



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONVECCIÓN FORZADA
MEDIANTE COMBUSTIÓN A GAS EN EL HORNO DE PINTURA
ELECTROSTÁTICA DE LA EMPRESA METAL ELECTRIC”**

Autores:

CUEVA QUINGA MAURICIO XAVIER

CHILUISA PASTUÑA NEPTALI RAMIRO

Tutor:

ING. MS.C. BENJAMÍN CHÁVEZ

Latacunga, Ecuador

Febrero - 2019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Los postulantes, CUEVA QUINGA MAURICIO XAVIER y CHILUISA PASTUÑA NEPTALI RAMIRO, declaramos ser autores del presente proyecto de propuesta tecnológica. **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONVECCIÓN FORZADA MEDIANTE COMBUSTIÓN A GAS DE UN HORNO DE PINTURA ELECTROSTÁTICA DE LA EMPRESA METAL ELECTRIC”**, siendo Ing. MSc. Benjamín Chávez, director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva auditoria.

Latacunga, Febrero 2019.

AUTORES



.....
Cueva Quinga Mauricio Xavier

C.I. 172208567-5



.....
Chiluisa Pastuña Neptali Ramiro

C.I. 050399899-9



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Industrial

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONVECCIÓN FORZADA MEDIANTE COMBUSTIÓN A GAS DE UN HORNO DE PINTURA ELECTROSTÁTICA DE LA EMPRESA METAL ELECTRIC”, de Chiluisa Pastuña Neptali Ramiro y Cueva Quinga Mauricio Xavier, de la carrera de Ingeniería Industrial, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la FACULTAD de CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Febrero, 2019

.....
Ing. MSc. Benjamín Chávez
C.C:171676037-4



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de tribunal de lectores, aprueban el presente informe de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.; por cuanto, los postulantes **Cueva Quinga Mauricio Xavier** con C.I. 172208567-5 y **Chiluisa Pastuña Neptali Ramiro** con C.I. 050399899-9, con el título del proyecto de propuesta tecnológica: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONVECCIÓN FORZADA MEDIANTE COMBUSTIÓN A GAS DE UN HORNO DE PINTURA ELECTROSTÁTICA DE LA EMPRESA METAL ELECTRIC”, han considerado las consideraciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometidos al acto de sustentación del proyecto.

Por lo antes expuesto se autoriza realizar los empastados correspondientes según la normativa institucional.

Latacunga, febrero 2019

Para constancia firman:

MSc. Ángel Hidalgo

C.C. 0503257404

LECTOR 1 (Presidente)

MSc. Freddy Quinchimbla

C.C. 1719310508

LECTOR 2

MSc. Cristian Eugenio

C.C. 172372747-3

LECTOR 3

M.E



MetalElectric.

Quito – San José N2 101
Telf.:02317-662 - 093089831
Quito - Ecuador

METAL ELECTRIC

Fabricación de cubiertas metálicas, coliseos, puentes peatonales y vehiculares. Servicio de cerrajería y soldadura en general. Servicio de corte con Plasma hasta 19 mm.

R. U. C. N° 1716686264001

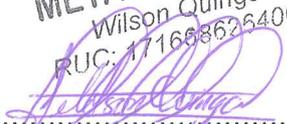
Quito a, 28 de enero de 2019

CERTIFICACIÓN

A quien interese: por medio del presente tengo bien a certificar, que los señores Chiluisa Pastuña Neptali con C.I. 050399899-9 y Cueva Quinga Mauricio Xavier con C.I. 1722085675 egresados de la Universidad Técnica de Cotopaxi de la carrera de Ingeniería Industrial, han concluido con la “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONVECCIÓN FORZADA MEDIANTE COMBUSTIÓN A GAS EN EL HORNO DE PINTURA ELECTROSTÁTICA DE LA EMPRESA METAL ELECTRIC”. Dicho proyecto ha sido entregado y comprobado su funcionamiento sujetándose a las especificaciones y requerimientos técnico solicitados.

Con el presente documento garantizo y quedo satisfecho con el resultado obtenido durante el tiempo duración del proyecto. En virtud de lo anterior, con pleno conocimiento de la responsabilidad que asumo ante usted y ratificando lo antes expuesto, firmo la presente.

Atentamente,

METALECTRIC
Wilson Quinga
RUC: 1716686264001


Quinga Oña Wilson Fabián
C.I. 171668626-4
Gerente - Propietario

AGRADECIMIENTO

Primero agradezco a Dios por darme salud, vida y constancia para lograr una meta más en mi vida y por cuidar de mi familia.

Agradezco a mis padres Ángel Cueva y María Quinga por el apoyo incondicional que pusieron en nuestras manos para llegar a esta meta.

A mi hija Scarlet Cueva quien es la base principal y la fortaleza para seguir adelante.

Agradezco a mi tío Wilson Quinga que es una fuente de inspiración para salir adelante y por el apoyo incondicional que me ha brindado en estos años.

A nuestro tutor Ing. MSc. Benjamín Chávez quien nos guío y brindó sus conocimientos apoyándonos para culminar el proyecto.

Mauricio

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios, por darme salud, vida y fortaleza para alcanzar y finalizar con éxito esta tan anhelada meta.

Agradezco a mi padre Cesar, el cual me inspiró a optar por esta tan prestigiosa carrera, a mi madre Martha, quien con su cariño, apoyo incondicional y palabras de aliento no me dejaron desfallecer.

A mis hermanos Gabriela, Cesar y Oscar, por su apoyo moral y consejos.

Además, que agradezco a mis sobrinos Leonel y Mayte, quienes a su corta edad han sabido inspirarme para hoy estar donde estoy.

A mi tutor Ing. Ms.C. Benjamín Chávez quien nos guió y brindó sus conocimientos para culminar el presente proyecto.

Gracias a todos

Neptali

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xvi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvi
GLOSARIO DE TÉRMINOS	xviii
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxi
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xxii
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	2
3. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	3
3.1. Objeto de estudio.....	3
3.2. Campo de acción	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	3

5.	EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
5.1.	Situación problemática:.....	4
5.2.	Planteamiento del Problema.....	4
6.	OBJETIVOS.....	5
6.1.	Objetivo general	5
6.2.	Objetivos específicos.....	5
7.	ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	6
8.	FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	8
8.1.	Glosario De Términos	8
8.2.	Horno de pintura electrostática en la empresa Metal Electric.....	9
8.3.	Horno de pintura electrostática a gas	11
8.4.	Especificaciones técnicas del horno de pintura electrostática a gas.....	11
8.5.	Convección forzada para hornos de pintura electrostática.....	11
8.6.	Convección.....	11
8.7.	Convección forzada.....	12
8.8.	Procesos para pintar los paneles modulares	12
8.9.	Desengrasado	12
8.10.	Fosfatado	12
8.11.	Secado.....	12
8.12.	Transportador:	13
8.13.	Cabina de pintura.....	13

8.14.	Aplicación de la pintura electrostática.....	13
8.15.	Curado de los paneles modulares	14
8.16.	Propiedades de la pintura utilizada en el sistema	14
8.17.	Características esenciales para el secado de la pintura electrostática. ·	15
8.18.	Inspección del panel modular pintado	16
8.19.	Control de calidad.....	17
8.20.	Componentes del horno de pintura electrostática a gas.....	17
8.20.1.	Quemador a gas Wayne HSG-400.....	17
8.20.2.	Motor eléctrico.....	19
8.20.3.	Ventilador	20
9.	HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTA CIENTÍFICA.....	20
9.1.	Variable dependiente:.....	21
9.2.	Variable independiente:.....	21
10.	METODOLOGÍA.....	21
10.1.	Métodos de investigación	21
10.2.	Método hipotético-deductivo.....	21
10.3.	Método inductivo-deductivo	21
10.4.	Tipos de investigación	21
10.5.	Investigación de campo.	21
10.6.	Investigación descriptiva.	22
10.7.	Investigación explicativa.	22
10.8.	Técnicas de investigación.....	22

10.8.1.	Observación.....	22
11.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	23
11.1.	Análisis de la combustión a gas.....	24
11.1.1	Análisis del combustible.....	24
11.2.	Características del combustible.....	24
11.3.	Temperatura de flama adiabática.....	25
11.4.	Balance de energía.....	27
11.5.	Análisis térmico del horno de pintura electrostática:	28
11.5.1.	Calor requerido por la carga y el horno	28
11.6.	Cálculo de pérdidas de energía en las paredes internas del horno.....	29
11.7.	Cantidad de calor que necesita absorber el aire.....	30
11.8.	Dimensiones de las paredes del horno.....	31
11.9.	Analogía eléctrica en las paredes del horno	32
11.10.	Resistencias térmicas en las paredes laterales y frontales internas del horno	32
11.11.	Resistencia térmica del Techo	37
11.12.	Resistencia térmica en el piso.....	42
11.13.	Potencia total requerida por el horno.....	46
11.14.	Potencia requerida por el horno.....	46
11.15.	Potencia real del quemador.....	47
11.16.	Selección del Ventilador.....	47
11.17.	Diseño del sistema de convección forzada del horno de pintura electrostática..	49
12.	IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS	50

12.2.	Impacto técnico.....	50
12.3.	Impacto ambiental	50
12.4.	Impacto Económico	51
12.5.	Impacto social.....	51
13.	PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO.....	51
13.1.	Costos	52
13.2.	Costo de materiales.....	52
13.3.	Costos de fabricación.....	52
13.4.	Costos de equipos	53
13.5.	Costo de ensamblaje y montaje	53
13.6.	Costos indirectos	54
13.7.	Presupuesto total de la inversión	54
13.8.	Análisis costo beneficio y retorno de la inversión.....	55
13.9.	Costos existentes de funcionamiento.....	55
13.10.	Relación costo beneficio favorable	56
13.11.	Retorno de la inversión.....	57
14.	COMPROBACIÓN Y VALIDACIÓN DEL HORNO DE CONVECCIÓN	58
14.1.	Comprobación de funcionamiento del sistema de convección forzada.....	58
14.2.	Instrumentos de medición.....	58
14.3.	Levantamiento de datos	59
14.4.	Análisis de resultados	60
14.5.	Medición del consumo de energía y GLP durante las pruebas de curado.....	63

14.6.	Validación del horno de convección	64
15.	MANUALES DE OPERACIÓN Y SEGURIDAD.....	65
15.1.	Manual de seguridad y uso del sistema de convección	67
15.2.	Manual de operación del horno de convección forzada mediante combustión a gas en el horno de pintura electrostática.....	68
15.3.	Insumos y Requisitos.....	68
15.4.	Chequeos de seguridad	69
15.5.	Operación.....	69
15.6.	Apagado.....	70
15.7.	Advertencias de seguridad.....	70
16.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
16.1.	Conclusiones.....	72
16.2.	Recomendaciones	72
17.	CONSTANTES UTILIZADAS	74
18.	BIBLIOGRAFÍA	75
19.	ANEXOS	78
19.1.	Anexo 1: Especificaciones de planchas de acero	78
19.2.	Anexo 2: Especificaciones de tubería.....	78
19.3.	Anexo 3. Especificaciones de los equipos.....	79
19.4.	Anexo 4: Planos de diseño del horno de pintura electrostática	80
19.5.	Anexo 5: Planos de la estructura del horno de pintura electrostática	81
19.6.	Anexo 6: Planos de diseño de la cámara de combustión.....	82

19.7.	Anexo 7: Planos de diseño del sistema de convección forzada en el horno de pintura electrostática	83
19.8.	Anexo 8: Sistema de convección forzada.....	84
19.9.	Anexo 9: Cotizaciones.....	85
19.10.	Anexo 10: Detalles del producto	85
19.11.	Anexo 11: Casas desarmables ensambladas (Moducamp).....	86
19.12.	Anexo 12: Horno de pintura electrostática.....	86
19.13.	Anexo 13: Horno de pintura electrostática con carga.....	87
19.14.	Anexo 14: Quemador	87
19.15.	Anexo 16: Soldado de la cámara de combustión.....	88
19.16.	Anexo 17: Aislamiento térmico con lana de vidrio.....	89
19.17.	Anexo 18: Control de calidad prueba de rayado	89
19.18.	ANEXO 19: Resultado de la prueba de rayado.....	90
19.19.	ANEXO 20: Control de calidad prueba de Frotación.....	90
19.20.	ANEXO 21: Resultado de prueba de Frotación	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Áreas de conocimiento del proyecto	2
Tabla 2:	Beneficiarios directos e indirectos	3
Tabla 3:	Sistema de tareas de acuerdo a los objetivos planteados	6
Tabla 4:	Especificaciones técnicas de un horno a Gas	11
Tabla 5:	Propiedades de las pinturas Poliésteres.....	15
Tabla 6:	Temperatura de la flama adiabática	26

Tabla 7: Balance de energía	27
Tabla 8: Costo de Materiales.....	52
Tabla 9: Costo de fabricación.....	53
Tabla 10: Costo de ensamblaje y montaje.....	54
Tabla 11: Costos indirectos	54
Tabla 12: Costo total de la inversión.....	54
Tabla 13: Costo por curado de piezas con pintura electrostática	55
Tabla 14: Comparación anual del gasto actual vs costo del proyecto.....	56
Tabla 15: Tabla de piezas fabricadas anualmente	56
Tabla 16: Comparación anual de la utilidad neta	57
Tabla 17: Tabla de pagos.....	57
Tabla 18: Parámetros de funcionamiento	58
Tabla 19: Mediciones sin carga.....	60
Tabla 20: Mediciones con carga.....	61
Tabla 21: Curva de enfriado	62
Tabla 22: Constantes estándar utilizadas.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Horno de curado de pintura electrostática	9
Figura 2: Transportador Aéreo.....	13
Figura 3: Pistola para la aplicación de pintura electrostática.....	14
Figura 4: Quemador a Gas Wayne HSG 400,000 But/h	18
Figura 5: Especificaciones del quemador.....	19
Figura 6: Motor eléctrico Weg	20
Figura 7: Ventilador axial	20
Fig. 8: Pared del horno de curado	29
Fig. 9: Pared del horno de curado	32
Fig. 10: Pared del techo del horno de curado.....	37
Fig. 11: Piso del horno de curado.....	42
Figura 12: Diseño del sistema de convección forzada (cámara de combustión)	50

Figura 13: Equipos de protección personal	65
Figura 14: Mascarilla	66

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva de curado del poliéster.....	15
Gráfico 2: Curva de curado	61
Gráfico 3: Método de calidad mediante lápices	62
Gráfico 4: Curva de enfriado.....	63

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuacion 1: Flama adiabatica.....	28
Ecuacion 2: Alfa estequiométrico	29
Ecuacion 3: Exceso de aire.....	30
Ecuacion 4: Balance de energia.....	31
Ecuacion 5: Balance de energia.....	31
Ecuacion 6: Balance de energia.....	32
Ecuacion 7: Calor requerido por la carga y el horno.....	32
Ecuacion 8: Cantidad de calor	34
Ecuacion 9: Calor impartido a las paredes	34
Ecuacion 10: Masa de paredes interiores	35
Ecuacion 11: Calor requerido al aire	35
Ecuacion 12: Masa del aire en el interior	35
Ecuacion 13: Cantidad de aire que se va a utilizar	37
Ecuacion 14: Convección	38
Ecuacion 15: Radiación.....	38
Ecuacion 16: Resistencia Equivalente.....	38

Ecuacion 17: Resistencia de paredes internas	40
Ecuación 18: R6 y R7, convección y radiación.....	40
Ecuacion 19: Convección exterior.....	41
Ecuacion 20: Radiación Exterior.....	41
Ecuacion 21: Equivalente de convección y radiación	41
Ecuacion 22: Resistencia total.....	41
Ecuacion 23: Coeficiente global de transferencia de calor	42
Ecuacion 24: Calor al calentar el horno	42
Ecuacion 25: Calor impartido en el ambiente	44
Ecuacion 26: Calor impartido en las paredes	49
Ecuacion 27: Potencia requerida por el horno.....	53
Ecuacion 28: Potencia real	53
Ecuacion 29: Calculo del ventilador	53
Ecuacion 30: Velocidad del ventilador	54
Ecuacion 31: Selección del ventilador	55

GLOSARIO DE TÉRMINOS

At: Área transversal de flujo

De: Diámetro equivalente en ductos

Dh: Diámetro hidráulico

e: Espesor del tubo

F: Factores de corrección

f: Factor de fricción para tubos lisos

G: Gravedad relativa del aire

Tamb hex: Coeficiente de transferencia de calor externo

hi: Coeficiente de transferencia de calor interno

HL: Caída de presión total en el sistema

ho: Coeficiente de transferencia de calor externo

hr: Coeficiente de transferencia de calor por radiación

HV: Presión de velocidad Kg: Conductividad térmica del aire

Lc: Longitud característica del sólido

mc: Masa de la carga

Nu: Número de Nusselt

Pm: Perímetro mojado

Potnominal: Potencia nominal del quemador

Potreal: Potencia real del quemador

Pr: Número de Prandtl

Qc: Calor impartido a la carga

QH: Energía generado por el quemador

Q_{pi} : Calor a impartir a las paredes interiores del horno

Q_{pis} : Calor perdido por el piso

Q_t : Calor a impartir a las al techo y piso del horno

$R_{1, 2, 3, 4}$ Resistencias térmicas

RAC: Relación Aire - Combustible

R_a : Número de Raleigh

Re : Numero de Reynolds

Req : Resistencia equivalente

T_{ci} : Temperatura ambiente del aire

T_{co} : Temperatura de salida del aire

T_g : Temperatura promedio del aire al interior del horno

T_{hi} : Temperatura de flama adiabática

T_{ho} : Temperatura de salida de los gases

T_{max} : Temperatura máxima de trabajo del horno

U : Coeficiente de global de transferencia de calor

U_o : Coeficiente global de transferencia de calor

$v_{máx}$: Velocidad máxima

V_{oH} : Cantidad de combustible quemada

β_{aire} : Coeficiente de expansión volumétrica

μ : Viscosidad dinámica

ν : Viscosidad cinemática

ρ : Densidad

Φ_{ext} : Diámetro exterior del tubo

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONVECCIÓN FORZADA MEDIANTE COMBUSTIÓN A GAS EN EL HORNO DE PINTURA ELECTROSTÁTICA DE LA EMPRESA METAL ELECTRIC”

Autores:

Cueva Quinga Mauricio Xavier

Chiluisa Pastuña Neptali Ramiro

RESUMEN

La empresa Metal Electric cuenta con un horno de curado de pintura electroestática con un bajo desempeño térmico que alcanza una temperatura de 100°C - 120°C que no es la adecuada para el sistema de polimerizado y los tiempos de curado aumenta de 40-60 minutos y la calidad del producto disminuya al no cumplir con el nivel estándar de temperatura de polimerizado, esto hace que la producción tenga demora y genere pérdidas económicas para la empresa, para esto se realizó una propuesta tecnológica de implementación de un sistema de convección forzada mediante combustión a gas en el horno de pintura electrostática para alcanzar la temperatura de polimerización de 180°C - 200°C que es requerida y disminuir los tiempos de curado de pintura electrostática de los paneles modulares de 10-20 minutos. Para la cual se identificó las resistencias térmicas de los materiales que conforman el horno de curado de pintura y se realizó los cálculos de transferencia de calor para comprobar que las paredes del horno son las correctas para este tipo de proceso, se identifica la potencia adecuada que debe suministrar el quemador y el ventilador para construir el sistema que consta de una cámara de combustión donde recibe el calor suministrado por el quemador y mediante un ventilador el aire caliente es transmitido hacia la cámara de combustión generando un sistema de convección forzada y alcanzando los 200°C que es el nivel estándar de polimerizado de la pintura. En el lapso de 30 min el horno alcanza la temperatura adecuada para trabajar, de esta manera cumple con los requisitos de funcionamiento para este proceso.

Palabras clave: horno, pintura electrostática, convección forzada

COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

ENGINEERING SCIENCES AND APPLIED DEPARTMENT

TOPIC: “IMPLEMENTATION OF A FORCED CONVECTION SYSTEM THROUGH GAS COMBUSTION IN THE ELECTROSTATIC PAINT OVEN OF THE METAL ELECTRIC COMPANY”

Authors:

Cueva Quinga Mauricio Xavier

Chiluisa Pastuña Neptali Ramiro

ABSTRACT

The company Metal Electric has an electrostatic paint drying oven with a low performance that reaches a temperature from 100 ° C-120 ° C that is not suitable for the polymerized system and drying times increase of 40- 60 minutes and the quality of the product decreases when not complying with the standard level of temperature of polymerized, this causes that the production has delayed and generates economic losses for the company, for this a technological proposal of implementation of a forced convection system was made by gas combustion in the electrostatic paint oven to reach the polymerization temperature of 180 ° C-200 ° C, that is required and to reduce the electrostatic painting drying times of the modular panels of 10-20 minutes. For which the thermal resistance of the materials that make up the paint curing furnace is identified and heat transfer calculations are carried out to verify that the walls of the furnace are the correct ones for this type of process, identifying the adequate power to be supplied by the burner and the fan to build the system that consists of a combustion space where it receives the heat supplied by the burner and through a fan the hot air is transmitted to the combustion space generating a forced convection system and reaching 200 ° which is the standard level of polymerized paint.

KEYWORDS: Oven, Electrostatic painting, Forced convection



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

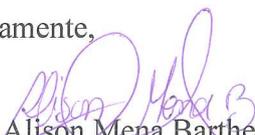
AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción al Idioma Inglés presentado por los señores, CHILUISA PASTUÑA NEPTALI RAMIRO Y CUEVA QUINGA MAURICIO XAVIER, cuyo título versa “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONVECCIÓN FORZADA MEDIANTE COMBUSTIÓN A GAS EN EL HORNO DE PINTURA ELECTROSTÁTICA DE LA EMPRESA METAL ELECTRIC”, lo realizo bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, 01 de febrero del 2019

Atentamente,


MSc. Alison Mena Barthelotty
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 0501801252



1. INFORMACIÓN GENERAL

Propuesto por:

- Nombre: Cueva Quinga Mauricio Xavier
- Teléfonos: 0995157234
- Correo electrónico: mauricio.cueva5@utc.edu.ec

- Nombre: Chiluisa Pastuña Neptali Ramiro
- Teléfonos: 0979348384
- Correo electrónico: neptali.chiluisa9@utc.edu.ec

Tema aprobado:

Implementación de un sistema de convección forzada mediante combustión a gas de un horno de pintura electrostática de la empresa Metal Electric.

Carrera:

Ingeniería Industrial.

Director de la propuesta tecnológica:

- Nombre: Ing. MSc. Benjamín Chávez
- Celular: 0961326990
- Cedula: 1716760374
- Correo electrónico: benjaminbchavezr@gmail.com

Equipo de trabajo:

Cueva Mauricio, Chiluisa Neptali, MSc. Benjamín Chávez

Área del conocimiento:

En la tabla 1 se muestran las áreas del conocimiento, de acuerdo a los campos de educación y capacitación CINE de la UNESCO.

Tabla 1: Áreas de conocimiento del proyecto

Campo amplio	Campo específico	Campo detallado
07 Ingeniería industria y construcción	071 Ingeniería y profesiones a fines	0711 Ingeniería y procesos químicos 0713 Electricidad y energía 0714 Electrónica y automatización

Fuente: (UNESCO, 2014)

Lugar de ejecución:

Región Sierra, Provincia de Pichincha, Cantón Mejía, Parroquia Uyumbicho, Barrio San José, Empresa Metal Electric.

Tiempo de duración de la propuesta: 1 Año

Fecha de entrega: Febrero-2019

Línea(s) y Sublíneas de investigación a las que se asocia la propuesta tecnológica:

Línea de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi

- Línea 4 Procesos Industriales, el proyecto vinculado con la cuarta línea de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi correspondiente a procesos productivos.

Sub línea de investigación de la carrera de Ingeniería Industrial

- Automatización industrial y producción.

Tipo de propuesta tecnológica

Innovación del horno de pintura electrostática de la empresa Metal Electric.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La empresa Metal Electric cuenta con un horno de curado de pintura electrostática con un desempeño térmico deficiente que origina que no alcance la temperatura de polimerización requerida y los tiempos de curado aumenten y la calidad del producto disminuya al no cumplir

con el nivel estándar de temperatura de polimerizado, esto hace que la producción tenga demora y genere pérdidas económicas para la empresa, para esto se realizó una propuesta tecnológica de implementación de un sistema de convección forzada mediante combustión a gas en el horno de pintura electrostática para alcanzar la temperatura de polimerización requerida y disminuir los tiempos de curado de pintura electrostática de los paneles modulares. Para la cual se realizó un análisis de las temperaturas e identificación de los tipos de materiales que conformar el horno de curado de pintura y realizando cálculos de transferencia de calor para comprobar que las paredes del horno son las correctas para este tipo, identificando la potencia adecuada que debe suministrar el quemador y el ventilador.

3. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN

3.1. Objeto de estudio

El objeto de estudio del presente proyecto es un horno de curado de pintura electrostática para pintar paneles metálicos-modulares para casas desarmables denominados Moducamp de la empresa Metal Electric.

3.2. Campo de acción

Se implementará un sistema de convección forzada mediante combustión a gas para mejorar el desempeño térmico del horno de curado de pintura electrostática y así alcanzar la temperatura de polimerización requerida y disminuir los tiempos de curado en los paneles modulares.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

En la tabla 2 se muestran los beneficiarios directos e indirectos del proyecto.

Tabla 2: Beneficiarios directos e indirectos

Beneficiarios Directos	Beneficiarios Indirectos
<ul style="list-style-type: none"> • Empresa "Metal Electric" 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauricio Cueva y Neptali Chiluisa (Equipo de investigación.) • Colaboradores de la empresa • Clientes

Fuente: Cueva M., Chiluisa N

5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

5.1.Situación problemática:

La empresa Metal Electric, ubicada en la ciudad de Quito provincia de Pichincha, Ecuador, cuenta con un sistema de construcción metálico-modular para casas desarmables denominado Moducamp, el acabado de pintura de los módulos se realiza en un horno de curado de pintura electrostática, lo que permite un mejor acabado y garantiza la durabilidad de la pintura, teniendo en cuenta que estos paneles modulares están expuestos al ambiente.

La fuente de energía de este horno es gas natural, se utiliza tres quemadores de gas y llega a un punto de fusión y polimerización de unos 100°C-120°C que se realiza durante un tiempo determinado de 40-60 minutos por un lote de 3 piezas modulares. El sistema de polimerizado requiere alcanzar una temperatura de 180°C-200°C y se estima un tiempo en un rango de 10-20 minutos por un lote de 3 piezas modulares, estos parámetros son los adecuados para un correcto curado de las piezas con pintura electrostática.

El bajo desempeño térmico del horno de curado de pintura electrostática, origina que no se alcance la temperatura de fusión y polimerizado óptimo, ocasionando un aumento en los tiempos de curado de los módulos, además que la calidad del producto disminuya al no cumplir con el nivel estándar de temperatura de polimerizado, esto hace que la producción tenga demora y genere pérdidas económicas para la empresa. Una de las principales falencias, se encuentra en la fuente de energía que no cuenta con un sistema eficiente de mezcla de aire combustible, cámara de combustión y un sistema de circulación de calor dentro del horno denominado convección forzada, estos tres factores hacen que exista una ineficiencia de potencia térmica en el horno.

5.2. Planteamiento del Problema

El bajo desempeño térmico del horno de pintura electrostática de la empresa Metal Electric origina que no se alcance la temperatura de polimerización requerida y que se aumenten los tiempos de curado de los paneles modulares.

6. OBJETIVOS

6.1.Objetivo general

Implementar un sistema de convección forzada mediante combustión a gas en el horno de pintura electrostática de la empresa Metal Electric para alcanzar la temperatura de polimerización requerida y disminuir los tiempos de curado de los paneles modulares.

6.2.Objetivos específicos

- Diseñar el sistema de convección forzada a gas para el horno de curado de la empresa Metal Electric.
- Determinar el costo beneficio de la implementación del sistema de convección forzada.
- Construir el sistema de convección forzada a gas para el horno de curado de la empresa Metal Electric.
- Implementar el sistema de convección forzada a gas en el horno de curado de la empresa Metal Electric.
- Evaluar el sistema de convección forzada implementado en el horno de curado.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

En la tabla 3 se muestra el sistema de tareas de acuerdo a los objetivos planteados.

Tabla 3: Sistema de tareas de acuerdo a los objetivos planteados

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	RESULTADO DE ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD
1.- Diseñar el sistema de convección forzada a gas para el horno de curado de la empresa Metal Electric.	Definir los criterios y requerimientos para el sistema de convección forzada.	Obtener definiciones y características de los elementos que conforma el sistema de convección forzada.	Desarrollar una recopilación y obtención de datos a través de manuales y fichas técnicas de elaboración de hornos de curado.
	Realizar una evaluación térmica al horno de curado.	Identificar las propiedades térmicas y requerimientos de potencia para horno de curado.	Aplicación de fórmulas de transferencia, calor, masa, y combustión. Para determinar los materiales adecuados para el sistema.
	Realizar el diseño estructural para el sistema de convección forzada para horno de curado.	Obtener un diseño del sistema de convección forzada para el horno de curado	Se realiza un diseño estructural software de diseño
2.- Determinar el costo beneficio de la implementación del sistema de convección forzada.	Realizar un cálculo del costo de la implementación del sistema.	Listado de costos para la implementación del sistema.	Desarrollar una recopilación y obtención de datos de producción a través de la empresa y por la aplicación de fórmulas financieras.
	Realizar una tabla de costo beneficio y tasa de retorno de inversión del proyecto.	Obtención de costos de producción, beneficios y tasa de retorno del proyecto.	Mediante este cálculo se compara de forma directa los beneficios y los costes y la viabilidad del proyecto.
3.- Construir el sistema de convección forzada a gas para el	Compra de los elementos necesarios.	Material disponible para la construcción del sistema	Se adquiere todos los elementos que se necesitan para la construcción del sistema.

horno de curado de la empresa Metal Electric.	Construcción del sistema de convección forzada	Se obtiene el sistema de convección listo para implementarlo en el horno de curado	Se procede a armar el sistema utilizando todos los elementos necesarios para su construcción.
4.- Implementar el sistema de convección forzada a gas en el horno de curado de la empresa Metal Electric.	Implementar los componentes del sistema de convección forzada al horno de curado	Se obtiene el sistema de convección forzada incorporada en el horno de curado	Visual, técnica y orden de trabajo
	Comprobación del funcionamiento del sistema de convección forzada en el horno de curado.	Se realiza pruebas de funcionamiento del sistema de convección forzada	Mediante manuales se calibran los equipos incorporados en el sistema y el correcto funcionamiento de los mismos.
	Realizar pruebas de precalentamiento a 200 °C al horno de curado.	Se obtiene la información sobre el precalentamiento del horno.	Tabla de control de temperatura
5.- Evaluar el sistema de convección forzada implementado en el horno de curado.	Determinar el tiempo requerido para horneado de cada lote de paneles modulares	Tiempo requerido para el curado de los paneles modulares	Tabla de control de tiempos de curado
	Determinar el tiempo de enfriamiento de horno de pintura electroestática	Tiempo de enfriamiento	Tabla de control de tiempos de curado.

Fuente: Cueva M., Chiluisa N

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1. Glosario De Términos

Caudal: cantidad de fluido, medido en volumen, que se mueve en una unidad de tiempo. $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

Calor específico: Energía requerida para calentar 1°C o K la unidad de masa del producto. $\left[\frac{kJ}{kg.K}\right]$

Conducción: Forma de transmisión del calor por contacto entre moléculas, sin movimiento relativo de unas respecto de otras.

Conductividad térmica: Característica de los cuerpos, fundamentalmente en el cálculo del calor transmitido por conducción. $\left[\frac{W}{m.K}\right]$

Convección: Forma de transmisión del calor típica de los fluidos, en la que, a la conducción por contacto entre moléculas, se suma el movimiento de las partículas por variación de densidad (convección natural) o por impulsión de ventiladores, bombas, etc. (convección forzada). $\left[\frac{W}{m^2.K}\right]$

Radiación es la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.

Densidad: Masa de la unidad de volumen. Se denomina también masa específica. $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

La densidad relativa: es una comparación de la densidad de una sustancia con la densidad de otra que se toma como referencia: Ambas densidades se expresan en las mismas unidades y en iguales condiciones de temperatura y presión.

Número de NUSSELT (Nu): Representa la relación que existe entre el calor transferido por convección a través del fluido y el que se transferiría si sólo existiese conducción.

Radiación térmica: Energía emitida por los cuerpos a temperatura superior a 0 K. En la mayoría de los hornos de resistencia eléctrica el calentamiento se realiza por radiación térmica.

La potencia nominal es la potencia máxima que demanda una máquina o aparato en condiciones de uso normales. (Watt)

Potencia calorífica: cantidad de calor que se desarrolla en la combustión completa de la unidad de masa de un combustible. (Watt)

8.2.Horno de pintura electrostática en la empresa Metal Electric

Las dimensiones del horno de curado actual son de 3.30m de largo por 2.10m de ancho y 2m de alto, este horno realiza trabajos en forma estática, por tandas o lotes de forma continua, el horno de pintura electrostática se encuentra en un estado deficiente debido a una modificación de su capacidad de 7,02 m³ a 13,31m³ que funcionaba con dos válvulas artesanales y dos tanques de gas alcanzando temperaturas de 180-200° y pasando a funcionar con tres válvulas artesanales y tres tanques de gas alcanzando temperaturas de 120 a 150° ocasionando un mal desempeño térmico al horno. En la figura 1 se muestra una fotografía del horno utilizado:

Figura 1: Horno de curado de pintura electrostática



Fuente: Empresa Metal Electric.

Sus componentes:

El elemento principal del horno es la zona de trabajo, es decir, el lugar donde se realiza el proceso de curado. Esta zona se separa del ambiente por una cámara aislada, todos ellos fabricados en materiales refractarios y termoaislantes, y con exterior metálico.[2]

- **Esqueleto metálico.** Sujeta todos los componentes del horno y es la estructura que absorbe los esfuerzos transmitiéndolos a los cimientos está fabricado con tubo cuadrado de 50x50x2mm. A esta estructura metálica están montados los accesorios adicionales con que está equipado el horno, como puertas, tapas, marcos, quemadores.
- **Paredes.** Estas paredes tienen la capacidad de proteger el horno de pérdidas de calor, impedir la salida de gases del horno y la succión del aire atmosférico al interior del horno. Las paredes del horno están construidas como un sándwich, donde el elemento exterior es una lámina metálica de acero con un espesor en 0,70mm e intermedio de colchas aislantes de lana de vidrio e internamente una lámina metálica de acero negro con un espesor de 0,70mm.
- **Cámara de combustión.** Al implementar el sistema de convección forzada se construyó una cámara de combustión hermética diseñada para soportar altas temperaturas ya que el quemador Wayne tiene una potencia máxima de 400.000 BTU/h y toda la temperatura generada en la cámara de combustión es impartida al horno de pintura electrostática
- **Quemador:** Es el elemento que genera el calor. Los quemadores del horno son ineficientes ya que no cuenta con la etapa que es de inyección, aire y combustión. Están conformados por 3 quemadores atmosféricos los cuales no tienen la suficiente potencia para alcanzar los 180°C a 200°C que requiere el sistema de polimerizado para lo cual se implementó un quemador Wayne de una potencia máxima de 400.000 BTU/h que ira ubicado en la brida de la cámara de combustión
- **Juntas térmicas.** Las juntas de los hornos industriales tienen que poder compensar la dilatación del horno por el calor, de manera que se garantice la integridad del mismo. Su disposición y ancho dependen del nivel de calentamiento que se presenta en cada parte del horno y de los coeficientes de dilatación de la mampostería por el calor.
- **Difusores.** Al implementarse una cámara de combustión en el horno es necesario colocar difusores a la salida del conducto ya que estos hacen recircular el aire caliente a través de la cámara de pintado. Sin los difusores las temperaturas en diferentes secciones del horno son muy dispares, generando así una mala calidad de curado en los productos.

8.3. Horno de pintura electrostática a gas

En general, los hornos para procesos industriales son mecanismos que permiten transferir calor a diferentes productos. Estos productos pueden ser de distinta índole como: acero, aluminio, aleaciones metálicas, cerámica, polímeros y muchos otros innumerables productos.[3]

Un horno de curado es una cámara donde se utiliza como elemento principal el aire a una temperatura diferente y mayor al ambiente para retirar humedad de un producto, y este se debe encontrar en un lugar o espacio cerrado, permitiendo de esta manera que el aire caliente se mantenga en la cámara. [4]

8.4. Especificaciones técnicas del horno de pintura electrostática a gas

Las especificaciones técnicas de los hornos sirven como referencia para ajustarse a las necesidades de los hornos de curado para la industria teniendo en cuenta los escenarios requeridos dentro de la misma. A continuación, se describe las características óptimas. [5]

Tabla 4: Especificaciones técnicas de un horno a Gas

HORNO DE CURADO	
Dimensiones (lxaxh) (mm)	3170 x 2105 x 2000
Ancho Máximo Pieza (mm)	2000
Alto Máximo Pieza (mm)	1500
Temperatura Máximo (°C)	150
Sistema de Apagado	Manual
Sistema de Encendido	Manual
Control de Temperatura	Análogo
Tipo de Alarma	Luz
Potencia (KW)	350

Fuente: (UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, 2012)

8.5. Convección forzada para hornos de pintura electrostática

8.6. Convección

Según [6] la transferencia de calor por convección sucede entre el aire del ambiente y las paredes. Las temperaturas del interior y exterior del horno se establecen como condiciones de

prueba para evaluar una pared, sin embargo, los coeficientes de transferencia de calor convectivos no son tan sencillos de especificar debido a que se debe considerar la geometría de la superficie, la naturaleza del fluido (convección natural o forzada) y la variación de las propiedades termodinámicas del fluido. La convección forzada es causada por medios externos y la convección natural es causada únicamente por la diferencia de temperaturas en el fluido.

8.7. Convección forzada

Según [6] el flujo de calor convectivo y efectos de condiciones de frontera estándar; se considera que la transferencia de calor de la cámara calorífica hacia el aire interior del horno de pintura electrostática a cabo por convección forzada.

8.8. Procesos para pintar los paneles modulares

8.9. Desengrasado

Según [7] como en cualquier otro pre - proceso de pintado, la limpieza de los paneles modulares es parte fundamental para realizar el proceso de pintado ya que la superficie a pintar debe estar libre de grasas, que eviten de una forma u otra que la pintura se adhiera de forma adecuada en la pieza por lo cual; se debe realizar una limpieza global de la pieza, principalmente para retirar grasas y aceites de la superficie a ser pintada. El desengrasado se realiza con un limpiador altamente alcalino entre 40 – 45 puntos de alcalinidad, compuesto principalmente por hidróxido de sodio, además de silicatos, carbonatos y emulsificantes solubles al agua en pequeñas cantidades.

8.10. Fosfatado

Según [8] el fosfatado o recubrimiento, es la aplicación al sustrato de una capa de fosfato de zinc o de hierro a los paneles modulares. Un recubrimiento de fosfato convierte el sustrato en una superficie inerte uniforme lo cual mejora la adherencia, minimiza la oxidación, si la pintura es rasgada o impactada, y mejora la resistencia a la corrosión general de la pieza final.

8.11. Secado

Según [7] el secado antes de realizar el pintado es el secado previo, ya que una superficie seca y limpia, ayuda a que la pintura electrostática se adhiera mejor, y de esta manera tener una superficie uniforme sobre la placa y disminuir el consumo de pintura utilizada. Por lo cual alcanzar una temperatura suficiente para que se llegue a evaporar todo residuo de

líquido, tanto del proceso de desengrasado como del fosfatado es de vital importancia, ya que la adherencia perfecta de la pintura depende de tener una superficie completamente seca.

8.12. Transportador:

Es un sistema de rieles aéreo (fig. 9) que sirve para el transporte de piezas metálicas o cualquiera que sea, traslada ese material a otras etapas o casetas, para su posterior tratado de las superficies o en caso de procesos agresivos para los componentes de mantenimiento, altas temperaturas o baños. Este sistema soluciona satisfactoriamente el almacenaje intermedio en los procesos de producción y la integración de las líneas de tratamiento de superficies en el proceso productivo[4]

Figura 2: Transportador Aéreo



Fuente: Empresa Metal Eletric

8.13. Cabina de pintura

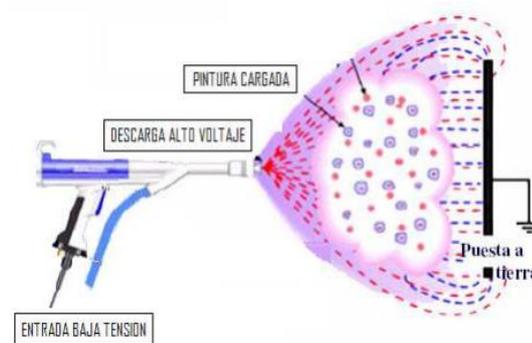
La cabina de pintado, es una instalación que desaloja el pulverizado sobrante y las emisiones de disolvente procedentes de las operaciones de pintado. Las cabinas están diseñadas para capturar las partículas que se liberan al aire durante las operaciones de recubrimiento. Su función primordial es proteger a los operarios (en especial a los que aplican la pintura) de la exposición a las partículas y vapores potencialmente tóxicos. Otra función de la cabina es la prevención de incendios y explosión dentro de la instalación mediante venteo de las altas concentraciones de vapores de disolvente inflamables al exterior o a un sistema de depuración.

8.14. Aplicación de la pintura electrostática

Se lo realiza con un equipo especial, en principio se asigna mangueras por las cuales circula la pintura en polvo, a través de un sistema de vacío creado por aire comprimido a alta velocidad,

que ingresa a una pistola de pulverización electrostática, y es la misma con la que aplica la pintura a los tableros modulares. [7]

Figura 3: Pistola para la aplicación de pintura electrostática



Fuente: (UPN, 2014)

8.15. Curado de los paneles modulares

El curado de una pieza es el tratamiento térmico que se da a los objetos después del proceso de aplicación del polvo. Este curado no es otra cosa que la fijación de la pintura en la pieza, este proceso se lo realiza en un horno, y la temperatura del mismo dependerá de varios factores así como el tiempo en el que permanecerá el objeto a curar dentro del horno.[9]

Para el proceso de curado se toman en cuenta las condiciones que da el fabricante de la pintura, las geometrías tanto del horno como de la pieza y su espesor. La empresa trabaja con pintura poliéster que es la más adecuada para las piezas modulares que se expone a exteriores a continuación se muestra la temperatura adecuada para la polimerización de esta pintura y el tiempo de curado requerido para que la pintura cumpla con los estándares de calidad.

- **Poliéster**

Temperatura: 180 a 200 grados centígrados

Tiempo: 20 minutos

8.16. Propiedades de la pintura utilizada en el sistema

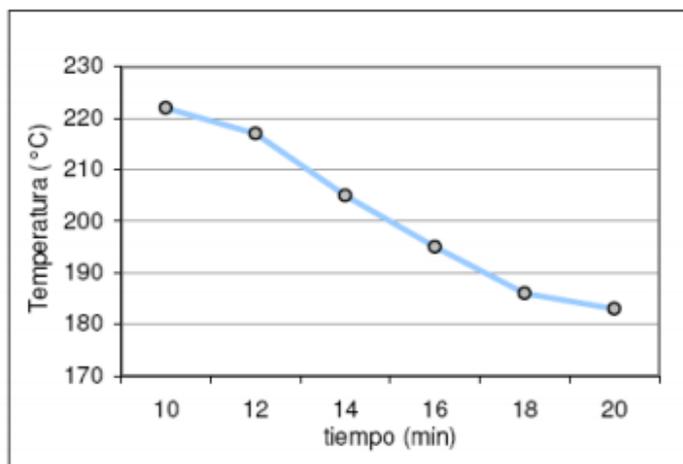
Poliésteres

Tabla 5: Propiedades de las pinturas Poliésteres

POLIÉSTER	
CONDICIONES DE APLICACIÓN	
Peso Específico	1.5 - 1.8 g/cm
Método de Aplicación	Corona
Voltaje	60 - 70 Kv
Espesor	60 micras
Rendimiento Teórico	9 - 11 m ² /kg
Superficies Donde se Puede Aplicar	Acero laminado en frío Acero, Electro galvanizado Aluminio, Vidrio, Cerámica
Preparación Superficial	Desengrasado Limpieza Química Fosfatado con Zinc o Hierro

Fuente:[3]

Gráfico 1: Curva de curado del poliéster



Fuente: Instituto Politécnico Nacional, 2014

8.17. Características esenciales para el secado de la pintura electrostática. •

Entre las principales características de la pintura electrostática está aquella por la que solo necesita entre 5 y 10 minutos para que el secado sea perfecto, y no se tenga que esperar varias horas para que se seque completamente como pasa con la pintura líquida.

Otra característica muy importante es que se puede pintar hasta 15 metros cuadrados con 1 kg de pintura en polvo; no se chorrea, por lo que no se produce desperfectos al momento del secado.

Una de las principales características es que solo se adhiere una capa muy fina, encima del objeto a ser pintado, por lo que se puede recoger y reutilizar la pintura que no fue ocupada.[7]

8.18. Inspección del panel modular pintado

El buen acabado de pintura, depende de varios factores, pero entre los principales están la temperatura y el tiempo de secado, estos 2 factores son los que predominan cuando se habla de un buen acabado en la pintura electrostática. Si se quiere obtener un pintado satisfactorio es fundamental respetar las condiciones de secado dadas por el fabricante de la pintura. De igual manera si no se respeta los rangos establecidos, puede existir un sobre secado, del cual se puede obtener consecuencias tales como: cambio de color, disminución de brillo, manchado y disminución o eliminación de las propiedades mecánicas.[7]

Existen varias maneras de comprobar que la pintura posea un buen acabado, como es: medición del espesor, evaluación de la adhesión y evaluación del secado.

Protocolo de pruebas para el horno de pintura electrostática a gas: La metodología para realizar las pruebas en el horno de curado de pintura electrostática son las siguientes:

- Verificar que el nivel de los tanques de Gas se encuentre por sobre la primera marca del medidor de nivel.
- 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.
- Realizar las siguientes pruebas de curado una vez que las piezas salgan del horno: Rayado, Doblado, Frotación[3]

Una vez implementado el sistema de convección forzada mediante a gas se debe seguir el protocolo de prueba para verificar si el desempeño térmico del horno es el correcto y si cumple los requerimientos de polimerizado de la pintura electrostática.

Medición del espesor

La medición del espesor se lo realiza después del secado completo y depende si ha alcanzado el espesor en el rango de aceptabilidad especificado. Dicho valor puede verificarse en cualquier momento sin que se dañe la capa de recubrimiento en el tablero. [7]

Evaluación de la adhesión

La prueba de adhesión según la norma ASTM D 3359 se lo realiza por el método de corte con navaja en forma de cruz o de cuadrícula dependiendo del espesor de película seca. Los resultados son de carácter cualitativo basados en una escala visual con seis niveles de adherencia, evaluando el grado de resquebrajamiento en los bordes. [7]

8.19. Control de calidad

Prueba de dureza con lápiz (ASTM D 3363)

La dureza es la resistencia de una película al rayado o raspadura superficial. En este ensayo se utilizan lápices de dureza con escala: 6B - 5B - 4B - 3B - 2B - B - HF - H - 2H - 3H - 4H - 5H - 6H. Y se recomienda empezar el rayado con lápices de menor dureza (B), hasta lograr el corte de la película. El valor de la dureza será aquel inmediatamente anterior al lápiz que causa el daño o logra cortar el recubrimiento.[7]

Prueba de papel lija

Este proceso se realiza posterior a la prueba de dureza con lápiz, es decir cuando las pinturas tienen gran dureza en su acabado. Cuando el secado se realiza correctamente y se lija, se forma un polvillo, caso contrario, se vuelve pegajoso cuando se pasa la lija, esto indica un mal secado de la pintura electrostática. [7]

8.20. Componentes del horno de pintura electrostática a gas

8.20.1. Quemador a gas Wayne HSG-400

Los quemadores (figura 4) son elementos pertenecientes a los generadores de vapor que se utilizan para producir una combustión eficiente y segura y una llama estable; admitiendo y/o generando la mezcla de combustible y comburente en su interior. Debido a que los combustibles fósiles pueden hallarse en estado líquido, sólido y gaseoso

existen distintos tipos de quemador diferenciados en función del combustible. En instalaciones de pequeño y medio tamaño industriales es frecuente que el combustible empleado sea gas natural. [4]

La potencia requerida por el horno de curado es de 301,394 Btu/h, por lo cual se elige el quemador Wayne HSG400 con una potencia máxima de 400,000Btu/h, el quemador al trabajar con su máxima potencia cubre la necesidad de potencia del horno y cumple fácilmente los requisitos de 220°C que se requiere para proceso de polimerizado de la pintura electrostática.

Figura 4: Quemador a Gas Wayne HSG 400,000 But/h



Fuente: Club de ciencia de 3°M, 2016

Especificaciones:

Figura 5: Especificaciones del quemador

THE BLUE ANGEL™ POWER GAS BURNER - MODEL HSG	
Capacities	Firing rates from 60M through 400M Btu/hr.
Fuel	Natural or LP Gas 2" to 4" water column - adjustable.
Controls	24-volt combination control 3/4" IPS, with redundant valve. Flamerod sensor 4 second safety shutdown.
Ignition	Direct spark ignition 7300-volt ignition transformer. Remove top cover for easy access to ignition components.
Motor	3450 RPM – 115V – 2.4A.
Fan Housing	Aluminum alloy, die cast housing. Maintains alignment of all moving parts throughout the lifetime of the burner.
Mounting	Adjustable flange (pedestal mount available.)
Air Tube	4" OD available in standard lengths of 6", 9" and 12".
Combustion Head	Stainless steel, precision stamping. No change for entire firing range.

Fuente: (Wayne – venament.com, 2019)

8.20.2. 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: 1353,5 RPM, sin embargo, al no existir en el mercado un motor con la cantidad específica de revoluciones, se utilizará un motor con 1500 rpm.

Especificaciones:

Motor eléctrico Weg

- Voltaje: 127 /220 V
- Potencia: 1 HP
- RPM: 1750
- Polos: 4
- Alimentación: Monofásico

Figura 6: Motor eléctrico Weg



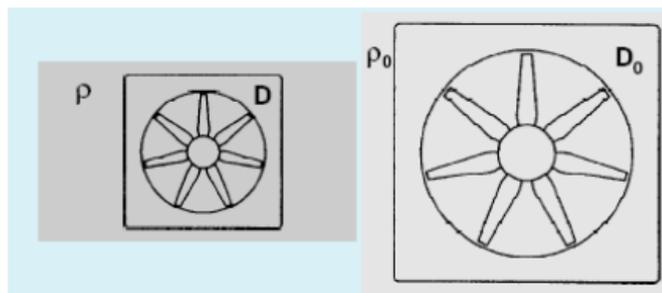
Fuente: (Escuela Politécnica del Ejercito, 2010)

8.20.3. Ventilador

Para la selección del ventilador se toma en cuenta las condiciones a las que va a funcionar, en este caso el ventilador va a ser el encargado de enviar el aire caliente al interior de la cámara de curado.

Sin embargo, para este caso se necesita que el ventilador suministre una velocidad de flujo de 0,8 a 2 m/s, debido a que se trabaja con pintura en polvo, en función de ello se procede a realizar el cálculo en función del diámetro del ventilador los RPM y velocidad. **Diámetro**= 0,45 (m) **Caudal**= 5,07 (m³/s) **Rpm**= 1700 (rpm)

Figura 7: Ventilador axial



Fuente: (Escuela Politécnica del Ejercito, 2010)

9. HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTA CIENTÍFICA

La implementación de un sistema de convección forzada mediante combustión a gas en el horno de curado de la empresa Metal Electric aumentará el desempeño térmico.

9.1.Variable dependiente:

Temperatura de polimerización.

Tiempos de curado.

9.2.Variable independiente:

Sistema de convección forzada

10. METODOLOGÍA

En el proyecto de una propuesta tecnológica se ha utilizado el método tecnológico, que válida resultados de un proceso de creación de un objeto, que se da en base al uso de varias teorías, aplicándolas a un determinado proyecto tecnológico, se toma en cuenta varias teorías tanto físicas, químicas y de investigación bibliográfica documental.

10.1. Métodos de investigación

Los métodos que se muestra a continuación permiten realizar la presente investigación

10.2. Método hipotético-deductivo.

A través de este método se parte de la observación del proceso industrial, se crea la hipótesis, se deduce posteriormente que al aumentar el desempeño térmico en el horno de curado se logrará reducirá los tiempos de curado en el proceso de pintado

10.3. Método inductivo-deductivo

Este método se aplica para la caracterización de cada una de las etapas del desarrollo productivo de la empresa Metal Electric, comprendidas por fosfatado, secado, transportado, aplicación de la pintura electrostática, curado de los paneles modulares. Control de calidad Consideraciones de la influencia que estos tienen en la eficiencia productiva de la empresa.

10.4. Tipos de investigación

10.5. Investigación de campo.

La investigación de campo se usa para este estudio porque permite estudiar la situación actual del horno de curado, a través del manejo de las variables in situ, que permitan diagnosticar los

problemas que la afectan, para aplicar los conocimientos de manera práctica a fin de darles solución.

10.6. Investigación descriptiva.

El tipo de investigación descriptiva es usada en este estudio para describir, graficar e identificar los aspectos más relevantes del horno de curado, que conlleven a la resolución del problema en cuestión. Este es guiado por la hipótesis del trabajo la cual es, si se aumenta el desempeño térmico del horno de curado, se logrará disminuir los tiempos de curado, la misma que será puesta a prueba.

10.7. Investigación explicativa.

Se utiliza esta investigación ya que el presente estudio busca determinar las causas y consecuencias del mal desempeño térmico que tiene el horno de curado, para que de esta forma permita la resolución del problema.

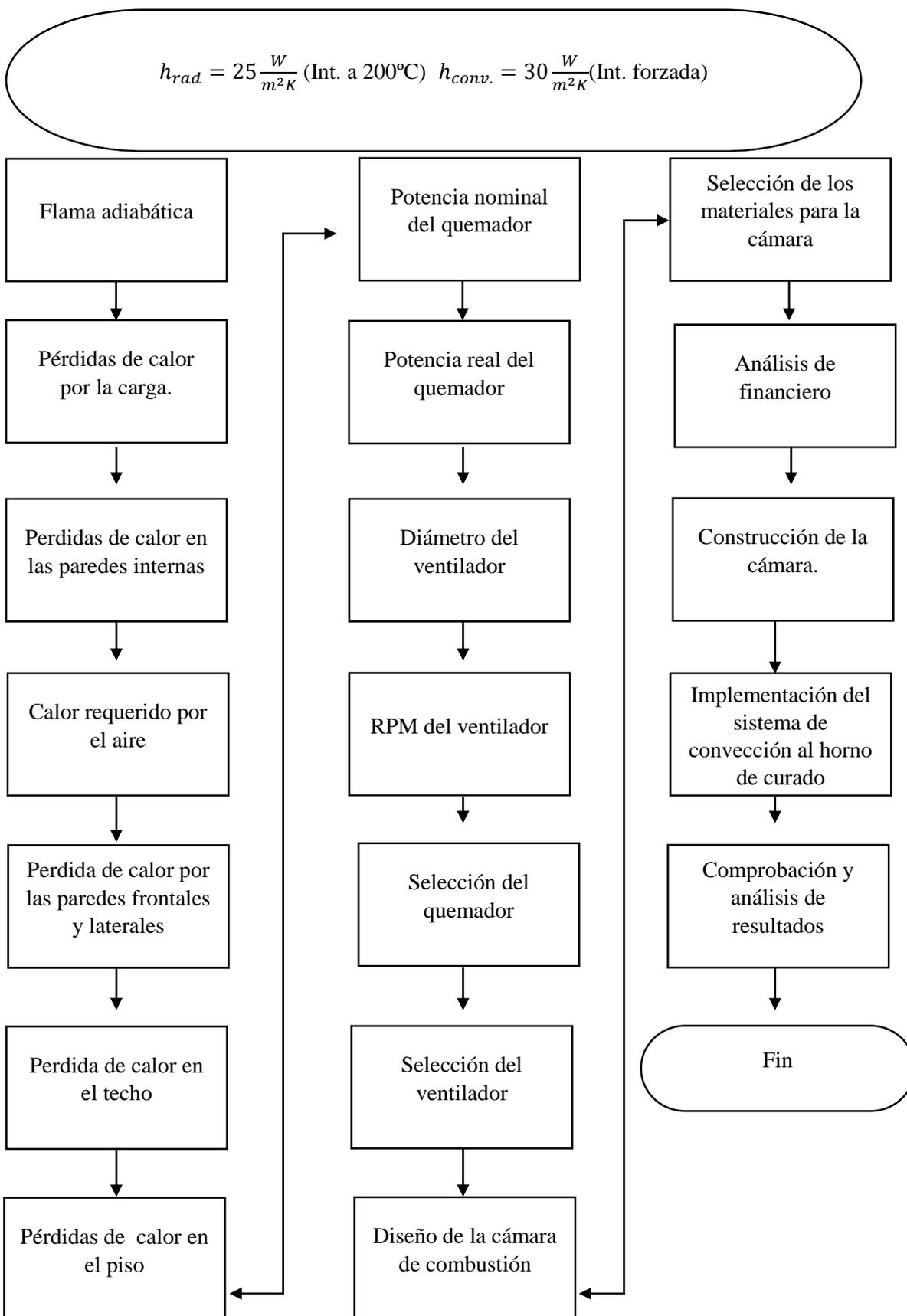
10.8. Técnicas de investigación.

10.8.1. Observación.

Sin duda la técnica de la observación permite identificar en primera instancia el estado del horno de curado y cuál es la máxima temperatura que alcanza y determinando los tiempos de curado de los paneles modulares, para luego analizar problemas.

11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

FLUJOGRAMA DE PROCESO DE CÁLCULOS



11.1. Análisis de la combustión a gas

11.1.1 Análisis del combustible

Es muy importante realizar un análisis del combustible, ya que al quemar el combustible se tienen que tomar en cuenta muchas variables y factores como el exceso de aire que se requiere, la cantidad de calor que suministra el combustible, la temperatura de flama, la resistencia de los materiales a la temperatura.

En esta parte del capítulo, se pretende principalmente determinar la temperatura de flama adiabática con la que trabajará el intercambiador de calor. Todo esto con el fin de no afectar a los materiales con los que estará construido el intercambiador de calor, y además con la finalidad de transferir la suficiente cantidad de calor que requiere el horno para su adecuado funcionamiento.

Para determinar la temperatura de flama adiabática se tiene que obtener la ecuación de estequiometría de los reactivos y los productos de la combustión. Para ello, se debe conocer las características del combustible.

11.2. Características del combustible

El butano comercial es un gas licuado, obtenido por destilación del petróleo, compuesto principalmente por butano normal (60%), propano (9%), isobutano (30%) y etano (1%).[12]

- Color: incoloro.
- Olor: sustancia inodora cuando es pura
- Densidad relativa de vapor (aire=1): 2.1
- Solubilidad en agua: 3.25 ml/100 ml a 20 °C
- Punto de ebullición: -1 °C
- Punto de fusión: -138 °C
- Masa molar: 58 g/mol
- Poder calorífico superior: 49 608 kJ/kg aprox.
- Entalpía de combustión: -2 880 kJ/mol [12]

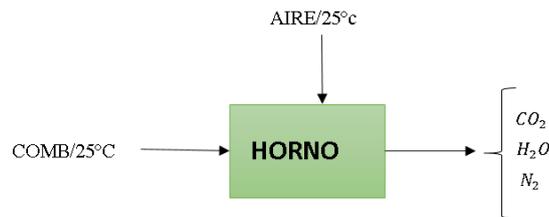
- Estequiometría del gas butano $C_4H_{10} + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$

En esta parte del capítulo, se pretende principalmente determinar la temperatura de flama adiabática con la que trabajará el intercambiador de calor. Todo esto con el fin de no afectar a los materiales con los que estará construido el intercambiador de calor, y además con la finalidad de transferir la suficiente cantidad de calor que requiere el horno para su adecuado funcionamiento. [11]

11.3. Temperatura de flama adiabática

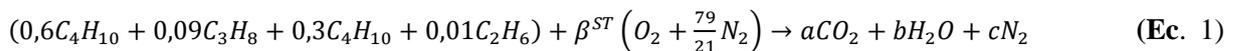
La temperatura de flama adiabática es la temperatura máxima que alcanzan los productos de la combustión. Para encontrar la temperatura de la flama adiabática hay que realizar el balance de masas. A continuación, se muestra gráficamente las condiciones del aire y combustible en el horno.

Condiciones a las que entra el aire y el combustible



Tanto el aire como el oxígeno entran a 25°C al horno, los cuales después de la combustión dan como resultado dióxido de carbono, agua y nitrógeno

Para realizar el cálculo se procede primeramente a balancear la ecuación:



Una vez encontrada la ecuación estequiométrica se procede a encontrar las diferentes variables, mediante el balance atómico se procede a encontrar el valor de cada uno de los componentes:

C: $0,6*(0,4)+0,09*(3)+0,3*(0,4)+0,01*(2)= a*(1)$

H: $0,6*(10)+0,09*(8)+0,3*(10)+0,01*(0,6)*=b*(2)$

O: $\beta^{ST} (2) = a(2) + b(1)$

N: $\beta^{ST} (3,76(2)) = c(2)$

Dando como resultado lo siguiente:

Tabla 6: Temperatura de la flama adiabática

aCO₂	3,89	$\left[\frac{kmol}{s}\right]$
bH₂O	4,89	$\left[\frac{kmol}{s}\right]$
BST	6,34	$\left[\frac{kmol(O_2)}{kmol_{comb}}\right]$
cN₂	23,8196	$\left[\frac{kmol}{s}\right]$

Fuente: Cueva M, Chiluisa N.

Una vez encontrado el B^{ST} , se realiza el cálculo para encontrar el alfa estequiométrica α^{ST} , el mismo que es la cantidad de aire por kg de combustible, para lo cual se deduce la siguiente ecuación:

$$\alpha = \beta_{02}^{ST} * \frac{1}{\frac{X_{O_2}}{AIRE}} * \frac{MM_{aire}}{MM_{comb}} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

β_{02}^{ST} Beta estequiométrica

α^{ST} Alfa estequiométrica

MM (aire): Masa molar del aire

MM (combustible): Masa molar del combustible

Sustituyendo los valores se obtiene lo siguiente:

$$MM(\text{aire}) = (0,21 * (16)(2)) + (0,79 * (14)(2)) = 28,84 \left[\frac{kg}{kmol}\right]$$

$$MM(\text{comb}) = (0,6 * 58) + (0,09 * 44) + (0,3 * 58) + (0,01 * 30) = 56,46 \left[\frac{kg}{kmol}\right]$$

$$\alpha^{ST} = 6,335 * \frac{1}{0,21} * \frac{28,84}{56,46} = 15,41 \left[\frac{kg(\text{aire})}{kg(\text{comb})}\right]$$

Para una combustión completa del GLP se requiere un exceso de aire del 30%, [14] para ello este valor se sustituye en la siguiente ecuación, dicha ecuación que sirve para hallar la relación aire combustible. Donde ϵ es igual al exceso de aire existente en el proceso.

$$\epsilon = \frac{\alpha - \alpha^{ST}}{\alpha^{ST}} \Rightarrow (\alpha = (\epsilon * \alpha^{ST}) + \alpha^{ST}) = 20,032 \left[\frac{kg_{aire}}{kg_{comb}}\right] \quad (\text{Ec. 3})$$

Además, se hallará el balance de energía con la finalidad de encontrar la cantidad de temperatura de la flama adiabática.

11.4. Balance de energía

$$m_{aire}Cp_{aire} * (T_{aire} - 25) + m_{comb}[Cp_{comb} * (T_{comb} - 25) + LHV] = \phi_{out} + m_{GS}Cp_{GS} * (T_{GS} - 25) \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

Tabla 7: Balance de energía

DATOS	VALORES
m_{comb}	$1 \left[\frac{kg}{s} \right]$
$m_{aire} = \alpha * m_{comb}$	$20,03 \left[\frac{kg}{s} \right]$
$m_{GS} = m_{comb} + m_{aire}$	$298,15 \left[\frac{kg}{s} \right]$
T_{aire}	298 [K]
T_{comb}	298 [K]
Cp_{aire}	$1 \left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right]$
Cp_{comb}	$2,299 \left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right]$
Cp_{GS}	$1,097 \left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right]$

Fuente: Cueva M, Chiluisa N.

$$m_{aire}Cp_{aire} * (T_{aire} - 25) + m_{comb}[Cp_{comb} * (T_{comb} - 25) + LHV] = \phi_{out} + m_{GS}Cp_{GS} * (T_{GS} - 25)$$

Se eliminan tres valores debido a que la temperatura del aire y combustible es de 25 °C, debido a ello se hacen cero dichos valores y la θ_{out} es cero, a causa que no existe.

$$LHV = m_{GS} * Cp_{gs} * (T_{GS} - 25) \quad (\text{Ec. 5})$$

Se despeja TGS (temperatura de los gases de salida) y se reemplaza los valores:

$$T_{GS} = \frac{LHV}{m \cdot c_p} + 25 \quad (\text{Ec. 6})$$

$$\text{TGS} = \frac{((0,6 \cdot (45685,096)) + (0,09 \cdot (46295,96)) + (0,3 \cdot (45567,944)) + (0,01 \cdot (47429,824)))}{(19,2816625 \cdot 1,716)} + 298 = 2279,71 \text{ [K]}$$

$$\text{TGS} = 2006,71 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

La temperatura de la flama adiabática es de 2006,71 [°C], este dato es muy importante, ya que mediante esta se construirá la cámara de combustión, misma que tendrá que soportar, un poco más de 2000 °C, por lo tanto, los materiales a utilizar, deberán tener características idóneas para trabajar a altas temperaturas, sin que se produzcan daños en estos materiales.

11.5. Análisis térmico del horno de pintura electrostática:

11.5.1. Calor requerido por la carga y el horno

Para evaluar los requerimientos del horno es necesario determinar la cantidad de calor que necesita la carga y el horno (Qc). Por esto, se debe conocer la carga másica más crítica (mc), el calor específico del acero ASTM A-36 con el que son fabricados los paneles o moducam (Cpc), y la variación de temperatura (Tmax - Tmin). Para calcular la cantidad de calor que se necesita se utiliza la siguiente ecuación:

El peso de cada panel es de 55 [kg], al ser un lote de 5 unidades las que se someten al curado se obtiene una carga de 275 [kg]

$$mc = 275 \text{ [kg]}$$

Carga del horno

$$T_{\text{max}} = 220^\circ\text{C o } 493 \text{ [K]}$$

Temperatura del horno

$$T_{\text{min}} = 10^\circ\text{C o } 293 \text{ [K]}$$

Temperatura de entrada de la carga en un día frío

$$T_{\text{med}} = \frac{T_{\text{max}} + T_{\text{min}}}{2}$$

(Ec. 7)

$$T_{\text{med}} = \frac{220 + 10}{2}$$

$$T_{\text{med}} = 115 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Para calcular la cantidad de calor se utilizará la ecuación:

$$Q_c = mc * C_p(T_{max} - T_{min}) \quad (\text{Ec. 8})$$

$$Q_c = 275[\text{kg}] * 0,46 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \right] (493[\text{K}] - 283[\text{K}])$$

$$Q_c = 26565 \text{ [kJ]}$$

Donde:

Q_c : Calor en las paredes interiores

mc : 275 [kg] masa de las paredes interiores

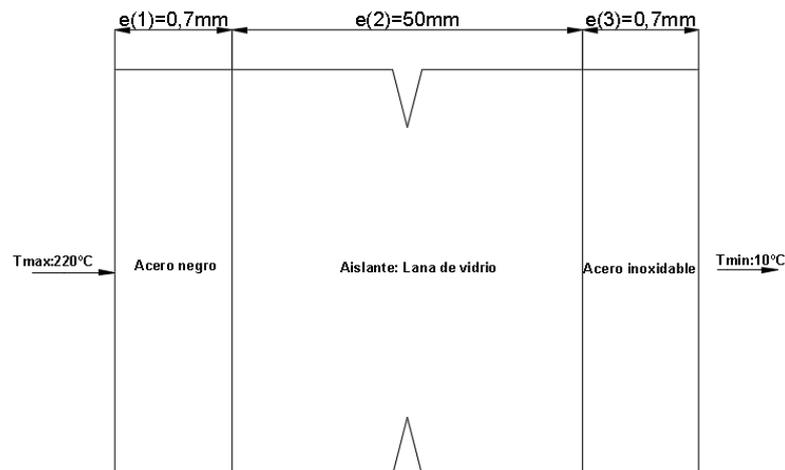
C_p : 0,46 $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \right]$ Calor específico del acero negro

11.6. Cálculo de pérdidas de energía en las paredes internas del horno

En los sistemas térmicos, normalmente no existen aislantes perfectos, por lo que generalmente existirán pérdidas energéticas. Este caso no es la excepción. Por lo tanto, es necesario calcular la cantidad de energía que pierde en el horno en sus paredes interiores, para ello se necesita encontrar la masa total de las paredes interiores (m_{pi}), utilizando como datos el volumen de las paredes interiores (V) y la densidad (ρ), misma que es homogénea para todo el horno ya que sus paredes interiores están construidas de acero negro, este cálculo se lo hace para que su diseño térmico se ajuste a la realidad.

A continuación, se muestra un esquema de cómo están construidas las paredes del horno:

Fig. 8: Pared del horno de curado



Fuente: Cueva M, Chiluisa N.

El cálculo del calor a impartir a las paredes interiores del horno es el siguiente:

$$Q_{pi} = m_{pi} * C_{p_{pi}} * (T_{max} - T_{min}) \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

Q_{pi} Calor paredes interiores

$$m_{pi} = V * \rho_{pi} \quad (\text{Ec. 10})$$

$$m_{pi} = 0,034[m^3] * 7820 \left[\frac{kg}{m^3} \right] = 265,88 [kg]$$

Sustituyendo valores en la ecuación anterior nos da como resultado lo siguiente:

$$Q_{pi} = 2667,59 [kg] * 0,46 \left[\frac{kJ}{kg.K} \right] * (493[K] - 283[K]) = 25684,01 [kJ]$$

11.7. Cantidad de calor que necesita absorber el aire

Debido a que el proceso de convección se necesita conocer la cantidad de calor en forma de energía que va a absorber el aire por lo que se realiza el siguiente cálculo, con la finalidad de conocer la cantidad ideal de energía que requiere el horno.

Primeramente, se debe encontrar la masa de aire que existe en la cámara del horno. Se debe tomar en cuenta las condiciones ambientales a la que se encuentra expuesto, las condiciones son a las que están expuestos en Tambillo.

Datos:

$$\Delta T: 210[^\circ C]$$

$$\rho (1): 1,2446 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad \text{Densidad del aire a } 10^\circ C$$

$$\rho (2): 0,9290 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad \text{Densidad del aire a } 2750 \text{ msnm}$$

$$\rho: 1,225 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad \text{Densidad al nivel del mar}$$

$$C_p: 1,027 \left[\frac{kJ}{kg^\circ C} \right] \quad \text{Calor específico}$$

$$V: 13,37 [m^3] \quad \text{Volumen del horno}$$

G: Gravedad relativa

$$G = \frac{\rho^{(2)}}{\rho} \quad (\text{Ec. 11})$$

$$G = \frac{0,9290 \left[\frac{kg}{m^3} \right]}{1,225 \left[\frac{kg}{m^3} \right]}$$

$$G=0,758$$

Masa del aire en el interior

$$m_{aire} = V * \rho * G \quad (\text{Ec. 12})$$

$$m_{aire} = 13,37[m^3] * 1,225 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 0,758$$

$$m_{aire} = 12,42073[kg]$$

Cantidad de aire que se va a utilizar

$$Q_{aire} = m_{aire} * Cp_{aire} * (Tmax - Tmin)$$

(Ec. 13)

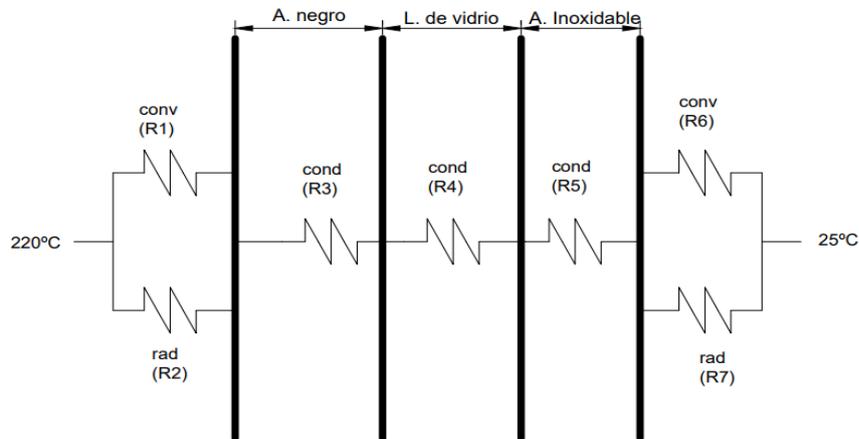
$$Q_{aire} = 12,42073[kg] * 1,225 \left[\frac{kJ}{kg.K} \right] * (210[K])$$

$$Q_{aire} = 2678,779[kJ]$$

11.8. Dimensiones de las paredes del horno

Para calcular la cantidad de calor que se pierde por conducción, convección y radiación al ambiente, se puede hacer una analogía eléctrica de resistencias térmicas. De esta analogía se obtiene el siguiente resultado gráfico:

Fig. 9: Pared del horno de curado



Fuente: Cueva M, Chiluisa N.

11.9. Analogía eléctrica en las paredes del horno

En este gráfico la R1 y R2 corresponden a la convección y radiación respectivamente, R3 corresponde a la placa interior del horno, R4 al aislante térmico y R5 a la pared exterior del horno. R6 corresponde a la resistencia por convección al exterior del horno y finalmente R7 corresponde a la resistencia debido a la radiación.

Ya teniendo el esquema de las resistencias térmicas, se procede a calcularlas para conocer cuál es la cantidad de energía que se pierde en las paredes del horno.

El coeficiente de convección por aire en el interior del horno es de $30 \left[\frac{W}{m^2.K} \right]$, debido a que es convección forzada, misma que va desde los 25 a $100 \left[\frac{W}{m^2.K} \right]$, R1 y R2 se calcularán con este dato.[15]

11.10. Resistencias térmicas en las paredes laterales y frontales internas del horno

El cálculo de las resistencias en las paredes internas del horno, se lo realiza con la finalidad de conocer la cantidad de calor que absorbe y pierde el proceso de curada.

Resistencia a la convección y radiación

Convección

$$R_{conv} = \frac{1}{h.A} \quad (\text{Ec. 14})$$

Datos:

$$h = 30 \left[\frac{W}{m^2.K} \right]$$

$$A = 21,12 \text{ [m}^2\text{]}$$

Sustituyendo valores tiene lo siguiente:

$$R1 = 0,002 \left[\frac{K}{W} \right]$$

Radiación

Datos:

$$\Theta: 5,70E-08 \left[\frac{W}{m^2.K^4} \right] \quad \text{Constante de Stefan Boltzaman}$$

$$\epsilon: 0,52 \quad \text{Emisividad del acero negro}$$

$$T_p: 250 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \text{Temperatura de la superficie}$$

$$T_{min}: 220 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \text{Temperatura mínima}$$

$$hr = 25 \left[\frac{W}{m^2.K} \right] \quad (\text{Ec. 15})$$

$$R2 = \frac{1}{hr.A}$$

$$R2 = 0,002 \left[\frac{K}{W} \right]$$

Resistencia equivalente

$$Req = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R} \quad (\text{Ec. 16})$$

$$Req = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}} = 0,009 \left[\frac{K}{W} \right]$$

Resistencia de las paredes interiores del horno (R3) (R4) (R5)

$$Rcond = \frac{L}{k.A} \quad (\text{Ec. 17})$$

L= 0,0007 [m] Espesor de la pared interior

k= 58,7 $\left[\frac{W}{m.K} \right]$ Conductividad térmica del acero negro

A= 21,12 [m²] Área de las paredes laterales y frontales

$$R3 = 5,65E-07 \left[\frac{K}{W} \right]$$

$$R4 = \frac{L}{k.A}$$

L= 0,05 [m] Espesor del aislante, lana de vidrio

k= 0,041 $\left[\frac{W}{m.K} \right]$ Conductividad térmica

A=21,12 [m²]

$$R4 = 0,058 \frac{K}{W}$$

$$R5 = \frac{L}{k.A}$$

L= 0,0007 [m] Espesor de pared, acero inoxidable

k: 17 $\left[\frac{W}{m.K} \right]$ Conductividad térmica

A= 21,12 [m²] área Paredes laterales y frontales

$$R5 = 0,0028 \left[\frac{K}{W} \right]$$

R6 y R7, convección y radiación

Datos:

T_p : 25 [°C] Temperatura superficial

T_{min} : 10 [°C] Temperatura mínima

g : 9,8 $\left[\frac{m}{s^2}\right]$ Aceleración gravitacional

$\beta=0,1 \frac{1}{T_{min}}$ Coeficiente de expansión volumétrica

$L=2$ [m]

$\nu=1,56E-05$ $\left[\frac{m}{s}\right]$ Viscosidad cinemática

$Pr=0,7296$ Número de Prandtl

k (aire)= 0,02551 $\left[\frac{W}{m.K}\right]$ Conductividad térmica

A : 21,12 [m²] Área paredes laterales y frontales

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_p - T_{min}) \cdot L^3}{\nu} * Pr \quad (\text{Ec. 18})$$

$$Ra = 5493019,206$$

$$Nu. = 0,1 * Ra^{1/3}$$

$$Nu. = 17,64427044$$

$$h_{ext} = \frac{k \text{ (aire)} * Nu}{L} \quad (\text{Ec. 19})$$

$$h_{ext} = 0,23 \left[\frac{W}{m^2.K}\right]$$

$$R6 = \frac{1}{h_{ext} * A}$$

$$R6 = 0,21 \left[\frac{K}{W}\right]$$

Radiación exterior

Datos:

$\Theta: 5,70E-08 \left[\frac{W}{m^2.K^4} \right]$ Constante de Stefan Boltzaman

$\varepsilon: 0,3$ Emisividad del acero inoxidable

$T_p: 25 [^\circ C]$ Temperatura de la superficie

$T_{min}: 10 [^\circ C]$ Temperatura mínima

$$hr = \theta * \varepsilon * \frac{T_p^4 - T_{min}^4}{T_p - T_{min}} \quad (\text{Ec. 20})$$

$$hr = 0,004 \left[\frac{W}{m^2.K} \right]$$

$$R7 = \frac{1}{hr.A}$$

$$R7 = 109,12 \left[\frac{K}{W} \right]$$

Resistencia equivalente de convección y radiación

$$Req = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R} \quad (\text{Ec. 21})$$

$$Req = \frac{1}{\frac{1}{R6} + \frac{1}{R7}} = \frac{1}{\frac{1}{0,21} + \frac{1}{109,12}} = 0,21 \left[\frac{K}{W} \right]$$

Resistencia total

$$RT = Req(1) + R3 + R4 + R5 + Req(2) \quad (\text{Ec. 22})$$

$$RT = 0,009 + (5,6E - 07) + 0,058 + 0,0028 + 0,21 = 8,31E - 01 \left[\frac{K}{W} \right]$$

Coeficiente global de transferencia de calor

$$U = \frac{1}{RT * A} = \frac{1}{(8,31E-01) * 21,12} = 5,83E - 02 \left[\frac{W}{m^2.K} \right] \quad (\text{Ec. 23})$$

Tasa calor perdido por las paredes laterales y frontales

Con este dato se puede determinar el flujo de calor que pasa por las paredes laterales y frontales del horno de pintura electrostática y para ello tiene los siguientes datos:

Datos:

A: 21,12 [m²] Área de las paredes laterales y frontales

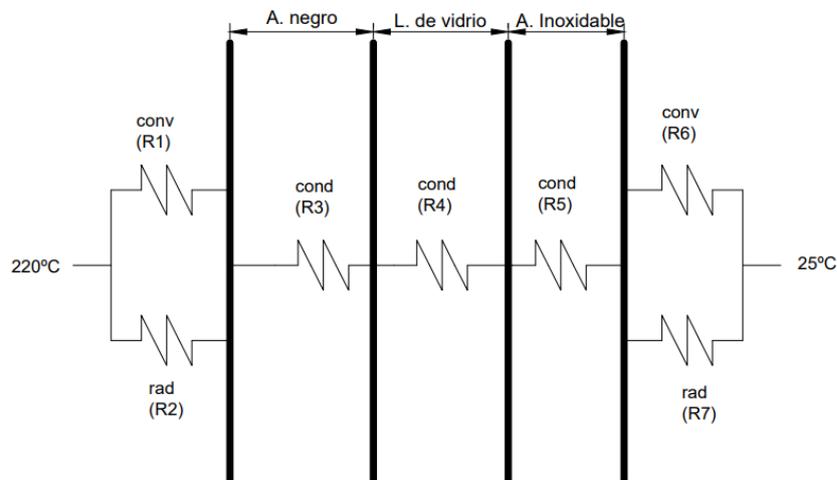
Tmax: 220 [°C]

Tmin: 25 [°C]

$$Q_{perdido} = \frac{U * A * (T_{max} - T_{min})}{1000} = 0,240 [kW] \quad (\text{Ec. 24})$$

11.11. Resistencia térmica del Techo

Fig. 10: Pared del techo del horno de curado



Fuente: Cueva M, Chiluisa N.

El proceso de cálculo es el mismo que se utilizó para hallar la pérdida de calor en las paredes laterales y frontales, con la diferencia del área de tomado para el mismo.

Resistencia a la convección y radiación en el techo

Convección

$$R_{conv} = \frac{1}{h \cdot A}$$

Datos:

$$h = 30 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$A = 6,6887 \text{ [m}^2\text{]}$$

Sustituyendo valores se obtiene lo siguiente:

$$R1 = 4,984E-03 \left[\frac{K}{W} \right]$$

Radiación

Datos:

$$\Theta = 5,70E-08 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right] \quad \text{Constante de Stefan Boltzaman}$$

$$T_p = 250 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \text{Temperatura de la superficie}$$

$$T_{min} = 220 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \text{Temperatura mínima}$$

$$hr = 25 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad \text{(Ec. 25)}$$

$$R2 = \frac{1}{hr \cdot A}$$

$$R2 = 0,006 \left[\frac{K}{W} \right]$$

Resistencia equivalente

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = 0,0027 \left[\frac{K}{W} \right]$$

Resistencia del techo (R3) (R4) (R5)

$$R_{cond} = \frac{L}{k \cdot A}$$

$$L = 0,0007 \text{ [m]}$$

Espesor de la pared interior

$$k = 58,7 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

Conductividad térmica del acero negro

$$A = 6,6887 \text{ [m}^2\text{]}$$

Área del techo

$$R_3 = 1,78E-06 \left[\frac{K}{W} \right]$$

$$R_4 = \frac{L}{k \cdot A}$$

$$L = 0,05 \text{ [m]}$$

Espesor del aislante, lana de vidrio

$$k = 0,041 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

Conductividad térmica

$$A = 6,6887 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$R_4 = 0,182 \left[\frac{K}{W} \right]$$

$$R_5 = \frac{L}{k \cdot A}$$

$$L = 0,0007 \text{ [m]}$$

Espesor de pared, acero inoxidable

$$k = 17 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

Conductividad térmica

$$A = 6,6887 \text{ [m}^2\text{]}$$

Área techo

$$R_5 = 0,0088 \left[\frac{K}{W} \right]$$

R6 y R7, convección y radiación

Datos:

T_p : 25 [°C] Temperatura superficial

T_{min} : 10 [°C] Temperatura mínima

g : 9,8 $\left[\frac{m}{s^2}\right]$ Aceleración gravitacional

β =0,1 $\left[\frac{1}{T_{min}}\right]$ Coeficiente de expansión volumétrica

L = 2 [m]

ν = 1,56E-05 $\left[\frac{m^2}{s}\right]$ Viscosidad cinemática

Pr = 0, 7296 Número de Prandtl

k (aire)= 0,02551 $\left[\frac{W}{m.K}\right]$ Conductividad térmica

A : 6,6887 [m²] Área paredes del techo

$$Ra = \frac{g * \beta * (T_p - T_{min}) * L^3}{\nu} * Pr$$

$$Ra = 5493019,206$$

$$Nu. = 0,1 * Ra^{1/3}$$

$$Nu. = 17,64427044$$

$$h_{ext} = \frac{k (aire) * Nu}{L} = \frac{0,02551 \frac{W}{m.K} * 17,6443}{2 [m]}$$

$$h_{ext} = 0,23 \left[\frac{W}{m^2.K}\right]$$

$$R6 = \frac{1}{h_{ext} * A} = \frac{1}{0,23 \left[\frac{W}{m^2.K}\right] * 6,6887 [m^2]}$$

$$R6=0,66 \left[\frac{K}{W} \right]$$

Radiación exterior

Datos:

$\Theta: 5,70E-08 \left[\frac{W}{m^2.K^4} \right]$ Constante de Stefan Boltzaman

$\epsilon: 0,3$ Emisividad del acero inoxidable

$Tp: 25 [^{\circ}C]$ Temperatura de la superficie

$Tmin: [10 ^{\circ}C]$ Temperatura mínima

$$hr = \theta * \epsilon * \frac{Tp^4 - Tmin^4}{Tp - Tmin}$$

$$hr = 0,004 \left[\frac{W}{m^2.K} \right]$$

$$R7 = \frac{1}{hr.A}$$

$$R7=344,553 \left[\frac{K}{W} \right]$$

Resistencia equivalente de convección y radiación

$$Req = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R}$$

$$Req = \frac{1}{\frac{1}{R6} + \frac{1}{R7}} = \frac{1}{\frac{1}{0,66} + \frac{1}{344,553}} = 0,6630 \left[\frac{K}{W} \right]$$

Resistencia total

$$RT = Req(1) + R3 + R4 + R5 + Req(2)$$

$$RT = 0,0027 + (1,78E - 06) + 0,182 + 0,0088 + 0,6630 = 8,57E - 01 \left[\frac{K}{W} \right]$$

Coefficiente global de transferencia de calor

$$U = \frac{1}{RT * A} = \frac{1}{(8,57E - 01) * 6.6887} = 1,74E - 01 \frac{W}{m^2K}$$

11.11.1. Tasa de calor perdido por el techo

Datos:

A: 6,6887 m² Área del techo

Tmax: 220 °C

Tmin: 25 °C

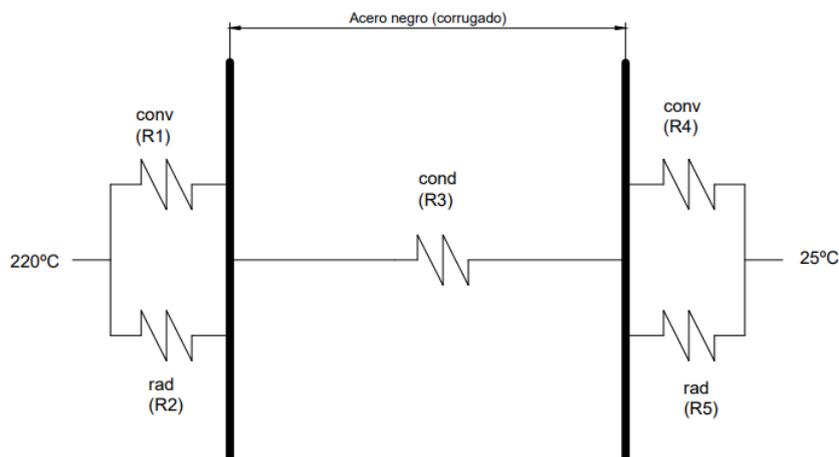
$$Q_{perdido} = \frac{U * A * (Tmax - Tmin)}{1000} = 0,23 [kW]$$

De igual manera se procede al cálculo tasa de pérdida de calor en el piso, ya que el piso está conformado solamente por acero negro corrugado, por ende, tiene una pérdida diferente de energía.

11.12. Resistencia térmica en el piso

Para las resistencias térmicas del piso se tomará como referencia el siguiente gráfico

Fig. 11: Piso del horno de curado.



Fuente: Cueva M, Chiluisa N.

Donde R1 y R2 corresponde a la convección y radiación respectivamente dentro del horno. R3 representa a la conducción térmica del acero negro, mientras que R4 y R5 pertenecen a la convección y radiación en el exterior de la cámara.

Convección

$$h_{int} = 30 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$R1 = \frac{1}{hr * A} = \frac{1}{30 * 6,6887} = 0,00498 \left[\frac{K}{W} \right]$$

Radiación

Datos:

$$\Theta: 5,70E-08 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right] \text{ Constante de Stefan Boltzaman}$$

Tp: 250 [°C] Temperatura de la superficie

Tmin: 220 [°C] Temperatura mínima

$$hr = 25 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \tag{Ec. 26}$$

$$R2 = \frac{1}{hr \cdot A}$$

$$R2 = 0,006 \left[\frac{K}{W} \right]$$

Resistencia equivalente

$$Req = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R}$$

$$Req = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}} = \frac{1}{\frac{1}{0,00498} + \frac{1}{0,097}} = 0,0027 \left[\frac{K}{W} \right]$$

Resistencia térmica de acero negro corrugado R3

Donde:

L: 0,002 Espesor de la pared

k: 58,7 W/m. K Conductividad térmica del acero negro

A: 6,6887 m² Área del piso

$$R3 = \frac{1}{k * A} = \frac{1}{58,7 * 6,6887} = 0,3E - 06 \left[\frac{K}{W} \right]$$

Resistencias por convección y radiación del piso

Datos:

Tp: 25 °C Temperatura superficial
Tmin: 10 °C Temperatura mínima
g: 9,8 m/s Aceleración gravitacional
β: 0,1 (1/Tmin) Coeficiente de expansión volumétrica
L: 3m
ν: 1,56E-05 m/s Viscosidad cinemática
Pr: 0,7296 Número de Prandtl
k (aire): 0,02551 W/m. K Conductividad térmica
A: 6,6887 m² Área del piso

$$Ra = \frac{g * \beta * (Tp - Tmin) * L^3}{\nu} * Pr$$
$$Ra = \frac{9,8 * 0,1 * (25 - 10) * 3^3}{1,56E - 05} * 0,7296$$
$$Ra = 18538939,8$$

$$Nu = 0,1 * Ra^{\frac{1}{3}}$$
$$Nu = 0,1 * 18538939^{\frac{1}{3}}$$
$$Nu = 26,4664057$$

$$h_{ext} = \frac{k_{aire} * Nu}{L}$$
$$h_{ext} = \frac{0,02551 * 26,4664}{3}$$
$$h_{ext} = 0,23 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$R4 = \frac{1}{hr * A} = \frac{1}{0,23 * 6,6887} = 0,66 \left[\frac{K}{W} \right]$$

Radiación

Datos:

ϵ : 0,3 Emisividad del acero inoxidable

Θ : 5,70E-08 Constante de Boltzman

T_p : 25 °C Temperatura de la superficie

T_{min} : 10°C Temperatura mínima

$$R5 = \frac{1}{hr \cdot A} = \frac{1}{0,0004 * 6,6887} = 344,553 \left[\frac{K}{W} \right]$$

Resistencia equivalente

$$Req = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R}$$

$$Req = \frac{1}{\frac{1}{R4} + \frac{1}{R5}} = \frac{1}{\frac{1}{0,66} + \frac{1}{344,553}} = 0,6630 \left[\frac{K}{W} \right]$$

Resistencia térmica total piso

$$RT = Req(1) + R3 + Req(2)$$

$$RT = 0,002718 + (5,09E - 06) + 0,6630$$

$$RT = 6,66E-01 \left[\frac{K}{W} \right]$$

Coefficiente global de transferencia de calor en el piso

$$U = \frac{1}{RT * A} = \frac{1}{(6,66E - 01) * 6.6887} = 2,25E - 01 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

11.12.1. Tasa de calor perdido en el piso

Datos:

A: 6,6887 m² Área del piso

Tmax: 220 °C

Tmin: 25 °C

$$Q_{perdido} = \frac{U \cdot A \cdot (T_{max} - T_{min})}{1000} = \frac{(2,25E-01) \cdot 6,6887 \cdot (220 - 25)}{1000} = 0,3 [kW]$$

11.13. Potencia total requerida por el horno

En este punto del diseño ya se ha determinado la cantidad total de energía que se requiere para calentar la carga y además se conoce el flujo de calor que se pierde entre las paredes del horno y el ambiente. Con todos estos datos se puede determinar la potencia que requiere el horno. Con la finalidad de mantener un nivel de producción adecuado, se ha impuesto un tiempo de calentamiento del horno de 30 minutos (1800 s). Partiendo de estas premisas y de los valores obtenidos previamente la potencia del horno se calcula de la siguiente manera. (CENGEL – BOLES, 2011)

Primero se determina la potencia requerida por la carga, el horno y el aire.

Dato:

$t = 1800s$, es el tiempo que demora en calentarse el horno hasta llegar a la temperatura idónea para el funcionamiento adecuado

$$Q = \frac{Q_{carga} + Q_{paredes\ int} + Q_{aire}}{t} \quad (\text{Ec. 27})$$

$$Q = \frac{19803[kJ] + 48300[kJ] + 2678,779[kJ]}{1800 [s]}$$

$$Q = 30,52 [kW]$$

Calor a impartir al ambiente

$$Q_{amb} = Q_{p.int} + Q_{techo} + Q_{piso} \quad (\text{Ec. 28})$$

$$Q_{amb} = 0,24 + 0,23 + 0,3$$

$$Q_{amb} = 0,76 [kW]$$

11.14. Potencia requerida por el horno

$$QT = Q + Q_{amb} \quad (\text{Ec. 29})$$

$$QT = 30,52 [kW] + 0,77 [kW]$$

$$QT = 31,28 [kW]$$

11.15. Potencia real del quemador

Para analizar la potencia real del quemador se debe tener en cuenta la pérdida de potencia del mismo, la pérdida de potencia se debe principalmente a la altura donde se encuentra trabajando, según las especificaciones del quemador, este pierde un 10% de su potencia por cada 1000 metros de altura y Tambillo se encuentra a 2750 msnm, por consiguiente, para el análisis, para encontrar el porcentaje de potencia que pierde se realiza una regla de tres simple dando como resultado lo siguiente:

$$\begin{array}{cc} 1000 & 10\% \\ 2750 & X \end{array}$$

Da como resultado 27,5 % de pérdida de potencia en la ciudad de Quito- Tambillo

$P_{nominal}$: Potencia nominal

P_{real} : Potencia real

%: porcentaje de pérdida de potencia

$$P_{real} = P_{nominal} * \% \quad (\text{Ec. 30})$$

$$P_{real} = 31,28 [kW] * 1,275$$

$$P_{real} = 40 [kW]$$

Donde:

t= tiempo que se demora en calentarse el horno [s]

Q_{amb} : calor impartido al ambiente

Q_c = Energía que necesita la carga. [kJ]

Q_{pi} = Energía requerida por las paredes interiores [kJ]

Q_t = Energía requerida por el techo y el horno [kJ]

Q_a = Calor requerido por el aire dentro de la cabina del horno [kJ]

11.16. Selección del Ventilador

Para la selección del ventilador se toma en cuenta las condiciones a las que va a funcionar y que función va a ejecutar, en este caso el ventilador va a ser el encargado de enviar el aire caliente al interior de la cámara de curado.

Sin embargo, para este caso se necesita que el ventilador suministre una velocidad de flujo de 0,8 a 2 $\left[\frac{m}{s}\right]$ [17], debido a que se trabaja con pintura en polvo. Primero se hallara el Diámetro hidráulico (D_h) el cual se lo calcula con la siguiente formula:

$$D_h = \frac{4 \cdot A}{p} \quad (\text{Ec. 31})$$

Donde.

A: área transversal al flujo del aire

p. perímetro

$$A = l * a \quad (\text{Ec. 32})$$

$$A = 3,17 * 2,11$$

$$A = 6,6887 [m^2]$$

$$p = l + l + l + l$$

$$p = (3,17 + 3,17 + 2,11 + 2,11) [m]$$

$$p = 10,56 [m]$$

$$D_h = \frac{4 * 6,6887 [m^2]}{10,56 [m]} = 2,53 [m]$$

El número de Nusselt viene dado por la siguiente ecuación:

$$Nu = \frac{h_{int} * D_h}{k_{aire}}$$

$$Nu = \frac{30 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] * 2,53 [m]}{0,02551 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]}$$

$$Nu = 2975,304$$

A continuación se tomara la ecuación de Colburn, el cual da como resultado el número de Nusselt.

$$Nu = 0,023 * Re^{0,8} * Pr^{0,4} \quad (\text{Ec. 33})$$

Donde:

Re: Número de Reynolds [adimensional]

Pr: Número de Prant del aire a condiciones de trabajo, cuyo valor a 200°C es de 0,7296, al despejar se obtiene la siguiente formula.

$$Re = \frac{Nu}{0,023 * Pr} \quad (\text{Ec. 34})$$

$$Re = \frac{2975,04}{0,023 * 0,7296}$$

$$Re = 177304,062$$

Para hallar la velocidad idónea en el interior del horno se tomara en cuenta lo siguiente, según W.Trinks [17], recomienda que la velocidad dentro de un horno industrial debe ser desde los $0,8 \left[\frac{m}{s} \right]$ hasta los $2 \left[\frac{m}{s} \right]$, con la finalidad de no afectar la pintura que se usa, en este caso se usa pintura en polvo que en cuyo caso de suministrarle demasiada velocidad de aire haría que esta se desprenda del elemento a curar. Para hallar el valor de la velocidad se utiliza la siguiente ecuación:

$$\mu = \frac{Re * \vartheta}{D_h} \quad (\text{Ec. 35})$$

Donde:

μ . Velocidad producida por el ventilador

ϑ . Viscosidad cinemática del aire a 200 [°C]

$$\mu = \frac{177304 * (3,455 * 10^{-5} \left[\frac{m^2}{s} \right])}{2,53[m]}$$

$$\mu = 2 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Para una velocidad de $2 \left[\frac{m}{s} \right]$ y según [3] el tamaño del ventilador debe ser de 0,45 [m] con 1700 [rpm].

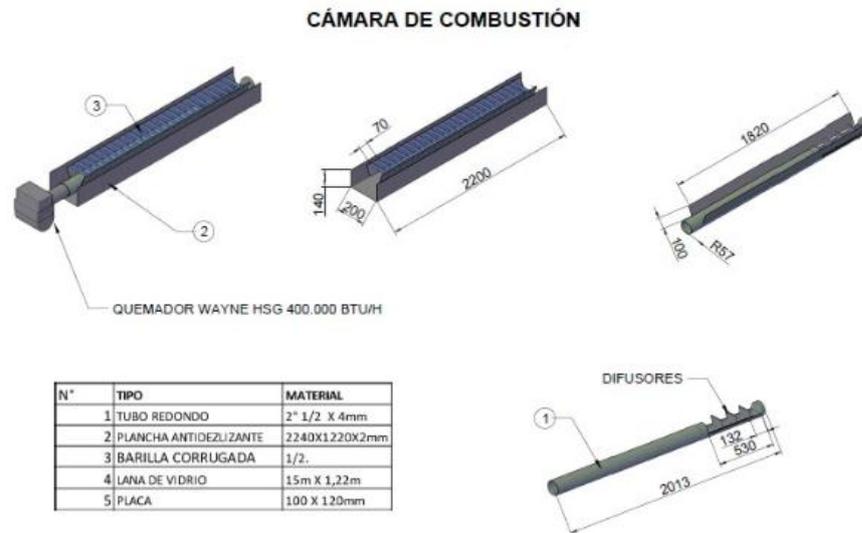
11.17. Diseño del sistema de convección forzada del horno de pintura electrostática

El sistema de convección forzada consta una cámara de combustión que es diseñada en base a los cálculos de resistencia de materiales y a los implementos que conlleva la misma, se toma programas de diseño como lo es AutoCAD en los cuales con los datos obtenido se procedió al diseño de esta manera se puede observar si el modelo cumple o no con los requerimientos establecidos.

El sistema de convección forzada mediante la combustión a gas se va a implementar en el horno de pintura electrostática y así alcanzar la temperatura de polimerización requerida y disminuir los tiempos de curado en los paneles modulares. En los anexos III de la Fig.1 se aprecia el

diseño en 3D donde se puede observar el sistema y los conductos por donde va a circular las corrientes de aire caliente.

Figura 12: Diseño del sistema de convección forzada (cámara de combustión)



Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

12.2. Impacto técnico

La ejecución del presente proyecto de investigación, en el área técnica justifica significativamente la reducción de tiempos de curado de pintura electrostática de los paneles modulares. Además, permitirá alcanzar la temperatura requerida de 180°C-200°C que es la correcta para el proceso de polimerizado o fusión de la pintura con el panel.

La implementación del sistema de convección forzada en el horno de curado de la empresa Metal Electric permitirá una reducción significativa del tiempo de curado de pintura electrostática de los paneles modulares lo que permitirá aumentar la producción diaria y disminuirá el consumo de combustible.

12.3. Impacto ambiental

Contribuye en el ámbito ambiental con la quema del combustible más eficiente tendrá menos residuos de la combustión que se emana al medio ambiente, además la pintura en polvo al ser aplicada en una cámara de recuperación de pintura esta queda suspendida en las paredes y en el

piso la cual puede ser recuperada y reutilizada, al no existir contaminación es amigable con el ambiente, además esta pintura no requiere solventes tradicionales que al ser aplicada las partículas se dispersan por el aire, las características físicas de esta pintura son muy superiores a las pinturas tradicionales.

12.4. Impacto Económico

A nivel económico en la producción de pintado será más factible ya que al aumentar el desempeño térmico del horno de curado y disminuir los tiempos de curado de las piezas existirá un ahorro tanto para la empresa como para el cliente ya que el proceso se realizará más rápido y con mejor calidad esto hace que los costos de producción disminuyan

12.5. Impacto social

Mediante la rehabilitación del proceso de pintado, la empresa generara fuentes de trabajo en el sector rural del cantón Mejía, y comercializaran sus productos a nivel local y nacional, generando un desarrollo y dinamismo económico en su sector. Es por ello que acorde a los impactos sociales, las empresas necesitan implementar este sistema ya que es una nueva tecnología en pintado y garantizando la durabilidad y la calidad de la pintura.

13. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO

El análisis económico es la inversión que se requiere para la implementación del sistema de convección forzada mediante combustión a gas para el horno de curado de paneles modulares para la empresa Metal Electric. Es decir, todos los rubros que cubren para la construcción del sistema y se ha dividido en los siguientes costos:

- Costo de materiales
- Costos de fabricación
- Costo de ensamblaje y montaje
- Costo de materiales
- Costos indirectos
- Presupuesto total de inversión

13.1. Costos

13.2. Costo de materiales

Se considera materiales a toda aquella materia prima que se requiere para la fabricación de elementos constituyentes del horno y que se los obtiene a través de procesos de manufactura.

[13] (Tabla 8)

Tabla 8: Costo de Materiales

N°	Elementos	Material	Descripción	Cantidad	Costo	Precio
1	Estructura	Tubería Estructural Redondo	2" 1/2 x 4mm	1	\$81,24	\$87,74
2	Paredes externas	Plancha Acero	1220X2440X5mm	1	\$34,68	\$34,68
3	Paredes internas	Plancha antideslizante	2240X1220X2	1	\$48,54	\$48,54
4	Aislamiento	Lana de vidrio	15000 x 1220mm	1	\$43,84	\$43,84
6	Conductos de gas	Tubería de cobre	1" 1/2 x 2mm	1	\$22,34	\$22,34
Subtotal						\$237,14

Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

13.3. Costos de fabricación

Los costos de fabricación se refieren al costo que se realiza para la fabricación de los diferentes tipos de piezas o elementos que serán ensamblados en el cuarto de secado para su normal y eficiente funcionamiento. (Tabla 9)

Tabla 9: Costo de fabricación

N°	Elemento	Operación	Tiempo/hora	Costo/hora Obrero/máquina	Precio
1	Estructura	Corte	5	6	\$30
		Soldadura	3	6	\$18
2	Paredes internas	Corte	5	6	\$30
		Soldadura	3	6	\$18
3	Paredes externas	Corte	4	6	\$24
		Remachado	4	6	\$24
Total					\$144

Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

13.4. Costos de equipos

Son los costos de los equipos o instrumentos que, por su complejidad de construcción, se deben comprar en talleres o fábricas experimentadas en la fabricación de dichos elementos.

Tabla 10. Costo de Equipos

N°	Elementos	Descripción	Cantidad	Costo	Precio
1	Quemador	QUEMADOR P250AF GAS WAYNE	1	\$700	\$700
2	Ventilador	2000 CFM 0.50" c. w.	1	\$56,99	\$56,99
3	Motor eléctrico	Dayton 1HP	1	\$150	\$30
4	Cables	Cableado en general	1	\$80	\$80
TOTAL					986.99

Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

13.5. Costo de ensamblaje y montaje

Son los costos necesarios que se deben realizar para que el cuarto de montaje funcione correctamente y que su instalación sea garantizada para una larga vida útil.

Tabla 11: Costo de ensamblaje y montaje

Nº	Denominación	Costo
1	Ensamblaje y montaje de estructura	\$100
2	Instalación del sistema de ventilación	\$30
3	Instalación del cableado	\$20
SUBTOTAL		\$150

Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

13.6. Costos indirectos

Son todos aquellos rubros que no influyen en la fabricación del cuarto de secado pero que son necesarios para el desarrollo completo del proyecto.

Tabla 12: Costos indirectos

Denominación	Referencia de cálculo Tiempo/hora	Costo/hora	Precio
Diseño	24	\$2,40	\$57,6
Transporte	25	\$2,40	\$60
Contabilidad	5	\$2,40	\$12
Capacitación	2	\$30	\$60
Calibración	5	\$2,40	\$12
SUBTOTAL			\$201,60

Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

13.7. Presupuesto total de la inversión

El presupuesto de inversión total que se requiere para la implementación del sistema de convección forzada mediante combustión a gas para el horno de curado de paneles modulares para la empresa Metal Electric.

Tabla 13: Costo total de la inversión

Rubros	Valor
Costos de materiales	\$237,14

Costos de fabricación	\$144
Costos de equipos	\$986,99
Costos de Ensamblaje y Montaje	\$150
Costos Indirectos	\$201,6
Inversión Total	1719,29

Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

13.8. Análisis costo beneficio y retorno de la inversión

13.9. Costos existentes de funcionamiento

El horno de secado que se encuentra actualmente en operación fundamentalmente genera gastos de funcionamiento por los dos elementos necesarios para desarrollar las temperaturas requeridas y la convección forzada del aire dentro del mismo, como lo son el suministro de gas y el suministro de energía. Además de esto se debe tener en cuenta la mano de obra necesaria para la operación del mismo. Para cuantificar los consumos que realiza el horno en su funcionamiento se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Elementos que consumen gas.
- Elementos que consumen energía.
- Tiempo de funcionamiento mensual.
- Mano de obra por operación.

Tabla 14: Costo por curado de piezas con pintura electrostática

Descripción	Costo por mes
Consumo de Gas	\$75
Costo por Consumo de Energía	\$5
Costo de Mano de Obra	\$800
Total	\$880

Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

13.10. Relación costo beneficio favorable

Con todos estos datos, es posible calcular con cierta precisión la relación beneficio-coste que resultaría aumentar el desempeño térmico del horno de pintura electrostática. Para los cálculos, el ahorro en consumo de combustible se estima en un 66,6%, mientras que el consumo de la energía aumenta por la implementación de la válvula de gas y el ventilador para producir la convección forzada para aumentar la eficiencia. En cuanto al costo de la mano de obra se mantendrá a que el sistema trabaja con dos operadores.

Tabla 15: Comparación anual del gasto actual vs costo del proyecto

Descripción	Costos antes	Costo después
Consumo de gas	\$1800	\$900
Costo por consumo de energía SUBTOTAL	\$0	\$60
Costo de mano de obra	\$9600	\$9600
Proyecto (pago único)	N/A	\$1719,29
TOTAL	\$11400,00	\$12279,29

Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

Tabla 16: Tabla de piezas fabricadas anualmente

Detalles	Eficiencia del horno	Piezas fabricadas anualmente	Costo unitario de pieza pintada
Antes	75%	720	\$16
Después	100%	960	\$16

Fuente: Cueva M., Chiluisa N

Como se observa el proyecto tiene beneficios tanto en la reducción de gastos anuales como en el aumento de la producción. El principal objetivo del proyecto es aumentar el desempeño térmico del horno disminuyendo el tiempo de curado de los paneles modulares, al mismo

tiempo aumentar notablemente el número de piezas pintadas y el mejorar la calidad de la pintura.

Tabla 17: Comparación anual de la utilidad neta

Detalle	Costo de producción por pieza	Piezas fabricadas anualmente	Utilidad neta por pieza	Utilidad total
Antes	14,64	720	\$1,35	\$972
Después	\$10,40	960	\$5,6	\$5376

Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

13.11. Retorno de la inversión

El retorno de la inversión se calculó en un lapso de tiempo no mayor a 12 meses como se aprecia en la (tabla 18). Ya que dicho gasto por la implementación del proyecto es un poco mayor que los gastos totales al año por la operación del horno del secado durante una producción en la línea de pintura y estos pueden ser respaldados por el aumento de piezas a pinta. Además, al aumentar la producción amortiza el gasto por la implementación del proyecto que este se verá reflejado como pago único.

Tabla 18: Tabla de pagos

Tabla de pagos			
MESES	MONTO	CUOTA	SALDO
1 MES	\$1719,29	\$448	\$1271,29
2 MES	\$1271,29	\$448	\$823,29
3 MES	\$823,29	\$448	\$375,29
4 MES	\$375,29	\$375,29	\$0

Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

14. COMPROBACIÓN Y VALIDACIÓN DEL HORNO DE CONVECCIÓN

14.1. Comprobación de funcionamiento del sistema de convección forzada

Para comprobar que el sistema de convección forzada mediante combustión gas esté funcionando de manera idónea se deben tener en cuenta los siguientes parámetros.

Parámetros de funcionamiento

Los parámetros con los cuales funciona el horno son los siguientes:

Tabla19: Parámetros de funcionamiento

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
Combustible	GLP
Tiempo de calentamiento	30 [min]
Tiempo de enfriamiento	90 [min]
Temperatura de operación	180 [°C] – 200 [°C]

Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

Reglas a seguir para las pruebas de funcionamiento del horno

- Para realizar la demostración de funcionamiento se debe tener en cuenta lo siguiente:
- Verificar que el sistema se encuentre en óptimas condiciones
- Verificar que el tanque de GLP se encuentre con combustible suficiente.
- Constatar que la temperatura y los tiempos sean los previamente establecidos.
- Comprobar el tiempo que toma curar u hornear piezas con diferentes colores.
- Realizar la respectiva prueba de calidad a la pintura, la cual, se puede efectuar de las siguientes formas, las cuales son las siguientes: rayado, doblado y frotación.

14.2. Instrumentos de medición

Los instrumentos que se utilizaran para medir las diferentes variables son las siguientes:

- **Cronometro digital**

Rango: 0h-24h

Apreciación: 1s

- **Termómetro**

Rango de temperatura: 0[°C] a 200[°C]

Precisión: 1%

Procedimiento

El procedimiento a seguir es el siguiente, sin embargo, el análisis se lo debe realizar en diferentes días, ya que, las condiciones climáticas varían día a día.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- Verificar que los tanques se encuentren con el combustible adecuado para encender el horno.
- Ubicar el termómetro de tal forma que no existan puntos muertos a la hora de la medición de temperatura.
- Encender el sistema
- Medir la temperatura de calentamiento en función del tiempo.
- Culminado el proceso de curado (1 ciclo), verificar el consumo de combustible.
- Medir la temperatura de enfriamiento en función del tiempo.
- Control de calidad mediante el rayado, para lo cual se lo realiza con los lápices 5H hasta el 5B, además del control por frotación, el cual consiste en pasarle un paño mojado con Tiñer y frotarla, si la pintura se desprende o mancha el paño significa que falta tiempo de curado.

14.3. Levantamiento de datos

Es un proceso mediante el cual se recopila datos e información de la situación, para el levantamiento de datos se debe haber cumplido con los pasos anteriores, por consiguiente, se debe tener en cuenta para el análisis de temperatura idónea de curado, algunos puntos a tener en cuenta y vale la pena conocer es el tamaño de las partículas que van desde 2 a 5 micras y la temperatura de reblandecimiento es de 80°C, la temperatura de fusión es de 150 °C. La temperatura de curado va de 180 a 200 °C, y el tiempo de curado es de 10 a 15 minutos, además que se debe tener en cuenta el grosor del artículo o elemento a pintar. Otro punto a tener en

cuenta es el color de pintura, ya que la temperatura idónea para pintura de color blanco es de 160 °C y para color negro la temperatura adecuada es de 200 °C.

El tiempo de curado varía por los puntos mencionados anteriormente. El horno de pintura electrostática va a trabajar principalmente con paneles modulares denominados Moducamp, mismos que se cargó al horno. Por cada ciclo de pintura se pintan 5 unidades cuyas dimensiones son las siguientes: 2,5m*1,30m*0,3m.

Considerando la secuencia del procedimiento de curado, desde el encendido y calentamiento del horno hasta el apagado y enfriamiento se obtiene los siguientes datos:

- Tiempo de calentamiento: 30 [min]
- Tiempo de curado de los paneles: 15 [min]
- Temperatura de curado: 200 [°C]
- Tiempo de enfriamiento: 90[min]

A continuación, se detallan las mediciones obtenidas:

Tabla 20: Mediciones sin carga

N° DE MEDICIONES	INTERVALO DE TIEMPO	TEMPERATURA
		Termómetro industrial
		Grados Celsius [°C]
0	0 minutos	18
1	5 minutos	40
2	10 minutos	110
3	15 minutos	150
4	20 minutos	170
5	25 minutos	180
6	30 minutos	200

Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

14.4. Análisis de resultados

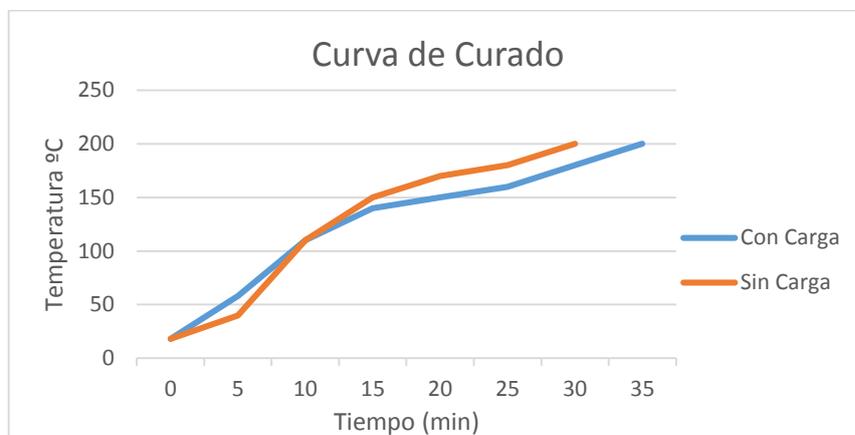
La distribución de temperatura en el interior del horno fue la adecuada, además que se alcanzó la temperatura adecuada para el curado de la pintura, como se puede observar en la Tabla 20 después de 30 minutos, el horno alcanza la temperatura de 180 °C la cual es la adecuada para que la pintura y la pieza o elemento a pintar se fundan de manera homogénea. A los 35 minutos el horno alcanza los 200 °C, hay que resaltar que fueron 5 minutos que le tomo alcanzar esta temperatura, eso se debe a la carga añadida.

Tabla 21: Mediciones con carga

N° DE MEDICIONES	INTERVALO DE TIEMPO	TEMPERATURA
		Termómetro industrial
		Grados Celsius [°C]
0	0 minutos	18
1	5 minutos	58
2	10 minutos	110
3	15 minutos	140
4	20 minutos	150
5	25 minutos	160
6	30 minutos	180
7	35 minutos	200

Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

Gráfico 2: Curva de curado

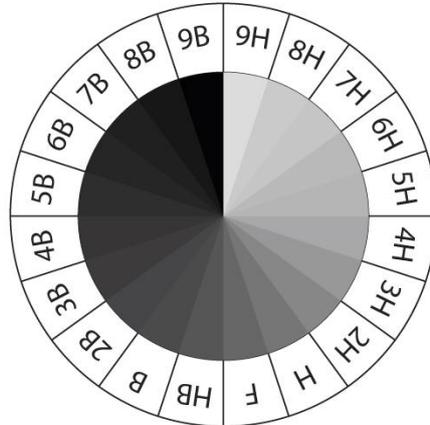


Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

La temperatura adecuada va de los 180 a 200°C así que los 198 °C, es una temperatura aceptable dentro del proceso de curado. Una vez terminado el ciclo de curado se procede al control, las pruebas para comprobar si la pintura y el panel se fusionaron de forma adecuada. Las dos técnicas utilizadas para verificar la consistencia de la pintura son las siguientes:

Rayado. - Este método consiste en tomar un lápiz de que va desde el 6H hasta el 6B y rayar la superficie del panel, el lápiz hasta que rayo la superficie el 4H. [7]

Gráfico 3: Método de calidad mediante lápices



Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

Frotación: con la ayuda de una franela y Tiñer se procede a pasarle el paño húmedo por la superficie del panel, y como resultado se obtiene cero machas en el paño lo que significa que el tiempo y temperatura de curado fue el idóneo

Tiempo de enfriamiento:

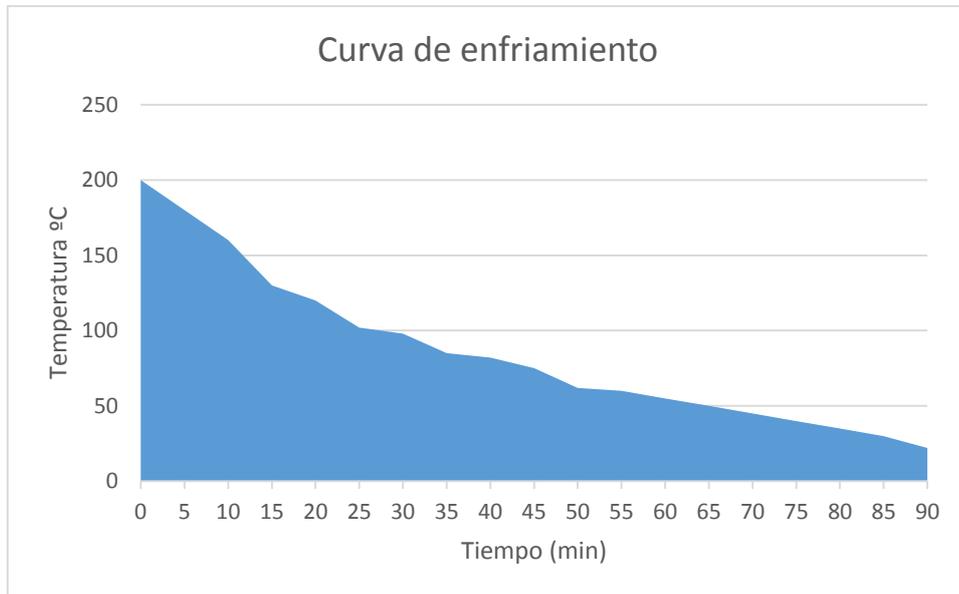
Aproximadamente el tiempo de enfriado es de 90min, es necesario determinar este tiempo, ya que con esta información se puede evitar posibles riesgos, como son quemaduras.

Tabla 22: Curva de enfriado

TIEMPO	TEMPERATURA		TIEMPO	TEMPERATURA	
	Termómetro industrial			Termómetro industrial	
minutos	°C		minutos	°C	
0	200		50	62	
5	180		55	60	
10	160		60	55	
15	130		65	50	
20	120		70	45	
25	102		75	40	
30	98		80	35	
35	85		85	30	
40	82		90	22	
45	75				

Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

Gráfico 4: Curva de enfriado



Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

14.5. Medición del consumo de energía y GLP durante las pruebas de curado

Durante el proceso de curado de un lote (5 paneles) durante 45 minutos, incluido el precalentamiento que se le da al horno hasta que llegue a su temperatura ideal, el consumo de energía fue mínima, además que se consumió 1,5 kg de gas butano en todo el ciclo.

En comparación a antes de la implementación y después de ella se tiene un gran ahorro de combustible ya que anteriormente se consumía 3 cilindros día, es decir 45 kg de GLP en 8 horas laborables y después se tiene el consumo de 1 tanque de 15 kg en un día realizando el mismo proceso.

14.6. Validación del horno de convección

M.E 
MetalElectric.

Quito - San José N2 101
Telf.: 02317-662 - 093089831
Quito - Ecuador

METAL ELECTRIC

Fabricación de cubiertas metálicas, coliseos, puentes peatonales y vehiculares. Servicio de cerrajería y soldadura en general. Servicio de corte con Plasma hasta 19 mm.

R. U. C. N° 1716686264001

Quito a, 28 de enero de 2019

CERTIFICACIÓN

A quien interese: por medio del presente tengo bien a certificar, que los señores Chiluisa Pastuña Neptali con C.I. 050399899-9 y Cueva Quinga Mauricio Xavier con C.I. 1722085675 egresados de la Universidad Técnica de Cotopaxi de la carrera de Ingeniería Industrial, han concluido con la "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONVECCIÓN FORZADA MEDIANTE COMBUSTIÓN A GAS EN EL HORNO DE PINTURA ELECTROSTÁTICA DE LA EMPRESA METAL ELECTRIC". Dicho proyecto ha sido entregado y comprobado su funcionamiento sujetándose a las especificaciones y requerimientos técnico solicitados.

Con el presente documento garantizo y quedo satisfecho con el resultado obtenido durante el tiempo duración del proyecto. En virtud de lo anterior, con pleno conocimiento de la responsabilidad que asumo ante usted y ratificando lo antes expuesto, firmo la presente.

Atentamente,


METALELECTRIC
Wilson Quinga
R.U.C. 1716686264001

Quinga Oña Wilson Fabián
C.I. 171668626-4
Gerente - Propietario

15. MANUALES DE OPERACIÓN Y SEGURIDAD

A partir de la revolución industrial la seguridad en la industrial es un pilar fundamental, cuya finalidad es la de salvaguardar la integridad física de los colaboradores. Los diferentes riesgos y peligros están presentes en cualquier actividad que se desempeña como seres humanos productivos.

Al utilizar el horno de pintura electrostática se debe tomar las medidas de seguridad necesarias para su operación, el uso de los EPP (equipos de protección personal), mascarillas, revisar que los equipos se encuentren aptos para su funcionamiento, no realizar acciones inseguras, y al ser un sistema que funciona mediante la combustión de Gas Butano evitar de forma imperativa producir alguna acción que genere riesgo al usuario y al establecimiento, respetar la señalética de seguridad, etc. Usar siempre y de manera adecuada los EPP, los cuales son los siguientes:

Figura 13: Equipos de protección personal



Fuente: (EPP.com)

El uso de los equipos de protección personal es imperativo, es parte del equipo de protección sin embargo debido a que se va a trabajar con pintura en polvo y varios químicos, la mascarilla de ser adecuada para el tipo de actividad que va a realizar, el uso de la misma es obligatorio con el fin de prevenir posibles riesgos.

Figura 14: Mascarilla



Fuente: (Global Healthcare)

Cualquier norma de seguridad ignorada puede traer consigo varios incidentes y accidentes laborales, hacer caso omiso de las normas y prácticas de trabajo seguras pueden causar lesiones, por lo que queda rotundamente prohibidos juegos, utilizar el celular, no usar los EPP, etc.

Además, que tanto el colaborador como el empleador, deben notificar y hacer las correcciones de ser necesario a los equipos que necesiten mantenimiento, y el mismo deberá ser realizado con frecuencia.

15.1. Manual de seguridad y uso del sistema de convección

 <p>WAYNE Combustion Systems A SCOTT FEIZER COMPANY</p> <p>801 GLASGOW AVE. FORT WAYNE, IN 46803</p> <p>US PATENT NO. 4,388,064</p>	<p>Publication Date 6/11/07</p>  <p>MODELS GAS BURNERS</p> <p>120V/50-60 220V/50 HZ</p> <p>PART NO. 62484-001B</p>
---	--

ADVERTENCIA: Si la información en estas instrucciones no se sigue exactamente, puede producirse un incendio o una explosión causando daños a la propiedad, lesiones personales o la muerte.

No almacene ni use gasolina u otros materiales inflamables vapores y líquidos en las proximidades de este o cualquier otro aparato.

QUE HACER SI HUELAS A GAS

- No intente encender el aparato.
- No toque ningún interruptor eléctrico; no use ningún teléfono en tu edificio.
- Llame inmediatamente a su proveedor de gas del teléfono del vecino. Siga el proveedor de gas instrucciones.
- Si no puede comunicarse con su proveedor de gas, llame al fuego departamento.

La instalación y el servicio deben ser realizados por un instalador cualificado, con licencia, agencia de servicios o al proveedor de gas.

LA GARANTÍA SE ANULA SI NO INSTALADO POR PERSONA DE SERVICIO CALIFICADA.

15.2. Manual de operación del horno de convección forzada mediante combustión a gas en el horno de pintura electrostática.

Instrucciones para el consumidor

Mantenimiento:

Mantenga el área del quemador limpia y libre de materiales combustibles, gasolina u otros líquidos inflamables o los vapores No obstruyan las aberturas de ventilación.

Precaución:

Revise periódicamente la llama del quemador. Una adecuada llama de gas NATURAL aparecerá azul en la cara del quemador con puntas naranjas y amarillas. Si la llama es demasiado rica, aparecerá ondulado y amarillo con puntas nebulosas, Si es demasiado magro, aparecerá corto y todo azul. Limpieza de quemadores y / o el reajuste es indicado por las llamas que son demasiado ricas o demasiado magra

Advertencia:

Si se observa alguna llama cuando el quemador está encendido en espera, o si se escucha la chispa de encendido o el operador de la válvula encienda antes de que el motor alcance la velocidad de funcionamiento, apague inmediatamente el control manual de gas y la alimentación principal. Una condición peligrosa se ha desarrollado y debe ser corregida.

Contacte a un técnico de servicio cualificado para limpieza, reajuste o reparación.

15.3. Insumos y Requisitos

Insumos a utilizar para el proceso de pintado son los siguientes:

- Gas Butano
- Electricidad
- Pintura en polvo (diferentes colores)

Requisitos:

El área debe estar limpia de agentes que puedan afectar el proceso de curado los cuales pueden ser:

- Polvo
- Gasolina
- Tiñer
- Extintores señalizados y bien instalados, los colaboradores de la empresa Metal Electric deben estar capacitados teórica y prácticamente en el manejo de extintores y control de incendios
- Deben contar con los medios de protección (EPP).
- La superficie inferior (piso) debe estar libre de impurezas, ya que el sistema cuenta con recuperación de pintura.

15.4. Chequeos de seguridad

- Contar con instalación adecuada de gas, además, de contar con sistema de ventilación general.
- Revisar que todas las válvulas se encuentren cerradas.
- Revisar que no existan fugas de combustible (gas butano) en las instalaciones del sistema de convección.
- Ventilar los conductos de calentamiento, con la finalidad de evitar posibles explosiones debido a residuos de gas.

15.5. Operación

A partir del punto 2, se procede al encendido del de todo el sistema de convección:

- Contactar el quemador y el indicador de temperatura a una fuente de energía (110v).

Instrucciones de encendido:

- Girar el dial de la válvula en encendido.
- Encienda el interruptor principal.
- Poner el termostato o el control de operación para llamar para el calor.
- Espere 30 segundos si el quemador ha fallado en la luz, o si el quemador se enciende y luego se apaga, gire el botón de apagado por 30 segundos y de nuevo para reiniciar.
- Esperar los 30 min que le toma calentarse al horno, una vez caliente se procede a introducir la carga (paneles) y esperar el tiempo requerido de curado.
- Retirar la carga y esperar a que se enfríe
- Realizar el control de calidad.

15.6. Apagado

- Apague el dial de la válvula del gas.
- Apague el encendido principal del motor/quemador.

15.7. Advertencias de seguridad

Peligro de explosión

Si se utiliza gas BUTANO y el quemador están ubicados en un sótano, espacio de acceso o espacio confinado, póngase en contacto con su proveedor de gas acerca de la instalación de un dispositivo de advertencia de "fuga de gas". El gas butano es más pesado que el aire y puede instalarse en un nivel bajo, en zonas o espacios confinados. Esto crearía un **PELIGRO DE Explosión o fuego**. - Si sospecha una fuga de gas siga las instrucciones en la portada de este manual.

Peligro de envenenamiento (monóxido de carbono)

El monóxido de carbono es un gas sin color y sin olor que puede matar. Siga estas reglas de control monóxido de carbono.

- No use este quemador si se encuentra en un área cerrada y sin ventilación. El monóxido de carbono puede acumularse.
- No ajuste el regulador de presión. Las altas presiones producen monóxido de carbono.
- Verifique que los gases de combustión no contengan monóxido de carbono. Este cheque requiere equipo especializado.
- Permitir que solo las personas de servicio de quemadores calificadas ajusten el quemador. Los instrumentos especiales y la formación son necesario.
- Lea el manual del propietario antes de usar.

Peligro de descarga eléctrica

Altos voltajes están presentes en este equipo siga estas reglas para evitar descargas eléctricas.

- Use solo un circuito debidamente conectado a tierra. Una falla de tierra se recomienda un interruptor
- No rocíe agua directamente sobre el quemador.
- Apague la alimentación antes de realizar el servicio.
- Lea el manual del propietario antes de usar.

Peligro de sobrecalentamiento

En caso de sobrecalentamiento:

- Apague el control manual de gas del aparato.
- No apague el interruptor de control de la bomba o el soplador.

16. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

16.1. Conclusiones

- La implementación del sistema de convección forzada aumenta la eficiencia térmica del horno de curado de pintura electrostática, incrementando la producción neta y reduciendo los tiempos de curado de los módulos (Moducamp) de 40 min a 15 min por lote.
- Mediante la recopilación de información y comparación se concluye con las características de los materiales acorde al diseño de implementación y con los equipos más óptimos para el horno de curado de pintura electrostática.
- Mediante el diseño de un sistema de convección forzada se concluye con el detalle de la potencia del quemador es de 40 kW y ventilador ¼ HP, misma que es necesaria para alcanzar los 200 °C requeridos por el proceso de curado de paneles modulares (Moducamp).
- El costo total de la implementación del sistema de convección forzada es de \$1719,29 USD, que se podrá recuperar en un tiempo menor a un año ya que al aumentar la eficiencia del horno se podrá aumentar la cantidad de piezas curadas y por ende aumentará la utilidad neta.
- La empresa auspiciante Metal Electric ha validado el sistema diseñado e implementado en su planta de producción metal mecánica, cumpliendo todos los requerimientos técnicos para el proceso requerido.

16.2. Recomendaciones

El sistema de convección forzada funciona principalmente por el cual es un combustible altamente volátil y peligroso, por lo que se recomienda realizar una correcta manipulación y un óptimo mantenimiento de todos los elementos de la instalación, además del cumplimiento de las revisiones periódicas, mismas que son recomendables realizarlas cada cinco años.

Para realizar el cambio de tanque de gas, se debe realizar con la llave cerrada, para que el gas despedido a la atmósfera sea mínimo. Es recomendable realizar esta acción lejos de fuentes de

riesgo (como velas encendidas, cigarrillos encendidos), ya que este tipo de combustible puede provocar explosiones o intoxicaciones.

El horno es exclusivamente para trabajar con pintura en polvo, se recomienda de manera imperativa no trabajar con algún otro tipo de pintura y solventes (Tiñer y gasolina) debido a que esto podría causar una reacción química (explosión), la cual podría poner en riesgo a los usuarios.

Para el mejoramiento continuo se recomienda que se implemente un sistema de control e instrumentación en el sistema de convección con la finalidad de mantener en constante monitoreo la cantidad aire combustible que se suministra al proceso, así como controlar la temperatura del mismo en todo momento, para mejorar de esta manera la productividad y optimizar recurso.

17. CONSTANTES UTILIZADAS

Tabla 10: Constantes estándar utilizadas

Valor	Unidades	Descripción	Referencia
5,7E-08	$\theta = \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$	Constante de Stefan Boltzmann	[16]
9,8	$g = \frac{m}{s^2}$	Aceleración gravitacional	[15]
1,56E-05	$\nu = \frac{m}{s}$	Viscosidad cinemática	[16]
0,7296	Pr= Adimensional	Numero de Prandtl a 200°C	[19]
0,02551	$k = \frac{W}{m \cdot K}$	Conductividad térmica del aire (200°C)	[16]
58,7	$k = \frac{W}{m \cdot K}$	Conductividad térmica del acero negro	[18]
0,041	$k = \frac{W}{m \cdot K}$	Conductividad térmica de la lana de vidrio	[16]
17	$k = \frac{W}{m \cdot K}$	Conductividad térmica acero inoxidable	[18]
0,3	Adimensional	Emisividad del acero inoxidable	[18]
0,52	Adimensional	Emisividad del acero negro	[16]
0,46	$C_p = \frac{kJ}{kg \cdot K}$	Calor específico del acero negro	[16]
1,2446	$\rho = \frac{kg}{m^3}$	Densidad del aire a 10°C	[3]
0,9290	$\rho = \frac{kg}{m^3}$	Densidad del aire a 2750 msnm	[3]
1,255	$\rho = \frac{kg}{m^3}$	Densidad del aire a nivel del mar	[3]
1,027	$C_p = \frac{kJ}{kg, ^\circ C}$	Calor específico del aire	[3]
30	$h = \frac{W}{m^2 \cdot K}$	Convección forzada dentro del horno	[15]

Fuente: Standars And Technology

18. BIBLIOGRAFÍA

- [1] UNESCO, «Áreas y sub-áreas de la UNESCO», 2014.
- [2] «Componentes de un horno industrial», *Componentes de un horno industrial*, 30-may-2016. .
- [3] B. G. Gustavo Carrillo, «3. Diseño, construcción y automatización de un horno para el curado de pintura electrostática para el centro de producción E.S.P.E sede Latacunga.», Tesis, Escuela Politécnica Del Ejército, Latacunga, 2010.
- [4] Ceballos J, y Salazar J, «4 Automatización en el proceso de pintado industrial en la etapa del secado», Tesis, Instituto Politécnico Nacional, México, 2014.
- [5] T. T. Montenegro Sandra, «Mejora del proceso de pintura electrostática de la planta de producción Sumar», Tesis, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2012.
- [6] Ingrid Jiménez, «Estudio de la Transferencia de Calor en Ventanas Mexicanas en Condiciones de Clima Frío Mediante una Cámara de Ambiente Controlado», Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Departamento de Ingeniería Mecánica, México, 2012.
- [7] José Brito, «1 Diseño y construcción de un cuarto de secado de pintura electrostática para tableros eléctricos combinando energía renovable y no renovable.», Tesis, Universidad Politécnica Nacional, Quito, 2014.
- [8] S. E. Manosalvas Díaz, «Diseño y construcción de un modelo a escala del horno para el curado de partes de muebles metálicos usando pintura hidrostática en la empresa Stilo Muebles», Tesis, Universidad Escuela Politécnica del Ejercito, Quito, Ecuador, 2006.
- [9] Camilo Córdova, «5 Selección e implementación de un sistema de pintura electrostática base polvo», Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador, 2010.
- [10] Adriana, «La pintura electrostática», *Club de Ciencia de 3ºM*, 2016. .
- [11] Wayne - venamet, «Wayne - venamet.com», 20019. .
- [12] «Butano - EcuRed». [En línea]. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Butano>. [Accedido: 25-ene-2019].
- [13] M. A. B. Yunes Cengel, *Termodinámica*, vol. 7 Edición. México: McGraw-Hill/Interamericana, 2012.
- [14] «Combustión gas natural | Industria | Metrogas». [En línea]. Disponible en: http://www.metrogas.cl/industria/asesoria_tecnica_1. [Accedido: 25-ene-2019].

- [15] F. P. Incropera y D. P. de Witt, *Fundamentos de transferencia de Calor*. México: Prentice Hall, 2009.
- [16] «Determinación del Calor Específico (Fiz0211) - Uv». [En línea]. Disponible en: [http://srv2.fis.puc.cl/mediawiki/index.php/Determinaci%C3%B3n_del_Calor_Espec%C3%ADfico_\(Fiz0211\)](http://srv2.fis.puc.cl/mediawiki/index.php/Determinaci%C3%B3n_del_Calor_Espec%C3%ADfico_(Fiz0211)). [Accedido: 25-ene-2019].
- [17] W. Trinks y M. H. Mawhinney, *Hornos industriales*. Bilbao: Urmo, 1975.
- [18] «NIST | National Institute of Standards and Technology», *NIST*. [En línea]. Disponible en: <https://www.nist.gov/national-institute-standards-and-technology>. [Accedido: 27-ene-2019].
- [19] R. M. Eisberg y R. Resnick, *Quantum physics of atoms, molecules, solids, nuclei, and particles*, 2nd ed. New York: Wiley, 1985.

Firma

Nombre: Cueva Quinga Mauricio Xavier

Proponente 1

Email: mauricio.cueva5@utc.edu.ec

Telf.: 0995157234

Firma

Nombre: Chiluisa Pastuña Neptali Ramiro

Proponente 2

Email: neptali.chiluisa9@utc.edu.ec

Telf.: 0979348384

Firma

Nombre: Ing. Ms.C Benjamín Chávez

PROFESOR TUTOR

Email: benjamin.chavez0374@utc.edu.ec

Telf.: 0961326990

19. ANEXOS

19.1. Anexo 1: Especificaciones de planchas de acero

LAMINAS

Tol negro

Tol negro frío, se lo utiliza mayormente en muebles metálicos, puertas, carpintería metálica, baldes para camionetas, etc. Tol negro caliente, se lo utiliza en la conformación de estructuras en general con elementos de alma llena (flejes), encofrados, placas, calderos, etc.

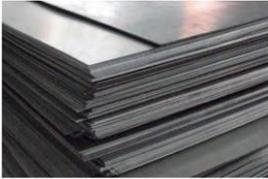
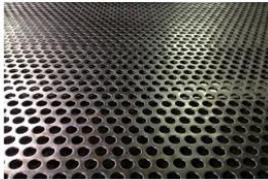



TABLA: TOL NEGRO

1.22 x 2.44 mtrs		1.22 x 2.44 mtrs	
Tol frío Denominación	Peso (kg)	Tol caliente Denominación	Peso (kg)
* 1/40	10.52	1.9mm	43.58
* 1/32	16.36	2mm	46.74
* 1/25	21.03	2.5mm	58.42
* 1/20	25.71	3mm	70.11
* 1/16	32.72	4mm	93.48
Tol perforado			
Denominación (mm)	Peso (kg)	5mm	116.85
e=0.7 x Ø 6	7.66	6mm	140.22
Formato: 2.00 x 1.00m			
		8mm	186.96
		10mm	233.70
		12mm	280.44
		15mm	350.55

* Medidas disponible en tol de segunda

APLICACIONES






NORMA: NTE INEN 115

Fuente: <http://www.aceroscenter.com.ec/pdf/LAMINAS.pdf>

19.2. Anexo 2: Especificaciones de tubería

Productos

Home Productos Tuberías Tubo sin costura



ESTOY INTERESADO EN ESTE PRODUCTO

DESCARGAR ESPECIFICACIONES

Especificaciones:

Largo Normal: 6 ó 12 metros

Recubrimiento: Negro (Barniz)

Espesores: Desde 2,77 a 17,48 mm

Norma de Fabricación: JS G 3132 SPHT-1 / ASTM 569

Extremos: Biselados

Observaciones: Otras dimensiones y largos, previa consulta

Certificados:




Tubería sin Costura (Line Pipe ASTM A 106 Gr. B / A53 / API 5L)

Descripción Comercial	Designaciones				Propiedades Estáticas				Pruebas Presión
	D	d	e	P	Módulo de elasticidad	Resistencia a la tracción	Resistencia al fluir	B	
puñlg. - sch	mm	mm	mm	kg/m	cm ²	cm ²	cm	kg/m ²	
1/2" Ced. 40	21,30	15,76	40	2,77	1,27	0,71	0,66	49,30	
1/2" Ced. 80	21,30	13,84	80	3,73	1,62	0,83	0,78	59,90	
3/4" Ced. 40	26,70	20,96	40	2,87	1,69	1,35	1,16	49,30	
3/4" Ced. 80	26,70	18,88	80	3,91	2,20	1,87	1,40	59,90	
1" Ced. 40	33,40	26,64	40	3,38	2,50	3,64	2,18	1,07	
1" Ced. 80	33,40	24,30	80	4,55	3,24	4,40	2,63	1,03	
1 1/2" Ced. 40	42,20	35,08	40	3,56	3,39	8,13	3,85	1,37	
1 1/2" Ced. 80	42,20	32,50	80	4,85	4,47	10,09	4,78	1,33	
1 1/2" Ced. 40	48,43	41,07	40	3,68	4,06	12,93	5,35	1,58	
1 1/2" Ced. 80	48,43	38,27	80	5,08	5,43	16,33	6,76	1,54	
2" Ced. 40	60,30	52,48	40	3,91	5,44	27,66	9,18	2,00	
2" Ced. 80	60,30	49,22	80	5,54	7,48	38,09	12,00	1,98	
2 1/2" Ced. 40	73,00	62,68	40	5,16	8,63	63,63	17,40	2,41	
2 1/2" Ced. 80	73,00	58,98	80	7,01	11,41	80,00	21,90	2,38	
3" Ced. 40	88,90	77,92	40	5,49	11,29	125,70	28,30	2,96	
3" Ced. 80	88,90	73,66	80	7,62	15,27	162,10	38,50	2,89	
3 1/2" Ced. 40	101,60	90,12	40	5,74	13,57	199,30	39,20	3,40	
3 1/2" Ced. 80	101,60	83,18	80	8,06	18,63	261,50	49,30	3,85	
4" Ced. 40	114,30	102,26	40	6,02	16,08	301,10	52,70	3,83	
4" Ced. 80	114,30	97,18	80	8,56	22,32	400,00	70,00	3,75	
5" Ced. 40	141,30	130,18	20	5,56	18,61	547,00	77,40	4,60	
5" Ced. 80	141,30	128,20	40	6,55	21,77	630,80	89,30	4,77	
5" Ced. 40	141,30	122,26	80	9,52	30,84	860,00	122,00	4,67	
6" Ced. 20	168,30	157,18	20	5,56	22,31	942,20	112,00	5,76	
6" Ced. 40	168,30	154,08	40	7,11	28,26	1.171,60	139,00	5,70	
6" Ced. 80	168,30	146,36	80	10,97	42,56	1.685,80	200,00	5,58	
8" Ced. 20	219,10	208,40	20	6,35	33,32	2.403,40	219,00	7,53	
8" Ced. 40	219,10	202,74	40	8,18	42,35	3.018,70	276,00	7,48	
8" Ced. 80	219,10	193,70	80	12,70	64,64	4.401,80	402,00	7,31	
10" Ced. 20	273,00	260,30	20	6,35	41,76	4.730,50	347,00	8,43	



Aplicaciones

- Tubos para alta presión.
- Conducción de fluidos a alta presión.
- Escapes de automóviles.
- Andamios.
- Instalaciones.
- oleohidráulicos.
- Industria de pesca, minería e industria en general.
- Fluidos a altas temperaturas.

Fuente: <http://www.ipac-acero.com/producto-detalle.php?id=28>

19.3. Anexo 3. Especificaciones de los equipos.

WAYNE COMBUSTION SYSTEMS • 801 Gaerow Ave. • Fort Wayne, IN 46803 • 260.425.9200 • Fax 260.425.0904 • www.waynecombustion.com

Model HSG

200/400 GAS BURNER







Patent No. 4,388,064



HSG features:

The Wayne Model HSG power gas burners are designed for performance and reliability, and offer features such as:

- Higher static air pressure than standard power gas burners
- Good combustion in poor draft situations
- Capability to fire LP or Natural Gas
- Flame retention head to allow flame shapes to fit various combustion chambers
- Positive premixing of gas and air to provide excellent combustion characteristics (9 to 11% CO₂ on Natural Gas)

Designed for Easy Serviceability:

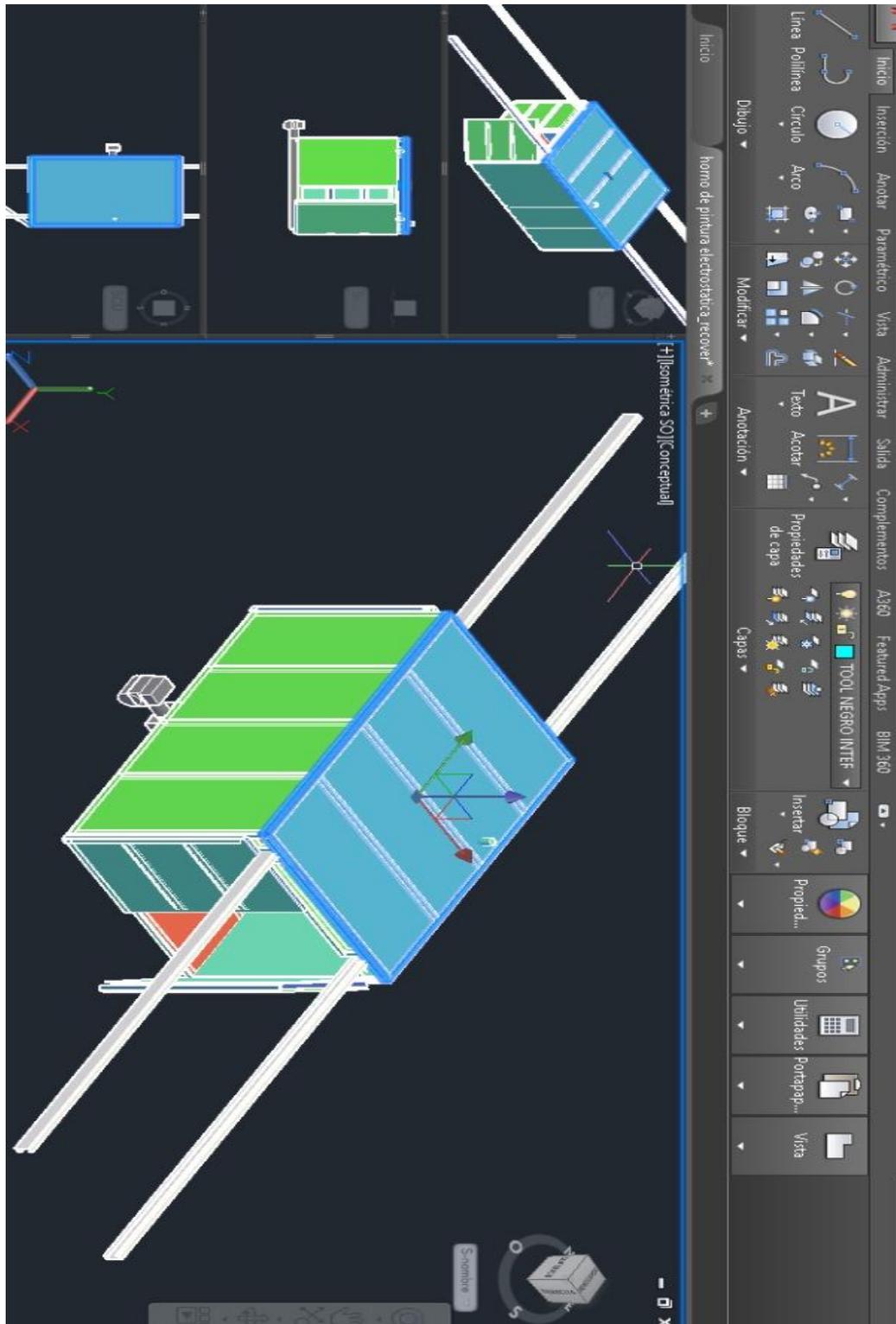
- No need to remove the burner for normal service – “Gas Gun” assembly is easily removed for complete service or replacement of components
- Easy, external orifice change
- Automatic, perfect alignment of combustion components
- Primary air adjustment with indicator

Designed for Installation Flexibility:

- Just change the orifice and adjust to fire LP or Natural Gas through the full burner range from 60M to 200M Btu/hr and 200M to 400M Btu/hr
- Complete range of marked orifice sizes supplied with each HSG burner
- Primary air inlet designed for optional outside air intake
- Industry proven components for excellent performance and reliability
- Automatic off-cycle air damper to minimize efficiency loss and provide maximum installation flexibility

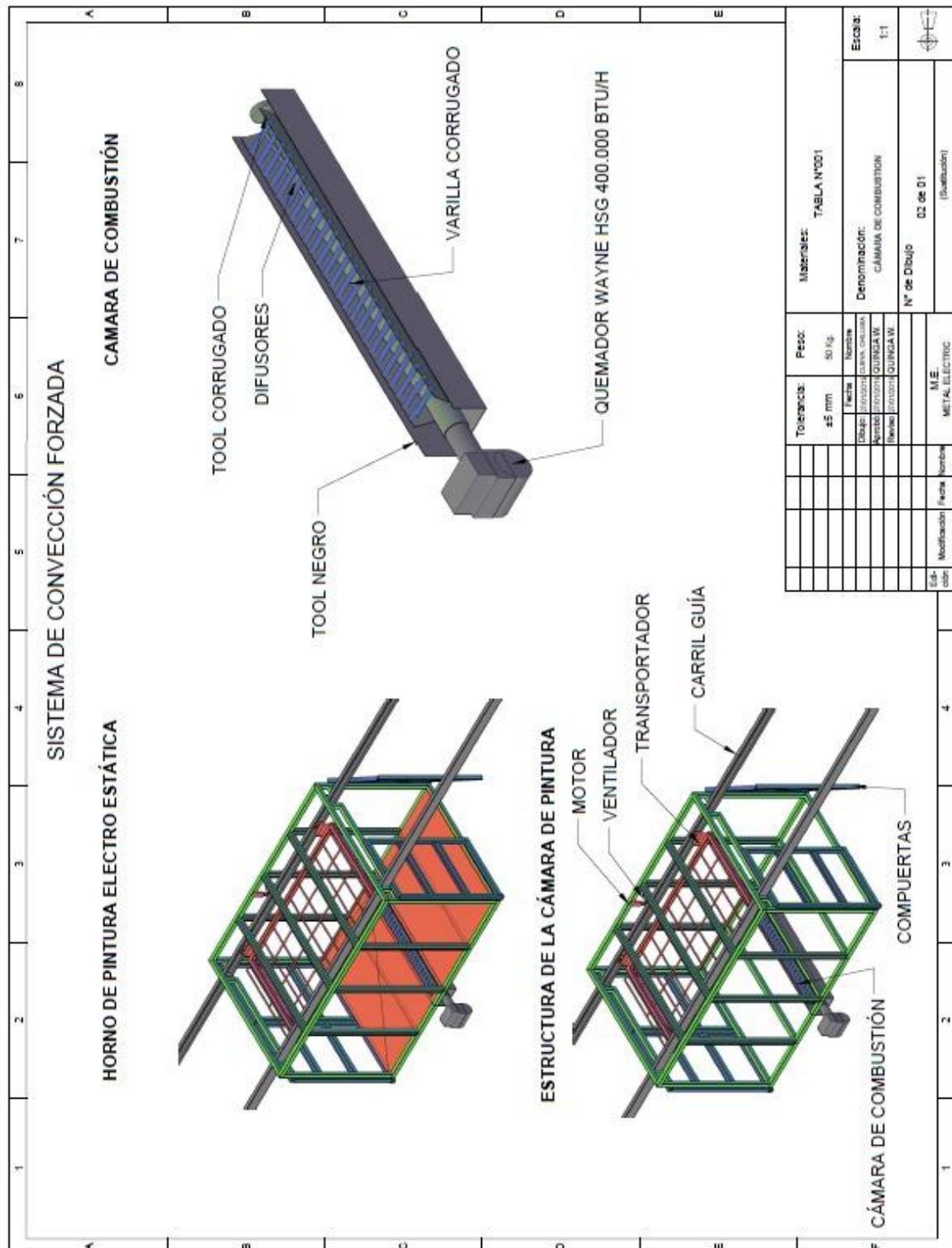


19.4. Anexo 4: Planos de diseño del horno de pintura electrostática



Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

19.8. Anexo 8: Sistema de convección forzada



Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

19.9. Anexo 9: Cotizaciones



VENAMET
VENTAS Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS TÉCNICOS
Oficina Principal Quito: Ruz de Castilla N27-01 y Lorenzo Aldana
Telfs.: 2562-039 / 2235-270 Telefax: 2222-080
RUC: 1790150569001
e-mail: ventas@venamet.com



Honeywell
Fulton



WAYNE
Power Flame Incorporeada

Srb.: MAURICIO CUEVA		COTIZACIÓN	
ATT:		CF-345	
CIUDAD: QUITO			
FECHA: 17/07/2018			

Item	Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
1	1	QUEMADOR PARA GAS HSG400 CAPACIDAD 60.000 A 400000 BTU/HR MARCA WAYNE AMERICANO	1300.00	1300.00
		DEPOSITAR EN LA CUENTA CORRIENTE BANCO PICHINCHA 3053831904 PRODUBANCO CTA. CTE 02000025638 PACIFICO CTA. CTE. 0767006-0		
Subtotal				1300.00
DESCUENTO			10%	130.00
SUBTOTAL				1170.00
IVA			12%	140.40
TOTAL				1310.40

CONDICIONES DE PAGO: CONTADO	Atentamente,
TIEMPO DE ENTREGA:	CARMEN FIGUEROA
VALIDO POR: 8 DÍAS	VENTAS
	09 98460544

Fuente: Cueva M., Chiluisa N

19.10. Anexo 10: Detalles del producto



Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

19.11. Anexo 11: Casas desarmables ensambladas (Moducamp)



Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

19.12. Anexo 12: Horno de pintura electrostática



Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

19.13. Anexo 13: Horno de pintura electrostática con carga



Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

19.14. Anexo 14: Quemador



Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

Anexo 15: Construcción del sistema de convección



Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

19.15. Anexo 16: Soldado de la cámara de combustión



Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

19.16. Anexo 17: Aislamiento térmico con lana de vidrio



Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

19.17. Anexo 18: Control de calidad prueba de rayado



Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

19.18. ANEXO 19: Resultado de la prueba de rayado



Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

19.19. ANEXO 20: Control de calidad prueba de Frotación



Fuente: Cueva M., Chiluisa N.

19.20. ANEXO 21: Resultado de prueba de Frotación



Fuente: Cueva M., Chiluisa N.