



**Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi**

# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ACABADO DE PINTURA  
EN LA EMPRESA TALLERES TERÁN”**

**AUTORES:**

Ruidias Almeida Yeferson Moisés

Terán Sánchez Danny Patricio

**TUTOR:**

Ing.Msc. Cristian Iván Eugenio Pilliza

**LATACUNGA - ECUADOR**

**2019**



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



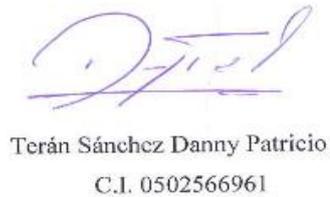
Ingeniería  
Industrial

### DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, RUIDIAS ALMEIDA YEFERSON MOISÉS Y TERÁN SÁNCHEZ DANNY PATRICIO, declaramos ser autores del presente proyecto tecnológico. **“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ACABADO DE PINTURA EN LA EMPRESA TALLERES TERÁN”** siendo el Ing.Mg. Cristian Eugenio, tutor del presente proyecto; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles acciones legales.

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

  
Ruidias Almeida Yeferson Moisés  
C.I. 0804786804

  
Terán Sánchez Danny Patricio  
C.I. 0502566961



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ingeniería  
Industrial

## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor de la propuesta Tecnológica sobre el título:

**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ACABADO DE PINTURA EN LA EMPRESA TALLERES TERÁN”** de RUIDIAS ALMEIDA YEFERSON MOISÉS y TERÁN SÁNCHEZ DANNY PATRICIO, de la carrera INGENIERÍA INDUSTRIAL, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 22 de julio, 2019

El Tutor  
Firma

Cristian Iván Eugenio Pilliza



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ingeniería  
Industrial

### APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de CIENCIAS DE LA INGENIERÍA APLICADAS; por cuanto, los postulantes: RUIDIAS ALMEIDA YEFERSON MOISÉS y TERÁN SÁNCHEZ DANNY PATRICIO con el título de Proyecto de titulación: “OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ACABADO DE PINTURA EN LA EMPRESA TALLERES TERÁN” han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

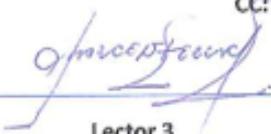
Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 22 de julio del 2019

Para constancia firman:

  
Lector 1 (Presidente)  
Nombre: Benjamín Chávez  
CC: 171676037-4

  
Lector 2  
Nombre: Freddy Quinchimbla  
CC: 1719310508

  
Lector 3  
Nombre: Marcelo Tello  
CC: 050151855-9



# TALLERES TERAN E HIJOS



Dirección: Av. Eloy Alfaro 79-165 (La Estación) Telfs: 2801812 - 2810999 Cel. 099242855  
Latacunga - Ecuador

## AVAL DE LA EMPRESA

### CERTIFICACIÓN:

A los señores Ruidias Almeida Yeferson Moisés y Terán Sánchez Danny Patricio estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, de la carrera de Ingeniería Industrial; en mi calidad de propietario de la empresa "TALLERES TERÁN", certifico que los peticionarios han desarrollado el tema tecnológico titulado "OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ACABADO DE PINTURA EN LA EMPRESA TALLERES TERÁN", trabajo que ha satisfecho las expectativas establecidas.

Doy fe del presente para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 12 de Julio del 2019

### PROPIETARIO

Sr. Guillermo Terán S.

Ci: 050001229-9

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente doy gracias a Dios por la oportunidad de alcanzar un objetivo más en mi vida por la salud y la familia que me han apoyado en todo momento

De manera especial quiero agradecer a mi padre Guillermo Terán por permitirme trabajar y estudiar a la vez, a mi querida madre Patricia Sánchez, que los amo mucho

A mi amada esposa Gabriela, por ser el pilar en todas las decisiones importantes de mi vida.

*Danny*

## **AGRADECIMIENTO**

Doy gracias a Dios por haberme dado salud y la oportunidad de culminar tan maravillosa carrera.

De manera muy especial quiero agradecer a mi madre, Rosa Almeida por ser mi ejemplo a seguir y por haberme dado ese apoyo incondicional para salir adelante.

A lo largo de este camino han sido muchas las personas que me entregaron su apoyo, para alcanzar esta meta, en especial mi familia, compañeros y amigos que aportaron para culminar con éxito la carrera.

*Moisés*

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación está dedicado a mi madre que con su ejemplo y esfuerzo supo sacar adelante nuestra familia, es y siempre será mi ejemplo de perseverancia y lucha, el pilar fundamental que da sentido a mi vida

*Moisés*

## **DEDICATORIA**

Este presente trabajo le dedico a mi querida familia, que han estado en los buenos y malos momentos a lo largo de mi vida, siendo el soporte y guía para todas mis decisiones

Danny

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**TITULO:** “OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ACABADO DE PINTURA EN LA EMPRESA TALLERES TERÁN”

### RESUMEN

#### **Autores:**

Ruidias Almeida Yeferson Moisés  
Terán Sánchez Danny Patricio

La Empresa “Talleres Terán” cuenta con aproximadamente 40 años de experiencia en el sector automotriz de la ciudad, está ubicada en la parte norte de la ciudad de Latacunga, en una de las arterias viales más importantes de la ciudad avenida Eloy Alfaro, ofrece los servicios de rectificación y pintura, hasta el acabado final. Se realiza el presente proyecto con el objetivo fundamental de optimizar el proceso acabado mediante el diseño de una cámara de pintura para disminuir el tiempo de secado, aumentar la calidad del terminado y mejorar los ingresos de la empresa. La cabina de pintura por convección forzada tiene un ventilador de  $4,2\text{m}^3/\text{s}$ , el cual tiene la función de impulsar el aire a través del sistema de calentamiento el mismo que está conformado por tres resistencias secas de 5kW cada. Esta cabina de pintura mantiene una temperatura referencial de  $65^\circ\text{C}$ . Gracias a estas condiciones térmicas se consigue una disminución del tiempo de secado de 4 horas a 25 minutos, logrando optimizar en un 89% del tiempo del proceso. Todos estos cálculos están basados al horno en tamaño real. Además se realizó un prototipo con escala 1:7 para reproducir con más fidelidad el comportamiento real del horno y poner en manifiesto circunstancias y modos de funcionamiento difíciles de imaginar en una simulación virtual. Con relación a los costos de construcción también existe un ahorro aproximado del 60% tomando en cuenta los costos referencias de los hornos de pintura en el mercado. En conclusión, el trabajar en un ambiente térmicamente controlado permite tener un mejor acabado de las piezas pintadas debido a que en este procedimiento se elimina partículas de polvo, microfibras, chorreo de pintura, aumentando el brillo en el acabado final.

Palabras claves: acabado, resistencias secas, optimización, prototipo, condiciones térmicas.

# TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

## ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES FACULTY

**THEME:** “OPTIMIZATION OF THE PAINTING FINISHING PROCESS IN “TALLERES TERÁN COMPANY”

### ABSTRACT

**Authors:**

Ruidias Almeida Yeferson Moisés

Terán Sánchez Danny Patricio

"Talleres Terán" Company has approximately 40 years of experience in the automotive sector in the city, it is located in the northern part in Latacunga city, in one of the most important arteries at Eloy Alfaro Avenue, and it offers the Services of rectification and painting, until the final finish. The present project is carried out with the fundamental objective to optimize the process by designing a paint chamber to reduce the drying time, increase the quality of time and improving the company income. The convection paint booth has a fan of 4.2 m<sup>3</sup> / s, which has the function of boosting the air through the heating system which is made up of 5kW resistors each. This paint booth maintains a reference temperature of 65 ° C. Thanks to these thermal conditions, a decrease in the drying time from 4 hours to 25 minutes is obtained, managing to optimize the process time by 89%. All these calculations are based on the oven in real size. In addition, a prototype with a 1: 7 scale was published to reproduce with more fidelity the real behavior of the furnace and highlight the circumstances and modes of operation. The relationship with the construction costs also exists a saving of approximately 60% taking into account the costs of the references of the furnaces of the painting in the market. In conclusion, working in a thermally controlled environment allows for a better finish of the painted parts because in this procedure the dust particles, microfibers, paint dripping, and the gloss in the final finish are removed.

**KEYWORDS:** Finishing, Dry resistances, Optimization, Prototype, Thermal conditions.

## AVAL DE TRADUCCIÓN



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

### *AVAL DE TRADUCCIÓN*

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: la traducción del Resumen de Tesis al Idioma Inglés presentado por los señores Egresados de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicada: **RUIDIAS ALMEIDA YEFERSON MOISES** y **TERAN SANCHEZ DANNY PATRICIO**, cuyo título versa **“OPTIMIZACION DEL PROCESO DE ACABADO DE PINTURA EN LA EMPRESA TALLERES TERAN”**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumplen con una correcta estructura gramatical del idioma.

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

Latacunga, Julio del 2019

Atentamente,

Msc. Alison Mena Barthelotty  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS**  
C.C. 0501801252



## ÍNDICE

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	¡Error! Marcador no definido.
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN ....	¡Error! Marcador no definido.
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	¡Error! Marcador no definido.
AVAL DE LA EMPRESA.....	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTO .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
DEDICATORIA .....	viii
DEDICATORIA .....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT .....	xi
AVAL DE TRADUCCIÓN .....	xii
ÍNDICE .....	xiii
1. INFORMACIÓN BÁSICA.....	1
1.1. Propuesto por.....	1
1.2. Nombre de los autores.....	1
1.3. Tema aprobado .....	1
1.4. Carrera.....	1
1.5. Director del proyecto de titulación .....	1
1.6. Lugar de ejecución.....	1
1.7. Tiempo de duración del proyecto. ....	1
1.8. Fecha de entrega .....	1
1.9. Línea y sublínea de investigación.....	1
1.9.1. Línea de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi .....	1
1.9.2. Sub-línea de investigación de la carrera de Ingeniería Industrial .....	1
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA .....	2
2.1. Título.....	2

2.2.	Alcance.....	2
2.3.	Área de conocimiento.....	2
2.4.	Resumen.....	2
2.5.	Objeto de estudio y campo de acción.....	3
2.5.1.	Objeto de estudio.....	3
2.5.2.	Campo de acción.....	3
2.6.	Situación problemática y problema.....	3
2.6.1.	Situación problemática.....	3
2.6.2.	Problema.....	4
2.6.3.	Justificación.....	5
2.7.	Beneficiarios.....	5
2.8.	Hipótesis.....	6
2.9.	Objetivos.....	6
2.9.1.	Objetivo general.....	6
2.9.2.	Objetivos específicos.....	6
2.10.	Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos.....	7
3.	FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	9
3.1.	Antecedentes investigativos.....	9
3.2.	Pintado automotriz.....	10
3.3.	Preparación de la superficie.....	12
3.4.	Cámara de pintura y secado.....	13
3.5.	Tipos de cabina.....	16
3.5.1.	Cámara con luces infrarrojas.....	16
3.5.2.	Cabinas de flujo vertical.....	17
3.5.3.	Flujo semi vertical.....	18
3.5.4.	Flujo horizontal.....	18
3.6.	Características generales.....	19

3.6.1.	Podemos separar estas cabinas en 3 modelos.....	20
3.7.	Espacio.....	20
3.8.	Sistema impulsión y extracción de aire.....	21
3.8.1.	Tipo globo.....	21
3.8.2.	Tipo equilibrado.....	22
3.9.	Ductos de transferencia.....	22
3.9.1.	Ductos de entrada.....	22
3.9.2.	Ductos de salida o recirculación.....	23
3.10.	Aislante térmico y acústico.....	23
3.11.	Propiedades de la fibra de vidrio.....	23
3.11.1.	Resistencia química:.....	23
3.11.2.	Peso ligero:.....	23
3.11.3.	Mantenimiento mínimo:.....	24
3.11.4.	Aislamiento eléctrico.....	24
3.11.5.	Versatilidad.....	24
3.11.6.	Excelente aislante térmico:.....	24
3.12.	Filtros.....	25
3.12.1.	Pre filtro.....	26
3.12.2.	Filtro de suelo del habitáculo.....	26
3.13.	Tipos de pintura.....	28
3.13.1.	Acrílica.....	28
3.13.2.	Poliuretano.....	28
3.13.3.	Poliéster.....	29
3.13.4.	Electroestática.....	29
3.14.	Thinner.....	29
3.15.	Sistema para alcanzar la temperatura deseada.....	30
3.16.	Mecanismos de conducción de calor.....	31

3.16.1.	Trasferencia de calor por conducción. ....	32
3.16.2.	Conductividad térmica. ....	33
3.16.3.	Trasferencia de calor por convección. ....	34
3.16.4.	Transferencia de calor por radiación. ....	35
3.17.	Comportamiento de un fluido cualquiera en la transferencia de calor. ....	36
3.18.	Intercambiadores de calor. ....	36
3.19.	Curado y secado. ....	37
3.19.1.	Secado. ....	37
3.19.2.	Curado. ....	37
4.	METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL. ....	38
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS. ....	39
5.1.	Recopilar información sobre la normativa técnica para la construcción de cámaras de pintura. ....	39
5.1.1.	Composición: ....	39
5.1.2.	Materiales utilizados en la fabricación de hornos de pintura según (Iberica, 2014). 39	
5.1.3.	Factores de Seguridad. ....	42
5.1.4.	Seguridad para el personal. ....	42
5.1.5.	Sistemas acuosos. ....	43
5.1.6.	Solventes orgánicos. ....	43
5.1.7.	Seguridad para el medio ambiente. ....	44
5.1.8.	Seguridad contra explosiones. ....	45
5.2.	Definir las dimensiones de la cabina de pintura. ....	46
5.2.1.	Altura. ....	46
5.2.2.	Ancho. ....	47
5.2.3.	Profundidad. ....	47
5.3.	Diseñar el sistema de iluminación. ....	47

5.3.1.	Índice del local. ....	48
5.3.2.	Factor de utilización.....	49
5.3.3.	Factor de mantenimiento.....	49
5.3.4.	Flujo luminoso necesario. ....	49
5.3.5.	Numero de luminarias necesarias. ....	50
5.3.6.	Ubicación de las luminarias dentro de la cámara de pintura.....	50
5.3.7.	Resultados de la distribución del sistema de iluminación.....	51
5.4.	Selección del calentador de aire (secador) útil para el proceso de secado.....	52
5.4.1.	Transferencia de calor por radiación .....	52
5.4.2.	Temperatura del aire atmosférico .....	52
5.4.3.	Temperatura en el interior de la cabina.....	53
5.4.4.	Calor requerido para calentar la masa de aire. ....	53
5.4.5.	Transferencia de calor por convección .....	55
5.4.6.	Calor requerido para calentar la masa de aire hasta los 60°C. ....	56
5.4.7.	Calor requerido para calentar la carrocería. ....	57
5.4.8.	Calor perdido en las paredes, piso y techo (conducción).....	57
5.4.9.	Selección del calentador.....	63
5.5.	Realizar el Diseño de la cámara de pintura en el software AUTOCAD 3D. ....	65
5.6.	Determinar el tipo de sistema de control de temperatura que se va utilizar en el horno. 65	
5.6.1.	Control de temperatura.....	65
5.7.	Incorporación de sensor de temperatura. ....	66
5.8.	Adquirir los materiales y equipos a utilizar para la construcción del secador. ....	67
5.8.1.	Selección del ventilador. ....	67
5.8.2.	Lamina de acero.....	68
5.8.3.	Fibra de vidrio. ....	69
5.8.4.	Tubos para la estructura. ....	70

5.8.5.	Material para los ductos de ventilación.....	71
5.8.6.	Materiales para el sistema de control.....	71
5.9.	Armar el prototipo.....	72
5.9.1.	Ensamblaje de las paredes, techo y suelo.....	81
5.9.2.	Colocación del aislante térmico.....	82
5.9.3.	Diseño del sistema de distribución de aire o ductos.....	83
5.9.4.	Montaje de sistema de ductos.....	83
5.9.5.	Construcción de rejillas.....	84
5.9.6.	Instalación de iluminarias.....	85
5.9.7.	Instalación del sistema de calefacción.....	86
5.9.8.	Instalación del sistema de control.....	87
5.10.	Identificar fallas en el prototipo.....	90
5.11.	Calcular el tiempo de secado de la pintura.....	91
5.12.	Determinar el porcentaje de tiempo optimizado.....	91
5.13.	Determinar la dureza del acabado de pintura en condiciones ambientales y en el horno de pintura.....	92
5.13.1	Durezas del acabado en condiciones ambientales.....	92
5.13.2.	Dureza del acabado en el horno de pintura.....	93
5.14	Análisis de costos.....	94
5.14.1.	Costos de producción de pintura en condiciones ambientales.....	94
5.14.2.	Costos de producción con el horno de pintura.....	95
6.	PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS.....	95
6.1.	Presupuesto.....	95
6.2.	Consumo energético.....	101
6.3.	Periodo de recuperación.....	102
6.4.	Cronograma.....	104
6.5.	Análisis de impactos.....	107

6.5.1.	Impactos técnicos .....	107
6.5.2.	Impactos sociales .....	107
6.5.3.	Impacto ambiental .....	107
6.5.4.	Impacto económico.....	107
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	108
7.1.	Conclusiones.....	108
7.2.	Recomendaciones. ....	109
8.	BIBLIOGRAFÍA. ....	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Operación de pintado.....	10
<b>Figura 2:</b> Preparación del auto para ser pintado.....	13
<b>Figura 3:</b> Sistema de aire de una cabina de pintura.....	14
<b>Figura 4:</b> Cámara con luces infrarrojas.....	17
<b>Figura 5:</b> Cabina de pintura con flujo de aire en forma vertical.....	17
<b>Figura 6:</b> Cabina con flujo de aire semi vertical.....	18
<b>Figura 7:</b> Cabina de pintura con flujo de aire horizontal.....	19
<b>Figura 8:</b> Sistema de extracción e impulsión de aire tipo globo.....	21
<b>Figura 9:</b> Sistema de extracción e impulsión de aire tipo equilibrado.....	22
<b>Figura 10:</b> Aislamiento térmico y acústico (fibra de vidrio).....	25
<b>Figura 11:</b> filtro de suelo del habitáculo.....	27
<b>Figura 12:</b> Filtro del suelo de una cabina de pintura.....	28
<b>Figura 13:</b> Calentamiento del interior de la cabina con luces infrarrojas.....	31
<b>Figura 14:</b> Sistemas de transferencia de calor.....	32
<b>Figura 15:</b> Trasferencia de calor por conducción.....	33
<b>Figura 16:</b> Convección natural y forzada.....	35
<b>Figura 17:</b> Intercambiador de calor.....	36
<b>Figura 18:</b> Tabulación para encontrar el factor de utilización.....	49
<b>Figura 19:</b> Sistema de resistencias de las paredes, Techo y puertas.....	58
<b>Figura 20:</b> Sistema de control.....	66
<b>Figura 21:</b> Termocupla tipo K.....	67
<b>Figura 22:</b> Plancha de acero usada en el proyecto.....	69
<b>Figura 23:</b> Fibra de vidrio.....	70
<b>Figura 24:</b> Tubos para la estructura.....	71
<b>Figura 25:</b> Estructura del prototipo.....	81
<b>Figura 26:</b> Ensamblaje del prototipo.....	82
<b>Figura 27:</b> Colocación de la fibra de vidrio.....	82
<b>Figura 28:</b> Ductos para la distribución de aire.....	83
<b>Figura 30:</b> Construcción de rejillas.....	85

<b>Figura 31:</b> Sistema de iluminación del prototipo .....	86
<b>Figura 32:</b> Sistema de calentamiento .....	87
<b>Figura 33:</b> Sistema de control manual .....	88
<b>Figura 34:</b> Mando automático .....	89
<b>Figura 35:</b> Contactores del sistema de control .....	89
<b>Figura 36:</b> ventilador defectuoso .....	90
<b>Figura 37:</b> Ventilador d aluminio .....	91
<b>Figura 38:</b> Prueba de dureza de la pieza pintada en condiciones ambientales .....	93
<b>Figura 39:</b> Resistencia de la película de pintura realizada en el horno .....	94

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Área de conocimiento.....	2
<b>Tabla 2:</b> Planteamiento de las actividades a realizar. ....	7
<b>Tabla 3:</b> Flujo del proceso de pintura .....	11
<b>Tabla 4:</b> Factor de reflexión de acuerdo con los colores.....	47
<b>Tabla 5:</b> Valores del factor de mantenimiento. ....	49
<b>Tabla 6:</b> Distancia entre luminarias .....	51
<b>Tabla 7:</b> Tomas de temperatura en el ambiente. ....	52
<b>Tabla 8:</b> Propiedades de los materiales involucrados en el proyecto .....	53
<b>Tabla 9:</b> Propiedades físicas del aire a temperatura de película determinada.....	55
<b>Tabla 10:</b> Calores necesarios para determinar la potencia del calentador .....	64
<b>Tabla 11:</b> matriz de selección del ventilador.....	68
<b>Tabla 12:</b> Tiempos de secado del prototipo .....	91
<b>Tabla 13:</b> Tiempos de secado en condiciones ambientales .....	91
<b>Tabla 14:</b> Escala de dureza de la película de pintura .....	92
<b>Tabla 15:</b> Costos actuales de producción. ....	94
<b>Tabla 16:</b> Costos de producción con el horno de pintura.....	95
<b>Tabla 17:</b> Costo de materiales para las paredes laterales. ....	96
<b>Tabla 18:</b> Costo de los materiales para de pared del fondo.....	97
<b>Tabla 19:</b> Costo de los materiales del techo .....	97
<b>Tabla 20:</b> Costo de materiales para las puertas y pared frontal. ....	98
<b>Tabla 21:</b> Costo de los materiales para la estructura .....	98
<b>Tabla 22:</b> Material para la ventilación. ....	99
<b>Tabla 23:</b> Material eléctrico .....	99
<b>Tabla 24:</b> Material del sistema del control .....	100
<b>Tabla 25:</b> Costos relacionados al proyecto.....	100
<b>Tabla 26:</b> Resumen de los costos.....	101
<b>Tabla 27:</b> Cronograma de actividades.....	104

## **1. INFORMACIÓN BÁSICA.**

### **1.1.Propuesto por**

### **1.2.Nombre de los autores**

Ruidias Almeida Yeferson Moisés.

Terán Sánchez Danny Patricio.

### **1.3. Tema aprobado**

### **1.4.Carrera**

Ingeniería Industrial.

### **1.5. Director del proyecto de titulación**

Ing.Mg. Cristian Eugenio.

### **1.6. Lugar de ejecución**

Cotopaxi – Latacunga-

### **1.7.Tiempo de duración del proyecto.**

16 semanas

### **1.8.Fecha de entrega**

29 de julio del 2019

### **1.9.Línea y sublínea de investigación**

#### **1.9.1. Línea de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi**

Línea 4: procesos industriales.

#### **1.9.2. Sub-línea de investigación de la carrera de Ingeniería Industrial**

Sub-línea 1: procesos productivos

## 2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

### 2.1. Título

Optimización del proceso de acabado de pintura en la empresa “Talleres Terán”

### 2.2. Alcance.

El ensayo con prototipo físico proporcionan dos ventajas con respecto a una simulación virtual:

- Reproduce con más fidelidad el comportamiento real del horno
- Pone en manifiesto circunstancias y modos de funcionamiento difíciles de imaginar en una simulación virtual.

Para validar el horno de pintura e iniciar su construcción se propone realizar ensayos en un prototipo físico escalado.

### 2.3. Área de conocimiento.

Tabla 1: Área de conocimiento

Campo amplio	Campo específico	Campo detallado
Ingeniería, Industria y construcción	Ingeniería y profesiones a fines	Ingeniería y procesos químicos. Electricidad y energía.

Fuente: Autores

### 2.4. Resumen

La Empresa “Talleres Terán” cuenta con aproximadamente 40 años de experiencia en el sector automotriz de la ciudad, está ubicada en el centro del país, en la parte norte de la ciudad de la ciudad de Latacunga provincia de Cotopaxi, en una de las arterias viales más importantes de la ciudad avenida Eloy Alfaro, ofrece los servicios de rectificación y pintura, hasta el acabado final.

Se realiza el presente proyecto con el objetivo fundamental de optimizar el proceso acabado mediante el diseño de una cámara de pintura para disminuir el tiempo de secado, aumentar la calidad del terminado y mejorar los ingresos de la empresa.

La cabina de pintura por convección forzada tiene un ventilador de  $4,2\text{m}^3/\text{s}$ , el cual tiene la función de impulsar el aire a través del sistema de calentamiento el mismo que está conformado por tres resistencias secas de 5kW cada. Esta cabina de pintura mantiene una temperatura referencial de  $65^\circ\text{C}$ . Gracias a estas condiciones térmicas se consigue una disminución del tiempo de secado de 4 horas a 25 minutos, logrando optimizar en un 89% del tiempo del proceso.

Todos estos cálculos están basados al horno en tamaño real. Además se realizó un prototipo con escala 1:7 para reproducir con más fidelidad el comportamiento real del horno y poner en manifiesto circunstancias y modos de funcionamiento difíciles de imaginar en una simulación virtual.

Con relación a los costos de construcción también existe un ahorro aproximado del 60% tomando en cuenta los costos referencias de los hornos de pintura en el mercado.

En conclusión, el trabajar en un ambiente térmicamente controlado permite tener un mejor acabado de las piezas pintadas debido a que en este procedimiento se elimina partículas de polvo, microfibras, chorreo de pintura, aumentando el brillo en el acabado final.

## **2.5.Objeto de estudio y campo de acción.**

### **2.5.1. Objeto de estudio**

Diseñar y construir un prototipo de horno de secado de pintura a escala 1:7 que permita la representación y simulación del funcionamiento del horno en dimensiones reales.

### **2.5.2. Campo de acción**

Para reproducir las condiciones reales del funcionamiento del horno se realizan los ensayos en un modelo a escala, por lo que se propone el diseño y construcción de un prototipo a escala 1:7

## **2.6.Situación problemática y problema**

### **2.6.1. Situación problemática.**

A nivel global existe una incesante competencia, en donde los dueños de pequeños talleres dedicados a la pintura de automóviles se ven en la necesidad de mejorar la calidad de sus servicios. En la mayoría de estas microempresas o talleres artesanales tienen inconvenientes en lo referente al acabado de pintura al no contar con cabinas para dicha actividad, esto dificulta mantener a flote sus negocios cuando los bienes fabricados son de baja calidad, este factor disminuye la aceptación de sus servicios dentro del mercado.

Actualmente las cabinas son equipos que mejoran las actividades de pintura, pero tienden a tener costos elevados, razón por la cual no son asequibles para talleres pequeños con baja producción.

En Cotopaxi, existen microempresas e instituciones, que se dedican al servicio de enderezada y pintura de forma empírica, generalmente tienen problemas en el proceso de pintura, debido a

que no se implementan lugares específicos para tal actividad, improvisando zonas sin un análisis técnico, teniendo como resultado terminados con partículas de polvo u otros agentes que se encuentran en el ambiente.

### **2.6.2. Problema.**

Dentro del área de pintura de la empresa “Talleres Terán”, cuentan con un galpón cerrado con el espacio necesario para la actividad de pintura, pero realizándose de forma inapropiada, por desconocimiento de técnicas y normas como una cabina que mejore la calidad de sus productos, teniendo inconvenientes que reducen la calidad de los productos.

La falta de ventilación de los gases y partículas generados al momento de aplicar fondos, brillos con tintes o brillo mate sobre los autos ocasiona que se mantengan en suspensión dificultando la visión de la persona encargada de aplicar las pinturas antes mencionadas, además las partículas tienden a caer sobre los mismos productos y elementos que se encuentran dentro del área de pintado desmejorando el acabado superficial de los automóviles.

Cuando las partículas de polvo y pintura no son recogidas, se acumulan sobre las superficies hasta formar algunas capas sobre los mismos autos que se encuentran dentro del área de pintado y sus alrededores, estas partículas son puestas nuevamente en suspensión cuando el pintor prepara los vehículos para su posterior pintado (autocrash, 2017).

Otro factor a tomar muy en cuenta, es la variación de temperatura del ambiente de trabajo dependiente de las condiciones climáticas, convirtiéndose en un inconveniente cuando se tiene días con temperatura menor a los 18°C, generando que se forme un efecto denominado descolgado o chorreado, formándose lágrimas u ondas en las superficies de aplicación debido a la baja temperatura, cuando ésta es superior a 30°C, al contrario del caso anterior la pintura se seca muy rápido entre aplicación de capas (AzcoNobel, 2016).

Las bajas temperaturas en ciertas temporadas o días pueden incluso ser causa de paralización en la línea de pintado, haciendo difícil la aplicación de pintura sobre los productos, aumentando el tiempo de secado para su posterior manipulación, generando así cuellos de botella y retrasos en la entrega de pedidos a los clientes. Con lo mencionado es evidente la dependencia de las condiciones climáticas.

En fin, los inconvenientes que se atribuyen a la aplicación de pintura, generan la baja calidad de los productos. Estos son factores que han generado el incumplimiento de metas, insatisfacción y volúmenes de producción no adecuados para el desarrollo de la fábrica.

### **2.6.3. Justificación.**

Mediante el diseño de una cabina de pintura, se consigue una disminución del tiempo de pintado y curado de partes, con el fin de optimizar la calidad de los servicios mediante el acondicionamiento de temperatura, ventilación e iluminación del área en el que se realiza la operación de pintado.

Las normas, técnicas, métodos desarrollados y aplicados durante la construcción de la cabina son documentados, con el fin de servir como guía para futuros proyectos similares.

Se diseñó una cabina especialmente para el mejorar y optimizar el proceso de pintado en los automóviles, en la actualidad existen cabinas para el proceso de pintado de dichos de automóviles, pero su precio es demasiado alto.

Con la construcción de la cabina de pintura se beneficia directamente a los empleados que trabajan dentro del área de pintura, disminuyendo los riesgos para su salud y optimizando sus actividades.

El presente proyecto genera un impacto positivo dentro de la empresa, mejorando las actividades dentro del proceso de pintado y la calidad de los productos.

Los altos costos de las cabinas de pintura comerciales hacen que el presente proyecto sea factible, mediante su implementación se ofrecerá a “Talleres Terán” una alternativa nueva y menos costosa para mejorar los procesos y métodos de pintura actuales.

### **2.7. Beneficiarios.**

- Directos

Dueños de la empresa y clientes: 144 clientes anuales aproximadamente.

- Indirectos

Trabajadores y proveedores: 35 personas aproximadamente

## **2.8. Hipótesis.**

La implementación de una cámara de pintura permitirá reducir el tiempo de secado y mejorará la calidad del acabado en el servicio de pintura desarrollado por la empresa “Talleres Terán”.

### **Variable dependiente.**

- Tiempo de secado y la calidad del acabado.

### **Variable independiente.**

- Factibilidad de la implementación de la cámara de pintura.

## **2.9. Objetivos.**

### **2.9.1. Objetivo general.**

Proponer la optimización en el proceso de pintura en la empresa Talleres Terán, mediante el diseño de una cámara de pintura, para disminuir el tiempo de secado, aumentar la calidad del terminado y mejorar los ingresos de la empresa.

### **2.9.2. Objetivos específicos.**

- Establecer los criterios técnicos para el diseño de la cámara de pintura.
- Diseñar y dimensionar la cámara de pintura para la optimización del proceso de acabado.
- Seleccionar el sistema de control de temperatura de la cámara de secado.
- Construir un prototipo de la cámara de pintura.
- Realizar pruebas de funcionamiento del prototipo de la cámara de pintura.
- Comparar los tiempos y la calidad del acabado entre el pintado en la cámara y el que se realiza en condiciones ambientales

**2.10. Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos.**

**Tabla 2: Planteamiento de las actividades a realizar.**

Fuente: autores.

<b>OBJETIVOS</b>	<b>ACTIVIDADES</b>	<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>	<b>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS</b>
<p><b>1.</b> Establecer los criterios técnicos para el diseño de la cámara de pintura.</p>	<p><b>1.1.</b> Recopilar información sobre la normativa técnica para la construcción de cámaras de pintura.</p>	<p>Norma ISO 45001.</p>	<p>Investigación bibliográfica</p>
<p><b>2.</b> Diseñar y dimensionar la cámara de pintura para la optimización del proceso de acabado.</p>	<p><b>2.1.</b> Definir las dimensiones de la cabina de pintura.  <b>2.2.</b> Diseñar el sistema de iluminación  <b>2.3.</b> Realizar el diseño la cámara de pintura en el software AutoCad 3D.  <b>2.4.</b> Selección del calentador de aire (secador) útil para el proceso</p>	<p>Diagrama de distribución de planta.  Diseño en 3D de la cámara de pintura.</p>	<p>Software de diseño inventor</p>

<p><b>3.</b> Selección del sistema de control de temperatura de la cámara de pintura.</p>	<p><b>3.1.</b> Determinar el tipo de sistema de control de temperatura que se va a utilizar en el horno.</p> <p><b>3.2.</b> Incorporación de sensor de temperatura.</p>	<p>Sistema de control de temperatura.</p>	<p>Investigación Bibliográfica y Trabajo práctico</p>
<p><b>4.</b> Construir un prototipo de la cámara de pintura.</p>	<p><b>4.1.</b> Adquirir los materiales y equipos a utilizar para la construcción del secador.</p> <p><b>4.2.</b> Armar el prototipo.</p>	<p>Prototipo de la cámara de pintura</p>	<p>Ensamblaje manual.</p>
<p><b>5.</b> Realizar pruebas de funcionamiento de la cámara de pintura de pintura</p>	<p><b>5.1.</b> Identificar fallas en el prototipo</p> <p><b>5.2.</b> Calcular el tiempo de secado de la pintura.</p>	<p>Funcionamiento adecuado del sistema de secado de pintura.</p>	
<p><b>6.</b> Comparar los tiempos y la calidad del acabado entre el pintado en la cámara y el que se realiza en condiciones ambientales</p>	<p><b>6.1.</b> Determinar el porcentaje de tiempo optimizado.</p> <p><b>6.2.</b> Determinar la calidad del acabo realizado en ambas condiciones.</p>	<p>Optimización del proceso de pintura.</p>	<p>Técnica de inspección para determinar la calidad en el acabado de la pintura</p>

### **3. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.**

#### **3.1. Antecedentes investigativos.**

Para el proceso de pintura donde se utilizan cabinas, se han realizado modelos que cada vez van mejorando debido a los avances principalmente con relación a la tecnología de elementos de control y maquinaria (Gallegos, 2013) .

Los procesos de pintura han evolucionado de acuerdo a los avances tecnológicos y a las necesidades de producción en gran escala o en masa, también con la necesidad de proporcionar mejores acabados en menos tiempo con una reducción de costos considerable, construyéndose o diseñándose la cabina de pintura que posteriormente se convertiría en un horno de pintura cuando se le introduce un climatizador (ESPE, 2010).

Las cabinas de pintura han tenido un gran crecimiento sobre todo en las grandes industrias, gracias a los resultados obtenidos en lo referente a la calidad de los productos, reducción de tiempos de secado y una aplicación eficiente de la pintura gracias al flujo laminar de aire que se puede tener en su interior, pudiendo además estar siempre en funcionamiento sin depender de las variaciones climáticas de temperatura.

Las pequeñas empresas o talleres artesanales que elaboran productos con acabados de calidad, han desarrollado proyectos hechos a la medida de sus requerimientos (BOSH, 2015).

La salud y seguridad industrial es muy importante para la implementación de cabinas de pintura, pero los altos precios de las mismas hacen que no sea factible su adquisición, además los diseños y capacidades no están acordes a las necesidades de cada caso.

En diferentes procesos industriales, los trabajadores pueden sufrir consecuencias ligadas a una mala ventilación, aumentando el riesgo de enfermedades o intoxicaciones, las que, en casos extremos, pueden incluso causar la muerte.

Con el fin de reducir y evitar este grave problema existen sistemas de extracción, para estos residuos peligrosos que afectan el bienestar de los trabajadores, teniendo éxito no solo en la prevención de la salud, sino también en el aumento de la producción, ya que se disminuyen en gran medida el tiempo de secado de los productos (UTA, 2014).

Se han elaborado capítulos completos de normas como las OSHA, que regulan y controlan la forma de cómo se realiza el proceso de pintura.

La reglamentación sobre espacios de trabajo involucra varios aspectos que tratan de fijar el escenario ideal para reunir los atributos y preservar la calidad de los productos y ante todo la seguridad y salud de sus ocupantes.

### 3.2. Pintado automotriz.

El término de “pintado” se utiliza por lo general para identificar un amplio rango de recubrimientos superficiales, que incluyen las pinturas convencionales en base disolvente, barnices (recubrimientos transparentes), esmaltes, lacas (películas formadas únicamente por evaporación) y pintura de látex (en base acuosa) (Acsin, 2010).

**Figura 1: Operación de pintado.**



**Fuente: Área de pintura de la empresa “Talleres Terán”**

Las pinturas están compuestas por resinas orgánicas, pigmentos orgánicos o inorgánicos y aditivos, todo ello en suspensión o diluido en un vehículo líquido (por lo general un disolvente orgánico). Este disolvente es el que proporciona al recubrimiento la viscosidad necesaria, tensión superficial y otras propiedades que permiten la aplicación de una capa uniforme del recubrimiento sobre el sustrato, así como para su fabricación.

Las pinturas son, por lo tanto, un grupo complejo de materiales de recubrimiento protector y decorativo para uso industrial, comercial y doméstico. Pero la función de los recubrimientos de

pintado no es sólo la de proporcionar una superficie brillante o un aspecto atractivo, sino que también proporciona al material protección frente al uso diario y los agentes externos.

La elección de las pinturas y el proceso de aplicación a utilizar son consecuencia de la finalidad buscada, bien sea ésta conseguir un aspecto superficial adecuado, protección frente a la corrosión, agentes químicos, fuego, algas, hongos, etc., o una combinación de ellos.

Esquemáticamente, todos los procesos de pintado se pueden representar del siguiente modo (Mujumdar, 2014):

**Tabla 3: flujo del proceso de pintura**

Símbolo	Actividad
	Se aplica removedor en la lata para que salga residuos de pintura anterior.
	Se lija para que quede toda la superficie uniforme.
	Se aplica masilla polifill
	Se aplica lija #80 para mantener un grosor uniforme
	Se aplica masilla roja para cubrir las líneas que deja el lijado.
	Secado de la masilla roja
	Se aplica lija de agua
	Se aplica fondo
	Verificar donde existen líneas e impurezas para la aplicación de masilla roja
	Esperar que se seque la masilla roja

	Se vuelve a aplicar lija de agua
	Se aplica fondo
	Trasladar el auto al lugar de pintado
	Se aplica la primera mano de pintura
	Se verifica donde existen las impurezas y se aplica masilla roja para su posterior lijado
	Se aplica la segunda y tercera mano de pintura
	Se aplica laca
	Se traslada el auto al área de entrega
	Espera del cliente para el retiro del vehículo

Fuente: autores.

La calidad final del recubrimiento obtenido depende no sólo del material de pintura utilizado sino también del modo de aplicación del mismo, así como de la preparación que haya recibido la superficie a pintar y el método empleado para secar/curar la pintura.

El proceso de aplicación de la pintura puede dividirse en tres etapas fundamentales: preparación de la superficie a pintar, aplicación/curado de la pintura y limpieza de los equipos.

### 3.3. Preparación de la superficie.

Cada una de las actividades de esta etapa puede afectar al resultado del acabado final, por ello es esencial una preparación adecuada de la superficie para asegurar un recubrimiento óptimo como se muestra en la figura 2. De hecho, hasta el 80% de los fallos de adherencia del

recubrimiento pueden atribuirse directamente a una inadecuada preparación de la superficie (Martin, 2010).

**Figura 2: Preparación del auto para ser pintado.**



**Fuente: "Talleres Terán" (2019)**

El objetivo fundamental de esta etapa es el conseguir una buena adherencia del recubrimiento a la superficie del sustrato, así como que éste se encuentre libre de cualquier tipo de suciedad (aceites y grasas, óxidos, etc.).

### **3.4. Cámara de pintura y secado.**

La cámara de pintado y secado es un componente fundamental en el taller de pintura en la que se produce el ambiente idóneo para un repintado de calidad. Pero no sólo aporta ventajas de cara a garantizar un acabado perfecto, sino también desde el punto de vista medio ambiental, ya que se retienen la mayoría de partículas de pintura y compuestos orgánicos volátiles (COVs), y desde el punto de vista de la prevención de riesgos laborales, ya que permite al pintor trabajar en unas condiciones controladas (Garcia, 2018) .

El aire captado del exterior, se hace pasar por un filtro para eliminar las principales impurezas, después puede ser calentado mediante la utilización de un intercambiador de calor que eleva su temperatura hasta el punto óptimo de aplicación, que es de unos 15-20 ° C (BOSH, 2015). Antes de entrar a la cámara de secado se hace pasar a través de unos filtros o "plenum" que eliminan

las partículas finas de polvo para evitar que la suciedad quede adherida a la película de pintura. (Figura 3)

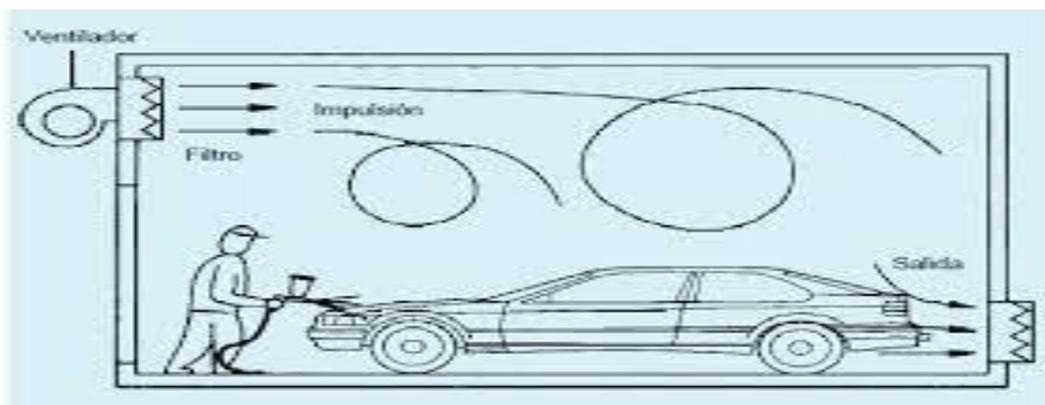
Las salidas de este aire se realizan por el suelo el que está constituido de dos rejilla, filtrando el aire mediante los denominados "paint-stop", filtros que se encuentran debajo de las rejillas y que retienen los restos de la pintura en suspensión.

Tanto estos filtros como los del plenum, deben ser renovados después de un determinado número de horas de funcionamiento de la cámara, ya que estos con el pasar del uso se cargan de (COVs), dificultando la circulación del aire y creando una sobre presión excesiva que perjudica tanto al pintado (se crean turbulencias interiores) como al operario .

El aire dentro de la cámara circula desde arriba hacia abajo, creando un flujo vertical y descendente que garantiza la adecuada renovación de aire del interior evitando que este se llene de contaminantes que perjudiquen el normal desempeño.

El caudal de aire en la aplicación de pintura para una cabina típica oscila entre 20.000 a 35.000 m<sup>3</sup>/h aproximadamente, con una velocidad media de aire de unos 0,4 m/s. El diseño de la cabina ha de asegurar que en esta circulación de aire no se produzcan turbulencias, para garantizar que los restos de pintura se dirijan directamente a la zona enrejillada del suelo (Escoda, 2016)

**Figura 3: Sistema de aire de una cabina de pintura.**



Fuente: [www.pinterest.es](http://www.pinterest.es)

El volumen de aire introducido es algo superior al de aire extraído, de manera que se crea una ligera sobrepresión en la cabina que tiene como consecuencia una corriente de salida de aire

desde la cabina hacia el exterior a través de las juntas, cierres, incluso al abrir la puerta, ya que si fuese en sentido inverso entraría aire sin filtrar con partículas de polvo y pintura de las operaciones adyacentes a la cabina de pintura.

La introducción y extracción de aire se puede realizar mediante uno o más grupos moto ventiladores, dependiendo de las dimensiones de la cabina. En el caso de dos moto ventiladores, uno es el encargado de la aspiración de aire y el otro de su impulsión, ejerciendo cada uno una función independiente.

Otra característica importante que debe poseer una cabina de pintado es un buen sistema de iluminación que proporcione la cantidad y calidad de luz necesaria para un buen desarrollo del trabajo de pintado.

Esta calidad de luz garantiza una buena reproducción cromática con un espectro de luz lo más semejante a los patrones de luz día, necesario para una buena percepción del color para la operación de ajuste, ya que la calidad de pintado de un coche depende en gran medida de un correcto ajuste del color de acabado.

En cuanto a la cantidad de luz según (Ayo, 2013), el flujo luminoso debe ser de alrededor de 1000 luxes (un lux es un flujo luminoso de 1 lúmen/m<sup>2</sup>), nunca inferior a 700 luxes. Una vez aplicada la pintura de acabado, esta se puede secar a la temperatura ambiente, 20° C aproximadamente, o acelerar el proceso de secado elevando la temperatura a unos 60-80° C en una cabina de secado aparte o en la misma cabina en la que se ha aplicado la pintura. Por lo general, la propia cabina de pintura donde se ha aplicado la pintura actúa también como horno de secado, circulando el aire en su interior a una temperatura que oscila entre los 60 y los 80° C durante unos 45 minutos de secado. Por lo tanto, estas cabinas tienen dos fases de funcionamiento:

Una fase de pintado, con un determinado caudal de aporte de aire, a una velocidad determinada y calentando el aire introducido a unos 22° C; y una segunda fase de secado en la que el caudal y la velocidad pueden ser menores, y se eleva la temperatura a unos 60-80° C.

### **3.5. Tipos de cabina.**

Los distintos tipos de cabinas-cámaras hoy en día se reducen a las dimensiones del recinto, el número de filas de luces, así como la potencia y características del grupo impulsor, pero, en líneas generales, el escaparate es el siguiente: Por el sentido de la corriente de aire en el interior puede haber varios tipos de cabinas de pintura.

#### **3.5.1. Cámara con luces infrarrojas.**

De acuerdo con (Tronic, 2015) la tecnología infrarroja aplicada permite utilizar eficientemente la electricidad ya que gracias a la onda corta y los reflectores posteriores pulidos la radiación va directamente a la zona a secar (figura 4). No se desperdicia energía calorífica ya que no se calienta el aire.

Los reflectores permiten secar superficies mayores ya que focalizan y aumentan el foco de radiación.

La tecnología aplicada de onda corta permite un encendido y apagado instantáneo por lo que no tenemos pérdidas de tiempo ni de energía en el proceso.

Nuestros equipos de secado contribuyen a minimizar los tiempos de secado y reducen por tanto el tiempo del coche en taller, mejorando la ratio de rotación y así los beneficios de nuestros clientes.

Con los equipos infrarrojos se reduce el tiempo de secado de la pintura que, con el sistema convencional, siendo esta reducción muy significativa en función del tipo de equipo IR, de la pintura a secar y del color de la misma.

Lámparas infrarrojas de secado para pinturas y barnices, son utilizadas inmediatamente después de la aplicación de pintura para secar y curar el acabado. Las lámparas de calor infrarrojas se colocan sobre la superficie con pintura fresca en un ángulo y distancia específicos. El calor intenso de las lámparas seca y cura el acabado cuando se utiliza de acuerdo con los tiempos de exposición recomendados.

Figura 4: Cámara con luces infrarrojas.

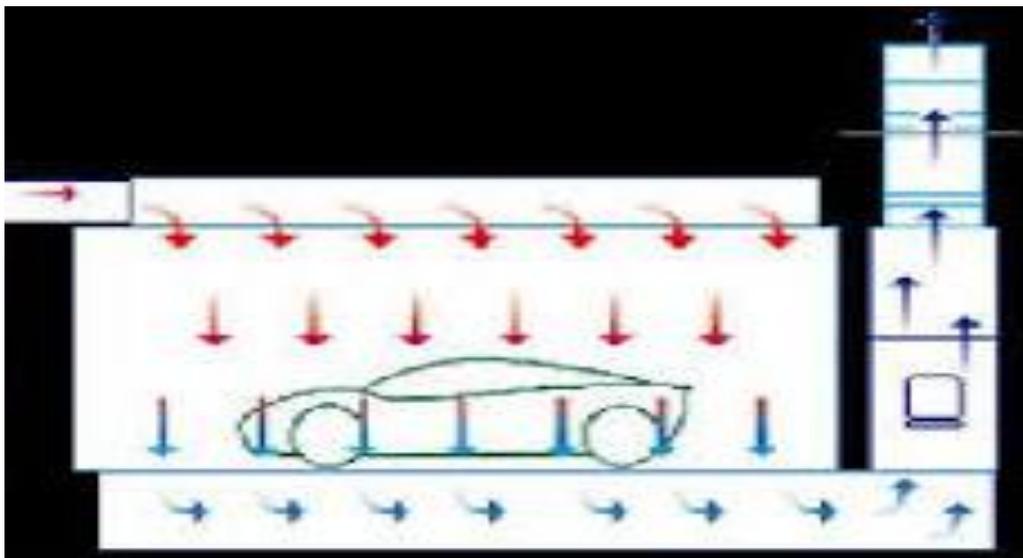


Fuente: <http://powdertronic.com/hornos-infrarrojos>

### 3.5.2. Cabinas de flujo vertical.

Se suelen definir a las cabinas cuya corriente de aire circula desde el techo hacia el suelo de la cabina, en sentido vertical, saliendo hacia el exterior a través de lugares dejados abiertos expresamente como se muestra en la (figura 5). (R-M, 2010)

Figura 5: Cabina de pintura con flujo de aire en forma vertical.

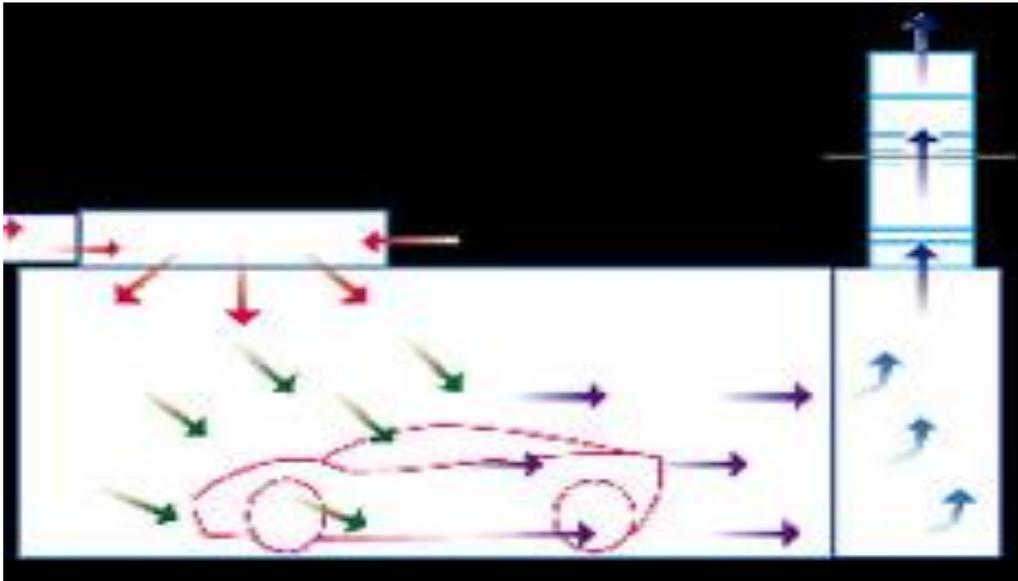


Fuente: [www.cabyres.com](http://www.cabyres.com)

### 3.5.3. Flujo semi vertical.

Esta se caracteriza porque la corriente de aire baja desde un restringido techo filtrante (figura 6), colocado en una extremidad en la instalación, y sale al exterior a través de adecuadas aberturas ubicadas estratégicamente en la zona inferior de la pared opuesta al techo filtrante (R-M, 2010).

Figura 6: Cabina con flujo de aire semi vertical.



Fuente: [www.cabyres.com](http://www.cabyres.com)

### 3.5.4. Flujo horizontal.

Es aquella cuya corriente de aire es horizontal al suelo (figura 7), entrando el aire generalmente a través de marcos filtrantes, colocados en la estructura de las puertas, y saliendo a través de otros marcos también filtrantes ubicados estratégicamente en la pared opuesta. Cabe mencionar que las cabinas de flujo semivertical y horizontal se suelen utilizar para el pintado de vehículos, fabricas, industriales o para zonas de preparación ya que todos los elementos expuestos a impurezas no se alejen. (Figura 8).

Figura 7: Cabina de pintura con flujo de aire horizontal



Fuente: [www.solerpalau.com](http://www.solerpalau.com)

El aire filtrado entra por el techo en un extremo, o frontalmente, recorriendo horizontalmente toda la cabina hasta salir por el frontal opuesto donde está ubicada la cabina con los filtros de extracción.

El sistema de presurización consiste en el aporte de aire al interior del recinto de trabajo, con el fin de compensar la extracción de los ventiladores de la cabina.

Creando una sobrepresión en el interior de la cabina, evitamos la entrada de aire al interior, eliminando la entrada de polvo del exterior, para no contaminar las piezas que se van a pintar y secar.

### 3.6. Características generales

- Instalaciones construidas con robusta perfilería estructural y paneles de sandwich aislante ensamblados entre sí y parcialmente acristalados.
- Construcción modular, facilitando con ello, la ampliación y el traslado de instalaciones existentes.
- Aporte de aire: mediante ventilador centrífugo de transmisión por poleas.
- Filtración en 2/3 etapas: una/dos de prefiltrado, y una de filtración final, que aseguran una buena calidad del aire de aporte.
- Velocidad de aire en zona de trabajo de acuerdo a normativa actual.
- Calefacción mediante baterías de intercambio o mediante cámaras de combustión (opcional).

- Sistema de regulación mediante convertidor de frecuencia, mediante controlador de presión (SARC).
- Indicador de saturación de filtros.
- Divisoria para separar la zona de secado de la zona de aplicación.
- Estructura para soporte de unidades de tratamiento de aire.
- Iluminación especial empotrada a techo o de protección estanca.
- Armario eléctrico totalmente centralizado provisto de pilotos de señalización, protección de motores y demás elementos de seguridad independientes para cada maniobra.
- Escalera de acceso a unidades de tratamiento de aire.
- Puerta de emergencia.
- Apertura automática de puertas mediante pistón neumático (opcional).
- Adaptables para aplicación de barnices y pinturas base agua.

### **3.6.1. Podemos separar estas cabinas en 3 modelos**

- Cabina presurizada sin divisoria. Se realizan las tareas de aplicación y secado en todo el recinto, sin ninguna división interior.
- Cabina presurizada con divisoria. La aplicación y el secado están divididos físicamente y son independientes. Caudales, velocidad y temperatura del aire diferentes para cada zona.
- Recintos o salas de secado. Únicamente se realizan tareas de secado de piezas. Las temperaturas de trabajo están entre 25 y 35°C.

### **3.7. Espacio.**

Según (Pelp, 2016) desde el punto de vista constructivo, se debe tener mucho cuidado del diseño, tanto de la fosa como la salida de gases al exterior, de forma que se asegure la ausencia de turbulencias y de sobrepresiones, la construcción de la cabina debe ser modular, pero sólida. Además, la cabina debe tener un acabado que garantice, e inalterada las características de funcionamiento a lo largo de su vida (10-15 años) ó 15.000-20.000 horas de trabajo.

- La superficie filtrante del plenum de impulsión debe abarcar la mayor parte posible del techo de la cabina y evitar el ingreso de aire no filtrado o al menos el 80% del mismo.
- Superficies inertes mayores pueden provocar turbulencias perjudiciales.

- La superficie de salida del aire debe estar distribuida uniformemente por el suelo, normalmente mediante un foso central o dos canales longitudinales bajo el emparrillado metálico.
- La profundidad del foso o de los canales longitudinales favorece la verticalidad del flujo de aire. Se recomiendan profundidades de 0,4 m o mayor,
- La distancia del vehículo a las paredes de la cabina es de alrededor de 1m. y la del techo de la cabina a la zona alta del automóvil no es inferior a 1m.

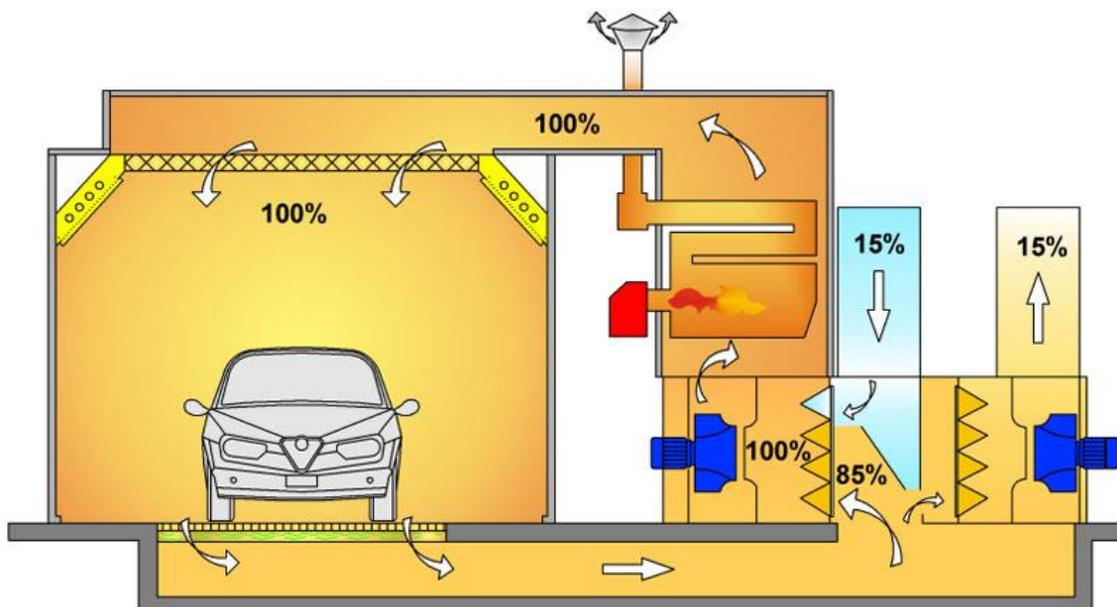
### 3.8. Sistema impulsión y extracción de aire.

En función del sistema de impulsión y de extracción del aire, se encuentran las cabinas de pintura como:

#### 3.8.1. Tipo globo.

Sistema de ingreso y salida de aire modelo globo es aquel que está conformado por un sólo un grupo de impulsión de aire el mismo realiza doble función de inyección y extracción de aire (figura 8) y está conformado por (un motor y un ventilador).

Figura 8: Sistema de extracción e impulsión de aire tipo globo.

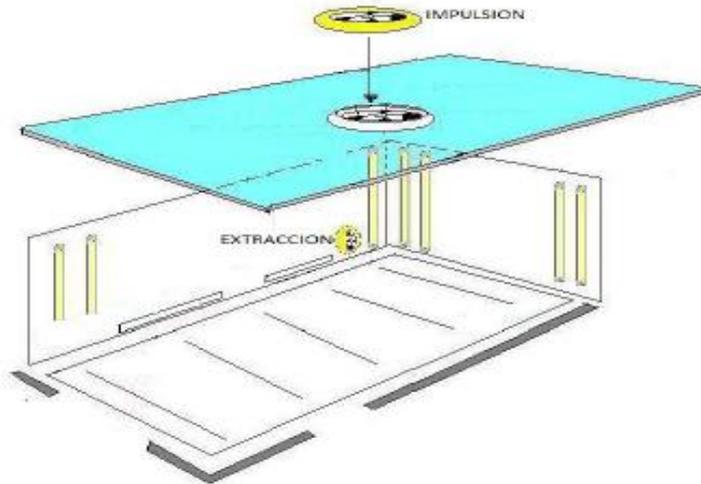


Fuente: <https://studylib.es/doc/8070/cabinas-de-pintura>

### 3.8.2. Tipo equilibrado.

Son aquellas las que cuentan, grupo impulsor y grupo extractor (figura 9) (dos motores y dos ventiladores).

Figura 9: Sistema de extracción e impulsión de aire tipo equilibrado.



Fuente: <http://www.columbec.com>

### 3.9. Ductos de transferencia.

Es un modo de transporte de gases, líquidos, sólidos o multifásico, dirigido en general a través de las tuberías que constituyen una red o un sistema de transporte.

En si a los duelos o ductos de transferencia se les conoce como pasos de aire de un recinto a otro, por su interior circula un corriente que esta puede ser (liquida o gaseosa), en nuestro caso utilizaremos del tipo gaseosa, además los duelos son de dos tipos de entrada y salida.

#### 3.9.1. Ductos de entrada.

Los ductos de entrada son aquellos medios por los que se puede inyectar una comente ya sea esta sólida, liquida o gaseosa y para nuestros requerimientos vamos a utilizar aire caliente (sustancia gaseosa) la cual va a permitir un cambio de temperatura en el recinto.

### **3.9.2. Ductos de salida o recirculación.**

Los ductos de salida o recirculación son el medio por el cual recorre una corriente de aire que generalmente este se encuentra viciado, el cual de acuerdo a la aplicación que se le ha dado este será expulsado al ambiente o a un recinto donde será recirculado para ser utilizado nuevamente.

### **3.10. Aislante térmico y acústico.**

#### **Fibra de vidrio.**

La fibra de vidrio puede definirse como el material compuesto por hilos de filamentos poliméricos, los cuales son bastante menudos y están constituidos por vidrio aglomerado con resinas, siendo entrelazados para dar lugar a una estructura fuerte y versátil, que es empleada dentro de diversos campos industriales debido a sus amplios beneficios.

Tal material es aislante y es utilizado como refuerzo de otros materiales, destacando que la resistencia de la fibra de vidrio, aun cuando no es tan fuerte como la fibra de carbono.

Su obtención se suscita a través de extracción de vidrio líquido, con un utensilio de carácter industrial conocido como “espinerette”, el cual es bastante resistente y dispone de una forma agujerada para la producción de tales hilos. Posterior a este proceso, se procede al enfriado para poder solidificar el entelado, permitiendo que este material sea lo suficientemente flexible para poder ejecutar un correcto entretejido.

### **3.11. Propiedades de la fibra de vidrio.**

#### **3.11.1. Resistencia química:**

La fibra de vidrio está compuesta por resina, el cual es un material que le brinda resistencia durante intensos parámetros de erosión química. Por lo tanto, este material no se daña ni se desgasta por más veces que se utilice, debido a que es sumamente resistente a la mayoría de los ácidos y químicos que son utilizados en las industrias como también a las altas presiones y temperaturas, aun cuando puede parecer frágil.

Este material también es bastante amigable con el medio ambiente, puesto que su utilización no requiere de productos químicos e infraestructuras contaminantes.

#### **3.11.2. Peso ligero:**

Los materiales que componen a la fibra de vidrio son de bajo peso y sumamente livianos, lo cual brinda no solo una movilización e instalación fácil sino práctica. Tal holgura reduce el peso de soporte hacia las estructuras de apoyo.

### **3.11.3. Mantenimiento mínimo:**

Como consecuencia de las características intrínsecas de la fibra de vidrio, uno de los beneficios que ostenta este material, es que sus componentes no requieren de ningún mantenimiento especial, aun cuando es utilizado en diversas aplicaciones externas. Esta característica, conduce automáticamente a ahorros de costos en el tiempo y dinero, debido a que no requiere la utilización de maquinaria, recurso humano e insumos para su instalación y posterior mantenimiento.

### **3.11.4. Aislamiento eléctrico**

La fibra de vidrio no es conductora de electricidad. Por lo tanto, es idónea para aplicaciones en campos industriales e hidráulicos, donde se requiera aplicar aislamiento de energía eléctrica a ciertas instalaciones.

### **3.11.5. Versatilidad**

Este producto es bastante versátil, otorgando amplia gama de filamentos, tamaños, tipos de fibra y entre otras opciones adaptadas al uso o aplicaciones destinado dentro del campo industrial.

### **3.11.6. Excelente aislante térmico:**

Otro beneficio de este material, es que posee un bajo coeficiente de expansión térmica como también una conductividad térmica relativamente alta, lo cual ocasiona que el calor se disipe de manera más rápida, resultando ideal para su uso como aislante térmico. Por tanto, es idóneo instalaciones exteriores, debido a que puede permanecer en exposición ante el sol por largos periodos de tiempo (figura 10).

**Figura 10: Aislamiento térmico y acústico (fibra de vidrio).**



**Fuente: "Talleres Teran"**

### **3.12. Filtros.**

Los filtros depuran el aire comprimido de partículas de polvo en suspensión que se encuentran en el aire absorbido por los motores; polvo, grasas y partículas suspendidas son las más comunes. Estas partículas extrañas pueden causar daños en los equipos, así como un rápido desgaste, un funcionamiento deficiente y por supuesto son la causa principal de re trabajos y pérdidas económicas por los mismos.

La evolución de los materiales y de los sistemas de secado en los procesos de reparación, ha sido sin lugar a dudas un paso importante en el sector de repintado automotriz. Las partículas suspendidas en el ambiente pueden causar grandes defectos de en las pinturas de acabados.

Por tal motivo todo taller de reparación de vehículos debe considerar dentro de su infraestructura el contar con un sistema de filtros tanto en las líneas de aire comprimido como en nuestra cabina de pintura, para así permitir el óptimo funcionamiento de las herramientas neumáticas y de los equipos de aplicación de pintura.

Es esencial que la filtración del aire se adapte a las necesidades específicas de nuestra cabina, ya que en la cantidad de polvo contenido en el aire es muy variable, por lo general se sitúa entre

0,1 y 10mg por m<sup>3</sup> (Ambiente, 2018). Este contenido de polvo varía según la región, el tiempo, el viento, la altura sobre el nivel del suelo, etc.

Por lo general, la forma de actuar de los filtros se debe a varios fenómenos que se complementan.

En primer lugar, es el choque de las partículas sobre las fibras del filtro lo que provoca su retención, pero ésta puede favorecerse por medio de un fenómeno electrostático.

La filtración de las partículas puede mejorarse notablemente, en ciertos filtros, impregnándoles de aceite.

Los filtros pueden retener partículas mucho más pequeñas que las dimensiones medidas de paso libre entre sus fibras, con frecuencia varios cientos de veces más pequeñas.

Dentro de la clasificación de los filtros la más importante la constituyen los filtros secos, por la diversidad de los materiales utilizados como:

Colchón textil, espuma de poliuretano, materiales textiles y fibras plásticas, filtro metálico, fibra de vidrio, Papel, downdraft

#### **3.12.1. Pre filtro.**

Se encuentra a la entrada de la toma de aire del exterior. Está constituido por una o dos bolsas filtrantes de fibra acrílica no tejida; en él se efectúa el primer filtrado del aire que entra en la cabina.

Estos filtros poseen una capacidad de filtración media, teniendo una eficiencia filtrante comprendida entre el 60 a 70% (SRL, 2013), siendo su principal aplicación para la depuración de partículas ambientales.

#### **3.12.2. Filtro de suelo del habitáculo.**

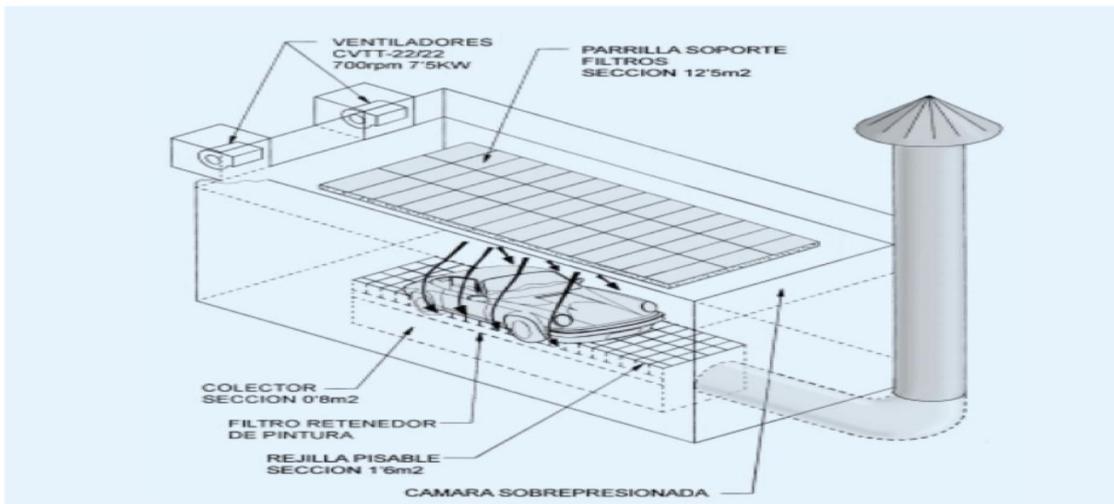
Las cabinas de pintura líquida precisan grandes cantidades de aire por motivos de fiabilidad operacional y salud para evitar, por una parte, que el pintado sea dañado por contaminantes, y

por otra, que los residuos del proceso no afecten a las personas ni contaminen el medio ambiente.

Se requiere un alto grado de separación, aunque las concentraciones de polvo y los caudales de aire sean altos.

Los Filtros de salida, llamados Paint Arrestors (figura 11) constituyen un papel muy importante en el correcto mantenimiento y balance de su cabina, incrementando la eficiencia y reduciendo los costos de mantenimiento.

**Figura 11: filtro de suelo del habitáculo**



Fuente: [www.launchiberica.com](http://www.launchiberica.com)

El propósito de estos filtros es capturar y retener el exceso de pintura o lo que llamamos "overspray" y eliminarlo del sistema de filtración de la cabina (figura 12).

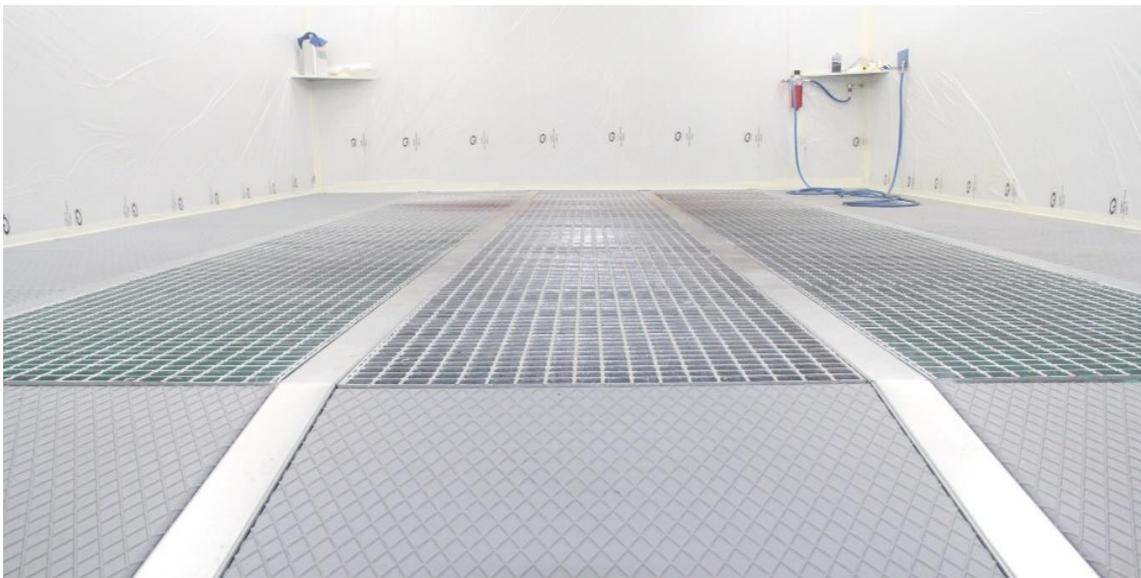
Estos filtros protegen el medio ambiente, además de prolongar la vida útil de su cabina, sistema de ducteria, motores, etc. ya que atrapan y retienen los químicos y sólidos que vienen en la pintura antes de que salgan al exterior, su eficiencia de filtración oscila entre el 85 a 90% (BOSH, 2015).

Este filtro está situado en el conducto de salida del aire hacia el exterior, también debe ser renovado cada cierto tiempo para que éste sea eficaz.

Hay varias calidades de estos filtros que se pueden suministrar tanto en rollos como en almohadillas o pads, su constitución es de fibra de vidrio de densidad y endurecimiento progresivo.

Actualmente, las cabinas cuentan con este tipo de filtración, además de los filtros mencionados, con un sistema de filtración de vapores orgánicos, constituido básicamente por un filtro carbón activo para retener los COV's "componentes volátiles orgánicos"

**Figura 12: Filtro del suelo de una cabina de pintura.**



Fuente: <http://www.cabinasdepintura.com/>

### **3.13. Tipos de pintura**

De acuerdo con (Teroson, 2017) existen cuatro tipos de pintura

#### **3.13.1. Acrílica**

De secado rápido, fácil manipulación, acabado semibrillo y brillo. Este tipo de pintura se diluye con disolvente acrílico y se utiliza un catalizador para secado. El tiempo de secado puede tardar entre 30 min y 1 hora para proceder a su manipulación, y el secado completo, 1 día.

#### **3.13.2. Poliuretano**

Pintura que se seca con el uso de un catalizador que hay que mezclar en la proporción 4:1 3:1 2:1, dependiendo de la recomendada por el fabricante. Se diluye en menor proporción que la acrílica para dejar un mayor cuerpo en la aplicación y otorga un acabado brillante o mate según el tipo de pintura. El secado varía en función del tipo de catalizador. Para poder manipularlo deberemos esperar entre 1 y 2 horas, y el secado varía de uno a dos días.

### **3.13.3. Poliéster**

Conocida como pintura base, derivada del poliuretano. Es de fácil manipulación gracias a un rápido secado y otorga un acabado opaco. Por ello, requiere el uso de barniz para dar un acabado brillo. El tiempo de secado para su manipulación es de 10 a 30 minutos y el secado final de 12 horas.

### **3.13.4. Electroestática**

Permite adherir al producto una película de polvo suficiente para cubrir toda su superficie. Brinda mayor resistencia a la corrosión, factores climáticos (especialmente ambientes salinos), abrasión y mal uso además provee mejores acabados con una amplia gama de colores superiores a la pintura líquida y a costos reducidos.

### **3.14. Thinner**

El thinner también conocido como diluyente o adelgazador de pinturas es una mezcla de solventes de naturaleza orgánica derivados del petróleo que ha sido diseñado para disolver, diluir o adelgazar sustancias insolubles en agua, como la pintura, los aceites y las grasas (Transmerquim, 2009).

El thinner está compuesto por un solvente activo, un cosolvente y un diluyente, sustancias que efectúan una función en particular. El solvente activo es el que tendrá un efecto directo sobre lo que se está disolviendo, el cosolvente potenciará el efecto del solvente activo y el diluyente dará volumen al compuesto. El thinner tiene como solvente principal al tolueno, como cosolvente al benceno y como diluyente a una serie de solventes, sustancias todas ellas tóxicas para el hombre (Barrientos, 2016).

### **Propiedades físico-químicas**

- Estado de agregación: Líquido.
- Apariencia: incoloro
- Punto de fusión: la menor es de -34 °C
- Temperatura de autoignición: 480 °C
- Punto de ebullición: 56 - 136 °C
- Densidad relativa: 0,77 - 0,83

- Solubilidad: insoluble en agua
- % de volatilidad por volumen: 100
- Gravedad: 0,9
- Presión vapor: 9 %
- viscosidad: n/d

### **3.15. Sistema para alcanzar la temperatura deseada.**

Se usa un sistema de recirculación de aire para recuperación del calor interior. Ahorro energético debido al sistema de recirculación. El uso de todo el caudal de aire en el ciclo de secado nos permite homogeneizar la temperatura en todo el interior. Gran capacidad para alcanzar la temperatura de secado.

En función del sistema utilizado para alcanzar la temperatura deseada en la fase de secado, se pueden distinguir cabinas con renovación total del aire reciclado, o con renovación parcial del aire interior de la cabina hay que dejar bien claro que es precisa una renovación mínima del 20% del aire (Iberica, 2014).

Prácticamente, todos los modelos de cabina existentes en la actualidad tienen un mismo sistema de trabajo, y todos los pasos de la fase de secado son automatizados, en la actualidad, hay una tendencia encaminada al aumento de la productividad consistente en la utilización de arcos automáticos infrarrojos, con lo que se logra una reducción de tiempos, sobre todo en el caso de piezas.

Teniendo en cuenta que cerca del 80% del trabajo de un taller son golpes sobre piezas que no requieren pintar todo el vehículo.

Estas son lámparas de gran luminosidad son de onda corta o de onda larga dependiendo de la aplicación a la cual se encuentren sometidas (figura 13).

**Figura 13:** Calentamiento del interior de la cabina con luces infrarrojas.



**Fuente:** <http://www.cabinasdepintura.com/>

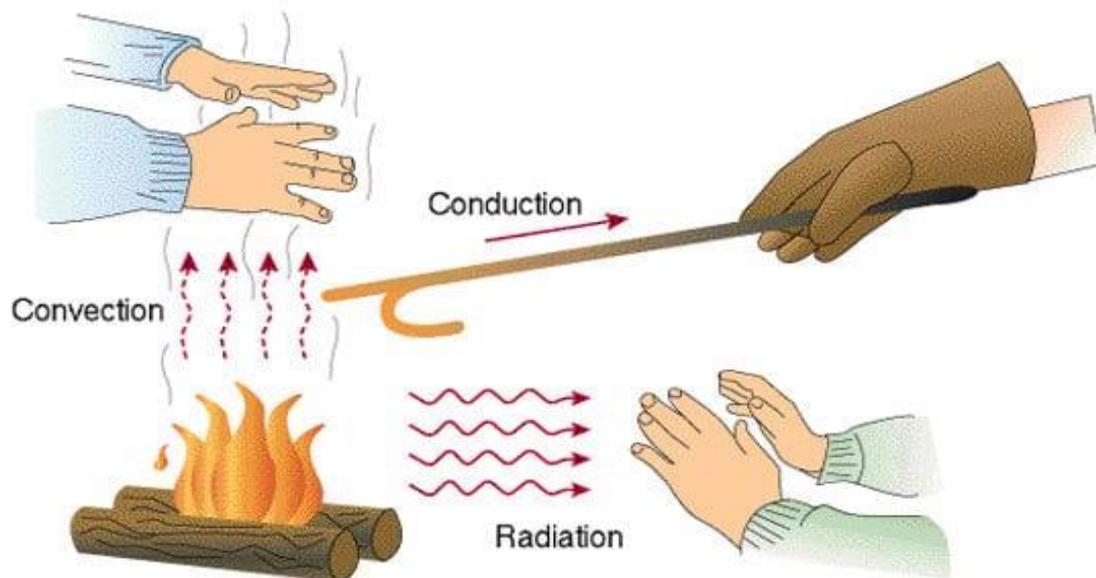
### **3.16. Mecanismos de conducción de calor**

La transferencia de calor es el proceso de propagación del calor en distintos medios. La parte de la física que estudia estos procesos se llama a su vez Transferencia de calor o Transmisión de calor. La transferencia de calor se produce siempre que existe un gradiente térmico o cuando dos sistemas con diferentes temperaturas se ponen en contacto (Moran & Shapiro, 1999).

El proceso persiste hasta alcanzar el equilibrio térmico, es decir, hasta que se igualan las temperaturas. Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos o regiones lo suficientemente próximas, la transferencia de calor no puede ser detenida, solo puede hacerse más lenta (Wark & Richards, 2001).

La termodinámica es la ciencia que estudia la relación entre el calor y otras formas de energía. El calor es energía en tránsito. Siempre que existe un gradiente de temperatura en un sistema o se ponen en contacto dos sistemas a diferente temperatura (figura 14), se transfiere energía entre ellos. Sabemos de esta transferencia, no porque la veamos, sino por los cambios que se producen en el o los sistemas (Incropera & Witt, 2000).

Figura 14: sistemas de transferencia de calor



Fuente: [www.construmatica.com](http://www.construmatica.com)

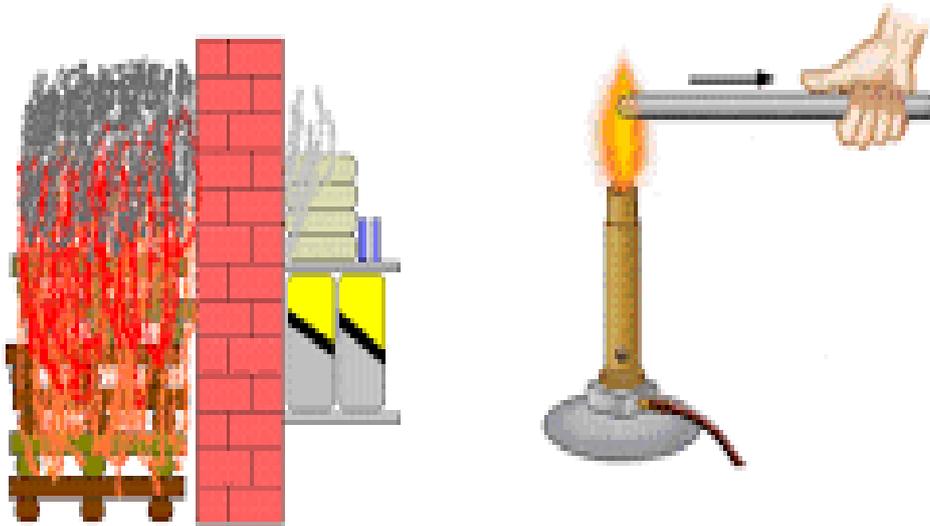
La Termodinámica, basándose en los estados de cada sistema desde un punto de vista macroscópico, es decir, en función de atributos tales como la presión, la temperatura y el volumen, que se pueden medir, determina si ha habido cambios en la energía interna de los mismos. En cumplimiento del Primer principio y descartada la interacción de trabajo con el exterior, la variación de energía interna solo puede ser debida a calor, es decir, a transferencia de energía de un sistema al otro.

El calor es una energía que se transmite de unos cuerpos a otros mediante tres tipos de mecanismos diferentes.

### 3.16.1. Tráferencia de calor por conducción.

La conducción es la manera de transferir calor desde una masa de temperatura más elevada a otra de temperatura inferior por contacto directo (figura 15). El coeficiente de conducción de un material mide la capacidad del mismo para conducir el calor a través de la masa del mismo. Los materiales aislantes tienen un coeficiente de conducción pequeño por lo que su capacidad para conducir el calor es reducida, de ahí su utilidad (Kreith & Bohn, 2002).

Figura 15: transferencia de calor por conducción



Fuente: [www.estudiandoingenieria.com](http://www.estudiandoingenieria.com)

La rapidez o razón de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de este, su espesor y el material del que este hecho, así como la diferencia de temperatura a través de él. Se dice que entre más grueso sea el aislamiento, menos será la pérdida de calor (Segura, 1988)

$$Q = \frac{k * A(T_{caliente} - T_{fria})}{d}$$

Q = Calor trasferido en el tiempo

K= conductividad térmica.

A= área de transferencia de calor

T caliente= temperatura mayor del sistema.

Tfria= temperatura menor del sistema.

d= espesor de la barrera de transferencia de calor.

### 3.16.2. Conductividad térmica.

La conductividad térmica es una medida de la capacidad de un material para producir calor y se define como: la razón de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área por unidad de diferencia de temperatura. • un valor elevado para la conductividad térmica indica que el material es un buen conductor del calor y un valor bajo

indica un mal conductor o que es un aislante. Los materiales como la plata y el cobre aparte de ser buenos conductores eléctricos, también lo son para el calor teniendo valores elevados de conductividad térmica (Holman, 1998).

Las conductividades térmicas de los materiales varían sobre un amplio intervalo. las conductividades térmicas de los gases varían en un factor de 104 con respecto a la de los metales puros como el cobre. Se puede observar que los cristales y metales puros tienen las conductividades térmicas más elevadas, en cambio los gases y los materiales aislantes su conductividad es más baja (Cengel & Ghajar, 2011).

El mecanismo de conducción del calor en un líquido se complica por el hecho de que las moléculas están más cercanas entre si y ejercen un campo de fuerza intermoleculares más intenso. La conductividad térmica de una sustancia alcanza su valor máximo en la fase sólida y el mínimo en la fase gaseosa. A diferencia de los gases las conductividades térmicas de la mayor parte de los líquidos decrecen al incrementarse la temperatura (Soriano, 1999) .

La temperatura es una medida de las energías cinéticas de las partículas, como las moléculas o los átomos de una sustancia. En un líquido o en un gas la energía, cinética de las moléculas se debe a su movimiento aleatorio de traslación, así como a sus movimientos de vibración y rotación. Cuando chocan dos moléculas que poseen energías cinéticas diferentes, parte de la energía cinética de la molécula con más energía (mayor temperatura) se transfiere a la menos energética (menor temperatura). Entre más alta es la temperatura, más rápido se mueven las moléculas, mayor es el número de las colisiones y mejor es la transferencia de calor.

### **3.16.3. Trasferencia de calor por convección.**

Según (Kreith & Bohn, 2002) la convección es el mecanismo de transferencia de calor por movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia. Puede ser natural producida solo por las diferencias de densidades de la materia; o forzada, cuando la materia es obligada a moverse de un lugar a otro, por ejemplo el aire con un ventilador o el agua con una bomba (figura 16). Sólo se produce en líquidos y gases donde los átomos y moléculas son libres de moverse en el medio.

En la naturaleza, la mayor parte del calor ganado por la atmósfera por conducción y radiación cerca de la superficie, es transportado a otras capas o niveles de la atmósfera por convección.

Un modelo de transferencia de calor  $h$  por convección, llamado ley de enfriamiento de Newton, es el siguiente:

$$Q = h A (T_{\text{alta}} - T_{\text{baja}})$$

**Dónde:**

$Q$  es la cantidad de calor transferido.

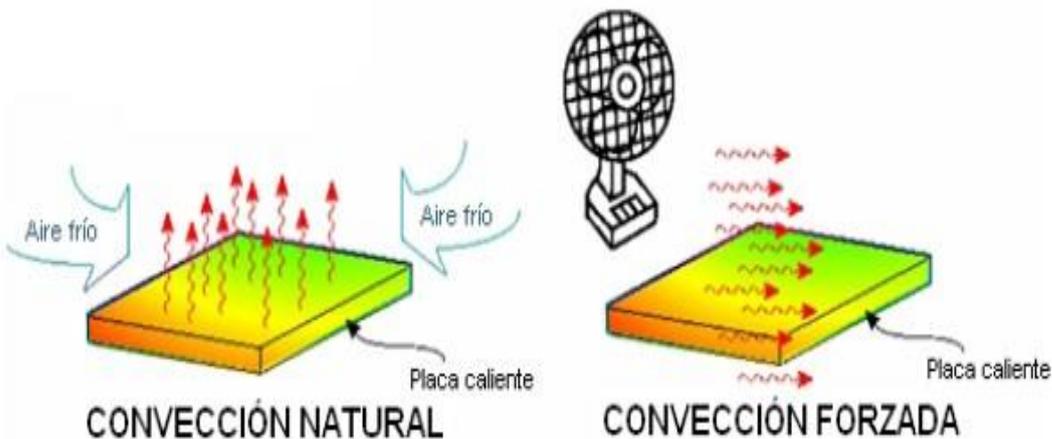
$h$  coeficiente de transferencia de calor.

$A$  área de transferencia de calor

$T_{\text{alta}}$  temperatura inicial

$T_{\text{baja}}$  temperatura final

**Figura 16: convección natural y forzada**



**Fuente: Cengel (2011)**

La transmisión de calor por convección tiene lugar en líquidos y gases. Ésta se produce cuando las partes más calientes de un fluido ascienden hacia las zonas más frías, generando de esta manera una circulación continua del fluido (corriente convectiva) y transmitiendo así el calor hacia las zonas frías..

### **3.16.4. Transferencia de calor por radiación.**

La radiación térmica es energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura dada, se produce directamente desde la fuente hacia afuera en todas las direcciones. Esta energía es producida por los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivos y transportada por ondas electromagnéticas o fotones, por lo recibe el nombre de radiación electromagnética.

### 3.17. Comportamiento de un fluido cualquiera en la transferencia de calor.

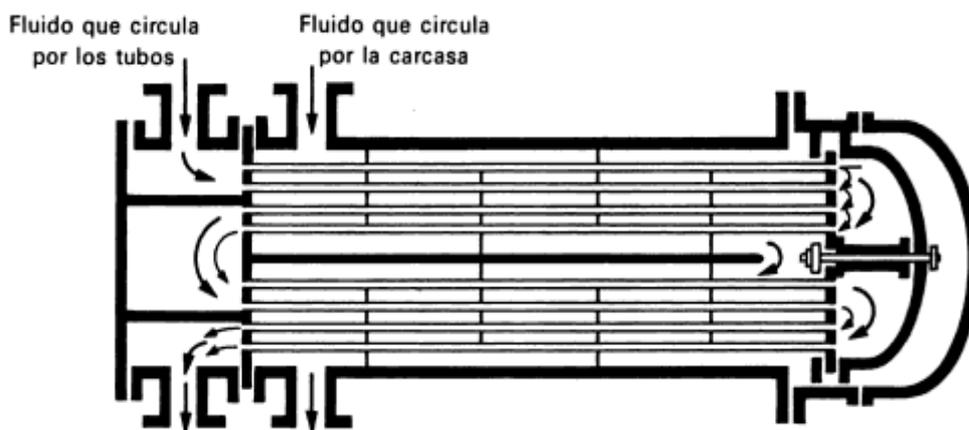
El fluido más frío tiende a bajar y ocupa el nivel más bajo de la vertical y los fluidos más calientes son desplazados al nivel más alto, creándose así los vientos de la tierra.

La transferencia térmica convectiva consiste en el contacto del fluido con una temperatura inicial con otro elemento o material con una temperatura diferente. En función de la variación de las temperaturas, variarán las cargas energéticas moleculares del fluido, y los elementos interactuantes del sistema realizarán un trabajo, donde el que tiene mayor energía o temperatura se la cederá al que tiene menos temperatura. Esta transferencia térmica se realizará hasta que los dos tengan igual temperatura; mientras se realiza el proceso las moléculas con menor densidad tenderán a subir y las de mayor densidad bajarán de nivel. Las moléculas que se encuentran en las capas inferiores aumentan su temperatura.

### 3.18. Intercambiadores de calor

Un intercambiador de calor es un dispositivo construido para intercambiar eficientemente el calor de un fluido a otro, tanto si los fluidos están separados por una pared sólida para prevenir su mezcla (figura 17), como si están en contacto directo. Los cambiadores de calor son muy usados en refrigeración, acondicionamiento de aire, calefacción, producción de energía, y procesamiento químico. Un ejemplo básico de un cambiador de calor es el radiador de un coche, en el que el líquido de radiador caliente es enfriado por el flujo de aire sobre la superficie del radiador.

Figura 17: Intercambiador de calor.



Fuente: <https://ingenieromarino.com>

Las disposiciones más comunes de cambiadores de calor son flujo paralelo, contracorriente y flujo cruzado. En el flujo paralelo, ambos fluidos se mueven en la misma dirección durante la transmisión de calor; en contracorriente, los fluidos se mueven en sentido contrario y en flujo cruzado los fluidos se mueven formando un ángulo recto entre ellos. Los tipos más comunes de cambiadores de calor son de carcasa y tubos, de doble tubo, tubo extruido con aletas, tubo de aleta espiral, tubo en U, y de placas. Puede obtenerse más información sobre los flujos y configuraciones de los cambiadores de calor en el artículo intercambiador de calor.

### **3.19. Curado y secado.**

Hoy se utilizan las palabras secado y curado de forma un tanto imprecisa y en ocasiones sin seguir unas normas concretas. En primer lugar es necesario separar las pinturas líquidas en dos grupos; el primero es aquel en el cual la evaporación total de elementos volátiles produce un film cuyas características son definitivas; el segundo grupo lo forman las pinturas en las cuales después de la evaporación de las sustancias volátiles todavía se debe producir o terminar una reacción química que conllevará un cambio progresivo de las características hasta obtener las definitivas.

#### **3.19.1. Secado.**

Como ya se ha indicado, el secado se produce a partir del momento en que se han evaporado los componentes volátiles de la pintura. De forma general pueden producirse dos casos: el secado físico y el secado por oxidación, que de hecho debería considerarse dentro del grupo de productos que curan, pero históricamente se ha utilizado la palabra secado para definir su proceso para obtener las características finales.

#### **3.19.2. Curado.**

De forma general se utiliza el término curado para definir el proceso de obtención de las características finales, secado, en pinturas que se presentan en dos componentes o que precisan de una reacción química para alcanzar este objetivo.

En este apartado se pueden citar a título de ejemplo las pinturas de poliuretano formadas por un componente en base que tiene un determinado contenido en grupos hidroxilo y de un endurecedor a base de un isocianato o las pinturas epoxídicas cuyo componente pigmentado

está basado generalmente en una resina epoxi y el endurecedor a base de una amina, poliamida, etc.

De forma general las pinturas que precisan de una reacción química sean esta entre dos componentes o de radicales libres, de carbonatación, con la humedad ambiental, etc. se dice que curan o que tienen un tiempo de curado determinado.

#### **4. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL**

Se utiliza una investigación bibliográfica de tipo documental de acuerdo a las exigencias de desarrollo y progreso del tema, para obtener información escrita sobre el tema a estudiar mediante libros, revistas, diarios, informes escritos, entre otros, o bien tesis de grado enfocadas a mejorar el proceso de pintura a través de una cabina, con el propósito de detectar, ampliar y profundizar diferentes caminos, teorías, conceptualizaciones de diferentes autores, como también la aplicación de textos encontrados en Internet.

También se maneja la investigación de campo que consistirá en obtener toda la información directa de la fábrica realizando inspecciones visuales del área de pintura, para conocer más ampliamente las causas del objeto de estudio dentro del proceso interno de producción.

Se realiza una investigación aplicada, que comprende un conjunto de actividades que tienen por finalidad aplicar conocimientos científicos, que puedan realizarse en productos y en procesos utilizables.

## **5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.**

### **5.1. Recopilar información sobre la normativa técnica para la construcción de cámaras de pintura.**

#### **5.1.1. Composición:**

La cabina es un recinto estanco que aísla las operaciones de pintado del resto de operaciones del taller. Ésta debe ser resistente, segura, fiable y fácil de usar. Existen diferentes diseños y tamaños de cabina, pero básicamente se componen de los siguientes elementos:

#### **5.1.2. Materiales utilizados en la fabricación de hornos de pintura según (Iberica, 2014).**

##### **5.1.2.1. Paredes**

Son modulares para adaptarse a las diferentes necesidades y tipo sándwich, compuestos por dos paneles de acero inoxidable con un aislamiento térmico en su interior, normalmente lana de roca, fibra de vidrio o poliuretano inyectado. Tanto la superficie exterior como la interior van revestidas para protegerlas frente a la corrosión y frente al fuego con productos ignífugos. En el interior, las paredes deben ser de color blanco para no interferir en la percepción del color y lisas para evitar la acumulación de los restos de pulverizaciones y facilitar su limpieza.

##### **5.1.2.2. Puertas**

Generalmente disponen de dos tipos de puertas, una grande para el acceso de vehículos o piezas, con sistema de rápida apertura, y una o dos puertas de servicio, más pequeñas, para el acceso de personas, de manera que no se tenga que abrir la puerta grande cada vez que el pintor sale o entra en la cabina, reduciendo así el riesgo de entrada de polvo, corrientes de aire o variaciones de temperatura. Estas puertas tienen una parte acristalada para poder visualizar el interior de la cabina.

##### **5.1.2.3. Iluminación**

En la cabina es importante disponer de suficiente luz para el control en la aplicación de las pinturas, de manera que se pueda ver fácilmente si se ha cubierto bien el parche, si se ha realizado correctamente el difuminado, si se ha aplicado homogéneamente el barniz, etc. Esta iluminación se compone de lámparas fluorescentes o, actualmente, de LEDs para un menor consumo y mayor duración. En ambos casos, deben resistir las temperaturas alcanzadas en la cabina y proporcionar la cantidad y calidad de luz apropiadas (luz de día, flujo luminoso mínimo de 1000 lux). Estas lámparas están protegidas, en plafones estancos a lo largo de la cabina, y

formando ángulo entre las paredes laterales y el techo de la cabina. Opcionalmente, algunas cabinas incluyen también a lo largo de los laterales de la cabina plafones a media o baja altura para iluminar la parte baja de los vehículos. Los plafones deben cumplir la normativa ATEX de atmósferas explosivas y facilitar su mantenimiento para la sustitución de las lámparas.

#### **5.1.2.4. Piso**

El suelo de la cabina puede ir completamente o parcialmente enrejillado para permitir la salida de aire. Este enrejillado o emparrillado se compone de rejillas de acero galvanizado o electrocincado muy resistentes para soportar el peso de los vehículos. Debajo de estas rejillas se colocan los filtros y a continuación el aire pasa al foso de extracción para canalizar el aire al exterior. Este espacio va excavado en el suelo del taller para que la cabina quede al mismo nivel del taller y así facilitar la entrada y salida del vehículo o piezas a pintar. En caso de no realizar esta obra civil, el foso se sitúa sobre el nivel del taller y se colocan unas rampas en el exterior de la cabina para que pueda acceder el vehículo. También existe la posibilidad de montar rampas neumáticas en el interior de la cabina para aprovechar más el espacio.

#### **5.1.2.5. Techo**

El techo de la cabina está igualmente hueco para facilitar la entrada de aire y además debe estar aislado para evitar pérdidas de calor. Toda su superficie está cubierta por unos paneles con filtros (plenum) para la distribución del aire en la cabina. Estos paneles deberán estar diseñados para facilitar el cambio de los filtros durante su mantenimiento.

#### **5.1.2.6. Filtros**

En general, las cabinas disponen de varios filtros:

#### **5.1.2.7. Prefiltro**

Ubicado en la entrada de admisión del aire, realiza un primer filtrado del aire que entra en la cabina.

#### **5.1.2.8. Manta filtrante plenum**

Situado en el techo de la cabina, realiza un filtrado de las partículas más finas que han pasado el primer filtro. Son los encargados de asegurar una buena calidad del aire que entra en la cabina y de permitir una distribución uniforme del aire con un flujo sin turbulencias.

#### **5.1.2.9. Paint-stop (filtro de suelo)**

Ubicado sobre el foso de extracción, tras las rejillas, es el encargado de retener las partículas de pintura antes de la salida del aire al exterior.

#### **5.1.2.10. Grupo ventilador**

Tiene como misión aspirar el aire del exterior, impulsarlo al plenum y extraer el aire de la cabina. La introducción y extracción de aire se puede realizar mediante un ventilador, en cabinas de pequeñas dimensiones, o mediante dos grupos de ventiladores, uno encargado de la impulsión y otro de la expulsión del aire. Estos grupos crean una corriente de aire que arrastra la niebla de pulverización generada durante el proceso de pintado, garantizando una adecuada renovación del aire en el interior de la cabina. Lo más habitual es un flujo de aire vertical descendente, con impulsión de aire por el techo y salida por el piso, si bien también hay diseños con flujo paralelo al suelo o una combinación de ambos. Lo importante es que en la circulación de aire no se produzcan turbulencias, que podrían adherir los restos de pulverizaciones o contaminantes sobre la superficie recién pintada. Hay cabinas que incorporan el sistema inverter, que regula la velocidad de rotación de los motores ajustándose a las necesidades de cada fase de trabajo, consiguiendo un arranque más suave y evitando picos de consumo durante el mismo.

#### **5.1.2.11. Sistema de calentamiento o secado.**

El sistema de secado más habitual en las cabinas es por convección, mediante aire caliente generado gracias a un quemador y un intercambiador de calor. Estas cabinas, de combustión indirecta, funcionan con gasoil o gas (natural, propano o GLP). También hay cabinas que disponen de un quemador de llama directa o en vena de aire, en los que se genera una llama al quemar el combustible (gas), que calienta directamente el aire que entra en la cabina sin necesidad de un intercambiador. Estos sistemas permiten un mejor control de la temperatura de la cabina, un calentamiento más rápido y un menor mantenimiento. Otros sistemas que pueden incorporar las cabinas para el secado de la pintura son paneles infrarrojos, fijos o móviles, o paneles endotérmicos en las paredes y techo de la cabina.

#### **5.1.2.12. Panel de mandos.**

Situado en el exterior de la cabina, permite el control y selección de las diferentes funciones y parámetros de tiempo y temperatura para las distintas fases de trabajo. A las cabinas también se les puede incorporar un controlador o autómatas programables PLC, mediante el cual se puede acceder a los elementos de la instalación para conocer su estado y visualizar los datos de los

sensores: temperatura, presión, humedad, etc. Según el programa seleccionado, ajustará de manera más eficiente la combustión del gas, velocidad de aire en cabina, presión, etc.

### **5.1.3. Factores de Seguridad**

Cuando se trabaja con pinturas y recubrimientos inflamables deben considerarse tres factores de seguridad:

- Daños para la salud
- Impacto ambiental
- Peligro de explosión e incendio

### **5.1.4. Seguridad para el personal.**

En el proceso de pintado y secado se manipulan sustancias químicas que junto con la pintura pueden causar potenciales daños a la salud del pintor si no se toman las debidas precauciones. Siendo el solvente, diluyente o thinner la de mayor incidencia.

Debido al número casi ilimitado de combinaciones posibles para el número de variables involucradas, cientos de solventes diferentes, sus grados de concentración, la duración de la exposición, efectos combinados con otros solventes y el estado de salud y edad del individuo expuesto, es difícil establecer reglas generales respecto a los efectos de los solventes sobre un individuo. El problema no reside tanto en el efecto mismo, sino mas bien en determinar qué efectos son nocivos y a qué nivel de concentración puede esperarse que ocurran estos efectos nocivos.

Cuando una exposición excede ciertos umbrales límites, muchos de estos efectos son nocivos y puede deteriorarse la salud del individuo y su capacidad de funcionar en forma eficiente. En algunos casos los efectos son irreversibles y el daño puede ser permanente.

Como sucede con muchas medidas de seguridad, la gente no emplea los controles necesarios. Con demasiada frecuencia se produce un contacto mayor entre el solvente y la piel que la persona expuesta tiene conciencia; en algunas ocasiones no es adecuada una ventilación local en la zona de respiración.

Como testimonio de una ventilación inadecuada está la triste evidencia de incendios y explosiones que se producen con demasiada frecuencia. Las concentraciones que pueden provocar incendio y explosión están muy por encima de los niveles que tienen efectos tóxicos.

Como regla general, aún con una buena ventilación general, los solventes limpiadores comunes tienen presiones de vapor que producen concentraciones en el orden de 100 a 1000 ppm en la zona de respiración del usuario. Los solventes muy tóxicos como CCl<sub>4</sub>, y otros que tienen un Valor Umbral Limite (TLV) muy bajo, deben ser usados únicamente dentro de una campana con extracción local de aire.

El TLV es la concentración por volumen de aire por debajo de la cual se cree que casi todos los trabajadores pueden estar expuestos en forma repetida diariamente, sin sufrir efectos adversos.

Los efectos fisiológicos de los distintos solventes son demasiado complejos y variables como para ser discutibles en detalle; sin embargo, pueden hacerse algunas generalizaciones.

#### **5.1.5. Sistemas acuosos**

Son conocidos por sus efectos irritantes luego de una exposición prolongada. Es bastante común la dermatitis de contacto producida por soluciones acuosas, por ejemplo la ubicua "manos de lavandera".

Una concentración excesiva de niebla en el aire (producida por el calentamiento, agitación y pulverización de líquidos) puede causar irritación de garganta y bronquitis. Si se produce reacciones entre los productos químicos involucrados y el recipiente, pueden presentarse numerosos efectos y peligros adicionales. Como regla, los sistemas acuosos, debido a su baja presión de vapor y facilidad de control, no constituyen un problema, pero deben ser considerados como de peligro potencial.

#### **5.1.6. Solventes orgánicos**

Presentan un tipo de problemas diferentes. Las presiones de vapor son generalmente mayores y la posibilidad de inhalar cantidades tóxicas es superior.

Todos los solventes orgánicos afectan de alguna medida el sistema nervioso central porque actúan como depresores y anestésicos y producen además otros efectos. Dependiendo del grado de exposición y del solvente involucrado, estos efectos pueden variar desde una narcosis suave a la muerte por paro respiratorio.

Todos los solventes que tocan y mojan la piel producirán dermatitis o inflamación de la piel, que puede variar desde una simple irritación a un daño sistemático de la misma.

Los solventes disuelven la barrera protectora natural de las grasas y aceites y dejan a la piel susceptible a mayor irritación y daño.

**Nota:** las afirmaciones anteriores solo señalan los efectos tóxicos generales con el objeto de ayudar a la determinación del peligro potencial y para establecer un marco de referencia. Los efectos reales producidos por un solvente específico o por una mezcla de solventes puede variar en forma considerable.

### **5.1.7. Seguridad para el medio ambiente.**

Actualmente se requiere una reducción sobre el contenido orgánico volátil (COV) producido por los disolventes presentes en las pinturas y revestimientos. Los hidrocarburos presentes en los citados disolventes, contribuyen a través de una reacción en cadena, al aumento de la polución (ozono fotoquímico).

Los fabricantes de pinturas también se encuentran con el problema de la eliminación de plomo, cromo y cadmio, que son contaminantes que aparecen en los residuos de las pinturas.

Las pinturas deben cumplir con los requisitos legales impuestos como un bajo COV, o incluso requisitos más estrictos impuestos por los propios fabricantes. Estas pinturas legales incluyen las pinturas en polvo, las pinturas o acabados de curado por radiación y de poliéster insaturado, y las emulsiones acuosas, que contienen muy poco disolvente o nada en absoluto. Además las pinturas o revestimientos acrílicos, de poliéster y alquídicas, se pueden hacer con alto contenido en sólidos pero con menos disolventes, o en soluciones acuosas o emulsionadas en aguas.

Mientras las regulaciones legales sobre COV definen niveles máximos de disolventes, los planes voluntarios de etiquetado ecológico, se hacen para conseguir pinturas más respetuosas con el medio ambiente.

El análisis del ciclo de vida (ACV) es una frase que describe la evaluación del impacto medioambiental de un producto desde su nacimiento hasta su muerte. Se tienen en cuenta las materias primas, el proceso de producción, la utilización y la eliminación de la pintura (y del producto pintado). Los resultados de este tipo de evaluación ayudan al desarrollo de productos y procesos, mejora el cumplimiento de las normas, reduce los costes asociados con la eliminación de residuos, suministra información a los responsables del etiquetado ecológico. El SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL, también conocido como ISO14000, es un plan en

desarrollo que permite la medida, control y la evaluación de la actuación ambiental. El ACV es una parte de este plan.

Cuando los solventes se eliminan al exterior pueden volverse peligrosos para el público como contaminante ambientales. Los hidrocarburos solventes son sustancias importantes en la composición del smog fotoquímico. Reaccionan, en presencia de la luz solar, con el oxígeno atómico y el ozono para producir aldehídos, ácidos, nitratos, y toda una serie de compuestos irritantes y nocivos.

La mayor parte de los hidrocarburos que contribuyen a la contaminación ambiental proviene de los automóviles, pero una cantidad significativa proviene también de las toneladas de solventes que se desechan diariamente de la limpieza industrial y de los procesos de revestimientos de superficie.

Algunos solventes son más reactivos a la luz solar y contribuyen en gran medida al problema del smog. En áreas cada vez mayores, especialmente en las grandes ciudades, se está limitando el uso de los mismos. Otros solventes que son menos reactivos están exceptuados del control limitativo.

Para eliminar este problema se usará filtros con carbón activado, para atrapar estos vapores tóxicos.

#### **5.1.8. Seguridad contra explosiones.**

Los efectos tóxicos no son suficientes para establecer el peligro potencial de un solvente. La presión de vapor, ventilación y forma de empleo determinan la concentración del aire.

Además, deben considerarse la temperatura de ignición, el punto de inflamación y otros factores que determinan el potencial para provocar fuego y explosión. Aunque las concentraciones seguras desde el punto de vista toxicológico son mucho menores que los límites inferiores de inflamabilidad de los solventes inflamables, las concentraciones en los puntos de ignición potenciales pueden ser mucho mayores que las concentraciones en el área de respiración del usuario.

El potencial para incendio y explosión puede ser minimizado al usar solventes no inflamables, con puntos de inflamación mayores de 60°C. Sin embargo los hidrocarburos halogenados no inflamables se descomponen cuando son sometidos a temperaturas altas y despiden productos de descomposición tóxicos y corrosivos (como fosgeno, ácido clorhídrico y ácidos

fluorhídricos), por lo tanto, no pueden usarse libremente en presencias de llamas, equipo eléctrico con arcos al descubierto u otras fuentes generadoras de altas temperaturas.

Si se deben emplear solventes inflamables por debajo de los 60°C, deben tomarse las precauciones adecuadas. Deben eliminarse las fuentes de ignición como llamas, chispas, temperaturas elevadas y fumar. El equipo para el manejo de los solventes inflamables debe asegurarse y ubicarse en forma adecuada e instalarse de acuerdo con los resguardos eléctricos nacionales y estatales. Los trabajadores deberán ser entrenados adecuadamente en las medidas protectoras contra incendios.

El término “concentración explosiva mínima” (LEL), indica el volumen mínimo de vapor de disolvente en el aire, capaz de producir una explosión si la mezcla se inflama mediante una llama o una chispa.

Debido a que en nuestro medio se utilizan diversos tipos de solventes y pinturas con diferentes valores de TLV y LEL, esto dificulta el cálculo del caudal de aire en nuestro sistema de ventilación. Por esto los fabricantes de estas cabinas de pintado y secado de vehículos, recomiendan sobredimensionar el caudal de aire en la cabina, asumiendo basados en la experiencia que el número de cambios o renovaciones seguro contra concentraciones explosivas y tóxicas en una cabina de pintado automotriz este entre 120 a 240, y en base a esto calcular el caudal de aire requerido.

Estos términos son suficientemente prácticos y no hay razón alguna para hacer distinciones entre los tipos individuales de disolventes y pinturas que se encuentran presentes en cada caso.

## **5.2. Definir las dimensiones de la cabina de pintura.**

### **5.2.1. Altura.**

Corresponde a la medida del piso al techo interno de la cabina para el diseño se considera que los vehículos estándares del mercado ecuatoriano son 1.70m de altura en el momento de pintar los techos del vehículo se considera 1m de espacio libre para el movimiento de pistola y técnico y 0.30m para que exista despliegue de silueta de aire de ingreso, teniendo en cuenta estos parámetros se establece la altura de 3m.

### 5.2.2. Ancho

Corresponde a la medida entre las paredes internas de la cabina de igual manera que para altura se considera de acuerdo a los vehículos que existen en nuestro medio el ancho es de 1.8m y realizando el análisis, al momento de pintar el vehículo esta con las puertas abiertas es decir 1m por cada lado con una tolerancia de 0.10 m a cada lado respectivamente el ancho de la cabina es de 4m

### 5.2.3. Profundidad.

Corresponde a largo de la cabina de acuerdo a los vehículos comerciales que la longitud es de 5m se considera 1m a cada lado por movilización del técnico de tal manera la longitud o profundidad es de 7m.

### 5.3. Diseñar el sistema de iluminación.

El fluorescente escogido es de 36 W de tubo recto, cuyo flujo nominal es de 2600 lúmen

El grado de color de la luz del fluorescente escogido es el de la luz del día de número 19 de buenas características de reproducción de colores

Se deben considerar factores de reflexión de luz en el techo y las paredes, a continuación se enuncian valores de reflexión en la tabla 4.

**Tabla 4: factor de reflexión de acuerdo con los colores**

	<b>COLOR</b>	<b>FACTOR DE REFLEXION</b>
<b>TECHO</b>	<b>BLANCO / MUY CLARO</b>	<b>0.7</b>
	<b>CLARO</b>	<b>0.5</b>
	<b>MEDIO</b>	<b>0.3</b>
<b>PAREDES</b>	<b>CLARO</b>	<b>0.5</b>
	<b>MEDIO</b>	<b>0.3</b>
	<b>OSCURO</b>	<b>0.1</b>
<b>SUELE</b>	<b>CLARO</b>	<b>0.3</b>
	<b>OSCURO</b>	<b>0.3</b>

Fuente: Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseños de trabajo (12 edición)

Nuestras paredes y techo son de color claro, por lo que los valores son:

$$F_p = 0.5$$

$$F_t = 0.5$$

La iluminación será semidirecta, en la que la mayor parte del flujo luminoso se dirige directamente a la superficie que se trata de iluminar y solo una pequeña parte se hace llegar a dicha superficie previa reflexión en el techo y las paredes. En este tipo de iluminación las sombras no son tan intensas como en el caso de iluminación directa y además se reduce el riesgo de deslumbramiento del operador.

### 5.3.1. Índice del local.

El índice del local (k) es un valor comprendido entre 1 y 10 se obtiene a partir del tipo de iluminación que se va a utilizar en el lugar de trabajo (semidirecta) y se obtiene a partir de la siguiente formula:

$$k = \frac{a * l}{h * (a + b)} \quad \text{Ecu (4)}$$

#### Dónde:

a= es el ancho de la cámara de pintura

l= longitud de la cámara de pintura

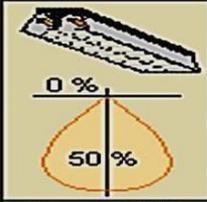
h= altura que va a ser iluminada

#### Reemplazando en la ecuación

$$k = \frac{4m * 7m}{2.50m * (4m + 7m)}$$

$$k = 1$$

Figura 18: tabulación para encontrar el factor de utilización

Luminaria 5 (Fluorescente directo con rejilla)													
Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)											
		Factor de reflexión del techo											
		0.8			0.7			0.5			0.3		0
		Factor de reflexión de las paredes											
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
	0.6	.27	.24	.21	.27	.23	.21	.27	.23	.21	.23	.21	.20
	0.8	.33	.29	.26	.32	.29	.26	.32	.28	.26	.28	.26	.25
	1.0	.36	.33	.30	.36	.33	.30	.35	.32	.30	.32	.30	.29
	1.25	.40	.36	.34	.39	.36	.34	.38	.36	.34	.36	.34	.33
	1.5	.42	.39	.37	.42	.39	.37	.41	.38	.36	.38	.36	.35
	2.0	.45	.42	.40	.44	.42	.40	.44	.42	.40	.41	.40	.39
	2.5	.47	.44	.43	.46	.44	.42	.45	.44	.42	.43	.42	.41
	3.0	.48	.46	.44	.47	.46	.44	.47	.45	.44	.44	.43	.42
	4.0	.50	.48	.46	.49	.48	.46	.48	.47	.46	.46	.45	.44
	5.0	.50	.49	.48	.50	.49	.48	.49	.48	.47	.47	.46	.45
D <sub>max</sub> = 0.8 H <sub>m</sub>													
f <sub>m</sub> .65 .70 .75													

H<sub>m</sub>: altura luminaria-plano de trabajo

Fuente: Métodos, estándares y diseños de trabajo (2012)

### 5.3.2. Factor de utilización.

Con los valores que se muestran en la figura 18 se obtiene en factor de utilización realizando una interpolación

$$\eta = 0.35$$

### 5.3.3. Factor de mantenimiento.

El factor de mantenimiento dependerá del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza del local. Para una limpieza periódica anual podemos tomar los siguientes valores.

Tabla 5: valores del factor de mantenimiento.

Ambiente	Factor de Mantenimiento (f <sub>m</sub> )
Limpio	0.8
Sucio	0.6

Fuente: Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseños de trabajo (2012)

### 5.3.4. Flujo luminoso necesario.

Para el cálculo del flujo luminoso total usaremos la siguiente fórmula.

$$\Phi_t = \frac{E \cdot A}{f_m \cdot \eta} \quad \text{Ecu (2)}$$

Dónde:

Φ<sub>t</sub> flujo luminoso total.

E iluminación deseada.

S superficie del plano de trabajo

$\eta$  factor de utilización

$f_m$  factor de mantenimiento

**Reemplazando en la ecuación.**

$$\Phi_t \frac{1000lum. 28m^2}{0.6 * 0.35} = 133333.33 lum$$

### 5.3.5. Numero de luminarias necesarias.

Para realizar el cálculo del número de luminarias necesarias en la cámara de pintura utilizaremos la siguiente formula:

$$N = \frac{\Phi_t}{n * \Phi_l} \quad \text{Ecu (3)}$$

**Dónde:**

N número de luminarias.

$\Phi_t$  flujo luminoso necesario.

$\Phi_l$  flujo luminoso por lámpara.

n número de lámparas por luminaria

$$N = \frac{133333.33}{2 * 2600} = 25.64 = \mathbf{26}$$

### 5.3.6. Ubicación de las luminarias dentro de la cámara de pintura

Una vez calculado el número de mínimo de lámparas y luminarias se procede a distribuir las en la cámara.

Para el cálculo del número de luminarias en el ancho de la cámara usaremos la siguiente formula.

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{N}{l}} * a \quad \text{Ecu (4)}$$

**Dónde:**

$N_{\text{ancho}}$  es el número de luminaria que entran en el ancho de la cámara.

$N$  número de luminarias.

$l$  largo de la cámara de pintura.

$a$  ancho de la cámara de pintura.

**Reemplazando en la ecuación.**

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{26}{7} * 4} = 3.85 = 4$$

Para el cálculo del número de luminarias en el ancho de la cámara usaremos la siguiente formula.

$$N_{\text{largo}} = N_{\text{ancho}} \left( \frac{l}{a} \right) \tag{Ecu (5)}$$

**Dónde:**

$N_{\text{ancho}}$  es el número de luminaria que entran en el ancho de la cámara.

$N_{\text{largo}}$  es el número de luminaria que entran en el largo de la cámara.

$l$  largo de la cámara de pintura.

$a$  ancho de la cámara de pintura.

**Reemplazando en la formula.**

$$N_{\text{largo}} = 4 * \left( \frac{7}{4} \right) = 7$$

**5.3.7. Resultados de la distribución del sistema de iluminación.**

**Tabla 6: distancia entre luminarias**

Ubicación	Numero de luminarias	Distancia entre luminarias
Ancho	4	0.97 m
Largo	7	1 m

Fuente: Autores

#### 5.4. Selección del calentador de aire (secador) útil para el proceso de secado.

Para la selección del calentador de aire se determinarán varios parámetros funcionales, en base a las características principales del aparato a proyectarse; esto es, realizando un análisis de las condiciones de trabajo, necesidades y requerimientos, teniendo como parámetros principales los siguientes:

##### 5.4.1. Transferencia de calor por radiación

La transferencia de calor por radiación existente se da por medio de las luminarias, como se especificó anteriormente para iluminar la cámara de pintura se necesitarán 26 tubos de 36 W. con estos datos se procede a realizar el cálculo de transferencia de calor por radiación la misma que será emitida por los tubos fluorescentes:

$$Q=N_{\text{tubos}}*P_{\text{tubos}} \quad \text{Ecu (6)}$$

Dónde:

Q transferencia de calor por radiación.

$N_{\text{tubos}}$  numero de tubos necesarios en la cámara

$P_{\text{tubos}}$  potencia de los tubos

Reemplazando en la ecuación

$$Q=26*36W= 936 \text{ W}$$

##### 5.4.2. Temperatura del aire atmosférico

La temperatura atmosférica del lugar en donde se va a construir la cabina-horno es fundamental para el diseño, ya que de este dependerá el resto de cálculos del diseño, para lo cual se ha realizado varias tomas de datos tanto en la noche como en el día, con la ayuda de un pirómetro.

Tabla 7: Tomas de temperatura en el ambiente.

NUMERO DE TOMAS	MAÑANA	MEDIO DIA
1	12°C	21°C
2	11°C	15°C
3	11.5°C	17°C
4	13°C	19°C

Fuente: autores

Después de revisar la tabla y realizar la suma promedio esta es de 15°C la temperatura.

#### 5.4.3. Temperatura en el interior de la cabina.

La temperatura requerida en el interior de la cabina-horno es de 60°C, ya que esta temperatura es la óptima para que tenga un curado de alta calidad la pintura, es necesario indicar que esta temperatura debe permanecer constante (días soleados, nublados y lluviosos) en el periodo de funcionamiento de la cabina-horno.

#### 5.4.4. Calor requerido para calentar la masa de aire.

Para lograr estas condiciones se debe tomar en cuenta todas las características de los materiales y elementos que intervienen en el proceso.

Tabla 8: Propiedades de los materiales involucrados en el proyecto

MATERIAL	CARACTERÍSTICAS				
	densidad kg/m <sup>3</sup>	Calor especifico kJ/kg*°C	conductividad W/m*°C	T <sub>1</sub> °C	T <sub>2</sub> °C
Acero			50,2	15	60
Fibra de vidrio			0,043	15	60
Aire	1,057	1,007		15	60
Vidrio			0,8	15	60
Metal		0.434		14	60

Fuente: cengel (2011); Autores

#### Volumen de la cabina.

$$V_c = l * a * h$$

Ecu (7)

$$V_c = 7m * 4m * 3m = 84m^3$$

#### Dónde:

l= profundidad o largo de la cabina.

a= ancho de la cabina.

h= altura de la cabina.

### **Masa de aire.**

$$m_a = \rho * V_c$$

Ecu (8)

$$m_a = 1,059 \text{ kg/m}^3 * 84 \text{ m}^3 = \mathbf{88,96 \text{ kg}}$$

### **Dónde:**

$\rho$  = densidad del aire.

$V_c$  = volumen de la cabina.

### **Caudal de aire requerido.**

Para calcular el caudal o flujo de aire necesario es importante tener en cuenta el número renovaciones de aire que se va a tener en la cabina. Los grandes fabricantes de pintura recomiendan un total de 180 renovaciones por hora (Iberica, 2014), esto evitara que se creen turbulencias en el aire y mejorara la calidad del acabo.

El caudal de aire requerido se puede calcular a partir d la siguiente formula:

$$Q = \frac{V * (\frac{R}{h})}{3600s}$$

Ecu (9)

### **Dónde:**

Q caudal de aire

V volumen de la cabina.

R/h renovaciones por hora

### **Reemplazando en la ecuación.**

$$Q = \frac{84 \text{ m}^3 * 180}{3600s} = 4.2 \text{ m}^3/s$$

### 5.4.5. Transferencia de calor por convección

Tabla 9: Propiedades físicas del aire a temperatura de película determinada

Propiedades del aire	Valor.
Densidad ( $\rho$ )	1.059 kg/m <sup>3</sup>
Calor específico ( $C_p$ )	1 007 J/kg · °C
Conductividad térmica ( $k$ )	0.02808 W/m · °C
Difusividad térmica ( $\alpha$ )	2.632 x10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
Viscosidad dinámica ( $\mu$ )	2.008 x10 <sup>-5</sup> kg/m · s
Viscosidad cinemática ( $\gamma$ )	1.896 x10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> /s
Numero de Prandth (Pr)	0.7202

Fuente: Cengel (2011)

#### Número de Reynolds

$$Re = \frac{V \cdot D_h}{\gamma} \quad \text{Ecu (10)}$$

#### Dónde:

Diámetro hidráulico de la pared  $D_h$

Velocidad del fluido  $V$

Viscosidad cinemática  $r$

#### Velocidad del fluido

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4,2 \text{ m}^3/\text{s}}{12 \text{ m}^2} = 0,35 \text{ m/s} \quad \text{Ecu (11)}$$

#### Cálculo del diámetro hidráulico

$$D_h = 4 \frac{A}{P_m} = 4 \frac{12 \text{ m}^2}{14 \text{ m}} = 3,43 \text{ m} \quad \text{Ecu (12)}$$

#### Número de Reynolds

$$Re = \frac{V \cdot D_h}{\gamma} = \frac{\frac{0,35 \text{ m}}{\text{s}} \cdot 3,43 \text{ m}}{1,896 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} = 6,3 \times 10^4$$

$Re > 2300$  entonces el flujo es turbulento

#### Numero de Nusselt

$$N_{UDH} = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,40} \left( \frac{\mu}{\mu_o} \right)^{0,14} \quad \text{Ecu (13)}$$

**Dónde:**

Pr número de Prandt

$\mu$  Viscosidad dinámica evaluada a la temperatura del fluido

$\mu_0$  viscosidad evaluada a la temperatura de la pared

$$N_{UDH} = 0,023 * (6,3 \times 10^4)^{0,8} * (0,7202)^{0,4} \left( \frac{2,008 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}}{1,802 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}} \right)^{0,14}$$

$$N_{UDH} = 142,73$$

**Coefficiente de convección interna (hi)**

$$hi = \frac{N_{UDH} * k}{Dh} \tag{Ecu (14)}$$

$$hi = \frac{142,73 * 0,028}{3,43}$$

$$hi = 11,65 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

**Otros datos**

$$m_c = 656,11 \text{ kg.}$$

**Nota:** Se tomó la carrocería máxima de los automóviles del mercado

**Dónde:**

$m_c$  = masa de carrocería.

**5.4.6. Calor requerido para calentar la masa de aire hasta los 60°C.**

$$Q_a = m * c_p * \Delta T \tag{Ecu (15)}$$

Dónde:

m masa del aire

$c_p$  calor específico del aire

$\Delta T$  Variación de temperatura

$Q_a$  calor requerido para calentar la masa de aire

**Reemplazando en la ecuación**

$$Q_a = 88,96 \text{ kg} * 1,007 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * 45^\circ\text{C}$$

$$Q_a = 4031,22 \text{ kJ}$$

#### 5.4.7. Calor requerido para calentar la carrocería.

$$Q_c = m * c_p * \Delta T$$

##### Dónde:

m masa de la carrocería

c<sub>p</sub> calor específico del metal

ΔT variación de temperatura

Q<sub>c</sub> calor requerido para calentar la masa de la carrocería

##### Reemplazando en la ecuación

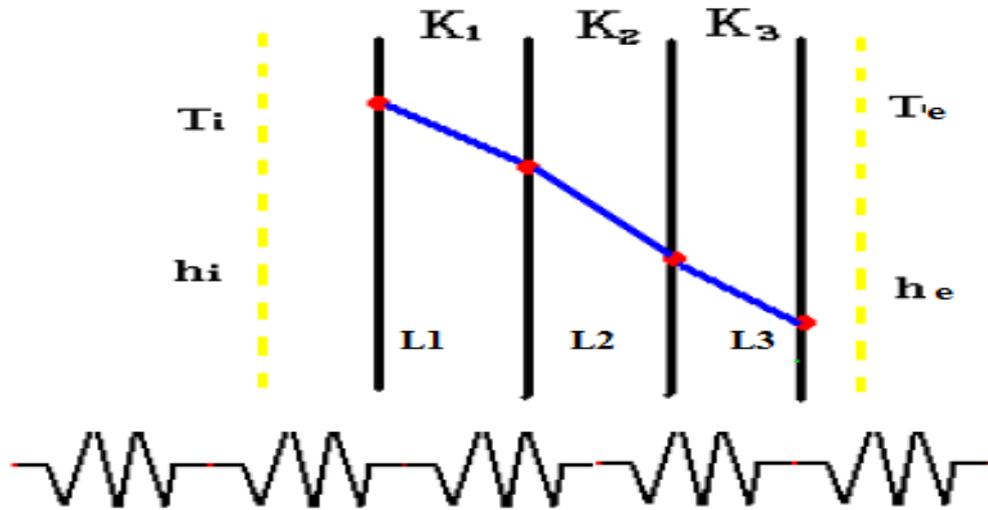
$$Q_c = 656.11 \text{ kg} * 0.434 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * 45^\circ\text{C}$$

$$Q_c = 12812 \text{ kJ.}$$

#### 5.4.8. Calor perdido en las paredes, piso y techo (conducción)

Para calcular la pérdida de calor a través de las paredes se debe tomar en cuenta las propiedades de los materiales que la conforman. Cabe recalcar que las paredes formaran una estructura tipo sandwich de la siguiente manera: En la parte interior y exterior tendrá una lámina de acero de 2mm de espesor, entre las dos láminas estará instalada una capa de fibra de vidrio de 50 mm de espesor, la cual funcionará como aislante térmico.

Figura 19: Sistema de resistencias de las paredes, Techo y puertas



Fuente: Autores

#### 5.4.8.1. Calor perdido por las paredes laterales

El área de las paredes laterales se puede calcular con la siguiente fórmula

$$A = h * l \tag{Ecu (16)}$$

**Dónde:**

h altura de la cámara

l longitud o profundidad de la cámara

**Reemplazando en la ecuación.**

$$A = 3 * 7 = 21 \text{ m}^2$$

$$Q_1 = \frac{T_{in} - T_{ex}}{\frac{1}{h * A} + \frac{L_1}{K_1 * A} + \frac{L_2}{K_2 * A} + \frac{L_3}{K_3 * A} + \frac{1}{h * A}} \tag{Ecu (17)}$$

**Dónde:**

h coeficiente de transferencia de calor por convección

\$K\_1\$ conductividad térmica de la lámina de acero interior

A área de la pared (láminas de acero y fibra de vidrio)

L<sub>1</sub> espesor de la lámina de acero interior

K<sub>2</sub> conductividad térmica de la fibra de vidrio

L<sub>2</sub> espesor de la fibra de vidrio

K<sub>3</sub> conductividad térmica de la lámina de acero exterior

L<sub>3</sub> espesor de la lámina de acero exterior

T<sub>in</sub> la temperatura interior de la cabina de pintura

T<sub>ex</sub> temperatura del medio

Q<sub>1</sub> calor perdido por las paredes laterales

**Remplazando en la ecuación**

$$Q_1 = \frac{60C - 15C}{\frac{1}{(11.65 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \cdot (21 \text{ m}^2)} + \frac{0.002}{(50.2 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot (21 \text{ m}^2)} + \frac{0.05 \text{ m}}{(0.043 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot (21 \text{ m}^2)} + \frac{0.002 \text{ m}}{(50.2 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 21 \text{ m}^2} + \frac{1}{(5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \cdot (21 \text{ m}^2)}}$$

$$Q_1 = 652,48 \text{ W} \cdot 2 = 1304,11 \text{ W}$$

**Nota:** Al Q<sub>1</sub> se lo multiplica por dos debido que el valor calculado corresponde a una sola pared y como ambas paredes son de iguales características solo multiplicamos el valor.

#### 5.4.8.2. Calor perdido por el techo

El área del techo de la cámara de pintura se la puede calcular a partir de la siguiente fórmula

$$A = a \cdot l$$

**Dónde:**

a ancho de la cámara de pintura

l largo o profundidad de la cámara de pintura

**Reemplazando en la ecuación.**

$$A_{\text{fibra}} = 4 \text{ m} \cdot 7 \text{ m} = 28 \text{ m}^2$$

$$Q2 = \frac{T_{in} - T_{ex}}{\frac{1}{h * A} + \frac{L1}{K1 * A} + \frac{L2}{K2 * A} + \frac{L3}{K3 * A} + \frac{1}{h * A}}$$

h coeficiente de transferencia de calor por convección

K<sub>1</sub> conductividad térmica de la lámina de acero interior

A área del techo (láminas de acero y fibra de vidrio)

L<sub>1</sub> espesor de la lámina de acero interior

K<sub>2</sub> conductividad térmica de la fibra de vidrio

L<sub>2</sub> espesor de la fibra de vidrio

K<sub>3</sub> conductividad térmica de la lámina de acero exterior

L<sub>3</sub> espesor de la lámina de acero exterior

T<sub>in</sub> la temperatura interior de la cabina de pintura

T<sub>ex</sub> temperatura del medio

Q2 calor perdido por el techo.

**Reemplazando en la ecuación**

$$Q2 = \frac{60C - 15C}{\frac{1}{(11.65 \text{ W/m}^2 * C) * (28\text{m}^2)} + \frac{0.002}{(50.2 \text{ W/m} * C) * (28\text{m}^2)} + \frac{0.05\text{m}}{(0.043 \text{ W/m} * C) * (28\text{m}^2)} + \frac{0.002\text{m}}{(50.2 \text{ W/m} * C) * 28\text{m}^2} + \frac{1}{(5 \text{ W/m}^2 * C) * (28\text{m}^2)}}$$

$$Q2 = 869,73 \text{ W}$$

#### 5.4.8.3. Calor perdido por la pared de fondo

**Área de la pared del fondo**

$$\text{Á} = h * a$$

**Dónde:**

h altura de la cámara

a ancho de la cámara

### Reemplazando en la ecuación

$$A=4m*3m=12m^2$$

$$Q_3 = \frac{T_{in} - T_{ex}}{\frac{1}{h*A} + \frac{L_1}{K_1*A} + \frac{L_2}{K_2*A} + \frac{L_3}{K_3*A} + \frac{1}{h*A}}$$

h coeficiente de transferencia de calor por convección

K<sub>1</sub> conductividad térmica de la lámina de acero interior

A área de la pared de fondo (láminas de acero y fibra de vidrio)

L<sub>1</sub> espesor de la lámina de acero interior

K<sub>2</sub> conductividad térmica de la fibra de vidrio

L<sub>2</sub> espesor de la fibra de vidrio

K<sub>3</sub> conductividad térmica de la lámina de acero exterior

L<sub>3</sub> espesor de la lámina de acero exterior

T<sub>in</sub> la temperatura interior de la cabina de pintura

T<sub>ex</sub> temperatura del medio

Q<sub>3</sub> calor perdido por la pared d fondo.

### Reemplazando en la ecuación

$$Q_3 =$$

$$\frac{60C - 15C}{\frac{1}{(11.65 W/m^2 * C) * (12m^2)} + \frac{0.002}{(50.2 W/m * C) * (12m^2)} + \frac{0.05m}{(0.043 W/m * °C) * (12m^2)} + \frac{0.002m}{(50.2 W/m * °C) * 12m^2} + \frac{1}{(5 W/m^2 * C) * (12m^2)}}$$

$$Q_3 = 372,74 W$$

#### 5.4.8.4. Calor perdido por el vidrio de la puerta principal

#### Área del vidrio de la pared principal

$$Á_{vidrio} = a * h$$

$$A_{\text{vidrio}}=1\text{m}\cdot 0.25\text{m}\cdot 2=0.50\text{m}^2$$

$$Q_4 = \frac{T_{in} - T_{ex}}{\frac{1}{h \cdot A} + \frac{L_1}{K_1 \cdot A} + \frac{1}{h \cdot A}} \quad \text{Ecu (18)}$$

**Dónde:**

h coeficiente de transferencia de calor por convección

K<sub>1</sub> conductividad térmica del vidrio

A área del vidrio

L<sub>1</sub> espesor del vidrio

T<sub>in</sub> la temperatura interior de la cabina de pintura

T<sub>ex</sub> temperatura del medio

Q<sub>4</sub> calor perdido por el vidrio.

**Reemplazando en la ecuación.**

$$Q_4 = \frac{60C - 15C}{\frac{1}{(11.65 \text{ W/m}^2 \cdot C) \cdot (0.5\text{m}^2)} + \frac{0.006}{(0.8 \text{ W/m} \cdot C) \cdot (0.5\text{m}^2)} + \frac{1}{(5 \text{ W/m}^2 \cdot C) \cdot (0.5\text{m}^2)}}$$

$$Q_4 = 76,41 \text{ W}$$

**5.4.8.5. Calor perdido por la puerta principal**

$$\dot{A} = A_{\text{fondo}} - \dot{A}_{\text{vidrio}}$$

**Dónde:**

A área de la puerta principal

A<sub>fondo</sub> área de la pared del fondo

A<sub>vidrio</sub> área del vidrio principal

**Reemplazando en la ecuación**

$$A = 12\text{m}^2 - 0.50\text{m}^2 = 11.5\text{m}^2$$

$$Q_5 = \frac{T_{in} - T_{ex}}{\frac{1}{h * A} + \frac{L_1}{K_1 * A} + \frac{L_2}{K_2 * A} + \frac{L_3}{K_3 * A} + \frac{1}{h * A}}$$

**Dónde:**

h coeficiente de transferencia de calor por convección

K<sub>1</sub> conductividad térmica de la lámina de acero interior

A área de la puerta principal (láminas de acero y fibra de vidrio)

L<sub>1</sub> espesor de la lámina de acero interior

K<sub>2</sub> conductividad térmica de la fibra de vidrio

L<sub>2</sub> espesor de la fibra de vidrio

K<sub>3</sub> conductividad térmica de la lámina de acero exterior

L<sub>3</sub> espesor de la lámina de acero exterior

T<sub>in</sub> la temperatura interior de la cabina de pintura

T<sub>ex</sub> temperatura del medio

Q<sub>5</sub> calor perdido por la puerta principal.

**Reemplazando en la ecuación**

$$Q_5 = \frac{60C - 15^{\circ}C}{\frac{1}{(11,65 \text{ W/m}^2 * ^{\circ}C) * (11,5m^2)} + \frac{0,002}{(50,2 \text{ W/m} * ^{\circ}C) * (11,5m^2)} + \frac{0,05m}{(0,043 \text{ W/m} * ^{\circ}C) * (11,5m^2)} + \frac{0,002m}{(50,2 \text{ W/m} * ^{\circ}C) * 11,5m^2} + \frac{1}{(5 \text{ W/m}^2 * ^{\circ}C) * (11,5m^2)}}$$

**Q<sub>5</sub> = 357,21 W**

**5.4.9. Selección del calentador**

El proceso de calentamiento de aire se lo va a realizar a través de resistencias eléctricas. La potencia será determinada tomando en cuenta la cantidad de calor que se necesita para calentar la masa de aire, la masa de la carrocería, las pérdidas de calores existentes (tabla 10) y el tiempo en el que necesito secar el auto (25 minutos).

**Tabla 10: Calores necesarios para determinar la potencia del calentador**

<b>Tipo de calor</b>	<b>Cantidad</b>
Calor requerido para calentar la masa de aire.	4031,22 kJ
Calor requerido para calentar la masa de la carrocería.	12812 kJ
Calor perdido por las paredes laterales.	1302,11 W
Calor perdido por el techo.	869,73 W
Calor perdido por la pared del fondo	372,74 W
Calor perdido por el vidrio de la puerta principal	76,41 W
Calor perdido por la puerta principal	357,21 W

Fuente: Autores

Para determinar la potencia del calentador usaremos las siguientes formulas.

$$P_{\text{inicial}} = \frac{(Q_a + Q_c)kJ}{t} \quad \text{Ecu (19)}$$

**Dónde:**

$Q_a$  calor requerido para calentar la masa de aire.

$Q_c$  calor requerido para calentar la masa de la carrocería

$t$  tiempo que va estar en utilización el calentador (segundos)

$P_{\text{inicial}}$  potencia de las resistencias eléctricas

**Remplazando en la ecuación**

$$P_{\text{calentador}} = \frac{(4663 + 12812)kJ}{1500s} = \mathbf{11.65kW}$$

Al valor anterior debemos sumarle todos los calores perdidos y luego se determinara la potencia real del calentador

$$P_{\text{final}} = \mathbf{11.65kW} + \mathbf{1,30kW} + \mathbf{0,87kW} + \mathbf{0,37kW} + \mathbf{0,076kW} + \mathbf{0,36kW} \quad \text{Ecu (20)}$$

$$P_{\text{final}} = \mathbf{14,62 kW}$$

La potencia del calentador (resistencias) requerida para el proyecto es de 14,62 kW, tomando en cuenta que en el mercado solo hay disponibles resistencias solidas de un máximo de 5 kW, se optó por instalar 3 resistencias de dicha potencia.

### **5.5. Realizar el Diseño de la cámara de pintura en el software AUTOCAD 3D.**

VER ANEXO 1

### **5.6. Determinar el tipo de sistema de control de temperatura que se va utilizar en el horno.**

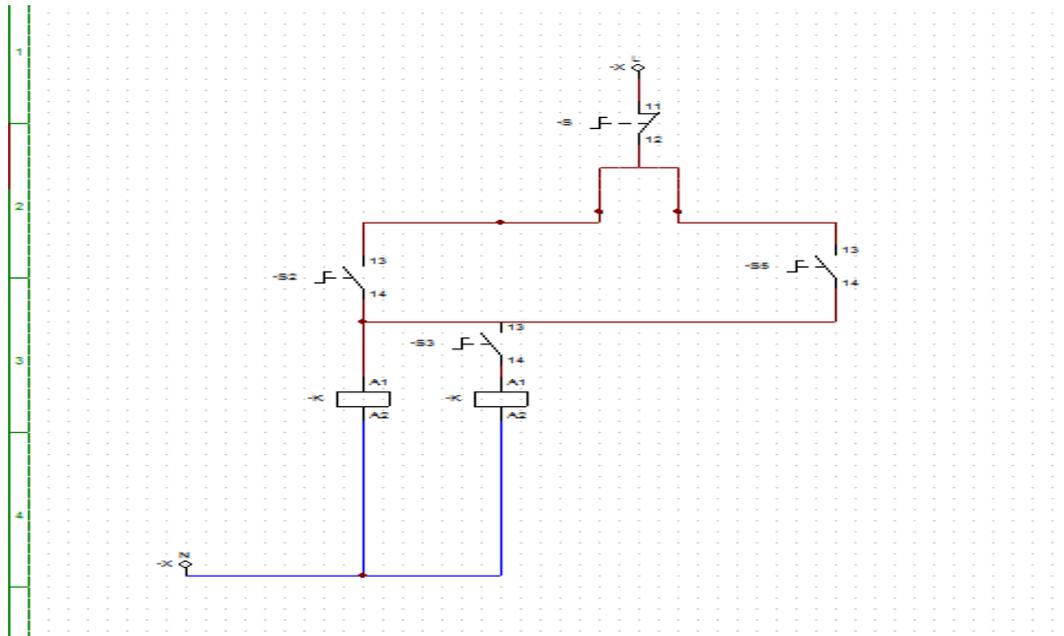
#### **5.6.1. Control de temperatura.**

Para el proceso de secado dentro de la cámara de pintura es ideal seleccionar un controlador que cumpla con la necesidad de mantener una temperatura estable. El controlador seleccionado en este caso es un controlador electrónico con una salida a relé y una salida de alarma, con esto se puede mantener a una temperatura constante mediante un sistema on-off. Este controlador puede ser acoplado a diversos tipos de sensores.

El funcionamiento del controlador se basa en comparar la señal del sensor con un valor establecido internamente en el controlador según el requerimiento del proceso, este valor se lo denomina setpoint, según se programe al controlador mantendrá equilibrada y constante a la temperatura dentro de la cámara de pintura, este dispositivo será el encargado de controlar el funcionamiento del ventilador así como del sistema de calefacción de aire (resistencias).

El sensor utilizado dentro de la cámara de secado es una termocupla o termopar tipo K , este sensor es uno de los más utilizados debido a su amplio rango de temperaturas (-200 °C a 1.250 °C). Además el sistema consta de una salida de alarma del controlador, para indicar cuando el tiempo de secado haya concluido, tal como se muestra en la figura 20.

Figura 20: Sistema de control



Fuente: CADESIMU

### 5.7. Incorporación de sensor de temperatura.

La termocupla a usarse en el proyecto tanto en el prototipo como en el horno real, es una tipo K. Las termocuplas son el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente) como se muestra en la figura 21. Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura (Arian, 2014).

#### Ventajas de la termocupla tipo k

- Es económico
- Preciso
- Confiable
- Tiene un amplio rango de temperatura.
- Tiene mayor vida útil a diferencia del resto

Figura 21: Termocupla tipo K



Fuente: autores

## 5.8. Adquirir los materiales y equipos a utilizar para la construcción del secador.

### Ventilador.

Un ventilador es una máquina de fluido, más exactamente una turbo máquina que transmite energía para generar la presión necesaria con la que se mantiene un flujo continuo de aire. Se utiliza para usos muy diversos como: ventilación de ambientes, refrescamiento de máquinas u objetos o para mover gases, principalmente el aire, por una red de conductos (Escoda, 2016).

#### 5.8.1. Selección del ventilador.

La selección del ventilador se la realizara de acuerdo a las necesidades del proyecto, para ellos contaremos con tres alternativas o modelos de ventiladores que son frecuentemente usador para la ventilación de las cámaras de pintura.

#### Opción 1

Ventilador axial con motor a transmisión de la serie EH: Diseñado para grandes volúmenes de aire a baja velocidad, bajo nivel sonoro.

#### Opción 2

Ventilador y extractor de aire motorizado tipo axial de la serie DA: Aptos para grandes volúmenes de aire sin canalización. Motor directamente acoplado, monofásico o trifásico.

### Opción 3

Ventilador axial con motor de acople directo de la serie DT: Aptos para grandes volúmenes de aire. Con canalización, baja presión.

### Matriz de selección

Tabla 11: matriz de selección del ventilador

Parámetro	Opción		
	1	2	3
Disponibilidad inmediata en el mercado nacional	10	10	7
Flujo de aire requerido en el proyecto	9	7	8
Precio	8	8	5
Estabilidad	10	8	10
Apto para trabajo en altas temperaturas	10	10	10
<b>SUMA</b>	<b>47</b>	<b>43</b>	<b>40</b>

Fuente: autores

Basando en la matriz de selección se puede decir que la opción 1 es la más idónea para el proyecto ver ficha técnica en el anexo 3.

#### 5.8.2. Lamina de acero

Las paredes de la cámara de pintura estarán construidas por dos láminas de acero galvanizado de 2 mm de espesor como se muestra en la figura 22. Para unir las láminas se realizará una soldadura con electrodos E6011.

**Figura 22: Plancha de acero usada en el proyecto**



**Fuente: autores**

### **5.8.3. Fibra de vidrio.**

Como aislante térmico se ha seleccionado a la lana de vidrio debido a sus propiedades de baja conductividad térmica y un alto poder aislante. La lana de vidrio es resistente al fuego (incombustible), además no sufre daños por agentes externos como el aire o el vapor de agua, además es muy manejable y también puede aislar a la cámara de pintura y secado acústicamente. El principal factor para seleccionar a este aislante de otros como la espuma de poliuretano por ejemplo, es su bajo precio y su fácil instalación.

**Figura 23: Fibra de vidrio**



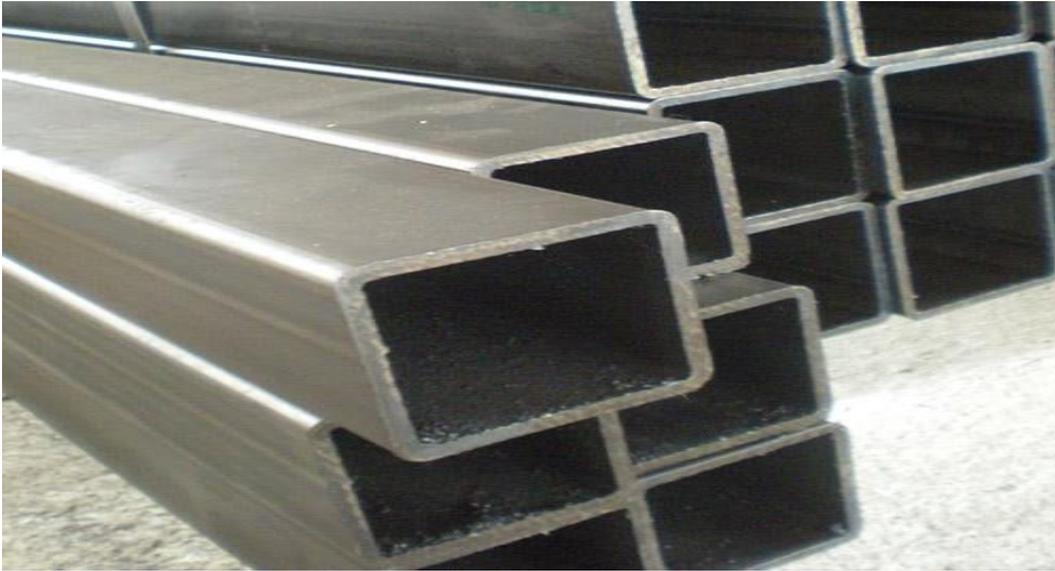
**Fuente: autores**

#### **5.8.4. Tubos para la estructura.**

Los tubos que se usaran para formar la estructura serán cuadrados de acero con unas dimensiones Ancho y larga 75.6 mm y el espesor de 3 mm.

La selección de este tubo se dio por la recomendación del fabricante de cámaras de pintura (BOSH, 2015) quien indica “Al ser una aleación (hierro y carbón) tiene muchas propiedades interesantes. Es un material más pesado que el aluminio (tres veces más), por lo que es especialmente valorado para su uso en estructuras pesadas y/o que requieren resistencia a la corrosión y las temperaturas extremas, como por ejemplo la construcción tanto de viviendas como de grandes estructuras, como puentes, carreteras o plantas petrolíferas o gasísticas. Es fácil de soldar, y tiene una facilidad de corte, moldeado y mecanizado moderados, ya que se trata de un material muy denso”.

**Figura 24: Tubos para la estructura**



**Fuente: autores**

#### **5.8.5. Material para los ductos de ventilación.**

Los ductos de ventilación serán construidos con láminas de acero galvanizado de 4 mm de espesor. La construcción con este material es más adecuada que adquirir los tubos de esas tales dimensiones ya que estos poseen un gran peso y complica su instalación.

Las dimensiones de del sistema de ventilación serán las dimensiones del ventilador, esto ayudara a facilitar la instalación y evita la perdida de aire generado por el ventilador.

#### **5.8.6. Materiales para el sistema de control.**

**El sistema de control estará conformado por los siguientes elementos:**

Contactores.

Controlador inteligente.

Termocupla.

Selectores

Para de emergencia

## 5.9. Armar el prototipo.

El prototipo de la cámara de pintura será construido a escala 7:1 de acuerdo a los parámetros de diseño antes elaborados. Teniendo en cuenta esta indicación se procede a realizar los cálculos térmicos del prototipo.

### Volumen del prototipo

$$V = a * l * h$$

Dónde:

a ancho del prototipo

l largo del prototipo

h altura del prototipo

### Reemplazando en la ecuación.

$$V = 0.8m * 1,05m * 0.5m = \mathbf{0,42m^3}$$

### Masa de aire

$$m_a = \rho * V$$

Dónde:

$\rho$  densidad del aire

V volumen de la cabina

### Reemplazando en la ecuación.

$$m_a = 1,057kg/m^3 * 0,42m^3 = \mathbf{0,44kg}$$

### Masa que se pretende secar

El prototipo tendrá una capacidad de **93,71 kg**

### Caudal de aire requerido

$$Q = \frac{V * (R/h)}{3600}$$

$$Q = \frac{0,42 * 180}{3600} = \mathbf{0.021m^3/s}$$

### Calor necesario para calentar el aire hasta los 60 C

$$Q_a = m * c_p * \Delta T$$

$$Q_a = 0,44kg * (1,007kJ/kg * C) * 45C$$

$$Q_a = \mathbf{19,93 kJ}$$

### Calor requerido para calentar la pieza del auto

$$Q_a = m * c_p * \Delta T$$

$$Q_a = 93,71 kg * (0,434kJ/kg * C) * 45 C$$

$$Q_a = 1816,29 \text{ kJ}$$

**Coefficiente de transferencia de calor por convección.**

**Número de Reynolds**

$$Re = \frac{V * D_h}{\gamma}$$

Dónde:

Diámetro hidráulico de la pared  $D_h$

Velocidad del fluido  $V$

Viscosidad cinemática  $r$

**Velocidad del fluido**

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,021 \text{ m}^3/\text{s}}{0,4 \text{ m}^2} = 0,052 \text{ m/s}$$

**Cálculo del diámetro hidráulico**

$$D_h = 4 \frac{A}{P_m} = 4 \frac{0,4 \text{ m}^2}{2,6 \text{ m}} = 0,62 \text{ m}$$

**Número de Reynolds**

$$Re = \frac{V * D_h}{\gamma} = \frac{\frac{0,052 \text{ m}}{\text{s}} * 0,62 \text{ m}}{1,896 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} = 1700,42$$

$Re > 2300$  entonces el flujo es turbulento

**Numero de Nusselt**

$$N_{UDH} = 0,023 * Re^{0,8} * Pr^{0,33} \left( \frac{\mu}{\mu_0} \right)^{0,14}$$

Dónde:

Pr número de Prandtl

$\mu$  Viscosidad dinámica evaluada a la temperatura del fluido

$\mu_0$  viscosidad evaluada a la temperatura de la pared

$$N_{UDH} = 0,023 * (1700,42)^{0,8} * (0,7202)^{0,33} \left( \frac{2,008 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}}{1,802 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}} \right)^{0,14}$$

$$N_{UDH} = 8,11$$

**Coefficiente de convección interna (hi)**

$$hi = \frac{N_{UDH} * k}{D_h}$$

$$hi = \frac{8,11 * 0,028}{0,62}$$

$$hi = 0,37 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

### Calor perdido por las paredes, piso y techo

El área de las paredes laterales se puede calcular con la siguiente formula

$$A=h*l$$

#### Dónde:

h altura de la cámara

l longitud o profundidad de la cámara

#### Reemplazando en la ecuación.

$$A=0,5*1,05=0,52m^2$$

$$Q1 = \frac{T_{in} - T_{ex}}{\frac{1}{h*A} + \frac{L1}{K1*A} + \frac{L2}{K2*A} + \frac{L3}{K3*A}}$$

#### Dónde:

h coeficiente de transferencia de calor por convección

K<sub>1</sub> conductividad térmica de la lámina de acero interior

A área de la pared (láminas de acero y fibra de vidrio)

L<sub>1</sub> espesor de la lámina de acero interior

K<sub>2</sub> conductividad térmica de la fibra de vidrio

L<sub>2</sub> espesor de la fibra de vidrio

K<sub>3</sub> conductividad térmica de la lámina de acero exterior

L<sub>3</sub> espesor de la lámina de acero exterior

T<sub>in</sub> la temperatura interior de la cabina de pintura

T<sub>ex</sub> temperatura del medio

Q1 calor perdido por las paredes laterales

### Remplazando en la ecuación

$$Q1 = \frac{60C - 15C}{\frac{1}{(0.37 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}) * (0.52 \text{ m}^2)} + \frac{0.002}{(50.2 \text{ W/m} \cdot \text{C}) * (0.52 \text{ m}^2)} + \frac{0.02 \text{ m}}{(0.043 \text{ W/m} \cdot \text{C}) * (0.52 \text{ m}^2)} + \frac{0.002 \text{ m}}{(50.2 \text{ W/m} \cdot \text{C}) * 0.52 \text{ m}^2}}$$

$$Q1 = 7.37 \text{ W} * 2 = 14.72 \text{ W}$$

**Nota:** Al Q1 se lo multiplica por dos debido que el valor calculado corresponde a una sola pared y como ambas paredes son de iguales características solo multiplicamos el valor.

### Calor perdido por el techo

El área del techo del prototipo se la puede calcular a partir de la siguiente fórmula

$$Á = a * l$$

#### Dónde:

a ancho de la cámara de pintura

l largo o profundidad de la cámara de pintura

### Reemplazando en la ecuación.

$$A_{\text{fibra}} = 0,8 \text{ m} * 1,05 \text{ m} = 0,84 \text{ m}^2$$

$$Q2 = \frac{T_{in} - T_{ex}}{\frac{1}{h * A} * \frac{L1}{K1 * A} * \frac{L2}{K2 * A} * \frac{L3}{K3 * A}}$$

h coeficiente de transferencia de calor por convección

K<sub>1</sub> conductividad térmica de la lámina de acero interior

A área del techo (láminas de acero y fibra de vidrio)

L<sub>1</sub> espesor de la lámina de acero interior

K<sub>2</sub> conductividad térmica de la fibra de vidrio

L<sub>2</sub> espesor de la fibra de vidrio

K<sub>3</sub> conductividad térmica de la lámina de acero exterior

L<sub>3</sub> espesor de la lámina de acero exterior

T<sub>in</sub> la temperatura interior de la cabina de pintura

T<sub>ex</sub> temperatura del medio

Q<sub>2</sub> calor perdido por el techo.

### Reemplazando en la ecuación

$$Q_2 = \frac{60C - 15C}{\frac{1}{(0.37 \text{ W/m}^2 \cdot C) * (0.84 \text{ m}^2)} + \frac{0.002}{(50.2 \text{ W/m} \cdot C) * (0.84 \text{ m}^2)} + \frac{0.02 \text{ m}}{(0.043 \text{ W/m} \cdot C) * (0.84 \text{ m}^2)} + \frac{0.002 \text{ m}}{(50.2 \text{ W/m} \cdot C) * 0.84 \text{ m}^2}}$$

$$Q_2 = 11.93 \text{ W}$$

### Calor perdido por la pared de fondo

#### Área de la pared del fondo

$$A = h * a$$

Dónde:

h altura de la cámara

a ancho de la cámara

### Reemplazando en la ecuación

$$A = 0.50 \text{ m} * 0.80 \text{ m} = 0.40 \text{ m}^2$$

$$Q_3 = \frac{T_{in} - T_{ex}}{\frac{1}{h * A} + \frac{L_1}{K_1 * A} + \frac{L_2}{K_2 * A} + \frac{L_3}{K_3 * A}}$$

h coeficiente de transferencia de calor por convección

K<sub>1</sub> conductividad térmica de la lámina de acero interior

A área de la pared de fondo (láminas de acero y fibra de vidrio)

L<sub>1</sub> espesor de la lámina de acero interior

$K_2$  conductividad térmica de la fibra de vidrio

$L_2$  espesor de la fibra de vidrio

$K_3$  conductividad térmica de la lámina de acero exterior

$L_3$  espesor de la lámina de acero exterior

$T_{in}$  la temperatura interior de la cabina de pintura

$T_{ex}$  temperatura del medio

$Q_3$  calor perdido por la pared d fondo.

**Reemplazando en la ecuación**

$$Q_3 = \frac{60C - 15C}{\frac{1}{(0.37 \text{ W/m}^2 \cdot C) * (0.4\text{m}^2)} + \frac{0.002}{(50.2 \text{ W/m} \cdot C) * (0.40\text{m}^2)} + \frac{0.02\text{m}}{(0.043 \text{ W/m} \cdot C) * (0.4\text{m}^2)} + \frac{0.002\text{m}}{(50.2 \text{ W/m} \cdot C) * 0.40\text{m}^2}}$$

$$Q_3 = 5.68 \text{ W}$$

**Calor perdido por el vidrio de la puerta principal**

**Área del vidrio de la pared principal**

$$A_{\text{vidrio}} = a * h$$

$$A_{\text{vidrio}} = 0.1\text{m} * 0.25\text{m} = 0.025\text{m}^2 * 2 = 0.050\text{m}^2$$

$$Q_4 = \frac{T_{in} - T_{ex}}{\frac{1}{h * A} + \frac{L_1}{K_1 * A}}$$

Dónde:

$h$  coeficiente de transferencia de calor por convección

$K_1$  conductividad térmica del vidrio

$A$  área del vidrio

$L_1$  espesor del vidrio

$T_{in}$  la temperatura interior de la cabina de pintura

$T_{ex}$  temperatura del medio

Q4 calor perdido por el vidrio.

**Reemplazando en la ecuación.**

$$Q4 = \frac{60C - 15C}{\frac{1}{(0,37 \text{ W/m}^2 * C) * (0,05 \text{ m}^2)} + \frac{0,003}{(0,8 \text{ W/m} * C) * (0,05 \text{ m}^2)}}$$

$$Q4 = 0.8 \text{ W}$$

**Calor perdido por la puerta principal**

$$\dot{A} = A_{\text{fondo}} - \dot{A}_{\text{vidrio}}$$

**Dónde:**

A área de la puerta principal

$A_{\text{fondo}}$  área de la pared del fondo

$A_{\text{vidrio}}$  área del vidrio principal

**Reemplazando en la ecuación**

$$A = 0,40 \text{ m}^2 - 0,050 \text{ m}^2 = 0,35 \text{ m}^2$$

$$Q5 = \frac{T_{in} - T_{ex}}{\frac{1}{h * A} + \frac{L1}{K1 * A} + \frac{L2}{K2 * A} + \frac{L3}{K3 * A}}$$

**Dónde:**

h coeficiente de transferencia de calor por convección

$K_1$  conductividad térmica de la lámina de acero interior

A área de la puerta principal (láminas de acero y fibra de vidrio)

$L_1$  espesor de la lámina de acero interior

$K_2$  conductividad térmica de la fibra de vidrio

L<sub>2</sub> espesor de la fibra de vidrio

K<sub>3</sub> conductividad térmica de la lámina de acero exterior

L<sub>3</sub> espesor de la lámina de acero exterior

T<sub>in</sub> la temperatura interior de la cabina de pintura

T<sub>ex</sub> temperatura del medio

Q<sub>5</sub> calor perdido por la puerta principal.

**Reemplazando en la ecuación**

$$Q_5 = \frac{60C - 15^\circ C}{\frac{1}{(0.37 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C) * (0.35 \text{ m}^2)} + \frac{0.002}{(50.2 \text{ W/m} \cdot ^\circ C) * (0.35 \text{ m}^2)} + \frac{0.02 \text{ m}}{(0.043 \text{ W/m} \cdot ^\circ C) * (0.35 \text{ m}^2)} + \frac{0.002 \text{ m}}{(50.2 \text{ W/m} \cdot ^\circ C) * 0.35 \text{ m}^2}}$$

**Q<sub>5</sub> = 4.97 W**

**Calor perdido por el piso**

**Área del piso**

$$\text{Á}_{\text{piso}} = a * l$$

**Dónde:**

a ancho del piso

l largo del piso

**Reemplazando en la ecuación**

$$A_{\text{piso}} = 0,8 \text{ m} * 1,05 \text{ m} = 0,84 \text{ m}^2$$

$$Q_6 = \frac{T_{in} - T_{ex}}{\frac{1}{h_1 * A} * \frac{L_1}{K_1 * A} * \frac{1}{h_2 * A} * \frac{L_2}{K_2 * A}}$$

**Dónde:**

h<sub>1</sub> coeficiente de transferencia de calor por convección

$h_2$  coeficiente de transferencia de calor por convección entre las láminas

$K_1$  conductividad térmica de la lámina de acero 1

$K_2$  conductividad térmica de la segunda lamina de acero

A área del piso

$L_1$  espesor de la lámina 1

$L_2$  espesor de la lámina de acero 2

$T_{in}$  la temperatura interior de la cabina de pintura

$T_{ex}$  temperatura del medio

$Q_6$  calor perdido del piso del prototipo.

### Reemplazando en la ecuación

$$Q_6 = \frac{60C - 15^\circ C}{\frac{1}{(0.37 W/m^2 * ^\circ C) * (0.84m^2)} + \frac{0.002}{(50.2 W/m * ^\circ C) * (0.84m^2)} + \frac{1}{(0.37 W/m^2 * ^\circ C) * (0.84m^2)} + \frac{0.002m}{(50.2 W/m * ^\circ C) * 0.84m^2}}$$

$$Q_6 = 6.99 \text{ W}$$

### Potencia del calentador que requerirá el prototipo

La potencia de las resistencias eléctricas se puede calcular a partir de la siguiente formula

$$Q_7 = (Q_a + Q_c) / t$$

Dónde:

$Q_7$  potencia de las resistencias eléctricas

$Q_a$  calor requerido para calentar el aire

$Q_c$  calor requerido para calentar la pieza de auto

t tiempo que se empleara para secar la pieza de auto en segundos

$$Q_7 = (23kJ + 1816kJ) / 1500s$$

$$Q_7 = 1,22 \text{ kJ}$$

### **Construcción de la estructura del prototipo.**

La estructura del prototipo abarca las paredes, techos y suelo han sido elaborados siguiendo el diseño, análisis y selección de materiales.

**Figura 25: Estructura del prototipo**



**Fuente: Autores**

#### **5.9.1. Ensamblaje de las paredes, techo y suelo.**

Las láminas de tol han sido colocadas interna y externamente alrededor de los tubos (mediante soldadura) que forman la estructura. Para un evitar las pérdidas de aire y tener un equipo totalmente hermético se colocó silicona en las uniones de las láminas de acero.

El suelo en el diseño original será de concreto, en el prototipo por diversos motivos no se podrá realizar el suelo de ese material por tal motivo será construido con el mismo material de las paredes y techo exceptuando la fibra de vidrio.

**Figura 26: Ensamblaje del prototipo**



**Fuente: autores**

### **5.9.2. Colocación del aislante térmico**

La fibra de vidrio será utilizado como aislante térmico esta decisión fue toma ya que este material posee un alta resistencia térmica al ser un material con una baja conductividad térmica, manteniendo a espacios cerrados con el temperatura constante y evitando las pérdidas de calor al exterior también eso conlleva un importante ahorro energético.

**Figura 27: Colocación de la fibra de vidrio**



**Fuente: Autores**

### **5.9.3. Diseño del sistema de distribución de aire o ductos.**

Los ductos han sido elaborados con un tubo cuadrado de acero galvanizado en forma de Y, este material es usado generalmente en instalaciones donde se trabaja con gases o aire con elevadas temperaturas, este tipo de material ha sido clasificado como M0, esto quiere decir que es un material incombustible. Todas las uniones del sistema de ducto se las realizo con soldadura.

**Figura 28: Ductos para la distribución de aire**



**Fuente: Autores**

### **5.9.4. Montaje de sistema de ductos.**

En la unión de los ductos se realizó la soldadura de una plancha de acero galvanizado de

**Figura: Montaje de los ductos**



**Fuente: autores**

5mm de espesor, esta plancha tendrá la función de sujetar al sistema de ventilación la ayuda de pernos de 2 pulgadas e irán anclados a la pared inferior de la cámara.

#### **5.9.5. Construcción de rejillas.**

A lo largo del área del canal donde serán dispuestos los autos, han sido elaboradas rejillas en forma de double pits para la evacuación de las partículas y vapores generados por la aplicación de la pintura.

**Figura 29: Construcción de rejillas**



#### **5.9.6. Instalación de luminarias.**

La iluminación dentro de una cámara de secado es muy importante, gracias a ello el operario encargado de aplicar las capas de pintura tiene una mejor percepción de los detalles y el acabado del auto. Con los factores precedentes a la instalación de las luminarias se crea un ambiente bien iluminado, utilizando mangueras de luz led que son mucho más eficientes energéticamente comparados con otras luminarias.

**Figura 30: Sistema de iluminación del prototipo**



**Fuente: Autores**

### **5.9.7. Instalación del sistema de calefacción.**

El los cálculos realizados anteriormente se pudo deducir que las resistencias deben tener una potencia de 1.22 kJ/s, lastimosamente en el mercado las resistencias solidas secas son de 1000 W (1 kJ/s) por tal motivo se optó por adquirir dos resistencias de dicha potencias, las mismas se encontrarán instalada en la parte superior de la cabina de pintura.

Las resistencias estarán conectadas en serie, esto facilitara su funcionamiento e instalación.

**Figura 31: Sistema de calentamiento**



**Fuente: Autores**

### **5.9.8. Instalación del sistema de control**

Todas las conexiones están contenidas en el panel de control principal con los dispositivos de protección necesarios para su funcionamiento.

El sistema tendrá dos opciones mando manual y mando automático, los mismos que podrán ser seleccionados mediante un selector de tres posiciones

El mando manual constara de tres selectores de dos posiciones, con el primero se controlara el encendido y apagado de las resistencias, el segundo será del ventilador y el tercero de las luces.

**Figura 32: Sistema de control manual**



**Fuente: Autores**

En el mando automático todo será controlado mediante un dispositivo inteligente programable, el mismo que funcionara mediante el rango de temperatura que se le indique (60-70) °C.

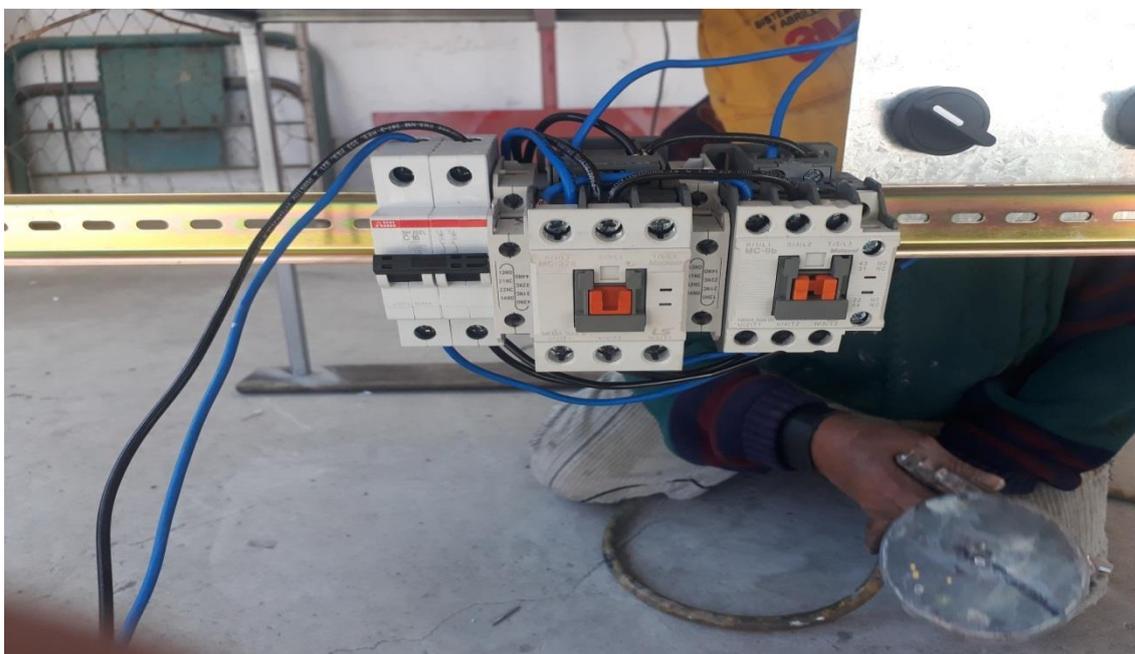
**Figura 33: Mando automático**



**Fuente: Autores**

El sistema de control también contará con dos contactores que estarán conectados a las resistencias y al ventilador

**Figura 34: Contactores del sistema de control**



**Fuente: Autores**

### 5.10. Identificar fallas en el prototipo.

Una que concluyo la fase de construcción del prototipo se procedió a realizar las pruebas de funcionamiento donde se pudo evidenciar un error en la selección de ventilador.

El ventilador seleccionado para realizar el sistema de ventilación estaba hecho de material plástico, al momento de realizar las pruebas al prototipo el ventilador empezó a derretirse con ello se comprobó que no era apto para este tipo de trabajo pese que cumplía con las necesidades del flujo de aire.

Figura 35: ventilador defectuoso



Fuente: Autores

Por tal motivo el ventilador tuvo que ser reemplazado por uno que cumpla con el flujo de aire requerido y de un material mucho más resistente (aluminio)

Figura 36: Ventilador d aluminio



Fuente: Autores

### 5.11. Calcular el tiempo de secado de la pintura.

Para determinar el tiempo de secado se realizaron cinco pruebas en el prototipo.

Tabla 12: Tiempos de secado del prototipo

Pieza de auto	Fecha	Hora inicial	Hora final	Tiempo
Guarda fango	12/07/2019	15:51	16:13	22 minutos
Capot	12/07/2019	16:25	16:49	24 minutos
Guarda choque	13/07/2019	08:30	08:56	26 minutos
Puerta	13/07/2019	09:10	09:41	31 minutos
Compuerta	13/07/2019	09:55	10:20	25 minutos
<b>PROMEDIO</b>				<b>25,6 minutos</b>

Fuente: Autores

### 5.12. Determinar el porcentaje de tiempo optimizado.

Tabla 13: Tiempos de secado en condiciones ambientales

Pieza de auto	Fecha	Hora inicial	Hora final	Tiempo
Guarda fango	12/07/2019	14:51	18:55	244 minutos
Capot	13/07/2019	08:30	12:21	231 minutos
Guarda choque	13/07/2019	08:40	12:42	242 minutos
Puerta	13/07/2019	08:50	12:38	228 minutos
Compuerta	13/07/2019	09:00	12:51	231 minutos
<b>PROMEDIO</b>				<b>235,2 minutos</b>

Fuente: Autores

Realizando el análisis de tiempos se determina que en el horno existe una optimización aproximada del 89% de ahorro de tiempo en el proceso de secado con respecto al mismo proceso en condiciones ambientales no controladas

### 5.13. Determinar la dureza del acabado de pintura en condiciones ambientales y en el horno de pintura.

Para conocer la dureza de los acabados se realizara la prueba al lápiz la misma que consiste en:

Comprobar la dureza de la película de pintura. Es una indicación de la resistencia a la abrasión, el lápiz debe estar con una inclinación de 45°.

Si no hay ningún arañazo en la pintura después de la prueba, se considera que la película de pintura cumple con los requisitos y se considera como “apta”.

La escala de dureza está definida de la siguiente manera

**Tabla 14: Escala de dureza de la película de pintura**

<b>Escala de dureza</b>		
<b>Más blando</b>	<b>Intermedio</b>	<b>Más duro</b>
3B-2B-B	HB	H-2H-3H

Fuente: autores

Como se muestra en la tabla 14 el lápiz 3B indica que la película es de poca resistencia a la abrasión o rajaduras, lo contrario sucede con el 3H el cual indica una alta resistencia a la abrasión.

#### 5.13.1 Durezas del acabado en condiciones ambientales.

Al momento de realizar la prueba de dureza a lápiz se pudo determinar que la pieza pintada en condiciones ambientales presento una abrasión con el lápiz 2H, tal como indica en la figura 38, es decir tiene una dureza de H

**Figura 37: Prueba de dureza de la pieza pintada en condiciones ambientales**



**Fuente: Autores**

### **5.13.2. Dureza del acabado en el horno de pintura**

Al momento de realizar la prueba de dureza a lápiz se pudo determinar que la pieza pintada en el horno no presento abrasión alguna, es decir que su dureza es superior a la pintada en condiciones ambientales tal como indica en la figura 39.

Figura 38: Resistencia de la película de pintura realizada en el horno



Fuente: Autores

## 5.14 Análisis de costos

### 5.14.1. Costos de producción de pintura en condiciones ambientales.

Tabla 15: Costos actuales de producción.

Actividad	Cantidad	Costo
Removedor de lata	1 litro	\$ 5,00
Se lija 360.	3 und	\$1,05
Masilla polifill	2 kg	\$ 12,00
lija #80	3 und	\$1,05
Masilla roja	1 litro	\$6,00
Lija de agua 220	2 und	\$0,70
Se aplica fondo	1 litro	\$9,50
Pintura	3 litros	\$ 144,00
Brillo, barniz	1 litro	\$35,00
Mano de obra	23 horas	\$80,50
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 294,30</b>

Fuente: Autores

### 5.14.2. Costos de producción con el horno de pintura

Tabla 16: Costos de producción con el horno de pintura

Actividad	Cantidad	Costo
Removedor de lata	1 litro	\$ 5,00
Se lija 360.	3 und	\$1,05
Masilla polifill	2 kg	\$ 12,00
lija #80	3 und	\$1,05
Masilla roja	1 litro	\$6,00
Lija de agua 220	2 und	\$0,70
Se aplica fondo	1 litro	\$9,50
Pintura	2,5 litros	\$ 120,00
Brillo, barniz	1 litro	\$35,00
Mano de obra	17 horas	\$59,50
Energía eléctrica		\$1,69
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 250,99</b>

Fuente: Autores

Teniendo los costos de producción se pudo determinar que el horno de pintura le representa a la empresa un ahorro de 43,31 dólares por auto es decir un 14,73%.

## 6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS.

### 6.1. Presupuesto.

Para determinar el costo total del proyecto se debe tomar en cuenta los costos directos e indirectos que intervienen en el mismo.

**Tabla 17: Costo de materiales para las paredes laterales.**

<b>Costos de materiales de paredes laterales.</b>			
<b>MATERIAL</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
Lamina de acero 2 mm (1,20x2,40)	30	\$25	\$ 750,00
Fibra de vidrio plancha (1,20x0,60)	54	\$4	\$216,00
Disco de corte	6	\$1,50	\$9,00
Electrodo E6011 (libras)	10	\$1,80	\$18,00
Remaches 3/16*1/2 (72 por plancha)	2160	\$0,02	\$43,21
Mega Grey	8	\$3,20	\$25,60
<b>TOTAL</b>			<b>\$1227,81</b>

**Fuente: Autores**

**Tabla 18: Costo de los materiales para de pared del fondo**

<b>Costos de materiales de la pared del fondo.</b>			
<b>MATERIAL</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
Lamina de acero 2 mm (1,20x2,40)	10	\$25,00	\$250,00
Fibra de vidrio (1,20x0,60)	17	\$4,00	\$68,00
Disco de corte	2	\$ 1,50	\$3,00
Electrodo	3	\$1,80	\$5,40
Remaches 72 por plancha	648	\$0,02	\$12,96
Mega Grey	3	\$ 3,20	\$9,60
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 348,92</b>

Fuente: Autores

**Tabla 19: Costo de los materiales del techo**

<b>Costos de materiales para el techo.</b>			
<b>MATERIAL</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
Lamina de acero 2 mm (1,20x2,40)	20	\$25,00	\$500,00
Fibra de vidrio (1,20x0,60)	40	\$4,00	\$160,00
Disco de corte	3	\$1,50	\$4,50
Electrodo	5	\$1,80	\$9,00
Remaches	1440	\$0,02	\$28,80
Silicona	4	\$3,20	\$12,80
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 714,30</b>

Fuente: Autores

**Tabla 20: Costo de materiales para las puertas y pared frontal.**

<b>Costos de materiales para las puertas y pared frontal.</b>			
<b>MATERIAL</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
Lamina de acero 2 mm (2,40x1,20)	8	\$25,00	\$200,00
Fibra de vidrio (1,20x0,60)	16	\$4,00	\$64,00
Disco de corte	4	\$1,50	\$6,00
Electrodo	4	\$1,80	\$7,20
Remaches	576	\$0,02	\$11,52
Mega Grey	4	\$3,20	\$12,80
Vidrio 6mm	0,5m <sup>2</sup>	\$40,00	\$40,00
Gonces de ½	8	\$ 1,25	\$10,00
Chapa	2	\$23,00	\$46,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$397,52</b>

Fuente: Autores

**Tabla 21: Costo de los materiales para la estructura**

<b>Costos de materiales para la estructura.</b>			
<b>MATERIAL</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
Tubo de cuadrado de 4 plg y 3mm de espesor (104m)	18	\$30,00	\$540,00
Disco de corte	6	\$1,50	\$9,00
Electrodos	15	\$1,80	\$ 27,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 576,00</b>

Fuente: Autores

**Tabla 22: Material para la ventilación.**

<b>Costos de materiales para los ductos de ventilación.</b>			
<b>MATERIAL</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR R UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
Lamina de acero de 2 mm (1,20x2,40)	6	\$25,00	\$150,00
Disco de corte	3	\$1,50	\$4,50
Electrodos	6	\$1,80	\$10,80
Mega grey	4	\$3,20	\$12,80
<b>TOTAL</b>			<b>\$178,10</b>

**Fuente: Autores**

**Tabla 23: Material eléctrico**

<b>Costos de materiales eléctricos y de control.</b>			
<b>MATERIAL</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
Cable flexible 12	26 metros	\$0,30	\$7,80
Luminarias	26 tubos	\$10	\$260,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$267,80</b>

**Fuente: Autores**

**Tabla 24: Material del sistema del control**

<b>Costos de materiales del sistema de control.</b>			
<b>MATERIAL</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
Contactador LG MC 32	1	\$34,37	\$34,37
Contactador LG MC 9	1	\$15,32	\$15,32
Termocupla tipo K	1	\$10,42	\$10,42
Ventilador y motor	1	\$450,00	\$450,00
Resistencias eléctricas de 5 kW	3	\$32,46	\$97,38
Controlador digital	1	\$72,00	\$72,00
Selectores.	4	\$2,05	8,20
Pulsador de emergencia	1	\$2,84	\$2,84
Breaker de riel	1	\$13,74	\$13,74
<b>TOTAL</b>			<b>\$704,27</b>

Fuente: Autores

**Tabla 25: Costos relacionados al proyecto**

<b>Otros costos</b>	
<b>MATERIAL</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
Mano de obra	\$ 800,00
Transporte	\$100,00
Almuerzos	\$45,00
Impresiones	\$50,00
Anillados	\$5,00
Internet.	\$10,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$1010,00</b>

Fuente: Autores

**Tabla 26: Resumen de los costos**

<b>CLASIFICACIÓN DE LOS COSTOS</b>	
<b>Costos directos</b>	
<b>Costo</b>	<b>Valor</b>
Costos de materiales de paredes laterales.	<b>\$1227,81</b>
Costos de materiales de la pared del fondo	<b>\$ 348,92</b>
Costos de materiales para el techo.	<b>\$ 714,30</b>
Costos de materiales para las puertas y pared frontal.	<b>\$397,52</b>
Costos de materiales para la estructura.	<b>\$ 576,00</b>
Costos de materiales para los ductos de ventilación	<b>\$178,10</b>
Costos de materiales eléctricos.	<b>\$267,80</b>
Costos de materiales del sistema de control.	<b>\$704,27</b>
Mano de obra	<b>\$ 1200,00</b>
<b>Costos indirectos</b>	
Otros costos	<b>\$210,00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 5824.74</b>

Fuente: Autores

## **6.2. Consumo energético.**

Para el cálculo del consumo eléctrico se debe tomar en cuenta algunos factores los cuales se detallan a continuación.

- Costo de kWh \$ 0.10
- Potencia de las resistencias eléctricas 15kW
- Potencia del ventilador 0,75 kW
- Potencia de las luminarias 0,94 kW

- Tiempo de encendido por uso 60 minutos

Mediante el análisis de los diferentes elementos que intervienen en la fabricación del horno a tamaño real se puede establecer la potencia real del horno.

$$P_{\text{real}} = P_{\text{re}} + P_{\text{ve}} + P_{\text{lum}} \quad \text{Ecu (21)}$$

Dónde:

$P_{\text{real}}$  potencia de la cámara de pintura

$P_{\text{re}}$  potencia de las resistencias eléctricas

$P_{\text{ve}}$  potencias del ventilador

$P_{\text{lum}}$  potencia de las luminarias

### Reemplazando en la ecuación

$$P_{\text{real}} = 15\text{kW} + 0,75\text{kW} + 0,94\text{kW}$$

$$P_{\text{real}} = 16,69 \text{ kW}$$

Calculo del consumo eléctrico

$$C_{\text{elec}} = P_{\text{real}} * t * \text{días} * \text{costo} \quad \text{Ecu (22)}$$

**Dónde:**

$C_{\text{elec}}$  consumo eléctrico.

$P_{\text{real}}$  potencia de la cámara de pintura

t tiempo de encendido por cada uso.

Días de uso al mes

costo del kWh

### Reemplazando en la ecuación.

$$C_{\text{elec}} = 16,69 \text{ kW} * 1 \text{ h} * 12 * 0,10 \text{ \$/kWh} = \$ 20,03$$

## 6.3.Periodo de recuperación

Tomando en cuenta que el ahorro en materiales y mano de obra asciendo a \$43,31 dólares por auto el periodo de recuperación se puede determinar a partir de la siguiente formula,

$$P_{\text{recuperacion}} = \frac{\text{Costo de implementacion}}{\text{ahorro} * \# \text{autos}_{\text{año}}}$$

Ecu (23)

$$P_{\text{recuperacion}} = \frac{\$5824,74}{\$43,31 * 144}$$

$$P_{\text{recuperacion}} = 0,93 \text{ años}$$

#### 6.4. Cronograma.

Tabla 27: Cronograma de actividades

Actividad	SEMANA															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Recopilar información sobre la normativa técnica para la construcción de cámaras de pintura.																
Definir las dimensiones de la cabina de pintura. ´																
Diseñar el sistema de iluminación																
Realizar el diseño la cámara de pintura en el software inventor.																

Fuente: autore

Selección del calentador de aire (secador) útil para el proceso																
Determinar el tipo de sistema de control de temperatura que se va a utilizar en el horno.																
Incorporación de sensor de temperatura.																
Adquirir los materiales y equipos a utilizar para la construcción del secador.																
Armar el prototipo.																
Identificar fallas en el prototipo																

Calcular el tiempo de secado de la pintura.																		
Determinar el porcentaje de tiempo optimizado.																		
Determinar la calidad del acabo realizado en ambas condiciones																		

## **6.5. Análisis de impactos**

### **6.5.1. Impactos técnicos**

El diseño del horno de pintura en la empresa TALLERES TERÁN permitirá una reducción significativa del tiempo de secado y permitirá mejorar la calidad del acabado de pintura en los autos lo que permitirá aumentar la producción diaria y mantendrá al cliente satisfecho

### **6.5.2. Impactos sociales**

Mediante el diseño de un horno de pintura, la empresa generara un servicio de calidad para satisfacer las necesidades de los clientes, de la par con sistema de seguridad los trabajadores estarán con todos los implementos para laborar dentro del horno de pintura con ello se garantizara la salud de los colaboradores

### **6.5.3. Impacto ambiental**

Contribuye en el ámbito ambiental ya que cuenta con un sistema de filtros el evitara que las partículas de pintura sea libradas al medio ambiente. También el presente horno es cien por ciento eléctrico por tal motivo se evita la quema de combustibles fósiles

### **6.5.4. Impacto económico**

A nivel económico el servicio de pintura será más factible ya que al realizar el estudio de un diseño de un horno de pintura disminuirá el tiempo de secado de pintura existirá un ahorro de mano de obra para la empresa ya que el proceso se realizará más rápido y con mejor calidad esto hace que los costos de producción disminuya.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. Conclusiones.

- Mediante la investigación bibliográfica sobre los principales fabricantes de hornos de pintura LAUNCH IBERICA Y BOSH, se pudo establecer los criterios fundamentales en el diseño y construcción de hornos de pintura industriales.
- Para el diseño de la cámara de pintura se utilizó en software de diseño AUTOCAD 3D, que permitió dimensionar y ubicar los diferentes elementos que constituyen el horno. Finalmente con planos de detalle se procedió a la construcción en base al diseño propuesto.
- El sistema de control de temperatura seleccionado permite mantener un rango de temperatura constante con una precisión de  $\pm 5$  C lo que facilita mantener una temperatura homogénea de la pieza y de esta forma garantizar la calidad en el proceso de curado del elemento trabajado.
- Mediante la construcción de prototipo físico escalado se pudo validar y verificar el funcionamiento adecuado de todos sus componentes y comprobar el desempeño del controlador de temperatura.
- Para validar el funcionamiento del prototipo se realizaron diferentes ensayos en los que se pudo determinar ciertas falencias que presentó el prototipo. Debido al calor producido por las resistencias eléctricas el ventilador plástico presentó deformaciones en su estructura por lo que se reemplazó por un ventilador de composición metálica de aluminio; además se pudo establecer el rango de funcionamiento del controlador de temperatura que permitirá automatizar el proceso de curado en las piezas a trabajar.
- En función del análisis de costos de construcción y fabricación del horno de pintura se pudo concluir que el horno propuesto presenta un ahorro aproximado del 60% en relación con hornos de pintura disponibles en el mercado, lo que permite evidenciar un posible emprendimiento en cuanto a la producción de cámaras de pintura para distribución nacional.

- Al comparar el proceso de secado en condiciones ambientales con un tiempo total de secado 235,2 minutos es decir 3,92 horas, el prototipo tardo 26 minutos en el mismo proceso; entonces se optimizo el tiempo de secado en 209,2 minutos.
- El trabajar en un ambiente térmicamente controlado permitió tener un mejor acabado de las piezas pintadas debido a que en este procedimiento se elimina partículas de polvo, microfibras, chorreo de pintura en zonas específicas de la pieza, aumentando el brillo en el acabo final, garantizando el trabajo y brindando mayor satisfacción al cliente

## **7.2. Recomendaciones.**

- En base al estudio realizado se recomienda la implementación de la cámara de pintura en la empresa TALLERES TERÁN ya que presenta beneficios económicos y de calidad en sus servicios.
- Para la construcción real de la cámara de pintura se recomienda instalar un extractor de olores con filtro, ubicado en la parte superior del horno que permitirá garantizar la salud del trabajador sin perjudicar el medio ambiente.
- Tener un espacio disponible dentro de la cámara de pintura para la preparación de la mezcla de diluyentes, fondos, lacas y brillo, lo que evitara la transferencia de calor perdido hacia el medio debido a la salida del operario para cargar el soplete

}

## 8. BIBLIOGRAFÍA.

- Acsin. (2010). *MANUAL DE PINTURA AUTOMOTRIZ*,. Brasilia.
- Ambiente, S. d. (2018). *Calidad del aire*. Quito.
- Arian. (2014). *¿Que són y como funcionan las termocuplas ?* Bogota.
- autocrash. (2017). Identificacio de acabados. *autocrash*, 3-5.
- Ayo, G. (2013). Iluminacion en una cabina de pintura. *Historico Noticias*, 2-4.
- AzcoNobel. (2016). Condiciones meteorologicas . *Yachtpaint*, 1.
- Barrientos, F. (2016). *Los solubles* . Lima.
- BOSH. (2015). *Hornos de Pintura*. Munich: German Book Publishers.
- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de Calor y masa*. Reino Unido: Taylor & Francis.
- Escoda, S. (2016). manual practico de ventilacion. *Rosello*, 3-5.
- ESPE. (2010). *Diseño y construccion de un horno de pintura*. Latacunga.
- Gallegos, S. (2013). *Horno de Pintura*. Ibarra: Universidad Tecnica del Norte.
- Garcia, A. J. (2018). Influencia de una reparación de calidad en el área de pintura. *cesvimap*, 1-3.
- Holman, J. (1998). *Transferencia de Calor*. Madrid: Mc Graw-Hill.
- Iberica, L. (2014). *cabinas de pintura*. Barcelona.
- Incropera, F. P., & Witt, D. P. (2000). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. Mexico: Pearson Educacion.
- Kreith, F., & Bohn, M. (2002). *Principios de Transferencia de Calor*. Madrid: Thomson.
- Martin, C. J. (2010). La importancia de los procesos de lijado en el repintado de automóviles. *hemeroteca*, 12-15.
- Moran, M., & Shapiro, H. (1999). *Fundamnetos de Termodinamica Tecnica*. Granada: Ed. Reverte.
- Mujumdar, A. S. (2014). Industrial Transfer Processes. *Singapore*, 12.
- Pelp. (2016). *Mantencion de una cabina de pintura*. Bogota.
- R-M, T. (2010). cabina-hornos de pintura. *Revista tecnica del centro de Zaragosa*, 1-5.
- Segura, J. (1988). *Termodinamica Tecnica*. Granada: Reverte.
- Soriano, J. A. (1999). *Termodinámica Lógica y Motores Térmicos*. Madrid: Mc Graw Hill.
- SRL, W. I. (2013). *filtracion del aire*. California.

Teroson, L. (2017). *Tipos de pintura para coches que se pueden usar en la reparación*. Barcelona.

Transmerquim, G. (2009). *Hoja de datos de seguridad del Thinner*. Mexico.

Tronic, P. (2015). Hornos infrarrojos.

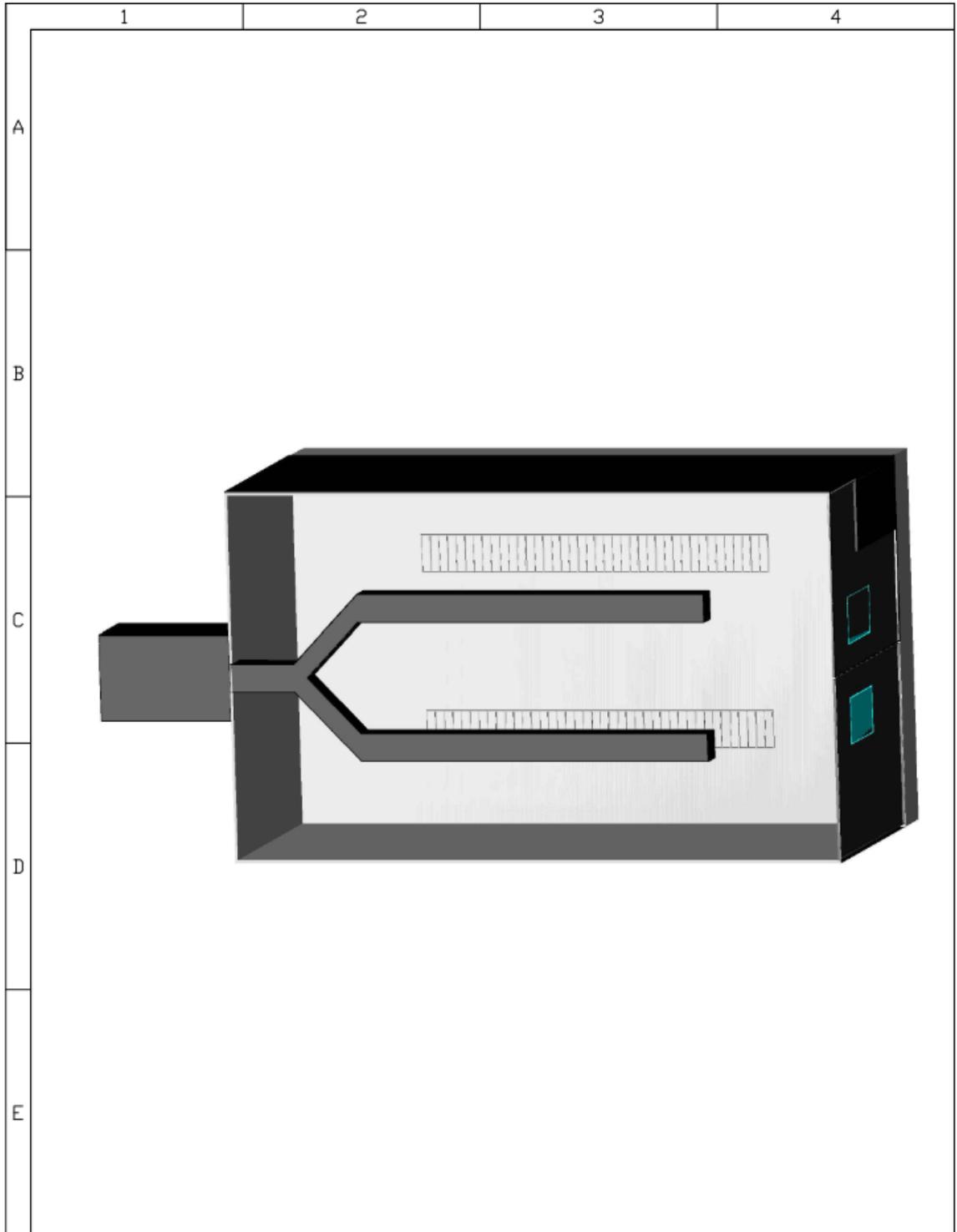
UTA. (2014). *diseño de una camra de secado para cofres mortuorios*. Ambato.

Wark, K., & Richards, D. (2001). *Termodinamica*,. Madrid: Mc Graw-Hill.

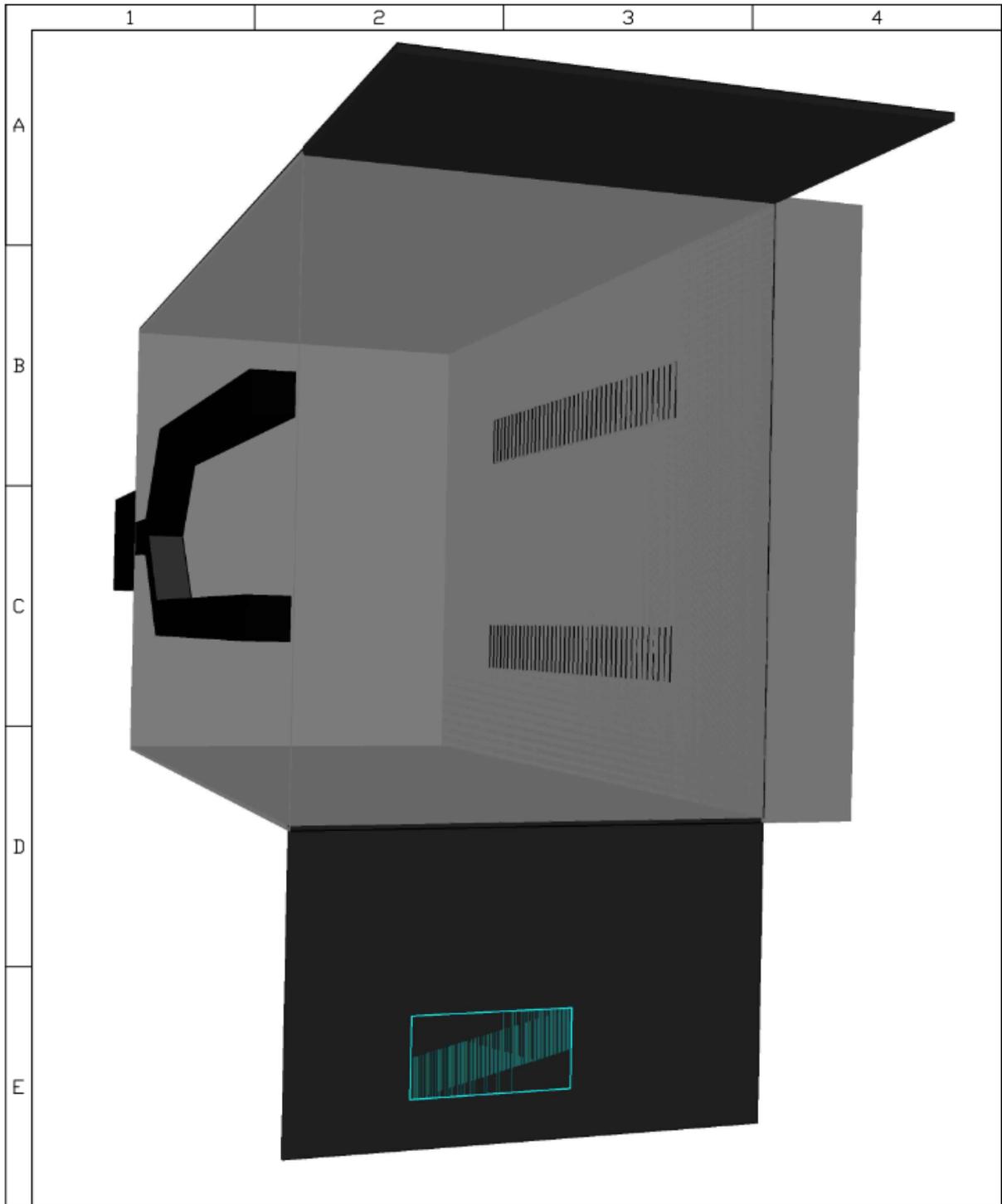
# ANEXO 1

Planos del diseño

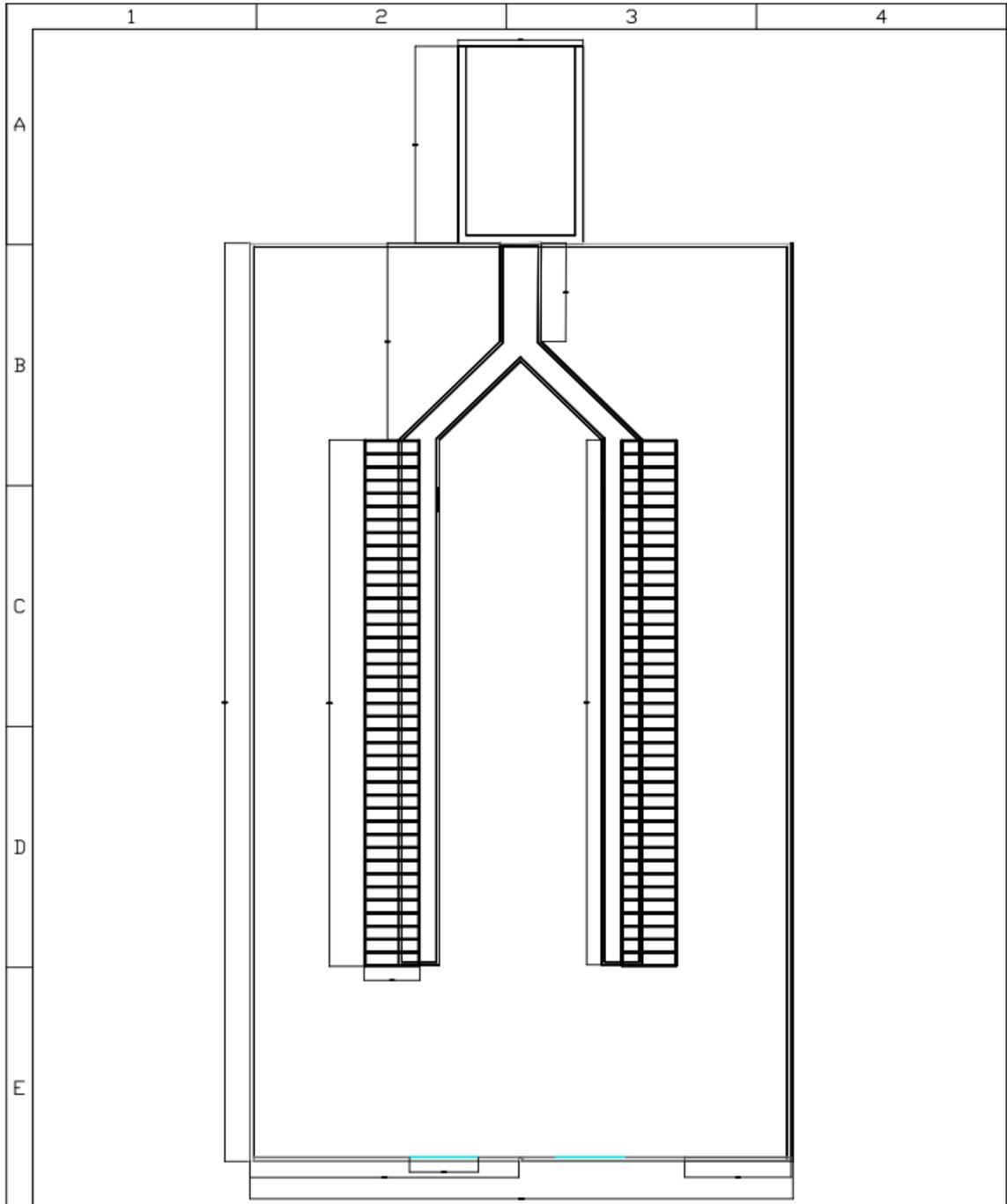




				TOLERANCIA	PESO	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	
				+/-5			
				Fecha	Nombre	CÁMARA DE PINTURA(VISTA SUPERIOR)	ESCALA 1:1
			Dib.	07/07/19	Ing. Cristian Eugenio		
			Rev.	10/07/19	Ing. Cristian Eugenio		
			Apro.	10/07/19	Ing. Cristian Eugenio		
						002	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	



				TOLERANCIA	PESO	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	
				+/-5			
				Fecha	Nombre	CÁMARA DE PINTURA (VISTA FRONTAL CON PUERTAS ABIERTAS)	ESCALA 1:1
			Dib.	07/07/19	Ruidos Moises		
			Rev.	10/07/19	Ing. Cristian Eugenio		
			Apro.	10/07/19	Ing. Cristian Eugenio		
						003	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	



				TOLERANCIA	PESO	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	
				+/-5			
				Fecha	Nombre	CÁMARA DE PINTURA (ACOTADO)	ESCALA
			Dib.	07/07/19	Roldos Moises		1:1
			Rev.	10/07/19	Ing. Cristian Eugenio		
			Apro.	10/07/19	Ing. Cristian Eugenio		
						004	
						Sustitución	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

# ANEXO 2

Ficha técnica de la fibra de vidrio



CÓDIGO:  
19ACL1198

FICHA TÉCNICA

10/2017

## AISLANTE DE FIBRA DE VIDRIO CON TECNOLOGÍA ECOSE®



### DESCRIPCIÓN

#### ROLLOS SIN REVESTIMIENTO

El aislamiento de lana mineral de vidrio está diseñado para ajustarse por fricción entre los elementos del bastidor.

El aislamiento de lana mineral de vidrio sin revestimiento también funciona como un excelente aislamiento de control de sonido, y está diseñado para su instalación en sistemas de muros y plafones interiores y sistemas exteriores.

Cumple con los requisitos de la norma ASTM aliada y las especificaciones federales canceladas: (Norma ASTM C665, Tipo I, Clase A) (Norma HH-I-521F, Tipo I, Clase A) (Norma ASTM E36).

### DATOS TÉCNICOS

#### CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTIÓN DE LA SUPERFICIE

- Los productos sin revestimiento y con revestimiento metálico con clasificación ignífuga (FSK) no exceden una propagación de llama de 25 y una generación de humo de 50 en las pruebas de conformidad con la norma ASTM E 84.
- El revestimiento de papel madera es inflamable y no debe dejarse expuesto.

VALOR DE RESISTENCIA TÉRMICA	UNIDAD Valor R °F x h ft² / Btu	ESPESOR	ANCHO	LARGO
R-8	8	2 1/2" (6.35 cm)	61 cm 40.6 cm	30.48 m
R-11	11	3 1/2" (8.89 cm)	61 cm *40.6 cm	21.49 m
R-19	19	6 1/4" (15.8 cm)	*40.6 cm	11.95 m

\*Pedido especial

### VALOR TÉRMICO

- La resistencia térmica (valor R) se determina con el método de prueba estándar del sector ASTM C 518.

### PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA (ASTM E 96)

- Los productos con revestimiento de papel madera tienen una permeabilidad al vapor de agua de 1,0 o menos.
- Los productos con revestimiento metálico FSK tienen clasificaciones de 0,04.
- Los productos con revestimiento metálico tienen clasificaciones de 0,05.

### SORCIÓN DE VAPOR DE AGUA (ASTM C 1104)

- Menos del 5 % por peso.

### CORROSIÓN (ASTM C 665)

- No mayor que el algodón estéril.

### DESARROLLO MICROBIANO (ASTM C 1338)

- No permite el desarrollo microbiano.

### IGNÍFUGO (ASTM E 136)

- El aislamiento sin revestimiento es ignífugo.

### SUSTENTABILIDAD

Los productos de Knauf Insulation que se usan para aislamiento térmico son carbono negativo, lo que significa que recuperan en tan solo unas horas a unos días, dependiendo de la aplicación, la energía que se consumió para fabricarlos. Una vez instalado y en funcionamiento, el producto continúa ahorrando energía y reduce la generación de carbono.

El aislamiento de lana mineral de vidrio con tecnología ECOSE tiene tres componentes principales:

- Arena, uno de los recursos más abundantes del mundo.
- Vidrio de botellas recicladas.
- Tecnología ECOSE, que reduce la energía incorporada de los aglutinantes en hasta un 70 % y la energía total incorporada del producto en hasta un 4%.

### CALIDAD

La producción en línea se somete a pruebas periódicas para asegurar que los productos de Knauf Insulation ofrezcan el rendimiento térmico indicado o, incluso, mejor cuando se instalan de manera adecuada con el espesor indicado en el rótulo.

### SEGURIDAD E HIGIENE

El aislamiento de lana mineral de vidrio evita la formación de moho. Sin embargo, el moho puede aparecer prácticamente en cualquier material que tenga humedad y contaminación. Revise con atención los aislamientos que se hayan expuesto al agua.

Si muestran algún signo de moho, deben desecharse. Si el material está húmedo, pero no tiene signos de moho, debe secarse por completo e inmediatamente. Si el revestimiento tiene signos de degradación a causa de humedad, debe reemplazarse.

### TECNOLOGÍA ECOSE

La tecnología ECOSE es un producto químico aglutinante revolucionario que hace que los productos de Knauf Insulation sean más sostenibles que nunca. Se basa en materiales biológicos de renovación rápida y no sustancias químicas no renovables derivadas del petróleo que se usan tradicionalmente en productos aislantes de lana mineral de vidrio. La tecnología ECOSE reduce la energía incorporada de los aglutinantes y no contiene fenoles, formaldehídos, acrílicos ni colores artificiales.

### RENDIMIENTO TÉRMICO

La resistencia térmica (valor R) del aislamiento tipo manta solo está certificada como se indica anteriormente cuando se mide a una temperatura media de 24 °C (75 °F) y cuando se somete a las tolerancias de fábrica y de prueba.

01800 71 75252

atencion@knauf.mx

www.knauf.mx

**Advertencia:** El fabricante no se hace responsable por daños o accidentes derivados u ocasionados por el uso incorrecto de sus productos, exclusivamente asume responsabilidad sobre la calidad del producto terminado. Cualquier garantía de fabricación o certificado, así como cualquier propiedad publicada en el presente documento dejará de ser válido si el producto sufre alteraciones ocasionadas por: almacenaje, manejo, instalación, o uso inapropiado del producto y/o de sus complementos, daños ocasionados por fenómenos naturales, exposición del producto a la intemperie por más de 24 horas, mezclas o combinaciones con productos fuera de especificación, accidentes que pudieran afectar al producto durante su transporte, almacenaje o uso, o cualquier evento que incida en el empaque, pallet, o directamente al producto. [Producto de importación.](#)

# ANEXO 3

Ficha técnica del ventilador a usar

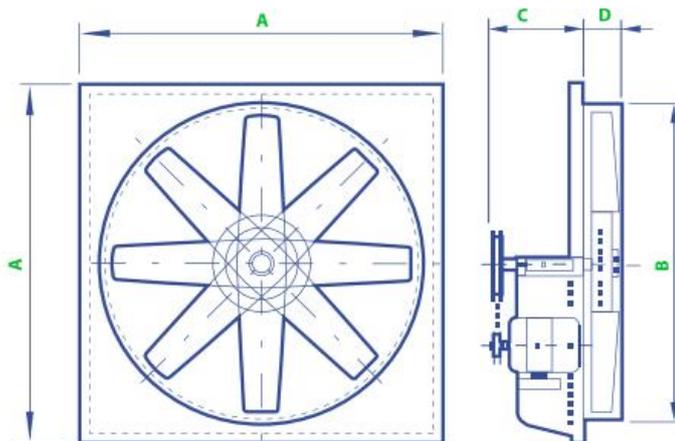
# VENTILADORES AXIALES

## Serie EH



### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y DIMENSIONALES

MODELO	CAUDAL DE AIRE	POT. MOTOR	REV. ASPA	DIMENSIONES EN mm.			
				A	B	C	D
E -775 - 3M - 35°	13.000 mc/h	0,5 HP	800 rpm	925	800	350	120
	16.500 mc/h	1 HP	1.000 rpm				
	20.000 mc/h	1,5 HP	1.200 rpm				
E -900 - 6M - 30°	13.600 mc/h	0,5 HP	600 rpm	1.050	925	350	120
	19.000 mc/h	1 HP	800 rpm				
	24.000 mc/h	2 HP	1.000 rpm				
E -1.200 - 8B - 30°	21.000 mc/h	1 HP	500 rpm	1.500	1.240	380	130
	26.000 mc/h	2 HP	600 rpm				
	30.000 mc/h	2 HP	700 rpm				



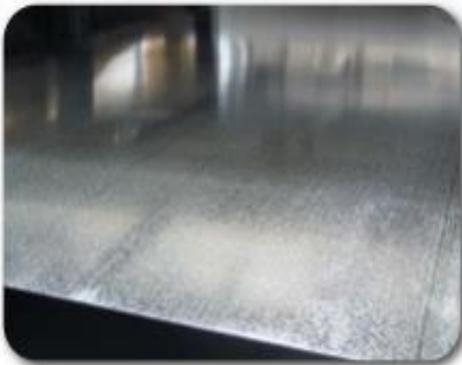
**Airprotek**

Cda. Sta. Adriana, Mz. 9 - SL 17, Av. Juan Tanca Marengo Km. 6,5  
Guayaquil - Ecuador ■ 593(4) 3081990 - 3081821 ■ [www.airprotek.com.ec](http://www.airprotek.com.ec)

# ANEXO 4

Ficha técnica de las planchas galvanizadas

## PLANCHAS GALVANIZADAS



### Especificaciones Generales

<b>Acero base</b>	Calidad Comercial o según tabla de Laminado en Frío
<b>Norma</b>	ASTM A653 (Norma de recubrimiento)
<b>Espesores</b>	0.30mm a 2.90mm
<b>Rolls</b>	X 1219mm y por flejes
<b>Planchas</b>	4 X 8 pies y medidas especiales
<b>Flor</b>	Regular Mínima Zero

PLANCHAS

Recubrimiento	(Total ambas caras)	
	oz / pie <sup>2</sup>	gr / m <sup>2</sup>
G-40	40	120
G-60	60	180
G-90	90	270

Producto / Mercado	Comercial, Construcción y Edificios	Industrial	Línea Blanca	Automotriz
Lámina Galvanizada	Techos y paredes, periferia y tubería en general, pines, soportes de cielo falso, ductos de aire, silos para almacenar granos, accesorios para construcción, cortinas metálicas, señalizaciones de carretera, estructuras, techos y soportes de establecimientos,	Aire acondicionado, ventiladores de techo y ventana, tapas, extractores de humo, casas móviles, ductos, bisagras, recipientes, cajas eléctricas, pizarrones electrónicos, motores, láminas, etc.	Respaldo de refrigeradores, estufas y lavadoras, soportes, bases, uniones, esquineros y accesorios de fijación y otras partes no expuestas, etc.	Motors, uniones, soportes, pisos, carter, guantera, portaestéreos, cinchas y otras partes no expuestas, etc.

# ANEXO 5

Ficha técnica de los tubos cuadrados

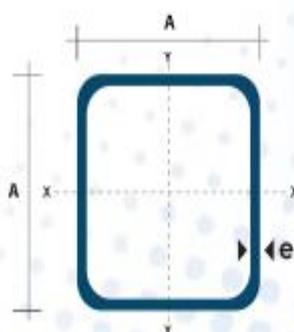
## TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO



### Especificaciones Generales

<b>Calidad</b>	ASTM A-500
<b>Recubrimiento</b>	Negro o Galvanizado
<b>Largo Normal</b>	6,00 m
<b>Otros Largos</b>	Previa Consulta
<b>Dimensiones</b>	Desde 20,00 mm a 100,00 mm
<b>Espesor</b>	Desde 1,20 mm a 5,00 mm

**TUBERÍA**



Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm <sup>3</sup>
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,87
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,28	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,81	35,08	11,89	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	18,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	178,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84

# ANEXO 6

Fotografías de la construcción del prototipo

















# ANEXO 7

MANUAL DE MANTENIMIENTO

El correcto funcionamiento de la cabina de pintura depende de varios factores y considerando que es una máquina que se deteriora con el funcionamiento se establece tabla de mantenimiento periódico a las 250 horas de trabajo.

OPERACIÓN.	TIEMPO DE USO			
	250 h	600 h	1200 h	1700 h
Limpiar paredes	X	X	X	X
Limpiar rejillas del suelo	X	X	X	X
Limpiar lámparas	X	X	X	X
Reemplazar lámparas			X	
Revisar empaques de puerta y vidrios	X	X	X	X
Reemplazar empaques de puerta y vidrios			X	
Revisar filtros de ducto de ingreso	X	X	X	X
Reemplazar filtro de ducto de ingreso			X	
Revisar correas de motores de impulsión	X	X	X	X
Reemplazar correas de motores			X	
Revisar cojinetes de ventiladores	X	X	X	X
Reemplazar cojinetes de motores				X
Revisar-limpiar ducto de ingreso y salida	X	X	X	X
Revisar resistencias eléctricas	X	X	X	X
Reemplazar resistencias eléctricas		X	X	

