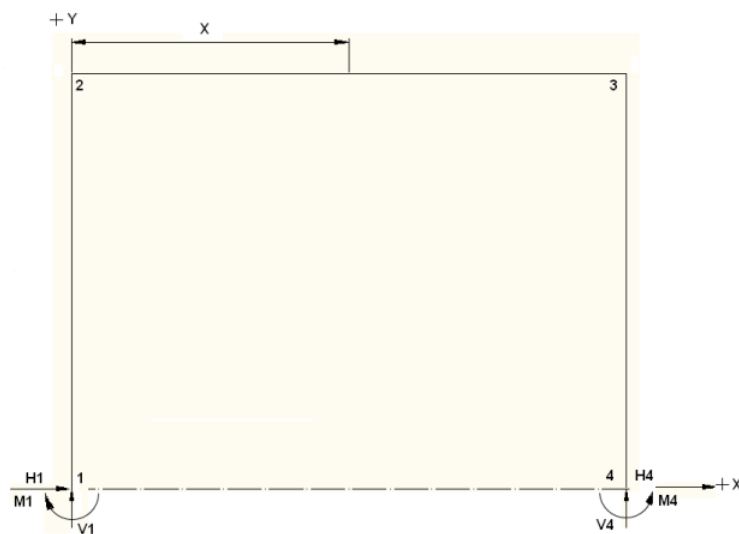


Figura 2.7: Diagrama de cuerpo libre del pórtico.

Las constantes de la estructura se obtiene por las siguientes formulas:

$$\Phi = \frac{I_{1-2} \cdot L}{I_{2-3} \cdot h} \quad \text{Ec. 2.5}$$

$$F = 6[2 + (\frac{1}{\Phi})] \quad \text{Ec. 2.6}$$

Donde:

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.

Reemplazando los siguientes datos en la ecuación 2.5 se tiene:

$$I_{1-2} = I_{2-3} = 9.01 \text{ cm}^4$$

$$L = 3.60 \text{ m}$$

$$h = 2.00 \text{ m}$$

$$\Phi = 1.8$$

Reemplazando Φ en la ecuación 2.6 se tiene:

$$F = 15.3$$

2.3.1 CÁLCULO DE MOMENTOS.

Para el cálculo de momentos ver las Figuras 2.8 y 2.9.

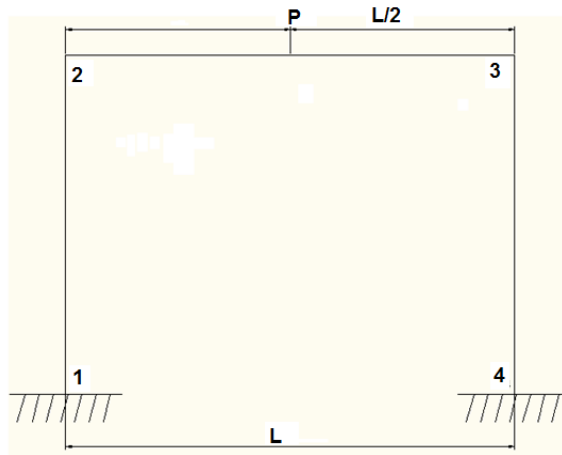


Figura 2.8: Pórtico fijo con carga concentrada en el centro.

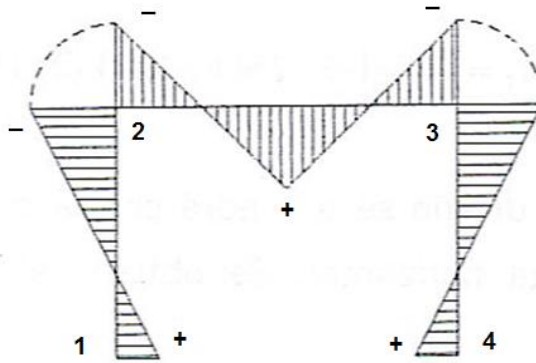


Figura 2.9: Momentos de una carga concentrada en el centro.

Los momentos en las secciones correspondientes de la mitad derecha de la estructura, son idénticos de la mitad izquierda.

El cálculo de momentos en los puntos 1 y 4 se resuelve con la ecuación 2.7 y en los puntos 2 y 3 con la ecuación 2.8.

$$M_1 = M_4 = \frac{3 PL}{4F} \quad \text{Ec. 2.7}$$

$$M_2 = M_3 = \frac{-3 PL}{2F} \quad \text{Ec. 2.8}$$

Donde:

P = Carga concentrada.

M_n = Momento de flexión en la sección n.

L = Arco entre las líneas centrales de los apoyos.

Reemplazando los siguientes datos en las ecuaciones 2.7 y 2.8 se tiene:

$$P = 258 \text{ Kg.}$$

$$L = 3.60 \text{ m}$$

$$F = 15.3$$

$$M_1 = M_4 = 45.5 \text{ Kg. m.}$$

$$M_2 = M_3 = -91.1 \text{ Kg. m.}$$

El momento de diseño se obtendrá con la carga concentrada en el punto medio de la viga horizontal, se diseña con la ecuación 2.9.

$$M_x = \frac{PX}{2} + M_2 \quad \text{Ec. 2.9}$$

Donde:

P = Carga concentrada.

x = Distancia al centro de la viga horizontal.

M_x = Momento de diseño.

M₂ = Momento de flexión en la sección 2.

Reemplazando los siguientes datos en la ecuación 2.9 se tiene:

$$P = 258 \text{ Kg.}$$

$$X = 1.80 \text{ m}$$

$$M_2 = -91.1 \text{ Kg.m}$$

$$M_x = 141.1 \text{ Kg. m}$$

2.3.2 CÁLCULO DE REACCIONES.

Las reacciones horizontales en los puntos 1 y 4 son los mismos por lo que se aplica la ecuación 2.10.

$$H_1 = H_4 = \frac{3M_1}{h} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Donde:

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

M₁ = Momento de flexión en la sección 1.

h = Dimensiones del eje vertical.

Reemplazando los siguientes datos en la ecuación 2.10 se tiene:

$$M_1 = 45.5 \text{ Kg.m}$$

$$h = 2.00 \text{ m}$$

$$\mathbf{H_1 = H_4 = 68.25 \text{ Kg.}}$$

Las reacciones verticales en los puntos 1 y 4 se obtienen por medio de la ecuación 2.11.

$$V_1 = V_4 = \frac{P}{2} \quad \text{Ec. 2.11}$$

Donde:

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

P = Carga concentrada.

Reemplazando el valor de P en la ecuación 2.11 se tiene:

$$P = 258 \text{ Kg.}$$

$$\mathbf{V_1 = V_4 = 129 \text{ Kg.}}$$

2.3.3 CÁLCULO DE ESFUERZOS MÁXIMOS.

El esfuerzo máximo que soporta la viga horizontal se calcula por medio de la siguiente ecuación 2.12.

$$\sigma = \frac{Mx}{Z} \quad \text{Ec. 2.12}$$

Donde:

σ = Esfuerzo máximo que soporta la viga horizontal.

S = Z = Módulo de sección del eje X.

Mx = Momento de diseño.

Reemplazando los siguientes datos en la ecuación 2.12 se tiene:

$$M_x = 141.1 \text{ Kg.m} = 14110 \text{ Kg.cm}$$

$$Z = 5.57 \text{ cm}^3.$$

$$\sigma = 2533 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

2.3.4 ANÁLISIS DE LA COLUMNA RECTA.

2.3.4.1 Propiedades de la sección transversal de la columna.

La tendencia de una columna a pandearse depende de la forma y las dimensiones de su sección transversal junto con su longitud, ver Figura 2.10.

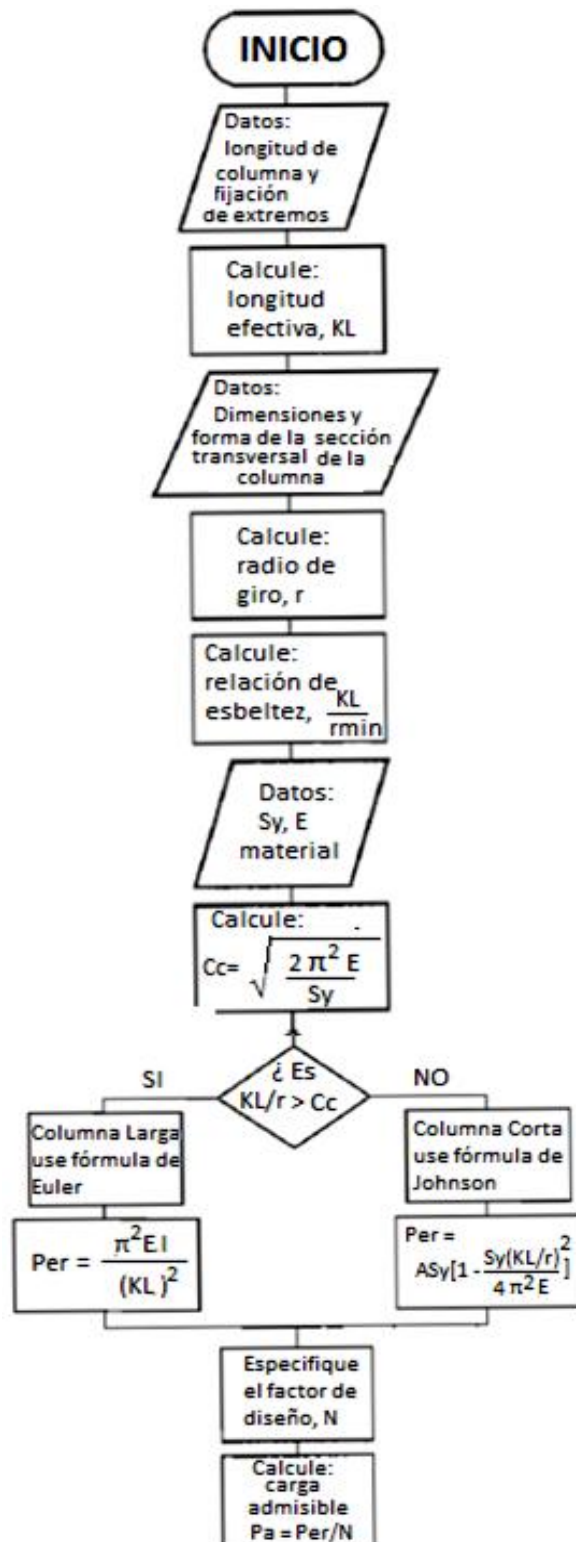
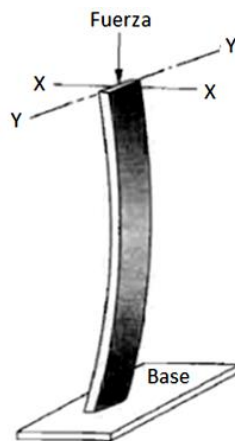


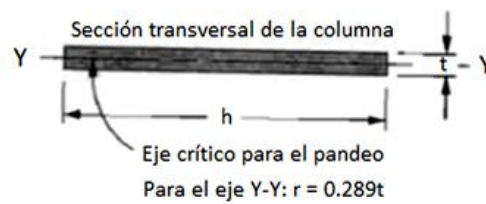
Figura 2.10: Análisis de una columna recta con carga en el centro.¹³

¹³ Diseño de Elementos de Máquinas, cuarta edición, Robert L. Mott.

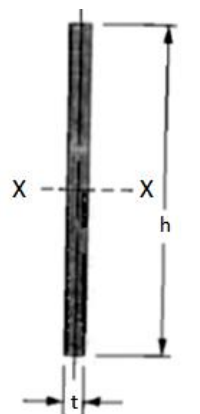
Una columna tiende a pandearse alrededor del eje para el cual el radio de giro al igual que los momentos de inercia son mínimos. En este caso estos valores mínimos se encuentran con respecto al eje Y, como se indica en la Figura 2.11.



(a) Aspecto general de la columna pandeada.



(b) Radio de giro para el eje Y-Y.



(c) Radio de giro para el eje X-X.

Figura 2.11: Pandeo de una columna delgada rectangular.¹⁴

¹⁴ Diseño de Elementos de Máquinas, cuarta edición Robert L. Mott.

2.3.4.2 Fijación de la columna.

El tipo de fijación de la columna indica la manera en que se apoyan los extremos de la columna. Las formas de sujeción son atornilladas, fijas o libres, ver Figura 2.12.

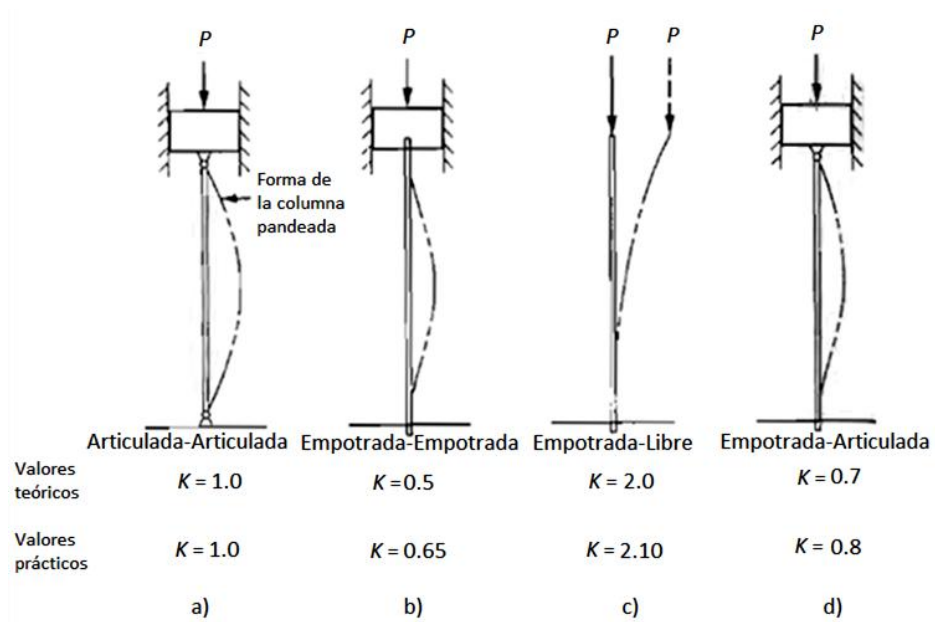


Figura 2.12: Tipos de sujeción para conexiones en los extremos.¹⁵

De la Figura 2.12 se seleccionará el tipo de sujeción de la Figura c el cual es:

Empotrado libre.

Se afianza en su soporte para que no gire, el extremo de la columna está soldada de manera segura a una placa que forma una base rígida aproximándose a una columna de extremo empotrado.

¹⁵ Diseño de Elementos de Máquinas, cuarta edición Robert L. Mott.

2.3.4.3 Longitud efectiva.

La manera en que se apoyan ambos extremos de la columna afecta la longitud efectiva de la misma, se define con la ecuación 2.13.

$$Le = K \cdot L. \quad \text{Ec. 2.13}$$

Donde:

Le = Longitud efectiva.

K = Constante práctica de fijación de los extremos.

L = Arco entre las líneas centrales de los apoyos.

Reemplazando los siguientes valores en la ecuación 2.13 se tiene:

$$K = 2.10$$

$$L = 2.00 \text{ m.}$$

$$Le = 4.20 \text{ m} = 420 \text{ cm.}$$

2.3.4.4 Razón de delgadez.

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 2.14.

$$\text{Razón de delgadez} = \frac{Le}{r_{\min}} = \frac{Le}{r_y} \quad \text{Ec. 2.14}$$

Reemplazando los siguientes valores en la ecuación 2.14 se tiene:

$$Le = 420 \text{ cm.}$$

$$r_y = 1.48 \text{ cm.}$$

$$\text{Razón de delgadez} = 283.8$$

2.3.4.5 Razón de transición de delgadez.

Se utiliza para determinar el tipo de columna, para columnas largas se utiliza la fórmula de Euler y para las columnas cortas la fórmula de J.B. Jhonson.

La razón de transición de delgadez o constante de columna **Cc** se define con la ecuación 2.15.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot E}{S_y}} \quad \text{Ec. 2.15}$$

Donde:

Cc = Constante de columna.

Sy = Resistencia a la fluencia del acero.

E = Módulo de elasticidad del tubo cuadrado.

Reemplazando los siguientes valores en la ecuación 2.15 se tiene:

$$E = 2.2 \times 10^6 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$S_y = 2536 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$C_c = 130.85$$

Debido a que Razón de delgadez es mayor que la Razón de transición de delgadez se trata de una columna larga.

2.3.4.6 Análisis de Columna Larga.

Para el análisis de columnas largas se emplea la fórmula de Euler como se indica en la ecuación 2.16.

$$P_{er} = \frac{(\pi^2 \times E \times I)}{(K \times L)^2} \quad \text{Ec. 2.16}$$

Donde:

Per = Carga crítica a la cual la columna empezará a pandearse.

E = Módulo de elasticidad.

I = Momento de inercia para el tubo cuadrado.

K = Constante práctica de fijación de los extremos.

L = Arco entre las líneas centrales de los apoyos.

Reemplazando los siguientes valores en la ecuación 2.16 se tiene:

$$E = 2.2 \times 10^6 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$I = 9.01 \text{ cm}^4$$

$$K = 2.10$$

$$L = 200 \text{ cm}$$

$$\mathbf{Per = 1109.04 Kg.}$$

La falla se presentará a una carga límite admisible (**Pa**), el concepto de un factor de diseño (**N**) se aplica la carga crítica (**Per**) y no a la resistencia máxima del material (**Sy**).

Para columnas fijas en los extremos con cargas conocidas, se utiliza el factor más bajo de 1.92, ver **Anexo: B**.

$$Pa = \frac{Per}{N} \quad \text{Ec. 2.17}$$

Reemplazando los siguientes valores en la ecuación 2.17 se tiene:

$$Per = 1109.04 \text{ Kg.}$$

$$N = 2$$

$$\mathbf{Pa = 554.52 Kg.}$$

2.4 DISEÑO DE DUCTOS.

Debido a que el intercambiador utilizado es del tipo regenerador donde el fluido caliente fluye a través del mismo espacio seguido de un frío entre los cuales se intercambia el calor, los ductos del sistema serán utilizados para recircular el aire caliente y como intercambiador de calor.

2.4.1 DIMENSIONAMIENTO DE DUCTOS.

Para el dimensionamiento de ductos se sigue los siguientes pasos según el método de la norma ASHRAE para el cálculo del ducto de suministro principal:

1. Con la cantidad de suministro de aire de 1220 cfm y la velocidad escogida de 1800 fpm se ubica estos valores en la gráfica A1, se obtiene el diámetro equivalente de 10.7 in y la pérdida de presión de 0.4 por cada 100 ft de longitud, ver **Anexo: C**.
2. Con el diámetro equivalente de 10.7 in se ubica en la dimensión de ductos del **Anexo: D**, con este valor del diámetro se obtiene los siguientes valores, ver Figura 2.13.

Dimensionamiento rectangular:

$$a = 12 \text{ in} = 30 \text{ cm.}$$

$$b = 8 \text{ in} = 20 \text{ cm.}$$

$$\text{Area: } 0.62 \text{ ft}^2 = 576 \text{ cm}^2$$

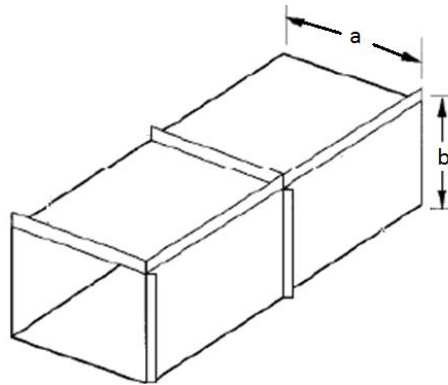


Figura 2.13: Vista del ducto seleccionado.

2.4.1.1 Cálculo de la velocidad del aire de retorno en el ducto.

Para el cálculo de la velocidad del aire de retorno en el ducto se utiliza la ecuación 2.18.

$$Vr = \frac{Q}{Ar} \quad \text{Ec. 2.18}$$

Donde:

Vr = Velocidad del aire en el ducto rectangular.

Q = Caudal de aire en el ducto.

Ar = Área de ducto.

Reemplazando los siguientes valores en la ecuación 2.18 se tiene:

Q = 1098 cfm.

Ar = 0.62 ft²

$$Vr = 1770.96 \frac{ft}{min} = 531.3 \frac{m}{min}$$

2.4.2 PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN DUCTOS Y ACCESORIOS.

Las pérdidas de presión en ductos y accesorios determinan la capacidad de los ventiladores, verifican el funcionamiento del sistema y balancean las cantidades de aire.

2.4.2.1 Cálculo de pérdidas de presión en Ductos.

La caída de presión en ductos será calculada según el método de la fricción igual de la norma ASHRAE. Este método toma en cuenta que existe una pérdida uniforme por fricción por unidad de longitud de ducto. Se utiliza este método para longitudes relativamente cortas en ductos.

Para estimar las pérdidas en ductos se deben estimar las pérdidas por fricción y las pérdidas dinámicas. Las pérdidas por fricción se deben al rozamiento que existe entre el aire y las paredes de los ductos, y las pérdidas dinámicas se generan en los accesorios y se encuentran en función de la velocidad del aire, **Anexo: E**.

Con la pérdida obtenida en el ítem anterior de 0.4 por cada 100 pies de longitud, se obtiene la caída para los 16 pies de longitud del ducto principal:

$$\frac{0.4 \text{ in } H_2O \times 16 \text{ ft}}{100 \text{ ft}} = 0.064 \text{ in } H_2O$$

2.4.2.2 Cálculo de pérdidas de presión en Accesorios.

La pérdida dinámica para un accesorio se calcula de la siguiente manera:

1. Para obtener la caída de presión en accesorios primeramente hay que determinar el valor del coeficiente de interferencia para cada uno de los accesorios determinado, ver Tabla 2.3.
2. El coeficiente obtenido se multiplicará por la presión dinámica ya que este valor depende de la velocidad que el aire pase por cada accesorio como se indica en la Tabla 2.4.

La pérdida dinámica para un accesorio se calcula con la ecuación 2.19:

$$P_s = H_v \cdot C_o \quad \text{Ec. 2.19}$$

Donde:

P_s = Pérdida de presión dinámica en el accesorio (in H₂O).

H_v = es la presión de velocidad o la cabeza de velocidad.

C_o = Coeficiente de interferencia en accesorios.

En el sistema Británico de Unidades los niveles de presión y las pérdidas se expresan típicamente en pulgadas de agua, las cuales son en realidad una medida de cabeza de presión. Por lo que se tiene:

$$H_v = \left(\frac{V}{4005} \right)^2 \quad \text{Ec. 2.20}$$

Donde:

V = es velocidad de flujo. (ft/min) y condiciones del aire estándar.

Todos los valores de dimensionamiento se encuentran en las Tablas 2.3 y 2.4 además las pérdidas de presión en ductos accesorios, velocidades.

Tabla 2.3. Resumen de coeficientes de interferencia.

Fuente: - Ashrae, Fundamentals Handbook 2001.

- Manual Casals.

#	NOMBRE	ACCESORIOS	PARAMETROS	COEFICIENTE Co
1	Entrada de aire.	1-4	-	0,17
2	Damper.	7-2	$\Theta = 0^\circ$	0,17
3	Codo.	3-5	$H/W = 24/16 = 1,5$ $r/W = 24/16 = 1,5$	0,08
4	Codo 90°	3-1	$r/D = 1,5$ $K = 1$ $Co' = 0,15$	0,15
5	Incremento difusor rectangular.	4-2	$A_0/A_1 = 0,36$ $\Theta = 20^\circ$	0,18
6	Difusor de aletas curvas.	-	-	0,5
7	Cola de milano.	6-10	$r/Wc = 1,5$ $A_{l0}/A_c = 1,0$ $\Theta = 20^\circ$	0,25 0,07
8	Rejillas.	Fabricante.	-	0,4
9	Colector.	Fabricante.	-	0,2
10	Recodo.	Fabricante.	-	0,03
11	Salida de aire.	4-4	$A_0/A_1 = 2,8$ $\Theta = 180^\circ$	3,03
12	Tobera captación.	Casals.	$\alpha = 15^\circ$	0,5
13	Reducción.	Casals.	$\alpha = 30^\circ$	0,8
14	Derivación T.	Casals.	$R/D = 1$	1,2
15	Toma captación.	Casals.	-	1,3
16	Ducto descarga.	Casals.	-	1
17	Incremento difusor.	Casals.	$\alpha = 30^\circ$	0,8

Tabla 2.4. Pérdidas de presión en inyección y descarga.

Fuente: - Ashrae, Fundamentals Handbook 2001 y Manual Casals.

Componente.	Flujo (cfm)	Diámetro (in)	Dimensión del ducto (in x in)	Velocidad de flujo (ft/min)	Presión dinámica (Hv)	Coefficiente pérdidas Co	Pérdida presión (in H ₂ O)
Damper.	1220	10,7	8x12	1800	0,2020	0,17	0,034
Entrada de aire.	1220	10,7	8x12	1800	0,2020	0,17	0,034
Toma captación	1220	10,7	8x12	1800	0.2020	1,3	0,2626
Derivación T	1220	10,7	8x12	1800	0.2020	1,2	0,2424
Reducción	12t20	10,7	8x12	1800	0.2020	0,8	0,1616
Incremento difusor rectangular	1220	15,3	40 x 6	430	0,014	0.18	0.0025
Pérdidas de presión de inyección de aire total:							0,7371
Componente	Flujo (cfm)	Diámetro (in)	Dimensión del ducto (in x in)	Velocidad de flujo (ft/min)	Presión dinámica (Hv)	Coefficiente pérdidas Co	Pérdida presión (in H ₂ O)
Tobera captación	1098	15,3	40 x 6	430	0,014	0,5	0.007
Incremento difusor	1098	15,3	40 x 6	430	0,014	0,8	0,0112
Codo 90 ^o	1098	10,4	6x16	1771	0,20	0,15	0,03
Codo 90 ^o	1098	10,4	6x16	1771	0,20	0,15	0,03
Ducto	1098	10,4	6x16	1771	0,06		0,064
Codo 90 ^o	1098	10,4	6x16	1771	0,20	0,15	0,03
Ducto	1098	10,4	6x16	1771	0,06		0,027
Pérdidas de presión de descarga de aire total:							0,1992
PÉRDIDAS DE PRESIÓN DE AIRE TOTAL:							0.9363

2.5 SELECCIÓN DEL VENTILADOR.

Los factores que determinan la selección de un ventilador son normalmente el caudal, la presión, la velocidad y la potencia con la que funciona el ventilador. A continuación se selecciona el ventilador en función de las condiciones a las que va a funcionar.

2.5.1 DETERMINACIÓN DE PRESIÓN ESTÁTICA.

Para obtener la caída de presión estática real (P_{st}) a 2600 metros del nivel del mar se emplea la ecuación 2.21.

$$P_{st} = \sum P_s - P_v \quad \text{Ec. 2.21}$$

Donde:

P_{st} = Caída de presión estática al nivel del mar.

$\sum P_s$ = Sumatoria de caídas de presión en accesorios y ductos.

P_v = Recuperación estática a la reducción de velocidad, para aplicaciones prácticas se considera que el 50% de la presión de velocidad disponible se convertirá en presión estática, como se indica en la ecuación 2.22.

$$P_v = 0,5 \left[\left(\frac{V_1}{4005} \right)^2 - \left(\frac{V_2}{4005} \right)^2 \right] \quad \text{Ec. 2.22}$$

Donde:

V_1 = Velocidad de salida del ventilador

V_2 = Velocidad de entrada del ventilador

Reemplazando en la ecuación 2.22 los siguientes valores se tiene:

$V_1 = 1800$ fpm.

$V_2 = 1771$ fpm.

$$P_v = 0.00322 \text{ in } H_2O$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.21 se tiene la Presión estática a nivel del mar:

$$\sum P_s = 0.9363 \text{ in } H_2O$$

$$P_v = 0.00322 \text{ in } H_2O$$

$$\mathbf{P_{st} = 0.933 \text{ in } H_2O}$$

Para la presión estática a 2600 m es:

$$P_{es} = \frac{P_{st}}{\text{relación de densidad del aire}} \quad \text{Ec. 2.23}$$

La relación de densidad del aire se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{relación de densidad del aire} = \frac{\text{densidad del aire nueva condición}}{\text{densidad del aire estándar}} \quad \text{Ec. 2.24}$$

Reemplazando los siguientes valores en la ecuación 2.24 se tiene:

$$\text{densidad del aire nueva condición} = 0.947 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \quad \text{(Anexo: F).}$$

$$\text{densidad del aire estándar} = 1.225 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mathbf{\text{relacion de densidad del aire} = 0.773}$$

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación 2.23 se tiene:

$$\mathbf{P_{es} = 1.207 \text{ in } H_2O}$$

Conociendo el caudal que es de **1220 cfm** y la presión estática corregida (**Pes**), con la ayuda de las curvas de selección del ventilador **Anexo: G**, se obtiene la potencia y la velocidad necesaria del ventilador centrífugo SA (Simple Aspiración).

Potencia requerida: 0.75 Kw \approx 1Hp.

Velocidad requerida: 1600 RPM.

2.6 DISEÑO TÉRMICO DEL SISTEMA.

2.6.1 ANÁLISIS TERMODINÁMICO DEL COMBUSTIBLE.

Para obtener una temperatura específica, se requiere generar calor, existen dos métodos:

- Combustión del combustible
- Conversión de energía eléctrica en calor.

Para calentar un horno con combustión existen diversas alternativas en combustibles: gasolina, diesel, gas natural, fuel-oil, alquitrán, gas licuado de petróleo, gases especiales para hornos.

Analizando cual es la más conveniente se tiene que el GLP, gas licuado de petróleo, presenta algunas ventajas con respecto a los otros combustibles:

- Facilidad de disponibilidad, se lo puede adquirir sin problemas, incluso para uso comercial o industrial.
- Se obtiene una reacción química con llama pura, por lo que no produce tanta contaminación como otros combustibles como el diesel o la gasolina.

2.6.1.1 Combustión con Aire Real.

Para el cálculo de la relación aire-combustible, es importante que se incluyan todas las consideraciones ambientales dentro de este análisis, para obtener las cantidades de reactivos que verdaderamente provocará la combustión de los productos. Se sumará al estudio la humedad relativa del aire.

2.6.1.2 Datos meteorológicos.

Sector: Provincia del Tungurahua / Ambato.

Altitud (m): 2640 m.

Temperatura media: 13°C

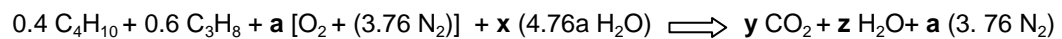
Temperatura mínima: 10°C

Humedad Relativa (Φ): 82%

Presión Atmosférica (P): 73.4 kPa. (**Anexo: F**).

Conocidas las condiciones del medio ambiente es necesario igualar la siguiente ecuación estequiométrica del combustible para este proceso.

Ec. 2.25



El valor de x en la ecuación 2.25 representa los moles de H_2O /moles de aire, este valor de x se puede obtener analizando los conceptos de humedad del aire, usando la definición de humedad absoluta y relativa se obtiene la siguiente ecuación:

$$\omega = \frac{0.622\Phi P_g}{P - \Phi P_g} \quad \text{Ec. 2.26}$$

Donde:

ω = Humedad absoluta.

Φ = Humedad relativa.

P_g = Presión Parcial de agua saturada a 10°C.

P = Presión total.

Reemplazando los siguientes valores en la ecuación 2.26 se tiene:

$P_g = 1.2276$ kPa. (A la temperatura mínima del ambiente).

$P = 73.4$ kPa.

$\Phi = 82$ %

$$\omega = 0.0086 \frac{Kg H_2O}{Kg \text{ de aire}}$$

Con la humedad absoluta y los pesos moleculares tanto del aire como del agua, se obtiene el mol H₂O/mol aire.

Peso Molecular del H₂O:

$$M_{H_2O} = 18 \frac{\text{Kg de H}_2\text{O}}{\text{mol}}$$

Peso Molecular del aire:

$$M_{AIRE} = M_{O_2} + M_{N_2}$$

$$M_{AIRE} = (0.21 \times 2 \times 16) + (0.79 \times 2 \times 14)$$

$$M_{AIRE} = 28.84 \frac{\text{Kg de aire}}{\text{mol}}$$

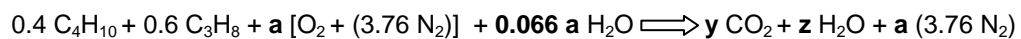
Reemplazando los valores anteriores en la ecuación 2.27 se tiene:

$$x = \frac{M_{AIRE}}{M_{H_2O}} * \omega \quad \text{Ec. 2.27}$$

$$x = 0.014 \frac{\text{mol H}_2\text{O}}{\text{mol Aire}}$$

Reemplazando en la ecuación 2.25, se obtiene:

Ec. 2.28



Realizando el balance químico de la ecuación 2.28 da como resultado el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\text{H: } 0.4 \times 10 + 0.6 \times 8 + 2 \times 0.066a = 2z$$

$$\text{O: } 2a + 0.066a = 2y + z$$

$$\text{C: } 0.4 \times 4 + 0.6 \times 3 = y$$

El resultado de las ecuaciones es:

$$a = 5.6$$

$$y = 3.4$$

$$z = 4.8$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.28 se tiene:



2.6.1.3 Combustión con Exceso de Aire.

Debido a que la temperatura de trabajo más alta es aproximadamente, 200°C en la placa metálica, la relación aire combustible que corresponde a la ecuación estequiométrica anterior, provocará una temperatura de Flama Adiabática en el orden de 1000 - 1800°C, por este motivo es necesario considerar un exceso de aire con respecto a la teórica para disminuir la temperatura de los productos.

Cuando la temperatura a emplear es inferior a 500°C es recomendable evitar puntos calientes cerca de los quemadores y aumentar la circulación de aire en el interior del horno para alcanzar una temperatura uniforme¹⁶.

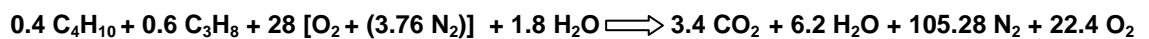
En los hornos se usan frecuentemente quemadores con exceso de aire para proporcionar una llama estable, reducir la temperatura e incrementar el volumen de gases que deben ser desalojados o filtrados, de acuerdo a la composición del combustible y la temperatura máxima a emplearse en un horno de similares dimensiones se utiliza entre 200% a 1000% de la cantidad teórica.

¹⁶ HORNOS INDUSTRIALES, Trinks W – Mawhinney M.H.

Con estos antecedentes, se eligió un exceso de 400% de aire, pero se debe tener en cuenta que si la temperatura de los productos es inferior a 500°C, estos pueden ser afectados por otros procesos de transferencia de calor, como la radiación que puede presentarse en los gases de combustión.

Si la diferencia de temperatura entre los gases que realizan la transferencia de calor y la temperatura dentro del horno es menor a 300°C esto puede afectar el proceso de combustión, con lo que sería necesario cambiar el exceso de aire para aumentar la temperatura.

Tomando en cuenta la corrección del aire la nueva ecuación con 400% de exceso de aire es:



2.6.1.4 Análisis Volumétrico de los Productos de Combustión.

El número total de moles de los productos de la combustión se calcula a partir de la ecuación 2.29:

$$n_T = n_{\text{CO}_2} + n_{\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{N}_2} + n_{\text{O}_2} \quad \text{Ec. 2.29}$$

$$n_T = 3.4 + 6.2 + 105.28 + 22.4$$

$$n_T = 137.28 \text{ moles.}$$

El análisis volumétrico de los productos de la combustión se obtiene de la ecuación 2.30:

$$y_i = \frac{n_i}{n_T} \quad \text{Ec. 2.30}$$

Reemplazando los datos obtenidos en la ecuación estequiométrica en la ecuación 2.30 se tiene:

$$y_{CO_2} = \frac{3.4}{137.28} = \mathbf{0.025}$$

$$y_{H_2O} = \frac{6.2}{137.28} = \mathbf{0.045}$$

$$y_{N_2} = \frac{105.28}{137.28} = \mathbf{0.767}$$

$$y_{O_2} = \frac{22.4}{137.28} = \mathbf{0.163}$$

2.6.1.5 Relación Aire-Combustible.

La relación aire-combustible se calculará en base a Masa:

$$m_a = (n \times M)_a = ((n_{O_2} + n_{N_2}) \times M_{aire})_a \quad \text{Ec. 2.31}$$

$$m_a = (28 + 105.28) \times 28.84$$

$$\mathbf{m_a = 3\ 844\ Kg_a}$$

Ec. 2.32

$$m_c = \sum_{i=1}^k (n \times M)_c = \left((\% n_{C_3H_8} \times M_{C_3H_8}) + (\% n_{C_4H_{10}} \times M_{C_4H_{10}}) \right)_c$$

$$m_c = (0.6(44.1) + 0.4(58.12))$$

$$\mathbf{m_c = 49.70\ Kg_c}$$

Empleando los resultados de de las ecuaciones 2.31 y 2.32, se tiene la relación aire-combustible, con la siguiente ecuación:

$$r_{a/c} = \frac{m_a}{m_c} \quad \text{Ec. 2.33}$$

$$\mathbf{r_{a/c} = 77.3 \frac{Kg. aire}{Kg. comb.}}$$

2.6.2 TEMPERATURA ALCANZADA POR LOS PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN.

La máxima temperatura que pueden alcanzar los productos de combustión es conocida como temperatura de flama adiabática.

La temperatura de flama adiabática es la temperatura máxima de una cámara de combustión cuando el proceso es completo y no se libera calor hacia los alrededores, es decir que no existe pérdida de calor durante la combustión.

Teniendo en cuenta un aspecto importante para poder realizar este cálculo, $Q=0$ y $W=0$, partiendo de la expresión para el principio de la conservación de la energía para un sistema de flujo permanente químicamente reactivo, al cual se le puede agregar las relaciones molares para obtener la siguiente ecuación (2.34):

$$Q - W = H_{Prod} - H_{React}$$
$$H_{Prod} = H_{React}$$

$$\sum N_p (h_f^\circ + h - h^\circ)_p = \sum N_r (h_f^\circ + h - h^\circ)_r \quad \text{Ec. 2.34}$$

Donde:

N_r = número de moles del reactivo por mol de combustible.

N_p = número de moles del producto por mol de combustible.

h_f° = entalpía de formación del componente a 298°K.

h = entalpía del componente a la temperatura del ambiente indicada.

h° = entalpía del componente a la temperatura de 298°K.

La temperatura mínima promedio en Ambato es 10°C ó 283°K, con estos datos se procedió a buscar las entalpías respectivas como se indica en la Tabla 2.5:

Tabla 2.5. Entalpías para Reactantes y Productos.

Fuente: TERMODINÁMICA, Yunus A. Cengel – Boles Michael Tabla A-18.

REACTANTES.			
Sustancia.	h°_f kJ/kgmol.	$h_{T=283^{\circ}K}$ kJ/kgmol.	$h^{\circ}_{298^{\circ}K}$ kJ/kgmol.
C ₄ H ₁₀	- 126 150	0	0
C ₃ H ₈	- 103 850	0	0
O ₂	0	8 150	8 682
N ₂	0	8 141	8 669
H ₂ O(g)	- 241 820	9 296	9 904

PRODUCTOS.			
Sustancia.	h°_f kJ/kgmol.	$h_{T=283^{\circ}K}$ kJ/kgmol.	$h^{\circ}_{298^{\circ}K}$ kJ/kgmol.
CO ₂	- 393 520	$h_{T}CO_2$	9 364
H ₂ O	- 241 820	$h_{T}H_2O$	9 904
O ₂	0	$h_{T}O_2$	8 682
N ₂	0	$h_{T}N_2$	8 669

Reemplazando los valores de tabla 2.5 en la ecuación 2.34, se obtiene:

$$\sum N_p (h^{\circ}_f + h - h^{\circ})_p = \sum N_r (h^{\circ}_f + h - h^{\circ})_r$$

$$\sum N_r (h^{\circ}_f + h - h^{\circ})_r = 0.4(-126150) + 0.6(-103850) + 28(8150 - 8682) + 105.28(8141 - 8669) + 1.8(-241820 + 9296 - 9904)$$

$$\sum N_r (h^{\circ}_f + h - h^{\circ})_r = -619\,624$$

$$\sum N_p (h^\circ_f + h - h^\circ)_p = 3.4(-393520 + h_{T\text{CO}_2} - 9364) + 6.2(-241820 + h_{T\text{H}_2\text{O}} - 9904) + 22.4(h_{T\text{O}_2} - 8682) + 105.28(h_{T\text{N}_2} - 8669)$$

$$\sum N_p (h^\circ_f + h - h^\circ)_p = -4\,037\,643 + 3.4h_{T\text{CO}_2} + 6.2h_{T\text{H}_2\text{O}} + 22.4h_{T\text{O}_2} + 105.28h_{T\text{N}_2}$$

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación 2.34 se tiene:

$$3\,418\,019 = 3.4h_{T\text{CO}_2} + 6.2h_{T\text{H}_2\text{O}} + 22.4h_{T\text{O}_2} + 105.28h_{T\text{N}_2} \quad \text{Ec. 2.35}$$

La ecuación 2.35 se puede resolver realizando iteraciones de los diferentes componentes para obtener un valor de entalpía de cada uno que satisfaga la ecuación.

Como el oxidante es aire los gases producto se componen principalmente de N_2 y una primera suposición para la temperatura de flama adiabática se tiene tratando todos los productos como N_2 ¹⁷, obteniéndose:

$$3\,418\,019 = (3.4 + 6.2 + 22.4 + 105.28)h_{T\text{N}_2}$$

$$h_{T\text{N}_2} = 24\,898 \frac{\text{kJ}}{\text{Kgmol}}$$

Con este valor de entalpía para el N_2 , la temperatura de flama adiabática se aproxima a 840°K , pero como es lógico esta debe ser menor, así se buscan valores inferiores en las tablas de cada componente y se procede a calcular de acuerdo al número de moles para poder realizar una iteración y obtener el valor más cercano para un proceso con exceso de aire como se indica en la Tabla 2.6.

¹⁷ TERMODINÁMICA, Yunus A. Cengel – Boles Michael, Pág. 771.

Tabla 2.6. Sumatoria de entalpías por cantidad de cada componente.

Fuente: TERMODINÁMICA, Yunus A. Cengel – Boles Michael Tabla A-18.

Componentes:	$h_{830^{\circ}\text{K}}$ kJ/kgmol.	$h_{820^{\circ}\text{K}}$ kJ/kgmol.
$3.4h_{\text{T}}\text{CO}_2$	3.4×33730	3.4×33212
$6.2h_{\text{T}}\text{H}_2\text{O}$	6.2×29062	6.2×28672
$105.28h_{\text{T}}\text{N}_2$	105.28×24658	105.28×24342
$22.4h_{\text{T}}\text{O}_2$	22.4×25537	22.4×25199
$\sum h_{\text{T}} \text{Componente} = 3\,418\,019$	$3\,462\,889$	$3\,417\,870$

Por lo tanto realizando la iteración que satisfaga la ecuación 2.35 usando estos valores de 830°K y 820°K se obtiene que la temperatura de flama adiabática:

$$T_c = 820^{\circ}\text{K} = 547^{\circ}\text{C}$$

Como esta temperatura es superior a 500°C no es necesario cambiar el porcentaje de exceso de aire.

2.6.3 ANÁLISIS DE 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 uno circula en el interior y el otro en el exterior del horno, respectivamente ver la Figura 2.14.

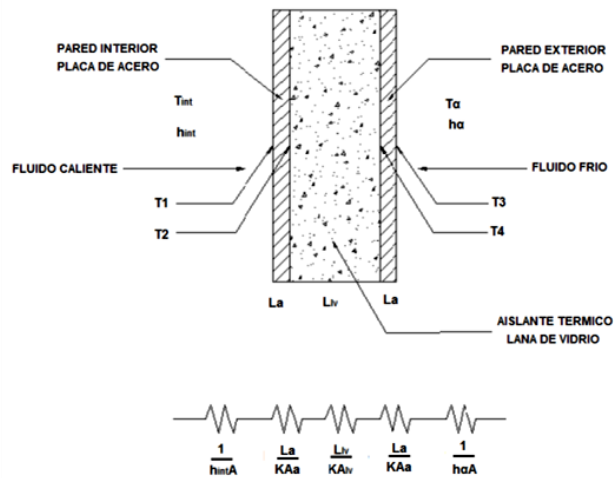


Figura 2.14: Temperaturas en las paredes del horno.

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

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

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

T_{α} : Temperatura del medio ambiente.

h_{α} : 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 .

L_a : Espesor de la placa de acero.

L_{iv} : Espesor del aislante térmico.

A_x : Área de la cara del elemento a calcular.

2.6.4 COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

Un aspecto fundamental en el diseño térmico son los coeficientes de transferencia de calor, en base a ellos se puede determinar el espesor del aislante, obtener el calor que se genera por los gases y el que se pierde por el contacto de las paredes exteriores con el ambiente, se tendrá coeficientes en el interior del horno y de éste hacia el ambiente.

2.6.4.1 Coeficientes de Transferencia de Calor en el Interior.

En el interior del horno se presentan dos efectos de la transferencia de calor, la radiación y la convección de los gases producidos por la combustión del GLP, h_{ri} , h_{ci} respectivamente, el coeficiente total en el interior del horno es la suma de los dos anteriores, como se indica en la ecuación 2.36:

$$h_{int} = h_{ri} + h_{ci} \quad \text{Ec. 2.36}$$

2.6.4.1.1 Coeficiente interior por radiación (h_{ri}).

En el desarrollo del modelo van a existir aberturas por construcción, por ese motivo va a existir radiación producida por los gases de combustión que están en contacto con las placas metálicas.

Para realizar el cálculo de este coeficiente se debe considerar que los únicos gases de los productos que permiten la transmisión de calor por radiación como son el CO_2 y el H_2O , debido a que el resto son elementos a los que este efecto no los afecta, así se tendrá para cálculo del h_{ri} la siguiente ecuación:

$$h_{ri} \left[\frac{W}{m^2K} \right] = \sigma(\epsilon_s) \frac{[\epsilon_g(T_g)^4 - \alpha_g(T_s)^4]}{(T_g - T_s)} \quad \text{Ec. 2.37}$$

Donde:

ϵ_s = Emisividad de la superficie. **(Anexo: H)**

ϵ_g = Emisividad del gas.

T_s = Temperatura de la superficie.

T_g = Temperatura del gas.

α_g = Absortancia del gas.

σ = Constante de Stefan-Boltzmann $5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2K^4}$

Datos:

$\epsilon_s = 0.23$ (acero empleado en la construcción).

$T_s = 200^\circ C$ ó $473^\circ K$.

Las expresiones para la emisividad y la absortancia del gas son:

$$\epsilon_g = \epsilon_{CO_2} + \epsilon_{H_2O} - \Delta\epsilon \quad \text{Ec. 2.38}$$

$$\alpha_g = \alpha_{CO_2} + \alpha_{H_2O} - \Delta\alpha \quad \text{Ec. 2.39}$$

Donde:

ϵ_{CO_2} = Emisividad del Dióxido de Carbono.

ϵ_{H_2O} = Emisividad del Vapor de Agua en una mezcla con gases.

$\Delta\epsilon$ = Factor de Corrección de Emisividad.

α_{CO_2} = Absortancia del Dióxido de Carbono.

α_{H_2O} : Absortancia del Vapor de Agua en una mezcla con gases.

$\Delta\alpha$: Factor de Corrección de Absortancia.

Un dato importante, no conocido, es la Temperatura del gas T_g y se calcula con la siguiente ecuación:

$$T_g = \frac{T_c + \frac{(T_p + T_\alpha)}{2}}{2} \quad \text{Ec. 2.40}$$

Donde:

T_c = Temperatura de combustión (de flama adiabática).

T_p = Temperatura de la superficie de la placa.

T_α = Temperatura del ambiente en el exterior.

Reemplazando los siguientes valores en la ecuación 2.40 se tiene:

$T_c = 547^\circ\text{C}$.

$T_p = 200^\circ\text{C}$.

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

$$T_g = 326^\circ\text{C} = 600^\circ\text{K}$$

En las gráficas de Emisividad y Absortancia, se encuentra en el eje de las abscisas está la temperatura del gas (T_g) y en el de las ordenadas los dos parámetros a encontrarse, el valor de $P_{w/c}L$, que representa la presión parcial del gas $P_{w/c}$ en atmósferas, para el dióxido de carbono o el vapor de agua, por el espesor medio de la masa gaseosa L en pies, ver Figuras 2.15 y 2.16 respectivamente.

La expresión para encontrar la presión parcial es:

$$P_{w/c} = \left(\frac{n_i}{n_T}\right) P \quad \text{Ec. 2.41}$$

Reemplazando los siguientes valores en la ecuación 2.41 se tiene:

$$y_{CO_2} = 0.025$$

$$y_{H_2O} = 0.045$$

$$P = 73.4 \text{ kPa} = 0.72 \text{ atm.}$$

$$P_{CO_2} = 0.018 \text{ atm}$$

$$P_{H_2O} = 0.032 \text{ atm}$$

El espesor medio de la masa gaseosa se lo puede relacionar con la longitud media del rayo L , cuyo valor se puede obtener usando la siguiente expresión:

$$L = 3.6 \left(\frac{V}{A_e} \right) \quad \text{Ec. 2.42}$$

Donde:

V = volumen total del interior del horno.

A_e = área de la superficie envolvente.

Reemplazando los valores en la ecuación 2.42 se tiene:

$$V = 17.28 \text{ m}^3$$

$$A_e = 41.28 \text{ m}^2$$

$$L = 4.94 \text{ ft}$$

Con los valores obtenidos en los pasos anteriores ya se puede encontrar el factor $P_{w/c}L$:

$$P_{CO_2}L = 0.018 \times 4.94 = 0.09 \text{ [atm. ft]}$$

$$P_{H_2O}L = 0.032 \times 4.94 = 0.16 \text{ [atm. ft]}$$

Con estos datos se procede a encontrar las respectivas emisividades con las siguientes Figuras 2.15 y 2.16 respectivamente:

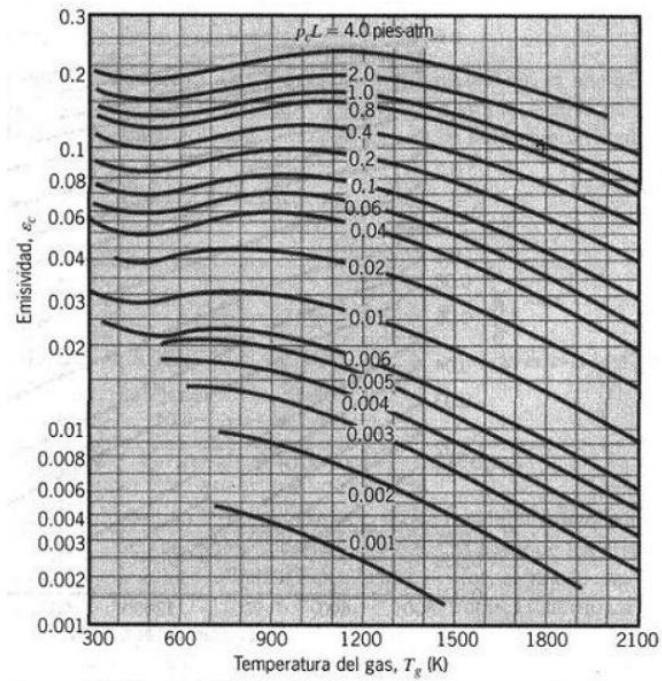


Figura 2.15: Emisividad de dióxido de carbono, a 1 atm de presión.

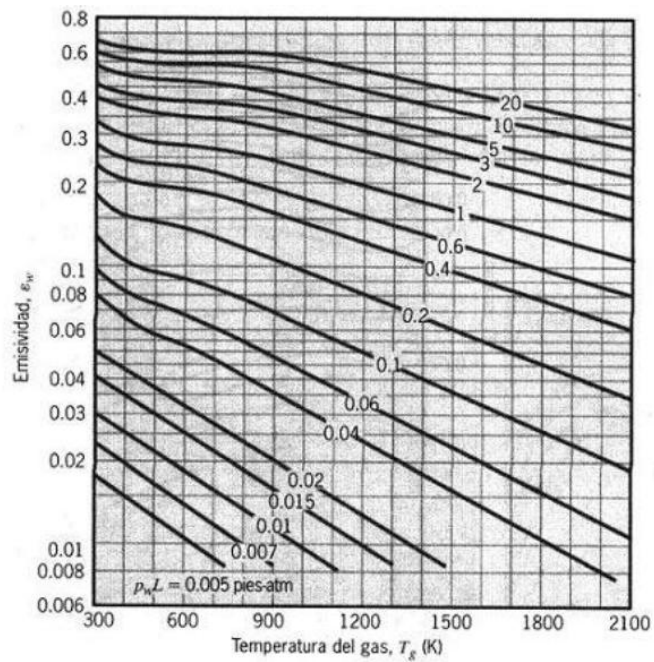


Figura 2.16: Emisividad de vapor de agua, a 1 atm de presión

De donde se obtiene:

$$\varepsilon_{CO_2} = 0.07$$

$$\varepsilon_{H_2O} = 0.12$$

El factor de corrección se obtiene de la figura 2.17:

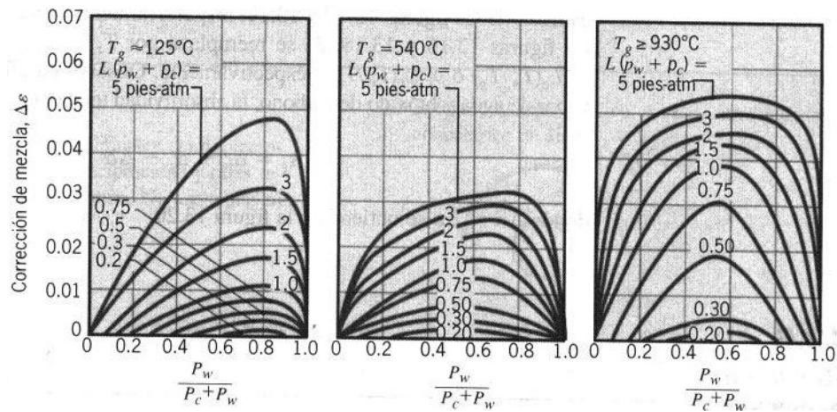


Figura 2.17: Factor de corrección, CO₂ y H₂O presentes en recintos

Como la temperatura del gas no es mayor a 500°C se usa la gráfica intermedia por ser la más cercana. Para ello es necesario hallar algunos factores que constan en la gráfica:

$$\frac{P_{H_2O}}{P_{H_2O} + P_{CO_2}} = \frac{0.032}{0.032 + 0.018} = 0.64$$

$$L(P_{CO_2} + P_{H_2O}) = 4.94(0.018 + 0.032) = 0.25 \text{ [atm. ft]}$$

De la figura 2.17 se obtiene un factor de corrección igual a:

$$\Delta\varepsilon = 0.01$$

Para encontrar la absorptancia se realiza el mismo procedimiento que para la emisividad reemplazando la T_g por T_p :

$$T_p = T_s = 200^\circ\text{C} = 473^\circ\text{K}$$

Con estas acotaciones los valores de absorptancia se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$\alpha_{CO_2} = \varepsilon'_{CO_2} \left(\frac{T_g}{T_p} \right)^{0.65} \quad \text{Ec. 2.43}$$

$$\alpha_{H_2O} = \varepsilon'_{H_2O} \left(\frac{T_g}{T_p} \right)^{0.45} \quad \text{Ec. 2.44}$$

$$\Delta\alpha = \Delta\varepsilon \quad \text{Ec. 2.45}$$

Donde:

ε'_{CO_2} y ε'_{H_2O} se evalúan de las Figuras 2.15 y 2.16.

Primero se calcula el nuevo valor de presiones para la longitud de rayo:

$$P_{CO_2} L \left(\frac{T_p}{T_g} \right) = 0.09 \left(\frac{473}{600} \right) = \mathbf{0.07 [atm.ft]}$$

$$P_{H_2O} L \left(\frac{T_p}{T_g} \right) = 0.16 \left(\frac{473}{600} \right) = \mathbf{0.13 [atm.ft]}$$

Usando nuevamente las Figuras 2.15 y 2.16 se encuentran los valores para la Emisividad respectiva:

$$\varepsilon'_{CO_2} = \mathbf{0.06}$$

$$\varepsilon'_{H_2O} = \mathbf{0.12}$$

Remplazando en las ecuaciones 2.43 y 2.44 los valores correspondientes se tiene:

$$\alpha_{CO_2} = 0.07$$

$$\alpha_{H_2O} = 0.12$$

$$\Delta\alpha = 0.01$$

Reemplazando los valores obtenidos en las ecuaciones 2.38 y 2.39 se tiene:

$$\varepsilon_g = 0.18$$

$$\alpha_g = 0.18$$

Reemplazando los valores anteriormente hallados en la ecuación 2.37 se obtiene el coeficiente por radiación interno:

$$h_{ri} = 1.5 \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

2.6.4.1.2 Coeficiente interior por convección (h_{ci}).

La convección se refiere a la transferencia de calor que ocurre entre una superficie y un fluido en movimiento cuando están a diferentes temperaturas.

En este tipo de hornos usan entradas de aire, ya sea aire comprimido o por ventiladores, se recomienda no utilizar una velocidad excesiva, porque afecta a la película de pintura en la placa y hace que ésta se desprenda de la pieza, que esta velocidad de entrada no debe ser mayor a 1.25 ft/s.

Otro aspecto importante son las propiedades del aire a la temperatura alrededor de la placa, se conoce como Temperatura de Película Interna (T_{pi}), y se obtiene de la ecuación 2.46:

$$T_{pi} = \frac{T_g + T_p}{2} \quad \text{Ec. 2.46}$$

Reemplazando los siguientes valores en la ecuación 2.46 se tiene:

$$T_g = 600^\circ\text{K.}$$

$$T_p = 473^\circ\text{K.}$$

$$T_{pi} = 537^\circ\text{K}$$

Con este valor de temperatura se procede a encontrar las propiedades termofísicas necesarias para el cálculo de este coeficiente, ver **Anexo: I**.

$$\text{Viscosidad Cinemática } (v) = 45.57 \times 10^{-6} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

$$\text{Coeficiente de Conductividad Térmica } (k) = 43.9 \times 10^{-3} \left[\frac{\text{W}}{\text{mK}} \right]$$

$$\text{Número de Prandtl } (Pr) = 0.683$$

Es necesario calcular el Número de Reynolds (Re) con la ecuación 2.47:

$$Re = \frac{Vel \times L}{\nu} \quad \text{Ec. 2.47}$$

Donde:

Vel = Velocidad en el interior.

L = Longitud máxima de espacio útil en el interior del horno.

Reemplazando los siguientes valores en la ecuación 2.47 se tiene:

$$Vel = 1.25 \text{ ft/s} = 0.38 \text{ m/s}$$

$$L = 2.40 \text{ m}$$

$$Re = 20013$$

Como el flujo es turbulento, se puede obtener el Número de Nusselt que permitirá calcular el coeficiente de convección forzada al interior del tubo, con la siguiente expresión de Dittus Boelter:

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^n \quad \text{Ec.2.48}$$

Donde:

n = 0.4 Para calentamiento.

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación 2.48 se tiene:

$$Nu = 54.5$$

Partiendo del concepto del Número de Nusselt se tiene:

$$Nu = \frac{h_{ci} L_T}{k} \quad \text{Ec. 2.49}$$

Donde:

L_T = Es la longitud total del horno en este caso es 2.40 m.

k = Coeficiente de conductividad Térmica.

Despejando h_{ci} y reemplazando los valores anteriores en la ecuación 2.49 se tiene:

$$h_{ci} = 1 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Reemplazando los valores anteriormente calculados en la ecuación 2.36, se obtiene el Coeficiente de Transferencia de Calor Interno:

$$h_{int} = 2,5 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

2.6.4.2 Coeficiente de Transferencia de Calor en el exterior.

El coeficiente del horno hacia el ambiente, para facilidad se lo denotará h_{α} , intervienen efectos de radiación y convección, por lo que se tendrá:

$$h_{\alpha} = h_{c\alpha} + h_{r\alpha} \quad \text{Ec. 2.50}$$

2.6.4.2.1 Coeficiente exterior por convección ($h_{c\alpha}$).

En este cálculo interviene la Convección Libre, existen coeficientes para las tres dimensiones del horno, para paredes, techo y piso.

Es necesario analizar la temperatura que se generará alrededor del horno, ésta no va a ser similar a la del ambiente. Esta temperatura se denomina como Temperatura de Película Externa (T_{fext}), y se obtiene de la siguiente expresión:

$$T_{fext} = \frac{T_{pext} + T_{\alpha}}{2} \quad \text{Ec. 2.51}$$

Reemplazando los siguientes valores en la ecuación 2.51 se tiene:

$$T_{pext} = 37^{\circ}\text{C}, \text{ (recomendado).}$$

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

$$T_{fext} = 23.5^{\circ}\text{C} = 296.5^{\circ}\text{K}$$

Con este valor de temperatura se puede encontrar las Propiedades Termofísicas del aire alrededor del horno, ver **Anexo: I**.

$$\text{Viscosidad Cinemática } (v) = 15.89 \times 10^{-6} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

$$\text{Coeficiente de Conductividad Térmica } (k) = 26.3 \times 10^{-3} \left[\frac{\text{W}}{\text{mK}} \right]$$

$$\text{Número de Prandtl } (Pr) = 0.707$$

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:

$$\beta = \frac{1}{T_{fext}} \quad \text{Ec. 2.52}$$

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación 2.52 se tiene:

$$\beta = 3.37 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$$

Posteriormente es necesario encontrar el Número de Rayleigh (**Ra**) a partir de la siguiente ecuación:

$$Ra = Gr Pr \quad \text{Ec. 2.53}$$

Donde:

Pr = Número de Prandlt.

Gr = Número de Grashof.

El Número de Grashof se calcula considerando que el aire esta en reposo, con la siguiente expresión:

$$Gr = \frac{g\beta(T_{pext}-T_{\alpha})L^3}{\nu^2} \quad \text{Ec. 2.54}$$

Donde:

g = es la gravedad.

L = depende de las dimensiones, 2.20 m para los lados laterales y 2.40 m x 3.60 m para el piso y el techo.

Con estos antecedentes se calculará el número de Rayleigh y el número de Grashof para las paredes laterales, el techo y el piso, ver Tabla 2.7.

Tabla 2.7. Cálculo del Número de Rayleigh y Grashof para paredes.

PAREDES	L (m)	Gr	Pr	Ra
Lateral.	2.20	3.83×10^{10}	0.707	2.71×10^{10}
Techo y piso.	1.20	6.21×10^9		4.39×10^9

Por definición del Número de Nusselt para Convección libre se obtiene por medio de la expresión:

$$Nu_L = C(Ra_L)^n \quad \text{Ec. 2.55}$$

Donde:

C y n = Factores que dependen de la geometría y posición de las placas.

La expresión para el número de Nusselt para placas verticales con el valor de Rayleigh obtenido se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$Nu_{Ll} = \left\{ 0.825 + \frac{0.387(Ra_L)^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad \text{Ec. 2.56}$$

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación 2.56 se tiene:

$$Nu_{Ll} = 485$$

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación 2.49 se obtiene el coeficiente de convección hacia el ambiente que generan las paredes laterales.

$$h_{cat} = 5.8 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Para el techo se puede representar como placa caliente horizontal con las consideraciones que la temperatura de superficie y la posición de los fluidos estipulan para los valores de C y n.

Reemplazando los valores siguientes en la ecuación 2.55 se tiene:

$$C = 0.15$$

$$N = 1/3$$

$$Nu_t = 245.6$$

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación 2.49 se obtiene el coeficiente de convección hacia el ambiente que genera la pared superior del techo.

$$h_{cat} = 5.4 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

2.6.4.2.2 Coeficiente exterior por radiación (h_{ra}).

Considerando al horno como un cuarto grande, el coeficiente de radiación se lo puede encontrar con la siguiente expresión:

$$h_{ra} = \varepsilon_s \sigma (T_{pext} + T_\alpha) (T_{pext}^2 + T_\alpha^2) \quad \text{Ec. 2.57}$$

Donde:

$$\text{Constante de Stefan – Boltzman } (\sigma) = 5.67 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right]$$

$$\text{Emisidad de la superficie, acero } (\varepsilon_s) = 0.23$$

$$\text{Temperatura de la Pared Exterior } (T_{pext}) = 37 \text{ }^\circ\text{C} = 310^\circ\text{K}$$

$$\text{Temperatura del Medio Ambiente } (T_\alpha) = 10 \text{ }^\circ\text{C} = 283^\circ\text{K}$$

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación 2.57 se tiene:

$$h_{r\alpha} = 1.36 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

2.6.4.2.3 Coeficiente Total de Transferencia externo (h_α).

Es la Tabla 2.8 se enumeran los diferentes resultados de coeficientes de calor externo de acuerdo a las placas:

Tabla 2.8. Sumatoria del Coeficiente de Calor externo.

Posición de la placa.	Coeficiente por convección externo. $h_{c\alpha}$ $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	Coeficiente por radiación externo. $h_{r\alpha}$ $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	Coeficiente de Transferencia de Calor externo. $h_\alpha = h_{r\alpha} + h_{c\alpha}$ $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
Paredes Laterales.	5.8	1.36	7.16
Techo.	5.4		6.76

Donde el valor del Coeficiente de Transferencia de Calor Externo es:

$$h_\alpha = 13.92 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

2.7 DETERMINACIÓN DEL AISLANTE TÉRMICO.

Como aislamiento térmico se utilizará la lana de vidrio, básicamente por la facilidad adquisitiva de este material en el mercado ecuatoriano. A continuación se presenta las propiedades a utilizarse en los cálculos, ver la Tabla 2.9.

Tabla 2.9. Propiedades de los materiales de las paredes del horno.

Material	Densidad (ρ) [$\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$]	Conductividad térmica (k) [$\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}}$]	Calor especifico (C_p) [$\frac{\text{kJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}}$]
Laminas de Acero	7900	14.9	0.477
Lana de Vidrio	150	0.044	0.660

2.7.1 FLUJO DE CALOR POR UNIDAD DE ÁREA.

La conducción se puede definir como la transferencia de calor que se produce a través de un sólido o un fluido estacionario, con los estudios realizados por Fourier se obtuvo la siguiente expresión que permite encontrar el flujo de calor.¹⁸

$$q = k \frac{\Delta T}{x_{esp}} \quad \text{Ec. 2.58}$$

Donde:

k = Conductividad Térmica del Material.

ΔT = Diferencia de Temperaturas

x_{esp} = Espesor de la Placa analizada.

¹⁸ FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, Incropera Frank – De Witt David

Los coeficientes de transferencia de calor por convección y la radiación, obtenidos en los ítems anteriores $h = h_c + h_r$ se pueden utilizar en la expresión para el flujo de calor de la ecuación 2.58:

$$q = h \Delta T \quad \text{Ec.2.59}$$

2.7.2 REPRESENTACIÓN DE LA ANALOGÍA ELÉCTRICA.

Según la Figura 2.18 en el Análisis de temperaturas en las paredes del horno, para facilitar algunos cálculos se puede utilizar una analogía eléctrica, tal como se muestra:

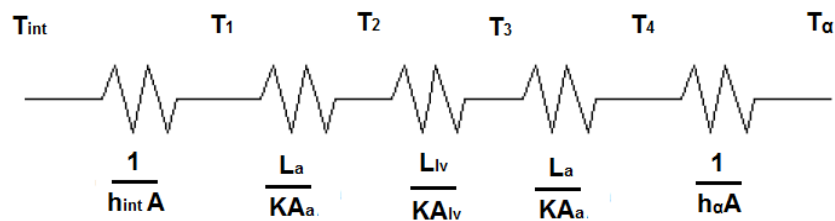


Figura 2.18: Analogía eléctrica de la pared del horno.

Se establecen las siguientes resistencias térmicas para determinar el flujo de calor por unidad de área:

$$R_1 = \frac{1}{h_{int}}, R_2 = \frac{L_a}{K_a}, R_3 = \frac{L_{lv}}{K_{lv}}, R_4 = \frac{L_a}{K_a}, R_5 = \frac{1}{h_\alpha}$$

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

El Flujo de Calor se puede representar de la siguiente manera:

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

$$q = \frac{\Delta T}{R_T} = \frac{T_{int} - T_\alpha}{R_T} \quad \text{Ec. 2.60}$$

2.7.3 CÁLCULO DEL ESPESOR DEL AISLANTE TÉRMICO.

Se puede realizar una aproximación para el espesor del aislamiento térmico tomando en cuenta que el espesor de los rollos de fibra de vidrio va desde 1 pulgada ó 2.54 centímetros en adelante, de esa forma se van a realizar iteraciones para encontrar el flujo de calor, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- La temperatura máxima que se tendrá en el interior.

$$T_{int} = T_g = 326^{\circ}\text{C} = 600^{\circ}\text{K}$$

- La temperatura del ambiente T_{α} .

$$T_{\alpha} = 10^{\circ}\text{C} = 283^{\circ}\text{K}$$

- La temperatura T_2 , debido a que el acero no ofrece mucha resistencia a la Transferencia de Calor por Conducción, ésta va a ser casi igual a la temperatura T_1 , (Temperatura de curado).

$$T_1 = T_2 = 200^{\circ}\text{C} = 473^{\circ}\text{K}$$

- La temperatura T_3 debe ser muy cercana a T_4 , por norma de seguridad no debe superar los 37°C .

$$T_3 = T_4 = 37^{\circ}\text{C} = 310^{\circ}\text{K}$$

De la ecuación 2.60 se tiene que:

$$q = \frac{T_2 - T_3}{R_3} = \frac{K_{lv}(T_2 - T_3)}{L_{lv}}$$

Donde:

$$L_{lv} = \frac{K_{lv}(T_2 - T_3)}{q} \quad \text{Ec. 2.61}$$

Reemplazando los valores de la Tabla 2.9 en la ecuación 2.61 se puede calcular el espesor del aislante térmico, como se indica en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10. Cálculo del espesor del aislante.

$T_{int} = T_g = 326^{\circ}\text{C} = 600^{\circ}\text{K}$		$T_1 = T_2 = 473^{\circ}\text{K}$	$T_3 = T_4 = 310^{\circ}\text{K}$	$T_{\alpha} = 283^{\circ}\text{K}$	
Espesor del aislante supuesto L_{iv}		Resistencia Térmica R_T $(\frac{m^2K}{W})$	Temperatura T_2 , $(^{\circ}\text{K})$	Flujo de Calor. q $(\frac{W}{m^2})$	Espesor del aislante calculado L_{iv} (cm).
pulg.	cm.				
1	2.54	1.05	473	301.90	2.37
2	5.08	1.63	473	194.47	3.68
3	7.62	2.20	473	144.09	4,98

La secuencia utilizada en la Tabla 2.10 está dada por el espesor que los distribuidores de aislamiento poseen en el mercado, él cual viene en pulgadas, se inicia la secuencia en 1 hasta 3 pulgadas.

Se puede apreciar que no se puede seleccionar 2.54 cm de aislamiento ya que el flujo de calor es muy alto y volviendo a calcular el espesor, éste valor es menor al supuesto, dejando como conclusión que no es el conveniente,

Para no correr riesgos y tomando en cuenta que la estructura del horno debe soportar además el peso de la carga es recomendable tener un espesor desde 5.08 cm ó 7.62 cm, fácilmente estos pueden soportar la estructura con carga y asegurar que la pérdida de calor va a ser mucho menor, además las paredes exteriores del horno es más que seguro que no superarán la temperatura de 37°C .

Se eligió el aislante de térmico de espesor:

$$\text{espesor} \geq 5.08 \text{ cm} = 2 \text{ pulg.}$$

2.8 BALANCE ENERGÉTICO.

El balance energético se puede representar a través de un esquema acorde a la definición de la Primera Ley de Termodinámica como se puede apreciar en la Figura 2.19:

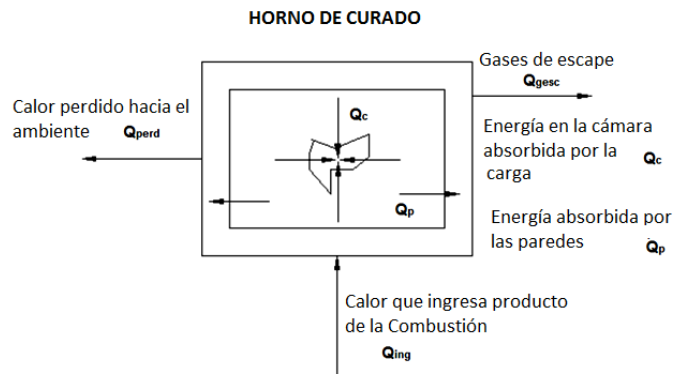


Figura 2.19: Esquema del balance energético del horno de curado.

Partiendo del concepto de Balance de Energía se tiene:

$$\sum Q_{Entrada} = \sum Q_{Salida} + \sum Q_{Acumula}$$

$$Q_{ing} - Q_{perd} = Q_c + Q_p + Q_{gesc}$$

Donde:

Q_{ing} = Calor que ingresa al horno por la combustión del GLP.

Q_c = Energía necesaria para calentar la carga.

Q_p = Energía absorbida por las paredes del horno.

Q_{gesc} = Calor que se pierde por los gases de escape producto de la combustión.

Q_{perd} = Calor que se pierde desde el horno hacia el medio ambiente.

2.8.1 ANÁLISIS POR FLUJO DE CALOR.

Considerando que el objetivo del proyecto es que el horno alcance la temperatura de curado en el menor tiempo posible para mejorar la producción de la empresa, es necesario encontrar el tiempo de calentamiento del horno.

Analizando el balance energético se encontró que se puede relacionar el flujo de calor con el calor que absorben la carga y las paredes, con las pérdidas por frontera donde se tiene:

$$\sum \dot{Q} = \dot{Q}_{gesc} + d \frac{mc_p \Delta T}{dt} |_{p.c}$$

$$\int_0^t Q_{ing} dt - \int_0^t Q_{perd} dt = \int_0^t \dot{Q}_{gesc} dt + mc_p \Delta T |_{p.c}$$

$$Q_{ing} - \int_0^t Q_{perd} dt = \dot{Q}_{gesc} + mc_p \Delta T |_{p.c}$$

Se estimará que durante el proceso de calentamiento del horno las pérdidas de los gases de escape están en el orden del 8 al 10% con respecto a la energía que ingresa al horno, es importante que las pérdidas sean mínimas se considera un 8% con respecto a la energía que ingresará al horno.¹⁹

$$Q_{ing} - \int_0^t Q_{perd} dt = 0.08 Q_{ing} + mc_p \Delta T |_{p.c}$$

$$0.92 Q_{ing} \Delta t - \dot{Q}_{perd} \Delta t = mc_p \Delta T |_{p.c}$$

¹⁹ CONSERVACIÓN ENERGÉTICA EN EL SECTOR INDUSTRIAL, Instituto Nacional de Energía, Junio 1984

Es importante encontrar el tiempo de calentamiento para conocer en qué momento el horno alcanza la temperatura de curado y se calcula con la siguiente expresión:

$$\Delta t = \frac{m c_p \Delta T|_{p.c}}{0.92 Q_{ing} - \dot{Q}_{perd}} \quad \text{Ec. 2.62}$$

2.8.2 DETERMINACIÓN DEL CALOR ÚTIL PARA CURAR LA CARGA.

El calor útil es la energía absorbida por las piezas localizadas en el interior del horno, conocida la temperatura de curado, es decir la temperatura a la que la pintura electrostática se adhiere a las piezas y los demás parámetros de diseño, se aplica la siguiente fórmula:

$$Q_c = m_c \times c_{pacero} \times \Delta T_c \quad \text{Ec. 2.63}$$

Donde:

Q_c = 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.

Datos:

$m = 120 \text{ Kg.}$

$C_p = 0.460 \text{ kJ/Kg.}^\circ\text{K. (Anexo: A).}$

$T_f = 200 \text{ }^\circ\text{C} = 473 \text{ }^\circ\text{K}$

$T_o = 10 \text{ }^\circ\text{C} = 283^\circ\text{K}$

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación 2.63 se tiene:

$$Q_c = 10\ 488 \text{ kJ}$$

2.8.3 DETERMINACIÓN DEL CALOR ABSORBIDO POR PAREDES.

Para poder calcular el Calor total que absorben las paredes del horno se utiliza la misma expresión que para la carga, ecuación 2.63, con pequeños cambios como que en este caso existen varios componentes y se debe calcular por separado porque la diferencia de temperatura no es la misma:

$$Q_p = \sum m_i \times c_{pi} \times \Delta T_i$$

Donde:

Q_p = Calor que absorben las paredes en kJ.

m_i = Masa de cada componente de la pared en Kg.

C_{pi} = Calor específico de cada componente en kJ/Kg. °C.

ΔT_i = Diferencia de temperatura de cada componente en la placa con respecto al ambiente en °C.

La masa de cada componente de la pared, se obtiene aplicando la fórmula de la densidad.

$$\rho = \frac{m}{A \times e} \quad \text{Ec. 2.64}$$

Donde:

ρ = densidad de cada componente en Kg/m³.

A = Área de cada placa de la pared en m².

e = Espesor de cada placa de la pared en m.

Para el cálculo del calor total absorbido por las paredes del horno, la masa de cada componente se procede a calcular con el área total de cada componente y calcular el calor absorbido como se indica en la Tabla 2.11:

Tabla 2.11. Calor total absorbido por las paredes del horno.

Material:	A_T (m ²)	e (m)	ρ (Kg/m ³)	m (Kg)	Cp (kJ/Kg°K)	T _f (°K)	T _o (°K)	$m_i \times c_{pi} \times \Delta T_i$ (kJ)
Pared Interior	32.64	0.001	7900	257.8	0.477	473	283	23 364
Aislante Térmico	32.64	0.05	150	244.8	0.660	392	283	17 611
Pared Exterior	32.64	0.001	7900	257.8	0.477	310	283	3 320
Pared Piso	8.64	0.001	7900	68.2	0.477	473	283	6 181
$Q_p = \sum m_i \times c_{pi} \times \Delta T_i$								50 476

El valor de 392°K representa la temperatura en el punto medio del aislamiento, y se halla con la siguiente expresión:

$$T_{2p} = \frac{T_{1p} + T_{3p}}{2} \quad \text{Ec. 2.65}$$

En la Figura 2.20 se presenta la disposición de las temperaturas en las paredes del horno para el cálculo del calor acumulado en ellas.

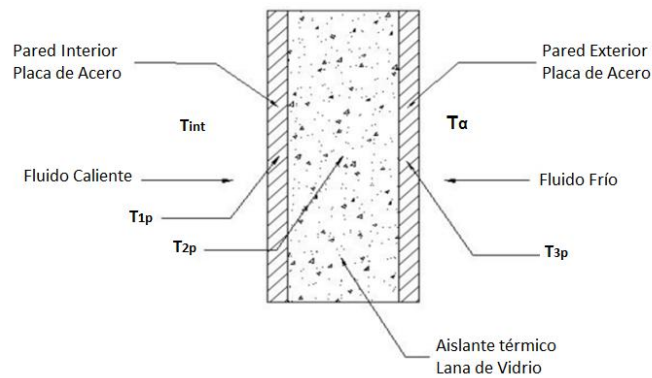


Figura 2.20: Temperatura en las paredes del horno.

Donde:

$$T_{1p} = 200^{\circ}\text{C}.$$

T_{2p} = Es la temperatura en el punto medio del espesor del aislante.

T_{3p} = Es la temperatura de la placa exterior de 37°C .

T_{α} = Es la temperatura del ambiente.

Remplazando los valores anteriores en la ecuación 2.65 se tiene:

$$T_{2p} = 119^{\circ}\text{C} = 392^{\circ}\text{K}$$

El calor total que absorben todas las paredes del horno se:

$$Q_p = \sum m_i \times c_{pi} \times \Delta T_i = 50\,476 \text{ kJ}$$

2.8.4 DETERMINACIÓN DEL CALOR QUE SE PIERDE AL AMBIENTE.

En el análisis del flujo de calor, éste se calculo en estado estacionario, no se considero la transición desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de curado, ya que se sobredimensiono este valor con el fin de evitar accidentes precautelando la seguridad física de los operarios.

El Calor total por pérdidas por unidad de tiempo se puede relacionar con el flujo de calor por unidad de área y se utiliza la siguiente expresión:

$$\frac{Q}{\Delta t} = q \cdot A$$

Sustituyendo $q = h \Delta T$ se tiene la siguiente ecuación:

$$\frac{Q}{\Delta t} = h \Delta T A \quad \text{Ec. 2.66}$$

Con los coeficientes de transferencia de calor obtenidos con anterioridad se puede calcular el Calor total perdido hacia el ambiente, como se indica en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12. Cálculo del Calor que se pierde hacia el ambiente.

	$h_{\alpha} \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	$A (m^2)$	$\Delta T (^{\circ}K)$	$h_{\alpha} \Delta T A (Kw)$
Paredes Laterales	7.16	24	37-10	4.64
Techo	6.76	8.64	37-10	1.58
$\frac{Q_{\alpha}}{\Delta t} = Q_{al} + Q_{at} (Kw)$				6.22

El resultado obtenido se lo puede referir a un tiempo Δt para obtener el siguiente resultado:

$$Q_{\alpha} = Q_{perd} = 6.22 \Delta t \text{ kJ}$$

2.8.5 DETERMINACIÓN DEL CALOR EN LOS GASES DE ESCAPE.

Para analizar como escapan los gases es necesario recordar los componentes con sus respectivas fracciones molares, tomando como referencia la ecuación con 400% de exceso de aire y la temperatura de calentamiento (200°C), para encontrar la diferencia de entalpías entre la temperatura máxima y la del ambiente, se puede observar en la Tabla 2.13:

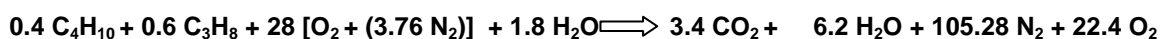


Tabla 2.13. Cálculo de los productos de escape de la combustión.

Fuente: TERMODINÁMICA, Yunus A. Cengel – Boles Michael Tabla A-18.

n_i (Kmol):	h_{473°K} kJ/kgmol.	h_{283°K} kJ/kgmol.	(h_{473°K} - h_{283°K}) kJ/kgmol.	n_i(h_{473°K} - h_{283°K}) kJ/kgmol.
3.4h _T CO ₂	16 791	8 697	8 094	27 520
6.2h _T H ₂ O	16 126	9 296	6 830	42 346
105.28h _T N ₂	13 988	8 141	5 847	615 572
22.4h _T O ₂	14 151	8150	6 001	134 422
$\sum n_i (h_{473°K} - h_{283°K})$				819 878

Considerando que peso molecular del GLP es de $50 \frac{\text{Kg.}}{\text{Kmol}}$, se puede relacionar con el valor obtenido en la Tabla y calcular el calor que se pierde por los gases de combustión:

$$Q_{esc} = \frac{819\,878 \frac{\text{kJ}}{\text{Kmol}}}{50 \frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}}} = 16\,398 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg}_{GLP}}$$

Considerando que el Poder calórico del GLP existente en el Ecuador es de 49 187 (kJ/kg). Se tiene:

$$\frac{16\,398 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg}_{GLP}}}{49\,187 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg}_{GLP}}} \times 100\% = 33\%$$

Con este valor se puede decir que estos gases de escape hacen que se pierda el 33% de la energía calorífica que ingresa a la cámara de transferencia de calor, durante la fase estacionaria, curado, donde se ha producido la combustión y ya existe la presencia de productos de la misma.

Se estima que durante la fase transitoria, calentamiento, las pérdidas sean mínimas con un máximo promedio de un 8-10%, con el horno aislado correctamente a la temperatura de cambio de estado como se detalla a continuación.

a. En el Calentamiento: $\dot{Q}_{gesc} = 0.08\dot{Q}_{ing}$

b. En el Curado: $\dot{Q}_{gesc} = 0.33\dot{Q}_{ing}$

2.8.6 CÁLCULO DEL CALOR TOTAL REQUERIDO POR EL SISTEMA.

Para hallar la cantidad de calor requerido por todo el sistema se emplea la siguiente ecuación:

$$Q_{ing} = Q_c + Q_p + Q_{gesc} + Q_{perd} \quad \text{Ec. 2.67}$$

Reemplazando los valores de calor obtenidos anteriormente en la ecuación 2.67 se tiene:

$$Q_{ing} = 10\,488\text{ kJ} + 50\,476\text{ kJ} + 0.33Q_{ing} + 6.22\Delta t\text{ kJ}$$

Considerando un Δt de 30 min = 1800 s según los fabricantes de la pintura en polvo se tiene:

$$Q_{ing} = 60\text{ Kw}$$

2.9 SELECCIÓN DEL QUEMADOR.

Para la selección del quemador se considera la carga térmica neta que el horno de pintura requiere para el proceso de curado, es así que como primer paso se asume un 20% adicional por imprevistos posteriores que pudiesen presentarse como pérdidas por sobrepresión en el horno:

$$\dot{Q}_{ing\ 1} = \dot{Q}_{ing} \times 1.2 \quad \text{Ec.2.68}$$

Reemplazando el valor anterior obtenido en la ecuación 2.68 se tiene:

$$\dot{Q}_{ing\ 1} = 72 \text{ Kw}$$

Se debe incluir un valor entre el 80 – 82 % debido a la eficiencia mecánica del quemador, así:

$$\dot{Q}_{ing\ 2} = \frac{\dot{Q}_{ing\ 1}}{0.82} \quad \text{Ec.2.69}$$

Reemplazando el valor anterior obtenido en la ecuación 2.69 se tiene:

$$\dot{Q}_{ing\ 2} = 88 \text{ Kw}$$

Se evalúa la cantidad anterior con un factor de eficiencia de funcionamiento del quemador en la ciudad de Ambato, aproximadamente 80%, debido a la menor cantidad de aire del cual se dispone en este lugar:

$$\dot{Q}_{quemador} = \frac{88}{0.8} = 110 \text{ Kw} = 375\ 342 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

En conclusión, se debería instalar un quemador con una capacidad de aproximadamente 110 Kw ó 375 342 BTU/h. Sin embargo, en el mercado no existen modelos disponibles con esa medida por ello se recurre al inmediato superior que es:

$$\dot{Q}_{quemador} = 400\,000 \frac{BTU}{h} = 117.23 Kw$$

2.9.1 CÁLCULO DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO.

Con la expresión obtenida en la ecuación 2.62 se puede encontrar el intervalo de tiempo de calentamiento. Con el valor del flujo de calor que ingresa al horno $\dot{Q}_{quemador}$ se puede conocer en qué momento las placas alcanzarán la temperatura de calentamiento y curado:

Tiempo de calentamiento:

$$\Delta t = 619 s \approx 10 \text{ min.}$$

Tiempo de curado:

$$\Delta t = 881 s \approx 15 \text{ min.}$$

Los fabricantes recomiendan tener un tiempo de calentamiento de 10 minutos, caso contrario existe el riesgo de que la pintura pierda sus propiedades.

El tiempo de curado de las piezas que se encuentran en el interior del horno es de 15 minutos, pero los fabricantes de pintura estiman un tiempo de 20 minutos para hornos de curado en cuyo interior la temperatura es de 200°C, por lo que estimará 20 minutos debido a pérdidas inesperadas en el sistema.

Con el tiempo de 10 minutos proporcionado por el quemador se puede obtener el calor que ingresa al horno y las pérdidas por los gases de escape durante el calentamiento:

a. Calor que ingresa al horno.

$$Q_{ing} = \dot{Q}_{quemador} \Delta t$$

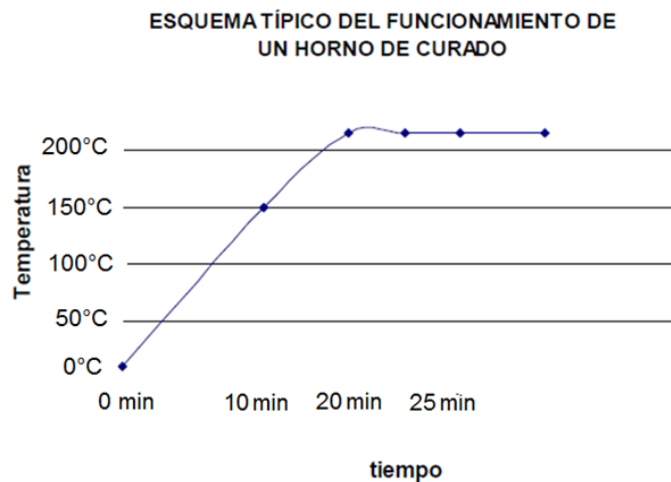
$$Q_{ing} = 72\,565 \text{ kJ}$$

b. Calor por pérdidas de escape.

$$Q_{gesc} = 0.08 \dot{Q}_{quemador} \Delta t$$

$$Q_{gesc} = 5\,805 \text{ kJ}$$

En la Figura 2.21 se presenta una curva típica de funcionamiento de un horno en la que se puede apreciar que la temperatura, después del calentamiento, en las placas pintadas tiende a estabilizarse y esto permite que la pintura se adhiera completamente a la placa.



**Figura 2.21: Curva de funcionamiento de un horno de curado
T (°C) vs t (min)**

2.10 DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO, GLP.

Una selección adecuada de tubería, válvulas, reguladores y sensores además de la localización y protección del depósito de combustible determinarán la eficacia de un sistema seguro y confiable para quienes lo operan y todos aquellos que se encuentran a su alrededor.

2.10.1 CONSUMO DE COMBUSTIBLE.

Es la cantidad de gas licuado de petróleo necesaria para generar energía calórica suficiente requerida para elevar la temperatura del aire en la cabina durante la etapa de curado de pintura. Su adquisición se realizará en los cilindros de 45 kg que se expenden para uso industrial.

2.10.1.1 Gasto de Combustible.

Para obtener la cantidad de combustible necesario, se utiliza la siguiente expresión:

$$\dot{m}_c = \frac{Q_{ing}}{H_{ci}} \quad \text{Ec. 2.70}$$

Donde:

\dot{m}_c = Gasto de combustible en Kg/h.

Q_{ing} = Consumo calorífico en kJ/s.

H_{ci} = Poder calorífico del gas en kJ/Kg. (**Anexo: J**).

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación 2.70 se tiene:

$$\dot{m}_c = 4.68 \frac{Kg_c}{h}$$

Para hallar el volumen del GLP se utiliza la siguiente expresión:

$$V_{cg} = \frac{\dot{m}_c}{\rho_{GLP}} \quad \text{Ec. 2.71}$$

Donde:

ρ_{GLP} = Es la densidad relativa de vapor a 16°C del GLP, (1.667 Kg/m³), **(Anexo: J)**.

Remplazando los valores anteriores en la ecuación 2.71 se tiene:

$$V_{cg} = 2.8 \frac{m^3}{h} = 99 \text{ cfh}$$

2.10.1.2 Autonomía del Sistema.

Permite calcular la cantidad de tanques de GLP de 45 kg (uso industrial) que son requeridos en el proceso. Se calcula con la ecuación 2.72, en la cual, existe correlación entre la carga térmica neta que requiere el sistema y el calor de vaporización del GLP.

$$N = \frac{Q_{ing}}{pc} \quad \text{Ec. 2.72}$$

Donde:

pc = Es el calor de vaporización del GLP, cuyo valor es 45000 BTU/kg. **(Anexo: J)**.

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación 2.72 se tiene:

$$N = 4.5 \frac{Kg_{GLP}}{h}$$

Por seguridad no se utiliza la totalidad del tanque de modo que se requiere definir su capacidad útil, generalmente se utiliza solo un 50%. Por otra parte, se determina el tiempo de uso aproximado del GLP, así:

$$\text{N}^\circ \text{ piezas curadas/día} = \mathbf{20}$$

$$\text{Tiempo máx. de curado (min/piezas)} = \mathbf{30}$$

$$\text{Tiempo Total de uso, (h / día)} = \mathbf{4}$$

Luego se aplica la ecuación 2.73, la cual define la autonomía del sistema, es decir, la cantidad de tanques de GLP 45 kg necesarios para un funcionamiento continuo durante el tiempo de uso especificado anteriormente.

$$ATN = \frac{C}{cut} \quad \text{Ec. 2.73}$$

Donde:

C = Consumo de GLP, kg / día.

cut = Capacidad Útil, kg / tanque

Los resultados obtenidos de la ecuación 2.73 se muestran en la Tabla 2.14:

Tabla 2.14. Autonomía del Sistema.

	Consumo GLP.	18.4 Kg/día.
Tanques de GLP	Capacidad útil del tanque (50%)	Autonomía (Tanque/día)
45 Kg.	22.5 Kg.	(18.4/22.5) = 1
15 Kg.	7.5 Kg.	(18.4/7.5) = 3

2.10.1.3 Abastecimiento.

2.10.1.3.1 Tubería de Suministro.

Debe ser diseñada de manera que pueda proveer el combustible desde el sitio de almacenamiento hasta el punto de aplicación, teniendo en cuenta que el máximo valor de caída de presión en este sistema es de 0.5 in H₂O.

Su dimensionamiento depende de:

- Consumo máximo de gas requerido por el sistema en ft³/h.
- Longitud del trazado y número de accesorios.
- Pérdidas de presión permisibles desde el manómetro hasta el quemador y;
- La gravedad específica del gas.

De acuerdo a la disposición de los equipos y a las normas de seguridad se determinó la longitud total son 3 metros. Para determinar el diámetro de la tubería se utiliza la siguiente ecuación:

$$dt = \sqrt[ng]{\frac{V_{cg}}{2313 \left(\frac{\Delta pg}{C_g L_g}\right)^{0.541}}} \quad \text{Ec. 2.74}$$

Donde:

V_{cg} = Flujo de GLP, en cfh.

ng = Constante.

L_g = Longitud de la tubería, en ft.

Δpg = Caída de presión en el sistema, en in w.g.

C_g = Factor de viscosidad, densidad y temperatura; está definido por la siguiente expresión:

$$C_g = 0.00354(460 + tg).sg^{0.848}.uglp^{0.15} \quad \text{Ec.2.75}$$

Donde:

tg = Temperatura del GLP, °F

sg = Gravedad Específica del GLP.

uglp = Viscosidad del GLP.

Reemplazando los datos en las ecuaciones 2.74 y 2.75 respectivamente se tiene:

$$V_{cg} = 99 \text{ cfh}$$

$$ng = 2.623$$

$$L_g = 3 \text{ m} = 9.84 \text{ ft.}$$

$$\Delta pg = 0.5 \text{ in H}_2\text{O}$$

$$tg = 15^\circ\text{C} = 59^\circ\text{F}$$

$$sg = 0.6$$

$$uglp = 0.008$$

$$C_g = 0.577$$

Entonces el diámetro de la tubería es:

$$dt = 0.49 \text{ in}$$

2.10.1.4 Acometida del sistema de alimentación.

Es la sección donde se manejará la presión más alta del sistema, por tal motivo constará de los siguientes accesorios:

- Centralina de gas.
- Manómetro.
- Regulador de presión de 1ª etapa.
- Válvula de cierre rápido (de globo).
- Acoples como codos, "T", uniones y reducciones, ver Figura 2.22.



Figura 2.22: Tipos de Acoples con rosca.

2.10.1.5 Acometida del sistema de distribución.

Esta sección es fundamental para las condiciones de funcionamiento ya establecidas, el quemador va precedido por dos ramales, una de alta presión y otra de baja presión, esta última siempre permitirá el paso de combustible al sistema mientras que el ramal de alta presión se estará abriendo y cerrando para controlar la longitud de flama y la temperatura a la que se quiera trabajar.

Esta sección constará de los siguientes accesorios:

Ramal de alta presión.

- Regulador de presión (presión máx. 15 lbs).
- Electroválvula de 3/8 de pulgada, ver Figura 2.23.
- Cañería de cobre de 3/8 de pulgada, ver Figura 2.24.
- Acoples como codos, "T", uniones y reducciones.

Ramal de baja presión.

- Regulador de presión (presión máx. 5 lbs).
- Electroválvula de 1/4 de pulgada.
- Cañería de cobre de 1/4 de pulgada.

Ramal del Piloto de encendido.

- Regulador de baja presión.
- Electroválvula de 1/4 de pulgada (**Anexo: K**).
- Cañería de cobre de 1/4 de pulgada.



Figura 2.23: Válvula Solenoide de una vía.



Figura 2.24: Cañería de Cobre.

2.11 DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN.

Para controlar de forma precisa el proceso con el cual debe trabajar el horno, se hará uso de un microcontrolador, el mismo que deberá ser capaz de procesar las entradas a través de sensores y ejecutar secuencias generadas hacia las salidas para los actuadores.

2.11.1 SELECCIÓN DEL MICRO CONTROLADOR.

El micro controlador se seleccionará en función de las facilidades de operación que se les puede dar a los trabajadores y por la flexibilidad al momento de cambiar de control o de reconfigurarlo completamente.

Para evaluar el micro controlador cumpla con las expectativas de funcionamiento se deben considerar los siguientes aspectos:

- Número de entradas: **5**
- Número de salidas: **4**
- La alimentación de corriente necesaria: **110 Voltios**
- La capacidad de memoria que se necesita.
- Dispositivos de comunicación.
- Facilidad de programación
- Precio del controlador.
- Marca
- Disponibilidad en el mercado.

Para seleccionar el tipo de micro controlador aplicable, se realizará una matriz de ponderación con la cual se tomará la mejor selección como se indica en la Tabla 2.15.

Las alternativas que se tiene son:

A. Micro PLC TELEMECANIQUE SR2 A.

B. Micro PLC SIEMENS LOGO 230 RC.

Tabla 2.15. Matriz de ponderación del Micro Controlador.

ASPECTOS	PONDERACIÓN	ALTERNATIVAS	
		A	B
Número de I/O:	10	10	10
Alimentación:	10	10	10
Memoria:	10	10	10
Dispositivos de comunicación:	10	10	10
Facilidad de programación:	10	10	10
Precio:	10	8	10
Marca:	10	10	10
Disponibilidad:	10	10	10
PUNTUACION TOTAL:		78	80

Como se puede apreciar en la Tabla 2.15 los dos micro controladores tienen las mismas características, pero lo que marca la diferencia entre los dos es el precio.

El precio del Micro PLC TELEMECANIQUE SR2 A es de 247.89 dólares, mientras que el precio del Micro PLC SIEMENS LOGO 230 RC es de 132.37 dólares (09 de diciembre del 2010) y en cuanto a calidad las dos marcas son muy buenas.

Por lo tanto, el micro controlador que se utilizará para esta aplicación es el **Micro PLC SIEMENS LOGO 230 RC (Anexo: L)**, ver Figura 2.25.



Figura 2.25: Micro PLC SIEMENS LOGO 230 RC.

El Micro PLC SIEMENS LOGO 230 RC tiene las siguientes características como se indica en la Tabla 2.16.

Tabla 2.16. Características del PLC SIEMENS LOGO 230 RC.

Marca:	SIEMES
Modelo:	230 RC, con pantalla.
Alimentación:	115 – 240 VAC / VCC
Número de entradas I/O:	8
Señal de entrada 0:	< 40 VAC y < 30 VCC
Señal de entrada 1:	> 79 VAC / VCC
Número de salidas:	4 a relé de 10 A.

2.11.2 DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES DE CONTROL.

Para determinar las variables de control a continuación se da una breve explicación del proceso de funcionamiento del horno.

1. Mediante el accionamiento del selector de dos posiciones se energiza tanto al micro controlador LOGO como al Controlador de Temperatura.

2. En el micro controlador LOGO y controlador de temperatura registramos el tiempo y temperatura de referencia.
3. Con el accionamiento del pulsador de marcha se enciende el quemador y se accionan las válvulas de alimentación, baja y piloto, permitiendo el paso de combustible.
4. Si existe la presencia de flama, el sensor enviará una señal hacia el micro controlador permitiendo el accionamiento del quemador y el ventilador de inyección y recirculación, caso contrario el sistema a los tres intentos se bloqueará, por lo que se debe presionar el pulsador de Paro/Reset.
5. El quemador debe elevar la temperatura en el interior del horno hasta los 200°C por un tiempo de 20 minutos, esta temperatura es censada por sensor de temperatura permitiendo la apertura o el cierre de la válvula de alta presión.
6. Posteriormente empezará un tiempo necesario para refrigerar la carga que se encuentra dentro del horno por 10 minutos de ser el caso.
7. Al concluir con este tiempo el ciclo debe llegar a su fin.

Con la explicación detallada anteriormente las variables de control que demanda el proceso de curado de pintura electrostática son las siguientes:

- Tiempo (De calentamiento y de enfriamiento)
- Temperatura.
- Presencia de flama.

2.11.3 SELECCIÓN DE LOS SENSORES.

Los sensores que se utilizarán son determinados en base a las variables de control que demanda el proceso.

2.11.3.1 Sensor de Temperatura.

Para la selección del sensor de temperatura se tomará en cuenta los siguientes aspectos:

- Rango de Temperatura: 0 – 300 °C.
- Costo.
- Linealidad.
- Acondicionamiento.

Existen algunos tipos de sensores de temperatura que dan el rango de temperatura requerido, por lo cual se presenta una matriz de ponderación para la selección del sensor como se puede observar en la Tabla 2.17.

Las alternativas que se tiene son:

- A. Termistor
- B. Termocupla.
- C. RTD.

Tabla 2.17. Matriz de ponderación de Sensores de Temperatura.

ASPECTOS	PONDERACIÓN	ALTERNATIVAS		
		A	B	C
Rango de temperaturas:	10	10	10	10
Linealidad:	10	8	10	8
No necesidad de Acondicionamiento:	10	8	8	8
Costo:	10	10	10	10
PUNTUACION TOTAL:		36	38	36

Como se aprecia en la Tabla 2.17, las termocuplas son la opción más útil y económica para esta aplicación por los siguientes aspectos:

- Son más económicos.
- Su rango de temperaturas está dentro de lo que se necesita para el funcionamiento del horno de 200°C.
- La termocupla nos da una señal análoga, pero por medio de un controlador de temperatura se la transformará en señal digital.

Por lo tanto se utilizará una **Termocupla tipo J** cuyas características se muestran a continuación en la Tabla 2.18.

Tabla 2.18. Características Termocupla Tipo J.

Termopar:	Tipo J
Rango Temperatura:	-200 a 700 °C
Precisión:	1%
Composición:	Hierro – Cobre y Níquel
Recubierto:	Acero inoxidable.

2.11.3.1.1 Controlador de temperatura.

El control de temperatura para la termocupla tipo J requiere dos parámetros:

1. Set point (SP) (Temperatura deseada)
2. Histéresis (Banda muerta).

La histéresis en el rango de temperatura en el que el control las salidas no cambia el estado. Cuando la temperatura del horno sea mayor o igual a la temperatura deseada la salida se desconectará, y cuando sea menor que la SP se conectará. Cuando la temperatura se mantenga dentro del ancho de histéresis conservará su estado, ver Figura 2.26.

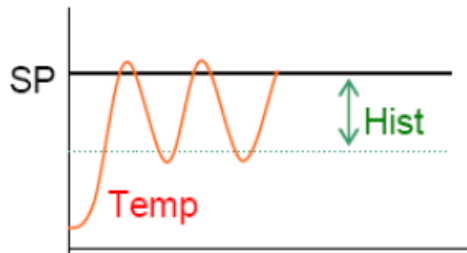


Figura 2.26: Histéresis del controlador de temperatura.

En la Tabla 2.19 se muestran las características del controlador de temperatura.

Tabla 2.19. Características del Controlador de temperatura.

Marca:	SASSIN
Modelo:	3S – C700
Rango Temperatura:	0 a 400 °C
Precisión:	0.5 %
Alimentación:	110 / 220 VAC
Tipo de termocupla:	Tipo J
Indicación digital:	3 dígitos
Tipo de Entrada:	Análoga
Tipo de Salida:	Digital

En la Figura 2.27 se muestra el aspecto del controlador de temperatura seleccionado.



Figura 2.27: Aspecto exterior del Controlador de Temperatura.

2.11.3.2 Sensores de Llama.

Para la selección del sensor de llama se tomará en cuenta los siguientes aspectos:

- El tipo de Combustible.
- Sensibilidad.
- Costo.
- Acondicionamiento.

Existen algunos tipos de sensores de llama que aseguran el encendido de quemadores, por lo cual se presenta una matriz de ponderación para la selección del sensor como se puede observar en la Tabla 2.20.

En los combustibles del tipo gaseoso, las alternativas que se tiene son:

- A. La varilla de ionización.
- B. Sensores ultravioletas (UV);
- C. Infrarrojos (IR).

Tabla 2.20. Matriz de ponderación de Sensores de Llama.

ASPECTOS	PONDERACIÓN	ALTERNATIVAS		
		A	B	C
No necesidad de Acondicionamiento:	10	8	8	8
Sensibilidad:	10	10	10	10
Costo:	10	10	8	8
PUNTUACION TOTAL:		28	26	26

Como se aprecia en la Tabla 2.20, la varilla de ionización es la opción más útil y económica.

Por lo tanto se utilizará una **Varilla de ionización** para asegurar la combustión del quemador, debido a que la llama tiene la propiedad de conducir y rectificar la corriente, características que aprovechará para realizar el encendido de la misma.

2.11.4 SELECCIÓN DE LOS ACTUADORES Y PRE-ACTUADORES.

La selección de actuadores se determina en función de las acciones que el proceso necesita cumplir. Para este caso los actuadores usados son el quemador y el motor del ventilador, pero dichas acciones deben ser controladas por pre-actuadores, en este caso Contactores.

2.11.4.1 Quemador.

El quemador fue seleccionado en función de las características que se detallan a continuación:

- Potencia: 400 000 BTU/h
- Disponibilidad en el mercado, ver Figura 2.28.



Figura 2.28: Aspecto exterior del Quemador.

El quemador seleccionado tiene las siguientes características como se indica en la Tabla 2.21.

Tabla 2.21. Características del Quemador.

Marca:	Wayne.
Capacidad:	400000 BTU/h
Ignición:	12000 V transformador (secundario).
Motor:	1/3 HP , 3450 RPM , 115 VAC / 60Hz

2.11.4.2 Motor Eléctrico.

La selección del motor se la realizó en base al cálculo de la selección del ventilador obteniéndose los siguientes valores en cuanto a potencia y velocidad del motor.

- Potencia requerida: 1 HP.
- Velocidad requerida: 1800 rpm, ver Figura 2.29.



Figura 2.29: Aspecto exterior del Motor Eléctrico.

En la Tabla 2.22 se muestran las características del motor adquirido:

Tabla 2.22. Características del Motor.

Marca:	Weg.
Tipo:	Monofásico.
Revoluciones:	1800 rpm.
Potencia:	1 HP.
Voltaje:	110 VAC
Amperaje:	8.4 A
Frecuencia:	60 Hz
Eficiencia:	80 %

2.11.4.3 Relés auxiliares.

Para el control de los dos actuadores se usará tres contactores como relés auxiliares, dos para el transformador y motor del quemador respectivamente y el otro para el motor eléctrico.

La selección de los contactores se las realizó considerando los siguientes aspectos:

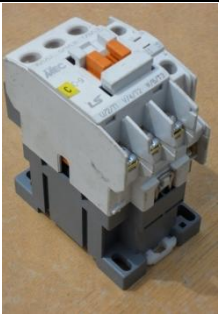
- Voltaje y corriente de operación.
- Disponibilidad en el mercado (**Anexo: M**), ver la Tabla 2.23.

Tabla 2.23. Consideraciones para selección de los contactores.

VARIABLE	MOTOR DEL QUEMADOR	TRANSFORMADOR DE IGNICIÓN	MOTOR DE INYECCIÓN.
Voltaje de operación:	110 V	110 V	110 V
Corriente de operación:	2.7 A	12.5 A	8.4 A
Disponibilidad en el mercado.			

Las características de los contactores seleccionados son las siguientes, ver Tabla 2.24.

Tabla 2.24. Características Contactor LG.

	Marca:	LG.	LG.
	Modelo:	GCM-22	GCM-9
	Cantidad:	2	1
	Voltaje de Alimentación de la Bobina:	110 VAC	110 VAC
	Intensidad de Corriente:	13 A	3 A
	Frecuencia:	50 – 60 Hz	50 – 60 Hz

2.11.5 DISEÑO DEL DIAGRAMA DE CIRCUITO CONTROL.

Para el diseño del circuito de control se detallará a continuación el funcionamiento del sistema:

1. Con el selector de dos posiciones (S1) se enciende el LOGO y el Controlador de Temperatura.
2. Al pulsar el botón de marcha S2 acciona a los contactores KM1 y KM2, el primero acciona el motor del quemador (M1) y las electroválvulas de alimentación de gas (EV1), y piloto (EV4) y el segundo acciona en transformador de ignición del quemador (T2).
3. El sensor de Flama S3 memorizan al contactor KM4 caso contrario envía una señal al contador C1. El contactor KM4 acciona la electroválvula de alta (EV2) y el contactor KM3, este último acciona el motor del ventilador de inyección (M2) y memoriza al contactor KM1.
4. El contador C1 bloquea el sistema siempre y cuando el número de intentos de encendido sea de tres veces.
5. Cuando el sistema este próximo alcanzar la temperatura deseada el controlador de temperatura se accionara el relé interno permitiendo la apertura del contactor KM4 (EV2), cuando descienda la temperatura el controlador este accionara la el contactor KM4 (EV2)
6. KM1 y KM4 se desactivan cuando el temporizador KA1 llegue al valor de 20 min.

7. KM3 se desactiva cuando el temporizador KA2 llegue al valor de 5 min, tiempo necesario para enfriar la carga.
8. Al pulsar el botón de Paro/Reset este desactiva el sistema en cualquier momento proceso, además pone en cero el valor de conteo del contador C1.

Con las consideraciones anteriores se obtiene el Diagrama Eléctrico y el Diagrama en LOGO del proceso, ver **Anexo: N**.

2.12 DIAGRAMA DE BLOQUES, SISTEMA DE CONTROL.

En la Figura 2.30 se muestra el diagrama de bloques del sistema de control con sus respectivos sensores, controladores etc.

En el diagrama se puede distinguir como parte central al PLC (Micro PLC LOGO siemens) y PTC (controlador de temperatura).

Al accionar el interruptor de dos posiciones ON/OFF se energiza el sistema dando alimentación al PLC, PTC y acciona la válvula principal de gas permitiendo el paso del mismo.

El PLC recibe la señal del SENSOR F y envía las siguientes señales:

- La primera al controlador de la válvula de baja presión y a la válvula piloto.
- La segunda al electrodo de ignición, el mismo que genera una chispa de encendido.
- La tercera al ventilador del quemador para que produzca la mezcla aire combustible.

- La cuarta al ventilador de inyección y recirculación de aire hacia el hogar.

La PTC recibe la señal del SENSOR T y envía una señal de apagado al Control de la válvula de alta presión de gas, cuando llega a la temperatura de referencia.

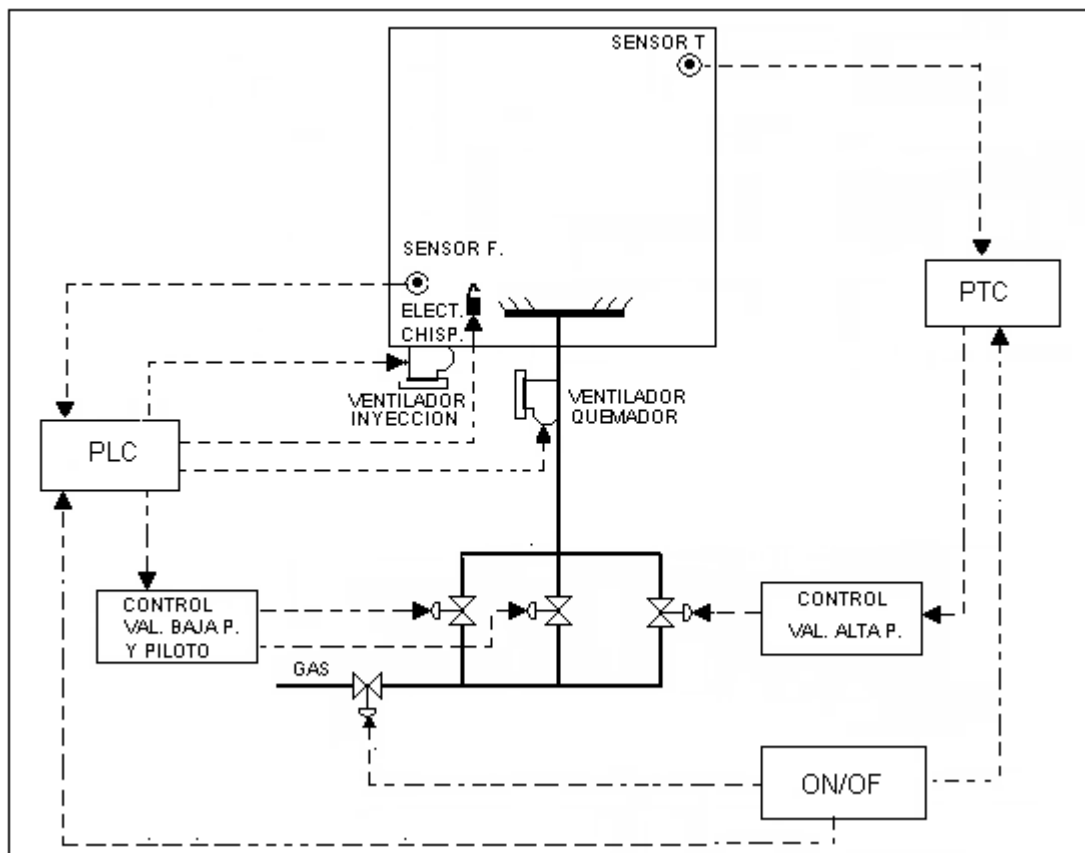


Figura 2.30: Diagrama de Bloques del Sistema de Control.

CAPÍTULO 3

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

Una vez concluido y verificado el diseño y la selección de todos los elementos del sistema para el curado de pintura, se procede a la construcción del mismo, para ello se utiliza como base los diferentes planos proyectados, la construcción del sistema consta de los siguientes procesos:

- Construcción mecánica.
- Construcción e Instalación de la acometida de gas.
- Instalación eléctrica.
- Montaje del sistema.

3.1 CONSTRUCCIÓN MECÁNICA.

En la construcción mecánica están presentes principios y conocimientos técnicos tales como la utilización y manejo de máquinas-herramientas, la selección correcta de los tipos de soldas y la planificación adecuada para la construcción.

3.1.1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.

El cronograma de actividades se encuentra en la Tabla 3.1. En éste cronograma se describe de manera cronológica cómo se realiza la construcción de todos los elementos que forman parte del sistema de calentamiento, suministro de combustible y control del horno.

Tabla 3.1. Cronograma de actividades para construcción del horno de curado.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.																		
CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE HORNO DE CURADO.																		
SEMANAS.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
MESES.	Noviembre 2010.				Diciembre 2010.				Enero 2011.				Febrero 2011.				Marzo 2010.	
CONSTRUCCIÓN DEL HORNO.																		
CONSTRUCCIÓN ESTRUCTURAS.																		
Cortar tubos cuadrados.																		
Soldar estructura del horno.																		
Cortar planchas de acero.																		
Soldar planchas a estructura.																		
CONSTRUCCIÓN PAREDES DEL HORNO.																		
Cortar el aislante del rollo.																		
Amar paredes del horno.																		
CONSTRUCCIÓN DE LA CAMPANA DE COMBUSTIÓN																		
Cortar perfiles tipo ángulo.																		
Soldar los perfiles tipo ángulo.																		

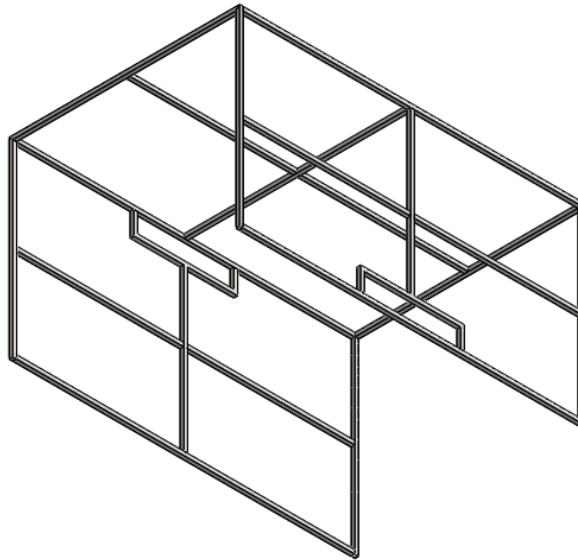


Figura 3.1: Aspecto de la Estructura Metálica.

3.1.2.2 Paredes del Horno.

Tanto las paredes exteriores e interiores del horno se construyen con planchas de acero ASTM-A 36 de 1.20 m x 2.40 m de 1 mm de espesor, ver la Figura 3.2.

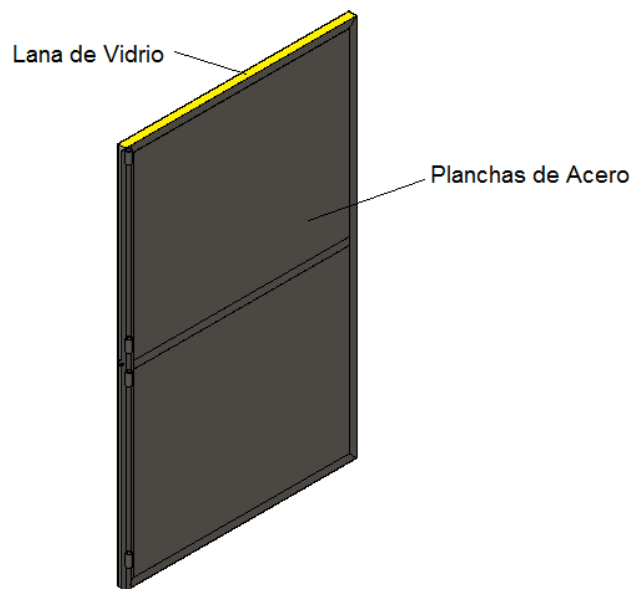


Figura 3.2: Aspecto de las Paredes del Horno.

3.1.2.3 Aislamiento térmico.

Se utiliza como aislamiento térmico la lana de vidrio de 2 pulgadas de espesor, para aislar las paredes del horno y 1 pulgada para aislar los ductos, ya que este sistema maneja temperaturas que bordean los 200°C, ver la Figura 3.3.



Figura 3.3: Aspecto del Aislamiento Térmico.

3.1.2.4 Ductos.

Los ductos empleados son de acero galvanizado de 12 x 8 pulgadas de 1 mm de espesor. Los ductos son aislados con fibra de vidrio de 1 pulgada de espesor recubierta con una película de aluminio. La película de aluminio es de permite reflejar la radiación, ver la Figura 3.4.

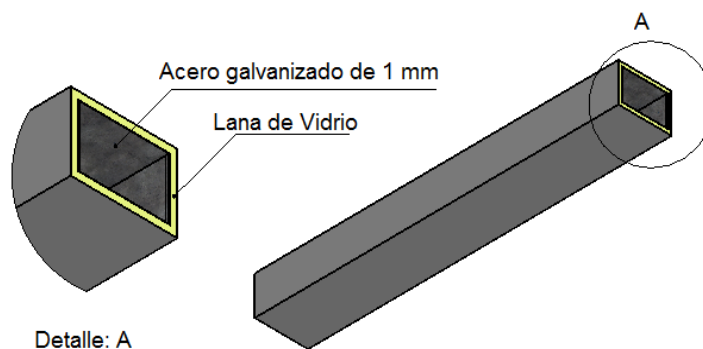


Figura 3.4: Aspecto de los Ductos.

3.1.2.5 Cámara de Combustión.

Debido a la elevada temperatura que tiene que soportar la cámara de combustión, se construye la estructura con perfiles de acero en ángulo, la cual sostendrá las tabillas refractarias (interior) y planchas de acero galvanizado ASTM-A 653 (exterior), este último resistente a la corrosión que se genera al exponerse al medio ambiente, ver la Figura 3.5.

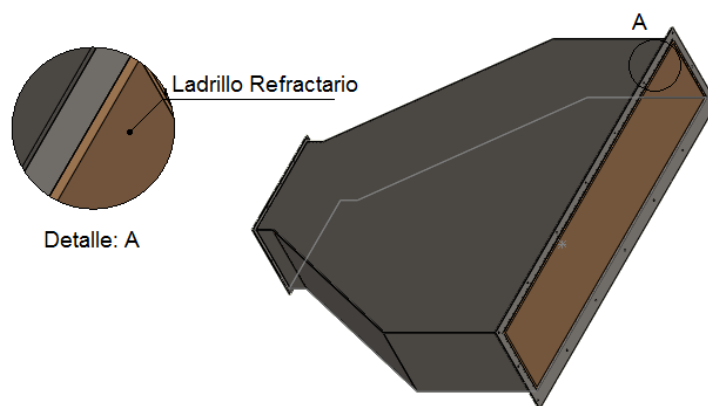


Figura 3.5: Aspecto de la Cámara de combustión.

3.1.3 TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN.

3.1.3.1 Trazado y Corte.

Para armar la estructura del horno se usan perfiles cuadrados de 40 mm x 40 mm x 3 mm y para las paredes exteriores e interiores las planchas de acero de 1.20 m x 240 m, se colocan sobre la mesa de trabajo para trazar en función de las medidas de los planos proyectados.

Para realizar esta operación generalmente se utiliza un flexómetro, rayador y una escuadra, ver la Figura 3.6.



Figura 3.6: Herramientas para el Proceso de Trazado.

Luego del trazado se procede al corte, los perfiles cuadrados se pueden cortar con la ayuda de una sierra, Ver Figura 3.7.



Figura 3.7: Proceso de corte con arco de sierra.

Las planchas de acero de 1 mm de espesor por tratarse de un material muy delgado, se usa una cizalla para efectuar su corte, este equipo corta las planchas con mucha precisión debido a que cuenta con un mecanismo que permite sujetar la plancha, además brinda seguridad a los operadores que manejan dicho equipo, ver Figura 3.8.



Figura 3.8: Proceso de corte con Cizalla.

Para el corte de planchas de espesor considerables (hasta 6 mm) se emplea un equipo de corte por plasma. En este proceso se crea un arco eléctrico entre el electrodo y la cámara cilíndrica (boquilla) ionizando el gas circundante entre las dos piezas, posteriormente este gas ionizado (plasma) pasa a través de una tobera de diámetro pequeño, de forma que el plasma sale de la boquilla a una velocidad muy alta capaz de fundir el material a cortar y retirar las escorias y óxidos formados en el proceso.

Con este proceso se obtiene cortes de gran precisión y elevada calidad de todos aquellos materiales que conduzcan la electricidad, ver Figura 3.9.



Figura 3.9: Proceso de corte con Plasma.

3.1.3.2 Doblado.

Con las piezas cortadas se procede al doblado en las zonas donde se requiera según los planos, como es el caso de las tapas o paredes del horno y el acceso de aire precalentado del recuperador hacia la cámara de combustión (Ventilador).

Para realizar esta operación se usa una dobladora manual por su facilidad de empleo, este equipo permite doblar las planchas de acero de forma correcta, cuenta con un sistema de muelas de diferentes tamaños, las cuales permiten doblar piezas de distintas dimensiones, ver Figura 3.10.



Figura 3.10: Proceso de Doblado.

3.1.3.3 Proceso de Soldadura.

Para la unión de las piezas antes realizadas se lo efectúa por secciones:

1. Se unen los perfiles cuadrados para formar la estructura del horno.
2. Se coloca las planchas de acero para formar las paredes tanto internas como externas del horno.
3. Se unen las planchas de acero para formar la cámara de combustión.

El proceso de soldadura consiste en formar un cordón a lo largo de todas las uniones, como el perfil cuadrado de acero es de 3 mm de espesor se usan electrodos recubierto E6011, presenta buena penetración y agarre, posteriormente se procede a esmerilar rebabas o cualquier otro defecto para finalmente soldar con electrodos E6013 que nos permite obtener un buen acabado superficial, el tipo de soldadura es a tope y en ángulo, el amperaje está comprendido entre 90 y 110 amperios **(Anexo: O)**, ver Figura 3.11.



Figura 3.11: Proceso de Soldadura con arco Eléctrico.

La soldadura eléctrica MIG se utiliza para unir las planchas de acero a la estructura del horno, sirve para construir la campana de combustión, se emplea este tipo de soldadura por su facilidad para unir láminas de acero de 1 mm de espesor.

Se usa también para la construcción de los aldabones, los cuales están formados por tubos redondos de 5/8 de pulgadas de 2 mm de espesor, esta soldadora se regula de acuerdo a la necesidad, los parámetros que se modifican son el voltaje y la velocidad de salida del alambre de cobre, ver Figura 3.12.



Figura 3.12: Proceso de Soldadura eléctrica MIC.

La soldadora de punto se utiliza para unir las planchas de acero de espesores muy delgados entre sí, la unión se debe al calentamiento que experimentan los metales debido a su resistencia y al flujo de una corriente eléctrica intensa durante un instante, como la reducción que une la campana de la cámara de combustión con los ductos, el eyector de aire en cual está formado por un ventilador axial el cual permite la recirculación del aire caliente, ver Figura 3.13.



Figura 3.13: Proceso de unión con Suelda de punto.

3.1.3.4 Esmerilado y Pulido.

Para tener un acabado superficial óptimo se procede a esmerilar las rebabas o cualquier otro defecto producidas por los procedimientos de soldaduras, para esta operación se usa la Amoladora con un disco abrasivo de esmerilado, ver Figura 3.14.



Figura 3.14: Proceso de Esmerilado y Pulido.

3.1.3.5 Taladrado.

Para fijar el horno al piso se construyen empotramientos, están hechos de platina de acero de 50 mm x 6 mm de espesor en forma de L, perforados para sujetar el horno al piso mediante perno de expansión de 10 mm de diámetro, para esta operación se usa una broca del mismo diámetro de acero para las platinas y de concreto para el piso, el proceso requiere de 8 perforaciones en total, ver Figura 3.15.



Figura 3.15: Empotramientos para el horno de curado.

3.1.4 ENSAMBLE.

Una vez cortadas y soldadas cada una de las partes se procede al ensamble, este proceso se lleva a cabo en tres secciones que facilitan el montaje del sistema.

3.1.4.1 Paredes laterales, techo y puertas.

Constituida principalmente por las paredes laterales, techo y las puertas del horno, construidas por una pared exterior y una interior separada por lana de vidrio de 2 pulgadas de espesor, las paredes son soldadas con el proceso eléctrico MIC en ciertas zonas (extremos y el centro) para formar un solo cuerpo compacto.

Primero se coloca las paredes laterales y el techo para posteriormente unir al horno las puertas mediante bisagras las cuales permiten la apertura y cierre de las mismas.

Para asegurar las puertas y evitar aperturas inesperadas se sueldan los aldabones formado por bocines, los mismos que permiten el giro y asegurar las puertas, ver Figura 3.16.



Figura 3.16: Ensamble de las paredes del horno de curado.

3.1.4.2 Cámara de Combustión.

Esta sección está constituida por la cámara de combustión, construida la estructura se procede a colocar y sujetar las tabillas refractarias mediante pernos de acero de 1/4 x 2 pulgadas a la estructura. Posteriormente se recubre las tabillas con cemento refractario y finalmente se colocan y se sueldan las planchas de acero, en esta operación se utiliza electrodos recubiertos E6011, ver Figura 3.17.

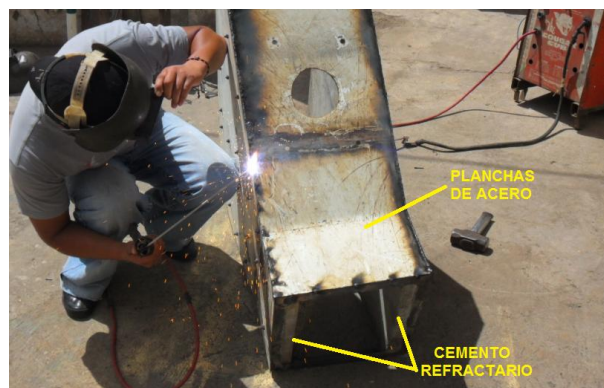


Figura 3.17: Ensamble de la cámara de combustión.

3.1.4.3 Ductos.

Esta última sección está comprendida por los acoples y los ductos, estos se unen mediante conectores en forma de "S" y grapas de sujeción hasta darle la forma y longitud necesaria, ver Figura 3.18.

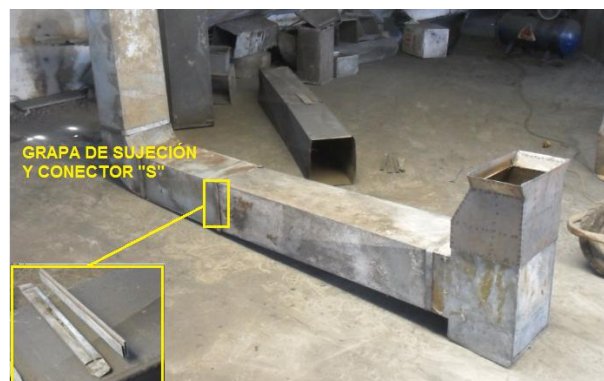


Figura 3.18: Ensamble de los ductos de recirculación.

Para producir un flujo forzado en los ductos, se coloca un ventilador en la parte posterior de los ductos, el cual está sujeto a regulaciones según la cantidad de aire requerida por el sistema.

El ventilador es de tipo axial en posición vertical, acoplado a un soporte el mismo que se encuentra soldado a la estructura con electrodos recubiertos E6011, posteriormente se sujetan las chumaceras con pernos de 1/2 x 2 pulgadas, el ventilador se encuentra ubicado bajo el motor de accionamiento.

El sistema de la transmisión de movimiento entre el motor y el ventilador se realiza a través de poleas y banda, se escoge este sistema por la facilidad de incrementar y reducir de la velocidad únicamente cambiando la relación de diámetros de las poleas, ver Figura 3.19.



Figura 3.19: Ensamble del Sistema de Recirculación del aire.

Una vez ensambladas las tres secciones se finaliza la construcción mecánica del sistema para el curado de pintura, es decir el horno, la campana de combustión, los ductos y el ventilador.

3.2 CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN, ACOMETIDA DE GAS.

Para la construcción e instalación de la acometida de gas se emplean conceptos de seguridad con el fin de evitar riesgo de explosiones que pudieran afectar al personal y a la infraestructura de la empresa.

3.2.1 CONSTRUCCIÓN DE CENTRALINA DE GAS.

Para la acometida de gas se inicia en la construcción de la centralina, abarca tres cilindros de GLP de 45 Kg, un manómetro de presión y válvulas de cierre, se usa un soldadora oxiacetilénica para poder soldar los acoples y válvulas de cobre al cilindro de presión que formara la centralina, ver Figura 3.20.



Figura 3.20: Construcción de la Centralina de gas.

La centralina se ubicará en lejos de máquinas y objetos que puedan causar chispas como una soldadora, un esmeril, una amoladora, etc.

3.2.2 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DEL GLP.

El sistema de distribución del GLP se construye con tubería de cobre de 3/8 y 1/4 de pulgada, conduce el gas desde la centralina hacia el quemador mediante dos etapas una alta y otra baja respectivamente.

Para la construcción de este sistema se utilizará herramientas que permita cortar, avellanar, doblar y unir los tubos de cobre.

3.2.2.1 Corte.

Para cortar el tubo de cobre primero se estima la longitud de corte de acuerdo a la distribución de las válvulas de cierre, de regulación, las solenoides y los acoples roscables para facilitar la unión.

Con las longitudes establecidas se procede a cortar el tubo de cobre con un cortador manual, se coloca sobre el tubo en el lugar donde se va a cortar se aprieta la perilla y a continuación se hace girar el cortador alrededor del tubo y al mismo tiempo apretar la perilla, ver la Figura 3.21.



Figura 3.21: Proceso de Corte del tubo de Cobre.

3.2.2.2 Avellanado.

Antes de realizar el avellanado es importante preparar el tubo de cobre, el corte debe ser perpendicular y libre de rebabas internas y externas.

Para formar el avellanado se debe introducir en el agujero del tamaño adecuado y ajustar a la altura que sobresale del soporte (5 mm y 8 mm para los tubos de 1/4 y 3/8 respectivamente).

Posteriormente se coloca una gota de aceite en el cono del troquel, apretar el cono media vuelta y regresar un cuarto de vuelta, volver apretar tres cuartos de vuelta y a continuación regresar un cuarto de vuelta, se continúa con este procedimiento de vaivén hasta formar el avellanado, ver Figura 3.22.



Figura 3.22: Tubo de Cobre Avellanado.

3.2.2.3 Doblado.

Para doblar el tubo de cobre se usa una dobladora de palanca, el tubo de cobre se coloca sobre el bloque de formación dependiendo del tamaño de tubo, esta permite doblar tubos de 1/4, 3/8, y 1/2 pulgada hasta formar ángulos hasta de 180°, para el sistema de distribución se doblará a 90° el tubo de 1/4 y 3/8, ver Figura 3.23.



Figura 3.23: Proceso de Doblado del tubo de Cobre.

3.2.2.4 Unión.

Para unir los tubos de cobre se emplea el equipo oxiacetilénico, antes de soldar los tubos de cobre debe estar libre de rebabas, grasas, aceites u óxidos, y seleccionar el tipo de fundente adecuado para la soldadura de plata.

Para soldar se debe primero ajustar el equipo oxiacetilénico para tener una flama ligeramente reductora o sea que tenga menos oxígeno, posteriormente se inicia con el calentamiento uniforme alrededor del tubo a una distancia de 10 a 25 mm del extremo de conexión.

Luego se aplica el fundente a la junta, cuando se haya derretido en un líquido claro se debe aplicar la suelda de plata y transferir el calor a la junta hasta que la unión quede totalmente cubierta con la suelda de plata, ver Figura 3.24.



Figura 3.24: Proceso de Soldadura del tubo de Cobre.

Una vez soldadas las piezas no se debe enfriar con agua ni otro tipo de líquido, éstas deben enfriarse al aire para permitir que la aleación de soldadura se solidifique.

Con la ayuda de un cepillo de alambre o una lija se limpia el fundente sobrante y el hollín formado en las uniones anteriormente soldadas, ver Figura 3.25.



Figura 3.25: Limpieza del tubo de Cobre.

3.2.3 INSTALACIÓN.

Con todas las piezas cortadas, avellanadas y soldadas se procede a la instalación, para facilitar la instalación se divide en dos secciones al sistema (**Anexo: N**):

3.2.3.1 Instalación del sistema de Alimentación.

En esta sección se instala la acometida desde la alimentación (centralina) hasta el punto de distribución, por tal motivo en esta sección se maneja la presión más alta del sistema, es por ello que se instalará de la siguiente forma:

Se ubica los tres cilindros de gas, luego se conecta los cilindros a la centralina a través de las válvulas de alimentación, en la centralina se coloca el manómetro de presión (0-200 psi) para visualizar las regulaciones de la presión.

A la salida de la centralina se instala la válvula reguladora de presión y la válvula de cierre rápido, todos los accesorios van conectados con manguera flexible de presión de 1/2 pulgada con sus respectivos acoples hasta el sistema de distribución, ver Figura 3.26.



Figura 3.26: Instalación del sistema de Alimentación.

3.2.3.2 Instalación del sistema de Distribución.

En esta sección se instala la acometida desde el punto de distribución hasta el quemador, va precedido por dos ramales, una de alta presión o mayor flujo de gas y otra de baja presión o menor flujo de gas, se procede a la instalación de siguiente forma:

Para el ramal de alta presión, se instala el regulador de presión seguido por la válvula de solenoide de 3/8 de pulgada, el de baja presión se instala de igual manera el regulador de presión seguido por la válvula de solenoide 1/4 pulgada, para posteriormente unir al quemador.

Para el piloto de encendido se derivara la conexión empleando una "T" de cobre seguido por la válvula de solenoide de 1/4 de pulgada el cual se conecta con el "shiglor" del quemador.

Las válvulas solenoide, reguladores, de cierre son roscados, van conectados con tuberías de cobre de 3/8 y 1/4 de pulgada con sus respectivas uniones con rosca o mixtas, siendo necesario el uso de teflón, ver Figura 3.27.



Figura 3.27: Sistema de Distribución de alta y baja presión.

Instaladas las dos secciones se tiene listo el sistema de alimentación y distribución de GLP hacia el quemador para su posterior montaje.

3.3 INSTALACIÓN ELÉCTRICA.

Para la alimentar el tablero de control a 120 V se realiza la acometida desde el tablero principal de la planta con un cable # 12 AWG, debido a que todos los elementos de control tienen un voltaje nominal de 120 V, para esta operación se toma en cuenta todas las medidas de seguridad, para prevenir accidentes, ver Figura 3.28.



Figura 3.28: Instalación del Tablero de Protección.

3.4 MONTAJE DEL SISTEMA.

El horno para el curado de pintura se encuentra conformado por seis partes y sistemas principales. Estas partes y sistemas son:

1. Cabina del horno.
2. Cámara de Combustión
3. Ductos.
4. Ventilador.
5. Sistema de alimentación del GLP.
6. Sistema de control.

Todas las partes y sistemas son dependientes pero tienen que funcionar como un solo sistema. Se ha considerado la necesidad de que exista una permisión de montaje y desmontaje del sistema ya sea por motivos de mantenimiento o reemplazo.

3.4.1 MONTAJE DE LA CABINA DEL HORNO.

Para tener una mayor firmeza del sistema se procede a empotrar al piso la Cabina del Horno, se usa pernos de expansión de 3/8 x 2 pulgadas para afianzar las platinas en forma de "L" (soldadas a la cabina) al piso, ver Figura 3.29.



Figura 3.29: Empotramiento del horno al piso.

3.4.2 MONTAJE DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN.

Para el montaje de la campana de cámara de combustión es necesario realizar perforaciones a la cabina del horno para su posterior sujeción, mediante pernos de acero inoxidable de 1/4 x 2 pulgadas se sujeta a la pared lateral del horno.

La campana presenta cejas que son taladradas cada 25 cm obteniendo 4 agujeros en la parte superior y 2 a cada lado que facilita el ensamble, ver la Figura 3.30.



Figura 3.30: Montaje de la cámara de combustión.

Para el montaje del quemador se debe tomar en cuenta la distancia entre la pared interna de la campana de combustión y la parte frontal del cañón del quemador, esta distancia está comprendida en 6 mm, ver Figura 3.31.



Figura 3.31: Montaje del Quemador

La campana cuenta con un corta fuegos construido con varilla de construcción de hierro de 12 mm, formada por deflectores, la separación entre estos es de 25 mm con un ángulo de inclinación de 15°, el objetivo principal es distribuir uniformemente el calor al interior del horno ver **Anexo: E-1**.

3.4.3 MONTAJE DE LOS DUCTOS.

La unión de los ductos a la cabina del horno se realiza por medio de pernos de 1/4 x 2 pulgadas en la parte superior, y en la parte inferior se unirá a la campana de combustión por medio de una reducción con pernos de 1/4 x 1 pulgada, ver la Figura 3.32.



Figura 3.32: Montaje de los Ductos.

3.4.4 MONTAJE DEL VENTILADOR.

El montaje del ventilador se debe realiza en conjunto, se acopla a la “T” del ducto y se unirá mediante las grapas de sujeción, ver la Figura 3.33.



Figura 3.33: Montaje del ventilador.

3.4.5 MONTAJE DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DEL GLP.

La instalación del sistema a gas está constituida de una parte fija y una móvil, esta última se encuentra empotrada en la pared mediante pernos de expansión de 3/8 x 2 pulgadas.

En la entrada de gas hacia la zona de distribución y en la salida para el quemador, se usa manguera flexible, que facilita el montaje y desmontaje del tablero de distribución, ver Figura 3.34.



Figura 3.34: Montaje del sistema de Distribución del GLP.

3.4.6 MONTAJE DEL SISTEMA DE CONTROL.

Para la instalación del sistema de control, se sujeta el tablero de control a la pared por medio de dos pernos de expansión de 3/8 x 2 pulgadas.

Colocado el tablero de control se ubica y se asegura todos los instrumentos que intervienen en el control tanto visibles (controlador, LOGO, luces de señalización y botoneras) como los ubicados sobre el Riel DIN dentro del tablero (fusibles, contactores, borneras etc.), ver Figura 3.35.



Figura 3.35: Montaje del Tablero de Control.

Para las realizar las conexiones del tablero de control, son necesarios ciertos accesorios eléctricos que permitan la instalación de todos los componentes que conforman el tablero de control, ver la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Partes y accesorios del tablero de control.

CANT.	DESCRIPCIÓN.
1	Tablero de Control de 30 x 35 x 20 (cm).
2	Contactador LG. 9 A 120 V 50/60Hz.
1	Contactador LG. 18 A 120 V 50/60Hz.
1	Controlador de Temperatura Digital SASSIN 0-400°C.
1	Micro PLC Siemens "LOGO" 230 RC.
3	Portafusibles para Riel DIN.
1	Selector de 2 posiciones CAMSCO 22 mm
3	Lámparas Piloto (Verde, Roja, Amarilla) 120 VAC.
2	Pulsadores (NO, NC).
2	Fusible de 1 A.
1	Fusible de 15 A.
1	Riel DIN de 35 mm x 1.00 m.
10	Mtrs. Cable # 16 AWG.
15	Mtrs. Cable # 12 AWG.
50	Terminal Pin # 18-16.
20	Terminal Pin # 12-10.
6	Mtrs. Manguera metálica 1/2 BX.

Para la instalación del tablero de control se divide de igual manera en cuatro secciones:

3.4.6.1 Instalación del Sistema de Control.

En esta sección se realiza el cableado del tablero de control, para esta operación se usa el cable # 16 AWG, el cual sigue el orden del diagrama de control proyectado (**Anexo: N**), se debe tener en cuenta la conexión de cada entrada y salida del LOGO y el uso adecuado de contactos NO o NC, para evitar que las mismas sufran algún cortocircuito, para evitar estos inconvenientes se instala fusibles de protección, ver Figura 3.36.

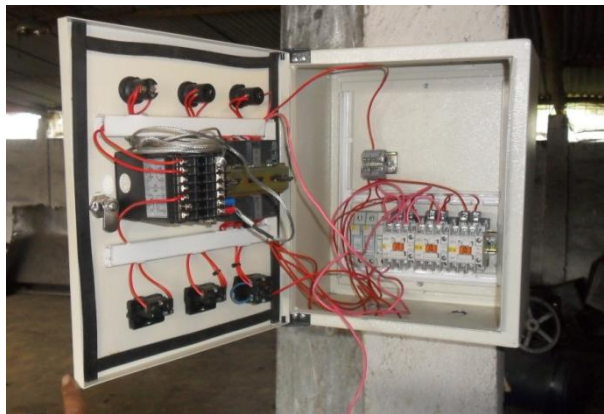


Figura 3.36: Cableado del sistema de Control.

3.4.6.2 Instalación del Sistema de Fuerza.

Para el cableado de los actuadores se emplean cables de fuerza # 12 y 16 AWG para el motor del ventilador, motor del quemador, transformador de ignición y para las válvulas solenoides respectivamente.

Para la respectivas conexiones se sigue el orden de los diagramas de Fuerza (**Anexo: N**), los cables que salen del tablero de control hacia los actuadores son colocados dentro de manguera corrugada metálica para evitar daños en los mismos, ver Figura 3.37.

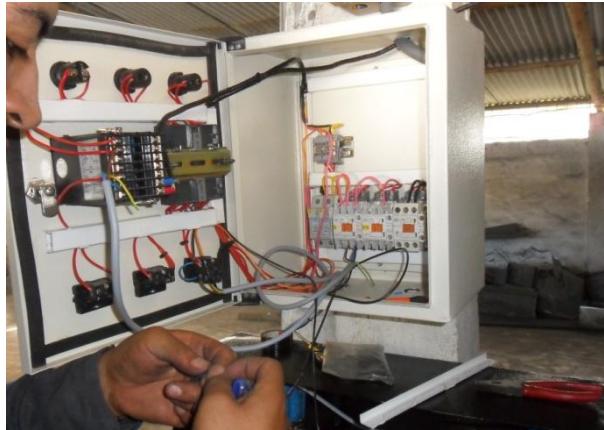


Figura 3.37: Cableado del sistema de Fuerza.

3.4.6.3 Instalación de la termocupla.

En esta sección se ubica la termocupla tipo J, es muy importante dar una buena ubicación a la termocupla porque por medio de esta se logra el control del quemador cuando llegue a la temperatura establecida.

Se ubica la termocupla en la esquina superior derecha considerado como un punto frío del horno, en este puntos toma más tiempo llegar a la temperatura deseada. Con la correcta ubicación se tiene la certeza que en todos los puntos del horno tengan una temperatura homogénea, como se indica en la Figura 3.38.



Figura 3.38: Ubicación de la Termocupla.

3.4.6.4 Instalación y programación del Micro Controlador.

En esta sección se programa el LOGO, para la creación del programa en el Micro PLC SIEMENS LOGO 230 RC se puede realizar en el mismo equipo sin necesidad del software, debido a que el LOGO posee su propia pantalla de programación.

Para esta operación todas las conexiones del tablero de control deben estar listas y seguir el siguiente procedimiento:

1. Alimentar tensión al LOGO, puede ser 110V/220 V.
2. Conmutar el Logo a la clase de servicio programación.
3. Elegir **PROGRAMA** en el menú principal y pulsar a continuación la tecla **OK**, como se indica en la figura 3.39.

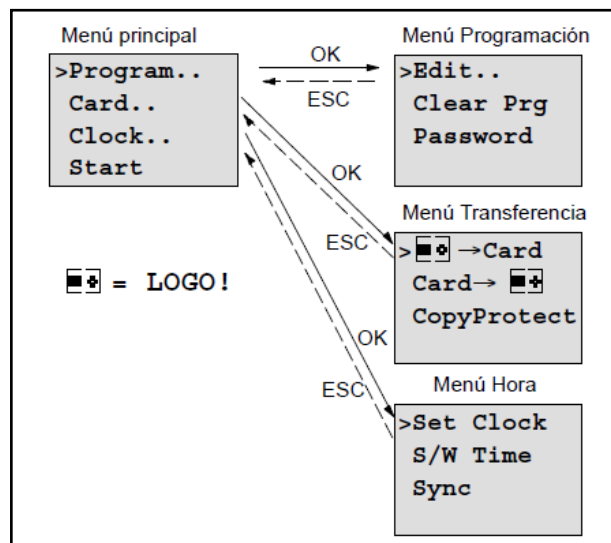


Figura 3.39: Menú de Programación LOGO 230 RC.

Al pulsar la tecla **OK** en **Edit prg** se visualizará la primera salida **Q₁**, a partir de esta salida se procederá a introducir el programa en logo que se muestra en el **Anexo: N**.

Cada vez que se intercala un bloque en un programa LOGO, este asigna un número a ese bloque el cual se denomina número de bloque:

El número de bloque aparece en la parte superior derecha del de la pantalla de programación como se indica en la Figura 3.40.

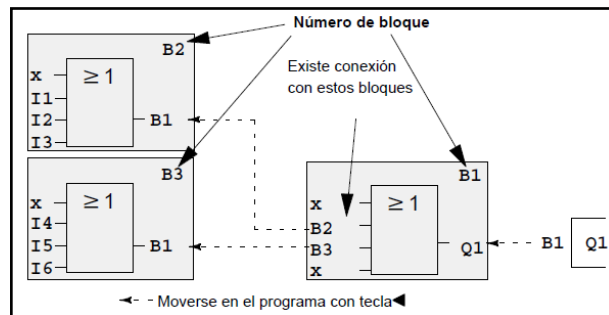


Figura 3.40: Programación del PLC SIEMENS LOGO 230 RC.

Una vez que se ha finalizado el montaje, revisado sus instalaciones, el sistema de control el sistema será sometido a las pruebas respectivas para su posterior funcionamiento, ver Figura 3.41.



Figura 3.41: Horno de Curado para pintura Electroestática.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS EXPERIMENTALES

El presente capítulo se describe parámetros de funcionamiento, instrumentos de medición y el procedimiento para realizar las pruebas de funcionamiento del horno, con la finalidad de comprobar que el horno trabaje de acuerdo a los parámetros de diseño establecidos.

4.1 DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SISTEMA.

4.1.1 CONDICIONES FÍSICAS.

El horno de curado tiene un espacio físico determinado de 3,60 m de largo, 2,00 m de alto (acorde a la altura de las piezas curadas) y 2,40 m de ancho (longitud de las dos puertas).

El tablero de control y el sistema de distribución de gas están ubicados en el lado izquierdo del horno, para facilidad de operación con los reguladores o controladores, para evitar lecturas irreales (1.5 m long máx. cable de la termocupla) o pérdidas de presión desde el regulador hasta el shiglor.

4.1.2 SISTEMA DE CONTROL.

El sistema de control tiene como finalidad manejar dos flujos para el quemador, mediante el accionamiento y desactivación de las electroválvulas cuando se ha llegado a la temperatura de referencia.

Está conformado por un micro PLC's (LOGO), envía las señales tanto para las electroválvulas como para el electrodo de encendido.

Entre los componentes principales del sistema de control están la termocuplas tipo J, controladores de temperatura, válvula piloto, electrodo de encendido, reguladores de presión, electroválvulas, electrodo de ionización, accesorios eléctricos entre otros, a continuación se detalla cada uno de ellos:

- Termocupla Tipo J.- Es un instrumento sensor de temperatura que está ubicado en la parte superior y dentro del horno de curado, envía una señal en mA hacia el controlador. Estas termocuplas pueden censar hasta una temperatura máxima de 780 °C.
- Controlador de Temperatura.- Es un instrumento controlador - registrador que recibe la señal eléctrica de la termocupla y la transforma a unidades de temperatura, se lo programa a la temperatura deseada la misma que es enviada hacia el LOGO que dará las respectivas ordenes de operación.
- Válvula Piloto.- Es utilizada para el encendido del quemador, es un piloto de bigote de acero inoxidable que permite el flujo de gas a muy baja presión.
- Electrodo de encendido.- Esta acoplado al piloto y su función es generar una chispa eléctrica que encienda a la válvula piloto, funciona con un transformador de 120 V a 12000 V.
- Reguladores de presión.- Determinan el flujo de gas que circula en cada ramal, el sistema consta de cuatro reguladoras: Una reguladora con presión de 120 lb a 30 lb (a la salida de la

centralina), dos reguladoras con presión máxima de trabajo de 15 lb para la mayor longitud de flama, una reguladora con presión máxima de 5 lb para la menor longitud de flama y la válvula piloto.

- Electroválvulas.- son instrumentos que abren y cierran el flujo de gas dependiendo de la señal del LOGO, el sistema funciona con cuatro electroválvulas: Dos de 3/8" para el manejo de mayor flujo de gas y dos 1/4" para menor flujo de gas.
- Electrodo de Ionización.- Es un instrumento de seguridad, va acoplado al piloto, sensa si existe llama, en caso de de no haber llama envía una señal al LOGO el mismo que ordena el cierre inmediato de las electroválvulas.
- Accesorios eléctricos.- Son los utilizados para las conexiones eléctricas, tales como: contactores, fusibles, cable, pulsadores ON-OFF, focos de señalización, entre otros.

4.1.3 PRINCIPALES COMPONENTES DEL SISTEMA TÉRMICO.

En el sistema térmico existen dos zonas diferenciadas por la función que cumple cada una de ellas, se divide en: cámara de combustión y recuperador.

4.1.3.1 Cámara de combustión.

Es donde se acumula toda la energía calorífica para ser fragmentada en calor útil y calor de perdidas. Es una cámara de forma rectangular construida con material refractario en el interior y planchas de acero por el exterior, en esta se ubica el quemador en forma diagonal y lograr así un flujo cruzado entre la llama y el aire proporcionado por el ventilador.

4.1.3.1.1 Quemadores de GLP.

Se utiliza un quemadores industriales de aproximadamente 10 x 45 cm de área de flama, con capacidad de 400000 BTU/h.

Posee un agujero diminuto aproximadamente de 0.5 mm que incrementa la presión disminuyendo el flujo de gas hacia los quemadores y por último la ventolera donde se produce la mezcla aire combustible de aquí depende la calidad de llama.

4.1.3.1.2 Recuperador.

Con el fin de precalentar el aire de combustión y buscar un ahorro de combustible, son utilizados los gases de combustión, los mismos que circulan por el ducto adjunto a la parte superior del horno de curado y en parte inferior a la cámara de combustión, el flujo transversal de aire es impulsado por un ventilador de baja capacidad o un blower que satisfaga las condiciones de caudal de aire requerido.

4.2 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.2.1 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO.

Los parámetros de funcionamiento del horno para el curado de pintura electrostática se muestran en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Parámetros de Funcionamiento del Horno de Curado.

Consumo de GLP.	1/3 Cilindro (Industrial).
Consumo de energía eléctrica.	6 KW-H.
Tiempo de curado.	20 min.
Temperatura de operación del horno.	200°C

4.2.2 PROTOCOLO DE PRUEBAS.

El proceso para realizar las pruebas tanto en el horno como en las piezas curadas es el siguiente:

- Verificar en los tanques de GLP la presión de gas en el manómetro antes y después de realizar la prueba.
- Comprobar las temperaturas del horno de acuerdo a los tiempos establecidos. Esta temperatura se la tomará con el horno cargado en su máxima capacidad.
- Comprobar los tiempos de curado con los distintos tipos de colores de pintura electrostática.
- Verificar la adherencia de la pintura una vez que las piezas salgan del horno mediante:
 - Rayado.
 - Doblado.
 - Frotación.

4.2.2.1 Instrumentos de medición.

Los instrumentos de medición que se usa para realizar las pruebas son los siguientes:

Termocupla tipo J.

Rango de Temperatura: -200 a 700°C

Precisión: 1%

Cronómetro Digital.

Rango: 0 - 24 h

Apreciación: 0.1 s

4.2.2.2 Procedimiento.

El horno de curado exige la verificación del comportamiento en varios días debido a que las propiedades atmosféricas pueden variar de un día al otro y con diferente carga.

La secuencia a seguir para realizar las pruebas son las siguientes:

- Ubicar la termocupla en zonas críticas de la cabina del horno.
- Medir la temperatura del aire dentro de la cabina del horno.
- Verificar el estado de los cilindros, la presión inicial en el manómetro.
- Pulsar el botón de encendido para encender el sistema.
- Medir la temperatura en las termocuplas cada minuto hasta que termine el tiempo de calentamiento establecido en el diseño.
- Medir la temperatura en las termocuplas cada minuto hasta que termine el tiempo de enfriamiento del horno.
- Realizar las siguientes pruebas de curado y adherencia:
 - Rayado.
 - Doblado y;
 - Frotación.

4.2.2.3 Adquisición de datos.

Para la adquisición de datos se sigue el procedimiento descrito anteriormente en el punto b. El primer paso es ubicar las termocuplas, las mismas que se ubicaron en los puntos más desfavorables en cuando a llegada de aire caliente, ver Figura 4.1.

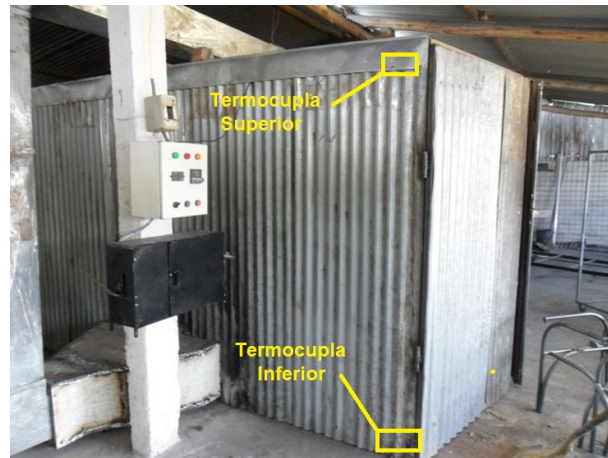


Figura 4.1: Ubicación de sensores de temperatura.

El diseño del horno, se lo hizo considerando una temperatura de 200°C, pero la temperatura de curado puede variar en función del tipo de pintura aplicada en las piezas:

- Pintura de color blanco: Temperatura óptima de 160°C.
- Pintura de color negra: Temperatura óptima de 200 °C.

El horno se cargó completamente con accesorios de automóviles elaborados con tubos ISO de 2” pulgadas de diámetro. En total 15, pintados con pintura electrostática negra.

Posteriormente se registra las temperaturas antes de encender el horno y posterior al encendido, se tomaron datos cada minuto durante el tiempo de calentamiento y de enfriamiento.

Los parámetros de funcionamiento fueron fijados de la siguiente forma:

- Temperatura de Curado = 200°C
- Tiempo de calentamiento = 20 min.

Los datos obtenidos luego de la prueba se muestran en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Medición de temperaturas con el horno lleno.

TIEMPOS	TERMOCUPLA SUPERIOR	TERMOCUPLA INFERIOR	PROMEDIO
Minutos.	°C	°C	°C
0	20	19	20
1	45	43	44
2	70	68	69
3	95	92	94
4	110	107	109
5	125	122	124
6	134	133	134
7	143	142	143
8	152	151	152
9	159	159	159
10	166	167	167
11	173	174	174
12	179	180	180
13	185	187	186
14	190	192	191
15	195	198	197
16	200	204	202
17	202	202	202
18	200	200	200
19	200	200	200
20	200	198	199
21	187	185	186
22	176	174	175
23	166	162	164
24	159	155	157
25	153	148	151
26	143	139	141
27	138	132	135
28	134	129	132
29	128	125	127
30	125	121	123

Se realizó el mismo procedimiento el día siguiente con el horno cargado a la mitad, con algunos productos similares y otros más pequeños, ver Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Medición de temperaturas con el horno a la mitad.

TIEMPOS	TERMOCUPLA SUPERIOR	TERMOCUPLA INFERIOR	PROMEDIO
Minutos.	°C	°C	°C
0	18	17	18
1	44	42	43
2	69	67	68
3	94	90	92
4	109	106	108
5	124	122	123
6	133	131	132
7	142	139	141
8	151	150	151
9	158	159	159
10	165	166	166
11	172	174	173
12	178	180	179
13	185	186	186
14	189	190	190
15	194	195	195
16	199	200	200
17	200	200	200
18	200	200	200
19	200	200	200
20	200	199	200
21	191	189	190
22	178	175	177
23	168	166	167
24	161	157	159
25	156	151	154
26	146	140	143

27	139	136	138
28	135	132	134
29	130	125	128
30	124	121	123

En la figura 4.2 se muestra la variación de la temperatura en el interior del horno en función de la carga ingresada.

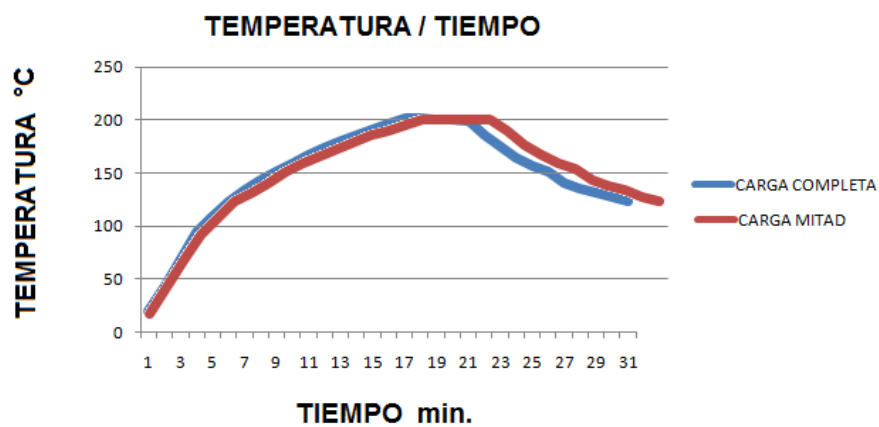


Figura 4.2: Temperaturas en el horno en función de la carga.

4.2.3 Análisis de Resultados.

Con el valor promedio obtenido de la Tabla 4.2, se observa que la temperatura tanto en la parte superior como en la inferior era similar, lo que nos indica que hubo uniformidad en la distribución de temperaturas al interior de la cabina del horno.

En la figura 4.2 se observa que la temperatura en el interior del horno no varía mayormente, aunque funcione a la mitad de su capacidad. De esta manera se demuestra que el comportamiento del horno no varía en función de la carga a ser ingresada, ver Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Temperatura promedio en el interior del horno.

TIEMPOS	CARGA COMPLETA	CARGA MITAD	PROMEDIO
Minutos.	°C	°C	°C
0	20	18	19
1	44	43	44
2	69	68	69
3	94	92	93
4	109	108	109
5	124	123	124
6	134	132	133
7	143	141	142
8	152	151	152
9	159	159	159
10	167	166	167
11	174	173	174
12	180	179	180
13	186	186	186
14	191	190	190
15	197	195	196
16	202	200	201
17	202	200	201
18	200	200	200
19	200	200	200
20	199	200	200
21	186	190	188
22	175	177	176
23	164	167	166
24	157	159	158
25	151	154	153
26	141	143	142
27	135	138	137
28	132	134	133
29	127	128	128
30	123	123	123

4.2.3.1 Pruebas de adherencia.

Luego de sacar las piezas del horno se realizaron las siguientes pruebas:

4.2.3.1.1 Rayado.

Esta prueba consiste en rayar la pieza curada con una punta, cuchilla, o estilete, se hacen cortes a 2 mm cada uno formando una cuadrícula de 5 ó 6 cm, si se descascara es una evidencia de falta de curado.

Se escogió dos muestras para efectuar esta prueba en la parte superior e inferior de la placa. Con la ayuda de una cuchilla se rayó las superficies de las piezas curadas y no se evidenció una pérdida total de la capa de pintura, ver Figura 4.3.



Figura 4.3: Prueba de Rayado de los activos curados.

4.2.3.1.2 Doblado.

A la pieza curada se le debe doblar completamente y no debe descascarse la pintura.

Para realizar esta prueba se colocó dentro del lote una placa de muestra. Se procedió a doblar la placa curada y se observó que no se descascaró la pintura, ver Figura 4.4.



Figura 4.4: Prueba de Doblado de los activos curados.

4.2.3.1.3 Frotación.

Esta prueba consiste en pasar un paño humedecido con thinner sobre la pieza curada, se debe realizar 10 frotés en la pieza curada si se mancha el paño de pintura significa que falta tiempo de curado.

Para esta prueba se mojó un paño con thinner y se frotó sobre la pintura. El paño quedó sin manchas de pintura lo cual demuestra que las piezas que salen del horno están bien curadas, ver Figura 4.5.



Figura 4.5: Prueba de Frotación de los activos curados.

4.3 ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO.

El análisis económico financiero pretende determinar el beneficio que se obtiene con la construcción del horno. Es una comparación entre los gastos que conlleva la construcción frente a los beneficios que se obtendrá. De esta comparación se determina la depreciación del bien así como la tasa de recuperación de la inversión.

4.3.1 DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS DE CONSTRUCCIÓN.

La determinación de costos es cuantificar el capital total de inversión en el sistema, teniendo en consideración los factores tangibles (materia prima) e intangibles (trabajo intelectual y mano de obra) necesarios para su desarrollo.

En términos económicos los costos de construcción están dados en función de tres parámetros: Materia Prima Directa, Mano de Obra Directa y Costos Indirectos, los mismos que se detallan a continuación:

4.3.1.1 Materia Prima Directa (MPD).

Es la inversión realizada en la adquisición de material específicamente para la construcción del sistema, para determinar de costos se ha dividido a la inversión en tres secciones:

- Costos de materiales para el horno industrial.
- Costos de materiales para el sistema de automatización.
- Costos de materiales para acometida del GLP.

4.3.1.1.1 Costos del horno de curado.

En estos costos están contemplados los materiales adquiridos para la cabina, cámara de combustión y ductería. En la Tabla 4.5 se muestra cada material con su respectivo costo.

Tabla 4.5. Costo de materiales para el horno de curado.

HORNO DE CURADO			
Cantidad	Detalle	P. Unitario	Total
CABINA			
15	Tubo cuadrado 40 x 40 x 3 mm.	24,50	367,50
1	Tubo redondo 5/8" x 1.5 mm.	6,20	6,20
1	Tubo redondo 3/4" x 1.5 mm.	7,15	7,15
26	Plancha de acero 1.20 m x 2.40 m x 1 mm.	90,00	2340,00
1	Ángulo 1" x 1/8".	7,80	7,80
1	Platina 2" x 1/4".	15,90	15,90
3	Rollos de lana de Vidrio de 2".	45,00	135,00
DUCTERIA			
4	Plancha galvanizada (1.20 x 2.40) m x 1.6 mm.	45,15	182,00
2	Codos de 300 x 250 mm galvanizados.	58,00	116,00
1	Derivación "T".	55,00	55,00
1	Incremento difusor rectangular.	62,00	62,00
CÁMARA DE COMBUSTIÓN			
3	Ángulo 1 1/4" x 1/8".	13,00	39,00
2	Plancha de acero 1.20 m x 2.40 m de 2 mm.	115,00	115,00
28	Tablillas refractarias de 15" x 7" de 2".	1,50	42,00
Subtotal			3490,55
IVA (12%)			418,87
TOTAL			3909,42

Para el horno de curado es necesario también la implementación de equipos que intervienen directamente en su funcionamiento, siendo los principales:

Tabla 4.6. Costo de los Equipos.

EQUIPOS			
Cantidad	Detalle	P. Unitario	Total
1	Quemador a gas marca Wayne.	200,00	200,00
1	Motor Eléctrico 1 PH de ¼ HP marca WEG.	115,00	115,00
			Subtotal
			315,00
			IVA (12%)
			37,80
			TOTAL
			352,80

4.3.1.1.2 Costos del sistema de automatización.

Estos costos corresponden específicamente a la parte eléctrica, principalmente los componentes ubicados en el tablero de control, los mismos que se detallan a continuación:

Tabla 4.7. Costo de materiales para el sistema de Automatización.

AUTOMATIZACIÓN			
Cantidad	Detalle	P. Unitario	Total
1	Tablero de Control de 30 x 35 x 20 (cm)	25,00	25,00
2	Contactador LG. 9 A 120 V 50/60Hz	9,20	18,40
1	Contactador LG. 18 A 120 V 50/60Hz	12,30	12,30
1	Pirómetro Digital SASSIN 0-400°C.	57,33	57,33
1	Micro PLC Siemens "LOGO" 230 RC	132,37	132,37
1	Fuente de 24 VCC 2 A.	5,50	5,50
3	Porta fusibles para Riel Dim.	1,56	4,68
1	Selector de 2 posiciones CAMSCO 22 mm	2,04	2,04

3	Luz Piloto CAMSCO 120 VAC.	1,64	4,92
2	Pulsadores (NO, NC).	2,26	4,52
1	Fusible de 1 A.	0,25	0,25
2	Fusible de 8 A.	0,35	0,70
1	Riel DIN de 35 mm x 1.00 m.	1,71	1,71
2	Canaletas 20 x 12	2,60	5,20
10	Mtrs. Cable # 16 AWG.	0,35	3,50
15	Mtrs. Cable # 12 AWG.	0,55	8,25
50	Terminal Pin # 18-16.	1,00	1,00
20	Terminal Pin # 12-10.	1,00	1,00
4	Mtrs. Manguera metálica 1 BX.	2,98	11,92
		Subtotal	300,59
		IVA (12%)	36,07
		TOTAL	336,66

4.3.1.1.3 Costos de la acometida del GLP.

La determinación de costos debido a la acometida del GLP abarca accesorios, uniones, instrumentos que están ubicados a lo largo de la acometida desde los cilindros de alimentación hasta el quemador, los mismos que se detallan a continuación:

Tabla 4.8. Costo de materiales para la Acometida del GLP.

ACOMETIDA DEL GLP			
Cantidad	Detalle	P. Unitario	Total
8	Acoples roscables B68 3/8" x 3/8".	1,90	15,20
6	Acoples roscables B68 1/4" x 1/4".	1,90	11,40
4	Acoples roscables B122 1/4" x 1/4".	2,10	8,40
1	Acoples roscables B122 3/8" x 1/4".	2,30	2,30
1	Acoples roscables B110 1/4" x 1/8".	1,90	1,90
4	Reducciones roscables B68 3/8" x 1/4".	2,20	8,80

2	"T" de cobre 3/8".	1,50	3,00
1	"T" roscables 1/4".	2,50	2,50
1	"T" hueco de 1/4".	1,70	1,70
3	Válvulas de globo 3/8".	2,75	8,25
4	Válvulas de globo de 1/4".	1,75	7,00
2	Cuerpo de Válvula Solenoide 3/8" Danfoss.	55,00	110,00
1	Cuerpo de Válvula Solenoide 1/4" Danfoss.	51,20	51,20
3	Bobinas Válvula Solenoide 115 V. Danfoss.	26,00	78,00
1	Manómetro 0-200 psi.	15,20	15,20
2	mts. Tubo de cobre 3/8".	0,75	1,50
1	mts. Tubo de cobre 1/4".	0,50	0,50
10	mts. Manguera Gas 5/16" Roja.	1,50	15,00
5	Rollo teflón.	0,35	1,75
1	Tubo cuadrado 1/2" x 1/2" de 2 mm.	4,50	4,50
1	Plancha de acero 1.00 x 1.00 m x 1.5 mm.	36,00	36,00
		Subtotal	384,10
		IVA (12%)	46,09
		TOTAL	430,19

La inversión total de MPD se detalla a continuación:

Tabla 4.9. Materia Prima Directa.

INVERSIÓN TOTAL MPD	
Tipo de inversión	Monto
HORNO DE CURADO	4262,22
AUTOMATIZACIÓN	336,66
ACOMETIDA DE GLP	430,19
TOTAL	5029,07

4.3.1.2 Mano de Obra Directa (MOD).

Estos costos se refieren a la mano de obra que incide directamente en el proceso de diseño y construcción como son: 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 base a experiencias de diferentes profesionales el monto debido a la mano de obra directa no técnica fluctúa entre el 20 y 25% de los costos de inversión de la MPD.

Siendo la inversión de materia prima directa de 5029,07 USD y los costos indirectos representan un gasto adicional, se tomará como referencia el 20% de inversión de MPD, como se detalla a continuación:

Tabla 4.10. Mano de Obra Directa.

COSTOS ESPECIALIZADOS				
Mano de Obra	Descripción	Cantidad	% MPD	Total
Técnica.	Jefe de la Obra	1	10	502,90
	Ricardo estrella	1	5	251,45
	Darwin Muso	1	5	251,45
	Subtotal			20
Mano de Obra	Descripción	Cantidad	Subtotal	Total
No Técnica.	Mecánico	1	25,00	125,00
	Soldador	1	13,20	66,00
	Albañil	1	10	30,00
Subtotal				221,00
TOTAL				1226,80

4.3.1.3 Costos Indirectos (CI).

Los costos indirectos corresponden a todos los gastos realizados que no intervienen específicamente en el presupuesto para materia prima y mano de obra directa. Entre estos gastos se puede considerar la materia prima indirecta y transportación, como se indica en la Tabla 4.12.

La materia prima indirecta se refiere a materiales tales como electrodos, pernos, discos de amolar, entre otros, como se detalla a continuación:

Tabla 4.11. Materia Prima Indirecta.

MATERIALES COMPLEMENTARIOS			
Cantidad	Detalle	P. Unitario	Total
12	Pernos Expansión 3/8" X 2".	0,35	4,20
60	Pernos cabeza redonda 1/4" x 2½" de acero.	0,10	6,00
30	Pernos de 1/4" x 2½" inoxidables.	0,25	7,50
5	lbs. Electrodos E-6011 AGA.	1,60	8,00
5	lbs. Electrodos E-6013 AGA.	1,60	8,00
10	lbs. Cemento.	0,17	1,70
TOTAL			35,40

Los gastos de transporte pueden ser por motivo de movilización del personal de trabajo o de determinadas partes del sistema que se requiera realizar un trabajo específico.

Tabla 4.12. Costos Indirectos.

INVERSIÓN EN COSTOS INDIRECTOS	
Tipo de inversión	Total
Materia Prima indirecta	35,40
Transporte	144,00
TOTAL	179,40

4.3.2 ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE CONSTRUCCIÓN.

Para el análisis de costos del sistema se considera el porcentaje de inversión en cada una de las secciones de MPD, MOD y CI con la finalidad de diferenciar los gastos representativos y sugerir la adición o cambio de procesos e incluso materiales para su construcción. En la Tabla 4.13 se muestra la inversión parcial y total:

Tabla 4.13. Inversión Total.

INVERSIÓN TOTAL					
Descr. General	Descr. Especifica	INV.	% INV.	INV. Total	% INV. Total
Materia Prima Directa	Horno de curado	4262,22	84,8	5029,07	78,14
	Automatización	336,66	6,7		
	Acometida de GLP	430,19	8,5		
Mano de Obra Directa	Técnica	1005,80	82,0	1226,80	19,06
	No Técnica	221,00	18,0		
Costos Indirectos	Materia prima indirecta	35,40	19,7	179,40	2,80
	Transporte	144,00	80,3		
TOTAL				6435,90	100,00

Determinados los costos de construcción se puede observar la inversión que representa cada una de las secciones, siendo el horno de curado la inversión más representativa de todo el sistema debido a su gran volumen, por ende requiere de mayor cantidad de planchas, tubos como materia prima para su construcción.

En el sistema de automatización y acometida del GLP se utilizó instrumentación Americana y Alemana que brinda garantías de funcionamiento a más de su prolongada vida útil.

4.3.3 DEPRECIACIÓN Y RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN.

4.3.3.1 Depreciación de los equipos.

La depreciación de los bienes anexos al horno para un periodo de 10 años se va a realizar con una tasa del 10% por cada año a partir del momento en que se realizó la compra y la construcción de los mismos, por el concepto de la Ingeniería Económica, los equipos y maquinaria se deprecian en un período de 10 años.

Por lo tanto la depreciación de los equipos se determina de la siguiente manera, como se indica en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14. Depreciación de Equipos del Horno.

AÑOS	%DEPR.	RUBROS DEPRECIADOS				TOTAL DEPRECIACIÓN ANUAL
		QUEMADOR	MOTOR ELÉCTRICO	TABLERO DE CONTROL	ACOMETIDA DE GLP	
0	10	200,00	115,00	336,66	430,19	1081,85
1	10	180,00	103,50	329,99	387,17	1000,66
2	10	162,00	93,15	296,99	348,45	900,59
3	10	145,80	83,83	267,29	313,60	810,52
4	10	131,22	75,44	240,56	282,24	729,46
5	10	118,09	67,89	216,50	254,01	656,49
6	10	106,28	61,10	194,85	228,60	590,83
7	10	95,65	54,99	175,36	205,74	531,74
8	10	86,08	49,49	157,82	185,16	478,53
9	10	77,47	44,54	142,03	166,64	430,68
10	10	69,72	40,08	127,82	149,97	387,59

Para determinar en forma adecuada la depreciación se debe calcular las rentas que se obtienen con la implementación del sistema de control del horno.

Los datos que se ocupan para el cálculo de los costos son del año en curso (Junio 2011). A continuación se indica el ahorro obtenido con la implementación del horno nuevo, ver las Tablas 4.15 y 4.16.

Tabla 4.15. Costos de Producción del horno con Implementación.

HORNO NUEVO				
COSTOS MENSUALES DE PRODUCCIÓN	Cantidad	Descripción	P. Unitario	Subtotal
Combustible	300	Kg GLP	0,95	285,00
Pintura	5	Cajas 25 Kg	8,50	42,50
Energía Eléctrica	80	kW-Hr	0,08	6,40
Mano de obra	1	Operarios	264,00	264,00
TOTAL				597,90
TOTAL X DÍA				29,90

Tabla 4.16. Costos de Producción del Horno sin Implementación.

HORNO ANTIGUO				
COSTOS MENSUALES DE PRODUCCIÓN	Cantidad	Descripción	P. Unitario	Subtotal
Combustible	600	Kg GLP	0,95	570,00
Pintura	4	Cajas 25 Kg	8,50	34,00
Energía Eléctrica	22	kW-Hr	0,08	1,76
Mano de obra	1	Operarios	264,00	264,00
TOTAL				869,76
TOTAL X DÍA				43,50

Con los costos diarios y mensuales de producción del horno se puede determinar los costos unitarios de producción del horno con y sin implementación del sistema de control.

En la Tabla 4.17 se compara los costos y la producción de distintos tipos de bienes curados.

Tabla 4.17. Determinación del Ahorro obtenido del Horno Nuevo.

PRODUCTO	PRODUCCIÓN MENSUAL		COSTOS DE PRODUCCIÓN UNITARIO		COSTOS DE PRODUCCIÓN TOTAL		AHORRO MENSUAL
	HORNO NUEVO	HORNO ANTIGUO	HORNO NUEVO	HORNO ANTIGUO	HORNO NUEVO	HORNO ANTIGUO	
Sillas	100	80	1,79	3,26	179,00	260,80	81,80
Archivadores	60	30	1,00	2,90	60,00	87,00	27,00
Armarios	10	8	5,98	10,87	59,80	86,96	27,16
Accesorios de automóviles	320	200	0,93	2,18	297,60	436,00	138,40
						TOTAL	274,36

El incremento mensual de producción con la implementación del sistema de control del horno de curado se puede apreciar en la Tabla 4.18.

Tabla 4.18. Incremento mensual de la producción.

PRODUCCION MENSUAL			
PRODUCTO	HORNO NUEVO	HORNO ANTIGUO	INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN (%)
Sillas	100	80	25
Archivadores	60	30	100
Armarios	10	8	25
Accesorios de automóviles	320	200	60
		TOTAL	52,50

4.3.4 CÁLCULO DEL VAN, TIR, TIEMPO DE RECUPERACIÓN.

Según datos del Banco Central del Ecuador, se ha determinado que la tasa de interés activa anual promedio se encuentra en un 17%. Este valor será la tasa de descuento a ser tomada en cuenta para calcular el VAN, TIR y el Tiempo de Recuperación.

4.3.4.1 Cálculo del VAN (Valor Actual Neto).

Una forma de evaluar los proyectos se basa en tomar en cuenta el valor del dinero a través del tiempo. Para poder aplicar este método, se debe pasar el valor del dinero en un momento determinado a valor presente. Si el valor presente neto es positivo, el proyecto puede ser aceptado, caso contrario el proyecto no es rentable.

El VAN se calcula con la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad \text{Ec. 4.1}$$

Donde:

V_t = Flujos de caja en cada periodo t.

k = Tasa de interés.

I_0 = Inversión inicial.

t = Periodo en años.

De la Tabla 4.19 se tiene:

$$VAN = \$ 8.901,71$$

Como $VAN > 0$ el proyecto es rentable y debe ser aceptado, considerando un período de 10 años.

4.3.4.2 Cálculo de la TIR (Tasa Interna de Retorno).

La TIR indica la factibilidad del proyecto, si el proyecto de inversión es o no rentable. Es decir indica el beneficio neto que proporciona la inversión en función de un porcentaje anual, igualando el valor actual de los costos y beneficios ($VAN = 0$).

La TIR se calcula con la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+TIR)^t} - I_0 = 0 \quad \text{Ec. 4.2}$$

De la Tabla 4.19 se tiene:

$$TIR = 4.19 \% \text{ mensual}$$

$$TIR = 50.29 \% \text{ anual}$$

Como la TIR es mayor que la Tasa de Interés Activa, el proyecto es muy rentable.

4.3.4.3 Tiempo de recuperación de la inversión (TR).

El tiempo de recuperación de la inversión se determina a partir de la fórmula de inversión estadística:

$$I_0 = \frac{A}{i} ((1+i)^{-n}) \quad \text{Ec. 4.3}$$

Donde:

A = Ganancia mensual.

i = Tasa de interés mensual.

I₀ = Inversión inicial.

n = Número de meses de recuperación de la inversión.

De la ecuación 4.3 se despeja n:

$$TR = n = - \frac{\ln \left(\frac{A - I_0 i}{A} \right)}{\ln (1+i)} \quad \text{Ec. 4.4}$$

De la tabla 4.19 se tiene:

$$TR = 29$$

Este resultado indica que el capital invertido en el horno se recupera en un tiempo de 29 meses, lo que indica que es rentable la inversión en el horno nuevo, considerando un incremento de producción y disminución del tiempo de la misma.

Tabla 4.19. Cálculo del VAN, TIR y Tiempo de recuperación.

Tasa de descuento (anual):	17%
Ahorro mensual:	\$ 274,36
Ahorro anual:	\$ 3.292,32
Inversión inicial:	\$ 6.435,90
PERÍODO (AÑOS)	FLUJO DE FONDOS ANUALES
0	-\$ 6.435,90
1	\$ 3.292,32
2	\$ 3.292,32
3	\$ 3.292,32
4	\$ 3.292,32
5	\$ 3.292,32
6	\$ 3.292,32
7	\$ 3.292,32
8	\$ 3.292,32
9	\$ 3.292,32
10	\$ 3.292,32
Valor Actual Neto (VAN):	\$ 8.901,71
Tasa Interna de Retorno (TIR):	4,19% mensual
Tasa Interna de Retorno (TIR):	50,29% anual
Tiempo de Recuperación (TR):	29 meses

4.3.4.4 Interpretación.

Se puede observar que todos los parámetros financieros aplicados anteriormente son positivos y por ende son atractivos y viables, logrando recuperar la inversión en 29 meses (2 años y 5 meses), concluyendo que la construcción e implementación del horno para el curado de pintura electrostática para la empresa ILN “Ingenieros Lara Nuñez”, es factible y aplicable.

4.3.5 ELABORACIÓN DEL MANUAL DE OPERACIÓN DEL HORNO DE CURADO.

En este manual se detalla cada uno de los pasos a seguir para realizar la correcta operación y el mantenimiento adecuado de cada de los elementos que conforman el horno, ver **Anexo: Q.**

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.

- Los elementos del sistema de calentamiento fueron diseñados y construidos de forma que exista un 8% y 33% de pérdidas de energía calorífica en la cámara de combustión, durante la fase de calentamiento de curado respectivamente.
- Los ductos de aire fueron diseñados de tal forma que sus pérdidas de presión son de 0.9363 in H₂O. Se tomaron en cuenta todas las caídas de presión que se perdían en ductos y accesorios lo que permitió seleccionar adecuadamente el ventilador necesario para el sistema.
- Se obtuvo una distribución uniforme de temperaturas en todo el interior del horno permitiendo utilizar todo su volumen; a diferencia del antiguo horno que se aprovechaba la mitad de su capacidad, con la implementación de láminas deflectoras curvas de 25 mm de separación y 15° de inclinación, las mismas que direccionan el calor hacia los puntos fríos en el interior del horno, manteniendo una temperatura uniforme.
- Para la implementación de la termocupla se considero zonas críticas dentro del horno, ubicándola en la parte superior derecha, la buena ubicación de la termocupla permite obtener una

temperatura uniforme al interior del horno y lograr el control del quemador cuando llegue a la temperatura establecida.

- Las pruebas de funcionamiento fueron muy determinantes para establecer los tiempos de curado en función del color de pintura; Se pudo determinar que el tiempo total de curado es de 20 minutos, con el quemador encendido. Se produjo un desfase de 2°C con respecto a la temperatura de referencia de 200°C, el cual está dentro de los límites de variación anteriormente considerados de $\pm 5^{\circ}\text{C}$, con este control se logró disminuir el consumo de combustible en un 50%, lo que representa ganancias para la empresa.
- El horno fue construido por un monto de \$6435,90 dólares que representa un ahorro considerable con respecto a los hornos que se pueden encontrar en el mercado que oscilan sobre los \$20000 dólares.
- Con el incremento del 53% en la cantidad de las piezas curadas mensualmente y el ahorro en combustible del 50%, estas proporcionan un ahorro de \$ 274,36 al mes; es decir que la inversión inicial se recuperará en un período de 29 meses.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Revisar e interpretar el manual de operación del horno, el cual se encuentra en el **Anexo: Q** de este documento, antes de realizar cualquier operación con el mismo.
- Para que el mantenimiento del quemador, cámara de combustión y sistema de distribución del GLP sea más fácil se recomienda utilizar pernos en las uniones de los componentes, para que éstos se puedan desmontar y ser limpiados o reemplazados fácilmente.
- Para poder pintar piezas pequeñas es preferible utilizar un carro transportador que pueda ingresar al horno fácilmente, ya que pintando una por una se pierde tiempo y se pueden producir daños en las piezas.
- Mejorar los procesos de producción con respecto a la operación del horno ya que muchas veces se evidenció una mala utilización del mismo, al no ser aprovechado en su máxima capacidad. Es necesario utilizar al horno en su máxima capacidad ya que de esta manera se evitan pérdidas innecesarias de energía y por ende pérdidas económicas.
- Antes de tomar la decisión de implementar cualquier sistema tecnológico, hay que realizar un estudio de factibilidad tanto económico como físico; en base al cual se pueda concluir si es rentable asumir el costo de dicha inversión.
- Recubrir los ductos de recirculación con lana de vidrio con un espesor más de una pulgada, para disminuir las pérdidas generadas en el mismo.

- Para evitar un mal recubrimiento de pintura, se debe ubicar correctamente la pistola, tener un suministro de pintura y voltaje adecuados.
- Para tener una buena resistencia al impacto, flexibilidad y buena calidad de pintado se debe realizar un correcto pre-tratamiento de limpieza y desfosfotación del activo a curar.
- Para que los activos curados tengan una buena adherencia de la pintura, se deben curar a la temperatura establecida por los fabricantes de pinturas, la misma que depende de la calidad y el color.

BIBLIOGRAFÍA

- **CENGEL – BOLES**; Transferencia de Calor y Masa; Quinta Edición; México 2002.
- **J. P. HOLMAN**; Transferencia De Calor; Octava Edición; 1998.
- **KREITH**; Principio de Transferencia de Calor; Primera Edición; 2001.
- **INCROPERA – BOLES**; Transferencia de Calor y Masa; Quinta Edición; México 2000
- **REED, Richard**; North American Combustion Handbook; Volume I; Third Edition; United States 1995.
- **TRINKS, W**; Industrial Furnaces; Sexta edición; United States 2003.
- **MOTT, Robert**; Mecánica de Fluidos aplicada; Cuarta edición; México 1996.
- **ASHRAE**, Fundamentals Handbook, 2001.
- **PORRAS CRIADO**; Autómatas programables; Primera edición; 2000.
- **RAMÓN PALLÁS ARENY**; Sensores y Acondicionadores de Señal; Tercera Edición; Alfaomega Grupo editor 2001.

ANEXOS

ANEXO A

**PROPIEDADES TÉRMICAS DE MATERIALES
DE CONSTRUCCIÓN Y AISLANTES.**

Anexo A	PROPIEDADES TERMICAS			Pág. 1 de 2
Material	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/(kg·K))	Conductividad térmica (W/(m·K))	Difusividad térmica (m ² /s) (x10 ⁻⁶)
Acero	7850	460	47-58	13,01-16,06
Agua	1000	4186	0,58	0,139
Aire	1,2	1000	0,026	21,67
Alpaca	8,72	398	29,1	8384,8
Aluminio	2700	909	209-232	85,16-94,53
Arcilla refractaria	2000	879	0,46	0,261
Arena húmeda	1640	-	1,13	-
Arena seca	1400	795	0,33-0,58	0,296-0,521
Asfalto	2120	1700	0,74-0,76	0,205-0,211
Baldosas cerámicas	1750	-	0,81	-
Bloques cerámicos	730	-	0,37	-
Bronce	8000	360	116-186	40,28-64,58
Carbón (antracita)	1370	1260	0,238	0,139
Cartón	-	-	0,14-0,35	-
Cemento	-	-	1,047	-
Cinc	7140	389	106-140	38,16-50,41
Cobre	8900	389	372-385	107,45-111,20
Corcho (expandido)	120	-	0,036	-
Corcho (tableros)	120	1880	0,042	0,186
Espuma de poliuretano	40	1674	0,029	0,433
Espuma de vidrio	100	-	0,047	-
Fibra de vidrio	220	795	0,035	0,200

Material	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/(kg·K))	Conductividad térmica (W/(m·K))	Difusividad térmica (m ² /s) (x10 ⁻⁶)
Hierro	7870	473	72	19,34
Hormigón	2200	837	1,4	0,761
Ladrillo al cromo	3000	840	2,32	0,921
Ladrillo común	1800	840	0,8	0,529
Ladrillo de magnesita	2000	1130	2,68	1,186
Ladrillo de sílice	1900	-	1,070	-
Lana de vidrio	100-200	670	0,036-0,040	0,537-0,299
Latón	8550	394	81-116	24,04-34,43
Madera	840	1381	0,13	0,112
Mármol	2400	879	2,09	0,991
Mica	2900	-	0,523	-
Níquel	8800	460	52,3	12,92
Oro	19330	130	308,2	122,65
Plata	10500	234	418	170,13
Plomo	11340	130	35	23,74
Poliestireno	1050	1200	0,157	0,125
Porcelana	2350	921	0,81	0,374
Tejas cerámicas	1650	-	0,76	-
Vidrio	2700	833	0,81	0,360
Yeso	1800	837	0,81	0,538

Densidad (ρ): masa de material por unidad de volumen: $\rho = m / V$ (kg/m³).

Calor específico (C): cantidad de energía necesaria para aumentar en 1 °C la temperatura de 1 kg de material

Conductividad térmica (k): capacidad de un material para transferir calor.

Difusividad térmica (α): caracteriza la rapidez con la que varía la temperatura del material ante una solicitud térmica.

ANEXO B

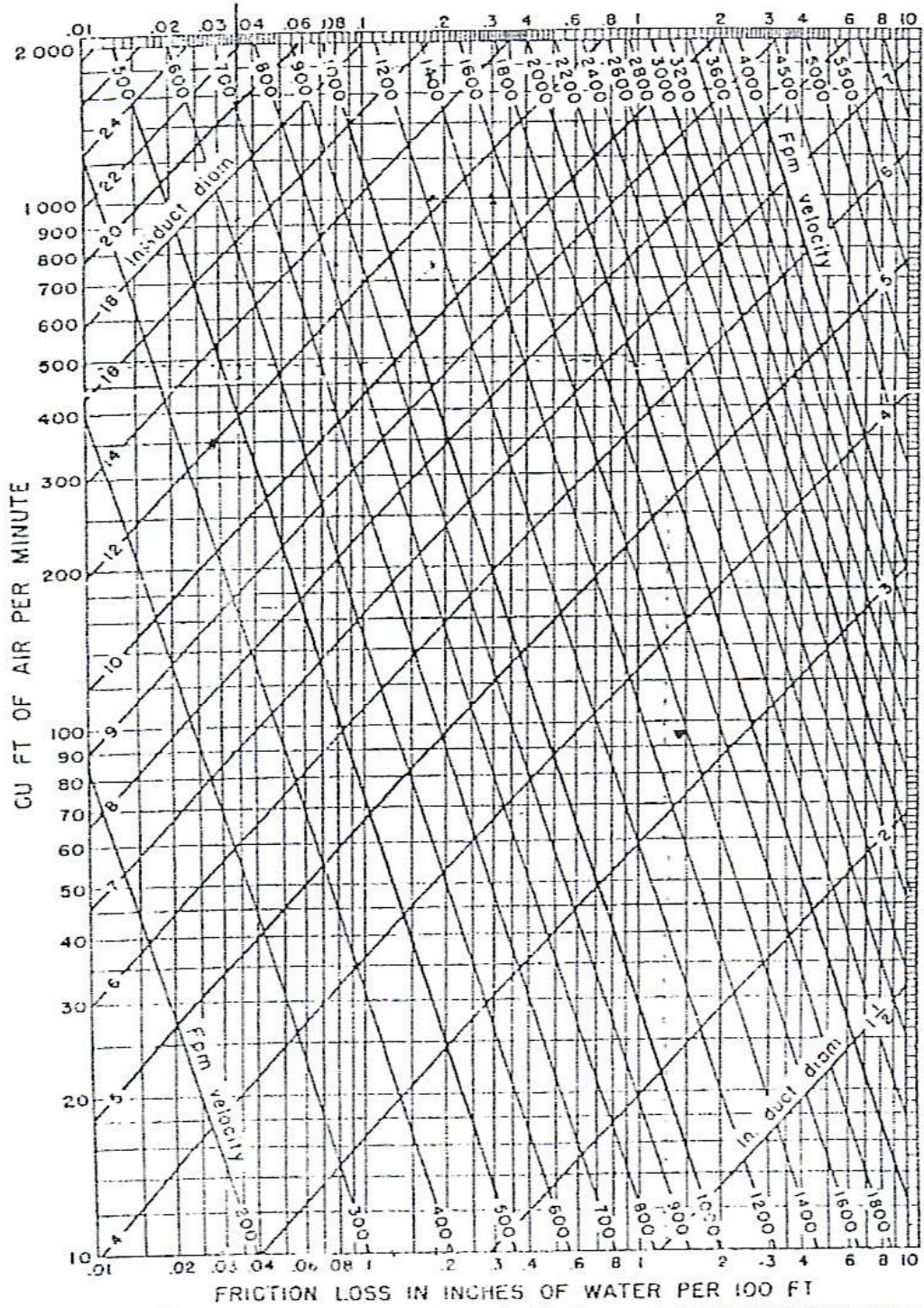
FACTORES DE DISEÑO.

Anexo B	FACTORES DE DISEÑO.		Pág. 1 de 2
TIPO DE MATERIAL	FACTOR DE DISEÑO (N)	APLICACIÓN	
Materiales Dúctiles	1.25 a 2.0	Diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos de diseño.	
	2.0 a 2.5	Diseño de elementos de maquinas bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño.	
	2.5 a 4.0	Diseño de estructuras estáticas o elementos de maquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o al ambiente.	
	4.0 o mas	Diseño de estructuras estáticas o elementos de maquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o el ambiente. El deseo de dar una seguridad adicional a componentes críticos puede justificar también el ejemplo de estos valores.	
Materiales Frágiles	3.0 a 4.0	Diseño de estructuras bajo cargas estáticas, donde haya un alto grado de confianza en todos los datos de diseño.	
	4.0 a 8.0	Diseño de estructuras estáticas o elementos de maquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o al ambiente.	

- Para aplicaciones típicas en el diseño de maquinas, se emplea un factor de diseño $N=3$.
- Para columnas estacionarias con cargas y extremos empotrados bien conocidos se podrá emplear un factor menor tal como $N=2$.
- En algunas aplicaciones de construcción se emplea un factor **$N=1.92$** . Por el contrario para columnas muy largas, donde existe cierta incertidumbre acerca de las cargas y de los extremos empotrados, o cuando se presentan peligros especiales, se aconseja emplear factores mayores.

ANEXO C

NOMOGRAMA DE FRICCIÓN EN DUCTOS.

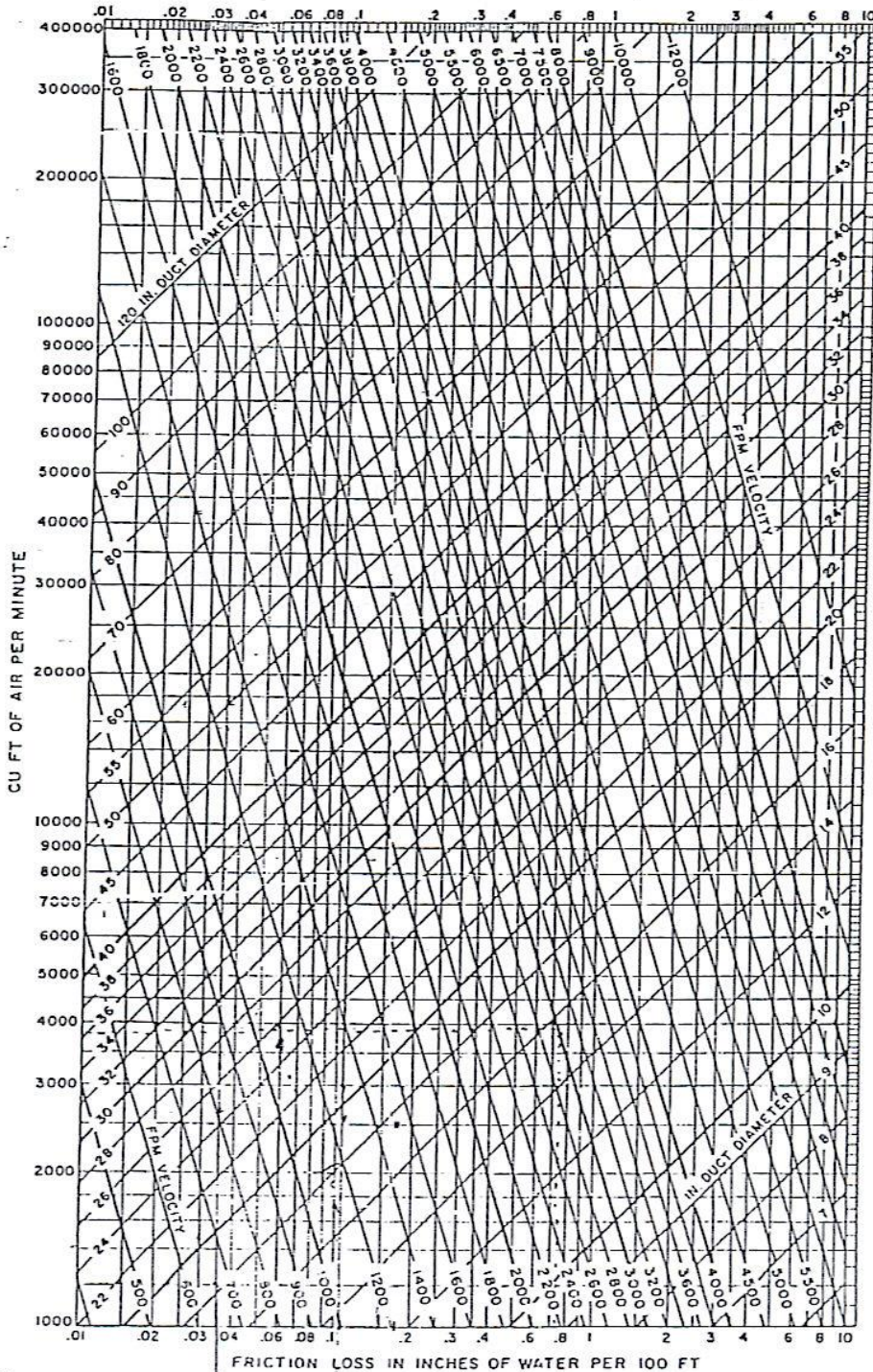


Standard Air of 0.075 lb./ft.³ density flowing through average, clean, round, galvanized metal ducts having approximately 40 joints per 100 ft. Caution: Do not enter

Fig. A-1 Friction of Air in Straight Ducts for Volumes of 10 to 2000 cfm

CHAPTER 31

1977 Fundamentals Hat



Based on Standard Air of 0.075 lb/ft³ density flowing through average, clean, round, galvanized metal ducts having approximately 40 joints per 100 ft.

Fig. A-2 Friction of Air in Straight Ducts for Volumes of 1000 to 400 000 cfm

ANEXO D

DIMENSIONES EQUIVALENTES EN DUCTOS.

TABLE 6—DUCT DIMENSIONS, SECTION AREA, CIRCULAR EQUIVALENT DIAMETER,* AND DUCT CLASS†

SIDE ↓	6		8		10		12		14		16		18		20		22	
	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.	Area sq ft	Diam in.
10	.39	8.4	.52	9.8	.65	10.9												
12	.45	9.1	.62	10.7	.77	11.9	.94	13.1										
14	.52	9.8	.72	11.5	.91	13.9	1.09	14.2	1.28	15.3								
16	.59	10.4	.81	12.2	1.02	13.7	1.24	15.1	1.45	16.3	1.67	17.5						
18	.66	11.0	.91	12.9	1.15	14.5	1.40	16.0	1.63	17.3	1.87	18.5	2.12	19.7				
20	.72	11.5	.97	13.5	1.26	15.2	1.54	16.8	1.81	18.2	2.07	19.5	2.34	20.7	2.61	21.9		
22	.78	12.0	1.08	14.1	1.38	15.9	1.69	17.6	1.99	19.1	2.27	20.4	2.57	21.7	2.86	22.9	3.17	24.1
24	.84	12.4	1.16	14.6	1.50	16.6	1.83	18.3	2.14	19.8	2.47	21.3	2.78	22.6	3.11	23.5	3.43	25.1
26	.89	12.8	1.26	15.2	1.61	17.2	1.97	19.0	2.31	20.6	2.66	22.1	3.01	23.5	3.35	24.5	3.71	26.1
28	.95	13.2	1.33	15.6	1.71	17.7	2.09	19.6	2.47	21.3	2.86	22.9	3.25	24.4	3.60	25.7	4.00	27.1
30	1.01	13.6	1.41	16.1	1.82	18.3	2.22	20.2	2.64	22.0	3.06	23.7	3.46	25.3	3.89	26.7	4.27	28.0
32	1.07	14.0	1.48	16.5	1.93	18.8	2.36	20.8	2.81	22.7	3.25	24.4	3.58	26.0	4.12	27.5	4.55	28.9
34	1.13	14.4	1.58	17.0	2.03	19.3	2.49	21.4	2.96	23.3	3.43	25.1	3.89	26.7	4.37	28.3	4.81	29.7
36	1.18	14.7	1.65	17.4	2.14	19.8	2.61	21.9	3.11	23.9	3.63	25.8	4.09	27.4	4.58	29.0	5.07	30.5
38	1.23	15.0	1.73	17.8	2.25	20.3	2.76	22.5	3.27	24.5	3.80	26.4	4.30	28.1	4.84	29.8	5.37	31.4
40	1.28	15.3	1.81	18.2	2.33	20.7	2.88	23.0	3.41	25.1	3.97	27.0	4.52	28.8	5.07	30.5	5.62	32.1
42	1.33	15.6	1.86	18.5	2.42	21.1	2.98	23.4	3.57	25.6	4.15	27.6	4.71	29.4	5.31	31.2	5.86	32.8
44	1.38	15.9	1.95	18.9	2.52	21.5	3.11	23.9	3.71	26.1	4.33	28.2	4.90	30.0	5.55	31.9	6.12	33.5
46	1.43	16.2	2.01	19.2	2.61	21.9	3.22	24.3	3.89	26.7	4.49	28.7	5.10	30.6	5.76	32.5	6.37	34.2
48	1.48	16.5	2.09	19.6	2.71	22.3	3.35	24.8	4.03	27.2	4.65	29.2	5.30	31.2	5.97	33.1	6.64	34.9
50			2.16	19.9	2.81	22.7	3.46	25.2	4.15	27.6	4.84	29.8	5.51	31.8	6.19	33.7	6.87	35.5
52			2.22	20.2	2.91	23.1	3.57	25.6	4.30	28.1	5.00	30.3	5.72	32.4	6.41	34.3	7.14	36.0
54			2.29	20.5	2.98	23.4	3.71	26.1	4.43	28.5	5.17	30.8	5.90	32.9	6.64	34.8	7.38	36.6
56			2.36	20.9	3.09	23.8	3.83	26.5	4.55	28.9	5.31	31.2	6.08	33.4	6.87	35.5	7.67	37.4
58			2.43	21.1	3.19	24.2	3.94	26.9	4.68	29.3	5.48	31.7	6.26	33.9	7.06	36.0	7.87	38.0
60			2.50	21.4	3.27	24.5	4.06	27.3	4.84	29.8	5.65	32.2	6.50	34.5	7.26	36.5	8.12	38.6
64			2.64	22.0	3.46	25.2	4.24	27.9	5.10	30.6	5.91	33.1	6.87	35.5	7.71	37.5	8.59	39.7
68					3.63	25.8	4.49	28.7	5.37	31.4	6.26	33.9	7.18	36.3	8.12	38.6	9.03	40.7
72					3.83	26.5	4.71	29.4	5.59	32.3	6.60	34.8	7.54	37.2	8.50	39.5	9.51	41.8
76					4.09	27.4	4.91	30.0	5.86	32.8	6.93	35.4	7.95	38.2	8.90	40.4	9.98	42.8
80					4.35	27.6	5.17	30.8	6.15	33.6	7.22	36.4	8.29	39.0	9.21	41.1	10.4	43.8
84							5.41	31.5	6.41	34.5	7.54	37.2	8.55	39.6	9.75	42.3	10.8	44.6
88							5.58	32.0	6.64	34.9	7.87	38.0	8.94	40.5	10.1	43.1	11.2	45.4
92							5.79	32.6	6.91	35.6	8.12	38.6	9.29	41.5	10.4	43.8	11.7	46.3
96							5.90	33.0	7.14	36.2	8.40	39.2	9.70	42.1	10.8	44.5	12.1	47.2
100									7.40	36.9	8.50	39.5	9.80	42.5	11.3	45.5	12.3	47.6
104									7.60	37.4	8.90	40.5	10.3	43.5	11.6	46.2	13.0	48.8
108									7.90	38.0	9.20	41.2	10.6	44.0	12.0	47.0	12.4	49.4
112									8.10	38.6	9.50	41.8	10.9	44.7	12.3	47.5	12.8	50.3
116											9.80	42.4	11.3	45.5	12.6	48.1	14.3	51.3
120											10.0	42.5	11.5	46.0	13.1	49.1	14.4	51.5
124											10.3	43.5	11.9	46.7	13.4	49.6	15.0	52.4
128											10.6	44.1	12.1	47.1	13.8	50.4	15.5	53.3
132													12.5	47.9	14.1	50.9	15.8	53.9
136													12.8	48.5	14.5	51.6	16.2	54.5
140													13.0	48.8	14.7	52.0	16.5	55.0
144													13.3	49.4	15.2	52.9	16.8	55.6

*Circular equivalent diameter (d_c). Calculated from $d_c = 1.3 \frac{(ab)^{0.5}}{(a+b)}$

†Large numbers in table are duct class.

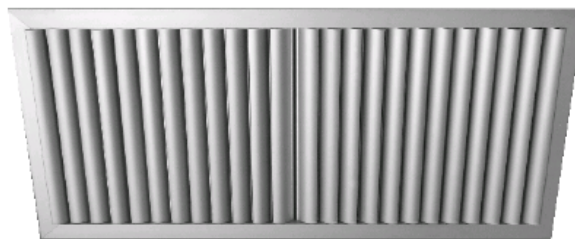
ANEXO E

**COEFICIENTES DE PÉRDIDAS EN
ACCESORIOS DE DUCTOS.**

**PERDIDA DE CARGA PUNTUAL EN
ACCESORIOS – COEFICIENTES**
**2001 ASHRAE Fundamentals
Handbook.**

<p>curva</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>R/D</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.5</td> <td>0.90</td> </tr> <tr> <td>0.75</td> <td>0.45</td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td>0.35</td> </tr> <tr> <td>1.5</td> <td>0.25</td> </tr> <tr> <td>2.0</td> <td>0.20</td> </tr> </tbody> </table>	R/D	ζ	0.5	0.90	0.75	0.45	1.0	0.35	1.5	0.25	2.0	0.20	<p>codo 2 elementos</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15°</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>30°</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>45°</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>60°</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>90°</td> <td>1.3</td> </tr> </tbody> </table>	α	ζ	15°	0.1	30°	0.2	45°	0.5	60°	0.7	90°	1.3	<p>derivación Y</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15°</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>30°</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>45°</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>60°</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>90°</td> <td>1.3</td> </tr> </tbody> </table>	α	ζ	15°	0.1	30°	0.3	45°	0.5	60°	0.7	90°	1.3	<p>derivación doble Y</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15°</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>30°</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>45°</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>60°</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>90°</td> <td>1.4</td> </tr> </tbody> </table>	α	ζ	15°	0.1	30°	0.3	45°	0.7	60°	1	90°	1.4	<p>toma captación</p> <p>ζ 0.9</p> <p>descarga</p> <p>ζ 1</p>																																																																																								
R/D	ζ																																																																																																																																											
0.5	0.90																																																																																																																																											
0.75	0.45																																																																																																																																											
1.0	0.35																																																																																																																																											
1.5	0.25																																																																																																																																											
2.0	0.20																																																																																																																																											
α	ζ																																																																																																																																											
15°	0.1																																																																																																																																											
30°	0.2																																																																																																																																											
45°	0.5																																																																																																																																											
60°	0.7																																																																																																																																											
90°	1.3																																																																																																																																											
α	ζ																																																																																																																																											
15°	0.1																																																																																																																																											
30°	0.3																																																																																																																																											
45°	0.5																																																																																																																																											
60°	0.7																																																																																																																																											
90°	1.3																																																																																																																																											
α	ζ																																																																																																																																											
15°	0.1																																																																																																																																											
30°	0.3																																																																																																																																											
45°	0.7																																																																																																																																											
60°	1																																																																																																																																											
90°	1.4																																																																																																																																											
<p>codo 3 elementos</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>R/D</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.5</td> <td>1.3</td> </tr> <tr> <td>0.75</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>1.5</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>2.0</td> <td>0.25</td> </tr> </tbody> </table>	R/D	ζ	0.5	1.3	0.75	0.8	1.0	0.5	1.5	0.3	2.0	0.25	<p>codo 5 elementos</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>R/D</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.5</td> <td>1.3</td> </tr> <tr> <td>0.75</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>1.5</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>2.0</td> <td>0.25</td> </tr> </tbody> </table>	R/D	ζ	0.5	1.3	0.75	0.8	1.0	0.5	1.5	0.3	2.0	0.25	<p>derivación curva</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>R/D</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.5</td> <td>1.3</td> </tr> <tr> <td>0.75</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>1.5</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>2.0</td> <td>0.5</td> </tr> </tbody> </table>	R/D	ζ	0.5	1.3	0.75	0.9	1.0	0.8	1.5	0.6	2.0	0.5	<p>derivación doble curva</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>R/D</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.5</td> <td>1.2</td> </tr> <tr> <td>0.75</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>1.5</td> <td>0.25</td> </tr> <tr> <td>2.0</td> <td>0.2</td> </tr> </tbody> </table>	R/D	ζ	0.5	1.2	0.75	0.6	1.0	0.4	1.5	0.25	2.0	0.2	<p>derivación T</p> <p>ζ 1.4</p>																																																																																								
R/D	ζ																																																																																																																																											
0.5	1.3																																																																																																																																											
0.75	0.8																																																																																																																																											
1.0	0.5																																																																																																																																											
1.5	0.3																																																																																																																																											
2.0	0.25																																																																																																																																											
R/D	ζ																																																																																																																																											
0.5	1.3																																																																																																																																											
0.75	0.8																																																																																																																																											
1.0	0.5																																																																																																																																											
1.5	0.3																																																																																																																																											
2.0	0.25																																																																																																																																											
R/D	ζ																																																																																																																																											
0.5	1.3																																																																																																																																											
0.75	0.9																																																																																																																																											
1.0	0.8																																																																																																																																											
1.5	0.6																																																																																																																																											
2.0	0.5																																																																																																																																											
R/D	ζ																																																																																																																																											
0.5	1.2																																																																																																																																											
0.75	0.6																																																																																																																																											
1.0	0.4																																																																																																																																											
1.5	0.25																																																																																																																																											
2.0	0.2																																																																																																																																											
<p>tobera captación</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>R/D</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.25</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>0.5</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>0.75</td> <td>0.05</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0.05</td> </tr> </tbody> </table>	R/D	ζ	0.25	0.2	0.5	0.1	0.75	0.05	1	0.05	<p>tobera captación cónica</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15°</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>30°</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>45°</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>60°</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>90°</td> <td>0.7</td> </tr> </tbody> </table>	α	ζ	15°	0.5	30°	0.3	45°	0.3	60°	0.4	90°	0.7	<p>toma captación</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>D2/D1</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.1</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>0.2</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>0.4</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>0.6</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>0.2</td> </tr> </tbody> </table>	D2/D1	ζ	0.1	0.6	0.2	0.5	0.4	0.4	0.6	0.3	0.8	0.2	<p>incremento difusor</p> <p>$L=2.5 D$ min.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5°</td> <td>0.88</td> </tr> <tr> <td>10°</td> <td>0.85</td> </tr> <tr> <td>15°</td> <td>0.82</td> </tr> <tr> <td>45°</td> <td>0.78</td> </tr> <tr> <td>90°</td> <td>0.77</td> </tr> </tbody> </table>	α	ζ	5°	0.88	10°	0.85	15°	0.82	45°	0.78	90°	0.77																																																																																											
R/D	ζ																																																																																																																																											
0.25	0.2																																																																																																																																											
0.5	0.1																																																																																																																																											
0.75	0.05																																																																																																																																											
1	0.05																																																																																																																																											
α	ζ																																																																																																																																											
15°	0.5																																																																																																																																											
30°	0.3																																																																																																																																											
45°	0.3																																																																																																																																											
60°	0.4																																																																																																																																											
90°	0.7																																																																																																																																											
D2/D1	ζ																																																																																																																																											
0.1	0.6																																																																																																																																											
0.2	0.5																																																																																																																																											
0.4	0.4																																																																																																																																											
0.6	0.3																																																																																																																																											
0.8	0.2																																																																																																																																											
α	ζ																																																																																																																																											
5°	0.88																																																																																																																																											
10°	0.85																																																																																																																																											
15°	0.82																																																																																																																																											
45°	0.78																																																																																																																																											
90°	0.77																																																																																																																																											
<p>reducción</p> <p>$L=2D$ min.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5°</td> <td>0.05</td> </tr> <tr> <td>10°</td> <td>0.07</td> </tr> <tr> <td>30°</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>30°</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>45°</td> <td>0.2</td> </tr> </tbody> </table>	α	ζ	5°	0.05	10°	0.07	30°	0.1	30°	0.15	45°	0.2	<p>reducción brusca</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>D2/D1</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.1</td> <td>0.48</td> </tr> <tr> <td>0.2</td> <td>0.45</td> </tr> <tr> <td>0.4</td> <td>0.37</td> </tr> <tr> <td>0.6</td> <td>0.26</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>0.15</td> </tr> </tbody> </table>	D2/D1	ζ	0.1	0.48	0.2	0.45	0.4	0.37	0.6	0.26	0.8	0.15	<p>reducción brusca</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>D2/D1</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.6</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>0.7</td> <td>3.5</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>1.2</td> </tr> <tr> <td>0.9</td> <td>0.25</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	D2/D1	ζ	0.6	10	0.7	3.5	0.8	1.2	0.9	0.25	1	0	<p>tobera descarga</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>D2/D1</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.1</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>0.2</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>0.4</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>0.6</td> <td>2.3</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td>0.9</td> <td>1.5</td> </tr> </tbody> </table>	D2/D1	ζ	0.1	2.5	0.2	2.5	0.4	2.5	0.6	2.3	0.8	1.9	0.9	1.5																																																																																							
α	ζ																																																																																																																																											
5°	0.05																																																																																																																																											
10°	0.07																																																																																																																																											
30°	0.1																																																																																																																																											
30°	0.15																																																																																																																																											
45°	0.2																																																																																																																																											
D2/D1	ζ																																																																																																																																											
0.1	0.48																																																																																																																																											
0.2	0.45																																																																																																																																											
0.4	0.37																																																																																																																																											
0.6	0.26																																																																																																																																											
0.8	0.15																																																																																																																																											
D2/D1	ζ																																																																																																																																											
0.6	10																																																																																																																																											
0.7	3.5																																																																																																																																											
0.8	1.2																																																																																																																																											
0.9	0.25																																																																																																																																											
1	0																																																																																																																																											
D2/D1	ζ																																																																																																																																											
0.1	2.5																																																																																																																																											
0.2	2.5																																																																																																																																											
0.4	2.5																																																																																																																																											
0.6	2.3																																																																																																																																											
0.8	1.9																																																																																																																																											
0.9	1.5																																																																																																																																											
<p>curva</p> <p>$B > D$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>R/D</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1.32</td> </tr> <tr> <td>1.5</td> <td>1.15</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1.04</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.86</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0.75</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>0.65</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>0.55</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0.45</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.35</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0.25</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>0.21</td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>0.19</td> </tr> <tr> <td>18</td> <td>0.18</td> </tr> <tr> <td>19</td> <td>0.17</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>0.16</td> </tr> <tr> <td>21</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>22</td> <td>0.14</td> </tr> <tr> <td>23</td> <td>0.13</td> </tr> <tr> <td>24</td> <td>0.13</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>0.12</td> </tr> </tbody> </table>	R/D	ζ	0	1.5	1	1.32	1.5	1.15	2	1.04	3	0.86	4	0.8	5	0.75	6	0.7	7	0.65	8	0.6	9	0.55	10	0.5	11	0.45	12	0.4	13	0.35	14	0.3	15	0.25	16	0.21	17	0.19	18	0.18	19	0.17	20	0.16	21	0.15	22	0.14	23	0.13	24	0.13	25	0.12	<p>curva</p> <p>$B > D$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>R/D</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1.32</td> </tr> <tr> <td>1.5</td> <td>1.15</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1.04</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.86</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0.75</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>0.65</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>0.55</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0.45</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>0.35</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0.25</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>0.21</td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>0.19</td> </tr> <tr> <td>18</td> <td>0.18</td> </tr> <tr> <td>19</td> <td>0.17</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>0.16</td> </tr> <tr> <td>21</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>22</td> <td>0.14</td> </tr> <tr> <td>23</td> <td>0.13</td> </tr> <tr> <td>24</td> <td>0.13</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>0.12</td> </tr> </tbody> </table>	R/D	ζ	0	1.5	1	1.32	1.5	1.15	2	1.04	3	0.86	4	0.8	5	0.75	6	0.7	7	0.65	8	0.6	9	0.55	10	0.5	11	0.45	12	0.4	13	0.35	14	0.3	15	0.25	16	0.21	17	0.19	18	0.18	19	0.17	20	0.16	21	0.15	22	0.14	23	0.13	24	0.13	25	0.12	<p>derivación Y</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15°</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>30°</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>45°</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>60°</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>90°</td> <td>1.3</td> </tr> </tbody> </table>	α	ζ	15°	0.1	30°	0.3	45°	0.5	60°	0.7	90°	1.3	<p>derivación doble Y</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15°</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>30°</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>45°</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>60°</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>90°</td> <td>1.4</td> </tr> </tbody> </table>	α	ζ	15°	0.1	30°	0.3	45°	0.7	60°	1	90°	1.4	<p>toma captación</p> <p>ζ 1.3</p> <p>descarga</p> <p>ζ 1</p>
R/D	ζ																																																																																																																																											
0	1.5																																																																																																																																											
1	1.32																																																																																																																																											
1.5	1.15																																																																																																																																											
2	1.04																																																																																																																																											
3	0.86																																																																																																																																											
4	0.8																																																																																																																																											
5	0.75																																																																																																																																											
6	0.7																																																																																																																																											
7	0.65																																																																																																																																											
8	0.6																																																																																																																																											
9	0.55																																																																																																																																											
10	0.5																																																																																																																																											
11	0.45																																																																																																																																											
12	0.4																																																																																																																																											
13	0.35																																																																																																																																											
14	0.3																																																																																																																																											
15	0.25																																																																																																																																											
16	0.21																																																																																																																																											
17	0.19																																																																																																																																											
18	0.18																																																																																																																																											
19	0.17																																																																																																																																											
20	0.16																																																																																																																																											
21	0.15																																																																																																																																											
22	0.14																																																																																																																																											
23	0.13																																																																																																																																											
24	0.13																																																																																																																																											
25	0.12																																																																																																																																											
R/D	ζ																																																																																																																																											
0	1.5																																																																																																																																											
1	1.32																																																																																																																																											
1.5	1.15																																																																																																																																											
2	1.04																																																																																																																																											
3	0.86																																																																																																																																											
4	0.8																																																																																																																																											
5	0.75																																																																																																																																											
6	0.7																																																																																																																																											
7	0.65																																																																																																																																											
8	0.6																																																																																																																																											
9	0.55																																																																																																																																											
10	0.5																																																																																																																																											
11	0.45																																																																																																																																											
12	0.4																																																																																																																																											
13	0.35																																																																																																																																											
14	0.3																																																																																																																																											
15	0.25																																																																																																																																											
16	0.21																																																																																																																																											
17	0.19																																																																																																																																											
18	0.18																																																																																																																																											
19	0.17																																																																																																																																											
20	0.16																																																																																																																																											
21	0.15																																																																																																																																											
22	0.14																																																																																																																																											
23	0.13																																																																																																																																											
24	0.13																																																																																																																																											
25	0.12																																																																																																																																											
α	ζ																																																																																																																																											
15°	0.1																																																																																																																																											
30°	0.3																																																																																																																																											
45°	0.5																																																																																																																																											
60°	0.7																																																																																																																																											
90°	1.3																																																																																																																																											
α	ζ																																																																																																																																											
15°	0.1																																																																																																																																											
30°	0.3																																																																																																																																											
45°	0.7																																																																																																																																											
60°	1																																																																																																																																											
90°	1.4																																																																																																																																											
<p>escuadra</p> <p>$B > D$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>R/D</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0.4</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>0.6</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>1.1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1.2</td> </tr> </tbody> </table>	R/D	ζ	0.2	1	0.4	0.8	0.6	0.9	0.8	1.1	1	1.2	<p>escuadra</p> <p>$B > D$</p> <p>ζ 0.3</p>	<p>codos</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15°</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>30°</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>45°</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>60°</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>90°</td> <td>1.4</td> </tr> </tbody> </table>	α	ζ	15°	0.1	30°	0.3	45°	0.7	60°	1	90°	1.4	<p>derivación doble curva</p> <p>$B > D$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>R/D</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.5</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0.75</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td>0.25</td> </tr> <tr> <td>1.5</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>2.0</td> <td>0.1</td> </tr> </tbody> </table>	R/D	ζ	0.5	1	0.75	0.5	1.0	0.25	1.5	0.15	2.0	0.1	<p>derivación T</p> <p>ζ 1.4</p>																																																																																																				
R/D	ζ																																																																																																																																											
0.2	1																																																																																																																																											
0.4	0.8																																																																																																																																											
0.6	0.9																																																																																																																																											
0.8	1.1																																																																																																																																											
1	1.2																																																																																																																																											
α	ζ																																																																																																																																											
15°	0.1																																																																																																																																											
30°	0.3																																																																																																																																											
45°	0.7																																																																																																																																											
60°	1																																																																																																																																											
90°	1.4																																																																																																																																											
R/D	ζ																																																																																																																																											
0.5	1																																																																																																																																											
0.75	0.5																																																																																																																																											
1.0	0.25																																																																																																																																											
1.5	0.15																																																																																																																																											
2.0	0.1																																																																																																																																											
<p>derivación T</p> <p>$B > D$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>R/D</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.4</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0.4</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>0.6</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>1.1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1.2</td> </tr> </tbody> </table>	R/D	ζ	0.4	1	0.4	0.8	0.6	0.9	0.8	1.1	1	1.2	<p>tobera captación</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15°</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>30°</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>45°</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>60°</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>90°</td> <td>0.7</td> </tr> </tbody> </table>	α	ζ	15°	0.5	30°	0.3	45°	0.3	60°	0.4	90°	0.7	<p>toma captación</p> <p>$B > D$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>D2/D1</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.1</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>0.2</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>0.4</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>0.6</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>0.35</td> </tr> </tbody> </table>	D2/D1	ζ	0.1	0.9	0.2	0.7	0.4	0.6	0.6	0.5	0.8	0.35	<p>incremento difusor</p> <p>$L=2.5 C$ min.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5°</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>10°</td> <td>0.25</td> </tr> <tr> <td>15°</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>30°</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>45°</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>90°</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	α	ζ	5°	0.15	10°	0.25	15°	0.4	30°	0.8	45°	0.9	90°	1																																																																																							
R/D	ζ																																																																																																																																											
0.4	1																																																																																																																																											
0.4	0.8																																																																																																																																											
0.6	0.9																																																																																																																																											
0.8	1.1																																																																																																																																											
1	1.2																																																																																																																																											
α	ζ																																																																																																																																											
15°	0.5																																																																																																																																											
30°	0.3																																																																																																																																											
45°	0.3																																																																																																																																											
60°	0.4																																																																																																																																											
90°	0.7																																																																																																																																											
D2/D1	ζ																																																																																																																																											
0.1	0.9																																																																																																																																											
0.2	0.7																																																																																																																																											
0.4	0.6																																																																																																																																											
0.6	0.5																																																																																																																																											
0.8	0.35																																																																																																																																											
α	ζ																																																																																																																																											
5°	0.15																																																																																																																																											
10°	0.25																																																																																																																																											
15°	0.4																																																																																																																																											
30°	0.8																																																																																																																																											
45°	0.9																																																																																																																																											
90°	1																																																																																																																																											
<p>reducción</p> <p>$L=2 B$ min.</p> <p>$B > D$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5°</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>10°</td> <td>0.25</td> </tr> <tr> <td>15°</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>30°</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>45°</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>60°</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	α	ζ	5°	0.15	10°	0.25	15°	0.4	30°	0.8	45°	0.9	60°	1	<p>reducción brusca</p> <p>S1</p> <p>S2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>S2/S1</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.1</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>0.2</td> <td>0.45</td> </tr> <tr> <td>0.4</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>0.6</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>0.1</td> </tr> </tbody> </table>	S2/S1	ζ	0.1	0.6	0.2	0.45	0.4	0.3	0.6	0.2	0.8	0.1	<p>reducción brusca</p> <p>S1</p> <p>S2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>S2/S1</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.4</td> <td>8.1</td> </tr> <tr> <td>0.5</td> <td>3.8</td> </tr> <tr> <td>0.6</td> <td>1.82</td> </tr> <tr> <td>0.7</td> <td>0.78</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>0.28</td> </tr> <tr> <td>0.9</td> <td>0.06</td> </tr> </tbody> </table>	S2/S1	ζ	0.4	8.1	0.5	3.8	0.6	1.82	0.7	0.78	0.8	0.28	0.9	0.06																																																																																																		
α	ζ																																																																																																																																											
5°	0.15																																																																																																																																											
10°	0.25																																																																																																																																											
15°	0.4																																																																																																																																											
30°	0.8																																																																																																																																											
45°	0.9																																																																																																																																											
60°	1																																																																																																																																											
S2/S1	ζ																																																																																																																																											
0.1	0.6																																																																																																																																											
0.2	0.45																																																																																																																																											
0.4	0.3																																																																																																																																											
0.6	0.2																																																																																																																																											
0.8	0.1																																																																																																																																											
S2/S1	ζ																																																																																																																																											
0.4	8.1																																																																																																																																											
0.5	3.8																																																																																																																																											
0.6	1.82																																																																																																																																											
0.7	0.78																																																																																																																																											
0.8	0.28																																																																																																																																											
0.9	0.06																																																																																																																																											
<p>reducción descarga</p> <p>S1</p> <p>S2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>S2/S1</th> <th>ζ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>0.2</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>0.4</td> <td>2.3</td> </tr> <tr> <td>0.6</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	S2/S1	ζ	0	2.5	0.2	2.5	0.4	2.3	0.6	2	0.8	1.6	1	1	<p>reducción</p> <p>$\alpha < 14^\circ$</p> <p>$L=2 B$ min.</p> <p>$B > D$</p> <p>ζ 0.15</p>	<p>Nota: En los accesorios donde tenga lugar un cambio de sección, la pérdida de carga del mismo se imputará en el tramo de menor sección.</p>																																																																																																																												
S2/S1	ζ																																																																																																																																											
0	2.5																																																																																																																																											
0.2	2.5																																																																																																																																											
0.4	2.3																																																																																																																																											
0.6	2																																																																																																																																											
0.8	1.6																																																																																																																																											
1	1																																																																																																																																											

2001 ASHRAE Fundamentals Handbook

**Descripción:**

Difusor de aletas curvadas. Sus aletas curvas provocan muy poca pérdida de presión, además de ser más silenciosas.

AMT-ACO: Difusor de aletas en 2 direcciones con ángulo de inclinación de 15°, paralelas a la dimensión mayor.

SP: Regulador de caudal de aletas opuestas construido en acero.

CM: Marco de montaje construido en acero galvanizado.

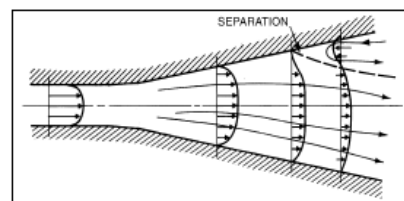
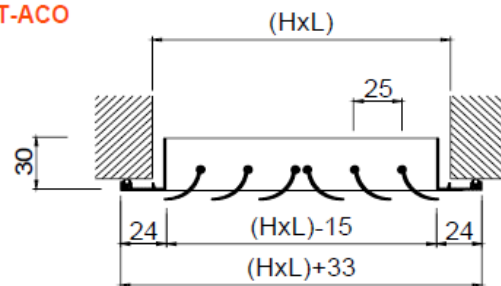
PLRX: Plenum con conexión circular.

Fijación:

(S) Clips.

(O) Tornillo oculto.

(T) Tornillos visibles.

AMT-ACO

Separation in Flow in Diffuser

ANEXO F

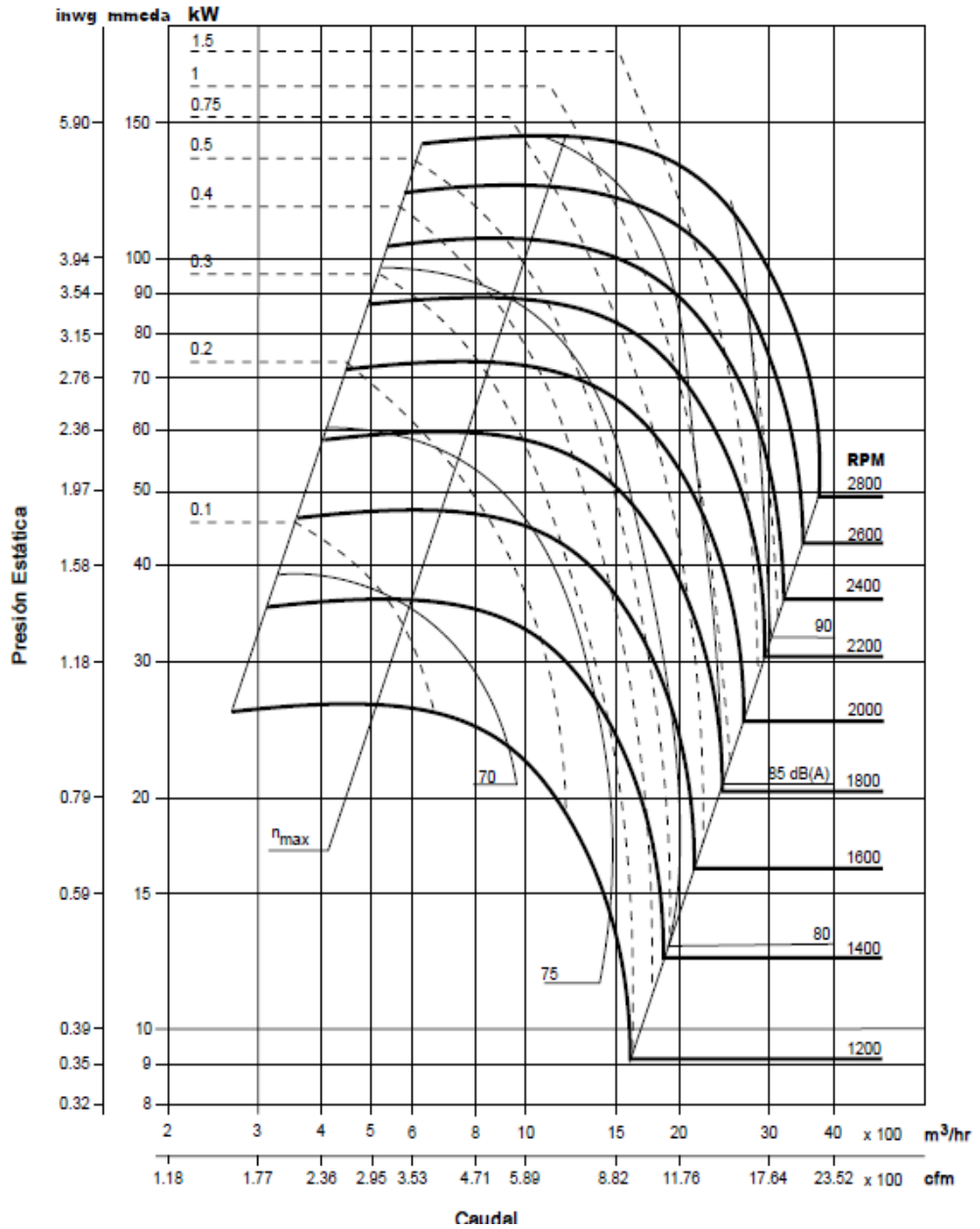
**PROPIEDADES DE LA ATMÓSFERA EN
FUNCIÓN DE LA ALTITUD.**

Altitud, m	Temperatura, °C	Presión, kPa	Gravedad g, m/s ²	Velocidad del sonido, m/s	Densidad, kg/m ³	Viscosidad μ , kg/m · s	Conductivi- dad térmica, W/m · K
0	15.00	101.33	9.807	340.3	1.225	1.789×10^{-5}	0.0253
200	13.70	98.95	9.806	339.5	1.202	1.783×10^{-5}	0.0252
400	12.40	96.61	9.805	338.8	1.179	1.777×10^{-5}	0.0252
600	11.10	94.32	9.805	338.0	1.156	1.771×10^{-5}	0.0251
800	9.80	92.08	9.804	337.2	1.134	1.764×10^{-5}	0.0250
1000	8.50	89.88	9.804	336.4	1.112	1.758×10^{-5}	0.0249
1200	7.20	87.72	9.803	335.7	1.090	1.752×10^{-5}	0.0248
1400	5.90	85.60	9.802	334.9	1.069	1.745×10^{-5}	0.0247
1600	4.60	83.53	9.802	334.1	1.048	1.739×10^{-5}	0.0245
1800	3.30	81.49	9.801	333.3	1.027	1.732×10^{-5}	0.0244
2000	2.00	79.50	9.800	332.5	1.007	1.726×10^{-5}	0.0243
2200	0.70	77.55	9.800	331.7	0.987	1.720×10^{-5}	0.0242
2400	-0.59	75.63	9.799	331.0	0.967	1.713×10^{-5}	0.0241
2600	-1.89	73.76	9.799	330.2	0.947	1.707×10^{-5}	0.0240
2800	-3.19	71.92	9.798	329.4	0.928	1.700×10^{-5}	0.0239
3000	-4.49	70.12	9.797	328.6	0.909	1.694×10^{-5}	0.0238
3200	-5.79	68.36	9.797	327.8	0.891	1.687×10^{-5}	0.0237
3400	-7.09	66.63	9.796	327.0	0.872	1.681×10^{-5}	0.0236
3600	-8.39	64.94	9.796	326.2	0.854	1.674×10^{-5}	0.0235
3800	-9.69	63.28	9.795	325.4	0.837	1.668×10^{-5}	0.0234
4000	-10.98	61.66	9.794	324.6	0.819	1.661×10^{-5}	0.0233
4200	-12.3	60.07	9.794	323.8	0.802	1.655×10^{-5}	0.0232
4400	-13.6	58.52	9.793	323.0	0.785	1.648×10^{-5}	0.0231
4600	-14.9	57.00	9.793	322.2	0.769	1.642×10^{-5}	0.0230
4800	-16.2	55.51	9.792	321.4	0.752	1.635×10^{-5}	0.0229
5000	-17.5	54.05	9.791	320.5	0.736	1.628×10^{-5}	0.0228
5200	-18.8	52.62	9.791	319.7	0.721	1.622×10^{-5}	0.0227
5400	-20.1	51.23	9.790	318.9	0.705	1.615×10^{-5}	0.0226
5600	-21.4	49.86	9.789	318.1	0.690	1.608×10^{-5}	0.0224
5800	-22.7	48.52	9.785	317.3	0.675	1.602×10^{-5}	0.0223
6000	-24.0	47.22	9.788	316.5	0.660	1.595×10^{-5}	0.0222
6200	-25.3	45.94	9.788	315.6	0.646	1.588×10^{-5}	0.0221
6400	-26.6	44.69	9.787	314.8	0.631	1.582×10^{-5}	0.0220
6600	-27.9	43.47	9.786	314.0	0.617	1.575×10^{-5}	0.0219
6800	-29.2	42.27	9.785	313.1	0.604	1.568×10^{-5}	0.0218
7000	-30.5	41.11	9.785	312.3	0.590	1.561×10^{-5}	0.0217
8000	-36.9	35.65	9.782	308.1	0.526	1.527×10^{-5}	0.0212
9000	-43.4	30.80	9.779	303.8	0.467	1.493×10^{-5}	0.0206
10,000	-49.9	26.50	9.776	299.5	0.414	1.458×10^{-5}	0.0201
12,000	-56.5	19.40	9.770	295.1	0.312	1.422×10^{-5}	0.0195
14,000	-56.5	14.17	9.764	295.1	0.228	1.422×10^{-5}	0.0195
16,000	-56.5	10.53	9.758	295.1	0.166	1.422×10^{-5}	0.0195
18,000	-56.5	7.57	9.751	295.1	0.122	1.422×10^{-5}	0.0195

Fuente: U.S. Standard Atmosphere Supplements. Oficina de Impresiones del Gobierno de Estados Unidos, 1966. Basadas en las condiciones medias anuales una latitud de 45° y una variación de acuerdo con la época del año y con los patrones del clima. Las condiciones al nivel del mar ($z = 0$) se consideran como $p = 101.325$ kPa, $T = 15^\circ\text{C}$, $\rho = 1.2250$ kg/m³, $g = 9.80665$ m/s².

ANEXO G

**NOMOGRAMA DE SELECCIÓN DE
VENTILADORES CENTRÍFUGOS.**



ANEXO H

**VALORES DE EMISIVIDAD DE ALGUNAS
SUPERFICIES.**

Superficie	T, °F	Emisividad ϵ
Metales y sus óxidos		
Molibdeno:		
Filamento	1.340-4.700	0,096-0,202
En bloque, pulido	212	0,071
Monel metal, oxidado a 599 °C (1.110 °F)	390-1.110	0,41-0,46
Níquel:		
Pulido	212	0,072
Óxido de níquel	1.200-2.290	0,59-0,86
Níquel, aleaciones:		
Cobre níquel, pulido	212	0,059
Nicrom, hilo, brillante	120-1.830	0,65-0,79
Nicrom, hilo, oxidado	120-930	0,95-0,98
Platino, placa pulida, puro	440-1.160	0,054-0,104
Plata:		
Pulida, pura	440-1.160	0,020-0,032
Pulida	100-700	0,022-0,031
Aceros inoxidables:		
Pulidos	212	0,074
Tipo 301: B	450-1.725	0,54-0,63
Estaño, hierro estañado brillante	76	0,043 y 0,064
Wolframio, filamento	6.000	0,39
Cinc, lámina de hierro galvanizada, bastante brillante	82	0,23
Refractarios, materiales de construcción, pinturas y miscelánea		
Alúmina (85-99,5 %, Al_2O_3 , 0-12 % SiO_2 , 0-1 % Ge_2O_3): efecto del tamaño medio de grano, micrómetros (μm):		
10 μm		0,30-0,18
50 μm		0,39-0,28
100 μm		0,50-0,40
Asbesto, plancha	74	0,96
Ladrillo:		
Rojo, basto, pero sin grandes irregularidades	70	0,93
Refractario	1.832	0,75

ANEXO I

**PROPIEDADES TERMOFÍSICAS DE GASES A
PRESIÓN ATMOSFÉRICA.**

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536

ANEXO J

**PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL
GLP.**

1. IDENTIFICACION DEL PRODUCTO

1. Hoja de datos de Seguridad para Sustancias Químicas N ₀ : HDSSQ-LPG	6. Formula: C ₃ H ₈ + C ₄ H ₁₀
2. Nombre del producto: Gas licuado comercial, odorizado	7. Calor de vaporización: 45000 BTU/Kg
3. Nombre Químico: Mezcla Propano-Butano	8. Temperatura: 15°C
4. Familia Química: Hidrocarburos del Petróleo	9. Gravedad específica: 0.6
5. Sinónimos: Gas LP, LPG, gas licuado del petróleo.	10. Viscosidad: 0.008

2. COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS INGREDIENTES

1. Nombre de los componentes	%	2. No. CAS	3. No. UN	4. LMPE: PPT, CT	5. IPVS	6. Grado de riesgo			
						S	I	R	Especial
Propano	60	74-98-6	1075	Asfixiante Simple	2100 ppm	1	4	0	
Butano	40	106-97-8	1011	PPT: 800 ppm	---	1	4	0	
Etil-mercaptano (odorizante)	0.0017 – 0.0028	75-08-1	2363	PPT: 0.95 ppm CT: 2 ppm	500 ppm	2	4	0	

3. PELIGROS DE EXPLOSIÓN E INCENDIO

Punto de flash	- 98.0 °C	Punto de Flash: Una sustancia con un punto de flash de 38°C ó menor se considera peligrosa; entre 38° y 93°C, moderadamente inflamable; mayor a 93°C la inflamabilidad es baja (combustible). El punto de flash del LPG (- 98°C) lo hace un compuesto sumamente peligroso.
Temperatura de ebullición	- 32.5 °C	
Temperatura de autoignición	435.0 °C	
Límites de explosividad:	<i>Inferior</i> 1.8 % <i>Superior</i> 9.3 %	

4. PODER CALORÍFICO

(Kcal/Kg).

	Poder calorífico inferior. (P.C.I.)	Poder calorífico superior. (P.C.S.)
Butano comercial.	10 938	11 867
Propano comercial.	11 082	12 052
GLP.	11 024	11 978

ANEXO K

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS
VÁLVULAS SOLENOIDES DANFOSS.**

Instruction

EV210B

Normally Closed (NC)



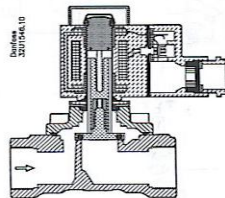
Types

Type EV210B 6, 8, 10, 15, 20, 25 Normally Closed (NC)

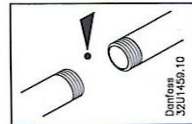
Media temperature

Gasket material	Media	Temperature
EPDM	Water	-30°C → +120°C
FKM	Oil / Inert gas incl air	-10°C → +100°C

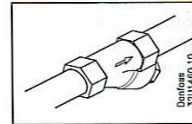
NC



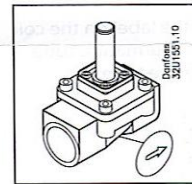
Mounting the valve



1. Clean the pipe system before mounting the valve

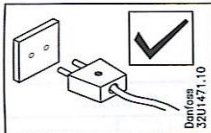


2. Mount filter in front of the valve if there are impurities in media

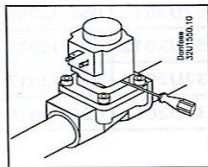


3. The arrow cast on the body must point in the direction of the flow

Coil replacement

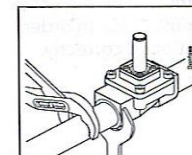
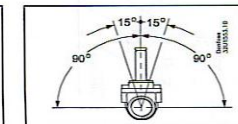
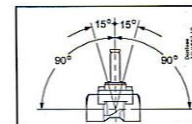


1. Before removing the coil, voltage must be disconnected, otherwise the coil will burn out



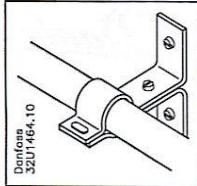
2. Use a screwdriver to lever the coil from the armature.

4. Mount the valve as shown in the pictures. The valve type 6, 8 and 10 can be mounted with a max. angle of 90° from upright position. The valve type 15, 20 and 25 can be mounted with a max. angle of 15° from upright position.

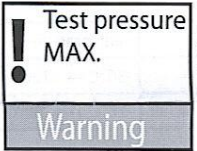


5. Use counterforce when tightening up pipe connections, i.e. use a spanner on both the valve body as well as on the pipe connector.

To be continued on page 2



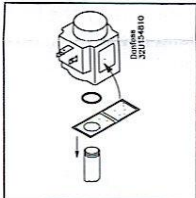
6. The pipes on both sides of the valve must be securely fastened.



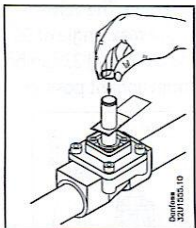
7. Test the system
Maximum pressure:
EV210B 6,8 and 10, 50Bar
EV210B 15, 20 and 25, 12Bar

Mounting the coil

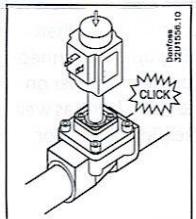
Note 1. **Warning**
Never switch on power to the coil when the coil is dismounted from the valve. Otherwise the coil may be damaged and there is risk of injuries and burns.



2. Mount the label on the coil and put the armature tube label over the tube.



3. Mount the O-ring.



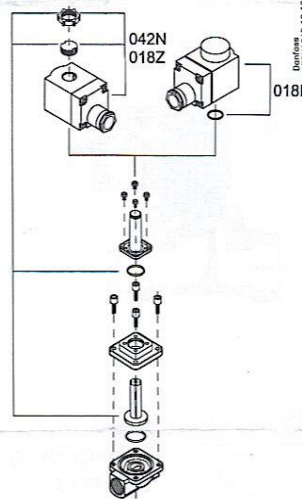
4. Mount the coil on the valve. The coil must **CLICK** in order to be positioned correctly.

Safe working pressure

Types	Pressure
EV210B 6, 8 and 10 Normally Closed (NC)	30 bar
EV210B 15, 20 and 25 Normally Closed (NC)	

Spare parts kit

Normally closed valves (NC)



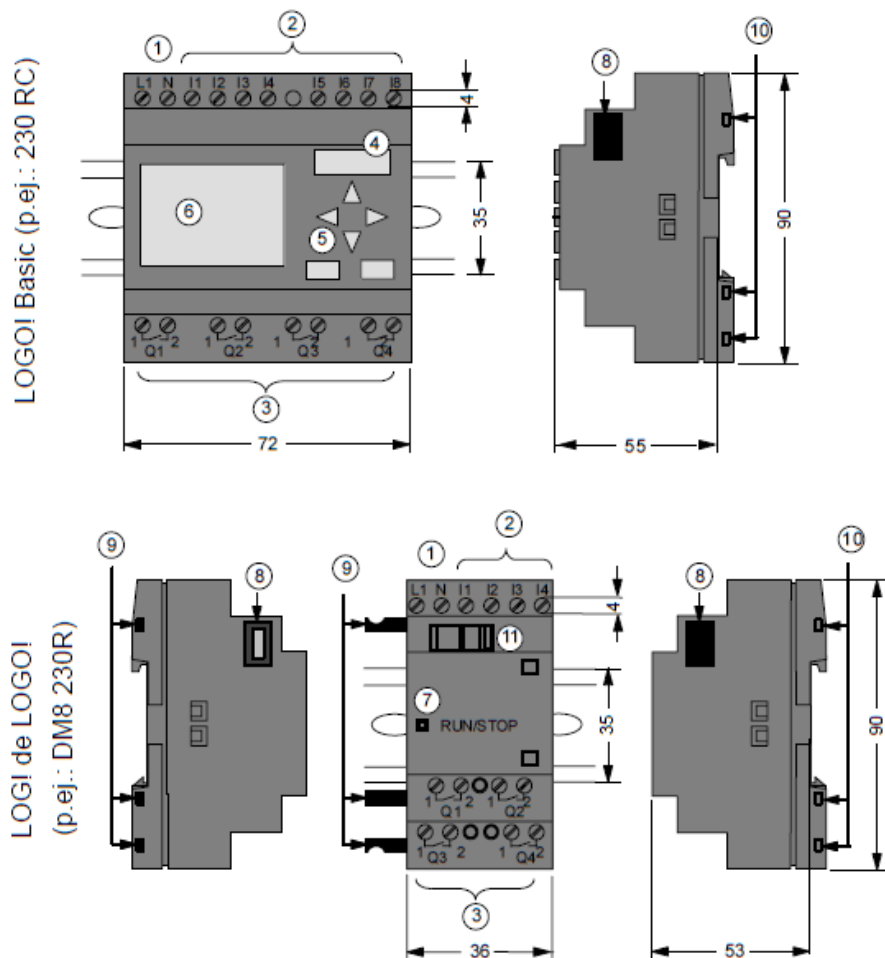
Type	Code no.	
	FKM	EPDM
EV210B 6, 8 and 10	032U2011	032U2006
EV210B 15	032U2012	032U2013
EV210B 20	032U2014	032U2017
EV210B 25	032U2018	032U2019

ANEXO L

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MICRO
PLC SIEMENS LOGO 230RC.**

¿Qué es LOGO!?

Estructura de LOGO!



- | | | |
|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| ① Alimentación de tensión | ⑤ Panel de mando (no en RCo) | ⑧ Interfaz de ampliación |
| ② Entradas | ⑥ Pantalla LCD (no en RCo) | ⑨ Codificación mecánica – clavija |
| ③ Salidas | ⑦ Indicador de estado RUN/STOP | ⑩ Codificación mecánica – hembra |
| ④ Receptáculo para módulo con tapa | | ⑪ Guía deslizante |

Datos técnicos

A.2 Datos técnicos: LOGO! 230... y LOGO! DM8 230R



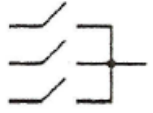

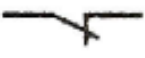

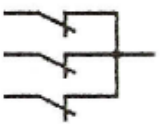

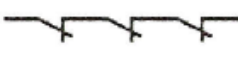
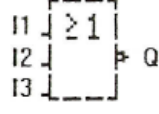
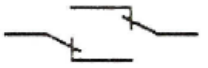
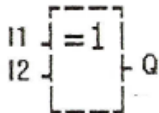
	LOGO! 230RC LOGO! 230RC _o	LOGO! DM8 230R
Fuente de alimentación		
Tensión de entrada	115...240 V CA/CC	115...240 V CA/CC
Margen admisible	85 ... 265 V CA 100 ... 253 V CC	85 ... 253 V CA 85 ... 253 V CC
Frecuencia de red admisible	47 ... 63 Hz	47 ... 63 Hz
Consumo de corriente		
<ul style="list-style-type: none"> • 115 V c.a. • 240 V CA • 115 V CC • 240 V CC 	10 ... 40 mA 10 ... 25 mA 5 ... 25 mA 5 ... 15 mA	10 ... 30 mA 10 ... 20 mA 5 ... 15 mA 5 ... 10 mA
Compensación de fallos de tensión		
<ul style="list-style-type: none"> • 115 V CA/CC • 240 V CA/CC 	típ. 10 ms típ. 20 ms	típ. 10 ms típ. 20 ms
Potencia disipada en caso de		
<ul style="list-style-type: none"> • 115 V c.a. • 240 V CA • 115 V CC • 240 V CC 	1,1 ... 4,6 W 2,4 ... 6,0 W 0,5 ... 2,9 W 1,2 ... 3,6 W	1,1 ... 3,5 W 2,4 ... 4,8 W 0,5 ... 1,8 W 1,2 ... 2,4 W
Respaldo del reloj a 25 °C	típ. 80 h	
Precisión del reloj de tiempo real	máx. 2s / día	
Entradas digitales		
Cantidad	8	4
Separación galvánica	no	no

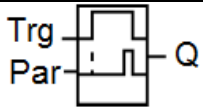
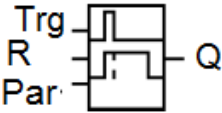
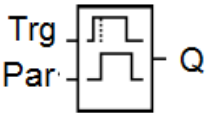
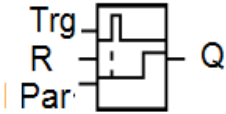
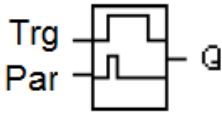
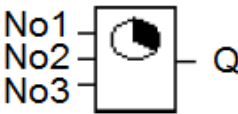
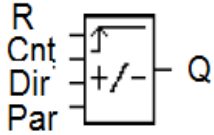
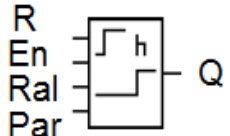
Datos técnicos

	LOGO! 230RC LOGO! 230RC _o	LOGO! DM8 230R
Tensión de entrada L1		
<ul style="list-style-type: none"> • señal 0 • señal 1 • señal 0 • señal 1 	<ul style="list-style-type: none"> <40 V c.a. >79 V c.a. < 30 V CC > 79 V CC 	<ul style="list-style-type: none"> <40 V c.a. >79 V c.a. < 30 V CC > 79 V CC
Intensidad de entrada para		
<ul style="list-style-type: none"> • señal 0 • señal 1 	<ul style="list-style-type: none"> <0,03 mA >0,08 mA 	<ul style="list-style-type: none"> <0,03 mA >0,08 mA
Tiempo de retardo para		
<ul style="list-style-type: none"> • cambio de 0 a 1 • cambio de 1 a 0 	<ul style="list-style-type: none"> tip. 50 ms tip. 50 ms 	<ul style="list-style-type: none"> tip. 50 ms tip. 50 ms
Longitud del conductor (sin blindaje)	100 m	100 m
Salidas digitales		
Cantidad	4	4
Tipo de las salidas	Salidas a relé	Salidas a relé
Separación galvánica	sí	sí
En grupos de	1	1
Activación de una entrada digital	sí	sí
Corriente constante I_{th}	máx. 10 A por relé	máx. 5 A por relé
Carga de lámparas incandescentes (25.000 maniobras) en caso de		
230/240 V CA	1.000 W	1.000 W
115/120 V CA	500 W	500 W
Tubos fluorescentes con dispositivo previo electr. (25.000 histérisis)	10 x 58 W (para 230/240 V c.a.)	10 x 58 W (para 230/240 V c.a.)

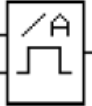



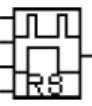

Datos técnicos

	LOGO! 230RC LOGO! 230RC _o	LOGO! DM8 230R
Tubos fluorescentes compensados convencionalmente (25.000 maniobras)	1 x 58 W (para 230/240 V c.a.)	1 x 58 W (para 230/240 V c.a.)
Tubos fluorescentes no compensados (25.000 maniobras)	10 x 58 W (para 230/240 V c.a.)	10 x 58 W (para 230/240 V c.a.)
Resistencia a cortocircuitos cos 1	Contactador potencia B16 600 A	Contactador potencia B16 600 A
Resistencia a cortocircuitos cos 0,5 a 0,7	Contactador potencia B16 900 A	Contactador potencia B16 900 A
Derating	Ninguno; en todo el margen de temperatura	Ninguno; en todo el margen de temperatura
Conexión de las salidas en paralelo para aumentar la potencia	no admisible	no admisible
Protección de un relé de salida (si se desea)	máx. 16 A, característica B16	máx. 16 A, característica B16
Frecuencia de conmutación		
Mecánica	10 Hz	10 Hz
Carga óhmica/carga de lámparas	2 Hz	2 Hz
Carga inductiva	0,5 Hz	0,5 Hz

REPRESENTACIÓN EN EL ESQUEMA.	REPRESENTACIÓN EN LOGO.	EXPLICACIÓN.
		Y (AND).
		OR (OR).
		INVERSOR (NOT).
		Y-NEGADA (NAND).
		O-NEGADO (NOR).
		O-EXCLUSIVA (XOR).

REPRESENTACIÓN EN LOGO.	DESIGNACIÓN DE LA FUNCIÓN ESPECIAL.	REMANENCIA.
Tiempos.		
	Retardo a la conexión	Rem
	Retardo a la desconexión	Rem
	Retardo a la conexión/desconexión	Rem
	Retardo a la conexión con memoria.	Rem
	Relé de barrido (salida de impulsos).	Rem
	Temporizador semanal.	
Contador.		
	Contador avance/retroceso.	Rem
	Contador de horas de funcionamiento.	Rem

Interruptor.

<p>Ax Par</p> 	<p>Conmutador analógico de valor umbral.</p>	
<p>Ax Par</p> 	<p>Interruptor analógico de valor umbral diferencial.</p>	
<p>Ax Ay Par</p> 	<p>Comparador analógico.</p>	
Otros.		
<p>S R Par</p> 	<p>Relé autoenclavador.</p>	<p>Rem</p>
<p>Trg S R Par</p> 	<p>Relé de impulsos.</p>	<p>Rem</p>
<p>En P Par</p> 	<p>Textos de aviso.</p>	

ANEXO M

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE
CONTACTORES LG.**

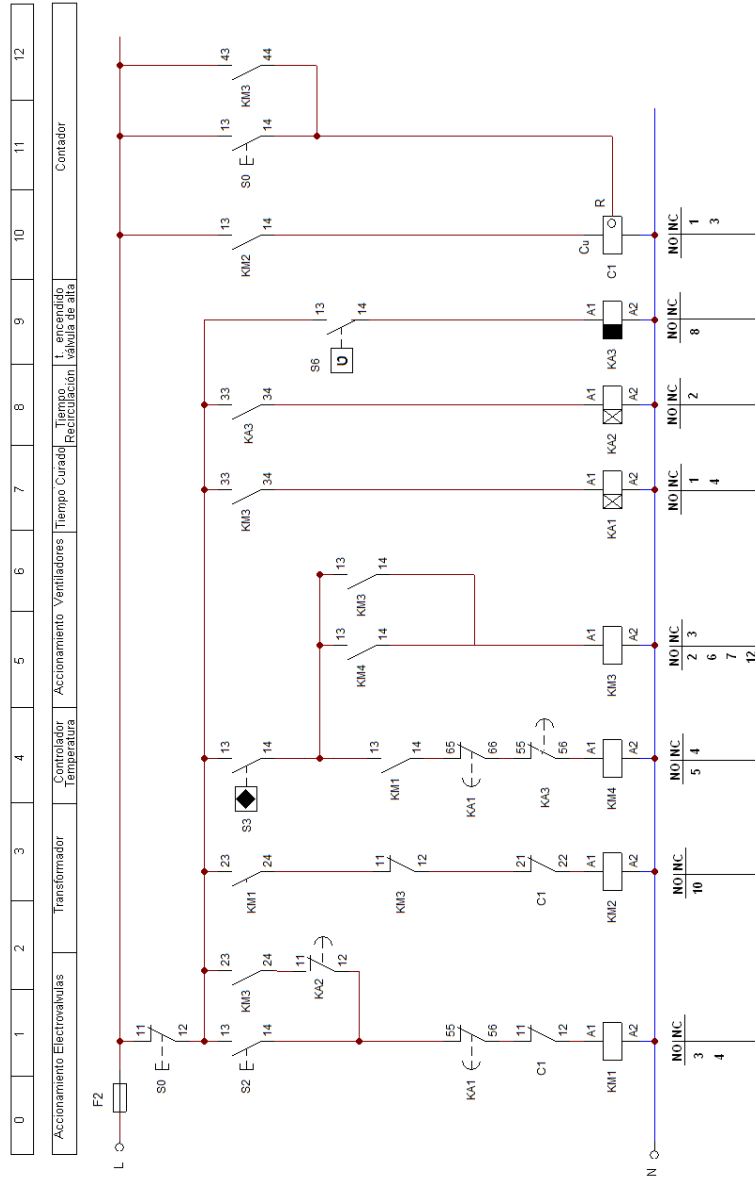
CONTACTORES MAGNÉTICOS

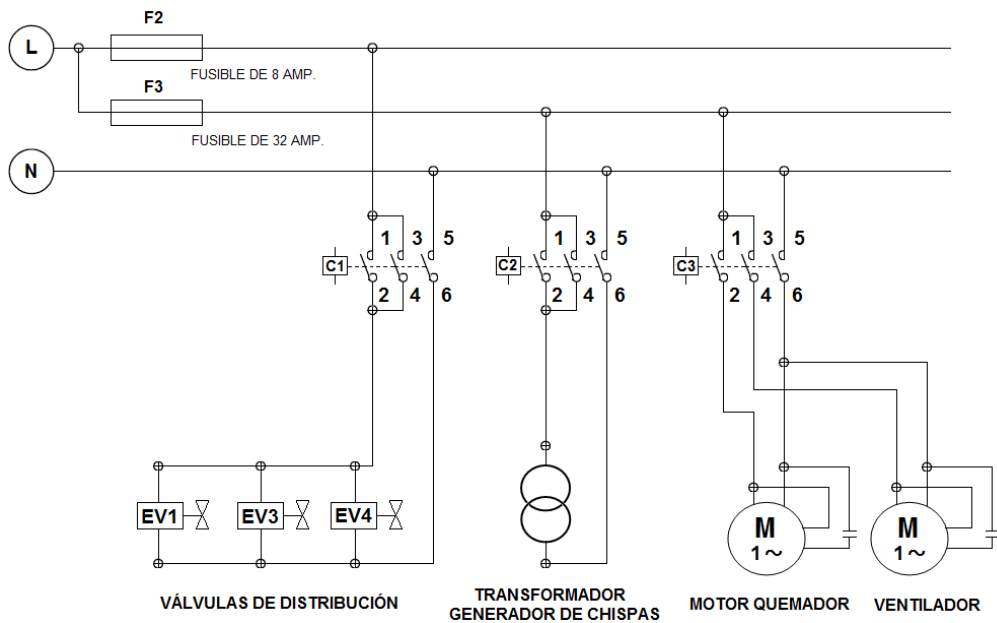
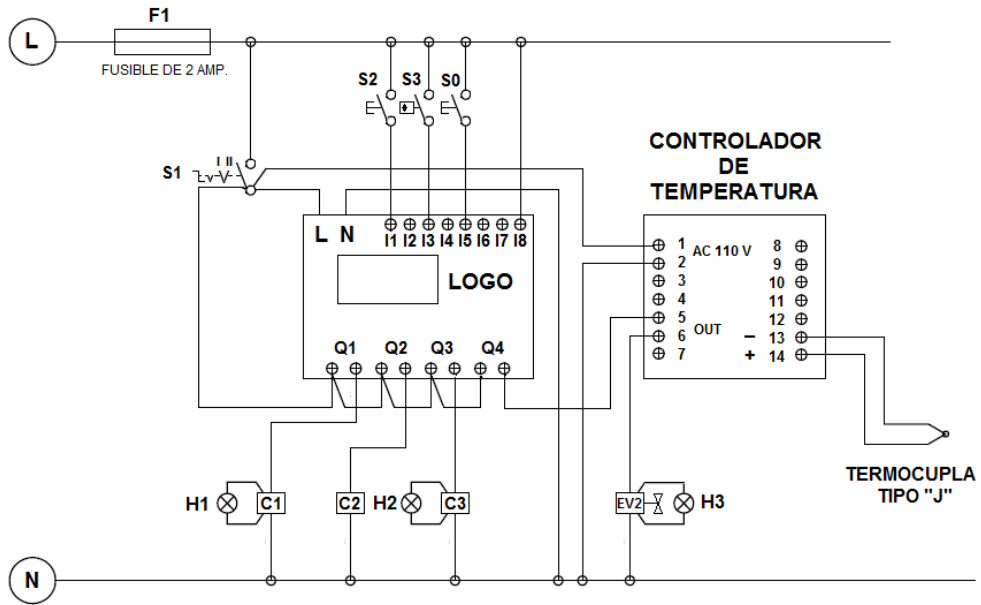


			GMC-9	GMC-12	GMC-18	GMC-22
Valoraciones						
	AC1		20A	20A	25A	32A
IEC-60947	AC3	200 ~ 240V	2.5kW 11A	3,5 kW 13	4.5kW 18A	22A 5.5kW
		380 ~ 440V	4kW 9A	5.5kW 12A	7.5kW 18A	22A 11 kW
		500 ~ 550V	4kW 7A	7.5kW 12A	7,5 kW 13	22A 15 kW
		690	5A 4kW	9A 7,5 kW	9A 7,5 kW	15kW 18A
• Corriente Continua I						
	UL		20A	25A	30A	32A
Motor de corriente alterna monofásica		115	0.5HP	0.5HP	1HP	2HP
		230	1HP	2HP	3HP	3HP
Trifásicos		200V	2HP	3HP	5HP	7HP
		230	2HP	3HP	5HP	7.5hp
		460	5HP	7.5hp	10HP	10HP
		575	7.5hp	10HP	15HP	15HP
Tipo			GMC-9	GMC-12	GMC-18	GMC-22
Bobina de corriente						
		AC 220V, 50Hz	36mA	36mA	36mA	36mA
		AC 110V, 50Hz	73mA	73mA	73mA	73mA
Tiempo de funcionamiento						
Cierre		AC 220V, 60Hz	10 ~ 17ms	10 ~ 17ms	10 ~ 17ms	10 ~ 17ms
		AC 110V, 60Hz	11 ~ 18ms	11 ~ 18ms	11 ~ 18ms	11 ~ 18ms
Apertura		AC 220V, 60Hz	6 ~ 9 ms	6 ~ 9 ms	6 ~ 9 ms	6 ~ 9 ms
		AC 110V, 60Hz	6 ~ 9 ms	6 ~ 9 ms	6 ~ 9 ms	6 ~ 9 ms

ANEXO N

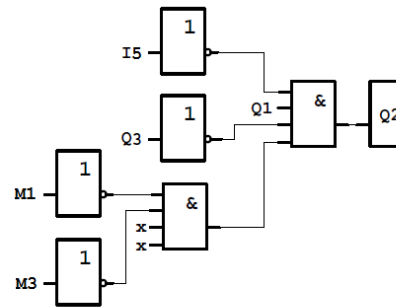
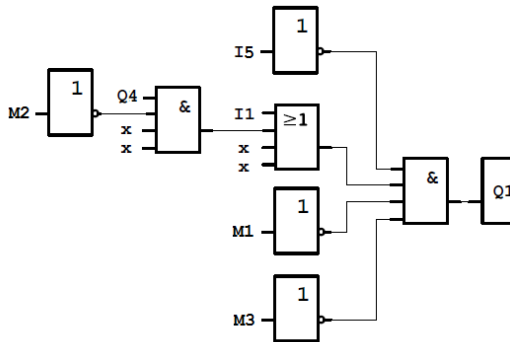
**DIAGRAMACIÓN ELÉCTRICA Y SISTEMA DE
ALIMENTACIÓN GLP.**





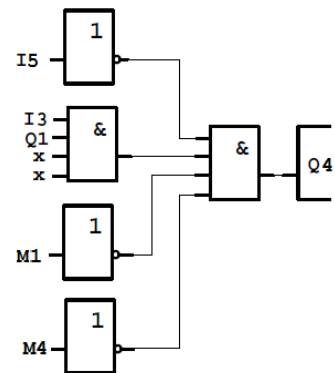
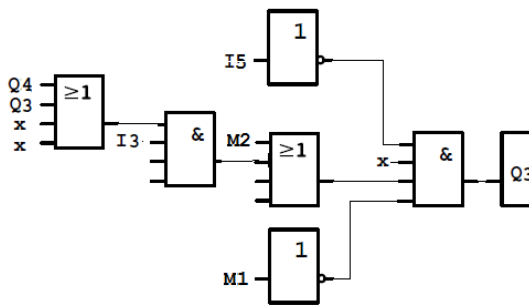
$$Q1 = \bar{I5} \cdot (I1 + Q4 \cdot \bar{M2}) \cdot \bar{M3} \cdot \bar{M1}$$

$$Q2 = \bar{I5} \cdot Q1 \cdot \bar{Q3} \cdot \bar{M1}$$



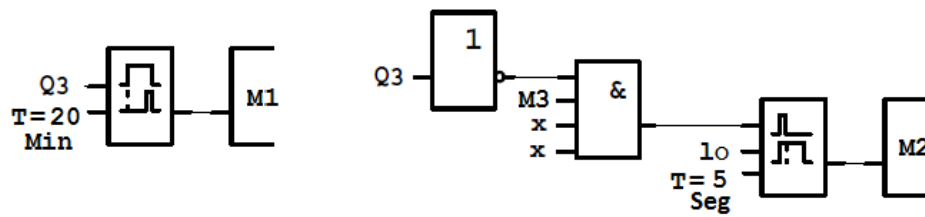
$$Q3 = \bar{I5} \cdot [I3 \cdot (Q3 + Q4) + M2] \cdot \bar{M1}$$

$$Q4 = \bar{I5} \cdot I3 \cdot \bar{Q1} \cdot \bar{M1} \cdot \bar{M4}$$



$$M1 = Q3$$

$$M2 = \overline{Q3} \cdot M3$$

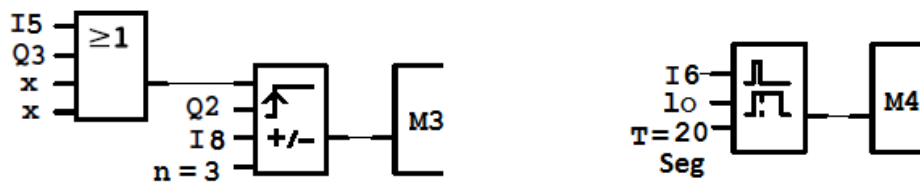


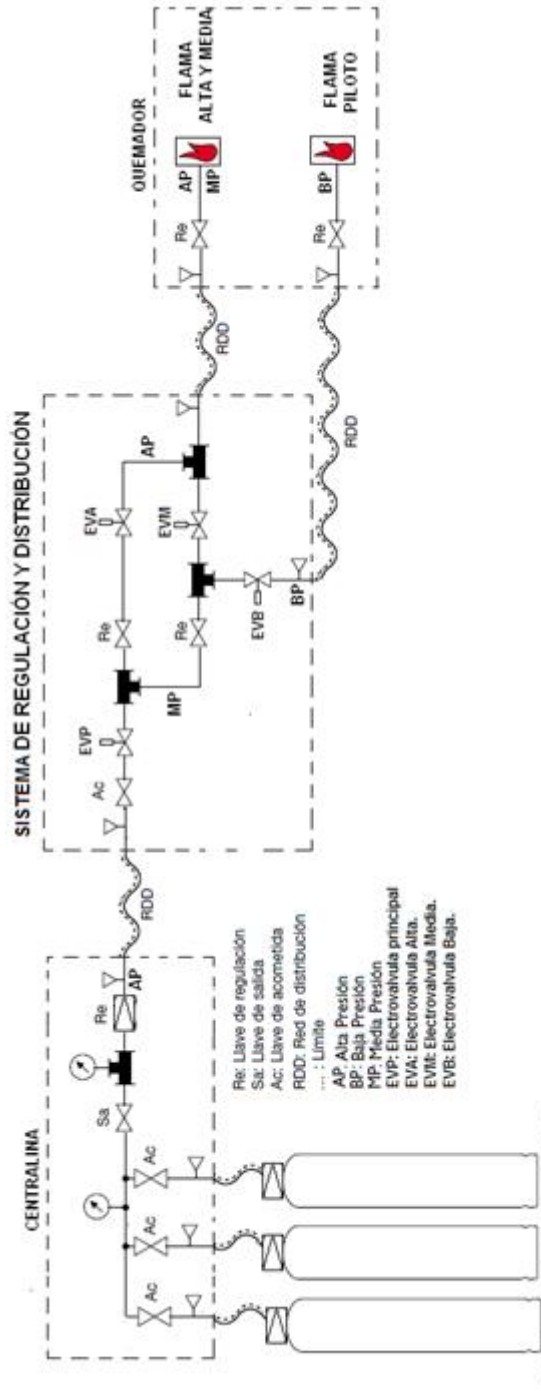
$$M3: \text{Cnt} = Q2$$

$$M4 = I6$$

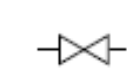
$$R = I5 + Q3$$

$$DIR = I8$$





Cilindros Industriales de GLP



llave Manual



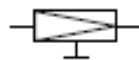
Electromagnética



Toma de presión



Filtro



regulador de presión
ajustable



Manómetro



Te



Punto de
derivación en
"T"



Tubo flexible
metálico con
unión mecánica



Otros aparatos
a gas



Botella industrial de propano
con regulador y tubo flexible

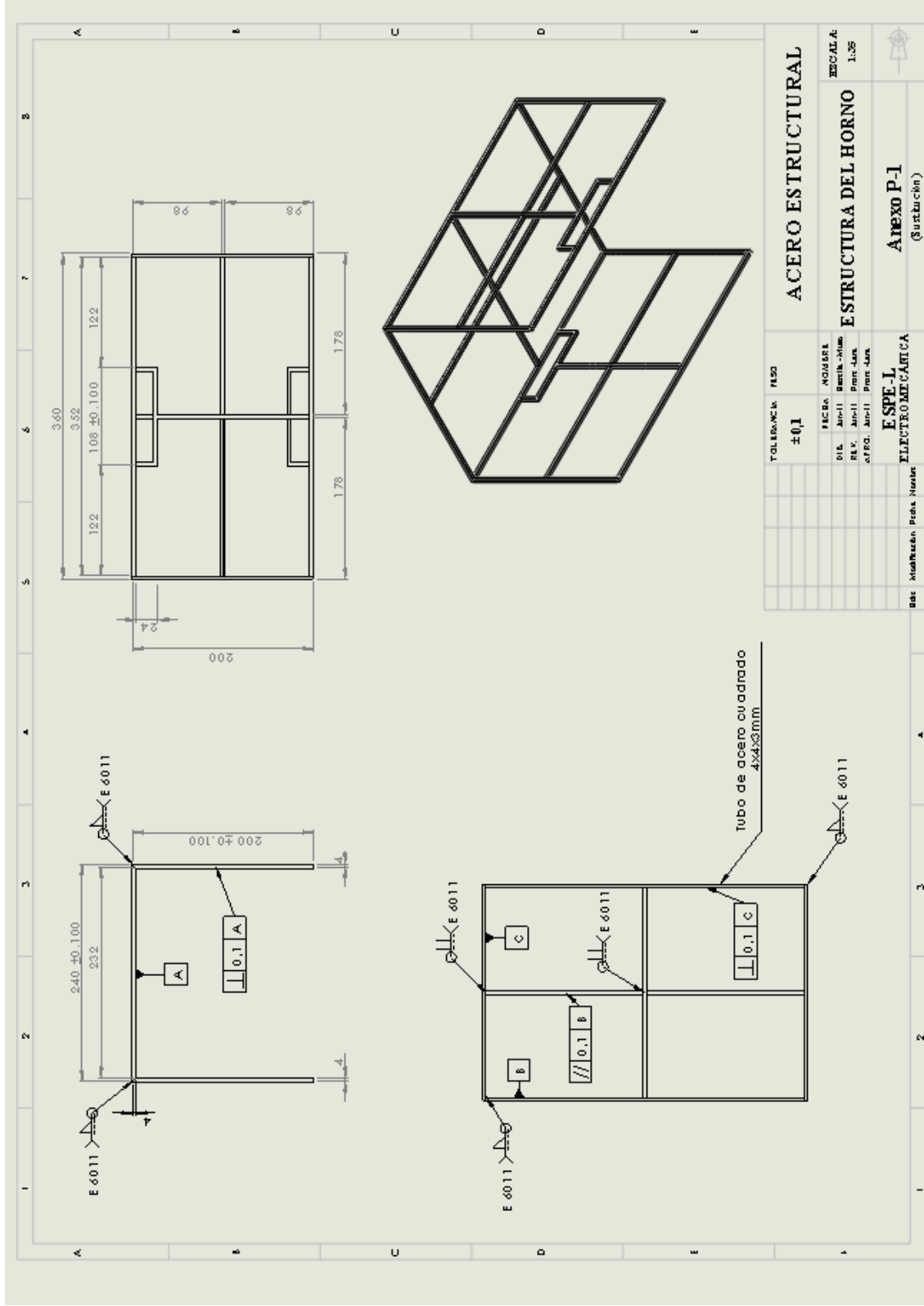
ANEXO O

SOLDADURA.

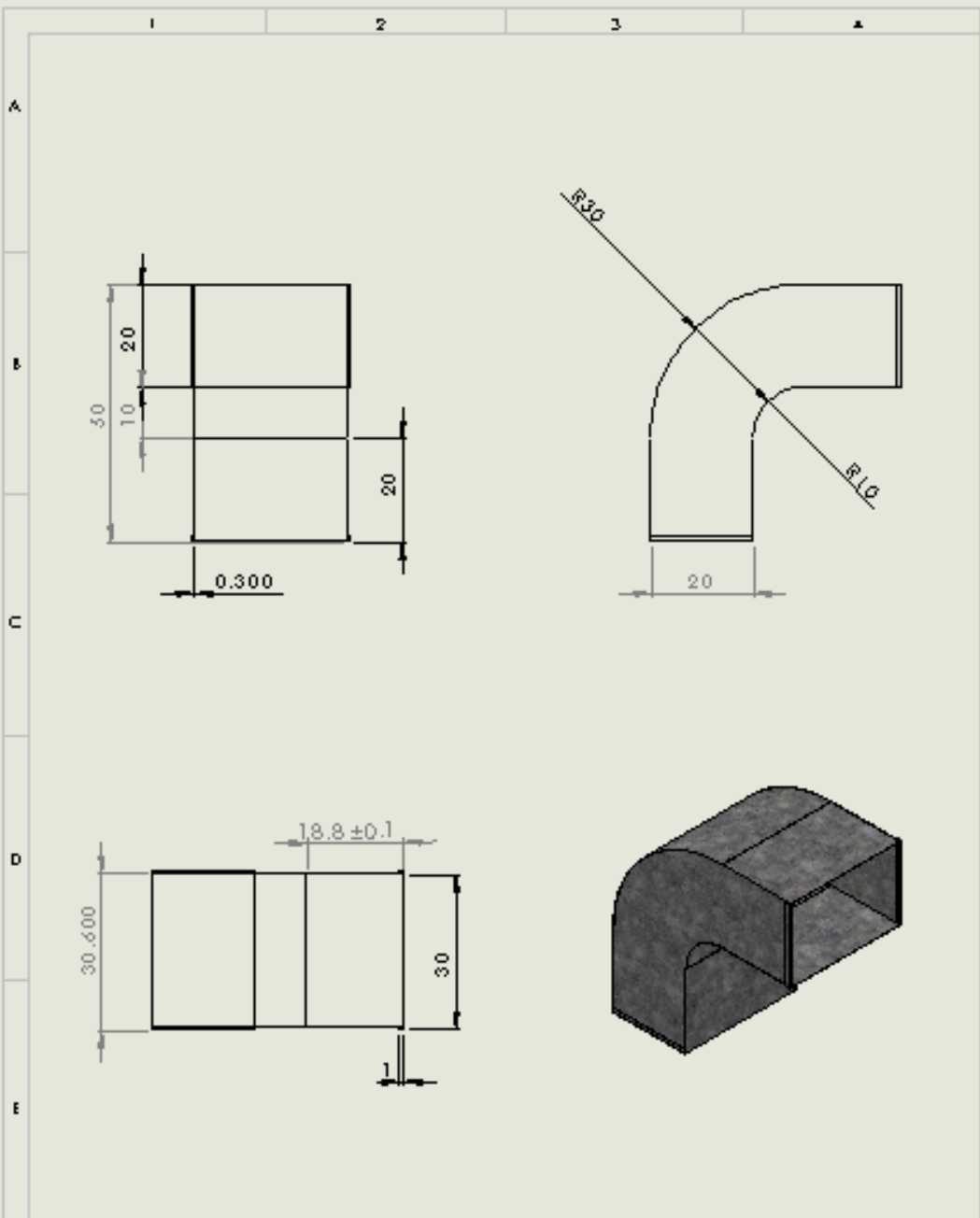
Anexo O		ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					Pág. 1 de 1	
				Diseño de la junta				
Nombre de la compañía				ESPE-L				
WPS N°				MBA 001				
Proceso de soldadura				SMAW-MANUAL				
Según norma				AWS D1.1				
Junta Utilizada	Tipo de junta		UNIÓN A ESCUADRA		Posición	Tope 2F		
	Tipo de soldadura		DOBLE FILETE			Califica horizontal y vertical.		
	Cordón de respaldo		si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>					
	Preparar junta		si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>					
	Método		Amolado		Característica eléctrica	Corriente:		
	Angulo de ranura		0°			CA <input checked="" type="checkbox"/> DC+ <input type="checkbox"/>		
	Cara de la raíz		0 mm			DC- <input type="checkbox"/>		
	Abertura de la raíz		±0,1 mm					
Limpieza		Limpiar las superficies antes de soldar						
Metal Base	Especificación		ASTM A36		Técnica de soldadura	Técnica		
	Califica		Acero			un pase <input checked="" type="checkbox"/>		
	Espesor		4 mm			varios pases <input type="checkbox"/>		
Califica		Desde 3,2 a 12 mm		Oscilación				
Electrodo	Diámetro		3,2 mm		si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>		Limpieza entre Pases	
	Clasificación AWS		E 6011		No		Otros pases: No	
	Especificación		AWS A5,1		Soldadura		Un lado <input type="checkbox"/>	
	Casa Comercial		AGA		Dos lados <input checked="" type="checkbox"/>			
Aplicación de Soldadura de Estructuras.				Precalent.	Temperatura		N/A	
					Temperatura entre Pases		N/A	
N° de pase	Metal de aporte			Tensión de trabajo			(Velocidad de avance m/min)	
	Denominación AWS	Denominación Comercial	Diámetro (mm)	PoI	Voltaje (v)	Amperaje (A)		
1	E 6011	INFRA 11	3,2 mm	AC	110-220	105	0,05 – 0,1	
NOTAS:								
<ul style="list-style-type: none"> • Verificar alineación de la junta. • Asegurar la limpieza de las partes. 								
REALIZADO POR: Estrella Ricardo Musu Darwin FECHA: 05/07/2011				APROBADO POR: Ing. Fausto Acuña DEPARTAMENTO DE SOLDADURA ESPE-L FECHA: 05/07/2011				

ANEXO P

PLANOS

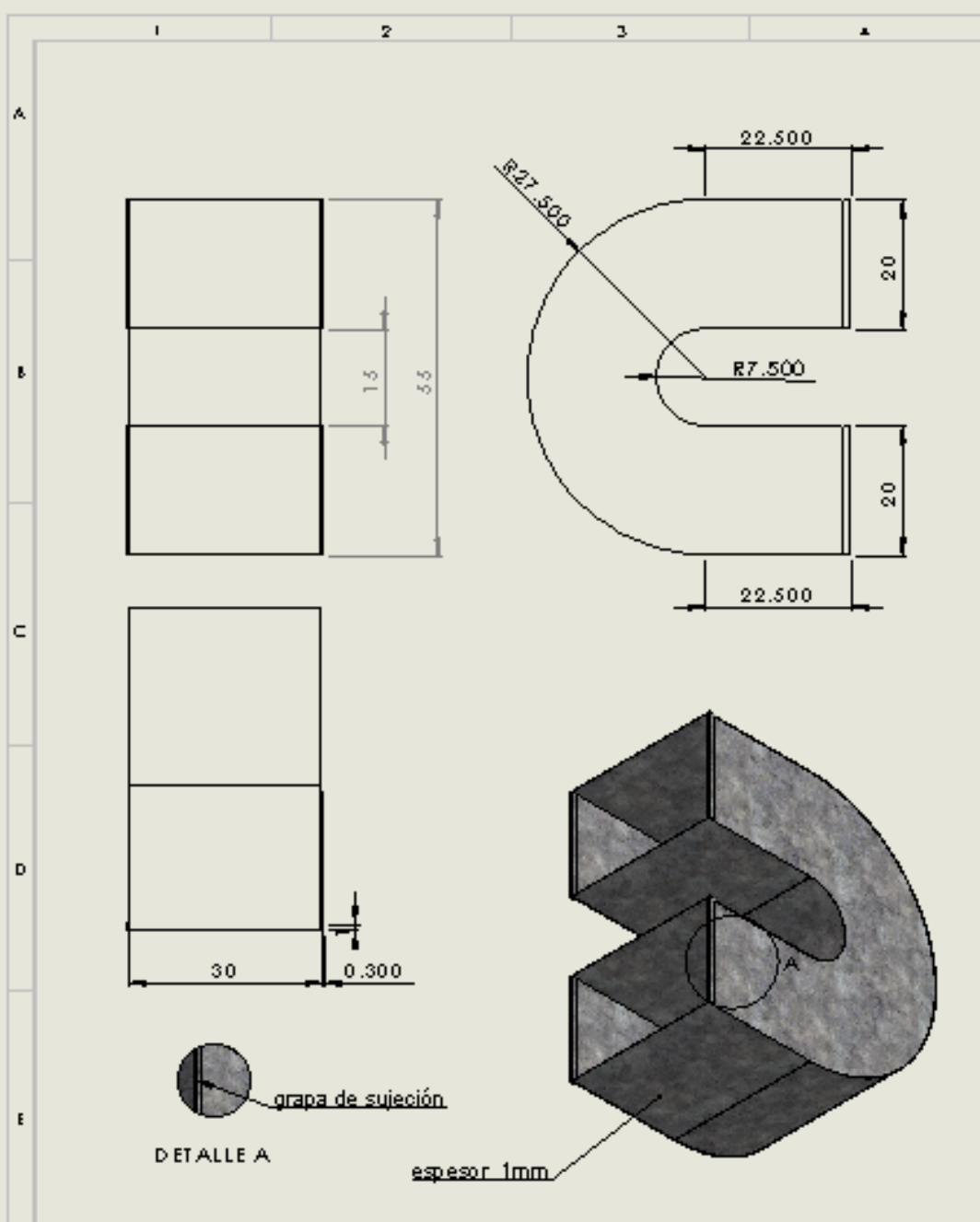


ACERO ESTRUCTURAL		Escala: 1:35	
ESTRUCTURA DEL HORNO		Anexo P-1 (Sustitución)	
E.SPE-I ELECTROMECÁNICA		ELECTROMECÁNICA	
TOLERANCIA: $\pm 0,1$		Bar: Modificación Proba: Nueva	
FECHA: NOMINAR		DISEÑO: Abril 2011	
DIA: Abril 2011		REVISIÓN: Abril 2011	
DIA: Abril 2011		REVISIÓN: Abril 2011	
DIA: Abril 2011		REVISIÓN: Abril 2011	



				TOLERANCIA	FMSO	ACERO GALVANIZADO		
				± 0.1				
				F.E.C. No.	NO. DE R.E.	CODO 90°	RE CAL A: 1:10	
				DIB.	Jun-11			Bardis-Mano
				R.E.V.	Jun-11			Princ - Luis
				A.F.R.O.	Jun-11	Princ - Luis		
				ESPE-L ELECTROMECAICA		Anexo P-3		
								(Continúa)
Revisión	Modificación	Fecha	Nombre					





				TOLERANCIA	FMSO
				±0.1	
				FECHA	NOMBRE
			DISE.	Jun-11	Bardis-Akmo
			REV.	Jun-11	Petric - Lars
			o. PRO.	Jun-11	Petric - Lars
			ESPE-L		
			ELECTROMECÁNICA		
Idic	Modificación	Fecha	Nombre		

ACERO GALVANIZADO

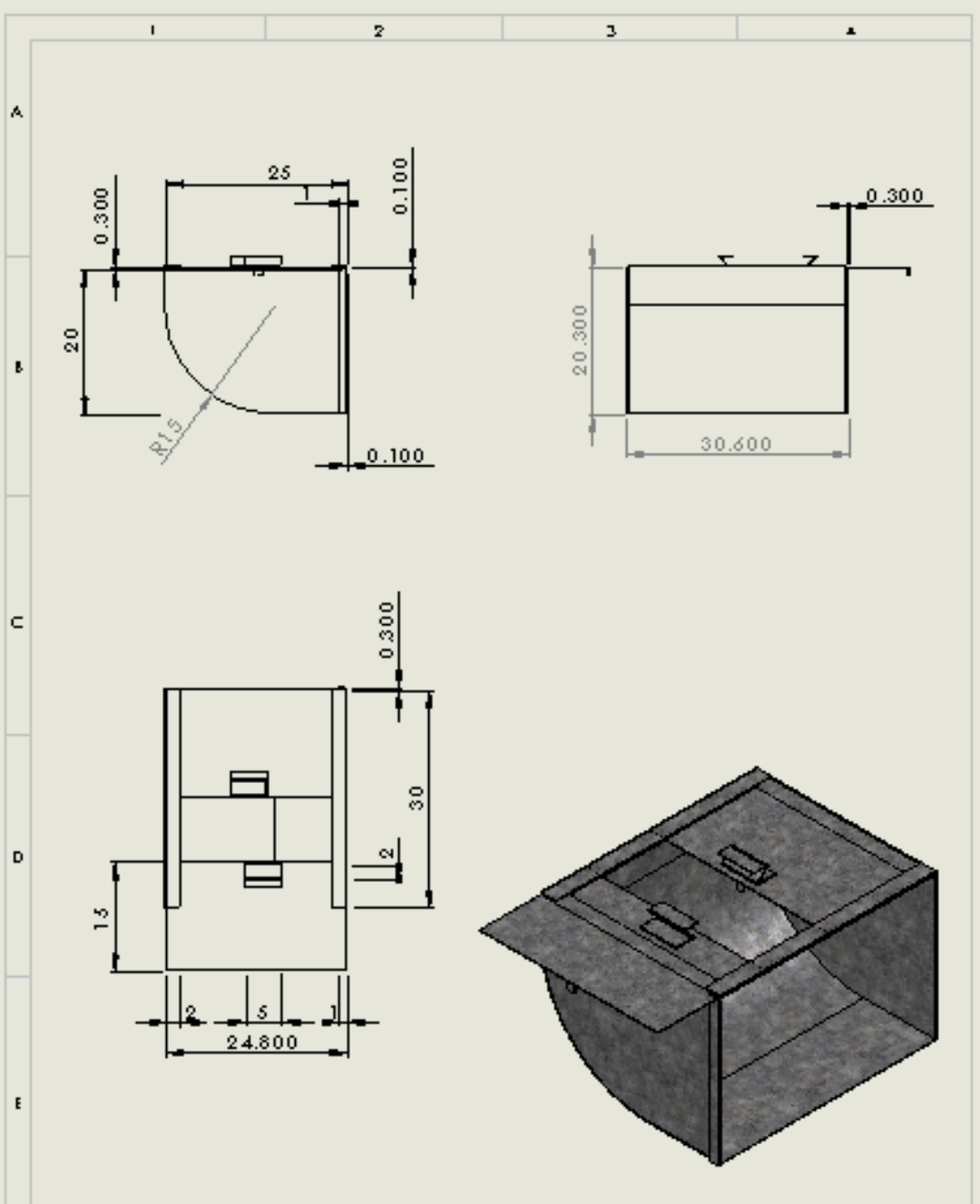
CODO 180°

Anexo P-4

ESCALA:
1:5



(Soldadura)



TOLERANCIA		F 150	
± 0.1			
F.C. No.		NOMBRE	
DIB.	Jun-11	Bardila-Akso	
REV.	Jun-11	Perez - Lara	
a. F. RD.	Jun-11	Perez - Lara	
ESPE-L			
ELECTROMECAICA			
Dir.	Modificación	Fecha	Nombre

ACERO GALVANIZADO

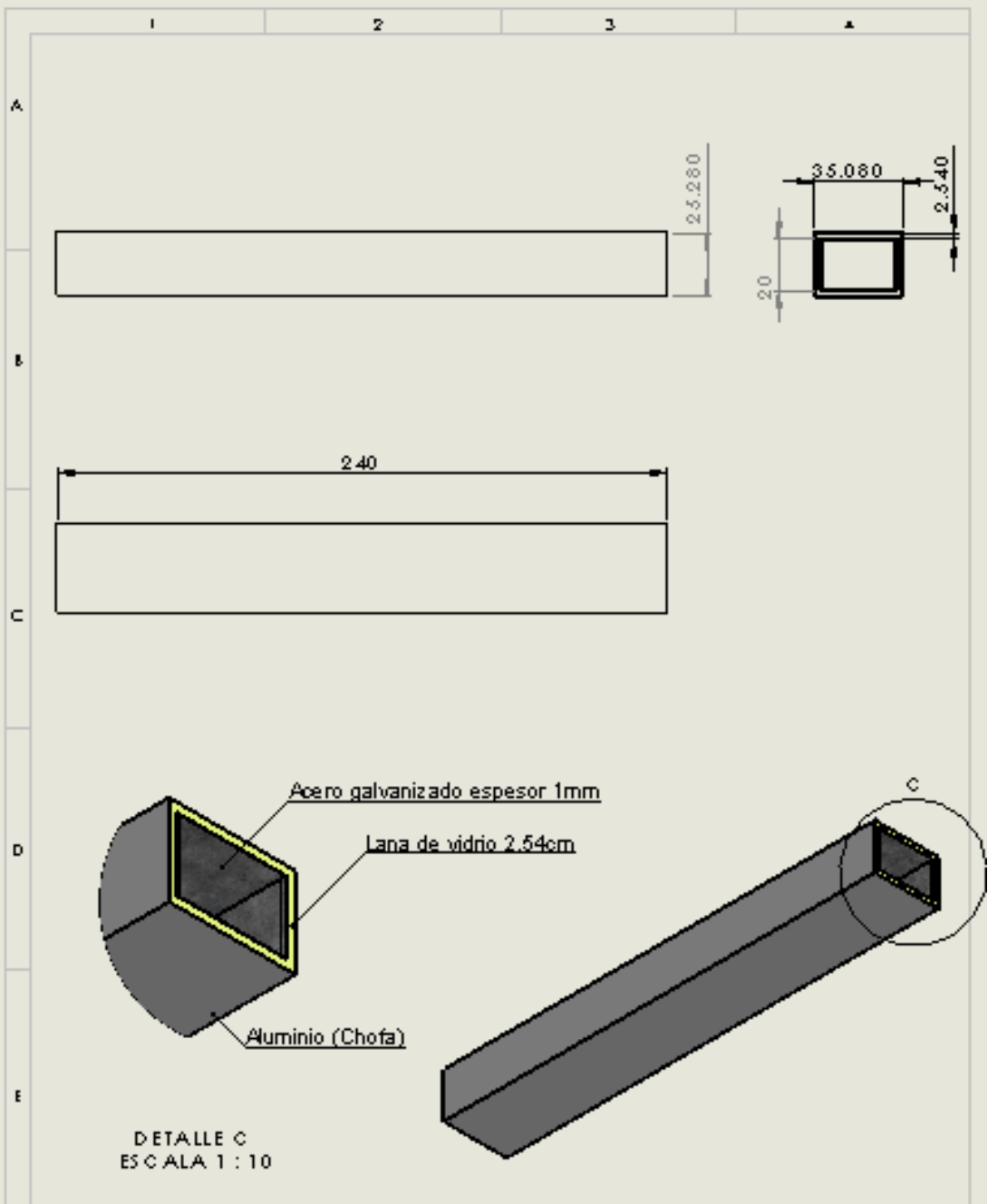
DAMPER

ESCALA:
1:7

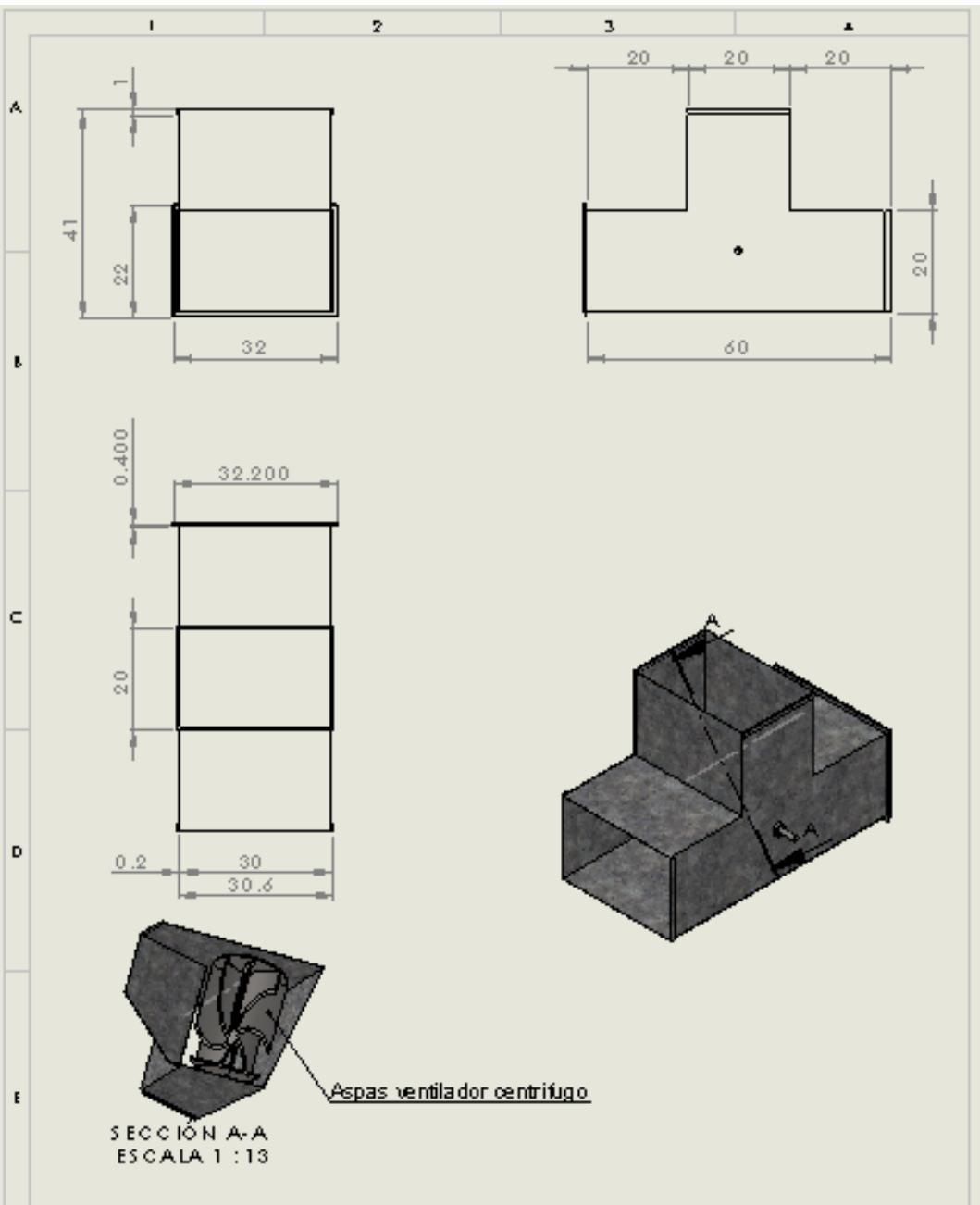
Anexo P-5



(Continúa)

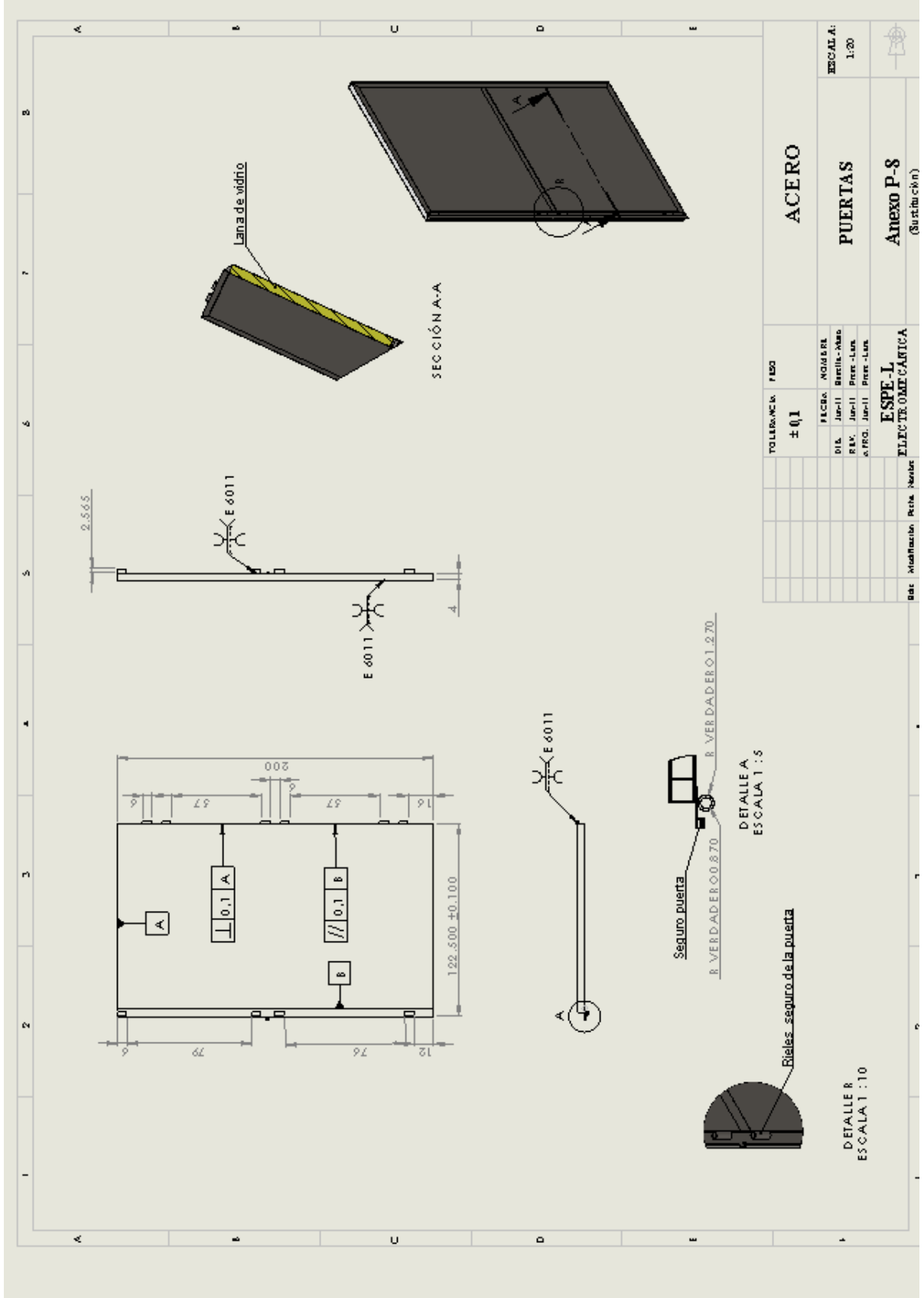


				TOLERANCIA	FMSO	ACERO GALVANIZADO		
				± 0,1				
					FEC No.	NO/MS/RL	DUCTO PRINCIPAL	
				DIB.	Jun-11	Bardila-Atano		
				REV.	Jun-11	Princ - Lars		
				a. PRO.	Jun-11	Princ - Lars		
				ESPE-L			Anexo P-6	
				ELECTROMECAICA				
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre					ESCALA: 1:20
								(Sustitución)



				TOLERANCIA	F50	ACERO GALVANIZADO		
				± 0,1				
				RECIBO	NUMERO	DUCTO T		
				DIB.	Jun-11			Bardis-Mazo
				REV.	Jun-11			Perez - Lara
				A.F.R.O.	Jun-11	Perez - Lara	ESCALA: 1:10	
				ESPE-L		Anexo P-7		
				ELECTROMECAICA				
Idi	Modificación	Fecha	Nombre					

(Sustituido)

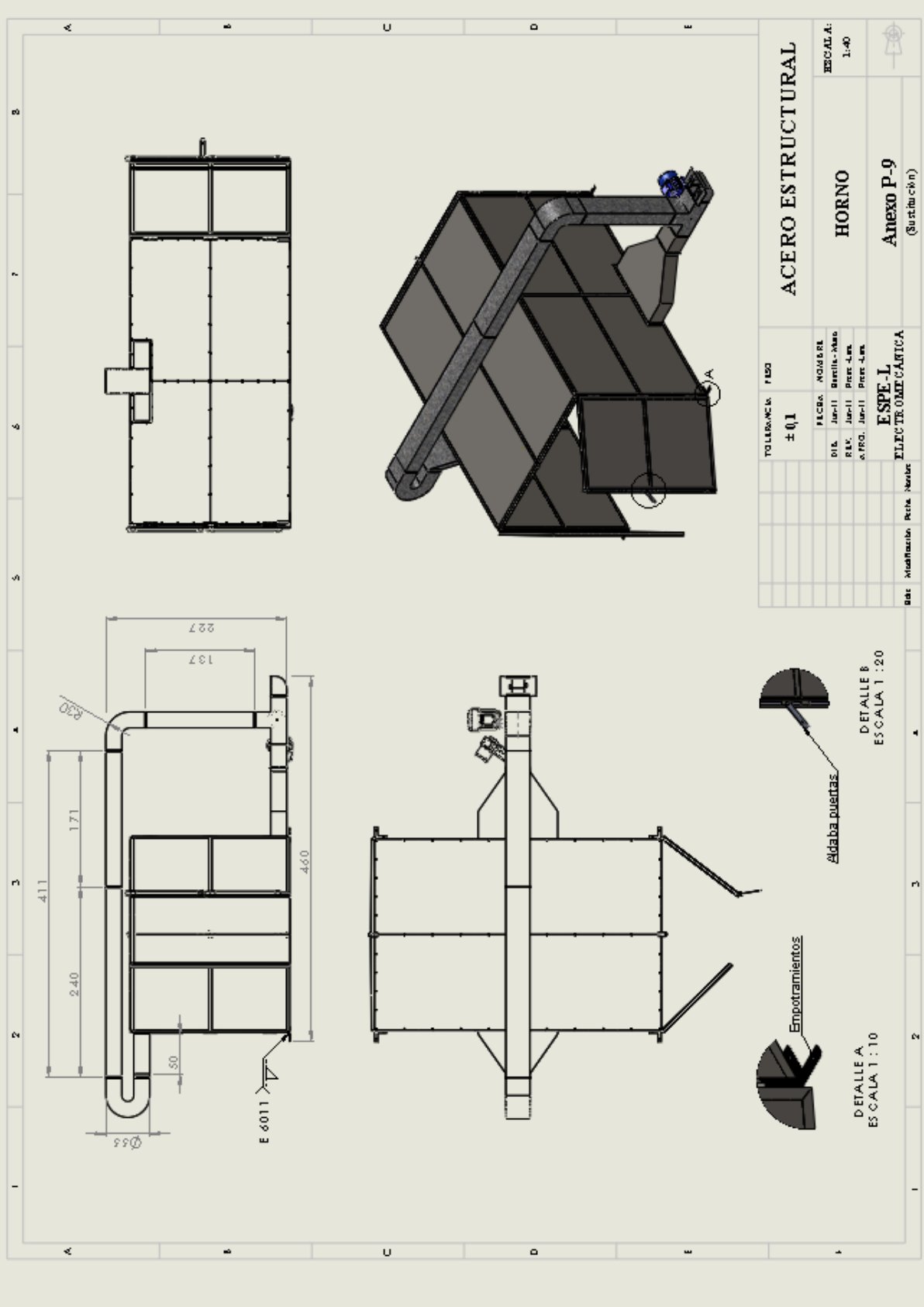


TOLERANCIAS: F80		ACERO	
± 0,1		PUERTAS	
FECHA: NOVIEMBRE	DISEÑO: Jardi	REVISIÓN: Jardi	ESCALA: 1:20
	PROYECTO: Jardi		
ELECTROMECÁNICA		Anexo P-8	
ELECTROMECÁNICA		(Sustitución)	

DETALLE B
ESCALA 1:10

DETALLE A
ESCALA 1:5

Bot. Modificación Rev. Nombre



ACERO ESTRUCTURAL		ESCALA: 1:40
TOLERANCIA: ± 0.1	FECHA: 06/08/2011 DIA: 06/11/2011 PROY. 06/11/2011	HORNO
	PROYECTADO POR: [Signature] REVISADO POR: [Signature]	Anexo P-9 (Substitución)
	ESPEL: 1 ELECTROMECÁNICA:	
DATE:	Modificación:	

DETALLE A
ESCALA 1 : 10

DETALLE B
ESCALA 1 : 20

Empotramientos

Aldaba puertas

ANEXO Q

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

A continuación se indican todos los parámetros que se tienen que tomar en cuenta antes y durante la operación del horno de pintura.

A. OPERACIÓN DEL HORNO

Para que el horno funcione de manera adecuada, se tienen que seguir las siguientes instrucciones en el orden indicado a continuación:

1. Cargar el horno con las piezas cubiertas con la pintura en polvo, tomando la precaución tener una separación de al menos 5 cm entre ellas con el fin de permitir la circulación de aire entre ellas.
2. Cerrar las puertas del horno y asegurarlas adecuadamente.
3. Verificar que el nivel y la presión de los cilindros de GLP, por recomendación se debe utilizar únicamente el 50% del volumen del cilindro.
4. Verificar que todas las válvulas de paso del GLP se encuentren abiertas.
5. Verificar que la posición del Dámper de Aire ubicado en el ventilador se encuentre completamente abierto.
6. Energizar los elementos de control (LOGO y CONTROLADOR DE TEMPERATURA), colocando el selector a la posición ON que se encuentra en el tablero de control.
7. Revisar la temperatura de trabajo, la cual tiene que ser fijada según el tipo y color de pintura, ver Tabla 1.

Tabla 1: Temperatura de Curado en función del tipo de pintura.

TIPO DE PINTURA					
EPÓXI		POLIÉSTER		HIBRIDO (Epóxi + Poliéster)	
Temperatura de curado (°C)	Tiempo de curado (minutos)	Temperatura de curado (°C)	Tiempo de curado (minutos)	Temperatura de curado (°C)	Tiempo de curado (minutos)
200	10	200	15	200	10
180	15	180	20	180	15

8. Revisar el tiempos de curado en el LOGO. Remitirse al literal B (Operación del LOGO).

Cuando las piezas permanecen un excesivo tiempo en el horno puede ocurrir un cambio de color, disminución de brillo y manchado especialmente en colores claros.

La duración del horneado depende del espesor de la pieza metálica, ver la Tabla 2.

Tabla 2: Duración de horneado de chapas de acero.

Material.	Espesor (mm)	Duración del curado (minutos)
Chapas y aceros.	1.5	17
Aceros.	5	30
Trozos mayores de Acero.	30	60

9. Arrancar el funcionamiento del horno pulsando el botón de encendido.
10. Verificar que después de arrancar el horno se encienda el quemador. Si existen problemas con el quemador remitirse al literal C (Operación del Quemador).
11. Observar que se prendan las lámparas de color verde (Válvula de Baja), roja (Válvula de Alta) y tomate (Motor eléctrico del ventilador).
12. Esperar a que termine el ciclo de curado de la carga.
13. Abrir las puertas del horno y revisar la calidad de la pintura de la carga.

B. OPERACIÓN DEL PLC.

El PLC está programado para controlar principalmente los tiempos de calentamiento y enfriamiento del ciclo de curado. A continuación se muestra cómo se tienen que programar dichos tiempos en el LOGO. Para que se pueda entender de una mejor manera la programación del LOGO, se indica una figura con las teclas y la configuración del LOGO, ver Figura 1.



Figura 1: PLC SIEMENS LOGO 230 RC.

A continuación se indica los pasos para cambiar los parámetros en la programación del LOGO:

1. Presione el botón (**ESC**) de color verde para ingresar al menú de programación.
2. Con las flechas ▼ o ▲ se ubica en la opción **PARAMETRIZAR** y presionar **OK**.
3. Presionar el botón ▼ o ▲ para cambiar las variables de la programación hasta que se ubique en la variable **B17**, la cual controla el tiempo de calentamiento del horno y presione **OK**.

4. Luego mueva el cursor hasta el punto donde desea realizar la modificación con las teclas ◀ o ▶ para variar el tiempo de calentamiento que se encuentra en minutos y segundos.
5. Modifique el valor en ese lugar con las teclas ▼ o ▲ para disminuir o aumentar el tiempo respectivamente.
6. Si el tiempo de curado se encuentra fijado, presione **OK** dos veces y verifique que el LOGO se encuentre en su pantalla inicial.

Nota: Para realizar cualquier cambio en la programación del LOGO, la misma debe ser ejecutada por una persona calificada y con los conocimientos adecuados para realizar dicha operación.

A continuación se indica los pasos para programar el LOGO empleando la pantalla de programación:

1. Presione el botón (**ESC**) de color verde para ingresar al menú de programación.
2. Con las flechas ▼ o ▲ se ubica en la opción **EDITAR PROGRAMA** y presionar **OK**.
3. Introducir la Clave respectiva para acceder al menú de programación.

CLAVE: ILNESPE

C. OPERACIÓN DEL QUEMADOR.

En el caso de producirse errores en el quemador se tienen que revisar los parámetros:

Si el quemador no se enciende:

1. Revise los fusibles del tablero de control y verifique el breaker.
2. Observe el botón de RESET del quemador que se encuentra en la parte posterior, si esta accionado continúe con los siguientes pasos.
3. Apague el sistema.
4. Mantenga aplastado el botón de RESET aproximadamente un minuto.
5. Suelte el botón y espere a que se encienda el quemador.
6. Vuelva a energizar el sistema.
7. Si el motor del quemador se enciende, pero este no genera llama, revisar el siguiente paso, caso contrario el quemador debe funcionar correctamente.
8. Revise si el Fusible del transformador de ignición.
9. Apague el sistema y vuelva a encender verificando que se encienda el quemador de forma apropiada. Caso contrario puede existir un daño en el sistema de encendido del quemador, problema que tiene que ser solucionado por el técnico.

MANTENIMIENTO DEL HORNO.

El mantenimiento de cualquier equipo incluye normalmente limpieza, lubricación, ajuste, reparación y seguridad. También hay que recordar que el mantenimiento se encuentra estrechamente relacionado con la constante vigilancia de los equipos, la calidad del producto, la productividad y el control de la contaminación.

Con el fin de mantener el funcionamiento del horno de forma óptima se ha desarrollado un plan de mantenimiento del horno. A continuación se indican los planes de mantenimiento preventivo y correctivo del horno.

A. MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL HORNO.

El mantenimiento preventivo tiene que ser realizado por los operadores del horno. Este tipo de mantenimiento consta básicamente de:

- Limpieza.
- Lubricación de bisagras y;
- Revisión de los diferentes sistemas y partes que se encuentran relacionados con el horno.

En el caso de existir cualquier anomalía, el operario debe comunicar al técnico de planta.

B. MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN.

En la Tabla 3 se muestra las acciones y el periodo que se debe llevar a cabo en el mantenimiento de la cámara de combustión.

Tabla 3. Mantenimiento preventivo de la cámara de combustión.

ELEMENTO	ACCIONES	PERIODO
Cámara de Combustión	Revisar el estado del material de la cámara de combustión, sobre todo en las soldaduras.	Semanal
	Limpiar el hollín que se genera como producto de la combustión.	
	Verificar los aislamientos térmicos ubicados entre la cámara y la cabina de curado.	
Corta fuegos y Deflectores	Revisar el estado de los deflectores y verificar fisuras.	Semanal
	Limpiar el hollín y las impurezas impregnadas en El corta fuegos y deflectores, ya que estos contaminan el curado.	

C. MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL VENTILADOR.

En la Tabla 4 se muestra las acciones y el periodo que se debe llevar a cabo en el mantenimiento del ventilador de circulación.

Tabla 4. Mantenimiento preventivo del ventilador.

ELEMENTO	ACCIONES	PERIODO
Impulsores	Limpiar los álabes impulsores y verificar roturas.	Diaria
	Verificar que no se produzcan ruidos ni vibraciones excesivas.	
Motor	Verificar que no se produzcan ruidos ni vibraciones excesivas.	Diaria
	Verificar que la temperatura de operación no sea excesiva.	
Chumaceras	Limpiar y verificar roturas.	Semanal
	Lubricar adecuadamente.	
	Verificar que no se produzcan ruidos ni vibraciones excesivas	
Bandas	Limpiar y verificar fisuras.	Mensual
	Verificar que su desgaste no sea anormal.	

D. MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL QUEMADOR.

En la Tabla 5 se muestra las acciones y el periodo que se debe llevar a cabo en el mantenimiento del quemador.

Tabla 5. Mantenimiento preventivo del quemador.

ELEMENTO	ACCIONES	PERIODO
Motor	Verificar que no se produzcan ruidos excesivos.	Diaria
	Verificar que la temperatura de operación no sea excesiva.	
Electrodos	Limpiar el hollín impregnados en los electrodos.	Anual
	Verificar el estado y la separación entre electrodos.	
Transformador de ignición	Verificar su estado y observar si produce el arco eléctrico.	Anual
Todo el sistema	Revisar la calidad de los gases de combustión.	Diaria

**E. MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL SISTEMA DE
SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE.**

En la Tabla 6 se muestra las acciones y el periodo que se debe llevar a cabo en el mantenimiento del sistema de suministro de combustible.

Tabla 6. Mantenimiento preventivo del sistema de suministro de combustible.

ELEMENTO	ACCIONES	PERIODO
Cilindros de Combustible	Revisar que la presión se encuentre sobre los 30 psi en funcionamiento.	Diaría
	Verificar que no existan fugas en las válvulas de alimentación.	
Tubería y Válvulas	Verificar la existencia de fugas en las uniones de la tubería y en sus accesorios.	Diaría
Centralina	Verificar la existencia de fugas en las uniones de los cilindros y en sus accesorios.	Diaría

F. MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA CABINA DE CURADO.

En la Tabla 7 se muestra las acciones y el periodo que se debe llevar a cabo en el mantenimiento de la cabina de curado.

Tabla 7 Mantenimiento preventivo de la cabina de curado.

ELEMENTO	ACCIONES	PERIODO
Piso	Limpiar el piso de la cabina.	Diaria
	Remover todos los elementos o partículas que puedan ingresar por la rejilla de deflexión, estas pueden afectar la calidad del curado.	
Paredes laterales y techo	Verificar el estado de las paredes y techo del horno.	Anual
	Revisar el estado de las soldaduras y la corrosión de las láminas de acero.	

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo normalmente es aplicado cuando un elemento de máquina tiene que ser reparado de forma planificada o de forma imprevista.

El mantenimiento correctivo tiene que ser ejecutado por un técnico o especialista de la planta que esté capacitado para ejecutar esta acción.

A continuación se presenta una matriz de mantenimiento correctivo donde se indican las posibles causas y las acciones a tomar para dichos casos.

Tabla 8. Matriz de mantenimiento correctivo.

ELEMENTO	CAUSA	ACCIÓN
QUEMADOR	Mala calidad de la combustión o contra explosiones.	Revisar la boquilla y de ser necesario cambio de boquilla.
	Consumo excesivo de gas.	Calibrar el quemador, y obtener una relación aire-combustible adecuada para la temperatura requerida para el proceso.
	El quemador no enciende.	Verificar la relación aire-combustible no sea erróneo.

ELEMENTO	CAUSA	ACCIÓN
QUEMADOR	El quemador no enciende.	Verificar el estado y la correcta ubicación del electrodo de ignición, de ser el caso reemplazar el electrodo.
		Verificar que no exista aire en las líneas de gas, caso contrario purgar las líneas de gas.
		Presión fuera de rango, revisar suministro.
SISTEMA DE SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE	Fugas en Uniones	Reemplazar el teflón de las uniones, caso contrario reemplazar la unión.
	Fugas en Tuberías	Cambiar el tramo de tubería.
	Fugas en Válvulas	Reemplazar las válvulas dañadas.

ELEMENTO	CAUSA	ACCIÓN
VENTILADOR	Ruido excesivo en el ventilador.	Balanceo del ventilador.
		Rotura de chumaceras, reemplazar las mismas.
MOTOR ELÉCTRICO	Recalentamiento	Cambiar los rodamientos.
CABINA DE CURADO.	Cámara de combustión humeando o a muy alta temperatura.	Se debe a un flujo de aire pobre dentro de la cámara de combustión, Templar la banda del ventilador
		Abrir las compuertas del ventilador para permitir un mayor flujo de aire.
	Descontrol de temperatura.	Uso de termopares muy sensibles que inmediatamente ven el cambio en sólo una porción del aire que se está recirculando y no del total del sistema. Cambiar el tipo de termopar o utilizar un termo pozo.