



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA DE MECATRÓNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO SEMIAUTOMÁTICO DE PINTURA
ELECTROESTÁTICA”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO EN MECATRÓNICA

AUTORES: Alan Jeremy Caza Velásquez

Marcos Xavier Paredes Flores

TUTOR: René Patricio Quitiaquez Sarsoza

Quito-Ecuador

2023

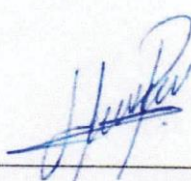
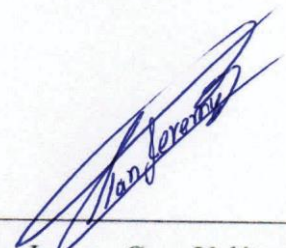
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Marcos Xavier Paredes Flores con documento de identificación N° 1500957343 y Alan Jeremy Caza Velásquez con documento de identificación N° 1752814390, manifiesto que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 22 de septiembre del año 2023

Atentamente,

 _____ Marcos Xavier Paredes Flores 1500957343	 _____ Alan Jeremy Caza Velásquez 1752814390
--	---

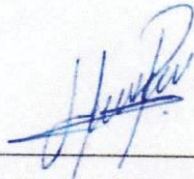

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Marcos Xavier Paredes Flores con documento de identificación No. 1500957343 y Alan Jeremy Caza Velásquez con documento de identificación No. 1752814390, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Dispositivo tecnológico: “Diseño y Construcción de un Horno Semiautomático de Pintura Electroestática”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 22 de septiembre del año 2023

Atentamente,

 _____ Marcos Xavier Paredes Flores 1500957343	 _____ Alan Jeremy Caza Velásquez 1752814390
--	---

CERTIFICADO DE DIRRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Rene Patricio Quitiaquez Sarsoza con documento de identificación N° 1710597269, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO SEMIAUTOMÁTICO DE PINTURA ELECTROESTÁTICA realizado por Alan Jeremy Caza Velásquez con documento de identificación N° 1752814390 y por Marcos Xavier Paredes Flores con documento de identificación N° 1500957343, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Dispositivos tecnológicos que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 22 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Ing. Rene Patricio Quitiaquez Sarsoza, M.Sc.

1710597269

AGRADECIMIENTO

La realización de este proyecto es por mis padres siendo pilares para lograr lo propuesto hasta ahora.

A mi Padres que con su ayuda y guía he logrado culminar este proyecto propuesto.

Al Ing. Mgtr. Rene Quitiaquez tutor de tesis, por su ayuda y orientación en la realización y cumplimiento de los estándares propuesto en la universidad de excelencia académica.

Al Ing. Mgtr. Ricardo Zapata que con su guía hemos desarrollado un proyecto que cumple las expectativas en cuanto a funcionamiento eléctrico y electrónico.

A mi compañero de tesis Marcos Paredes que con su ayuda hemos culminado el proyecto.

Alan Caza

En el transcurso de nuestra formación universitaria, varias personas, profesores y demás formaron parte de esta etapa.

Es por ello quiero agradecer a Dios a los profesores de la Universidad Politécnica Salesiana quienes nos inculcaron e impartieron sus conocimientos para logra nuestro objetivo y de manera especial a nuestro tutor Ing. Patricio Quitiaquez y al Ing. Ricardo Zapata quienes nos guiaron en la culminación de este trabajo de titulación. A mi compañero tesista Alan Caza con su aporte y trabajo arduo, logramos culminar nuestro proyecto.

Marcos Paredes

DEDICATORIA

Se dice que si uno se esfuerza por nuestras metas y sueños estos se cumplen y en parte es verdad, pero sin el apoyo de fuentes externos es realmente difícil.

Es por ello que dedico este trabajo de titulación a mi padre Marcos Iván, mi madre Carmen Yolanda y hermana Emily. Quienes conforman mi familia.

Sin los cuales este logro académico y personal no sería posible, ya que fueron quienes me motivaron, confiaron, sacrificando esfuerzos y recursos en mi formación.

Marcos Paredes

En la vida se necesitan personar con energías positivas y que te deseen éxitos en lo que te propongas, en la mía existen tres personas que siempre han estado.

Con todo mi amor y agradecimiento a mi padre Paúl Caza que con su guía tanto como docente y excelentes padres he logrado tener grandes éxitos, a mi Madre Verónica Velásquez que sin su apoyo, consejos y cariño he seguido adelante ante toda adversidad, a mi hermana Kerlly Caza que con sus ayuda, ejemplo y valentía me ha aconsejado y acompañado a resolver cualquier problema.

A mis compañeros que me han apoyado y ayudado siempre recordare los momentos agradables que hemos vivido juntos.

Alan Caza

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	I
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	II
CERTIFICADO DE DIRRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XII
NOMENCLATURA	XIII
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
OBJETO DE ESTUDIO.....	5
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	6
OBJETIVOS.....	7
HIPÓTESIS DEL PROYECTO	7
ALCANCE DEL PROYECTO	7
DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LOS CAPÍTULOS DEL PROYECTO.....	8
CAPÍTULO I.....	9
MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO.....	9
1.1 Introducción	9
1.2 Antecedentes de la investigación	9
1.2.1 Producción de pintura en polvo.....	9
1.2.2 Estructura de la pintura electrostática.....	10
1.2.3 Clasificación de pintura en polvo electrostáticas	10
1.2.4 Cargas.....	11
1.2.5 Ventajas de la pintura electrostática.....	11
1.2.6 Inspecciones de pinturas.....	12

Medición de espesor de película	12
Evaluación de la adhesión	12
Valoración del acabado	12
1.3 Fundamentación de la investigación	12
1.4 Análisis de alternativas.....	13
1.4.1 Sistema de polimerización.....	14
1.4.2 Aceleración de polímeros por resistencia eléctrica y convección asistida.....	15
1.4.3 Avances en convección forzada por polimerización a gas.....	16
1.4.4 Equipos de combustión	17
Quemadores a gas.....	18
Quemadores a gas de pre mezcla	18
Quemadores a gas de mezcla en la boquilla.....	19
Quemadores a gas de mezcla retardada.....	20
1.5 Cuadros comparativos de selección de alternativas	20
1.6 Aspectos teóricos fundamentales	21
1.6.1 Polimerización.....	21
1.6.2 Hornos de polimerización	21
Clasificación de los hornos de polimerización.....	21
1.6.3 Influencias en la cualidad de la pintura	22
1.6.4 Equipos para la aplicación de pintura en polvo.....	22
a) Dispositivo de alimentación de materiales.....	23
b) Equipos de pulverización electrostática	23
c) Generador de voltaje electrostático	23
d) Sistema de recolección de polvo.....	23
e) Cámara de pintura o cabina de pintura.....	23
Pistolas electroestáticas	23
Control de espesores.....	23
1.7 Instrumentación de control.....	23
1.7.1 Sensores.....	24
1.7.2 Sensores de Temperatura.....	24
1.7.3 Actuadores.....	25
1.7.4 Sistemas de control.....	26
1.7.5 Controlador.....	26
1.8 Evaluación ambiental	27

1.9 Resumen del capítulo	27
CAPÍTULO II	28
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	28
2.1 Introducción	28
2.2 Diseño de la investigación.....	28
2.3 Modalidad de la investigación.....	29
2.4 Diagrama Causa – Efecto.....	30
2.5 Operacionalización de las variables	31
2.6 Fórmulas fundamentales	32
• Diámetro efectivo.....	32
• Coeficiente de convección térmica.....	32
• Cálculo del número de Rayleigh	32
• Cálculo del coeficiente de convección promedio.....	33
• Coeficiente de convección interno	33
• Tiempo de calentamiento de los productos.	34
• Selección del material de aislamiento	34
• Calor requerido durante la polimerización.....	35
• Cálculo de la pérdida de calor	35
• Cálculo de la potencia eléctrica.....	35
• Caída de voltaje.....	36
• Cálculos mecánicos	36
• Factor de seguridad y deformación unitaria	36
• Tabla de elementos utilizados en el proyecto.....	37
• Material estructural empleado.....	38
2.7 Resumen del capítulo	39
CAPÍTULO III	40
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	40
3.1 Introducción	40
3.2 Descripción de la situación actual.....	40
3.2.1 Principio de funcionamiento	41
3.2.2 Tablas de tiempos y funcionamiento.....	42
3.3 Cálculos y selección.....	43
3.3.1 Diámetro efectivo.....	43

3.3.2	Cálculo de convección térmica.....	43
3.3.3	Cálculo del número de Rayleigh	44
3.3.5	Coefficiente de convección interno	45
3.3.6	Tiempo de calentamiento de los productos.	45
3.3.7	Selección del material de aislamiento	46
3.3.8	Calor necesario para el proceso de polimerización	46
3.3.9	Cálculo de la pérdida de calor	47
3.4	Cálculo eléctrico.....	48
3.4.1	Cálculo de la potencia eléctrica.....	48
3.4.2	Caída de voltaje	48
3.4.3	Cálculos mecánicos	49
3.5	Cálculos de esfuerzos y factor de seguridad	49
3.5.1	Soportes del techo	49
3.5.2	Columnas.....	50
3.6	Simulaciones y selección	50
3.7	Esquema eléctrico del horno electroestático	52
3.7.1	Diagrama de programación.	52
	Conexiones KOP LOGO 8 Confort	53
3.8	Conexiones y funcionamiento CADe_SIMU	54
3.9	Resumen del capítulo	54
	CAPÍTULO IV	55
	ANÁLISIS ECONÓMICO	55
4.1	Introducción	55
4.2	Comprobación de la hipótesis	55
4.3	Comprobación de Resultados.....	55
4.3.1	Implementación del horno.....	56
4.3.2	Verificación del aislamiento y eficiencia	56
4.3.3	Ensayos de adherencia.....	56
4.3.4	Análisis de resultados	57
4.4	Análisis de costos de la implementación del proyecto.....	57
4.4.1	Costos directos	57
4.4.2	Costos indirectos	57
4.4.3	Imprevistos	58
4.5	Justificación de costos	58

4.6	Análisis económico	59
4.7	Resumen del capítulo	61
	CONCLUSIONES	62
	RECOMENDACIONES	63
	REFERENCIAS	64
	Anexo 1 Propiedades de metales sólidos [25]	
	Anexo 2 Características térmicas de los materiales [26]	
	Anexo 3 Construcción del horno	
	Anexo 4 Construcción del piso con aislamiento de lana de vidrio	
	Anexo 5 Construcción y aislamiento de puertas	
	Anexo 6 Conexiones previas del programa con los componentes	
	Anexo 7 Colocación del material eléctrico en el gabinete	
	Anexo 8 Comprobación durabilidad de la pintura	
	Anexo 9 Pruebas de funcionamiento del horno con el quemador	
	Anexo 10 Diagrama eléctrico conexiones del PLC al quemador	
	Anexo 11 Manual de operación y mantenimiento	
	Anexo 12 Colocación de planos y ensamblaje del horno	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Manufactura de la pintura en polvo [24].....	9
Figura 2 Estructura de la pintura en polvo[4].....	10
Figura 3 Diagrama causa-efecto acabado superficial deficiente	13
Figura 4 Convección forzada [4].....	16
Figura 5 Horno de pintura electroestática a gas [10]	17
Figura 6 Quemador de pre mezcla por aspiración [14].....	19
Figura 7 Quemador de premezcla por inspiración [14].....	19
Figura 8 Actuadores [13].....	25
Figura 9 Interacción de elementos de un sistema de control [23]	26
Figura 10 Diagrama Causa-Efecto Aumento en la productividad	31
Figura 11 Variables dependientes y independientes [22].....	31
Figura 12 Diagrama de flujo del horno semiautomático para pintura electroestática.	41
Figura 13 Simulación en soporte de panel superior	51
Figura 14 Análisis en panel lateral del Horno	51
Figura 15 Diagrama de programación del PLC esquema eléctrico.....	52
Figura 16 Conexiones del programa KOP	53
Figura 17 Simulación de conexiones con CADe_SIM	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Causa-efecto principal de los acabados superficiales deficientes	13
Tabla 2 Comparativa de Selección de alternativas en aplicaciones de pintura	20
Tabla 3 Clasificación de los termopares.....	25
Tabla 4 Materiales del proyecto	37
Tabla 5 Relación tiempos - funcionamiento.....	42
Tabla 6 Relación de tiempos y etapas	42
Tabla 7 Calculo de potencia eléctrica.....	48
Tabla 8 Justificación de costos	59
Tabla 9 Flujos de ingresos - egresos	60
Tabla 10 Flujo efectivo neto anual	60
Tabla 11 Cálculos VAN y TIR.....	61

NOMENCLATURA

- Q: Cantidad de calor transferido
- h: Coeficiente de transferencia
- A: Área de calor transferido
- T: Temperatura
- T_{∞} : Temperatura circundante
- ΔT : Diferencia de temperatura
- m: Masa de un objeto
- Fs: Factor de seguridad
- De: Diámetro efectivo
- β : Coeficiente de expansión térmica
- Tf: Cambio de temperatura
- Ra: número de Rayleigh
- g : Gravedad
- Tsp: Temperatura superficial
- L: Longitud o dimensiones
- ν : Viscosidad cinemática del fluido
- α : Difusividad térmica del fluido
- He: Coeficiente de transferencia de calor convectivo
- NuL: Número de Nusselt
- K: Conductividad térmica del fluido o material
- Re: Número de Reynolds
- ρ : Densidad del fluido
- v: Velocidad media del fluido

μ : Viscosidad dinámica del fluido

T_m : Temperatura media de T_i y T_a

T_i : Temperatura inicial

T_a : Temperatura ambiente

Rconvección: Resistencia de convección térmica

h_i : Coeficiente de transferencia de calor

Rconducción: Resistencia de conducción térmica

x : Distancia o espesor del material

K_x : Conductividad térmica del material

C_p : Capacidad calorífica del material

P : Potencia eléctrica

V : Voltaje del circuito

I : Corriente eléctrica del circuito

R : Resistencia del componente

PRI: Periodo de recuperación de la inversión

VAN: Valor Actual Neto

TIR: Tasa Interna de Retorno

ε : Deformación unitaria

δ : Deformación

E : Módulo elástico

RESUMEN

En el actual proyecto de titulación se establece el diseño y construcción de un horno semiautomático de pintura electrostática para un microemprendimiento, dicho proyecto brinda una mayor calidad en acabados superficiales de productos metálicos.

El proyecto parte con la investigación y selección de información sobre los aspectos básicos del recubrimiento en polvo electrostático, analizando sus aplicaciones y clasificaciones, se establece el tipo de recubrimiento electrostático y el horno más óptimo para la microempresa.

Se toma en cuenta la inspección de pintura realizando las mediciones de espesor de película, evaluación de adhesión y evaluación de curado para comprobar la eficiencia del horno de pintura electrostática.

El horno de pintura electrostática es una herramienta esencial en los procesos de acabado de piezas, ya que permite lograr una correcta adherencia y curado de la pintura electrostática en diferentes materiales. Para garantizar resultados de alta calidad y durabilidad en los acabados de pintura, es fundamental mantener un control riguroso de la temperatura y los tiempos de curado.

En la investigación, se opta por una metodología experimental que involucra pruebas, mediciones y el uso de ecuaciones para obtener datos cuantitativos. Esto permite obtener información precisa y confiable para seleccionar los materiales y componentes críticos en el proceso de pintura electrostática.

Palabras claves:

Pintura electrostática, Horno a gas, eficiencia térmica, materiales, optimización del rendimiento.

ABSTRACT

In the current titling project, the design and construction of a semi-automatic electrostatic painting oven for a micro-enterprise is established, this project provides a higher quality in surface finishes of metal products.

The project begins with the investigation and selection of information on the basic aspects of electrostatic powder coating, analyzing its applications and classifications, establishing the type of electrostatic coating and the most optimal oven for the microenterprise.

The inspection of paint is taken into account by making measurements of film thickness, adhesion evaluation and curing evaluation to check the efficiency of the electrostatic painting oven.

The electrostatic paint oven is an essential tool in part finishing processes, since it allows for proper adhesion and curing of the electrostatic paint on different materials. To guarantee high quality results and durability in paint finishes, it is essential to maintain rigorous control of temperature and curing times.

In the research, an experimental methodology is chosen that involves tests, measurements and the use of equations to obtain quantitative data. This allows obtaining accurate and reliable information to select the critical materials and components in the electrostatic painting process.

Keywords:

Electrostatic painting, Gas oven, thermal efficiency, materials, performance optimization.

INTRODUCCIÓN

En el mundo moderno se ha buscado tener un grado de excelencia en cuanto a acabados superficiales que brinden además de un aspecto visual favorable una resistencia a los factores ambientales como la corrosión, precipitaciones y rayos UV, además de una reducción en costos - tiempos de aplicación y curado.

Este emprendimiento está dirigido a las microempresas o talleres que buscan modernizar sus tratamientos superficiales, con una inversión moderada y satisfaciendo las exigencias del mercado actual.

El proyecto cumple con las demandas de acabados superficiales, brindando las cualidades antes mencionadas con un proceso basado en recubrimiento de polvo electrostático mejorando la resistencia a los factores ambientales.

Para la construcción del horno se recopila información y datos que ayudan a la selección del mismo, además cuenta con una cabina para la recolección de la pintura en polvo, siendo este un factor que ayude a la reutilización de los pigmentos beneficiando a la economía de la microempresa y al medio ambiente.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En varios talleres nacionales, es común regular la utilización de pinturas anticorrosivas derivadas del cromo. Los pigmentos anticorrosivos más utilizados son los hexavalentes de cromo, debido a su eficacia en los sistemas de protección contra la corrosión en superficies metálicas, así como su relación costo-eficacia.; estos compuestos de cromo son altamente tóxicos e implican un alto riesgo para la salud de los trabajadores y el medio ambiente; en la actualidad existe un interés especial en el desarrollo de nuevos sistemas anticorrosivos que mejoren la eficacia y eficiencia del mecanismo de protección, así aumentar la vida útil de los recubrimientos siendo estas alternativas aceptables para el medioambiente [1].

En la actualidad existen empresas, microempresas y emprendimientos que elaboran estructuras, muebles y decoraciones en metal, las cuales necesitan tratamientos superficiales de pintura por lo que es necesario mejorar dichos acabados mediante técnicas distintas y utilizando artefactos más modernos para cumplir las exigencias del cliente; con avances tecnológicos y distintos métodos de pintura se beneficia no solo el cliente, también el medio ambiente.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Importancia y alcance

El diseño y construcción del horno de pintura electrostática ingresa a los talleres y microempresas para cumplir con las exigencias en cuanto acabados superficiales, mejorando la relación costo-tiempo cumpliendo con los requisitos técnicos.

La ejecución del proyecto finaliza con la construcción completa del equipo, además de las pruebas de funcionamiento y fiabilidad del mismo, para los cuales se implementará criterios puntuales.

OBJETO DE ESTUDIO

Los microemprendimientos basados en metalmecánicas elaboran productos metálicos que deben tener recubrimientos superficiales de excelente calidad, tradicionalmente se utilizaba métodos básicos como brochas, airless (proceso de pintado por aire comprimido) permitiendo pulverizar la pintura sin mezclar con el aire [2].

Sin embargo, dichos métodos básicos generaban pérdida de materia prima por los materiales utilizados o en otros casos presentaban gran tiempo de curado, por esta razón la implementación de nuevas tecnologías busca optimizar tiempos y la utilización del pigmento en su totalidad.

La creación del horno de pintura electrostática busca sustentar las exigencias de los clientes además de beneficiar en los factores vistos anteriormente, gracias a la cabina de pintura permite reutilizar el exceso de pigmentos aplicados en los productos, además de contemplar la reducción de tiempos por el rápido secado mediante paredes herméticas que retienen el calor proporcionado mediante el quemador a gas.

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En la actualidad varias metalmecánicas buscan mejorar y optimizar sus procesos de producción, siendo el acabado superficial un factor importante para el consumidor final, gracias a los avances tecnológicos se pueden mejorar dichos procesos con soluciones amigables para el medioambiente. En los últimos años el recubrimiento electrostático con pintura en polvo ha tenido un importante crecimiento, debido a la utilización de distintos métodos de fabricación que permite reutilizar el material, teniendo una adecuada construcción y la posibilidad de automatización con la que se reduce el espacio ocupado al igual que el personal. Gracias al sistema de recuperación de pintura tiene un rendimiento del material de recubrimiento hasta el 99 %. Por tal razón esta tecnología tiene mayor rentabilidad en técnicas superficiales a tal punto que esta pintura es utilizada en diferentes tipos de industrias por su bajo costo y propiedades mecánicas adicionalmente, la resina tiene características como adherencia, impacto, dureza, flexibilidad y resistencia [3].

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y construir un horno semiautomático de pintura electroestática.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar la estructura del horno mediante software CAD para obtener sus respectivos planos.
- Construir un horno de pintura electrostática mediante técnicas industriales para un sellado hermético y conservación del calor más eficiente.
- Realizar pruebas de funcionamiento del sistema para validar las mejoras de los acabados superficiales en estructuras y elementos metálicos.

HIPÓTESIS DEL PROYECTO

¿Cuál es el tipo de proceso y maquinaria más óptimos para el proyecto, considerando diferentes tipos de tratamientos y aplicaciones dentro del recubrimiento en polvo, en función de las condiciones atmosféricas, el tipo de pintura, la aplicación, el secado y la durabilidad?

ALCANCE DEL PROYECTO

En el alcance que se busca mediante la construcción de un horno semiautomático de pintura electroestática, que brinde una película de polvo basado en poliéster que proporcione alta dureza a impactos y rayaduras.

El diseño del horno está basado en software CAD y técnicas industriales para su construcción y pruebas del mismo, optimizando tiempos, recursos además de reducir la contaminación por pinturas en aerosol y lacas.

DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LOS CAPÍTULOS DEL PROYECTO

El proyecto desarrollado consta de cuatro capítulos, en los cuales se refleja la información investigada, desarrollada e interpretada antes, durante y finalizada su construcción. Cabe mencionar que cada capítulo tiene temas puntuales sobre el trabajo de titulación desarrollo.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO

Este capítulo presenta una introducción del trabajo de titulación, así como el marco teórico de la investigación. Se discuten los antecedentes del estudio, la justificación y el análisis de alternativas, así como los aspectos teóricos necesarios. Las conclusiones del capítulo proporcionan una base para la investigación que se lleva a cabo.

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se describe la metodología utilizada en la investigación. Se presenta el diseño y la modalidad de la investigación, así como el diagrama causa-efecto y la operacionalización de las variables. También se describen las técnicas e instrumentos utilizados los cuales proporcionan el conocimiento necesario para el desarrollo del proyecto.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Este capítulo describe los resultados de la investigación. Se discute la situación actual y se presentan cálculos y simulaciones del proceso. Las conclusiones del capítulo proporcionan una comprensión de los resultados y su importancia.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se presenta el análisis económico de la investigación. Se describe la comprobación de la hipótesis y la evaluación ambiental, si es necesario. Se presenta el manual de operación y mantenimiento, así como el análisis de costos y la justificación de los mismos.

CAPÍTULO I

MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO

1.1 Introducción

El tema de titulación dispondrá de una parte teórica y una práctica, en la primera parte se dirigirá a la recopilación de datos, información y análisis de trabajos, proyectos e informes que presenten similitudes con el proyecto a desarrollar.

1.2 Antecedentes de la investigación

La aplicación de lacas líquidas presentaba problemas como pérdidas de tiempo y producción, por lo que se buscó mejorar la calidad de los acabados y la protección contra la corrosión. En los años 50, se empezaron a estudiar las partículas de pintura en polvo, que se aplican a la superficie previamente polarizada con atracción magnética. En 1962, Allen H. Turner [3]. Patentó la tecnología de acabado electrostático, que resultaba más eficiente y económica. La pintura en polvo electrostática es un proceso utilizado en diversas industrias para mejorar la estética superficial y proteger contra la corrosión. Este método emplea altos voltajes y fuerzas electrostáticas para impregnar el elemento con partículas de pintura en polvo, obteniendo como resultado un acabado de calidad y mayor resistencia y durabilidad en los productos finales.

1.2.1 Producción de pintura en polvo

En la Figura 1 se detalla las etapas de manufactura que conllevan a la fabricación de las pinturas en polvo.

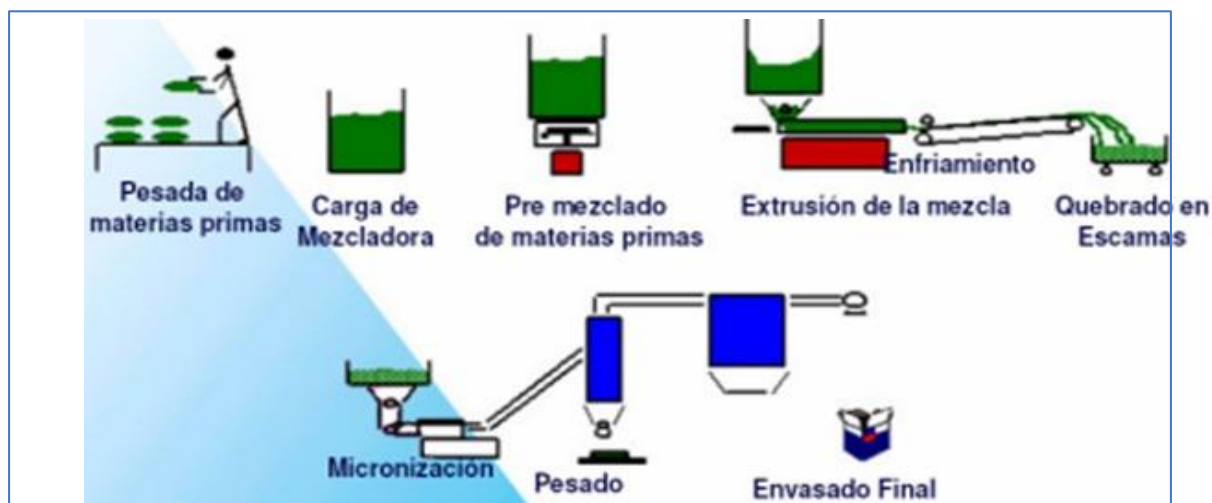


Figura 1 Manufactura de la pintura en polvo [24]

1.2.2 Estructura de la pintura electroestática

a) *Resina*: Este elemento se origina a partir de fuentes vegetales, define el rendimiento de la pintura y forma el 62 % de composición general.

b) *Catalizador*: Elementos que reaccionan químicamente con la resina formando así una capa protectora y continua, aportando 1 % a la composición.

c) *Aditivos*: Encargado de potenciar el rendimiento y eventualidades del acabado de la pintura. Siendo este el 2 % del formado general.

d) *Pigmento*: Su finalidad es la de potenciar el acabado, sus matices, textura y brillo a los productos aplicados por tal razón ocupa el 35 % de la mezcla. En la utilización de pinturas electrostáticas existen diversos tipos de pigmentos con la finalidad de soportar los cambios climáticos y no decolorarse con el paso del tiempo [4].

En la Figura 2 se representa la estructura de la pintura en polvo según sus componentes.

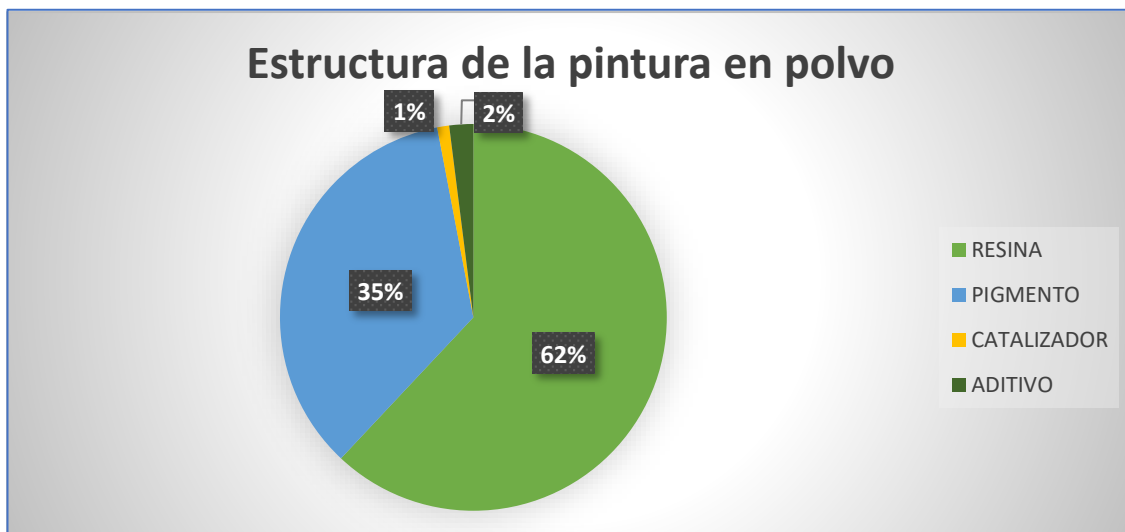


Figura 2 Estructura de la pintura en polvo[4]

1.2.3 Clasificación de pintura en polvo electroestáticas

En la actualidad el mercado de pinturas en polvo es muy variado, a continuación, se detallará las más comunes, eficientes y utilizadas.

a) **Poliéster**

Este tipo de pigmentos son aplicados comúnmente en interiores y exteriores, debido a que proporcionan cualidades a una superficie metálica para soportar rayos UV, condiciones

climáticas diversas y calentamiento excesivo.

Debido a las condiciones climáticas actuales se han desarrollado poliésteres extra duraderos. Al no garantizar una propiedad mecánica eficiente no es recomendable para su aplicación en suelos o pisos, ya que es necesario de un tratamiento consecutivo, siendo esta una de sus desventajas.

En la industria, el micro texturizado se ha destacado por ser el más utilizado para decoraciones ambientales interiores y exteriores, ya que son muy resistentes a temperaturas elevados y son accesibles a procesos subsiguientes de la pieza [4].

b) Híbridos

Este tipo de pintura en polvo está compuesto de resina tipo poliéster adicionado con epóxicas. Las proporciones utilizadas en esta combinación son 60 % de poliéster 40 % de epóxicas, 50 % a 50 % y 70 % a 30 % respectivamente. Sus aplicaciones más frecuentes son de tipo ornamental al brindar buena adherencia y protección a la luz ultravioleta.

c) Epóxica

Este compuesto pigmentado está formado mayormente de resina epóxica la cual es altamente eficiente a la corrosión y productos químicos. Dicho compuesto es recomendado para exteriores e interiores. La resina epoxi es el primer recubrimiento termoestable comercializado en el mercado industrial.

1.2.4 Cargas

Se encarga de proporcionar al producto final ciertas propiedades mecánicas tales como resistencias a impactos y a su vez mejora su acabado superficial. Los más utilizados son la barita que es sulfato de bario y el carbonato de calcio estas son micronizadas o precipitadas y en algunas ocasiones se utiliza la dolomita que es el carbonato de calcio y magnesio [4].

1.2.5 Ventajas de la pintura electrostática

Existen diversas ventajas en la utilización de la pintura en polvo o electrostática las más importantes son la facilidad de implementación en las líneas de producción y la resistencia a los cambios climáticos. Esta pintura se clasifica en diversos tipos de componentes para la formulación de la misma entre ellas destacan la epóxica TGIC/poliéster e híbrida [5].

1.2.6 Inspecciones de pinturas

Medición de espesor de película

Las mediciones para espesores se realizan después del curado completo, se determina si dispone del espesor y rango aceptable con el único valor de verificar que no se dañe el recubrimiento.

Evaluación de la adhesión

Para que la protección anticorrosiva sea óptima depende de la adhesión de la pintura, según la norma ASTM D 3359 es realizada por el método de corte (con navaja) en forma de cruz o de cuadrícula dependiendo del espesor de película seca del sistema de pinturas, estos resultados son de carácter cualitativo basados en una escala visual de seis grados de adherencia o niveles, evaluando el grado de resquebrajamiento a lo largo de los bordes de los cortes [5].

Valoración del acabado

El ensayo de la escofina es empleado en el acabado de pinturas de alta dureza, donde al lijar, si se desprende polvo indica curación completa, de lo contrario, la hoja se adhiere. El ensayo ASTM D 3363 utiliza lápices de distintas durezas para evaluar la resistencia al rayado superficial de la película de pintura, recomendándose comenzar por los lápices más blandos (B) y avanzar hacia los más duros (5H) hasta conseguir cortar la película [5].

1.3 Fundamentación de la investigación

El diagrama causa efecto empleado en la creación del horno de pintura electrostática está enfocado en el efecto principal de los acabados superficiales deficientes y las causas que los producen además de incluir un cuadro comparativo con el efecto y causa principales Figura 3 [5].

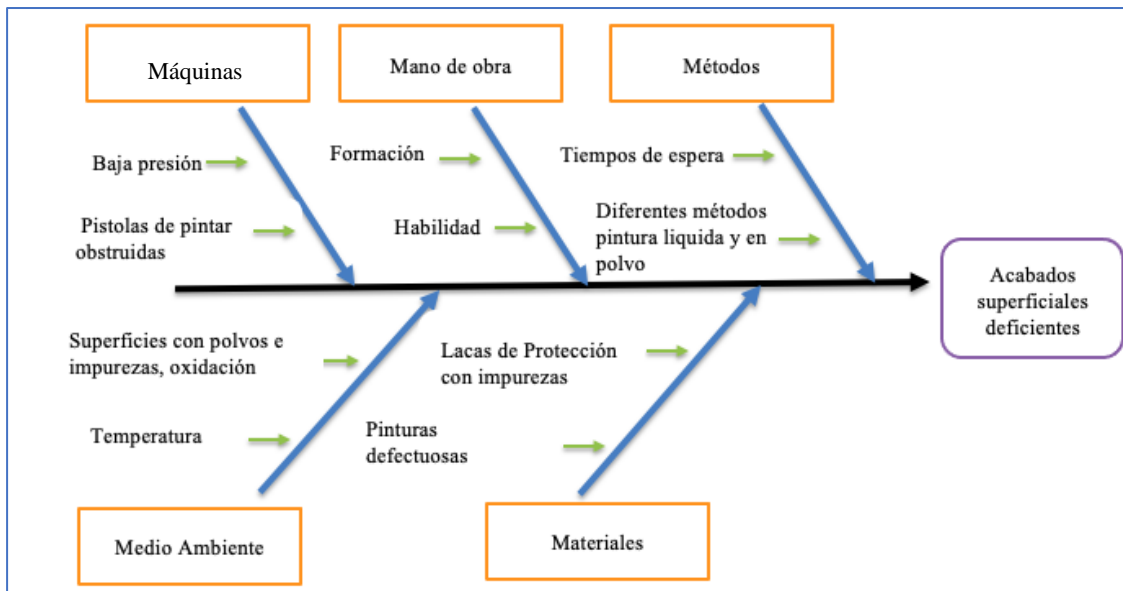


Figura 3 Diagrama causa-efecto acabado superficial deficiente

Se recopilan las causas en base a los materiales, máquinas, habilidades, métodos y medio ambiente siendo esta última la principal, por la diferencia de temperatura e impurezas en el ambiente dando como efecto un acabado deficiente. A continuación, en la Tabla 1 se detallan causas y efectos.

Tabla 1 Causa-efecto principal de los acabados superficiales deficientes

Causa	Efecto
<ul style="list-style-type: none"> Oxidación y desgaste prematuro en productos siendo la causa principal el medio ambiente con la diferencia de temperatura que afecta negativamente el rendimiento de las máquinas o la calidad de los materiales, mientras que las impurezas, como el polvo, pueden provocar contaminación y afectar la eficiencia de los procesos. 	<ul style="list-style-type: none"> Acabados superficiales deficientes

1.4 Análisis de alternativas

Una empresa está sometida a mejorar, busca una superación personal y empresarial realizando ciertas actualizaciones en métodos para operar de manera rápida y eficiente los procesos de producción, existen varios métodos de pintura disponibles para lograr un acabado superficial de calidad.

Entre ellos se encuentran la pintura convencional, la pintura en aerosol, la pintura electrostática, la pintura en polvo y la pintura por inmersión.

Cada método tiene sus propias ventajas y consideraciones. Sin embargo, la pintura electrostática destaca por su capacidad de lograr una distribución uniforme, reducir el desperdicio de pintura y obtener un acabado suave y duradero. Es especialmente útil en aplicaciones industriales donde se busca eficiencia y calidad [6].

1.4.1 Sistema de polimerización

El recubrimiento electrostático tiene como objetivo brindar una capa protectora al material en el cual está aplicado, activando una reacción química compuesta de resina durante el calentamiento, un equilibrio de sustrato y tiempo de temperatura hacen posible este método de acabado superficial.

En la industria, la clasificación de hornos es muy diversa se detallarán algunas de las posibles alternativas:

- **Radiación:** Este tipo de horno utiliza radiación infrarroja para alcanzar temperaturas deseadas. La existencia de calor irradiado se produce de forma gradual y el efecto está relacionado con la absorción de la radiación por parte del material [7].
- **Convección:** Este horno alcanza temperaturas de curado calentando el aire en la cámara de polimerización la cual contiene al producto, material o piezas. Estos quemadores utilizan gas como resistencia eléctrica y sistemas de recirculación de aire por convección forzada.
- **Eléctricos:** los hornos eléctricos al ser de contacto directo con la radiación ofrecen temperaturas continuas al material o pieza a curar [7].

Existen varios tipos de hornos de pintura electrostática disponibles en la actualidad. Tales como:

- **Horno de pintura en polvo:** Este tipo de horno utiliza pintura en polvo que se adhiere a la superficie de las piezas metálicas mediante un proceso electrostático. El horno calienta las piezas para fundir la pintura en polvo y crear un recubrimiento uniforme y duradero.

- **Horno de pintura líquida:** Este tipo de horno utiliza pintura líquida que se adhiere a la superficie de las piezas metálicas mediante un proceso electrostático similar al horno de pintura en polvo. El horno calienta las piezas para curar la pintura líquida y crear un recubrimiento uniforme y duradero [8].
- **Horno de convección natural:** Este tipo de horno utiliza la circulación natural del aire para calentar y curar la pintura en las piezas metálicas. El horno no tiene ventiladores o sopladores para mover el aire y, por lo tanto, es menos eficiente en la distribución del calor [2].
- **Horno de convección forzada:** Este tipo de horno utiliza ventiladores o sopladores para mover el aire y distribuir el calor de manera uniforme en todo el horno. El horno es más eficiente que el horno de convección natural y se utiliza para procesar piezas metálicas en grandes cantidades [7].

1.4.2 Aceleración de polímeros por resistencia eléctrica y convección asistida

Los hornos eléctricos son simples y versátiles en las industriales donde se produce energía calórica al conducir una carga eléctrica a través de un elemento resistivo que lo envuelve. En fogones con calefacción externa, las resistencias son particularmente útiles en aplicaciones donde la temperatura se puede controlar con precisión.

Las resistencias más utilizadas en los hornos de curado por resistencia son [8]:

a) Resistencias con aletas helicoidales

Especializados en elementos utilizados para calentar aire a altas temperaturas. Soporta temperatura del aire hasta cuatrocientos grados centígrados en convección.

b) Resistencia energética en aletas aluminizadas

Estos elementos cuentan con aletas aluminizadas que permiten una alta transferencia de calor al ambiente. Las aletas tienen forma rectangular y utilizan la conductividad térmica del aluminio para su funcionamiento.

c) Resistencia blindada tipo doble M

Se han investigado y analizado cuidadosamente los componentes necesarios para elevar la temperatura del aire a un máximo de 400 °C mediante un flujo de aire forzado de al menos 3 m/s [8].

La resistencia eléctrica que proporciona la energía térmica al interior del horno, es importante que el aire circule alrededor del mismo para homogeneizar la temperatura en su interior. Este procedimiento se fundamenta en la teoría de la transferencia de calor mediante convección asistida. Cuando un líquido con temperatura elevada interactúa con una superficie de menor temperatura, el calor se transfiere al panel con una velocidad que dependerá de las características del fluido. Si el fluido se desplaza mediante convección forzada, esta transferencia puede ocurrir a través de un flujo laminar o un flujo turbulento, como se muestra en la Figura 4.

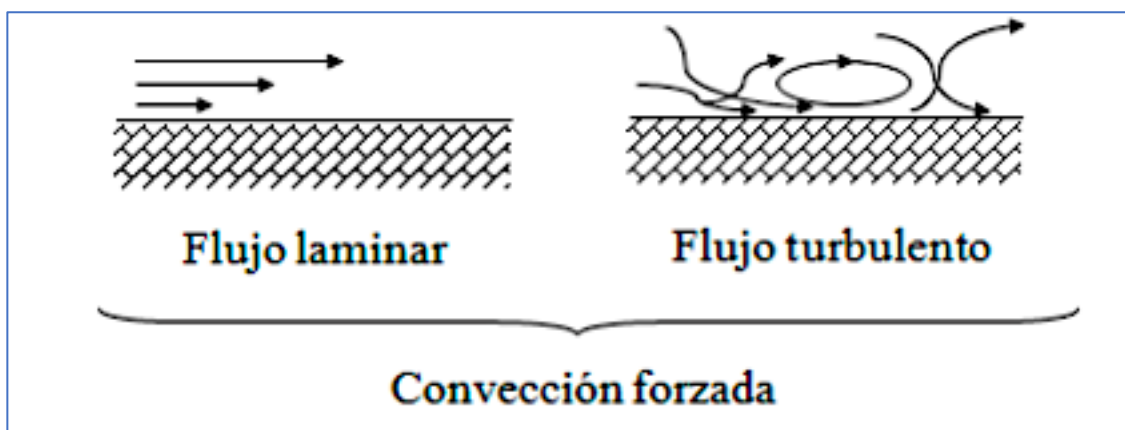


Figura 4 Convección forzada [4]

La convección es un proceso de transporte que implica la transferencia de materia y energía y se produce como resultado de las disparidades en la densidad del fluido. Si un líquido aumenta su temperatura, se expande, lo que reduce su cohesión.

$$Q = hA(T - T_{\infty}) = h A \Delta \quad (1)$$

La existencia de un flujo laminar o turbulento impacta en las características de la convección, pues determina la distancia que recorre el fluido a una velocidad específica. Como resultado, en el caso del flujo turbulento, se logra una transferencia de calor más uniforme.

1.4.3 Avances en convección forzada por polimerización a gas

Estos hornos de convección asistida que funcionan con gas son muy parecidos a los que utilizan resistencia eléctrica para generar calor y lograr el curado de piezas.

La principal diferencia entre ellos es la fuente de energía térmica utilizada para transferir calor a las piezas que se desean curar.

En el caso de los hornos a gas como se observa en la Figura 5, el elemento encargado de proporcionar la energía calorífica necesaria es conocido como quemador [7].

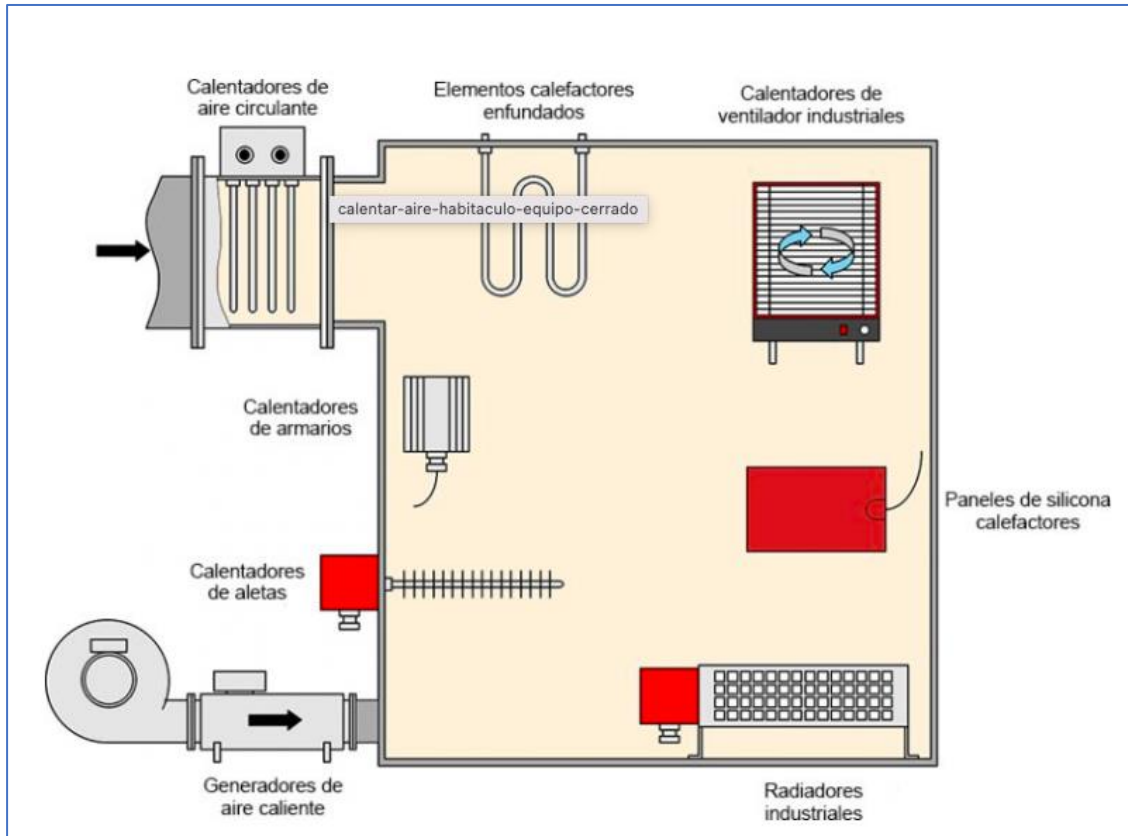


Figura 5 Horno de pintura electrostática a gas [10]

Es importante comprender el funcionamiento de las piezas de pintura electrostática en la industria de matricería, ya que debido a su forma irregular se deben aplicar los principios de transferencia de calor para objetos sumergidos. En el contexto de los conductos, se establece un coeficiente de transferencia de calor para esta aplicación.

$$Q = h m A(T - T_{\infty}) \quad (2)$$

1.4.4 Equipos de combustión

Desde tiempos antiguos, los humanos han sido conscientes del fuego, pero no sabían cómo manejarlo y lo consideraban peligroso debido a su capacidad para causar incendios forestales y erupciones volcánicas.

A medida que el tiempo pasaba, aprendieron a controlar la creación y extinción del fuego y comenzaron a usarlo para cocinar y para quemar objetos de cerámica. Al principio, la fuente principal de fuego era la madera o el carbón, pero más tarde se desarrollaron tecnologías para controlar la combustión de líquidos y gases, y se crearon dispositivos como quemadores y cámaras de combustión para aumentar la eficiencia y transferir el calor adecuadamente. [9].

Estos equipos de combustión presentan algunas funciones las cuales se mencionarán a continuación:

- Encender la llama y mantenerla constante
- Asegurarse de la correcta mezcla de aire y combustible para una eficiente combustión
- Suministrar aire y combustible en las proporciones correctas y garantizar la seguridad durante todo el proceso.

Quemadores a gas

Los quemadores son equipos que tienen la responsabilidad de iniciar el proceso de combustión, lo que requiere de la combinación efectiva de tres componentes esenciales: el combustible, el aire y la energía de activación. En consecuencia, es fundamental que se garantice una adecuada mezcla de los elementos, así como la cantidad de energía necesaria para activar el proceso de combustión se pueden clasificar según la forma que mezcla el aire comprimido y el gas o combustible [10].

Los cuales son:

Quemadores a gas de pre mezcla

Los sistemas de pre-mezcla utilizan mezcladores para combinar el combustible y el aire debajo de la boquilla del quemador. Estos mezcladores pueden ser de tipo mecánico, de aspiración o de inspiración.

Si la velocidad de la mezcla es igual a la velocidad de la llama, entonces la llama se mantendrá estacionaria en el punto donde se le aplique la ignición.

En la Figura 6 y 7 se observará la representación de la estructura de los quemadores de pre mezcla tanto en su modalidad de aspiración como en inspiración.

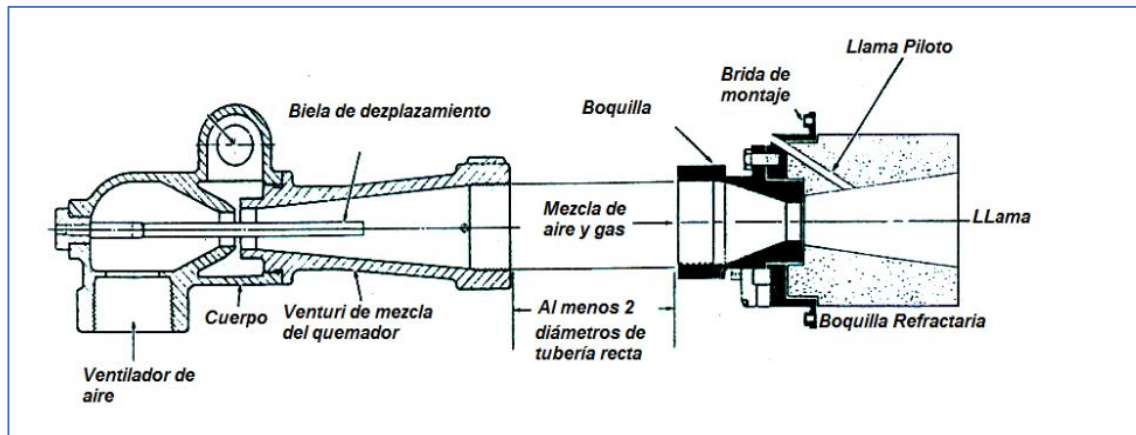


Figura 6 Quemador de pre mezcla por aspiración [14]

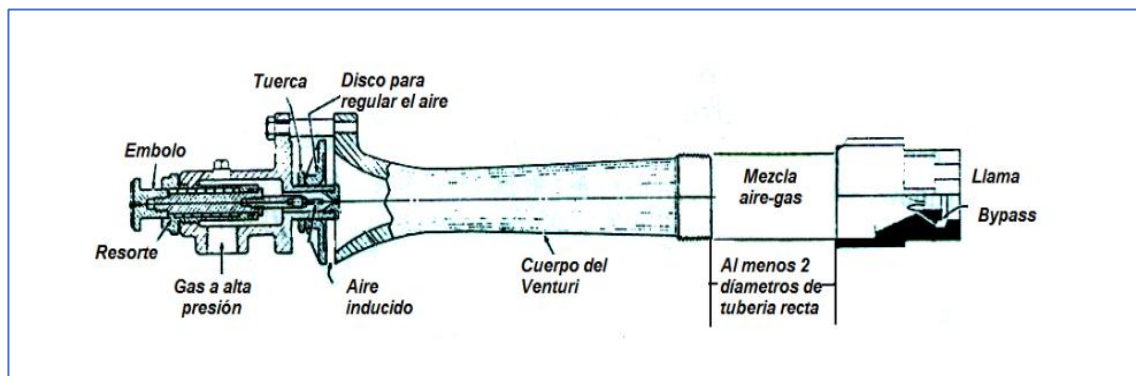


Figura 7 Quemador de pre mezcla por inspiración [14]

Quemadores a gas de mezcla en la boquilla

Los quemadores que mezclan aire y combustible en la boquilla son llamados quemadores de mezcla en la boquilla. Estos quemadores tienen la particularidad de contar con dos orificios que permiten la mezcla de los fluidos en el momento exacto en que ingresan a la boquilla. Entre las ventajas que presentan este tipo de quemadores, destacan las siguientes.

Cuando no hay una mezcla previa de aire y combustible, no hay riesgo de que se produzca un retroceso de llama, lo que aumenta la estabilidad y reduce el peligro de explosiones. No obstante, cuando se usan sistemas de premezcla, como tuberías o múltiples con un diámetro de cédula 40 o menor, puede haber una probabilidad de que se produzcan rupturas en diámetros mayores a 4 pulgadas [10].

A diferencia de los quemadores de premezcla, que tienen un rango limitado de proporciones de

aire y combustible para poder operar debido a las restricciones de inflamabilidad del combustible, los quemadores que no utilizan premezcla tienen una mayor flexibilidad al poder manejar una amplia gama de relaciones aire/combustible.

Quemadores a gas de mezcla retardada

Los quemadores de este estilo resultan altamente beneficiosos en escenarios que demandan llamas radiantes de longitud considerable, como en hornos muy grandes o anchos que tienen una distribución de calor deficiente.

Estos quemadores producen llamas luminosas que pueden alcanzar longitudes notables y llenar grandes espacios de combustión con pequeñas variaciones de temperatura a lo largo de su longitud.

Esto permite una mayor uniformidad de temperatura en todo el espacio de combustión, lo que aumenta la eficacia del área central del horno [9].

1.5 Cuadros comparativos de selección de alternativas

En el presente cuadro comparativo presentado en la Tabla 2, se considera diferentes criterios en pinturas líquidas aplicadas manualmente, pintura líquida aplicada por compresor de aire y pinturas en polvo, tomando en consideración su calificación siendo 1 el más bajo y 5 el más alto.

Tabla 2 Comparativa de Selección de alternativas en aplicaciones de pintura

Criterios	Pintura líquida aplicada manualmente	Pintura líquida	Pintura en polvo
Facilidad de aplicación	2	4	4
Uniformidad del acabado	2	5	5
Resistencia a la corrosión	3	4	5
Amplia variedad de acabados	4	5	4
Resistencia a la abrasión	2	4	5
Resistencia a los productos químicos	2	4	5
Amigable con el medio ambiente	3	3	5
Costo	4	3	2
Total	55%	80%	90%

Utilizando los criterios proporcionados, se ha realizado una evaluación comparativa de tres métodos de pintura: pintura líquida aplicada manualmente, pintura líquida y pintura en polvo. A través de este análisis, se ha determinado que la pintura en polvo obtiene la puntuación más alta siendo la mejor opción.

1.6 Aspectos teóricos fundamentales

1.6.1 Polimerización

En la línea de recubrimiento con pinturas en polvo, la fase crítica es la nivelación y endurecimiento cuidadoso de la pintura aplicada mediante el vaciado electrostático. La habilidad de la pintura para nivelarse adecuadamente durante el proceso de curado depende de sus características de temperatura y fluidez, que son específicas para cada tipo de pintura. La resina y los agentes de curado presentes en la pintura se entrecruzan y se vuelven más viscosos con el tiempo, lo que influye en las propiedades finales del recubrimiento. Es crucial que se mantengan condiciones térmicas equivalentes para los componentes durante el proceso de nivelación para garantizar una uniformidad en todo el recubrimiento de la pieza [11].

1.6.2 Hornos de polimerización

La función principal de los hornos de combustión es producir calor, el cual puede ser generado a través de una combustión de inflamable o por la conversión de esfuerzo eléctrico en temperaturas elevadas al interior del horno.

Clasificación de los hornos de polimerización

Los hornos se pueden clasificar en diferentes categorías dependiendo de su uso, la fuente de energía que emplean, el proceso en el que se utilizan y su función específica [11].

a) Clasificación según su fuente de energía

Los hornos pueden ser clasificados según su fuente de energía, y aquellos que utilizan la combustión de combustible pueden emplear combustibles sólidos, líquidos o gaseosos en función del tipo de quemador utilizado. Por otro lado, los hornos que utilizan una fuente eléctrica para generar calor alcanzan temperaturas considerables.

b) Categorización mediante su aplicación

La clasificación de los hornos puede realizarse en base a su aplicación, donde los hornos domésticos tienen una baja temperatura y su uso está dirigido a la preparación de alimentos en hogares. En contraste, los hornos industriales se caracterizan por su temperatura media y alta y se emplean en el procesamiento y transformación de la materia prima a través de técnicas como el calentamiento y la fundición [11].

c) Según el proceso los hornos pueden clasificarse en dos tipos

Existen dos tipos de hornos: los de carga por lotes y los continuos. En los hornos de carga por lotes, el material permanece estático y sin movimiento durante todo el proceso de calentamiento, desde la inserción de la carga hasta la finalización del proceso y la posterior sustitución por otro lote.

d) En términos generales, los hornos suelen utilizar dos fuentes de calor

Combustión y conversión de energía eléctrica a calor. Los hornos discontinuos, por su parte, tienen un límite máximo de temperatura al que pueden someterse las cargas. Por otro lado, existen hornos que utilizan resistencias eléctricas o se calientan mediante inducción, y que se denominan hornos eléctricos. Además de estos métodos, existen otros tipos de calentamiento eléctrico o electrónico, tales como el calentamiento por arcos de plasma, láser, radiofrecuencias, microondas y calentamiento electromagnético, entre otros [11].

1.6.3 Influencias en la cualidad de la pintura

La eficacia del acabado puede verse afectada por diversos factores durante todo el proceso de pintado. Entre ellos destacan la preparación de la superficie a pintar, la calidad y uniformidad de la pintura, el método de aplicación, la técnica de pulverización, la temperatura y humedad ambiente durante el secado y curado de la pintura. También influyen la habilidad y experiencia del pintor, la calidad y mantenimiento del equipo utilizado. Es esencial tener en cuenta todos estos factores para lograr un acabado de calidad al pintar cualquier superficie.

1.6.4 Equipos para la aplicación de pintura en polvo.

El método más comúnmente utilizado para aplicar pintura en polvo es el rociado electrostático, ya que ofrece una manera eficiente y rápida de aplicar recubrimientos [8].

Consta de 5 componentes elementales:

- a) Dispositivo de alimentación de materiales**
- b) Equipos de pulverización electrostática**
- c) Generador de voltaje electrostático**
- d) Sistema de recolección de polvo**
- e) Cámara de pintura o cabina de pintura**

Pistolas electroestáticas

Las pistolas electrostáticas son herramientas esenciales para la aplicación de pinturas en polvo, ya que tienen múltiples funciones importantes. En primer lugar, posibilitan el direccionamiento del flujo de pintura en polvo y la regulación de su tamaño, forma de la pulverización. Además, cargan eléctricamente las partículas de pintura en polvo para mejorar su adhesión a la superficie y lograr una cobertura uniforme, las pistolas electrostáticas permiten controlar el recubrimiento de la pieza en función de la posición de la pistola, el abanico de rociado y el nivel de carga electrostática [8].

Control de espesores

El control del espesor del recubrimiento en polvo es posible mediante la manipulación de varios factores. Uno de ellos es la posición de la pistola durante el proceso de aplicación. También se puede controlar el espesor mediante la carga electrostática aplicada, controlar la velocidad del flujo de pintura en polvo desde la pistola hacia la pieza que se va a recubrir, y tener en cuenta su estructura del objeto a recubrir. Cada uno de estos factores puede ser ajustado para lograr el espesor deseado del recubrimiento en polvo [7].

Cabinas de aplicación

Una cabina de aplicación de pintura electrostática es un espacio diseñado para aplicar una capa uniforme de pintura en una superficie a través de un proceso de rociado electrostático. La cabina debe tener dimensiones apropiadas para permitir el acceso y salida de las piezas a pintar, y debe proporcionar un espacio adecuado para el operador. Los mecanismos de regulación de la pintura deben ser fáciles de acceder y operar.

La cabina debe asegurar la eficiencia del recubrimiento, aplicando uniformemente la pintura sobre la superficie. La longitud y altura de la cabina deben permitir el movimiento fácil de las piezas. El flujo de aire debe ser suficiente para evacuar la niebla de pintura, pero no lo suficientemente fuerte como para dañar las piezas [8].

1.7 Instrumentación de control

La automatización de los procesos industriales ha mejorado significativamente la eficiencia, la precisión de la fabricación mediante el uso de sistemas de medición y control que supervisan variables físicas. La información obtenida es procesada por un controlador que envía señales adecuadas a los actuadores. En la actualidad, los programadores lógicos programables son los instrumentos de control más utilizados por su eficiencia en el procesamiento de datos y generación de señales de salida precisas.

1.7.1 Sensores

Los sensores son dispositivos que detectan información de una magnitud física o química y la transforman en señales eléctricas. Los sensores de posición, por ejemplo, utilizan captadores fotoeléctricos para detectar la ubicación de un objeto. Existen diferentes tipos de sensores, como los de contacto, digitales, analógicos, mecánicos y electromecánicos, cada uno con sus propias características y aplicaciones en áreas como la robótica y la medición de variables físicas [14].

1.7.2 Sensores de Temperatura

Los termopares son ampliamente utilizados para medir la temperatura en aplicaciones industriales debido a su bajo costo, respuesta rápida y precisión en la medición. Los RTD, hechos de platino, son lineales en un rango de temperatura amplio, mientras que los Termistores son más sensibles y tienen una relación exponencial entre resistencia y temperatura. Los sensores basados en semiconductores, por otro lado, son pequeños y presentan una reacción inmediata a la variación de temperatura, por ello les permite adaptarse a espacios reducidos y operar en un amplio rango de temperaturas. En la siguiente Tabla 3 se definirá los tipos de termopares, campos de aplicación y ventajas [15].

Tabla 3 Clasificación de los termopares

Tabla de tipo de termopares				
Tipo de termopar	Campo de aplicación	de Precisión	Ventajas	Inconvenientes
Tipo T	-200 °C a + 250 °C	2%	Pequeño	
Tipo J	0 °C a + 750 °C	0.5%	Tamaño	
Tipo K	0 °C a + 1300 °C	1%	Respuesta Rápida	Defectuoso por Corrosión
Tipo R o S	0 °C a + 1600 °C	0.5%	Preciso	
Tipo W	0 °C a + 2800 °C	1%	Fiable	

1.7.3 Actuadores

Los actuadores convierten señales de energía en fuerza mecánica para controlar variables en la industria. Se clasifican según la energía que requieren para funcionar. Los actuadores eléctricos incluyen motores, servomotores, electroválvulas y relés. Los motores eléctricos son ampliamente utilizados en la industria. Los actuadores neumáticos usan presión de aire, son populares por su alto torque y presión, su uso ha aumentado en algunas herramientas eléctricas. Los pistones y las válvulas neumáticas son comunes en la industria. Algunas de estos elementos se visualizan en la Figura 10.



Figura 8 Actuadores [13]

1.7.4 Sistemas de control

Un sistema de control automatizado consta de varios componentes, como sensores, controladores, actuadores y software, que trabajan juntos para regular variables de un proceso sin intervención manual constante. Es esencial que estos elementos interactúen adecuadamente para el correcto funcionamiento del sistema. En definitiva, el objetivo de un sistema de control automatizado es monitorear y regular un proceso de forma autónoma. En la Figura 11 se presenta la interacción de elementos de un sistema de control.

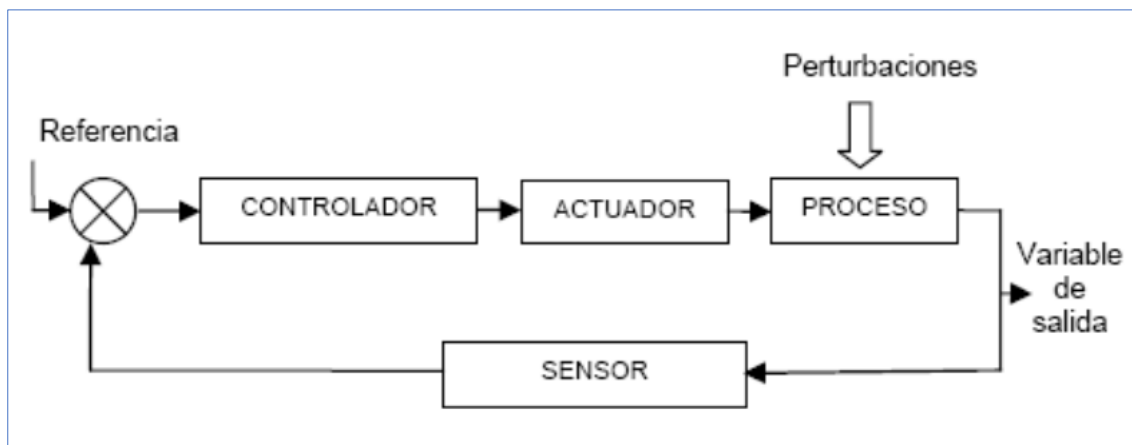


Figura 9 Interacción de elementos de un sistema de control [23]

1.7.5 Controlador

Un controlador es un componente crítico en un sistema de control que compara los valores reales de las variables de un proceso con los deseados y envía señales a los actuadores para corregir las variables de control. Hay diferentes tipos de controladores disponibles en el mercado, como los manuales, neumáticos, eléctricos y electrónicos, siendo el Controlador Lógico Programable (PLC) uno de los más utilizados en la industria.

El PLC Logo 8 es programado a través del software Logo Soft Comfort para controlar dispositivos mediante sus entradas, salidas digitales y analógicas. Los datos son procesados por el microprocesador, las señales son enviadas a los dispositivos conectados. Adicionalmente, el PLC cuenta con funciones avanzadas como temporizadores, contadores, operaciones matemáticas y lógicas que permiten la automatización de procesos complejos. El PLC Logo 8 también puede conectarse a redes de comunicación y sistemas de control remoto, por lo que es apto para aplicaciones sofisticadas [15].

1.8 Evaluación ambiental

El uso de materiales galvanizados para construir la base del horno es una medida positiva desde el punto de vista ambiental. Estos materiales son reconocidos por su durabilidad frente al paso del tiempo y a las circunstancias climáticas desfavorables, lo que garantiza una mayor durabilidad y menor necesidad de sustitución de partes del horno a largo plazo. Esto contribuye al campo económico al reducir los costos de mantenimiento y reemplazo, también tiene un impacto positivo en el medio ambiente al minimizar la generación de residuos y la extracción de nuevos materiales.

Además, el uso de pinturas electrostáticas y su reutilización ofrece ventajas ambientales significativas en comparación con el uso de pinturas esmaltes y disolventes como el thinner. Las pinturas electrostáticas en polvo suelen ser más amigables con el medio ambiente, ya que contienen menos compuestos orgánicos volátiles (COV) y no requieren el uso de disolventes tóxicos para su aplicación. Esto reduce la emisión de sustancias nocivas al aire minimizando los riesgos para la salud de los trabajadores y el entorno.

1.9 Resumen del capítulo

Analizado a fondo el funcionamiento y las características del horno de pintura electroestática, se ha observado que este tipo de horno es una herramienta fundamental para lograr una correcta adherencia y curado de la pintura electroestática en diferentes tipos de materiales.

Además, se ha analizado la importancia de mantener un control riguroso de la temperatura y los tiempos de curado, ya que cualquier desviación en estas variables puede afectar significativamente la calidad del acabado final.

En resumen, el horno de pintura electroestática es una herramienta crucial en los procesos de acabado de piezas, su correcto uso, mantenimiento son esenciales para obtener resultados de alta calidad y durabilidad en los acabados de pintura.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Introducción

El presente trabajo de titulación se fundamenta en dos enfoques metodológicos diferentes: la metodología experimental y la metodología cuantitativa, estos dos métodos facilitan la recopilación de la información relacionando las variables y permitiendo cuantificarlas.

Estas metodologías experimentales se utilizan para detallar las relaciones causa- efecto entre las variables. Las mencionadas metodologías permiten el control de algunas variables y visualizar sus efectos en otras variables. La metodología experimental realza la precisión, así como la validez de los resultados a obtener, mediante un riguroso control de variables y factores inmersos [12].

Mientras tanto, el enfoque cuantitativo se centra en la obtención y estudio de los resultados numéricos. Desarrollado con la finalidad de medir, cuantificar variables y las relaciones entre ellas, mediante técnicas de estadística para el análisis de los datos, la generación de resultados puntuales y generalizados.

El resultado de estas dos metodologías en este proyecto tiene como objetivo lograr resultados precisos y exactos en la investigación, permitiendo de manera efectiva controlar las variables y a su vez un mejor entendimiento entre los resultados de causa-efecto. Ambas metodologías brindan una base sólida para la formación de nuevos conocimientos [12].

2.2 Diseño de la investigación

El trabajo de titulación se enfoca en los métodos y procedimientos que recopilan datos para la creación de un diseño de investigación respondiendo preguntas específicas y obteniendo resultados confiables y precisos.

A continuación, se creará un diseño de investigación en base a ítems diferentes.

a) Pregunta de investigación

¿Cómo se puede crear un horno de pintura electrostática que sea eficiente en el proceso y manteniendo un cuidado hacia el medio ambiente?

b) Población

Este proyecto está dirigido hacia las microempresas y empresas que deseen mejorar la calidad de los acabados superficiales en sus productos.

c) Variables

- Variable dependiente
- La seguridad y eficiencia para la aplicación y curado de pintura electrostática.
- Variable independiente
- Ingeniería Mecatrónica, manufactura del material, procesos de pintado y tipos de pintura.

d) Métodos para la recopilación de datos

Observaciones del proceso y aplicación de pintura electrostática.

Análisis, revisiones de documentos, proyectos de titulación relacionadas con el diseño y construcción de hornos para pintura electrostática

e) Métodos de análisis de datos

Los resultados obtenidos según las metodologías implementadas tanto la cuantitativa como la experimental ayudan a identificar ciertas variables que influyen entre la eficiencia y la calidad del proceso de pintura electrostática.

Los resultados obtenidos serán representados con tablas comparativas, análisis y técnicas estadísticas [12].

2.3 Modalidad de la investigación

Para la implementación de las metodologías experimental y cuantitativa, se aplicará ítems que detallen los aspectos a investigar y reforzar para el proyecto.

a) Identificar variables

En el diseño y construcción del trabajo de titulación empieza con la identificación de las variables que controlan el proceso y aplicación de la pintura electrostática.

Las variables más relevantes efectuadas son temperatura, presión y tiempo de curado entre otras.

b) Diseño experimental

Al identificar las variables a controlar en el trabajo se realiza pruebas de funcionamiento para controlar dichas variables. Se implementa un control de temperatura haciendo que la misma sea constante al interior del horno.

c) Selección de instrumentos

Se toma en cuenta las variables a controlar y medir en este caso para la medición de la temperatura se usará un pirómetro y una termocupla.

d) Realización de pruebas

Para la ejecución de las pruebas se realiza un registro mediante la regularización de la temperatura y el control de prendido - apagado del quemador siendo este la programación principal para el horno de pintura electrostática.

e) Análisis de datos

Se recopila los datos obtenidos para calcular el promedio de temperatura usado en el horno y los distintos puntos de temperatura para la resistencia de la materia determinando la buena aplicación de pintura electrostática.

f) Mejoras

En el análisis final los acabados superficies serán sometidos a pruebas para verificar su correcta aplicación, en el caso de no cumplir con la buena adherencia o sobre curado se ajustará los tiempos y la temperatura en la programación.

2.4 Diagrama Causa – Efecto

La incorporación de adelantos en la eficacia energética y la calidad de la tecnología en el horno a gas tiene como efecto principal un aumento en la productividad. Estas mejoras permiten un uso más eficiente de la energía y optimizan el rendimiento del horno, esto significa una mayor alternativa de producción y procesamiento de productos en menos tiempo se detalla en la Figura 8.

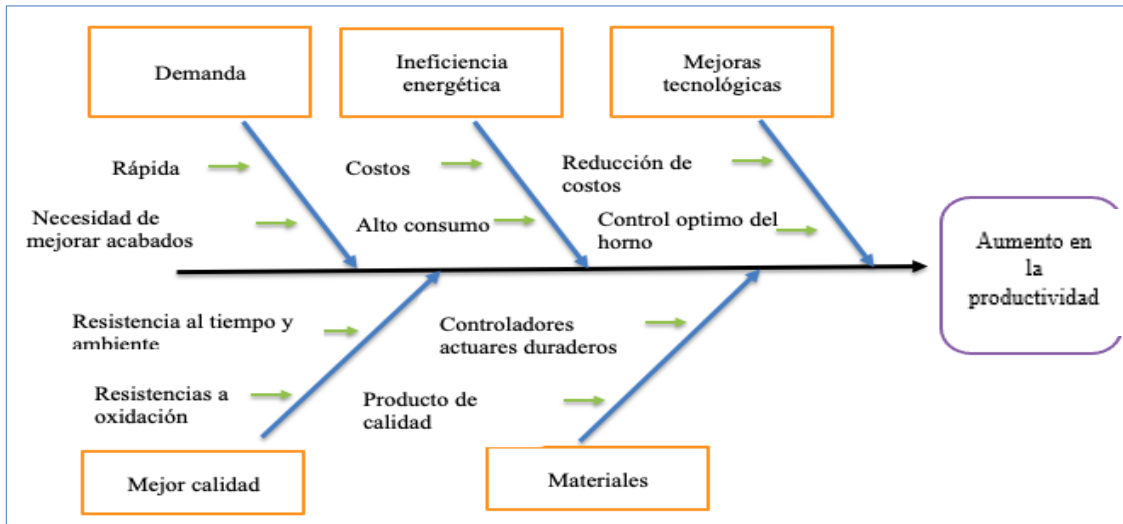


Figura 10 Diagrama Causa-Efecto Aumento en la productividad

2.5 Operacionalización de las variables

En el trabajo de titulación existen diversas variables que afectan directamente al horno de pintura electrostática, siendo la temperatura capaz de garantizar un correcto curado y evitar defectos en la capa de pintura, tales como la pérdida del brillo o la formación de ampollas, esta variable cambiar según las condiciones y tipo de pintura.

En el horno, otra variable que controlará la calidad del recubrimiento superficial será el tiempo. Este factor puede mejorar o empeorar la calidad de la pintura dependiendo del tiempo de curado, este si se extiende puede desprenderse, descascararse o quemarse resultando en una capa demasiado dura, perdiendo sus propiedades y protección al material curado. Como se puede observar en la figura 9, detalla estas variables [13].

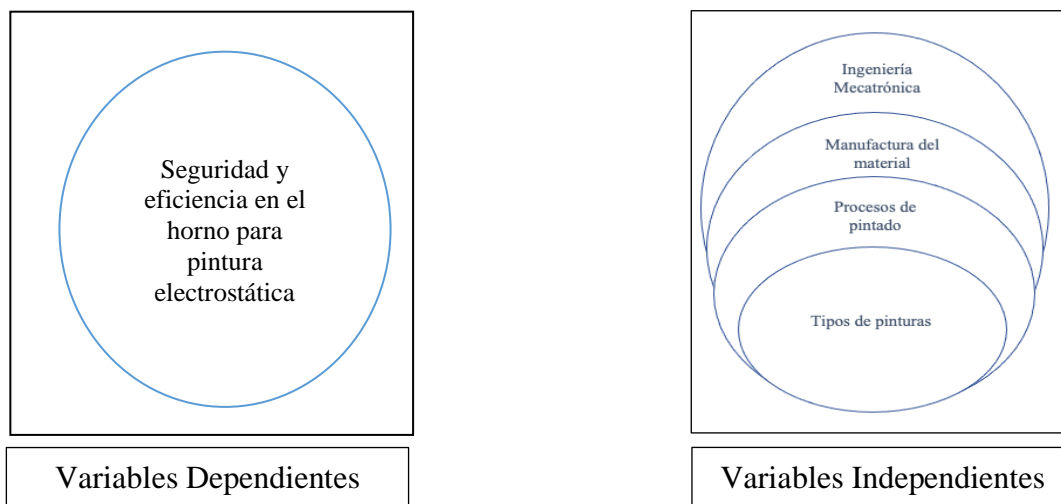


Figura 11 Variables dependientes e independientes [22]

Para un óptimo acabo superficial es importante que estas variables temperatura y tiempo sean controladas mediante instrumentos capaces de establecer rangos mínimos y máximos para garantizar un curado adecuado en la pintura además un acabado de máxima calidad y durabilidad en el material trabajado [14].

2.6 Fórmulas fundamentales

- **Diámetro efectivo**

Se requiere realizar cálculos considerando los efectos convectivos para determinar el coeficiente de convección del aire. También se considerará el flujo de aire a través de un ducto, en este caso la cámara de polimerización. Para calcular el diámetro efectivo o equivalente del ducto circular, se utilizarán las fórmulas de transferencia que toman en cuenta las características de longitud del ducto rectangular [8].

$$De = 1.3 \frac{(axb)^{0.625}}{(a + b)^{0.625}} \quad (3)$$

a: Altura del horno

b: Ancho del horno

- **Coefficiente de convección térmica**

Se realizará el cálculo del número de Rayleigh para determinar el tipo de transferencia de calor que ocurre en el fluido, la transferencia de calor será principalmente por conducción cuando este valor es menor al valor máximo. Por otro lado, si el valor de Rayleigh supera los 1000, la transferencia de calor se producirá por convección. Y si el valor es menor que 10, la transferencia de calor será por conducción [8].

$$\beta = \frac{1}{Tf} \quad (4)$$

Tf: Cambio de temperatura

- **Cálculo del número de Rayleigh**

Este número determina si la conducción o la convección son los mecanismos dominantes de transmisión de calor en el interior del líquido. Si este es inferior al valor crítico, la transferencia de calor se transmite mediante conducción. Por otro lado, el número de Rayleigh es mayor que 1000, la transferencia de calor se da principalmente por convección.

En el caso de que el número de Rayleigh sea menor que 10, nuevamente la conducción es el mecanismo principal de transferencia de calor [8].

$$RaL = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{sp} - T_{\infty})L^3}{\alpha \cdot \nu} \quad (5)$$

T_{sp} : Temperatura superficial

L : Longitud o dimensiones

ν : Viscosidad cinemática del fluido

α : Difusividad térmica del fluido

T_{∞} : Temperatura circundante

β : Coeficiente de expansión térmica

- **Cálculo del coeficiente de convección promedio**

El cálculo del coeficiente de convección promedio es una herramienta utilizada en la transferencia de calor para caracterizar la eficiencia de la convección en un sistema. Este coeficiente proporciona un régimen de capacidad para que un fluido pueda transferir calor por convección desde una superficie a otra.

El coeficiente de convección promedio representa la cantidad de calor transferido por unidad de área y por unidad de diferencia de temperatura [16].

$$He = \frac{NuL \times K}{De} \quad (6)$$

NuL : Número de Nusselt

K : Conductividad térmica del fluido o material

De : Diámetro efectivo

- **Coeficiente de convección interno**

El coeficiente de convección interna es un parámetro que mide la eficiencia de transporte de energía calórica entre un fluido y una superficie rígida dentro de un sistema.

Es importante para el diseño, análisis de equipos, sistemas donde ocurre la transferencia de

calor interna, como intercambiadores de calor y conductos.

Dicho coeficiente depende de las características del fluido, velocidad del flujo y especificaciones pertenecientes a superficie sólida.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot De}{\mu} \quad (7)$$

ρ : se refiere a la cohesión del fluido.

v : representa la rapidez promedio del fluido.

De : es el diámetro efectivo.

μ : indica la viscosidad eficiente del fluido

- **Tiempo de calentamiento de los productos.**

Para lograr un adecuado curado de los recubrimientos en el horno, es necesario mantener la temperatura del aire lo necesariamente elevada para que el exterior del objeto alcance la temperatura deseada durante al menos un cuarto de hora.

$$Tm = \frac{Ti + Ta}{2} \quad (8)$$

Ti : Temperatura inicial

Ta : Temperatura ambiente

- **Selección del material de aislamiento**

Es crucial elegir un material de aislamiento con una conductividad térmica baja para minimizar las pérdidas de calor. También es fundamental que el material tenga la capacidad de resistir las condiciones de temperatura y presión del sistema sin sufrir deterioro. Para ello se utilizará la siguiente ecuación [17].

$$R_{convección} = \frac{1}{hi \cdot A} \quad (9)$$

$$R_{conducción} = \frac{x}{Kx \cdot A} \quad (10)$$

hi : Coeficiente de transferencia de calor

Kx : Conductividad térmica del material

x: Distancia o espesor del material

A: Área de calor transferido

- **Calor requerido durante la polimerización**

Se empleará la presente ecuación.

$$Q_{curado} = m * C_p * \Delta T \quad (11)$$

Dónde:

m: es la masa del material a polimerizar (en kilogramos o gramos).

C_p: es la capacidad calorífica del material (en julios por kilogramo por Kelvin o por gramo por Kelvin).

ΔT: es el cambio de temperatura requerido para la polimerización (en Kelvin o Celsius).

- **Cálculo de la pérdida de calor**

Parámetro necesario para el cálculo de pérdida de calor en aberturas, plantas, techos y paredes. Se utilizará la siguiente ecuación.

$$Q_{pérdida} = \frac{(k * A * \Delta T)}{d} \quad (12)$$

Donde:

Q: pérdida es la tasa de pérdida de calor (en vatios)

k: representa conductividad térmica del material (en vatios por metro por Kelvin)

A: es el área superficial de la pared (en metros cuadrados)

ΔT: variación de temperatura interior y exterior (Kelvin)

d: espesor de la pared (en metros)

- **Cálculo de la potencia eléctrica**

Permite determinar la cantidad de energía eléctrica consumida por el horno. La potencia se calcula multiplicando el voltaje por la corriente.

$$P = V * I \quad (13)$$

P: Potencia eléctrica

V: Voltaje del circuito

I: Corriente eléctrica del circuito

- **Caída de voltaje**

Se utiliza para determinar la caída de voltaje en un circuito debido a la resistencia o la longitud del cable. La caída de voltaje se calcula multiplicando la corriente por la resistencia o la longitud del cable y considerando la ley de Ohm.

$$V_{cable} = R_{cable} * I_{total} \quad (14)$$

- **Cálculos mecánicos**

La deformación en la soldadura MIG se puede calcular utilizando la fórmula:

$$Deformación = \frac{Fuerza}{Área\ de\ sección\ transversal\ de\ la\ soldadura} \quad (15)$$

Donde:

Fuerza es la carga o fuerza que se aplica a la soldadura.

Área de sección transversal de la soldadura es la zona transversal efectiva de la soldadura en la trayectoria de la carga.

La fuerza puede depender del tipo de aplicación o carga específica que se esté considerando en la soldadura, como fuerzas de tracción, compresión o flexión [18].

- **Factor de seguridad y deformación unitaria**

El factor de seguridad es la capacidad de resistencia en comparación con la carga aplicada. Un factor de seguridad mayor que 1 indica que la resistencia es mayor que la carga aplicada, lo cual es deseable para garantizar la seguridad y la integridad del sistema.

$$FS = \frac{Resistencia\ a\ la\ tracción}{Esfuerzo\ aplicado} \quad (16)$$

La deformación unitaria es una medida relativa de la magnitud de la deformación experimentada por un material. Se especifica como la variable relativa en longitud o tamaño del material en relación con su dimensionamiento inicial. La deformación unitaria se calcula utilizando la siguiente ecuación [18]:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{E} \quad (17)$$

ε : Deformación unitaria

δ : Deformación

E : Módulo elástico

- **Tabla de elementos utilizados en el proyecto**

En la Tabla 4 se detallan los materiales necesarios que formaran parte del proyecto, adicional de una breve descripción y la cantidad necesaria.

Tabla 4 Materiales del proyecto

Número de parte	Descripción	Cantidad
PT-J	Pirómetro con termocupla tipo J	1
PLC-LOGO8	PLC Logo 8	1
QB-GAS	Quemador a gas	1
CABLE-X	Cable eléctrico de 15 metros	1
BOT-EMERG	Botón de paro de emergencia	1
BOT-STOP	Botón de stop	1
BOT-ENC	Botón de encendido	1
SIR-ALARMA	Sirena y alarma	1
VALV-GAS	Válvula de gas	1
MOT-AIRE	Blower 1/6 hp	1
VENT-AIRE	Blower de aire 2hp	1
TERM-CTRL	Termostato de control	1
VALV-AIR	Electro Válvula de $\frac{3}{4}$	1
BOMBA-PIN	Equipo de pintura electroestática	1
FILTRO-PIN	Filtro de pintura	1
TUBO-GAS	Tubería para gas $\frac{1}{2}$	5 metros
CONECT-ELEC	Accesorios para sistema eléctricos	Varios
CONECT-TUBO	Accesorios para tubería	Varios

- **Material estructural empleado**

- a) **Tubo galvanizado de 40x40 de 1 mm de espesor**

Este es un tubo de acero recubierto con una capa de zinc para evitar la corrosión. Tiene dimensiones de 40x40 y un espesor de 1 mm.

- b) **Planchas de tol galvanizado de 1 mm**

Estas son láminas de acero galvanizado con un espesor de 1 mm. Pueden utilizarse para construir las paredes del horno, puertas u otras partes estructurales.

- c) **Aislamiento de lana de vidrio de 5 cm de espesor**

Este aislamiento se utiliza para mantener la temperatura dentro del horno y evitar la pérdida de calor. El espesor de 5 cm proporciona un buen nivel de aislamiento térmico.

- d) **Tipo sándwich**

El tipo sándwich se refiere a una estructura en la que dos planchas de tol galvanizado encierran una capa de aislamiento de lana de vidrio. Esta estructura se utiliza para construir las paredes del horno, proporcionando un aislamiento adicional y evitando la transferencia de calor al exterior [19].

- e) **Quemador con electroválvula de gas**

Este es un dispositivo que utiliza gas como combustible para generar calor en el horno. La electroválvula de gas controla el flujo de gas hacia el quemador, permitiendo encenderlo y apagarlo según sea necesario. Esto brinda un control preciso sobre la temperatura dentro del horno.

- f) **PLC Logo 8**

Es un controlador programable utilizado para automatizar y controlar diferentes procesos en la industria. En este caso, se utiliza para controlar el encendido y apagado del quemador, asegurando un funcionamiento seguro y eficiente del horno.

- g) **Pirómetro con sensor tipo J**

Un pirómetro es un dispositivo utilizado para medir la temperatura. El sensor tipo J se utiliza para medir temperaturas en un rango de -15°C a 400°C. El pirómetro se utiliza para monitorear y controlar la temperatura dentro del horno, asegurando que se mantenga en los niveles deseados [20].

2.7 Resumen del capítulo

En la investigación, se optó por una metodología experimental para obtener datos cuantitativos, lo que implicó realizar pruebas y mediciones. También se utilizaron ecuaciones para el cálculo de la conservación de calor y cuadros comparativos para la selección de los materiales y componentes del horno. Gracias a esto, se logró obtener información precisa y confiable para la elección de los elementos críticos en el proceso.

La metodología utilizada resultó efectiva y permitió una mejor comprensión del funcionamiento del horno. Además, la operacionalización de las variables críticas permitió una evaluación detallada de los resultados obtenidos. En resumen, la metodología empleada en la investigación proporcionó información valiosa y precisa para la selección de los materiales y componentes del horno de pintura electrostática

CAPÍTULO III

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1 Introducción

Esta sección de análisis e interpretación de resultados se aplicó técnicas en análisis numérico y simulación para determinar el comportamiento del proceso de pintura electrostática en el horno. Se realizó pruebas y mediciones en condiciones controladas para obtener datos y se emplearán ecuaciones de conservación de calor para determinar la eficiencia térmica del horno.

Se realizó simulaciones para evaluar el comportamiento del proceso de pintura electrostática. Los resultados obtenidos permitirán sacar conclusiones relevantes y se propondrán recomendaciones para mejorar el proceso y la eficiencia del horno.

3.2 Descripción de la situación actual

A pesar de la alta toxicidad de las pinturas anticorrosivas derivadas del cromo hexavalente, su uso sigue siendo común en varios talleres nacionales debido a su eficacia y bajo costo. Aunque se han desarrollado alternativas más seguras y amigables con el medio ambiente, aún no se han adoptado ampliamente debido a la falta de conocimiento o inversión en nuevas tecnologías. Por lo tanto, se necesita un cambio en la mentalidad y prácticas de los talleres y empresas para adoptar prácticas sostenibles en la protección contra la corrosión de superficies metálicas y en la obtención de acabados superficiales de pintura para productos de metal. Es necesario seguir investigando y desarrollando nuevas tecnologías y métodos de pintura que sean efectivos y rentables, y fomentar la conciencia sobre los riesgos del uso de pinturas derivadas del cromo [21].

3.2.1 Principio de funcionamiento

En el presente diagrama de flujo se presenta detalladamente el funcionamiento del horno desde el inicio donde entra la pieza hasta la extracción de la misma, recubierta con la pintura electrostática previamente curada como lo indica la Figura 12.

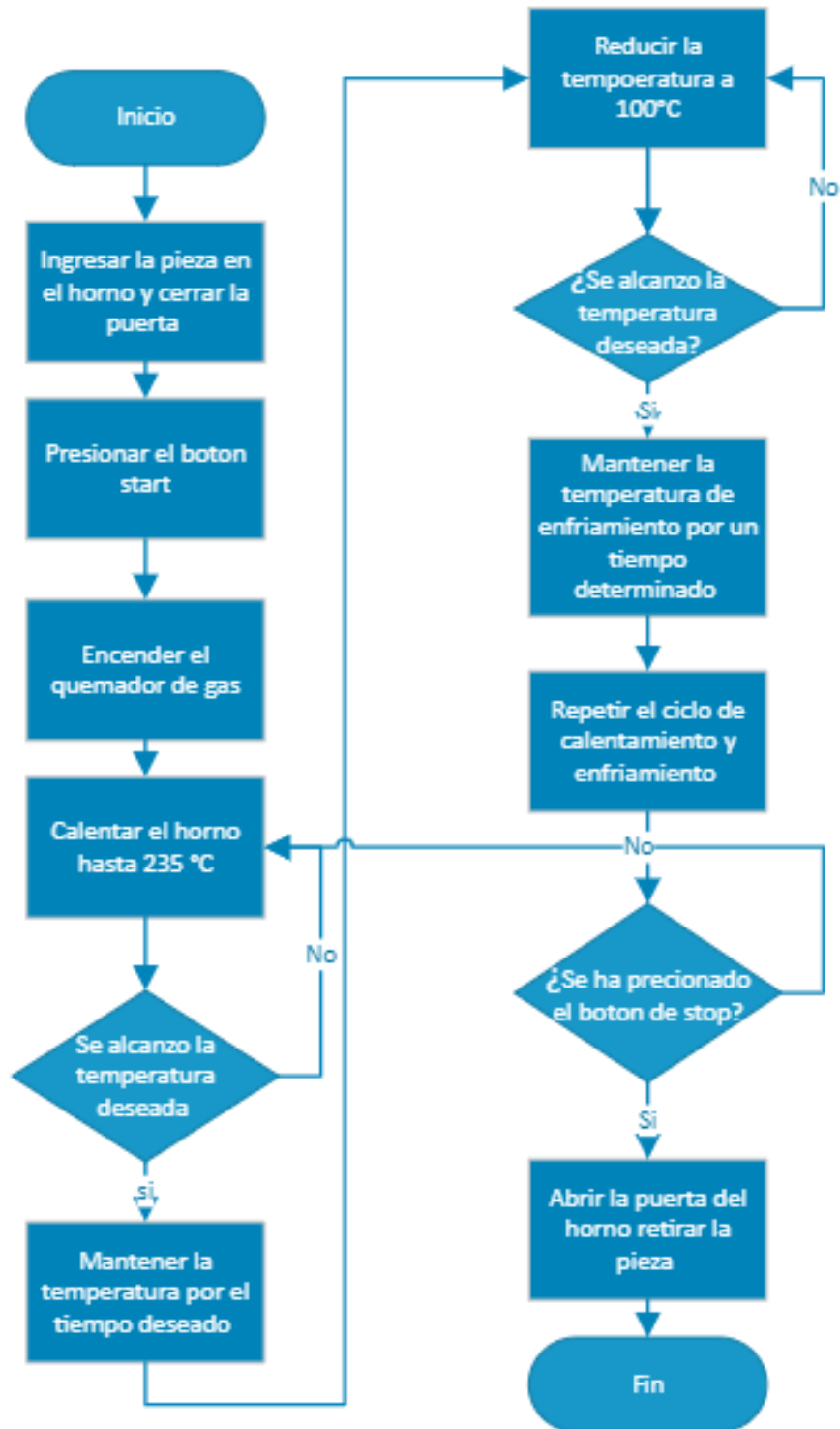


Figura 12 Diagrama de flujo del horno semiautomático para pintura electrostática.

3.2.2 Tablas de tiempos y funcionamiento

A continuación, se elabora una tabla con los procesos generales siendo un total de 30 minutos el curado de la pieza aproximadamente. Como lo indica la Tabla 5.

Tabla 5 Relación tiempos - funcionamiento

Etapas del Ciclo	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
Calentamiento	10	200
Sostenimiento	5	230
Enfriamiento	10	180
Total	25	

En general se ha detallado los tiempos y la etapa de ciclo, también se elabora una tabla con los procesos detallados aumentando el tiempo siendo este un proceso más optimizado, detalla en la Tabla 6.

Tabla 6 Relación de tiempos y etapas

Etapas del proceso	Temperatura (°C)	Tiempo (minutos)
Precalentamiento	50 - 100	5
Calentamiento rápido	160 - 200	10
Calentamiento lento	200 - 235	10
Mantenimiento	235	5
Enfriamiento lento	235 - 150	5
Enfriamiento rápido	150 - 100	5
Apagado	100	5
Total		45

3.3 Cálculos y selección

Se llevará a cabo la aplicación práctica de las ecuaciones y conceptos presentados en el Capítulo II, mediante la realización de cálculos específicos basados en los coeficientes de convección y las propiedades térmicas del horno.

Estos cálculos son de vital importancia para obtener valores numéricos que permiten una evaluación precisa y detallada del rendimiento del horno, así como para dimensionar adecuadamente el sistema de suministro de calor y minimizar las pérdidas térmicas.

3.3.1 Diámetro efectivo

Es una ecuación empírica que tiene en cuenta las dimensiones de la superficie (a y b) y las propiedades del fluido para calcular el coeficiente de convección. En este caso particular, se consideró que la altura (a) es de 2.22 m y el ancho (b) es de 1.25 m. Al reemplazar estos valores en la ecuación 3, se obtuvo un diámetro efectivo de 1.13 m.

$$De = 1.3 \frac{(axb)^{0.625}}{(a + b)^{0.625}}$$

$$De = 1.13 \text{ m}$$

El diámetro efectivo es una medida equivalente que se utiliza en el cálculo de coeficientes de convección y otras propiedades de transmisión de calor. El conocimiento del diámetro efectivo es importante para determinar las tasas de transmisión calorífica y comprender cómo el flujo de aire afecta al proceso.

3.3.2 Cálculo de convección térmica

Para calcular el coeficiente de expansión térmica del aire a una temperatura referente de 24.8 °C (297.95 °K⁻¹), utilizando la ecuación 4.

$$\beta = \frac{1}{Tf}$$

Sustituyendo el valor de Tf en la ecuación, obteniendo:

$$\beta = 1/297.95 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$$

Realizando la operación:

$$\beta \approx 0.00335 \text{ } 1/^\circ\text{K}^{-1}$$

Esto significa que el coeficiente de expansión térmica del aire a una temperatura de 24.8 °C es aproximadamente 0.00335 1/°K⁻¹. Indica la variación relativa de volumen del aire por unidad de cambio de temperatura.

3.3.3 Cálculo del número de Rayleigh

El número de Rayleigh es utilizado como un indicador para determinar si la transferencia de calor en un sistema está dominada por la conducción o la convección. Obtenida de la ecuación 5

$$RaL = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{sp} - T_{\infty})L^3}{\alpha \cdot \nu}$$

$K = 0.02551 \text{ W/m} \cdot \text{°K}$ (conductividad térmica). $Pr = 0.7296$ (número de Prandtl)

$\nu = 1.562 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ (viscosidad cinemática). $\rho = 1.181 \text{ kg/m}^3$ (densidad del aire)

$\alpha = 2.141 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}^2$ (difusividad térmica). $\beta = 0.003351/\text{°K}$

$L = 2 \text{ m}$ (altura de la pared)

Realizando la operación resulta:

$$\mathbf{RaL: 4.3567 \times 10^9}$$

En este caso, al tener un valor de RaL tan elevado, significa que la convección es la principal forma de transferencia de calor en el sistema.

3.3.4 Cálculo del coeficiente de convección promedio

Para calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección. En base a los valores proporcionados, se utiliza la siguiente ecuación.

$$He = \frac{NuL \times K}{De}$$

Donde:

$NuL \approx 194.953$

$K \approx 0.02551$

$De \approx 1.13 \text{ m}$

Sustituyendo los valores:

$$He \approx 4.40 \frac{w}{m^2 \text{ } ^\circ K}$$

3.3.5 Coeficiente de convección interno

El coeficiente de convección se calcula con la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot De}{\mu}$$

Sustituyendo los valores proporcionados:

$$\rho = 0.7788 \text{ kg/m}^3$$

$$v = 1.6 - 3.3 \text{ m/s (rapidez del flujo sugerido)}$$

$$De = 1.13 \text{ m (diámetro equivalente)}$$

$$\mu = 250.4 \times 10^{-7} \text{ N s/m}^2$$

Calculando:

$$Re \approx 11,5980.24$$

En este caso, un número de Reynolds de aproximadamente 11,5980.24 indica que el flujo del fluido es turbulento.

3.3.6 Tiempo de calentamiento de los productos.

Si la temperatura ambiente (T_a) es de $24 \text{ } ^\circ C$ y la temperatura dentro de la cámara de polimerización (T_i) es de $180 \text{ } ^\circ C$, Se utilizará la fórmula para calcular la temperatura media.

$$T_m = \frac{T_i + T_a}{2}$$

Sustituyendo los valores:

$$T_m = (180 \text{ } ^\circ C + 24 \text{ } ^\circ C) / 2$$

$$T_m = 204 \text{ } ^\circ C / 2$$

$$T_m = 102 \text{ } ^\circ C$$

Por lo tanto, la temperatura media (T_m) entre el calor promedio ($T_a = 24\text{ }^\circ\text{C}$) y la temperatura dentro del horno de polimerización ($T_i = 180\text{ }^\circ\text{C}$) es de aproximadamente $102\text{ }^\circ\text{C}$.

3.3.7 Selección del material de aislamiento

Para este cálculo de R convección es necesario de algunos datos tales como:

$$A = \text{ancho} \cdot \text{largo} = 1.25\text{ m} \cdot 3.30\text{ m} = 4.125\text{ m}^2$$

$$h_i = 4.40\text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C} \text{ (coeficiente de convección interno medio)}$$

Ahora se podrá utilizar este valor para calcular la resistencia térmica de la convección:

$$R_{\text{convección}} = \frac{1}{h_i \cdot A}$$

$$R_{\text{convección}} \approx 0.055\text{ }^\circ\frac{\text{C}}{\text{W}}$$

Por lo tanto, la resistencia térmica de la conducción sería basados en los siguientes datos y aplicando la ecuación para la conducción:

$$K_x = 0.04\text{ W/(m}\cdot\text{ }^\circ\text{K)} \text{ (conductividad térmica del aislante)}$$

Asumiendo que $x = 1$

$$R_{\text{conducción}} = \frac{x}{K_x \cdot A}$$

$$R_{\text{conducción}} \approx 6.06\text{ } \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

La resistividad térmica mediante conducción en los paneles del horno es de aproximadamente 6.06 K/W . Esta resistencia térmica muestra la capacidad de la pared para oponerse al flujo de calor a través de ella. Lo que resulta en una menor pérdida de calor a través de la conducción térmica.

3.3.8 Calor necesario para el proceso de polimerización

Se tomo una masa de una estantería como ejemplo de producto con una masa de 85 kg .

C_p de un acero lamino en frio AISI 1010 con un 434 J/(kg K) dato obtenido de la tabla (anexo

1) ΔT será inicial 24 grados Celsius y final de 180 grados Celsius para una temperatura estándar en el horno.

$$Q_{curado} = 5754.84 \text{ KJ}$$

Por lo tanto, el calor necesario para el proceso de polimerización, en este caso sería aproximadamente 5754.84 KJ

El periodo de curado sugerido por los productores de pintura epoxi poliéster es de 15 minutos, lo cual equivale a 0.25 horas.

$$Q_{curado} = 23019.36 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

3.3.9 Cálculo de la pérdida de calor

La conductividad térmica de la lana de vidrio (k) es de 0.04 W/(m·K) sacado de tabla (anexo 2) La variación de temperaturas (ΔT) es de 100 grados Celsius (convertido a Kelvin sería $\Delta T = 100 + 273.15 = 373.15 \text{ K}$)

El espesor de la pared (d) es de 0.04 metros (4 centímetros)

Área del techo = Largo * Ancho = 312 cm * 125 cm

$$Q_{pérdida \text{ techo}} = 1455.3 \text{ W}$$

Área de las paredes = Largo * Ancho = 316 cm * 222 cm

$$Q_{pérdida \text{ paredes}} = 2615.8 \text{ W}$$

Área de la pared posterior = Largo * Ancho = 222 cm * 125 cm

$$Q_{pérdida \text{ pared posterior}} = 1044.82 \text{ W}$$

Área del piso = Largo * Ancho = 312 cm * 125 cm

$$Q_{pérdida \text{ piso}} = 1455.3 \text{ W}$$

Área de la puerta = Largo * Ancho = 222 cm * 125 cm

$$Q_{pérdida \text{ puerta}} = 1044.82 \text{ W}$$

Calor proporcionado por el quemador esta entre 450 kW entonces se concluye que el cálculo de pérdida total sería:

$$Q_{pérdida \text{ total}} = 10.231 \text{ kW}$$

Las pérdidas representan aproximadamente el 10 % de la potencia nominal máxima del quemador siendo un porcentaje bajo en relación a la potencia del quemador.

3.4 Cálculo eléctrico

3.4.1 Cálculo de la potencia eléctrica

Si se conoce el voltaje de alimentación del horno (110 V) y se requiere calcular la potencia eléctrica total, Se utiliza la ecuación para obtener los datos de potencia general representado en la Tabla 7.

Tabla 7 Calculo de potencia eléctrica

<i>Elemento</i>	<i>Corriente (A)</i>	<i>Potencia (W)</i>
<i>PLC (PLC-LOGO8)</i>	0.01	1.1
<i>Pirómetro (PT-J)</i>	0.005	0.55
<i>Sirena y alarma</i>	0.002	0.22
<i>Pulsadores (cada uno)</i>	0.001	0.11
<i>Quemador (QB-GAS)</i>	2.0	220

$$P = 221.88 W$$

3.4.2 Caída de voltaje

Para calcular la caída de voltaje en el cable #12 AWG, utilizará la resistencia del cable 5.21 ohmios por cada 1000 metros encontrado en la tabla

Sustituyendo los datos tomando en cuenta que el uso aproximado de metros de cable en el horno será de 15 metros.

$$V_{cable} = 157.9 mV$$

Una caída de voltaje de unos pocos milivoltios generalmente se considera insignificante y no afecta significativamente el funcionamiento del circuito.

3.4.3 Cálculos mecánicos

Para calcular la deformación aplicado con un área de 3.9 m² y una fuerza de 2000 N, se utilizará la fórmula:

$$Deformación = 512.82 Pa$$

Factor de seguridad de la soldadura

Se transforma 520 MPa a Pa:

$$Resistencia a la tracción = 520 MPa = 520 * 10^6 Pa$$

Sustituyendo los valores:

$$FS = 1,0129358$$

Este valor indica que el esfuerzo aplicado es ligeramente menor que la resistencia a la tracción del material. Un factor de seguridad mayor a 1 indica que la soldadura es capaz de soportar la carga aplicada sin exceder su límite de resistencia.

3.5 Cálculos de esfuerzos y factor de seguridad

3.5.1 Soportes del techo

El AISI 1020 es un acero al carbono de bajo contenido de carbono que se utiliza comúnmente en aplicaciones donde se requiere una buena maquinabilidad y soldabilidad. A continuación, te proporciono algunas propiedades mecánicas típicas del AISI 1020:

Resistencia a la tracción: 420 MPa (61,000 psi)

Límite elástico 350 MPa (51,000 psi)

Área de 5950 mm²

$$Deformación en soportes del techo = 0.336 MPa$$

$$FS \text{ soportes del techo} = 1270$$

$$\varepsilon \text{ soportes del techo} = 0.0094$$

El factor de seguridad con el material AISI 1020 en esta situación particular es de aproximadamente 262.5. Esto significa que el material tiene una capacidad de carga significativamente mayor que la fuerza aplicada, lo que indica una buena margen de seguridad.

3.5.2 Columnas

Límite elástico

El límite elástico del acero galvanizado puede variar según el grado, pero generalmente se encuentra en el rango de 280 a 420 MPa. Esto significa que el acero galvanizado puede soportar cargas sin deformación permanente hasta estos valores.

Resistencia a la tracción

El acero galvanizado suele estar en el rango de 340 a 500 MPa. Esta propiedad representa la máxima fuerza de tracción que el acero galvanizado puede soportar antes de romperse.

Para calcular la deformación en un área dada, se utiliza la fórmula. En este caso, se tiene una fuerza de 2000 N y un área de 2806294.6 mm². Utilizando la fórmula:

$$\text{Deformación en columnas} = 0.0712 \text{ MPa}$$

$$FS \text{ columnas} = 4775$$

$$\varepsilon \text{ columnas} = 0.0024$$

3.6 Simulaciones y selección

Mediante el software CAD SolidWorks, se llevó a cabo un análisis estático exhaustivo de las diferentes piezas que componen el horno. Estas piezas desempeñan un papel fundamental en la estabilidad y resistencia de la estructura, ya que están diseñadas para soportar cargas significativas. El análisis se centró en evaluar la capacidad de cada pieza para resistir los pesos y las fuerzas aplicadas, asegurando así que cumplan con los requisitos de seguridad y funcionalidad necesarios. Mediante la simulación virtual y la modelización precisa de las piezas, se pudo determinar la distribución de tensiones y deformaciones, identificando así las áreas críticas que podrían comprometer la estabilidad global del horno. Esto permitió realizar ajustes, mejoras necesarias en el diseño para garantizar un rendimiento óptimo y una operación segura del horno [22].

En la Figura 13 se detalla un análisis aplicado al soporte del panel lateral del horno, el cual soporta una carga equivalente de 2000 N. Este soporte está construido con acero 1020, cuyo límite elástico es de 350 MPa. El análisis reveló una deformación de 0.25 en el soporte

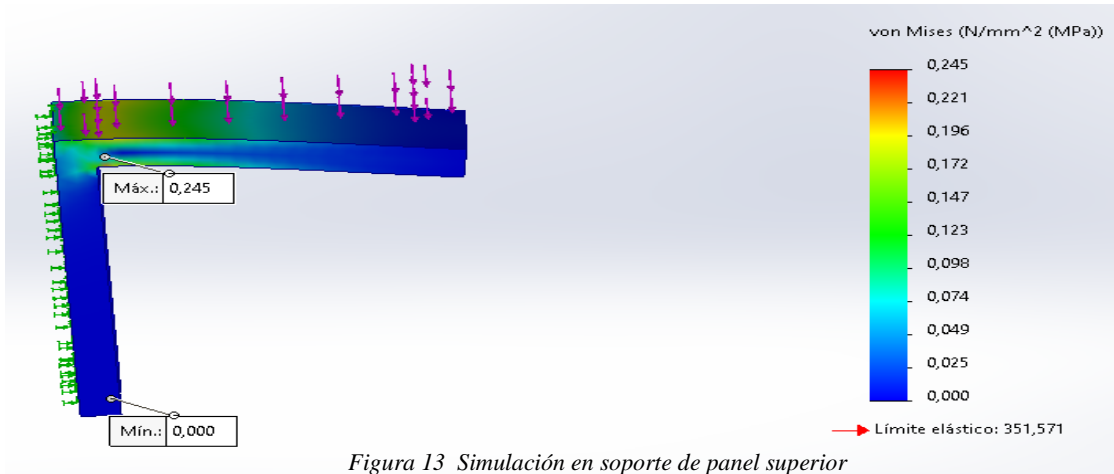


Figura 13 Simulación en soporte de panel superior

En la Figura 14 se detalla un análisis aplicado al soporte del panel lateral del horno, el cual soporta una carga equivalente de 2000 N. Este panel lateral está construido con acero galvanizado, cuyo límite elástico es de 203.943 MPa en simulación. El análisis reveló una deformación de 0.071 en el panel. Es importante destacar que este panel lateral también se distribuye en la estructura del horno, desempeñando un papel crucial en su estabilidad y resistencia.

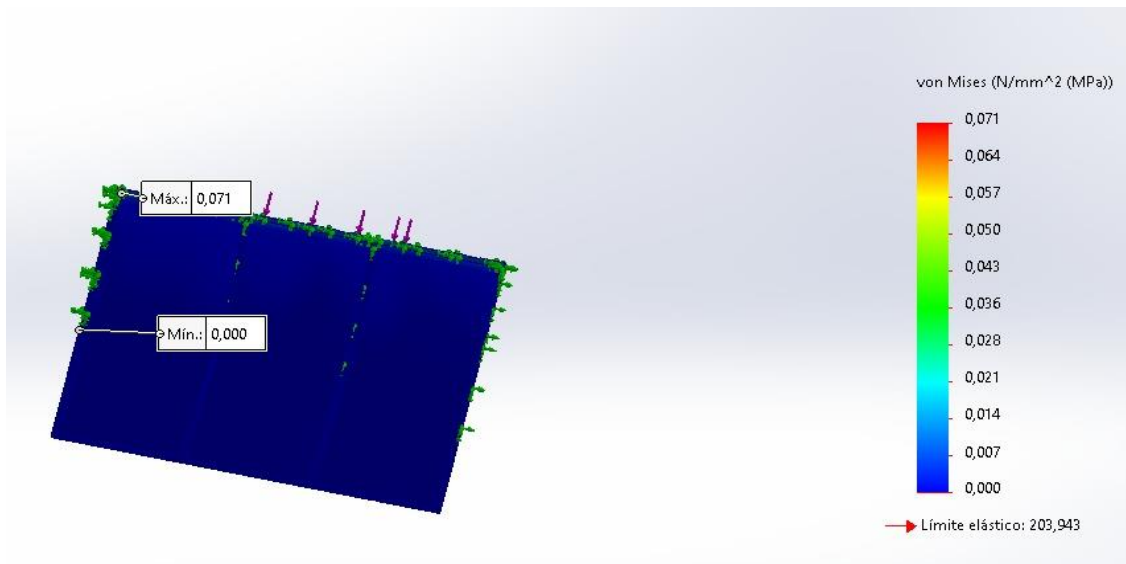


Figura 14 Análisis en panel lateral del Horno

El análisis estático de las diferentes piezas críticas del horno utilizando herramientas como SolidWorks permite comprender, evaluar de manera precisa el comportamiento de la estructura bajo carga y fuerzas específicas. Estos estudios proporcionan información invaluable para optimizar el diseño, identificar áreas de mejora, garantizar la integridad y seguridad del horno en funcionamiento.

3.7 Esquema eléctrico del horno electrostático

El diagrama de control que regirá la automatización del mecanismo en cuestión se ha presentado y fue desarrollado utilizando el software CADe_SIMU, como se muestra en el anexo 10.

El esquema actual incluye los elementos eléctricos, señales y otros componentes necesarios para simular el funcionamiento del horno. Las entradas automáticas del pirómetro, que controlan la temperatura, están representadas mediante los interruptores I1 e I2. Permitiendo una representación técnica completa del proceso de automatización.

3.7.1 Diagrama de programación.

La Figura 15 representa el esquema de programación que ilustra la ejecución del controlador PLC en la automatización, monitoreo y ejecución de las operaciones del horno. Este controlador, desarrollado en la plataforma Logosoft de Siemens, se encarga de gestionar y coordinar las diferentes funciones y procesos del horno de manera programada y controlada.

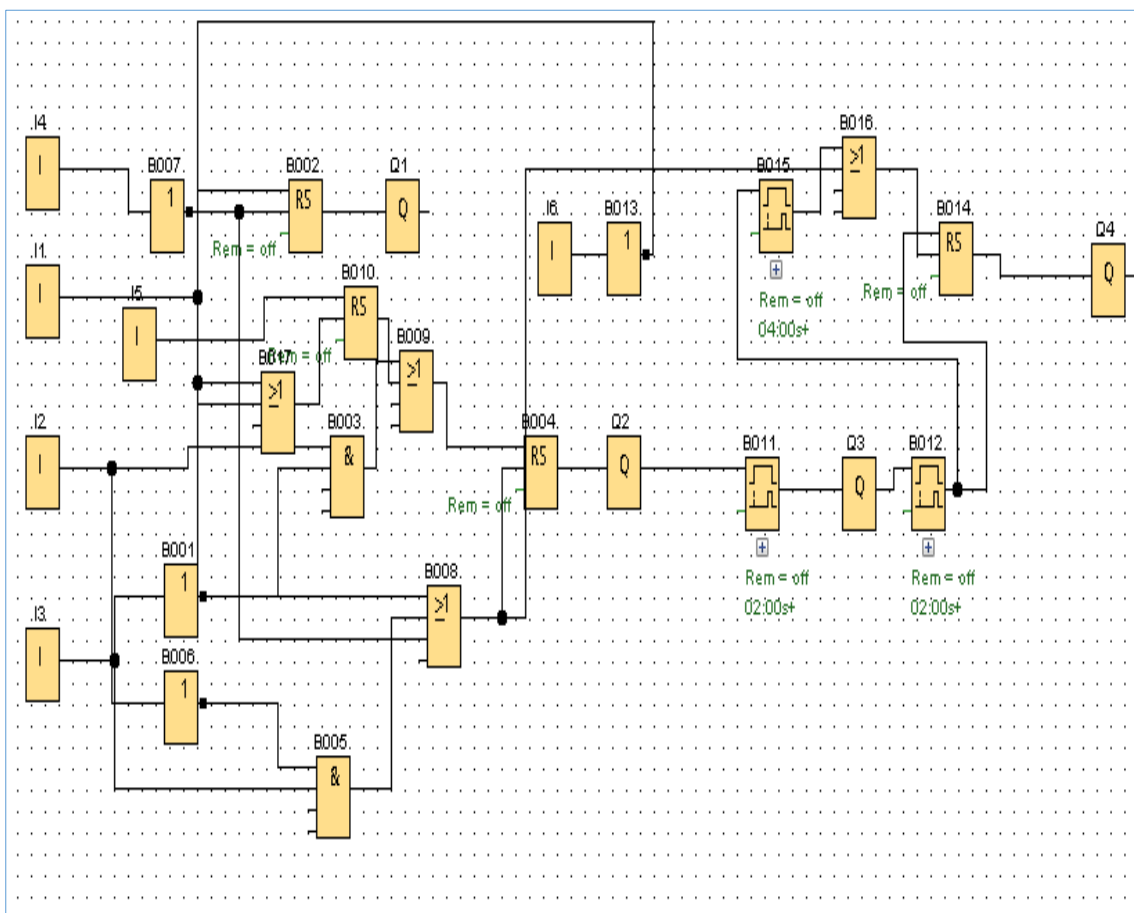


Figura 15 Diagrama de programación del PLC esquema eléctrico

Conexiones KOP LOGO 8 Confort

Conexiones de la programación previamente desarrollada para un mejor entendimiento de conexiones en KOP como lo indica la Figura 16.

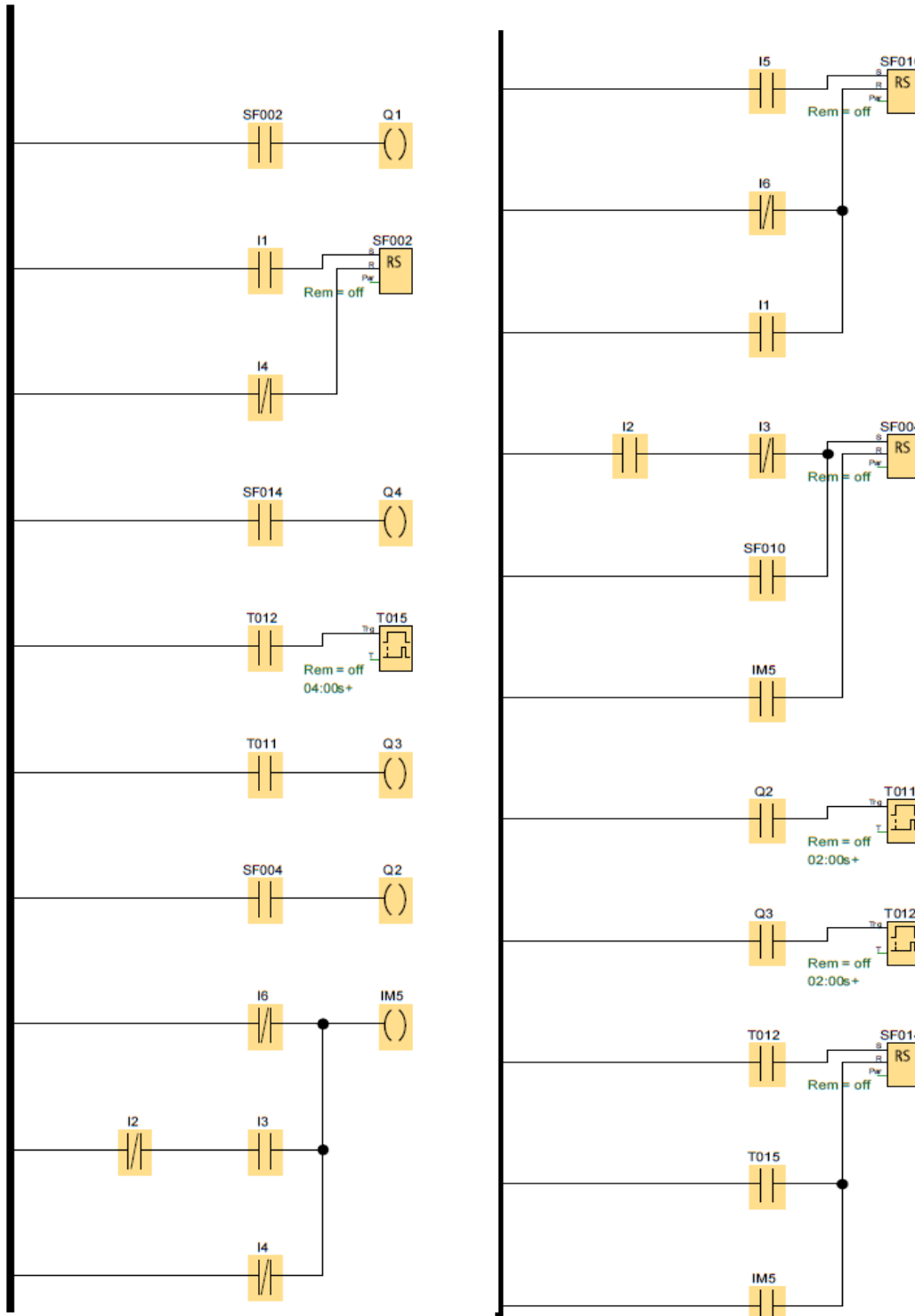


Figura 16 Conexiones del programa KOP

3.8 Conexiones y funcionamiento CADe_SIMU

En el programa CADe_SIMU se desarrolló conexiones con la programación previa en el PLC para verificar funcionamientos como lo indica la Figura 17.

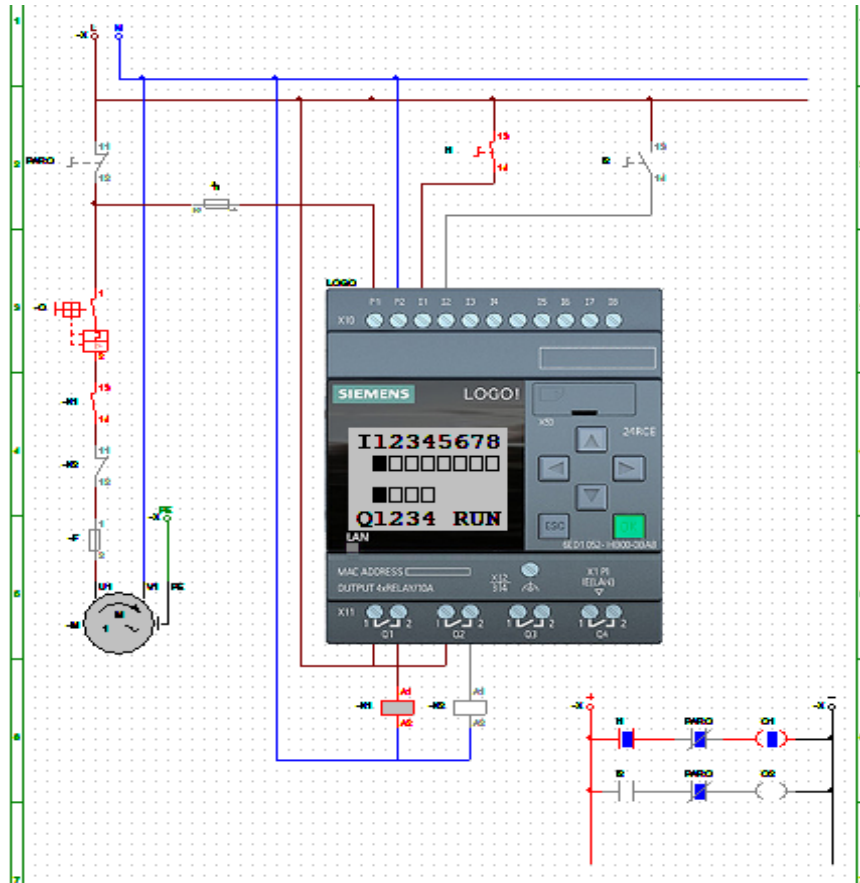


Figura 17 Simulación de conexiones con CADe_SIM

3.9 Resumen del capítulo

Al analizar y simular el proceso de pintura electrostática en un horno a gas es fundamental comprender su comportamiento, evaluar su eficiencia térmica y seleccionar los materiales y componentes adecuados. Estas herramientas brindan datos precisos para que pueda mejorar el diseño del horno, optimizar el rendimiento del horno y dimensionar adecuadamente los sistemas de calefacción. Además, el análisis estático realizado por SolidWorks es fundamental para evaluar la resistencia estructural de los componentes de carga, como el soporte del techo, que garantizan la seguridad y la estabilidad del horno. Juntos, estos pasos ayudan a prevenir errores y deformaciones que podrían comprometer la integridad del sistema.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ECONÓMICO

4.1 Introducción

En el capítulo 4 del proyecto se abordan aspectos cruciales para evaluar su viabilidad y éxito. Se lleva a cabo la verificación de la hipótesis planteada mediante pruebas y análisis de datos. En caso de ser necesario, se realiza una evaluación ambiental para identificar y evaluar los posibles impactos en el entorno. Se comprueban los resultados obtenidos comparándolos con los objetivos establecidos. Asimismo, se desarrolla un manual detallado de operación y mantenimiento para garantizar la continuidad, eficiencia del proyecto. Se realiza un análisis exhaustivo de los costos relacionados con la implementación, y se justifican dichos costos al argumentar los beneficios obtenidos.

4.2 Comprobación de la hipótesis

Al diseñar y construir el horno para pintura electrostática en polvo, se comprobó la hipótesis planteada en el proyecto. A través de pruebas y evaluaciones, se verificó si este tipo de tratamiento de pintura era una solución viable para los problemas de calidad y durabilidad en los talleres de pintura.

Se realizaron pruebas exhaustivas utilizando el horno, incluyendo evaluaciones de temperatura, distribución de calor y eficacia en la aplicación de la pintura en polvo como lo indica el anexo 9. Luego, se evaluaron las piezas pintadas utilizando este método en comparación con otros métodos previos, teniendo en cuenta criterios de calidad y durabilidad indicado en el anexo 8.

Los resultados obtenidos en las pruebas y evaluaciones fueron analizados y comparados con los estándares de calidad y durabilidad establecidos. Los resultados demostraron que el uso del horno para pintura electrostática en polvo ofrecía una solución económicamente viable y permitía la reutilización de la pintura, entonces se pudo confirmar la hipótesis planteada en el proyecto además tomado las ecuaciones.

Es importante destacar la realización de todas las etapas mencionadas y la obtención de resultados positivos respaldan la validez de la hipótesis y brindan evidencia de que el diseño, construcción del horno para pintura electrostática en polvo es una solución eficaz para mejorar la calidad y durabilidad en los talleres de pintura.

4.3 Comprobación de Resultados

4.3.1 Implementación del horno

Se llevó a cabo la implementación del horno diseñado, siguiendo un enfoque económico y viable en comparación con hornos previamente construidos. Se ensamblaron las partes estructurales utilizando acero galvanizado, se aplicó aislamiento térmico de lana de vidrio. Se instaló un quemador industrial y se conectó al sistema de calefacción correspondiente. Se incorporó un pirómetro para el control preciso de la temperatura. Se utilizó un controlador programable lógico (PLC) para configurar los parámetros de funcionamiento del horno. La implementación exitosa garantiza un sistema de calefacción eficiente y controlable. En el programa colocado en el capítulo II se encontró un funcionamiento con compuertas lógicas las cuales manejan la activación y desactivación del quemador además de existencia de tiempos para una correcta combustión en el mismo.

4.3.2 Verificación del aislamiento y eficiencia

Se realizó cálculos y pruebas para verificar el correcto aislamiento del horno y su eficiencia energética. Esto implica la medición de la temperatura interna y externa del horno, así como la evaluación de la pérdida de calor y la eficiencia del sistema de calefacción. Los resultados obtenidos se compararon con los estándares establecidos para asegurar que el horno cumpla con los requisitos de aislamiento y eficiencia, para encontrar la eficiencia del horno se realiza cálculos de convección de calor los cuales se presenta en el capítulo III en la que se encontró un 10 % de pérdida de calor lo cual no es significativo por la potencia que proporciona el quemador [23].

4.3.3 Ensayos de adherencia

Se realizó ensayos de adherencia en los materiales pintados utilizando el horno. Estos ensayos permitieron verificar si el proceso de curado en el horno proporciona una adecuada adhesión de la pintura a la superficie y una durabilidad óptima. Se aplican métodos estandarizados, como la prueba de corte en cruz, para evaluar la resistencia de la película de pintura. Para realizar esta prueba se llevó a cabo un análisis de rayado presentado en el anexo 6, se confirma la medida del calor que se necesita para una calidad de pintura óptima siendo los resultados un equilibrio entre la programación y tiempos [24].

4.3.4 Análisis de resultados

Los resultados conseguidos en ensayos de adherencia y otros análisis se compararon con los estándares de calidad y durabilidad establecidos. Se determinó si el proceso de curado en el horno garantizaba una adherencia adecuada de la pintura y una durabilidad óptima de los materiales pintados. Cualquier desviación o problema identificado se abordó y se realizaron ajustes necesarios. En la programación se desarrolla cuadros de tiempos para un correcto funcionamiento dentro del quemador y elementos de seguridad para el usuario esto se realiza en ámbitos electrónicos mientras tanto en análisis estructurales se aplican cálculos de esfuerzos, factor de seguridad y deformación unitaria las cuales fueron corroboradas con cálculos presentes en el capítulo III y en simulaciones presentes en el mismo.

4.4 Análisis de costos de la implementación del proyecto

4.4.1 Costos directos

a) Materiales eléctricos

Incluye cables, interruptores, relés, contactores, resistencias calefactoras, termostatos, controladores de temperatura, etc.

b) Materiales estructurales

Incluye acero o aluminio para la estructura del horno, paneles aislantes, materiales reflectantes y sistema de filtración de aire.

c) Equipos y herramientas específicas para la pintura electrostática

Pistolas y sistemas de pulverización electrostática, boquillas, reguladores de presión, etc.

d) Componentes de control y automatización

Controladores, sensores, software de control, pantallas, etc.

e) Costos de instalación

Trabajo de montaje y conexión de los diferentes componentes del horno.

4.4.2 Costos indirectos

Mano de obra: Personal capacitado en electricidad, soldadura, montaje de estructuras metálicas y pintura.

a) Costos de mantenimiento

Limpieza, reemplazo de piezas desgastadas y ajuste de componentes del horno.

b) Costos de energía eléctrica y/o gas

Consumo de energía para la operación del horno.

c) Costos de diseño y planificación

Servicios profesionales para el diseño y la planificación del proyecto.

d) Costos de permisos y licencias

Tarifas y trámites administrativos necesarios para obtener los permisos de construcción y operación.

4.4.3 Imprevistos

a) Contingencias y riesgos

Un margen adicional para hacer frente a problemas inesperados o costos adicionales que puedan surgir durante el proyecto.

b) Cambios en los precios de los materiales

Variaciones en los precios de los materiales y equipos durante la ejecución del proyecto.

c) Ajustes en el alcance del proyecto

Posibles cambios o modificaciones que puedan surgir durante la implementación del proyecto y que requieran ajustes en los costos.

4.5 Justificación de costos

En el proyecto se presenta una tabla con los materiales para la infraestructura del horno, así como del material eléctrico del mismo, colocando valores de costos directos, indirectos e imprevistos previamente detallados, los materiales se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8 Justificación de costos

Componente	Cantidad	Precio unitario (USD)	Costo total (USD)	4.6
Tubo de 40x40 mm (6 metros)	10	30	300	
Planchas de tol galvanizado (1.3x2.5 m)	13	32	416	
Quemador de 400°C con electroválvula a gas	1	700	700	
PLC Logo 8	1	150	150	
Pirómetro	1	50	50	
Termocupla tipo J	1	20	20	
Cable número 12 AWG (15 metros)	15	1	15	
Pulsadores	4	5	20	
Paro de emergencia	1	10	10	
Breaker de 10 amperios	1	12	12	
Fusibles de 15A	3	16	48	
Mano de obra ingeniero junior	2	800	1600	
Pistola de pintura electrostática	1	2500	2500	
Imprevistos			400	
Total, Costos Directos			5841	
Total, Costos Indirectos			800	
Presupuesto Total			7041	

Análisis económico

El PRI es una métrica utilizada en determinar el tiempo que se requiere para recuperar el capital invertido en un proyecto o negocio. Se calcula dividiendo el costo inicial de la inversión entre los flujos de efectivo netos generados por el proyecto en cada período.

$$PRI = \frac{\text{Costo inicial de la inversión}}{\text{Flujo de efectivo neto anual}} \quad Ec (17)$$

El costo inicial de horno es de 7041 dólares americanos

Para el flujo efectivo se estima ganar 6000 \$ al transcurso de un año siendo 2500\$ los gastos en mantenimiento del horno, este valor es un ejemplo de las ganancias de una microempresa tomada como referencia destinada a el servicio de pintura.

$$PRI = 2.01 \text{ años}$$

El resultado indica que el PRI es de 2.01 años. Esto significa que se necesitará alrededor de 2 años y 1 mes para recuperar la inversión inicial de 7041, considerando los flujos de efectivo netos anuales de 3500.

El proyecto se lo estimo para un uso de varios años, pero para un análisis TIR y VAN se utiliza un estándar de 5 años. Los datos se presentan en las Tablas 9,10 y 11 a continuación:

Tabla 9 Flujos de ingresos - egresos

Ingresos		Egresos	
Año	Valor	Año	1Valor
1	6000	1	2500
2	4000	2	3000
3	4000	3	2500
4	5000	1	2000
5	4500	3	2500

Tabla 10 Flujo efectivo neto anual

Flujo efectivo neto	
Año	Valor
Valor inicial	-7041
1	3500
2	1000
3	1500
4	3000
5	2000

Tabla 11 Cálculos VAN y TIR

Inversión inicial	7041
Tasa de interés	10%
VAN	\$1.385,12
TIR	17,85%

\$1.385,12 VAN: se utiliza en el análisis financiero para tasar la renta de una inversión. En este caso, la cifra es de \$1.385,12 representa el Valor Actual Neto de la inversión. En este caso, una TIR del 17.85 % indica la tasa interna de retorno de la inversión, es decir, la tasa a la cual los flujos de efectivo esperados igualan la inversión inicial.

4.7 Resumen del capítulo

Este capítulo desarrolló el impacto ambiental del horno, destacando la necesidad de adoptar tecnologías más limpias y sostenibles para mitigar las emisiones contaminantes. Se resaltó la importancia del manual de operación para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente, minimizando riesgos y optimizando el rendimiento. La comprobación de la hipótesis respaldó la eficiencia energética y la reducción de emisiones al implementar mejoras. Además, se analizaron los costos asociados, encontrando que la implementación de tecnologías eficientes puede generar ahorros a largo plazo.

CONCLUSIONES

En el proceso de elaboración del horno, se llevó a cabo una exhaustiva comparación de diversas técnicas de pintura disponibles en el mercado. Después de un análisis detallado, se llegó a la conclusión de que la pintura electrostática era la opción más recomendable para el proyecto como lo indica la Tabla 2.

Para un mejor control se usó un PLC Logo 8 que con compuertas lógicas y tiempos maneja el quemador proporcionando una excelente eficiencia del mismo se tomó en cuenta las pérdidas de calor que pueden ser causantes de una calidad deficiente en los acabos por este motivo se utilizó lana de vidrio para un aislamiento al interior del horno siendo una pérdida de calor 10 % en relación a la potencia proporcionada por el quemador.

Además, se implementó una programación avanzada en el funcionamiento del horno. Esta programación permitía realizar ciclos repetitivos de calentamiento y precalentamiento de las piezas, optimizando así el proceso de pintura, los tiempos de curado pueden variar en la tabla 5 se presentan los tiempos de curado siendo 25 minutos la etapa de ciclo rápida pero para un proceso completo incluyendo precalentamiento se tarda un tiempo de 45 minutos en terminar la pieza curada correctamente, se ocupa el proceso completo en piezas con geometrías difíciles para que no presenten ningún tipo de sombreado al finalizar el proceso.

Mediante el uso de SolidWorks, se crearon modelos tridimensionales del horno, lo que permitió visualizar su estructura y componentes de manera virtual. Esta representación digital facilitó la identificación de posibles errores de diseño, optimizando así la eficiencia y funcionalidad del horno, se usó un análisis estático en los elementos que pueden presentar fallos y deformaciones por fuerzas externas, para comprobar dichos resultados se elaboraron cálculos tales como deformación unitaria y factor de seguridad presentes en el capítulo 3, indicando una deformación unitaria de 0.029 la misma es pequeña en relación al material utilizado siendo acero galvanizado.

En la sección de análisis económico se calculó el VAN de la inversión siendo \$ 1385.12 y la TIR es del 17.85 %. Estos números indican que la inversión tiene un valor presente neto positivo.

RECOMENDACIONES

Dado que se realizó una exhaustiva comparación de técnicas de pintura se determinó que la pintura electrostática es la opción más recomendable, se sugiere seguir utilizando esta técnica en el proceso de pintado.

Se recomienda seguir utilizando el horno a gas, ya que se ha demostrado que ofrece una excelente eficiencia en cuanto al manejo del quemador.

La implementación de una programación avanzada que permite realizar ciclos repetitivos de calentamiento y precalentamiento de las piezas ha demostrado mejorar la calidad de la pintura aplicada. Se recomienda mantener esta programación para optimizar el proceso de pintura.

El uso de herramientas como SolidWorks para crear modelos tridimensionales del horno y realizar un análisis estático ayuda a identificar posibles errores de diseño y optimizar la eficiencia del horno. Se recomienda seguir utilizando este enfoque para garantizar la resistencia y funcionalidad adecuadas del horno.

Aunque se menciona el uso de elementos de protección y contactores en el gabinete eléctrico, se recomienda evaluar si existen otras medidas de seguridad y el correcto funcionamiento del horno. Esto puede incluir sistemas de detección y extinción de incendios entre otros

REFERENCIAS

- [1] C. Z. Tomero, «Recubrimientos anticorrosivos inteligentes y medioambientales aceptables basados en nanopartículas de sílice,» CSIC, Madrid, 2019.
- [2] J. L. Sanchez, DISEÑO, CONSTRUCCION Y ANALISIS DE CUATRO HORNOS DE ALIMENTACION MANUAL PARA EL RELEVADO DE ESFUERZOS EN RESORSTE, Queretaro: C.I.D.E.S.I, 2000.
- [3] G. E. V. Villarreal, "Analizando la comparación de los ensayos para pinturas y recubrimientos electrolíticos bajo norma Inen", Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2008.
- [4] J. B. VALLE, «ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL FACTOR DE RIESGO EN EL AMBIENTE DE TRABAJO QUE GENERA LA PINTURA ELECTROSTÁTICA EN UN TALLER DE PINTURA,» UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL, Quito, 2015.
- [5] E. A. ARCHÁN, «ESTUDIO DE LA INCORPORACIÓN DE NANOMATERIALES FUNCIONALES EN RESINAS POLIÉSTER Y SU USO POTENCIAL EN PINTURAS E ELECTROSTÁTICAS.,» UNIDAD MTY, Apodaca, 2015.
- [6] F. Ricaurte Lucin, OPTIMIZACION DE LOS PROCESOS QUE SE DESARROLLAN EN LA EMPRESA SADINSA S.A., Guayaquil: Universidad Politecnica Salesiana, 2014.
- [7] N. CHILUISA PASTUÑA y M. CUEVA QUINGA, IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONVECCIÓN FORZADA MEDIANTE COMBUSTIÓN A GAS EN EL HORNO DE PINTURA ELECTROSTÁTICA DE LA EMPRESA METAL ELECTRIC, Latacunga: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, 2019.
- [8] A. V. Medina, «ESTUDIO DE UN SISTEMA DE POLIMERIZACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LA PINTURA EPOXI POLIÉSTER APLICADA EN LOS PRODUCTOS DE LA EMPRESA ECUAMATRIZ S.A.,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2014.
- [9] G. D. CARRILLO CAMACHO y B. . A. GUERRERO HINOJOSA , «DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN HORNO PARA EL CURADO DE PINTURA ELECTROSTÁTICA PARA EL CENTRO DE PRODUCCIÓN E.S.P.E SEDE LATACUNGA.,» ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO, Sangolquí, 2010.
- [10] R. Garcia, «QUEMADORES,» 2001.
- [11] J. F. ESCOBAR RAMIREZ, ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA RENOVACION DE TECNOLOGIA EN HORNOS DE CURADO DE PINTURA ELECTROSTATICA EN LA INDUSTRIA DE ELEVADORES, Medellin: Universidad EAFIT, 2009.

- [12] A. Alonso Serrano, L. Garcia Dsnz, I. Leon Rodrigo, E. Garcia Gordo, B. Gil Alvaro y L. Rios Brea, MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN DE ENFOQUE EXPERIMENTAL, MADRID: POSTGRADOUNE, 2008.
- [13] M. I. Gozáles Escobar, «DETERMINAR LOS PERFILES DE TEMPERATURA DE UN HORNO PARA LADRILLOS DEL SECTOR CHAMBO,» Escuela Superior De Chimborazo, Riobamba, 2011.
- [14] S. Montenegro León y T. Tixe Bustamante , MEJORA DEL PROCESO DE PINTURA ELECTROSTÁTICA DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN “SUMAR, Quito: Universidad Central del Ecuador, 2012.
- [15] E. G. J. J. L. G. M. T. G. G. J. M. N. ÁGUEDA CASADO, Embellecimiento de superficies, Madrid: Paraninfo.SA, 2017.
- [16] C. P. & T. Cristian, «ANÁLISIS Y MEJORA DEL PROCESO PRODUCTIVO DEL CENTRO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL ULLOA UBICADO EN EL SECTOR EL NIÁGARA DE LATACUNGA COTOPAXI,» Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2010.
- [17] R. V. Angüisaca Sarmiento, Proyecto de diseño de un horno túnel para planta procesadora de arcilla Bella Azhuquita, Quito: Universidad Politecnica Salesiana, 2009.
- [18] B. O. CHANGO, ESTUDIO DE HORNOS DE FUNDICIÓN DE COBRE Y SUS ALEACIONES, PARA OPTIMIZAR MATERIA PRIMA EN EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ambato: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 2014.
- [19] W. V. SANTOS CUEVA, ESTUDIO DEL PROCESO DE PINTURA BAJO LA UTILIZACIÓN DE DIFERENTES MARCAS DE RECUBRIMIENTOS SOBRE MATERIAL GALVANIZADO Y FIBRA DE VIDRIO Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD DEL ACABADO SUPERFICIAL DE LOS BUSES FABRICADOS EN LA EMPRESA IMPEDSA, AMBATO: UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO, 2015.
- [20] D. RIVERA MARQUEZ, PROPUESTA DE ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS BAÑOS DE DECAPADO EN LA GALVANIZACIÓN DEL ACERO, Ciudad de México: INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, 2016.
- [21] J. A. PORTALANZA BRITO, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CUARTO DE SECADO DE PINTURA ELECTROSTÁTICA PARA TABLEROS ELÉCTRICOS COMBINANDO ENERGÍA RENOVABLE Y NO RENOVABLE., Quito: ESCUELA POLITÉCNICA SALESIANA, 2014.
- [22] S. H. TIBANQUIZA GUATO, «AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA FLORÍCOLA LOS ÁNGELES ROSES,» UNIVERSIDAD TECNOLOGÍA

ISRAEL, QUITO, 2020.

- [23] V. M. Leonardo Delgado, Diseño y calculo de un horno para polimerizacion de pintura cojn combustible a gas L.P., Santiago de Cali: Corporacion Universitaria autonoma del occidente , 1994.
- [24] C. G. y. B. Guerrero, «DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN HORNO,» Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, 2010.
- [25] T. Cengel, Tablas y Diagrams de propiedades, CSS BOOKS, 2018.
- [26] P. Hernandez, «ARQUITECTURA EFICIENTE,» Arquitectura Bioclimática Conceptos Materiales, 9 04 2019. [En línea]. Available: <https://pedrojhernandez.com/2014/04/09/caracteristicas-termicas-de-los-materiales/>. [Último acceso: 20 06 2023].

