



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**DISEÑO DE UN SISTEMA INTERCAMBIADOR DE CALOR
PARA EL PROCESO DE SECADO DE PINTURA DE
CARROCERÍAS EN LA EMPRESA CRGT AUTOMOTRIZ.**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECATRÓNICO**

DANILO BOLÍVAR GUALOTO TUPIZA

DIRECTOR: ING. LUIS HIDALGO Msc.

Quito, agosto 2020

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2020
Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1720982626
APELLIDO Y NOMBRES:	Gualoto Tupiza Danilo Bolívar
DIRECCIÓN:	Av. Carlos Mantilla y Av. San Luis
EMAIL:	dani_ht1990@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	022820949
TELÉFONO MOVIL:	0995017414

DATOS DE LA OBRA	
TITULO:	Diseño de un sistema intercambiador de calor para el proceso de secado de pintura de carrocerías en la empresa CRGT Automotriz.
AUTOR O AUTORES:	Danilo Bolívar Gualoto Tupiza
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Agosto- 2020
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Luis Hidalgo Msc.
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	<p>El presente proyecto de titulación básicamente tiene como objetivo principal transformar la cabina de pintura de la empresa CRGT Automotriz en una cabina de horno, quedando relegadas las labores convencionales por el alto consumo de energía eléctrica al utilizar niquelinas en su interior, naciendo la necesidad de la empresa de no solo tener una cabina de pintura, sino también la posibilidad de contar con un sistema intercambiador de calor con la finalidad de mejorar los acabados automotrices.</p>

Previa al diseño del sistema intercambiador de calor se realizó un estudio de los sistemas necesarios como es ventilación, calefacción e iluminación con la finalidad de seleccionar la mejor alternativa de acuerdo al desarrollo tecnológico del país, para lo cual se seleccionó el software SolidWorks para el rediseño de sus partes, obteniendo medidas y dimensiones para la fabricación y simulación; El tipo de transferencia de calor es por convección, de la misma manera se seleccionó un aislamiento térmico tipo fibroso; El sistema de ventilación es de tipo mecánica donde se utilizó dos impulsores y un extractor de aire; El sensor de temperatura es de tipo infrarrojo, El sistema de control será de modo manual y automático utilizando un PLC Siemens S7-1200 y su software de programación TIA Portal; El tipo de iluminación se desarrolló en el software Dialux obteniendo la mejor alternativa luminaria tipo Led de flujo luminoso de 787 luxes en el área de pintado, El tipo de la cabina diseñada es de flujo vertical y la energía utilizada para el generador de calor está compuesto por dos quemadores tipo diésel el cual fue un requerimiento del cliente.

El funcionamiento será controlado mediante un circuito eléctrico y de control donde se accionarán los ventiladores, extractores de sustancias inflamables producidas en el proceso de pintado, control on/off y temperatura deseada; En el proceso de pintado deberá alcanzar y mantenerse en una temperatura de 20°C, mientras que en el proceso de secado de pintura alcanzará y se mantendrá en 60°C .

Finalmente se realizó un análisis económico para ver la viabilidad de la implementación y recuperación de la inversión.

PALABRAS CLAVES:

Niquelinas, intercambiador de calor, horno, ventiladores, extractores, aislamiento térmico.

ABSTRACT:

The main aim of this titling project is to transform the paint booth of the company

CRGT Automotriz into a kiln booth, with conventional work being relegated due to the high consumption of electrical energy when using nickel-ins inside, resulting in the need for company not only have a paint booth, but also the possibility of having a heat exchanger system in order to improve automotive finishes.

Prior to the design of the heat exchanger system, a study was made of the necessary systems such as ventilation, heating and lighting in order to select the best alternative according to the technological development of the country, for which the SolidWorks software was selected for the redesign of its parts, obtaining measurements and dimensions for manufacturing and simulation; The type of heat transfer is by convection, in the same way a fibrous type thermal insulation was selected; The ventilation system is mechanical type where two impellers and one air extractor were used; The temperature sensor is of infrared type. The control system will be manually and automatically using a Siemens S7-1200 PLC and its TIA Portal programming software; The type of lighting was developed in the Dialux software obtaining the best alternative Led luminaire type luminous flux of 787 luxes in the painting area, The type of the cabin designed is vertical flow and the energy used for the heat generator is composed by two diesel type burners which was a requirement of the customer.

The operation will be controlled by an electrical and control circuit where the fans will be activated, extractors of flammable substances produced in the painting process, on / off control and desired temperature; In the painting process, it must reach and maintain a temperature of 20 ° C, while in the process of painting drying it will reach and maintain in 60 ° C.

Finally, an economic analysis was carried out to see the feasibility of the implementation and recovery of the investment.

KEYWORDS

Nickel, heat exchanger, furnace, fans, extractors, thermal insulation.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



f: _____

GUALOTO TUPIZA DANILO BOLÍVAR

C.I 1720982626

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **GUALOTO TUPIZA DANILO BOLÍVAR**, CI: 1702982626 autor del proyecto titulado: DISEÑO DE UN SISTEMA INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA EL PROCESO DE SECADO DE PINTURA DE CARROCERÍAS EN LA EMPRESA CRGT AUTOMOTRIZ previo a la obtención del título de **INGENIERO EN MECATRÓNICA** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 20 de octubre de 2020.



GUALOTO TUPIZA DANILO BOLÍVAR

C.I: 1702982626

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, **GUALOTO TUPIZA CRISTIAN RODRIGO** con cédula de identidad N.-1717630279 en calidad de Gerente General de CRGT AUTOMOTRIZ autorizo al Sr. **GUALOTO TUPIZA DANILO BOLIVAR**, realizar la investigación para la elaboración de su proyecto de titulación “**DISEÑO DE UN SISTEMA INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA EL PROCESO DE SECADO DE PINTURA DE CARROCERIAS EN LA EMPRESA CRGT AUTOMOTRIZ**”, por requerimientos, y basada en la información proporcionada por la empresa, Los resultados del trabajo se entregaron el día 20 de julio de 2020.



Ing. Gualoto Tupiza Cristian Rodrigo

GERENTE GENERAL CRGT AUTOMOTRIZ

C.I.1717630279

DECLARACIÓN

Yo **GUALOTO TUPIZA DANILO BOLÍVAR**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

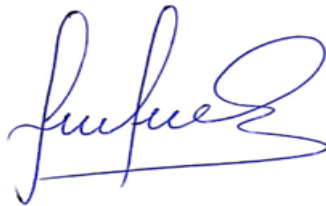


GUALOTO TUPIZA DANILO BOLÍVAR

C.I: 1702982626

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**DISEÑO DE UN SISTEMA INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA EL PROCESO DE SECADO DE PINTURA DE CARROCERÍAS EN LA EMPRESA CRGT AUTOMOTRIZ.**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero en Mecatrónica** fue desarrollado por **GUALOTO TUPIZA DANILO BOLÍVAR**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



Ing. Luis Hidalgo Msc.
DIRECTOR DEL TRABAJO
C.I.1707721435

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación dedico a mis padres, Rodrigo Gualoto y Matilde Tupiza por el constante esfuerzo y apoyo incondicional que me han brindado durante todo el proceso de estudio, los cuales se han convertido en el gran ejemplo a seguir, no solo por mí, sino por todos mis hermanos.

A mis hermanos que me han sido un motor fundamental en mi vida, que me han sabido demostrar que la perseverancia, dedicación y mucho esfuerzo se logra objetivos inalcanzables.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme salud y vida, a mis padres por toda la comprensión y apoyo incondicional, quienes supieron inculcarme buenos valores.

A mi hermano Cristian por haberme brindado la oportunidad de realizar el proyecto de investigación en su empresa.

A mis hermanos Milton, Cristina, Verónica por haberme enseñado que el sacrificio y el trabajo continuo es el pasaporte al éxito y se logra grandes objetivos.

El más sincero agradecimiento a mi Director de tesis, Ing. Luis Hidalgo por saberme guiar con sus conocimientos al éxito en este proyecto y a todos los docentes de la universidad que han sabido formar mi vida profesional con grandes cualidades.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. METODOLOGÍA Y DISEÑO	4
2.1. METODOLOGÍA EN V O DE CUATRO NIVELES	4
2.1.1. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA	4
2.1.2. RESTRICCIONES	5
2.1.3. MATERIALES	5
2.1.4. ESTRUCTURACION DE LA FASE DE DISEÑO	5
2.1.5. CASA DE LA CALIDAD	6
2.1.6. QFD (FUNCIÓN DE LA CALIDAD)	6
2.1.7. REQUERIMIENTOS DEL USUARIO	6
2.1.8. CRITERIO INGENIERIL	7
2.1.9. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	7
2.1.10. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	10
2.1.11. CONCEPTUALIZACIÓN DE CRITERIOS	11
2.1.12. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA GANADORA	12
2.2. CABINA DE PROCESO DE PINTADO CRGT AUTOMOTRIZ EN LA ACTUALIDAD	12
2.3. DISEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO	13
2.3.1. SISTEMA MECÁNICO	13
2.3.1.1. CAUDAL DE AIRE DE INGRESO	15
2.3.1.2. CÁLCULO DEL ÁREA DEL DUCTO DE INGRESO	15
2.3.1.3. SISTEMA DE FILTROS	17
2.3.1.4. SELECCIÓN DE SISTEMA IMPULSOR DE AIRE	17
2.3.1.5. DISEÑO TERMODINÁMICO Y BALANCE TÉRMICO .	19
2.3.1.6. DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	28
2.3.1.7. ARREGLO DE BANCO DE TUBOS	35
2.3.1.8. CAPACIDAD DE TANQUE DE COMBUSTIBLE	35
2.3.2. SISTEMA ELÉCTRICO	37
2.3.2.1. REDISTRIBUCIÓN DE LUMINARIA INTERNA	38

2.3.2.2. CIRCUITO REPARTIDOR DE CARGA	40
2.3.2.3. CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN DE MOTORES	41
2.3.2.4. CIRCUITO DE TRANSFORMACIÓN DE CARGA DE 120 VAC A 24 VCC	43
2.3.3. SISTEMA DE CONTROL	44
2.3.3.1. TABLERO DE CONTROL	46
2.3.3.2. DIAGRAMA DE FLUJO	46
2.3.3.3. MODO MANUAL	49
2.3.3.4. MODO DE PROCESO DE PINTADO AUTOMÁTICO ..	50
2.3.3.5. MODO DE PROCESO DE SECADO AUTOMÁTICO ..	50
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
3.1. PRUEBAS Y SIMULACIONES	53
3.1.1. TRAYECTORIA DE FLUJO DE AIRE	53
3.1.2. PRESIÓN TOTAL INTERNA DE LA CABINA	53
3.1.3. DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA	54
3.2. ANÁLISIS ECONÓMICO	55
3.2.1. PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN	56
3.3. VENTAJAS DE LA CABINA DE PINTURA DE LA EMPRESA CRGT AUTOMOTRIZ	58
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	63

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Diagrama metodología en V (Gausemeier & Moehring, 2004)	4
Figura 2. Esquema para el desarrollo de la función de calidad (QDF).....	6
Figura 3. Cabina de proceso de pintado actual.	12
Figura 4. Cabina de proceso de pintado parte interna.....	13
Figura 5. Dimensionamiento de cabina	13
Figura 6. Sección triangular de la cabina	14
Figura 7. Filtro de poliuretano.	17
Figura 8. Impulsor Dayton 6K937.....	18
Figura 9. Diseño del ducto de ingreso y retroalimentación del flujo de aire.	18
Figura 10. Especificaciones técnicas del quemador.	27
Figura 11. Esquema de un banco de tubos de flujo cruzado.	29
Figura 12. Parte posterior de la cabina de pintura empres CRGT Automotriz.	29
Figura 13. Colector de intercambiador de calor.....	29
Figura 14. Expresión de ΔT_1 y ΔT_2 en un intercambiador de flujo cruzado.	31
Figura 15. Determinación de la razón de transferencia de calor en intercambiadores de flujo cruzado de tubos.	32
Figura 16. Diagrama de flujo cruzado de un solo paso con los dos fluidos de flujo no mezclado.	34
Figura 17. Arreglos de tubos de un banco intercambiador de calor.....	35
Figura 18. Tanque de combustible y quemadores.	36
Figura 19. Sistema intercambiador de calor.	37
Figura 20. Ensamble y rediseño de cabina CRGT Automotriz	37
Figura 21. Parámetros de diseño Dialux Evo.	38
Figura 22. Objetos en la cámara de simulación.	39
Figura 23. Distribución de lámpara y simulación.	39
Figura 24. Redistribución de luminaria	40
Figura 25. Diagrama circuito de alimentación de voltaje	41
Figura 26. Diagrama circuito eléctrico de sistema de extracción	42
Figura 27. Diagrama circuito eléctrico sistema de impulsión.	43
Figura 28. Diagrama circuito eléctrico de 120 VAC a 24 VCC.....	44

Figura 29. PLC Siemens S7-1200.....	45
Figura 30. Software TIA Portal V13.....	45
Figura 31. Diagrama de flujo proceso de pintado automático.....	47
Figura 32. Diagrama de flujo proceso secado automático.....	48
Figura 33. Diagrama de control modo manual.	49
Figura 34. Diagrama de control modo de pintado automático.	50
Figura 35. Diagrama de control extracción de gases.	51
Figura 36. Diagrama de control de secado automático	51
Figura 37. Distribuciones de aire.....	53
Figura 38. Diagrama de presión total	54
Figura 39. Distribución de temperaturas	54

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Matriz Morfológica	8
Tabla 2. Valoración Económica	10
Tabla 3. Valoración Técnica	10
Tabla 4. Propiedades filtro Poliuretano.....	17
Tabla 5. Propiedades del aire a presión de 1 atm.	20
Tabla 6. Características generales de quemadores a diésel de 1 llama.	25
Tabla 7. Tabla de Medidas	28
Tabla 9. Lista de componentes.....	52
Tabla 10. Costo de materiales.....	55
Tabla 11. Costo de mano de obra	55
Tabla 12. Ingreso mensual al 50% de aumento.....	56
Tabla 13. Egreso mensual al 50% de aumento	57

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1. Comprobación de cálculos Software Isover	63
ANEXO 2. Ficha técnica de impulsor Dayton 6k937	64
ANEXO 3. Diagramas eléctricos	65
ANEXO 4. Programación PLC TIA Porta	66
ANEXO 5. Planos partes y piezas	67

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo principal transformar la cabina de pintura de la empresa CRGT Automotriz en una cabina de horno, quedando relegadas las labores convencionales por el alto consumo de energía eléctrica al utilizar níquelinas en su interior, naciendo la necesidad de la empresa de no solo tener una cabina de pintura, sino también la posibilidad de contar con un sistema intercambiador de calor con la finalidad de mejorar los acabados automotrices.

Previa al diseño del sistema intercambiador de calor se realizó un estudio de los sistemas necesarios como es ventilación, calefacción e iluminación con la finalidad de seleccionar la mejor alternativa de acuerdo al desarrollo tecnológico del país, para lo cual se seleccionó el software SolidWorks para el rediseño de sus partes, obteniendo medidas y dimensiones para la fabricación y simulación; El tipo de transferencia de calor es por convección, de la misma manera se seleccionó un aislamiento térmico tipo fibroso; El sistema de ventilación es de tipo mecánica donde se utilizó dos impulsores y un extractor de aire; El sensor de temperatura es de tipo infrarrojo, El sistema de control será de modo manual y automático utilizando un PLC Siemens S7-1200 y su software de programación TIA Portal; El tipo de iluminación se desarrolló en el software Dialux obteniendo la mejor alternativa luminaria tipo Led de flujo luminoso de 787 luxes en el área de pintado, El tipo de la cabina diseñada es de flujo vertical y la energía utilizada para el generador de calor está compuesto por dos quemadores tipo diésel el cual fue un requerimiento del cliente.

El funcionamiento será controlado mediante un circuito eléctrico y de control donde se accionarán los ventiladores, extractores de sustancias inflamables producidas en el proceso de pintado, y temperatura deseada.

En el proceso de pintado deberá alcanzar y mantenerse en una temperatura de 20°C, mientras que en el proceso de secado de pintura alcanzará y se mantendrá en 60°C.

Finalmente se realizó un análisis económico para ver la viabilidad de la implementación y recuperación de la inversión.

Palabras claves:

Níquelinas, intercambiador de calor, horno, ventiladores, extractores, aislamiento térmico.

ABSTRACT

The main aim project is to transform the paint booth of the company CRGT Automotriz into a kiln booth, with conventional work being relegated due to the high consumption of electrical energy when using nickel-ins inside, resulting in the need for company not only have a paint booth, but also the possibility of having a heat exchanger system in order to improve automotive finishes.

Prior to the design of the heat exchanger system, a study was made of the necessary systems such as ventilation, heating and lighting in order to select the best alternative according to the technological development of the country, for which the SolidWorks software was selected for the redesign of its parts, obtaining measurements and dimensions for manufacturing and simulation; The type of heat transfer is by convection, in the same way a fibrous type thermal insulation was selected; The ventilation system is mechanical type where two impellers and one air extractor were used; The temperature sensor is of infrared type. The control system will be manually and automatically using a Siemens S7-1200 PLC and its TIA Portal programming software; The type of lighting was developed in the Dialux software obtaining the best alternative Led luminaire type luminous flux of 787 luxes in the painting area, The type of the cabin designed is vertical flow and the energy used for the heat generator is composed by two diesel type burners which was a requirement of the customer.

The operation will be controlled by an electrical and control circuit where the fans will be activated, extractors of flammable substances produced in the painting process, on / off control and desired temperature.

In the painting process, it must reach and maintain a temperature of 20 ° C, while In the process of painting drying it will reach and maintain to 60 ° C.

Finally, an economic analysis was carried out to see the feasibility of the implementation and recovery of the investment.

Keywords:

Nickel, heat exchanger, furnace, fans, extractors, thermal insulation.

1. INTRODUCCIÓN

“El sistema cabina – horno, distribuye calor, a la carga para elevar la temperatura de éste, sin que se presente ninguna reacción química o cambio de estado.” (Bohórquez & Fiallos, 2005)

A nivel global, se puede destacar a empresas líderes tales como CELIBER, la cual se encuentra ubicada en Toledo, España, que son encargadas, de distribuir diferentes tipos de hornos de pintura y secado en todo el mundo, las mismas que tienen presente que los paneles están manufacturados en una sola pieza, incorporando lana de roca de alto rendimiento (145 Kg/m³), constituidos de chapa pre lacada en blanco por ambas caras; las mismas que poseen multitud de opciones para aspirar el aire, con o sin obra civil, con iluminación electrónica y con un sistema de calor de gran variedad.

ACATEC, ubicado en el polígono industrial de las Acacias en Madrid España, fabricantes de cabinas de pintura, hornos de secado, cabinas de pintura de filtro seco, entre los productos más cotizados y requeridos, ofrecen soluciones y proyectos a gran medida, distribuyendo sus productos a nivel mundial, en especial en Europa y América Latina.

Se debe tener presente que existen empresas tales como GLOBALTECH, ubicadas en Cali Colombia, que tienen distribuidoras en Quito Ecuador, que comercializan cabinas de pintura industriales de marca ASTRA, las mismas que son fabricadas y homologados para el mundo de la pintura industrial; con altas exigencias y soluciones optimas, con control energético, de humedad y de temperatura.

Se debe detallar que empresas tales como CARROCERIAS MIRAL, ubicada en Ambato, poseen entre sus equipos primordiales, el horno de secado, el cual le brinda un acabado y brillo especial de primera clase a la carrocería terminada.

Según: (Santamaría, 2012)

Los tipos de cabinas de pinturas son:

- a) Flujo vertical.
- b) Flujo semivertical
- c) Flujo horizontal

Los sistemas impulsores – extractor son:

- a) Tipo globo
- b) Tipo equilibrado

Los mecanismos de conducción de calor son.

- a) Conducción
- b) Convección
- c) Convección y conducción
- d) Radiación

Los aislantes térmicos – acústico

- a) Térmicos, paneles de poliuretano y de lana de vidrio.
- b) Acústicos, paneles lana de vidrio compacta recubierta de aluminio.

Los intercambiadores de calor son utilizados en procesos de calentamiento y/o enfriamiento de fluidos como: vapor, agua, aceite térmico, aire, gases etc., se diseñan y fabrican comúnmente, bajo especificaciones técnicas para equipos y materiales de acuerdo a las normas contempladas en el código ASME: T.E.M.A ASMESECCION II, VIII División 1 & ASME SECCION IX-V. (HRG, 2016)

Sus principales aplicaciones industriales se dan tanto para el enfriamiento de líquidos como para el calentamiento del aire, para la calefacción industrial o de invernaderos, los cuales se usan para acreditar a cada uno de los tipos de intercambiadores existentes, que son usados para recuperar calor entre dos corrientes en un proceso. (HRG, 2016)

Se debe tener en cuenta que empresas como INDUCOM ubicada en Quito y Guayaquil, Ecuador, distribuyen intercambiadores de calor, recomendados para el uso en aplicaciones especiales que requieren alta eficiencia térmica, estos sirven para enfriar una amplia variedad de líquidos y gases comprimido, tal como el especificado por aire. (INDUCOM, 2016)

Los hornos están controlados por una temperatura correcta, automatizando los procesos de producción, para garantizar los procedimientos conforme a las directrices de manufacturas, mediante el uso de controladores PID y ON-OFF.

“Detallándose que un controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) también es ON-OFF, el cual es un método primitivo y sencillo, que trata de mantener la temperatura en un punto, por abajo de él de la salida y cuando lo sobrepasa es desactivada, teniéndose presente que en un control PID intervienen algoritmos de programación que limitan el sobrepaso de la temperatura sobre la del objetivo.” (Tei, 2010)

Se conoce además que las salidas de control: relevador y SSR, depende de la aplicación a automatizar, controlando la temperatura; donde la salida es una compuerta mecánica utilizada para activar bobinas, donde se identifican dos tipos diferentes, la denominada SPST la cual se trata de un contacto que se abre o se cierra, y la SPDT que consiste en dos contactos que son cerrados

alternamente por un común, cuando una de ellas está activa la otra está abierta y viceversa.” (Tei, 2010)

Los hornos de secado de pintura poseen un extractor, el cual es utilizado para aspirar y renovar el aire que circula en el horno, el mismo que está compuesto de un ventilador conectado a un motor.

Los tipos de extractores más utilizados para esta clase de hornos son de marca: Máxima, Tapeisa y Montero.

La razón para la realización del proyecto es introducir a la cabina de pintura de la empresa CRGT Automotriz en el mundo de la pintura al horno y mejorar los acabados automotrices y por el alto consumo de energía eléctrica al utilizar niquelinas es su interior de ahí nace la necesidad de la empresa de no solo tener una cabina de pintura, sino también la posibilidad de contar con un horno de secado de pintura de las carrocerías.

Este proyecto se llevará acabo con el objetivo de diseñar un sistema intercambiador de calor para el proceso de secado de pintura en la empresa antes mencionada, considerando los objetivos específicos, tales como: seleccionar la mejor alternativa de acuerdo al desarrollo tecnológico del país, diseñar un sistema de secado de pintura al horno para vehículos tipo sedán y realizar el análisis económico y financiero.

2. METODOLOGÍA Y DISEÑO

2.1. METODOLOGÍA EN V O DE CUATRO NIVELES

Para el presente proyecto se empleará la metodología en V (Figura 1), el mismo que se describe en una secuencia lógica de subprocesos para el desarrollo, verificación y validación.

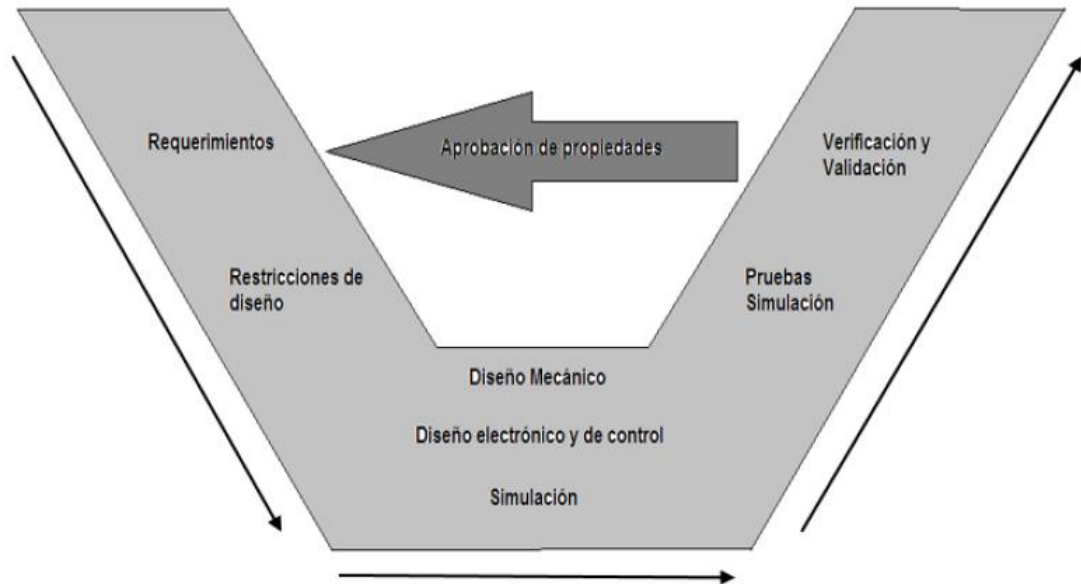


Figura 1. Diagrama metodología en V (Gausemeier & Moehring, 2004)

2.1.1. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

- El sistema intercambiador de calor, durante el proceso de pintado deberá tener una temperatura de 20 °C, mientras que para el secado deberá ser de 60 °C.
- Para el flujo de aire que necesitará la cabina en el proceso de pintura y secado, se considerará un sistema de ventilación forzada determinado mediante ventiladores y extractores, para poder controlar los niveles de temperatura y extraer gases contaminantes.
- Se necesitará además realizar una distribución de iluminación uniforme dentro de la cabina.

REQUERIMIENTOS DE MATERIALES

- Los materiales a utilizar deben ser anticorrosivos, durables y existentes en el mercado ecuatoriano.

- Se requiere, seleccionar el material respectivo para la elaboración de cada pieza del equipo.
- El combustible a utilizar será diésel.

REQUERIMIENTOS GEOMÉTRICOS (FORMA) Y ENSAMBLE

- No sobrepase el dimensionamiento de la cabina de pintura de la empresa CRGT Automotriz.
- Fácil adaptación de los actuadores y sensores en la estructura de la cabina.

REQUERIMIENTOS DE CONTROL

Mediante un circuito electrónico se controlará el sistema de ventilación (ventiladores, extractores), control de on/off y temperatura deseada.

2.1.2. RESTRICCIONES

- Espacio disponible por el tamaño de la cabina.
- Disponibilidad de recursos

2.1.3. MATERIALES

- Quemadores de combustible diésel.
- Sistema de ventilación.
- Sensor de temperatura.
- Módulo de salidas análogas.
- Fuente de poder.
- Guardamotor.
- Variador de velocidad.
- Plc's.

2.1.4. ESTRUCTURACION DE LA FASE DE DISEÑO

Se conceptualiza una serie de matrices para proceder a guiar el proceso de la función de calidad en cada fase del desarrollo, planificación y despliegue de componentes, tal como se muestra en la figura 2.

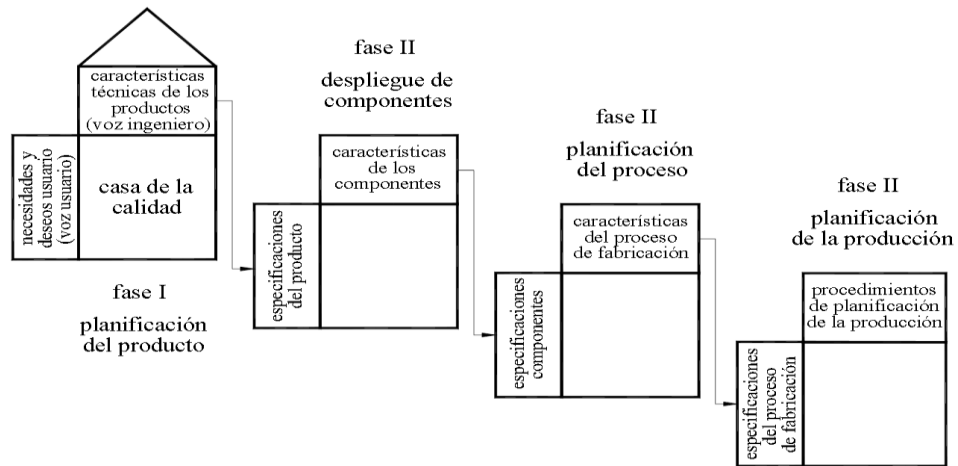


Figura 2. Esquema para el desarrollo de la función de calidad (QDF).

(Riba, 2002)

2.1.5. CASA DE LA CALIDAD

Para la definición del diseño de un sistema de calor para el proceso de secado de pintura de carrocerías en la empresa CRGT Automotriz, se efectuará un estudio de alternativas para conocer los parámetros, que deberá poseer el sistema propuesto para que pueda cumplir con todos los requerimientos establecidos.

2.1.6. QFD (FUNCIÓN DE LA CALIDAD)

Se determinará cuáles son los requerimientos técnicos, para el diseño de un sistema de calor para el proceso de secado de pintura de carrocerías en la empresa CRGT Automotriz, la cual permite establecer las características que sirven como objetivo principal, para unir las necesidades del cliente y poder planificar el éxito del producto.

2.1.7. REQUERIMIENTOS DEL USUARIO

De acuerdo a las consideraciones, el sistema debe tener las siguientes características:

- Los elementos considerados deben ser de fácil adquisición.
- Los costos de los elementos deben de estar al alcance del usuario.
- El sistema de calor para el proceso de secado de pintura de carrocerías en la empresa CRGT Automotriz, debe de ser, de fácil construcción e instalación por no disponer de mucho tiempo.
- El sistema debe poseer un controlador de temperatura.
- Además, debe de estar compuesto de elementos que sean durables.
- Se debe tener presente el mantenimiento mínimo que el sistema requiere.

- El sistema debe de poseer una ventilación adecuada.
- De igual manera debe existir una iluminación interna adecuada.
- El sistema deberá funcionar con combustible tipo diesel.
- Se debe tener en cuenta que el sistema debe garantizar la calidad del acabado, sin tener ausencia de partículas e impurezas creadas por el aire, en el producto.
- Finalmente, el sistema debe ser de fácil limpieza para el usuario.

2.1.8. CRITERIO INGENIERIL

De acuerdo a las consideraciones que se deberían tomar en cuenta por parte del ingeniero son las siguientes:

- Tipo de materiales existentes en el mercado nacional acorde a las consideraciones solicitadas por el usuario y al diseño mismo.
- El sistema debe poseer un aislamiento térmico adecuado.
- Para poder controlar el sistema de temperatura adecuada se requiere de un sensor,
- El diseño y simulación debe ejecutarse en un software adecuado.
- Se debe tener en cuenta, sobre todo, el tipo del sistema de la transferencia de calor.
- El impacto ambiental debe de ser mínimo.
- El dimensionamiento es otra consideración importante que se debe tomar en cuenta, ya que en dicho sistema debe ingresar un vehículo de carrocería tipo sedán.
- El diseño del sistema es imprescindible a tener en cuenta, ya que el mismo cubre con los parámetros requeridos a tener en consideración, resaltando los solicitados por el usuario.
- Los procesos de manufactura del sistema son parámetros muy importantes para poder procesar según la fabricación del producto.
- La confiabilidad del sistema debe ser mínimo del 90%, para obtener un diseño aceptable.

2.1.9. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

La prioridad del diseño son las soluciones que se dan, a través de un conjunto de ideas, como se muestra en la Tabla 1.

Las posibles soluciones que se dan son:

Tabla 1. Matriz morfológica

Funciones	Soluciones		
	1	2	3
Software de diseño	Catia	SolidWorks	Autodesk Inventor
Transferencia de calor	Radiación	Conducción	Convección
Aislamiento térmico	Fibroso	Granulares	Celulares
Sistema de ventilación	Por depresión	Por sobrepresión	Mecánica
Sensor de temperatura	RTD	Infrarrojo PCE-IR 52	Termistor
Sistema de control	PLC Siemens S7-1200	Raspberry Pi	DAQ
Controlador de temperatura	PID	Proporcional	ON/OFF
Iluminación interna	Fluorescentes	Halógenas	Leds
Tipo de cabina	Flujo lateral	Flujo vertical	Flujo horizontal
Generación de energía	Eléctrico	Diésel	GLP

La Alternativa 1. Inicialmente se plantea diseñar mediante el uso del Software CATIA, teniendo en cuenta que la transferencia de calor se produciría por conducción, mientras que el aislamiento térmico sería de tipo celular, al igual que el sistema de ventilación se daría por sobrepresión, incluyéndose también el uso de un sensor de temperatura Termistor, con un sistema de control Raspberry Pi y un controlador de temperatura ON/OFF, teniendo presente que la iluminación interna sería halógena y el flujo que circula por la cabina lateral, mediante la generación de energía producida por GLP.

Ventajas:

- El aislamiento térmico de tipo celular es aceptable.
- La iluminación mediante el uso de lámparas halógenas tiene un buen rendimiento.

Desventajas:

- Mayor costo del software y componentes.
- Difícil adquisición de sus componentes.
- El termistor no es lineal, por lo que se debería utilizar formulas complejas para determinar la temperatura según la corriente que circula.

La Alternativa 2. Consiste en diseñar mediante el uso del Software SolidWorks, teniendo presente que la transferencia de calor se originaría por convección, para lo cual el aislamiento térmico a utilizar sería fibra o lana de vidrio, mientras que el sistema de ventilación sería mecánica, incluyéndose además el uso de un sensor de temperatura Infrarrojo PCE-IR 52, con un sistema de control PLC Siemens S7-1200, para lo que se utilizaría una iluminación interna leds, considerándose que el flujo que circula por la cabina es vertical y la generación de energía sería producida por diésel.

Ventajas:

- El software es comercial.
- Los componentes son asequibles.
- El sensor de temperatura infrarrojo PCE-IR 52, rango de error mínimo.
- La fibra o lana de vidrio es muy buen aislante.
- Iluminaria Leds bajo consumo de energía eléctrica.

Desventajas:

- El sensor infrarrojo costoso.

La Alternativa 3. Finalmente se plantea diseñar a través del Software Autodesk Inventor, teniendo presente, como en los casos anteriores que la transferencia de calor que se produciría, sería por radiación, el aislamiento térmico estaría estipulado que sea de tipo granular, al igual que el sistema de ventilación se daría por depresión, usándose un sensor de temperatura RTD, con un sistema de control DAQ y un controlador de temperatura proporcional, así como la iluminación interna que sería producida por lámparas fluorescentes, en donde el flujo que circula por la cabina sería horizontal, mediante la generación de energía originada a nivel eléctrico.

Ventajas:

- El software es comercial.
- El sensor RTD es más preciso, por su rango de temperatura que va desde -200 a 850°C.

Desventajas:

- El software no tiene los módulos requeridos para el análisis.
- Difícil adquisición de sus componentes.
- El sensor de temperatura RTD es muy costoso.
- La iluminación mediante el uso de lámparas fluorescentes no produce un buen rendimiento.

2.1.10. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Una vez especificadas las alternativas con sus ideas propuestas, se procede con una evaluación técnica (Tabla 2) y económicamente (Tabla 3).

Para lo que se estipulará un valor de:

1: Malo o inaccesible; 2: Bueno o accesible; 3: Muy bueno o asequible y 4: Excelente o Muy asequible.

A los puntos de evaluación se les designará un factor de importancia, el cual está dividido en:

1: Importante; 2: Muy importante y 3: Imprescindible.

A continuación, se detalla los valores ponderados en las siguientes tablas.

Tabla 2. Valoración económica

Puntos de evaluación	Factor de importancia (Fi)	Puntaje (P)			
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Puntaje Ideal
Costo del Software	3	2	4	4	4
Costo de los elementos	3	2	3	2	4
Costos de reparación y mantenimiento	2	3	2	3	4
Costos de la implementación	3	3	3	2	4
Total = $\sum(Fi \times P)$		27	34	30	44
Coefficiente económico = $\frac{\text{Total}}{\text{P Ideal}} \times 100$		61.36 %	77.27 %	68.18 %	100 %

Tabla 3. Valoración técnica

Puntos de evaluación	Factor de importancia (Fi)	Puntaje (P)			
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Puntaje ideal
Facilidad de instalación	3	4	4	3	4

Diseño factible	3	3	4	4	4
Durabilidad de los elementos	3	3	4	4	4
Mantenimiento y reparación	1	2	3	2	4
Ventilación adecuada	3	2	3	3	4
Iluminación factible	2	3	3	1	4
Calidad de acabado	2	2	4	3	4
Fácil limpieza	1	3	3	3	4
Total = $\sum(F_i \times P)$		51	65	55	72
Coefficiente económico = $(P_{Total} / P_{Ideal}) \times 100$		70.83%	90.28%	76.39%	100%

2.1.11. CONCEPTUALIZACIÓN DE CRITERIOS

Costo: Es el criterio más importante a tener en cuenta, ya que el mismo abarca todos los precios como son del software, elementos, implementación, reparación y mantenimiento.

Facilidad de Instalación: Indica el grado de facilidad para poder instalar todos los elementos requeridos en el equipo propuesto.

Diseño Factible: Se refiere a la elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para cubrir los problemas, requerimientos o necesidades de la empresa.

Durabilidad de los Componentes: Es el tiempo de vida útil de los componentes bajo parámetros estipulados.

Mantenimiento y Reparación: Se trata de realizar un mantenimiento sencillo y fácil a todo el equipo, en el menor tiempo posible.

Ventilación Adecuada: Ventilarse de manera correcta para poder cumplir de mejor manera el trabajo solicitado, en el sistema de calor propuesto.

Iluminación Factible: Es la iluminación viable para cubrir los requerimientos que necesita el sistema de calor para el proceso de secado de pintura de carrocerías en la empresa CRGT Automotriz.

Calidad de Acabado: Consiste en un proceso de manufacturación utilizado, cuya finalidad es lograr un producto con las especificaciones correctas y requeridas.

Fácil limpieza: La facilidad y sencillez que se debe tener al momento de realizar la limpieza al equipo.

2.1.12. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA GANADORA

La alternativa más apropiada, será la que mantenga los mejores coeficientes a nivel económico y técnico.

Estudiando las alternativas, se obtuvo como resultado en la evaluación económica, la primera alternativa posee un coeficiente económico del 61.36 %, la segunda alternativa tiene un porcentaje del 77.27 % y la tercera alternativa tiene un factor del 68.18 %; Refiriéndose a la evaluación técnica, se detalla que la primera alternativa tiene el 70.83%, la segunda alternativa posee un 90.28% y para finalizar la tercera alternativa es del 76.39%.

Por lo que se concluye que la mejor alternativa para el proyecto en la investigación es la segunda.

2.2. CABINA DE PROCESO DE PINTADO CRGT AUTOMOTRIZ EN LA ACTUALIDAD.

En la figura 3, se puede observar la cabina de proceso de pintado de la empresa CRGT Automotriz parte externa en la actualidad, la misma que se encuentra bajo una cubierta tipo galpón.



Figura 3. Cabina de proceso de pintado actual.

La parte interna de la cabina cuenta con un sistema de 8 niquelinas para el proceso de secado de la pintura las cuales se encuentran desactivadas, luminaria tipo fluorescente en las paredes laterales, como se puede observar en la figura 4.



Figura 4. Cabina de proceso de pintado parte interna.

2.3. DISEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO

El sistema constará de:

- Sistema mecánico
- Sistema eléctrico
- Sistema de control

2.3.1. SISTEMA MECÁNICO

Para mejorar el sistema mecánico se debe tener en cuenta:

Volumen interno requerido de la cabina; para lo cual se debe tener presente que el ancho es de 4.39 m, la longitud es 6.52 m y la altura 2.76 m, la cual se muestra en la figura 5.

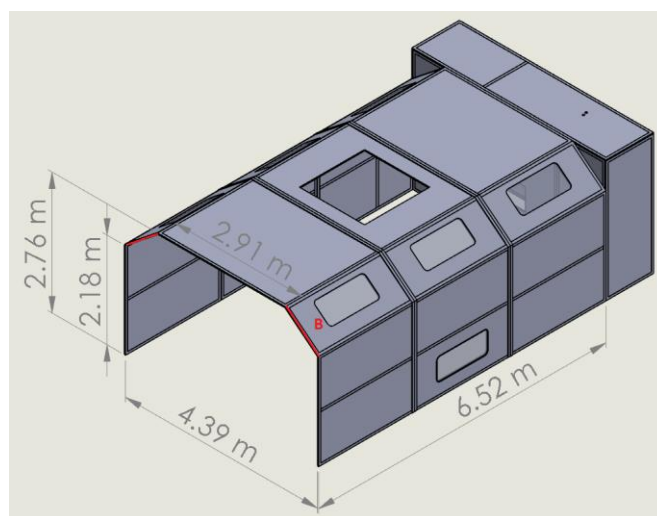


Figura 5. Dimensionamiento de cabina

Se inicia determinando el volumen interno requerido de la siguiente manera:

$$V_r = V - 2 * V_B \quad [1]$$

Dónde:

V_r : volumen interno requerido

V : volumen de la cabina

V_B : volumen en B

Para determinar el volumen interno requerido, se debe conocer el volumen de la cabina y en B.

Por lo que:

$$V = L * a * h \quad [2]$$

Dónde:

a : ancho = 4.39 m

L : largo = 6.52 m

h : altura = 2.76 m

Por lo que:

$$V = 78.99 \text{ m}^3$$

Se determina, además:

$$V_B = L * A_B \quad [3]$$

Dónde:

A_B : área en B

Para determinar el volumen en B se necesitará calcular el área de la sección triangular formada en las esquinas superiores de la cabina, la cual se muestra en la figura 6.

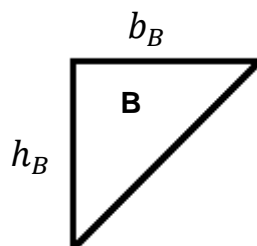


Figura 6. Sección triangular de la cabina

$$A_B = \frac{b_B * h_B}{2} \quad [4]$$

Dónde:

$$b_B = 0.74 \text{ m}$$

$$h_B = 0.58 \text{ m}$$

Por lo que:

$$A_B = 0.21 \text{ m}^2$$

Una vez determinado el área en B, se obtiene el volumen en B:

$$V_B = 1.36 \text{ m}^3$$

Una vez determinado el volumen de la cabina y en B, se procede a establecer lo requerido, el mismo que es:

$$V_r = 76.27 \text{ m}^3$$

2.3.1.1. CAUDAL DE AIRE DE INGRESO

Una vez especificado el volumen requerido, se procede a determinar el caudal de ingreso de aire, para lo cual se debe tener presente dicho volumen, así como el número de renovaciones de aire, que son de 180 por hora para una cabina de pintura de uso continuo, recomendada por los principales fabricantes de cabinas de pintado de coches. (Soler&Palau, 2017)

$$Q_i = V_r * N \quad [5]$$

Dónde:

Q_i : caudal de ingreso de aire

N : número de renovaciones de aire

Por lo que:

$$Q_i = 13\,786.2 \text{ m}^3/\text{h}$$

2.3.1.2. CÁLCULO DEL ÁREA DEL DUCTO DE INGRESO

Con el caudal de ingreso de aire señalado y la velocidad del viento recomendada según "Ventilación Salvador Escoda S.A.", se procede a

determinar el área del ducto de ingreso, para posteriormente encontrar el diámetro

$$A_{di} = \frac{Q_i}{v_{aire}} \quad [6]$$

Dónde:

A_{di} : área del ducto de ingreso.

V_{aire} : velocidad de aire dentro del ducto, según recomendación del fabricante de sistemas de ventilación Salvador Escoda S.A = 10 – 12 m/s, por lo que se tomará el valor mínimo para minimizar un factor de ruido bajo.

Por lo que:

$$V_{aire} = 10 \frac{m}{seg.} * \frac{3\,600\,seg}{1\,h} = 36\,000 \frac{m}{h}$$

$$A_{di} = 0.38295 \, m^2$$

Por lo tanto, la tubería a seleccionar será en forma rectangular con un dimensionamiento de 0.76m de ancho y 0.50m de alto, cubriendo así el área del ducto de ingreso.

En base al área encontrada, se determina la siguiente ecuación.

$$A_{di} = \pi * \frac{D^2}{4} \quad [7]$$

Dónde:

D : diámetro del ducto requerido

Por lo que:

$$D = 0.6983 \, m$$

Mientras que para la comprobación de los resultados se adjunta el Anexo 1, el cual corresponde a los resultados del Software online Isover (Isover Saint-Gobain, 2020), y adicional podemos obtener el valor de la pérdida de carga por el rozamiento de aire.

Donde:

h_{fa} : pérdida de carga por rozamiento de aire

$$h_{fa} = 1.42 \, Pa/m \quad [8]$$

Tomando en cuenta la longitud del ducto principal de aire de ingreso, el cual es de 1.48 metros, se obtiene:

$$h_{fa} = 2.1 Pa$$

$$h_{fa} = 0.21 mm.c.d.a$$

2.3.1.3. SISTEMA DE FILTROS

Para evitar el ingreso de polvo, insectos y otras partículas grandes, se utilizará un prefiltro de espuma filtrante de poliuretano lavable y resistente a la putrefacción, los cuales protegerán los motores eléctricos e intercambiador térmico con una dimensión de 0.76m x 0.50m del fabricante Infiltro S.L, bajo la norma ISO16890 y en conformidad con la norma europea EN779 (Infiltro S.L, 2019), mostrada en la figura 7.

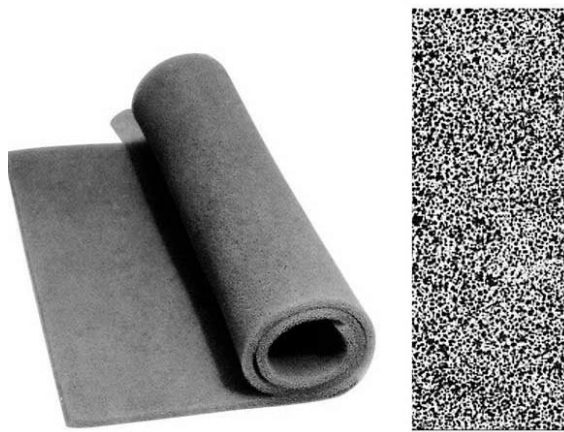


Figura 7. Filtro de poliuretano.

En la tabla 4, podemos encontrar las propiedades técnicas del filtro antes mencionado.

Tabla 4. Propiedades filtro poliuretano.

Modelo	Eficacia	Perdida de carga inicial [mm.c.d.a]	Velocidad de aire [m/s]	Temperatura máxima [°C]	Medida de plancha [m]
PPI-20/10	G3	4,5	1,8	120	2 x 1

2.3.1.4. SELECCIÓN DE SISTEMA IMPULSOR DE AIRE

Se debe tener presente que el caudal de aire de ingreso es de:

$$13\ 786.2 \frac{m^3}{h} = 8\ 114.3\ CFM$$

Y una pérdida de carga total de 4,71 mm. c. d. a (0,18 inH2O) en relación a los filtros y rozamiento de aire en el ducto.

En base al caudal de aire de ingreso se selecciona 2 Impulsores de aire, de marca Dayton modelo 6K937 totally enclosed fan cooled, que abarca 4175 CFM y una presión estática de 0,25 inH2O cada uno, y así generar el caudal de aire de ingreso requerido $13\ 786.2\ m^3/h$ (8114.3 CFM), de 1725 rpm y con un motor hermético de $\frac{1}{2}$ HP, para impulsar el aire caliente generado en la cámara de combustión hacia el interior de la cabina, figura 8.

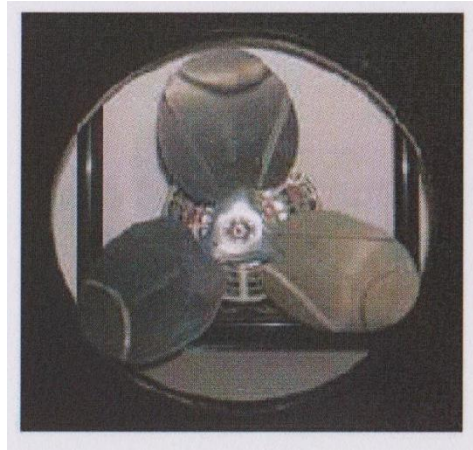


Figura 8. Impulsor Dayton 6K937

Una vez encontrado las dimensiones del área del ducto de ingreso procedemos a realizar las modificaciones en la parte posterior de la cabina mediante el software de diseño CAD en el cual se procede a colocar dampers de tipo manual para poder controlar la dirección del flujo del aire de ingreso a la parte interna de la cabina, como se muestra en la figura 9.

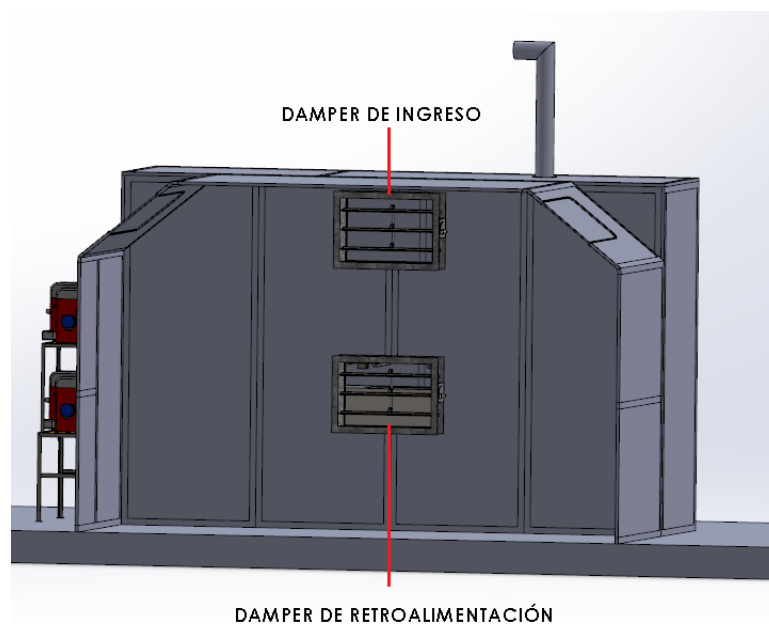


Figura 9. Diseño del ducto de ingreso y retroalimentación del flujo de aire.

2.3.1.5. DISEÑO TERMODINÁMICO Y BALANCE TÉRMICO

Para establecer el calor que debe proveer el calentador, se debe inicialmente determinar el flujo de calor total, con la pérdida generada a través de paredes y techo, con el flujo de calor necesario en la cabina y el flujo de calor sensible en el vehículo.

$$W_T = W_1' + W_2' + W_3' \quad [9]$$

Dónde:

- W_T : flujo de calor total
- W_1' : pérdida de calor a través de paredes y techo
- W_2' : flujo de calor necesario en la cabina
- W_3' : flujo de calor sensible en el vehículo

Para establecer las pérdidas de calor a través de las paredes y techo (W_1'), es necesario conocer el valor de la resistencia térmica, área de la superficie, temperatura ideal para el secado de pintura y la temperatura máxima media que se da en Quito (Yunus A).

Por lo que:

$$W_1' = \frac{A_T * (T_{interior} - T_{exterior})}{R_T} \quad [10]$$

Dónde:

- R_T : resistencia térmica
- A_T : área de la superficie
- $T_{interior}$: 60 °C (temperatura ideal para secado de pintura)
- $T_{exterior}$: 20 °C (temperatura máxima media en Quito)

Se debe tener en cuenta que la resistencia térmica (R_T), se da en base a la conductividad térmica que se originan en las paredes y techo, en la conductancia por convección al interior y al exterior de la cabina, teniendo en cuenta el material que se utilizará como aislante térmico la fibra de vidrio.

$$R_T = \frac{1}{h_i} + \frac{\lambda \text{ fibra de vidrio}}{e} + \frac{1}{h_e} \quad [11]$$

Dónde:

- $\lambda \text{ fibra de vidrio}$: conductividad térmica en paredes y techo.
- h_i : conductancia por convección al interior de la cabina.
- h_e : conductancia por convección al exterior de la cabina.

En la tabla 5, podemos encontrar las propiedades del aire, las cuales utilizaremos para determinar el coeficiente de convección (h_i), también se debe tener en cuenta que el flujo de aire es constante, por lo que se procede a establecer en base a la temperatura interior que se origina en la cabina a una presión de 1 atm, la misma que es:

$$T_{interior} = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabla 5. Propiedades del aire a presión de 1 atm.

T	Densidad	Calor específico	Conductividad térmica	Difusividad térmica	Viscosidad dinámica	Viscosidad cinemática	Prandtl
	ρ	C_p	λ	A	μ	ν_c	Pr
$^\circ\text{C}$	$\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$	$\frac{\text{J}}{\text{Kg} * \text{K}}$	$\frac{\text{W}}{\text{m} * \text{K}}$	$\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$	$\frac{\text{Kg}}{\text{m} * \text{s}}$	$\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$	
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
37.5	1136	1007	0.02644	2.311×10^{-5}	1.906×10^{-5}	1.678×10^{-5}	0.7261
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202

(Yunus & Ghajar, 2011)

A continuación, se procede a establecer el número de Reynolds (Yunus A, p. 454), el cual define el tipo de flujo, teniendo presente que para este cálculo la velocidad máxima del fluido del proceso de pintado es de 0.2 m/s, el mismo que se elige para que la pintura se fije en el vehículo y no sea removida por el aire, tal como se especifica:

$$Re = \frac{V_p * D}{\nu_c} \quad [12]$$

Dónde:

Re : número de Reynolds

V_p : velocidad máxima de pintado = 0.2 m/s

D : diámetro del ducto = 0.6983 m

ν_c : viscosidad cinemática = $1.896 * 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

Por lo que:

$$Re = \frac{0.2 \text{ m/s} * 0.6983 \text{ m}}{1.896 * 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 7366.034$$

Una vez determinado el número de Reynolds, se procede a establecer el número de Nusselt (Nud) de manera más precisa, mediante la segunda ecuación de Petukhov (Yunus A, p. 474), expresada como:

$$Nud = \frac{\frac{f}{8} * Re * Pr}{1.07 + 12.7 \left[\left[\frac{f}{8} \right]^{\frac{1}{2}} \right] * \left[\left[Pr^{\frac{2}{3}} \right]^{-1} \right]} \quad [13]$$

Dónde:

f : factor de fricción
 Pr : número de Prandtl = 0.7202

Se debe tener presente que para el número de Nusselt, donde se debe obtener el factor de fricción a partir de la primera ecuación de Petukhov (Yunus A, p. 473) de la siguiente manera:

$$f = (0.790 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad [14]$$

Por lo que:

$$f = 0.034$$

Una vez obtenido el factor de fricción se obtiene el número de Nusselt.

Por lo que:

$$Nud = \frac{\frac{0.034}{8} * 7366.034 * 0.7202}{1.07 + 12.7 * \left[\left[\frac{0.034}{8} \right]^{\frac{1}{2}} \right] * \left[\left[0.7202^{\frac{2}{3}} \right]^{-1} \right]}$$

$$Nud = \frac{22.546}{2.1}$$

$$Nud = 10.736$$

A continuación, se procede a determinar la conductancia por convección al interior de la cabina de la siguiente manera:

$$hi = \frac{Nud * \lambda_{aire}}{D} \quad [15]$$

Dónde:

h_i : conductancia por convección al interior de la cabina

λ_{aire} : conductividad térmica del aire = $0.02808 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}$

D : diámetro del ducto = 0.6983 m

Por lo que:

$$h_i = \frac{10.736 * 0.02808 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}}{0.6983 \text{ m}}$$

$$h_i = 0.4317 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Para obtener el flujo de calor por conducción a través de las paredes y el techo, se determina mediante el área total de la cabina.

a : ancho = 4.39 m

L : largo = 6.52 m

h : altura = 2.76 m

Por lo que:

$$A_T = 2(2.76 * 6.52) + 2(2.76 * 4.39) + 2(6.52 * 4.39)$$

$$A_T = 117.46 \text{ m}^2$$

Se tiene estipulado usar fibra de vidrio como material aislante, por lo que el coeficiente de conductividad térmica es:

$$\lambda_{\text{fibra vidrio}} = 0.036 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}$$

A continuación se procede a determinar el calor por convección al exterior de la cabina (h_e) mediante la ecuación de (Mc Adams, 1954), esta correlación se obtuvo en un túnel de viento para una placa plana, es lineal y está dada por:

$$h_e = 5.7 + 3.8 V_{\text{zona}} \quad [16]$$

Dónde

V_{zona} : velocidad del viento en la zona, para lo cual se determina un valor máximo de 5 m/s .

Por lo que:

$$h_e = 5.7 + 3.8(5) = 24.7 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$h_e = 0.090 \frac{W}{m^2 * ^\circ K}$$

Una vez obtenido todos los datos se procede a determinar la resistencia térmica total.

Dónde:

$$R_T = \frac{1}{0.4317} + \frac{0.036}{0.1} + \frac{1}{0.090} = 13.79 \frac{m^2 * ^\circ K}{W}$$

$$R_T = 0.05 \frac{m^2 * ^\circ C}{W}$$

Finalmente se procede a determinar la pérdida de calor a través de paredes y techo (W_1') de la siguiente manera:

$$W_1' = \frac{A_T * (T_{interior} - T_{exterior})}{R_T}$$

Dónde:

W_1' = Pérdida de calor a través de paredes y techo

R_T = Resistencia térmica = $0.05 \frac{m^2 * ^\circ C}{W}$

A_T = Área de la superficie = $117.46 m^2$

$T_{interior}$ = $60 ^\circ C$ (temperatura ideal para secado de pintura)

$T_{exterior}$ = $20 ^\circ C$ (temperatura máxima media en Quito)

Por lo que:

$$W_1' = \frac{113.5342 m^2 * (60 ^\circ C - 20 ^\circ C)}{0.05 \frac{m^2 * ^\circ C}{W}}$$

$$W_1' = 90827.36 W$$

A continuación, se establece el flujo de calor necesario dentro de la cabina para calentar el volumen de aire a renovarse (W_2'), por lo que se utiliza la siguiente fórmula (Yunus A, pág. 7):

$$W_2' = m * Cp * \Delta T \quad [27]$$

Dónde:

m : masa de aire

C_p : calor específico del aire = $1.007 \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C}$

ΔT : variación de temperatura = $(60 - 20) ^\circ C$

Por lo que:

$$m = \rho * V_r \quad [38]$$

Donde:

ρ : densidad del aire = $1.059 \frac{Kg}{m^3}$

V_r : volumen interno requerido = $76.27 m^3$

$$m = 1.059 \frac{Kg}{m^3} * 76.27 m^3 = 80.77 Kg$$

Una vez obtenido la masa de aire, se procede a determinar el flujo de calor necesario dentro de la cabina (W_2').

$$W_2' = m * C_p * \Delta T$$

Dónde:

$$W_2' = 80.77 Kg * 1.007 \frac{KJ}{Kg * ^\circ C} * 40^\circ C$$

$$W_2' = 3253.42 KJ$$

Ahora se procede a establecer el flujo de calor necesario para el secado del vehículo (W_3'), por lo que se inicia de la siguiente manera:

$$W_3' = m_v * C_{pa} * \Delta T \quad [49]$$

Dónde:

m_v : masa promedio de vehículo tipo sedán

C_{pa} : calor específico del vehículo (acero)

Por lo que:

$$W_3' = 992 Kg * 0.434 \frac{KJ}{Kg * ^\circ C} * 40^\circ C$$

$$W_3' = 17221.12 KJ$$

Para poder encontrar el valor en potencia calorífica de W_2' y W_3' , determinamos a partir del concepto de cantidad de trabajo realizado durante

un intervalo de tiempo (Resnick, Halliday & Krane, 2004, pág. 160) se tiene como requerimiento que el generador de aire se caliente en un lapso igual o menor de 2 minutos.

$$Pots = \frac{W}{Tc} \quad [20]$$

Dónde:

Pots: potencia calorífica

Tc: tiempo de calentamiento de cabina

Por lo que:

$$Pots W_2' = \frac{3253.42 \text{ KJ}}{120 \text{ s}} = 27.11 \text{ Kw}$$

$$Pots W_3' = \frac{17221.12 \text{ KJ}}{120 \text{ s}} = 143.50 \text{ Kw}$$

Finalmente se obtiene el flujo de calor total de la siguiente manera:

$$W_T = 90.82 \text{ Kw} + 27.11 \text{ Kw} + 143.50 \text{ Kw}$$

$$W_T = 261.43 \text{ Kw}$$

Una vez definido el **flujo de calor total (261.43 KW)**, se procede a seleccionar los quemadores diésel, en base al siguiente catálogo, mostrada en la tabla 6.

Tabla 6. Características generales de quemadores a diésel de 1 llama.

MODELO	Capacidad máxima	Flujo másico de combustible
	Kw	Kg/h
G 0S 2001/2003* - G 0H 2001	39.1	2
G 1S 2001/2003* - G 1H 2001	59.2	2
G 2S MAXI* - G2H MAXI	116	4
G X3S – G X3H	178	7
G X4S – G X4H	236	10

(F.B.R., 2016)

Por facilidad de adquisición y de distribución, se procede a elegir dos quemadores de modelo **GX4S** de **236 Kw**

teniendo una capacidad total de **472 Kw**, abarcando el **flujo de calor total** que es de **261.43 Kw**.

Una vez detallada la capacidad del quemador y la velocidad de aire, se procede a determinar la presión de operación y la de diseño, la cual servirá para diseñar los ductos que conforman el serpentín.

$$V_{aire} = 10 \text{ m/s}$$

La presión de operación se da a través de la fuerza aplicada del quemador sobre el área del ducto del quemador (José Domínguez, Julián Ferrer, 2017, pág. 40).

Por lo que:

$$p_o = \frac{F_Q}{A_{dQ}} \quad [21]$$

Donde.

p_o : presión de operación

F_Q : fuerza quemador

A_{dQ} : área del ducto del quemador

La fuerza del quemador se determina a partir de la potencia o capacidad que tendría el quemador y la velocidad (Resnick, Halliday & Krane, 2004, pág. 160).

Por lo que:

$$P_Q = F_Q * V_{aire} \quad [22]$$

$$F_Q = \frac{P_Q}{V_{aire}}$$

Donde.

P_Q : potencia máxima del quemador o capacidad = 236 KW

$$F_Q = \frac{236000 \frac{\text{Kg} * \text{m}^2}{\text{seg}^3}}{10 \frac{\text{m}}{\text{seg}}}$$

$$F_Q = 23600 \frac{Kg * m}{seg^2}$$

$$F_Q = 23600 N$$

Para determinar el área del ducto del quemador, se procede de la siguiente manera:

$$A_{dQ} = \pi * \varnothing^2 \quad [23]$$

Dónde:

\varnothing : diámetro del ducto del quemador = 124 mm (**modelo GX4S**), se establece en los datos técnicos, mostrada en la tabla 6.

* Medida representadas en milímetros [mm].

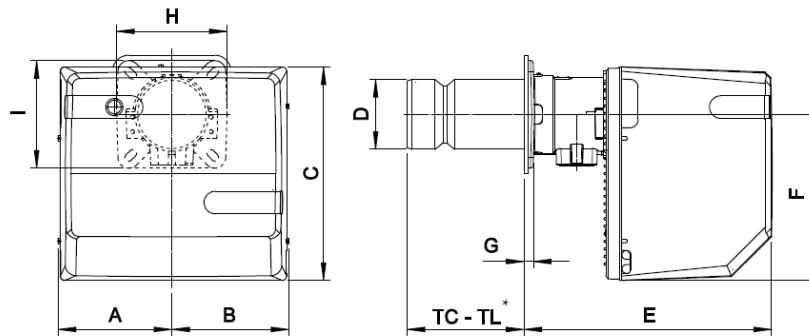


Fig. 4 Medidas G X3H - G X3S - G X4H - G X4S - G X5H - G X5S

MODELO	A	B	C	D	E	F	G	H	I
G X3H G X3S	182	192	318	110	306	248	17	200	200
G X4H G X4S	182	192	318	124	306	248	17	200	200
G X5H G X5S	210	218	400	130	461	310	18	200	200

Figura 10. Especificaciones técnicas del quemador.

Por lo que:

$$A_{dQ} = 0.048 m^2$$

Una vez definido el área y la fuerza, se procede a determinar la presión de operación la siguiente manera:

$$p_o = \frac{23600 N}{0.048 m^2}$$

$$p_o = 491\ 666.67 Pa$$

$$p_o = 71.31 psi$$

Factor de diseño, según bibliografía como diseño de elementos de máquinas (Robert L. Mott, 2006, pág. 185), recomiendan dar una seguridad adicional a componentes críticos y justificar también el empleo de este valor el cual debe ser mayor que 1 hasta 10 dependiendo de las circunstancias para evitar fallas, en este caso como se trabajará con combustibles se utilizara el mayor valor.

$$p_D = p_O * n_d \quad [24]$$

$$p_D = 71.31 * 10$$

Dónde:

p_D : presión de diseño

n_d : factor de diseño

Definido los acotamientos necesarios, se determina que la presión de diseño (p_D) es:

$$p_D = 713.1 \text{ psi}$$

Una vez detallada la presión, se procede a determinar un tubo de acero ASTM A53 GRB para conducción de fluidos con cedula 40 de 1" de diámetro, el cual maneja una presión máxima de 700 psi, el mismo que es el más comercial a nivel nacional, mostrada en la tabla 7.

Tabla 7. Tabla de medidas

Diámetro nominal [pulgadas]	Diámetro exterior [mm]	Espesor [mm]	Peso [Kg/m]	Presión [$lb/pulg^2$]
1"	33.40	3.38	2.50	700
2"	60.30	3.91	5.44	2500
3"	88.90	5.49	11.29	2500
4"	114.30	6.02	16.07	2210

(Import Aceros, 2020)

2.3.1.6. DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

Para empezar, se debe considerar en primera instancia que el intercambiador de calor será de flujo cruzado o contraflujo, es decir uno de los fluidos pasa a través de tubos mientras que el otro pasa alrededor de dichos tubos formando un ángulo de 90°. El fluido de mayor temperatura circulara por el área menor, mientras que el fluido de menor temperatura circulara por el área mayor, como se muestra en la figura 11.

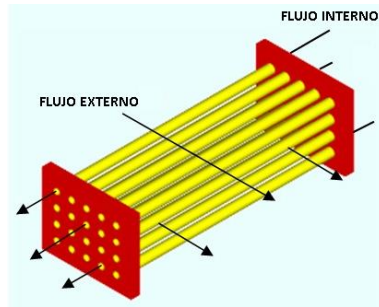


Figura 11. Esquema de un banco de tubos de flujo cruzado.

Partiendo de la consideración que este equipo es para una cabina de pintura, se debe tomar en cuenta el espacio disponible en la parte posterior de la cabina con un dimensionamiento de 3629 mm x 772 mm x 2260 mm, donde alojaría internamente el intercambiador de calor, como se muestra en la figura 12.

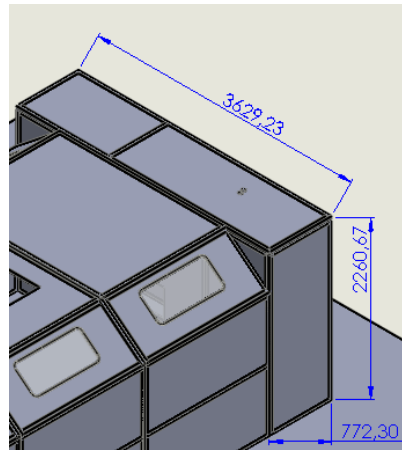


Figura 12. Parte posterior de la cabina de pintura empres CRGT Automotriz.

Por tal motivo se ha puesto las siguientes dimensiones tentativas 1098 mm x 672 mm x 1490 mm con una área total de $6.69 m^2$, para la elaboración del diseño y análisis del colector del intercambiador de calor, que serán corregidas en caso de ser necesarios al finalizar el estudio del mismo, como se muestra en la figura 13.

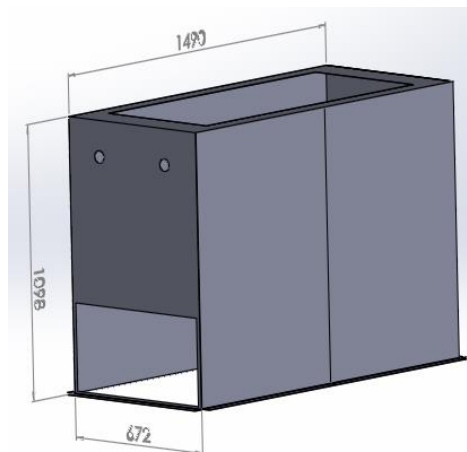


Figura 13. Colector de intercambiador de calor.

Para el análisis de las propiedades que debe tener el aire en la aplicación se debe encontrar la temperatura de película (T_f) (Yunus & Ghajar, 2011, pág. 399), que es la temperatura a la que se encuentra en el interior de un calentador.

$$T_f = \frac{T_w + T_e}{2} \quad [25]$$

Donde:

$T_w = T_{interior}$: temperatura máxima esperada del sistema (temperatura ideal para secado de pintura).

T_e : temperatura ambiente más baja en Quito 15°C (INAMHI, 2020).

$$T_f = \frac{60^\circ C + 15^\circ C}{2}$$

$$T_f = 37.5^\circ C$$

Una vez obtenido el valor de la temperatura de película, se determina el flujo másico del aire.

$$\dot{m}h = Q_i * \delta \quad [26]$$

$$\dot{m}h = 13\,786.2 \frac{m^3}{h} * 1.136 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{m}h = 4.35 \frac{kg}{s}$$

Para determinar la capacidad del intercambiador de calor se debe realizar mediante el método de la diferencia media logarítmica de temperatura (LMTD). Es fácil de aplicar en el análisis de los intercambiadores de calor cuando se conocen o se pueden determinar las temperaturas a la entrada y salida de los fluidos calientes y fríos a partir de un balance de energía. (Yunus & Ghajar, 2011, pág. 632)

$$Q_{interc} = U * F * A_S * \Delta T_{ml_{cf}} \quad [27]$$

Donde:

\dot{Q} : razón de transferencia total de calor.

U : coeficiente global de transferencia de calor.

F : factor de corrección intercambiador.

A_S : área total de transferencia del intercambiador.

$\Delta T_{ml_{cf}}$: diferencia media logarítmica de temperatura.

Con el método LMTD, la tarea es seleccionar un intercambiador que satisfaga los requisitos prescritos de transferencia de calor, el procedimiento que debe seguirse en el proceso de selección es:

- Seleccionar el tipo de intercambiador de calor apropiado.
- Determinar cualquier temperatura desconocida entrada/salida y la razón de transferencia mediante un balance de energía.
- Calcular la diferencia de temperatura media logarítmica ΔT_{ml} y el factor de corrección F si es necesario.
- Obtener el valor de coeficiente de transferencia de calor total U .
- Calcular el área superficial A_s de transferencia de calor.

La diferencia media logarítmica de temperatura se expresa en la ecuación 28 y se presentan los términos ΔT_1 y ΔT_2 en la figura 14.

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \quad [28]$$

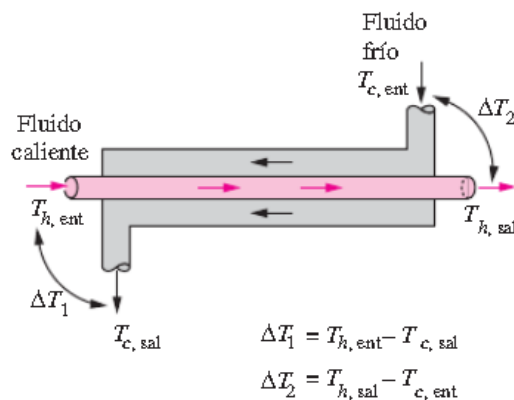
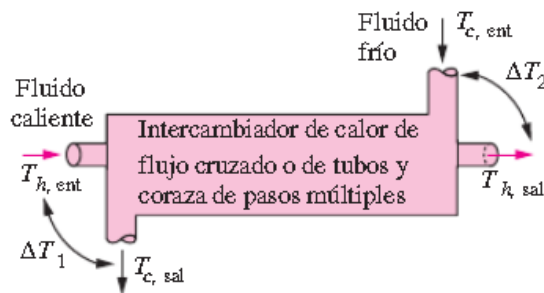


Figura 14. Expresión de ΔT_1 y ΔT_2 en un intercambiador de flujo cruzado.

Una vez definida la diferencia media logarítmica de temperatura, es necesario involucrar un factor de corrección que toma en consideración la geometría del intercambiador además de las temperaturas de entrada y salida de los dos fluidos, como se muestra en la figura 15.



Razón de la transferencia de calor:

$$\dot{Q} = UA_s F \Delta T_{ml,CF}$$

donde
$$\Delta T_{ml,CF} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

$$\Delta T_1 = T_{h,ent} - T_{c,sal}$$

$$\Delta T_2 = T_{h,sal} - T_{c,ent}$$

Figura 15. Determinación de la razón de transferencia de calor en intercambiadores de flujo cruzado de tubos.

El cálculo de la selección de intercambiador de calor se considera la primera ley de la termodinámica requiere que la velocidad de la transferencia de calor desde el fluido caliente sea igual a la transferencia de calor hacia el frío (Yunus & Ghajar, 2011, pág. 640); es decir.

$$Q_h = Q_c = W_T \quad [29]$$

$$Q_h = \dot{m}_h * C_{ph} * (T_{h_{entrada}} - T_{h_{salida}}) \quad [30]$$

$$Q_c = \dot{m}_c * C_{pc} * (T_{c_{entrada}} - T_{c_{salida}}) \quad [31]$$

Dónde:

W_T : flujo de calor total.

Q_h : razón de transferencia de calor de flujo caliente.

Q_c : razón de transferencia de calor de flujo frío.

$\dot{m}_h; \dot{m}_c$: flujo másico de cada fluido.

$C_{ph}; C_{pc}$: calores específicos de cada fluido.

$T_{h_{entrada}}; T_{c_{entrada}}$: temperaturas de entrada.

$T_{h_{salida}}; T_{c_{salida}}$: temperaturas de salida.

Anteriormente en la selección del quemador de combustible encontramos la razón de transferencia de calor total W_T y un flujo másico de $\dot{m}_h = 4.35 \frac{kg}{s}$.

$$Q_h = Q_c = 261.43 \text{ Kw}$$

Para el cálculo de la razón se debe tener las propiedades del aire a las temperaturas de 15°C y 60°C la cual se muestra en la Tabla 5.

La temperatura a calcular se refiere a la temperatura inicial del ducto de entrada que une desde el quemador, para lo cual partimos desde la temperatura de salida del mismo ducto.

$$T_{h_{salida}} = 60^\circ\text{C} = 333^\circ\text{K}.$$

$$Q_h = \dot{m}_h * C_{ph} * (T_{h_{entrada}} - T_{h_{salida}})$$

$$261430 \text{ J/s} = 4.35 \text{ kg/s} * 1007 \text{ J/kg} * \text{K} * (T_{h_{entrada}} - 333^\circ\text{K})$$

$$T_{h_{entrada}} = \frac{261430 \text{ J/s}}{4.35 \text{ kg/s} * 1007 \text{ J/kg} * \text{K}} + 333^\circ\text{K}$$

$$T_{h_{entrada}} = 392.68^\circ\text{K} = 119.53^\circ\text{C}$$

Para determinar la temperatura de salida del aire de enfriamiento se necesita encontrar el flujo másico de la entra del aire frio, a una temperatura de 15°C, propiedades del aire se muestra en la Tabla 5.

$$\dot{m}c = Qi * \delta$$

$$\dot{m}c = 13\,786.2 \frac{m^3}{h} * 1.225 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{m}c = 4.69 \frac{kg}{s}$$

Una vez determinado el flujo másico de la etapa de enfriamiento se encuentra la temperatura de salida de la razón de transferencia del fluido frio, el cual ingresa al plenum de la cabina.

$$T_{c_{entrada}} = 15^\circ C = 288^\circ K.$$

$$Q_c = \dot{m}c * C_{pc} * (T_{c_{entrada}} - T_{c_{salida}})$$

$$T_{c_{salida}} = \frac{261430 \frac{J}{s}}{4.69 \frac{kg}{s} * 1007 \frac{J}{kg * K}} + 288^\circ K$$

$$T_{c_{salida}} = 343.35^\circ K = 70.2^\circ C$$

Esta temperatura se refiere a la salida del aire de enfriamiento el cual ingresara nuevamente al sistema para que este no tenga un choque térmico y sea de tipo cerrado.

Para encontrar la media logarítmica de temperatura (Yunus & Ghajar, 2011, pág. 624) se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$\Delta T_1 = Th_{entrada} - T_{c_{salida}} \quad [32]$$

$$\Delta T_1 = 119.53^\circ C - 70.2^\circ C$$

$$\Delta T_1 = 49.33^\circ C$$

$$\Delta T_2 = Th_{salida} - T_{c_{entrada}} \quad [33]$$

$$\Delta T_2 = 60^\circ C - 15^\circ C$$

$$\Delta T_2 = 45^\circ C$$

Una vez determinados los valores de cada una de las diferencias medias logarítmicas de temperatura se procede a calcular:

$$\Delta T_{ml_{cf}} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

$$\Delta Tm_{cf} = \frac{49.33^{\circ}\text{C} - 45^{\circ}\text{C}}{\ln(49.33^{\circ}\text{C}/45^{\circ}\text{C})}$$

$$\Delta Tm_{cf} = \frac{49.33^{\circ}\text{C} - 45^{\circ}\text{C}}{\ln(49.33^{\circ}\text{C}/45^{\circ}\text{C})}$$

$$\Delta Tm_{cf} = 47.13^{\circ}\text{C}$$

Para un intercambiador de flujo cruzado el factor de corrección es menor que la unidad, es decir $F \leq 1$, por lo tanto F es una medida de la desviación de la ΔTm con respecto a los valores correspondientes para el caso de contraflujo, en función de las razones P y R entre dos temperaturas, definidas como:

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad [34]$$

$$P = \frac{70.2 - 15}{119.53 - 15}$$

$$P = 0.52$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad [35]$$

$$R = \frac{119.53 - 60}{70.2 - 15}$$

$$R = 1.07$$

Con los valores de P y R , procedemos a realizar el análisis en el diagrama del factor de corrección F para intercambiadores de calor de flujo cruzado, mostrada en el figura 16.

Se procede a intersecar la línea y la curva a la que corresponden de tal manera que da un valor $F = 0.90$

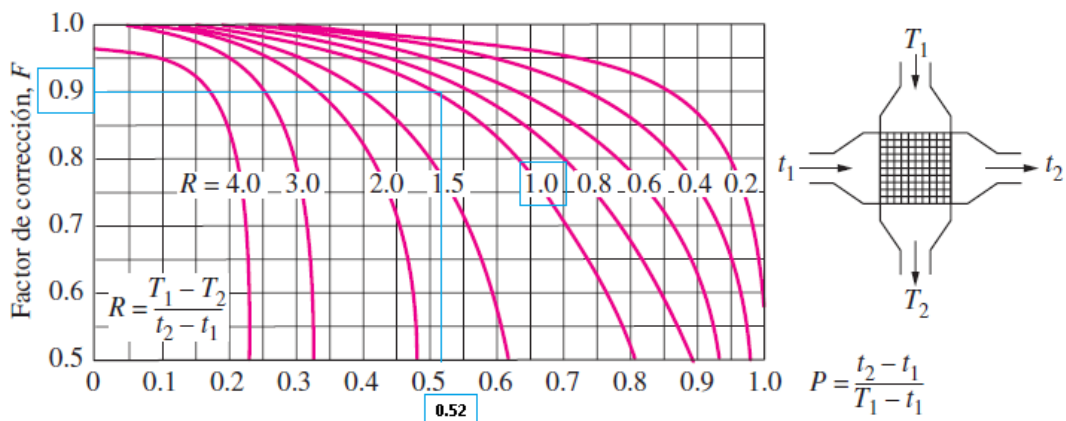


Figura 16. Diagrama de flujo cruzado de un solo paso con los dos fluidos de flujo no mezclado.

Con el factor de corrección encontrado procedemos a realizar el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor.

$$\dot{Q} = U * F * A_S * \Delta T m_{cf}$$

$$U = \frac{261430 \text{ W}}{6.69 \text{ m}^2 * 0.90 * 47.13^\circ \text{ C}}$$

$$U = 921.28 \text{ W/m}^2 * ^\circ \text{ C}$$

2.3.1.7. ARREGLO DE BANCO DE TUBOS

La fila de los tubos de un banco, pueden tener una configuración: lineal o escalonada, en dirección de la velocidad del fluido, mostrada en la figura 17.

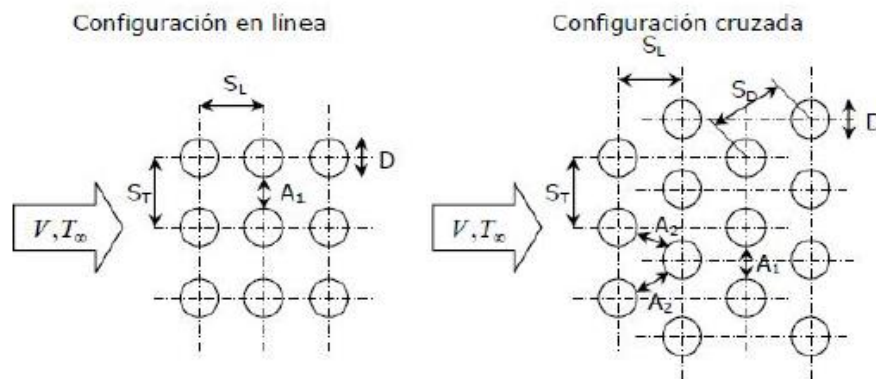


Figura 17. Arreglos de tubos de un banco intercambiador de calor.

La ventaja del espaciado lineal tiene una baja caída de presión cuando el fluido circula en la misma dirección indicada y resultan accesibles para la limpieza externa. En cambio, en la configuración triangular se produce mayor turbulencia, debido a que el fluido circula entre los tubos adyacentes golpeando directamente en la hilera siguiente.

Una buena práctica de arreglos de los tubos es considerar 1.25 veces el diámetro exterior de los mismos y una anchura mínima de paso para la limpieza de ¼ de pulgada para la configuración lineal, conforme a la normalización publicada por T.E.M.A (standards of tubular exchanger manufacturers association) asociación de fabricantes de intercambiadores de calor de carcasa y tubos.

2.3.1.8. CAPACIDAD DE TANQUE DE COMBUSTIBLE

$$V_{TANQUE} = \pi * r_T^2 * h_T \quad [36]$$

Dónde:

V_{TANQUE} : volumen del tanque

r_T : radio tanque

h_T : altura del tanque

$$V_{TANQUE} = \pi * (0.30 \text{ m})^2 * 1.35 \text{ m}$$

$$V_{TANQUE} = 0.38 \text{ m}^3 = 380 \text{ litros}$$

Por lo que el tanque de combustible tendrá una capacidad de 380 litros y será colocado a una altura de 2.30 metros en el cual se encontrará en una oficina libre y se tendrá acceso mediante gradas, como se muestra en la figura 18.

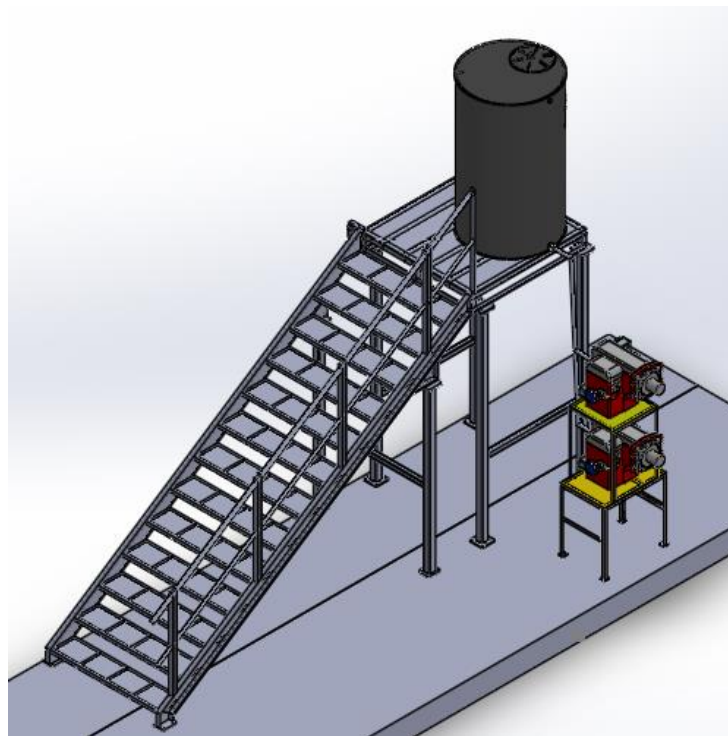


Figura 18. Tanque de combustible y quemadores.

Una vez ya definido los componentes entre los cuales se encuentran: impulsores de aire, quemadores e intercambiador de calor se procede a diseñar, modificar e implementar en el software CAD los componentes antes mencionados en la cabina de pintura, como se muestra en la figura 19 y 20.

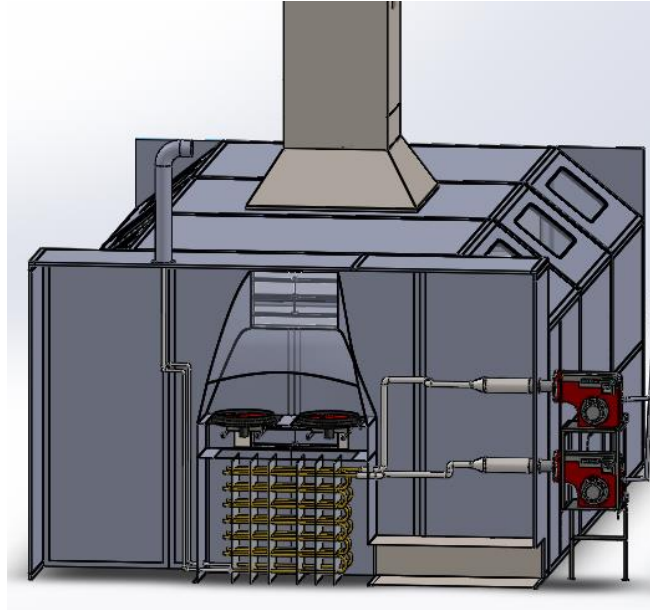


Figura 19. Sistema intercambiador de calor.

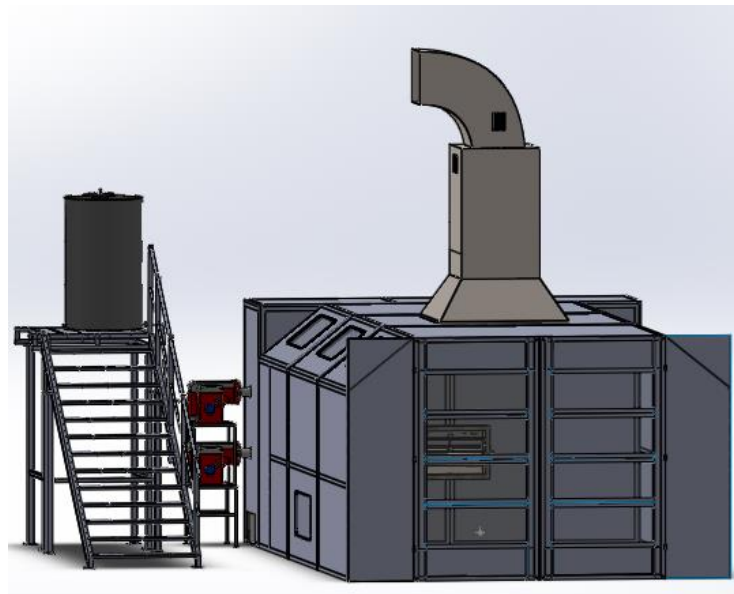


Figura 20. Ensamble y rediseño de cabina CRGT Automotriz

2.3.2. SISTEMA ELÉCTRICO

Para realizar el sistema de control de una manera eficiente se debe contar con los circuitos eléctricos necesarios para poder enlazar los equipos de actuación como: motores y quemadores con los elementos de mando del tablero de control.

2.3.2.1. REDISTRIBUCIÓN DE LUMINARIA INTERNA

La buena iluminación interna de la cabina es uno de los aspectos ergonómicos más importantes ya que de esto depende la seguridad de los operarios y una visibilidad eficiente.

Para seleccionar una adecuada iluminación es necesario determinar:

- Tipo de trabajo que se va a desarrollar.
- Tipo de luminarias que proporcione la luminosidad requerida.

De acuerdo a los niveles de iluminación para tareas visuales y áreas de trabajo establecidos por la norma europea UNE-EN 12464, se recomienda 750 luxes mínimo para talleres de alta precisión (cabinas de pintura, acabados de superficies y laboratorios de control de calidad).

Para realizar los cálculos de iluminación interna de la cabina se procedió a utilizar el Software Dialux Evo debido a que trabaja con la norma europea antes mencionada, en la figura 21 mostramos los parámetros requeridos, los cuales son las dimensiones de la cabina.

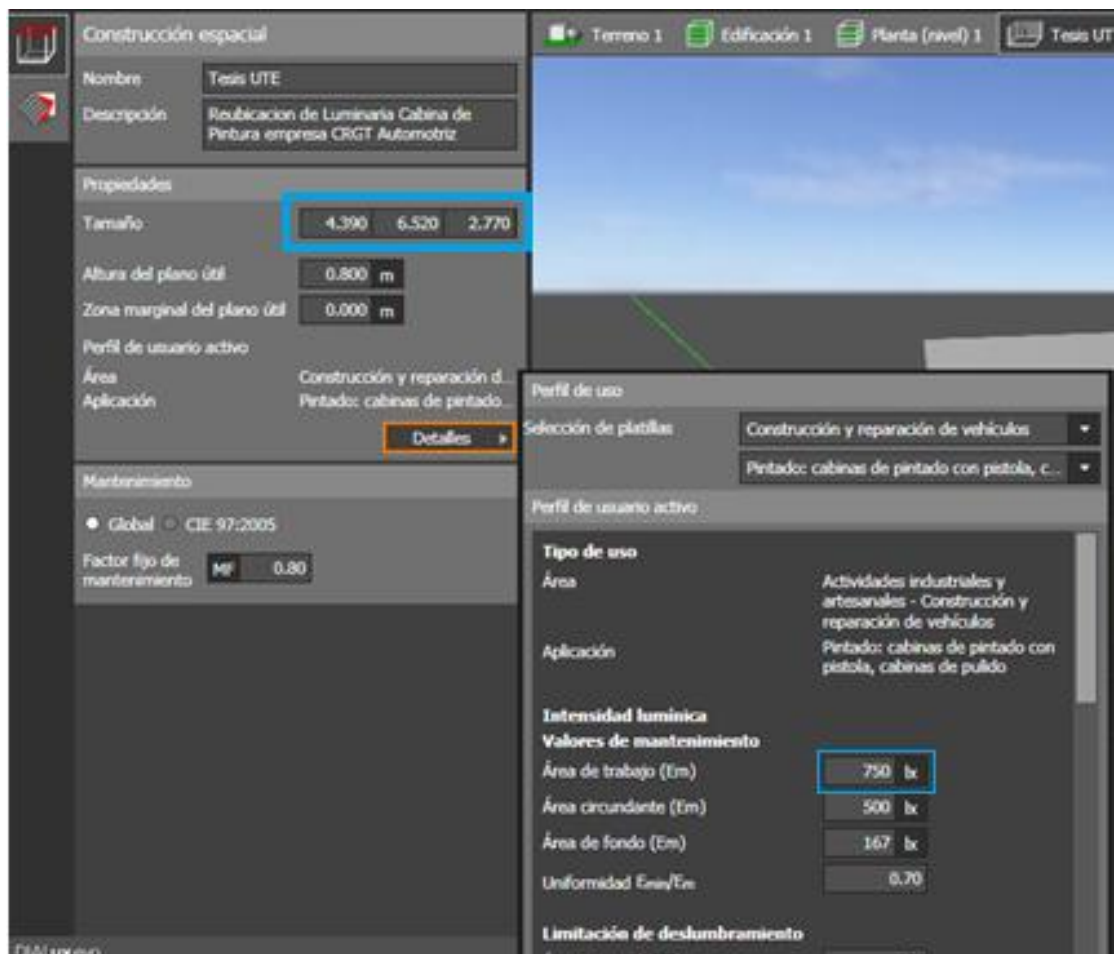


Figura 21. Parámetros de diseño Dialux Evo.

El programa Dialux Evo cuenta con herramientas de simulación en el cual se coloca el vehículo tipo sedán dentro del área de la cabina interna, como se muestra en la figura 22.

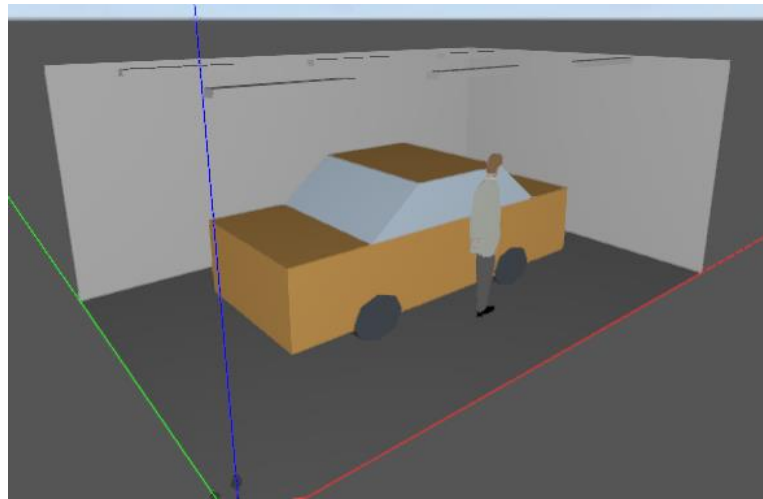


Figura 22. Objetos en la cámara de simulación.

Se realiza la distribución de 6 lámparas marca Phillips LL512X LED31S, mostrada en la figura 23, para cumplir con los valores según la norma UNE-EN 1244 y se procede con la simulación, teniendo como resultado el flujo luminoso de 787 luxes en el área de pintado, el cual se encuentra en el rango de iluminación para talleres de alta precisión.

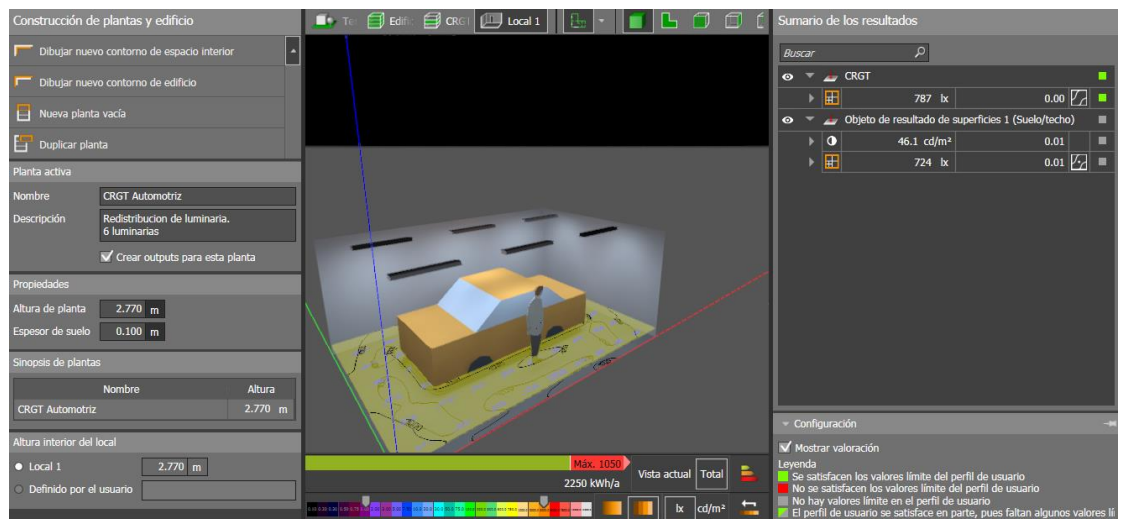


Figura 23. Distribución de lámpara y simulación.

En la figura 24, se puede observar la distribución de la luminaria expresada en metros (m).

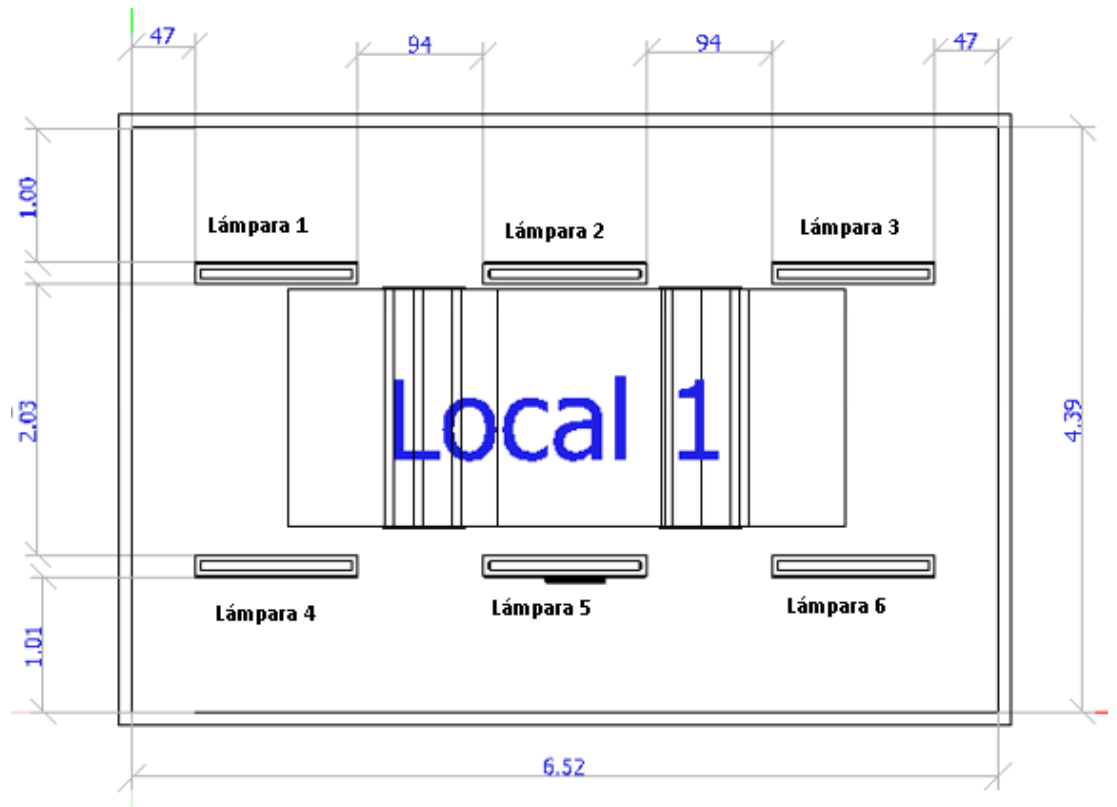


Figura 24. Redistribución de luminaria

2.3.2.2. CIRCUITO REPARTIDOR DE CARGA

En la figura 25, muestra el diagrama del circuito eléctrico de alimentación de voltaje, el cual tendrá un breaker de 2 polos de la marca ABB modelo S202-C32 identificado con Q1 y será conectados a los bloques de distribución de carga de la marca ABB modelo BRT-125A (borneras) identificados con XA, XB, XC.

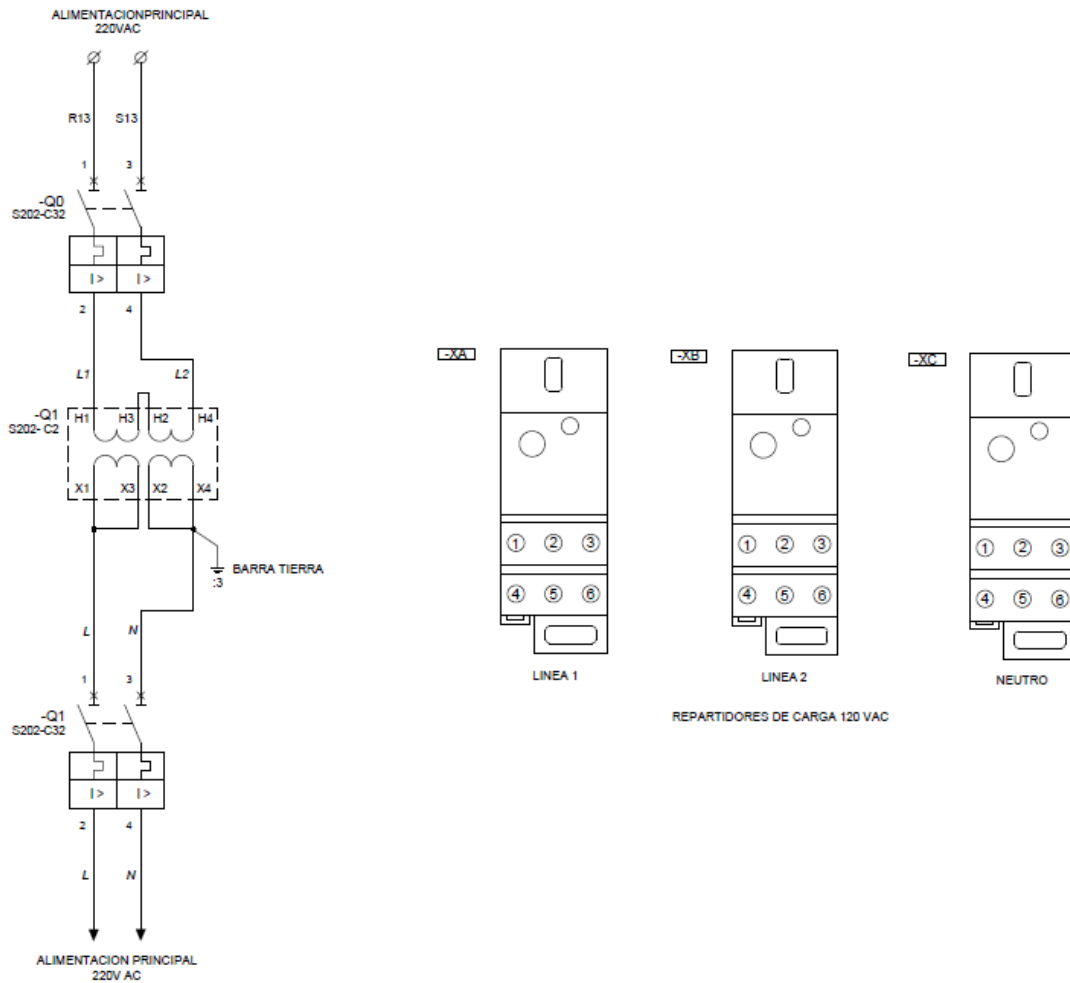


Figura 25. Diagrama circuito de alimentación de voltaje

2.3.2.3. CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN DE MOTORES

Los circuitos están compuestos por 3 guardamotores de marca ABB modelo MS132 identificados Q10, Q11, Q12 los cuales tiene la funcionalidad de conmutación ON/OFF.

En la figura 26, muestra el diagrama del circuito de extracción de gases inflamables el cual entra en funcionamiento al finalizar el proceso de pintado. Este circuito está compuesto por 1 guardamotor (Q12) y 1 extractor de marca Montero DETON que abarca $16\ 000\ m^3/h$ de 650 rpm, hélice 32", 120 V, 60 Hz y con un Motor de 0.75 KW.

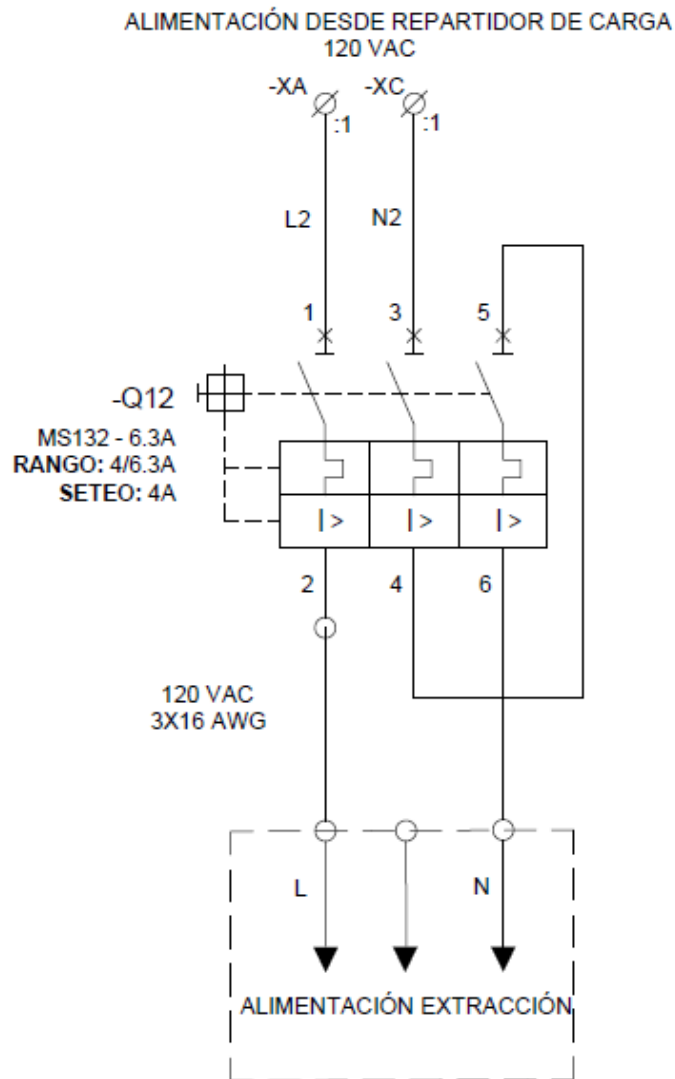


Figura 26. Diagrama circuito eléctrico de sistema de extracción

En la figura 27, muestra el sistema de impulsión de aire caliente generado en la cámara de combustión hacia el interior de la cabina para el proceso de secado de pintura, el cual está compuesto 2 guardamotores (Q10, Q11), 2 variadores de frecuencia (A1, A2) para controlar la velocidad de los motores y por 2 Impulsores de aire de marca Dayton modelo 6K937 totally enclosed fan cooled, que abarca 4175 CFM cada uno, 1725 rpm, Motor hermético de ½ HP

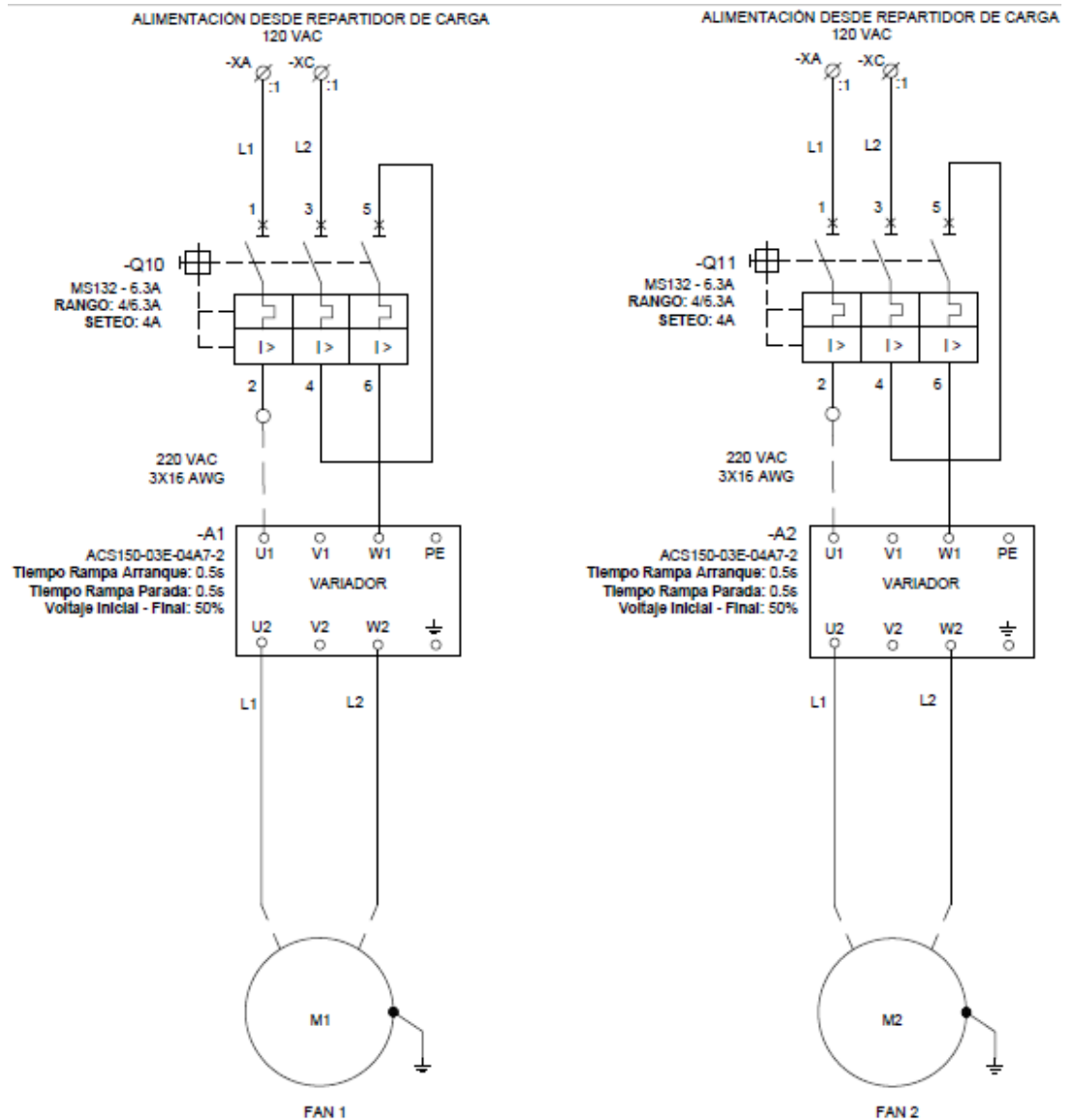


Figura 27. Diagrama circuito eléctrico sistema de impulsión.

2.3.2.4. CIRCUITO DE TRANSFORMACIÓN DE CARGA DE 120 VAC A 24 VCC.

Para energizar y proteger tanto el PLC como el módulo de salidas análogas se utiliza una fuente de poder externa que transformará el voltaje de 120 VAC a 24 VCC modelo CP-E 24 VCC /10 A (G1) y un breaker de 2 polos marca ABB modelo S202-C16 (Q3), como se muestra en la figura 28.

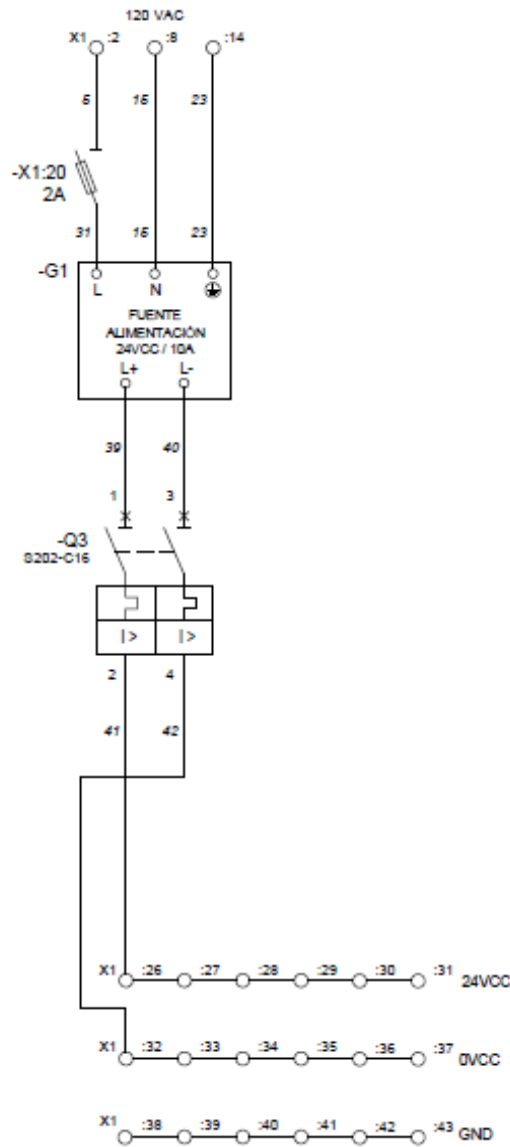


Figura 28. Diagrama circuito eléctrico de 120 VAC a 24 VCC.

2.3.3. SISTEMA DE CONTROL

Para realizar el diseño del sistema de automatización y control iniciamos de la necesidad de obtener una temperatura de 20 °C durante el proceso de pintado y 60 °C para el proceso de secado. Además, para el calentamiento del recinto se emplea un sistema intercambiador de calor (quemadores diésel) que proporcionará la potencia de operación, estos quemadores diésel serán controlados con un PLC Siemens S7-1200, el cual activará los quemadores de combustión conjuntamente con los impulsores de aire y el sistema se encargará de apagar o encender con el fin de mantener estable la temperatura interna de la cabina en ambos procesos. Para lo cual constará de un sistema de control automático y manual.

El controlador lógico programable que se utiliza dependiendo de las necesidades del presente proyecto será un PLC marca Siemens, modelo S7-1200 con módulo CPU 1214C mostrada en la figura 29, el cual permitirá una solución efectiva dentro del proyecto.



Figura 29. PLC Siemens S7-1200

El software TIA Portal mostrada en la figura 30, se utilizó para la programación, planificación de todos los procesos en la automatización del sistema intercambiador de calor para el proceso de secado de carrocerías, el cual ofrece un entorno de ingeniería unificado para todas las tareas de control, visualización y accionamiento.

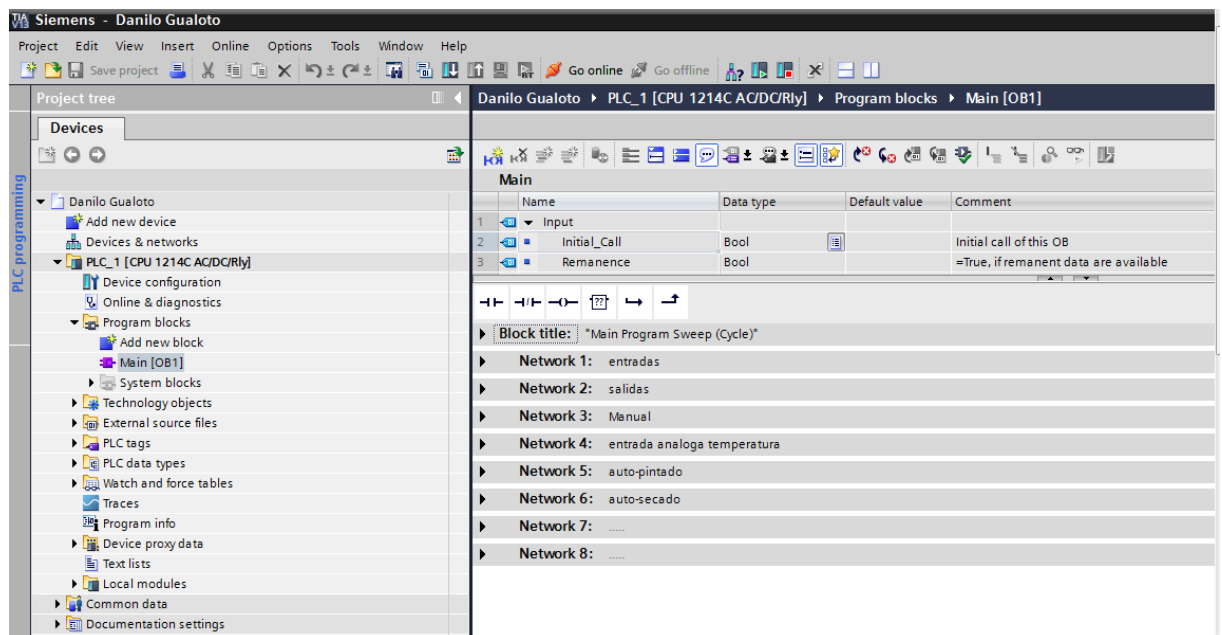


Figura 30. Software TIA Portal V13.

2.3.3.1. TABLERO DE CONTROL

El sistema de control tendrá un tablero maestro de arranque automático y manual, el cual estará conectado a los equipos relacionados con la extracción de gases inflamables durante el proceso de pintado y con el calentador durante el proceso de secado, como muestra el Anexo 4 hoja 2.

El tablero de control constará:

- Parte externa:
 - 1 pulsador de paro de emergencia
 - 1 interruptor para modo manual / automático
 - 2 interruptores de impulsores de aire caliente
 - 1 interruptor de ventilador extractor de gases inflamables
 - 2 interruptores de quemadores de combustible
 - 1 interruptor de pintado/secado
 - 7 luces piloto

- Parte interna:
 - 1 breaker ABB S202- C32
 - 3 bloques de distribución ABB BRT-125A
 - 1 breaker ABB S202-C16
 - 6 borneras triples ABB ST-2.5 PE/L/N
 - 6 borneras portafusible ABB ZS4-SF-R1
 - 1 fuente de poder ABB CP-E-5A
 - 1 termostato de ventilación ABB EN0101K
 - 1 PLC Siemens S7-1200
 - 15 relés de 4 contactos ABB
 - 3 guardamotor ABB MS
 - 2 variadores de frecuencia ABB ACS150

2.3.3.2. DIAGRAMA DE FLUJO

En la figura 31, muestra el diagrama de flujo de las actividades del proceso de pintado automático.

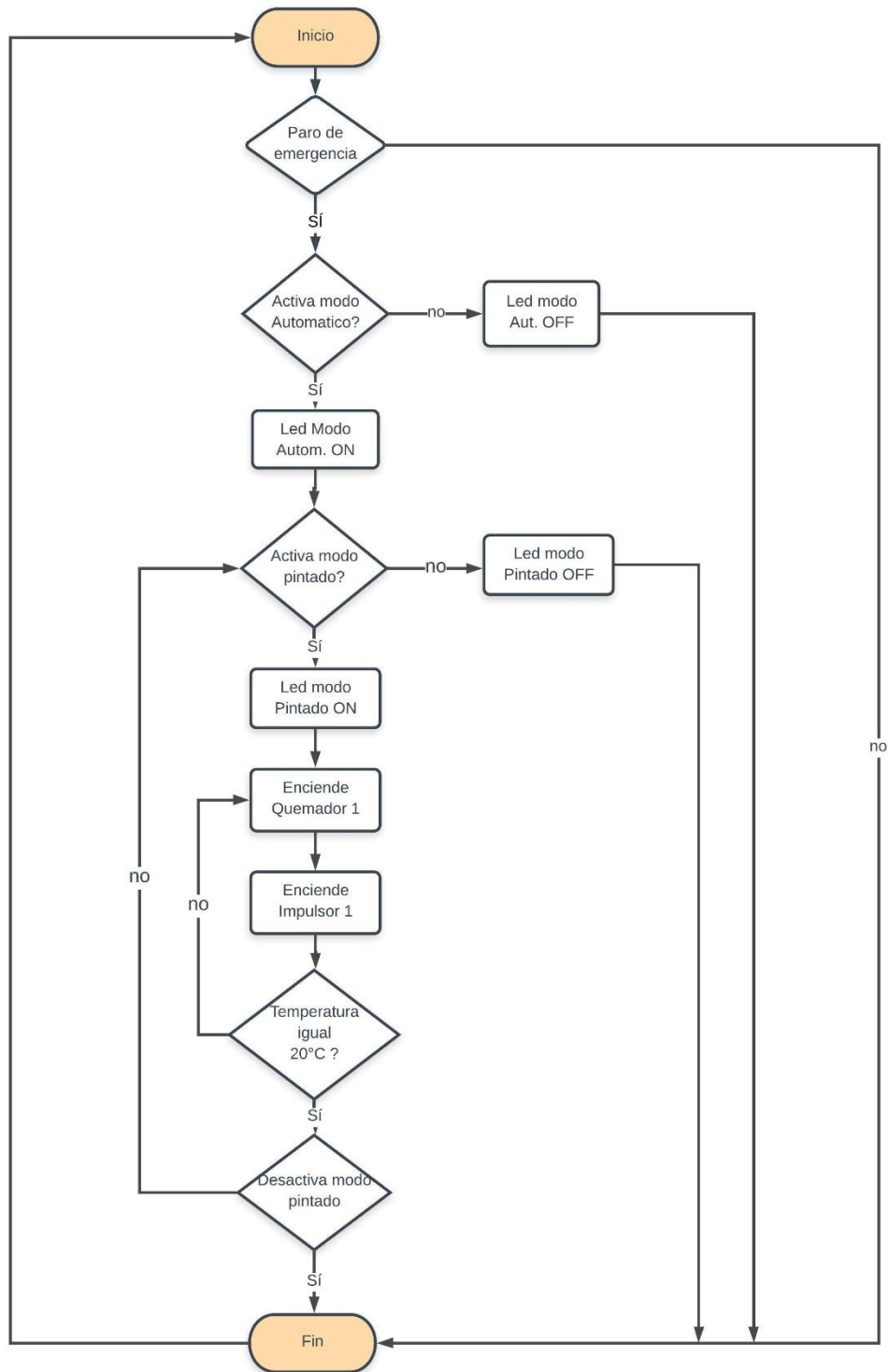


Figura 31. Diagrama de flujo proceso de pintado automático.

En la figura 32, muestra el diagrama de flujo de las actividades del proceso de secado automático.

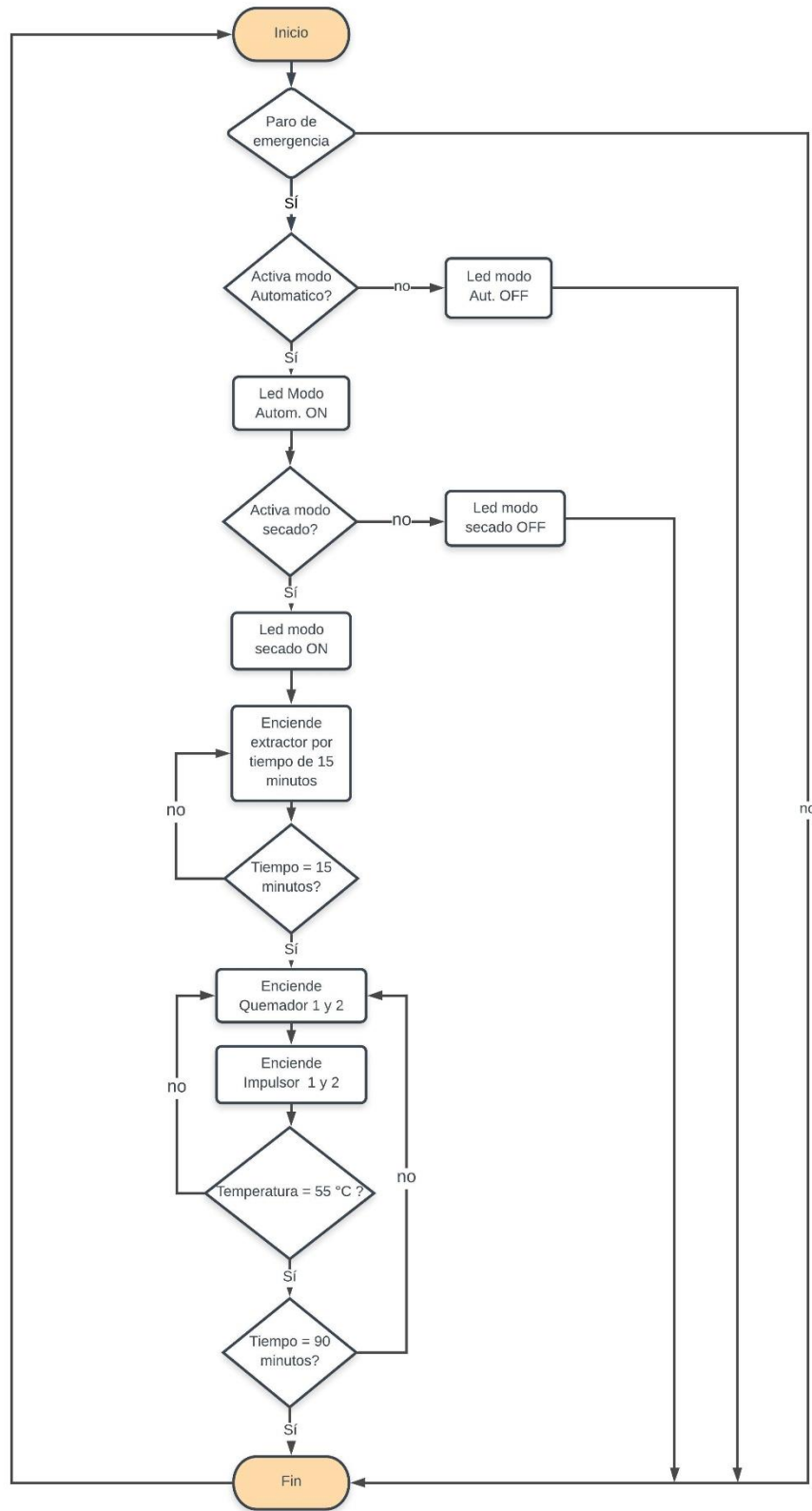


Figura 32.Diagrama de flujo proceso secado automático.

2.3.3.3. MODO MANUAL

Para entrar en operación al modo manual de proceso de pintado y proceso de secado, se debe seleccionar el interruptor de tres posiciones en el modo manual, teniendo previamente en cuenta el pulsador de paro de emergencia se encuentre enclavado para poder energizar todos los actuadores como muestra en la figura 33, ya que estos funcionarán independientemente uno del otro según el proceso que se requiera realizar.

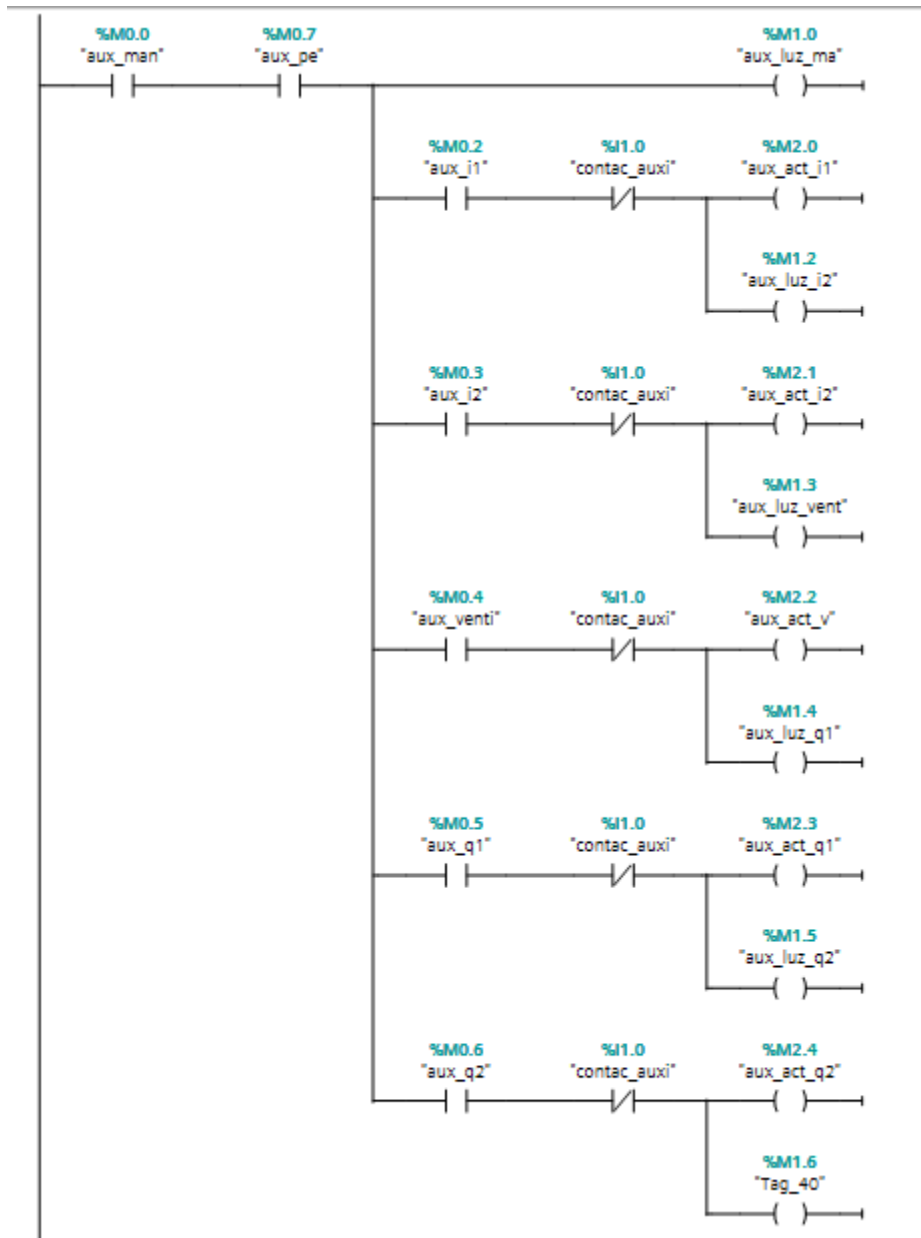


Figura 33. Diagrama de control modo manual.

2.3.3.4. MODO DE PROCESO DE PINTADO AUTOMÁTICO

En el proceso de pintado no se realiza ningún control de tiempo debido a que no se puede establecer un promedio en realizar dicho trabajo, por lo cual entra en funcionamiento al accionar el interruptor de proceso de pintado, seguidamente se accionará automáticamente el quemador 1, impulsor 1 y los indicadores respectivos de los actuadores antes mencionados, como muestra en la figura 34.

Durante todo el proceso de pintado dentro de la cabina se mantendrá una temperatura estable de 20 °C, una vez que el operario termine el proceso de pintado se deberá desactivar el interruptor de pintado para finalizar.

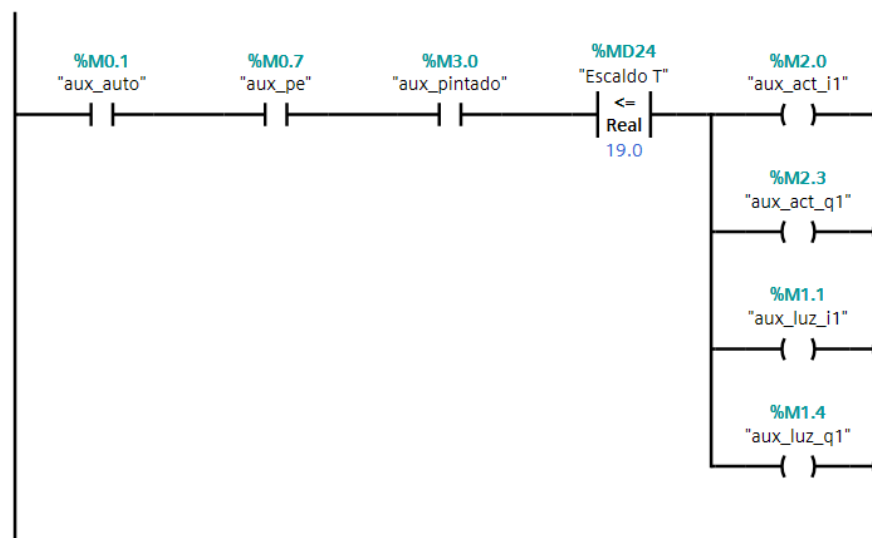


Figura 34. Diagrama de control modo de pintado automático.

2.3.3.5. MODO DE PROCESO DE SECADO AUTOMÁTICO

Una vez seleccionado la operación de proceso de secado automático, esta se divide en dos fases:

- a) Extracción de gases inflamables.

Como se muestra en la figura 35, en esta fase se activará el extractor ubicado en la parte superior de la cabina durante 15 minutos (900000ms), con la finalidad de expulsar todos los gases inflamables que se generaron en el proceso de pintado.

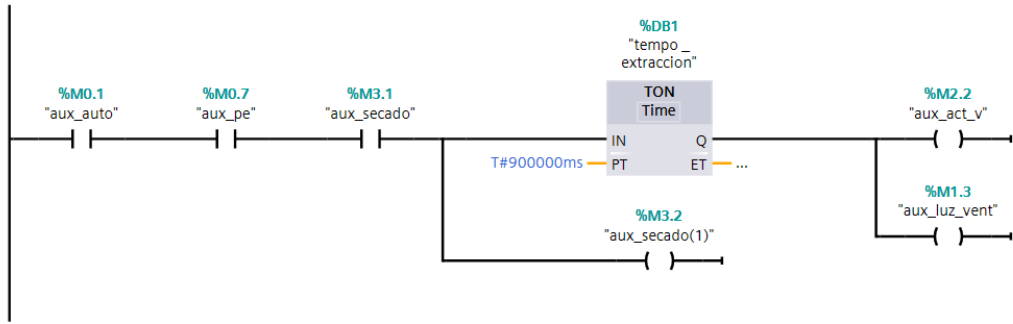


Figura 35. Diagrama de control extracción de gases.

b) Proceso de secado de pintura

En la figura 36 se muestra, una vez culminada con la fase de extracción, entran en funcionamiento los quemadores 1-2 e impulsores 1-2, con la finalidad de mantener una temperatura estable de 60 °C durante un tiempo de 90 minutos (5400000 ms).

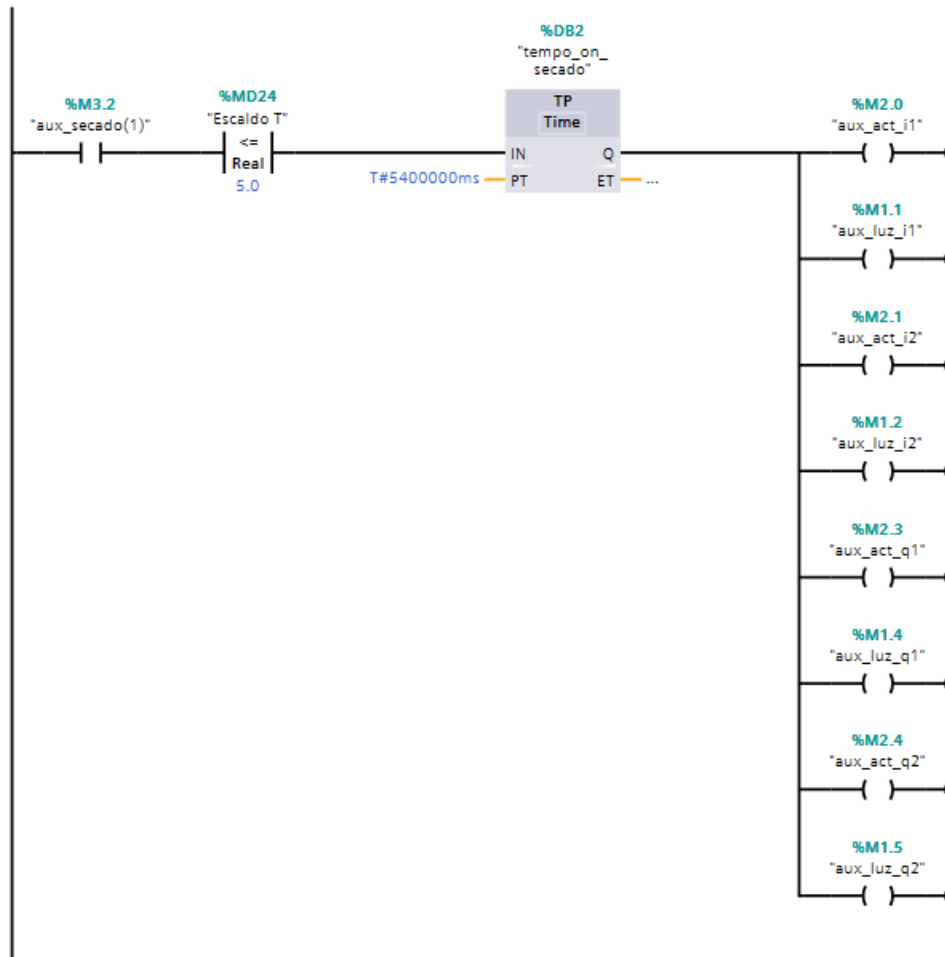


Figura 36. Diagrama de control de secado automático

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado se obtuvo un rediseño de la cabina de pintura de la empresa CRGT Automotriz en una cabina de horno, que funcionará para el proceso de secado de pintura de vehículos tipo sedán como se detalla en el alcance del proyecto, con un volumen interno de 76.27 m^3 .

La cabina de proceso de pintado/secado cuenta con un sistema de iluminación interna tipo led de flujo luminoso de 787 luxes en el área de trabajo, el cual se encuentra en el rango de iluminación para talleres de alta precisión.

Mediante el panel de control automático y manual gestionamos el ciclo de proceso de pintado y secado de las carrocerías, manteniendo la temperatura idónea de 20°C para el proceso de pintado y 60°C para el proceso de secado.

El funcionamiento de la cabina es de fácil manipulación por parte del usuario donde no se requiere previos conocimientos para el uso de la misma.

A continuación, se detallan en la tabla 9 los componentes utilizados.

Tabla 8. Lista de componentes

Descripción	Cantidad
Axial Dayton de 20" motor ½ HP 110/220V, capacidad 4000 CFM	2
Extractor Deton Montero $16000 \text{ m}^3/\text{h}$ 650 RPM, 110V	1
Quemador industrial FBR, modelo GX4S	2
PLC SIEMENS S7-1200	1
Selectores	6
Pulsador de paro de emergencia	1
Breaker 2 polos	3
Distribuidores de carga	3
Bornera de conexión	15
Bornera portafusible	15
Fuente de voltaje 24 VDC	1
Termostato de ventilación	1
Tomacorriente	1
Base de relé 4 contactos	15
Relé 4 contactos	15
Guardamotor	3
Variador de velocidad	2
Riel din	2
Canaletas plásticas	2
Sensor de temperatura	1

3.1. PRUEBAS Y SIMULACIONES

3.1.1. TRAYECTORIA DE FLUJO DE AIRE

Partiendo del ensamblaje de la cabina de pintura, mostrada en la figura 37; Se crea un proyecto de análisis computacional de fluidos con el software FlowSimulation de SolidWorks con la finalidad de simular la trayectoria del aire dentro de los ductos y cabina, para lo cual se utiliza un valor de 10 m/s para minimizar el factor de ruido, valor recomendado del fabricante de sistemas de ventilación Salvador Escoda S.A.

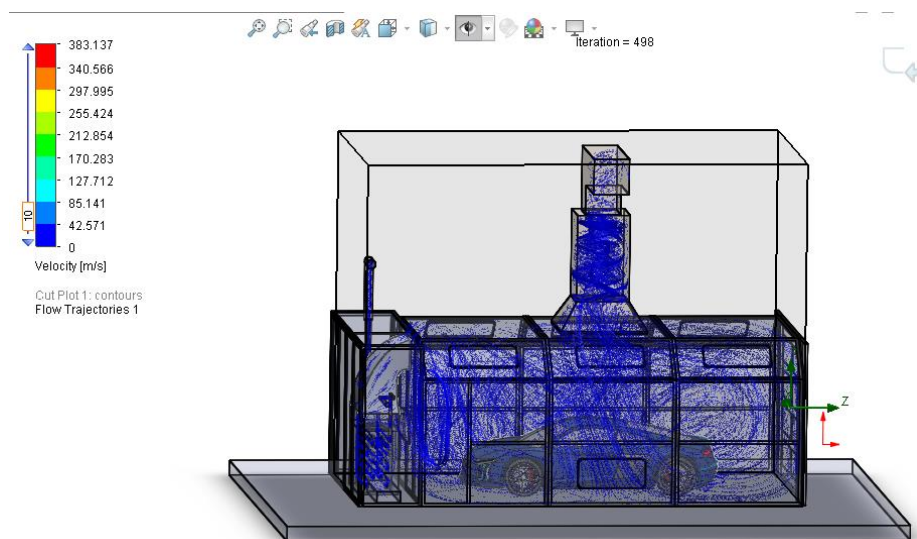


Figura 37. Distribuciones de aire

Como resultado muestra la distribución de la velocidad del aire dentro de la cabina y como actúa a lo largo de su trayectoria hasta salir por el ducto superior de extracción, cubriendo en su totalidad el vehículo.

3.1.2. PRESIÓN TOTAL INTERNA DE LA CABINA

En la figura 38 se muestra el diagrama de presión total, la cual determina que es variante, desde un valor máximo de 101623.10 Pa (14.74 PSI) en el sistema de serpentines hasta un valor mínimo de 101464.31 Pa (14.71 PSI) en los alrededores del vehículo.

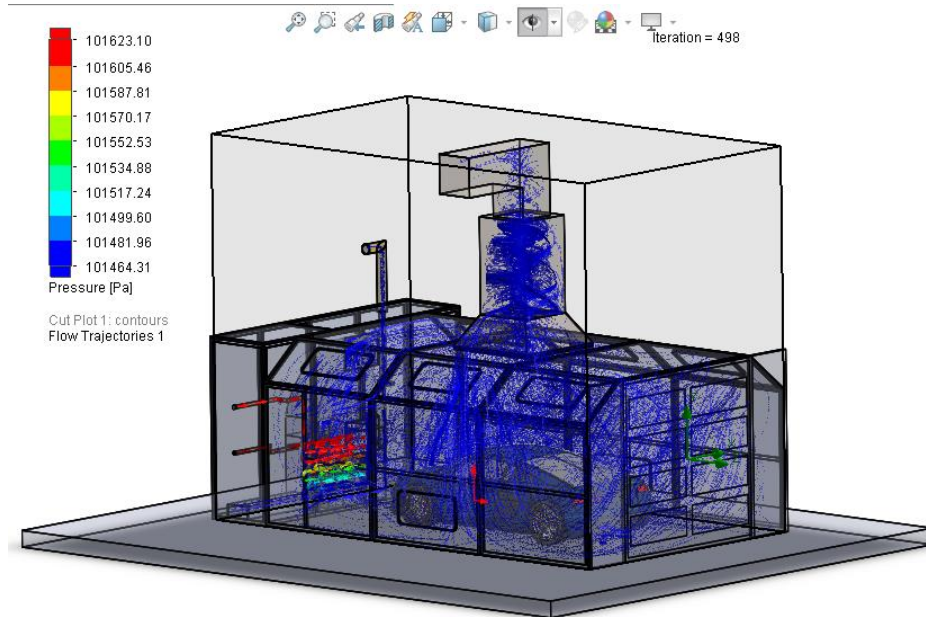


Figura 38. Diagrama de presión total

Por lo tanto, se demuestra que soportará la presión en los tubos del sistema de serpentines ya que no supera el valor de 38,86 PSI el cual fue calculado como presión de operación.

3.1.3. DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA

En la figura 39 se puede observar como la temperatura varía desde un valor máximo de 400.01 K (127 °C) en la entrada de los ductos de los quemadores diésel el cual se demuestra en la ecuación 30 con un valor de 119.53 °C , hasta un valor mínimo de 293.20 K (21 °C) en la parte interna de la cabina, la cual es óptima para el proceso de pintado.

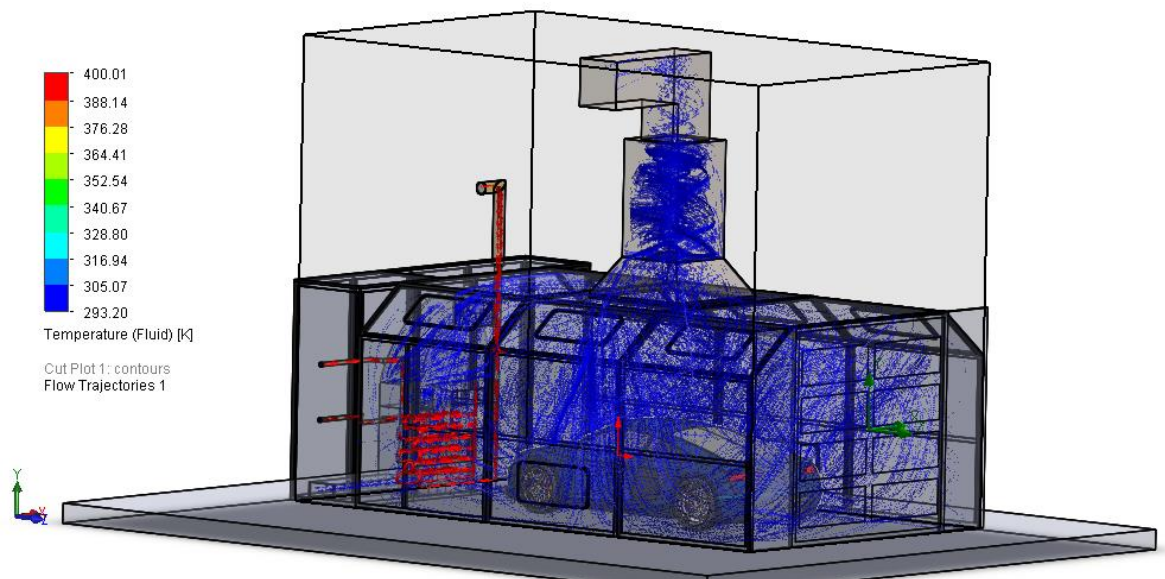


Figura 39. Distribución de temperaturas

3.2. ANÁLISIS ECONÓMICO

A continuación, se presenta la lista de equipos y elementos que formaran parte de la implementación del sistema el cual se encuentra dividido en costos de materiales mostrada en la tabla 10 y costo de mano de obra mostrada en la tabla 11.

Tabla 9. Costo de materiales

Descripción	Cantidad	Valor unitario [USD]	Valor total [USD]
Axial Dayton de 20" motor ½ HP 110/220V, capacidad 4000 CFM	2	538,00	1076,00
Extractor Deton Montero 16000 m ³ /h 650 RPM, 110V	1	440,00	440,00
Quemador industrial FBR, modelo GX5	2	1988,00	3976,00
PLC SIEMENS S7-1200	1	650,00	650,00
Selectores	6	5,00	30,00
Pulsador de paro de emergencia	1	4,00	4,00
Breaker 2 polos	3	15,00	45,00
Distribuidores de carga	3	25,00	75,00
Bornera de conexión	15	1,20	18,00
Bornera portafusible	15	1,50	22,50
Fuente de voltaje 24 vdc	1	80,00	80,00
Termostato de ventilación	1	12,00	12,00
Tomacorriente	1	20,00	20,00
Base de relé 4 contactos	15	3,00	45,00
Relé 4 contactos	15	16,00	240,00
Guardamotor	3	22,30	66,90
Variador de velocidad	2	160,00	320,00
Riel din	2	9,70	19,40
Canaletas plásticas	2	15,46	30,92
Sensor de temperatura	1	35,80	35,80
		TOTAL	7206,52

Tabla 10. Costo de mano de obra

Descripción	Valor total [USD]
Construcción cámara intercambiador de calor	1000,00
Instalaciones eléctricas	300,00
Instalación de equipos	500,00
Asesoría de ingeniería	500,00

Movilización	200,00
TOTAL	2500,00

El costo total de implementación del sistema intercambiador de calor para el proceso de secado de pintura de carrocerías en la empresa CRGT Automotriz es de 9706,52 USD.

3.2.1. PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Actualmente la empresa CRGT Automotriz tiene una capacidad de pintar 3 vehículos y 10 piezas vehiculares mensualmente, se ha considerado que tendrá una acogida del 50% mayor a lo actual a partir del primer mes, ya que la empresa trabaja conjuntamente con aseguradoras, empresas privadas, empresas estatales y clientes particulares.

El valor actual del servicio de pintura en su totalidad de un vehículo tipo sedán es de 500 USD, y el valor por pieza pintada es de 50 USD, para lo cual se mantendrá el valor al implementar el sistema intercambiador de calor para el proceso de secado de pintura.

Para calcular el tiempo de recuperación de la inversión total del proyecto utilizaremos la siguiente formula:

$$\frac{\text{inversión total}}{\text{utilidad mensual}} = \text{tiempo de recuperacion} \quad [37]$$

Donde:

Inversión total: 9706,52 USD

Para determinar la utilidad mensual se considerará los ingresos y egresos mensuales que conllevan el óptimo funcionamiento de la cabina de pintura.

$$\text{utilidad mensual} = \text{ingreso} - \text{egresos} \quad [38]$$

En la tabla 12, se detalla el ingreso mensual considerando el 50% en aumento de vehículos para realizar el servicio de pintura de vehículos tipo sedán en el taller CRGT Automotriz.

Tabla 11. Ingreso mensual al 50% de aumento

Descripción	Cantidad	Valor unitario [USD]	Valor total [USD]
Vehículos	6	500,00	3000,00
Piezas	20	50,00	1000,00
		TOTAL	4000,00

En la tabla 13, se detalla el egreso mensual considerando el 50% en aumento de vehículos para realizar el servicio de pintura de vehículos tipo sedán en el taller CRGT Automotriz.

Tabla 12. Egreso mensual al 50% de aumento

Descripción	Cantidad	Valor unitario [USD]	Valor total [USD]
Operarios	2	400,00	800,00
Administradora de media jornada laborable	1	200,00	200,00
Materia prima para pintado de carrocería total	6 vehículos	170,00	1020,00
Materia prima para pintado por cada pieza	20 piezas	18,00	360,00
Combustible para pintado de carrocerías	72 litros diésel	0,27	19,44
Combustible para pintado de piezas	18 litros diésel	0,27	4,86
Mantenimiento cabina	1	50,00	50,00
Servicio Agua Potable	1	40,00	40,00
Servicio energía eléctrica	1	50,00	50,00
Servicio Internet	1	25,00	25,00
Arrendamiento	1	350,00	350,00
Movilización	1	50,00	50,00
Gastos administrativos	1	80,00	80,00
Imprevistos	1	50,00	50,00
		TOTAL	3099,30

Una vez determinado los ingresos y egresos de la empresa CRGT Automotriz, tenemos como resultado la utilidad mensual:

$$utilidad\ mensual = \$4000,00 - \$3099,30$$

$$utilidad\ mensual = \$900,70$$

Por lo tanto, el tiempo aproximado para recuperar la inversión del sistema intercambiador de calor en la cabina de pintura es de:

$$Tiempo\ de\ recuperaci3n = \frac{\$9706,52}{\$900,70}$$

$$Tiempo\ de\ recuperaci3n = 10.77\ meses$$

3.3. VENTAJAS DE LA CABINA DE PINTURA DE LA EMPRESA CRGT AUTOMOTRIZ

La cabina de pintura de la CRGT cumple con las siguientes ventajas:

- El proceso de pintura al estar aislado del medio ambiente garantiza un perfecto acabado.
- El medio ambiente exterior no influye en el proceso de pintado de un vehículo.
- Aumenta la capacidad productiva.
- Reduce el tiempo de secado de la pintura.
- Reduce el riesgo de contraer enfermedades en vías respiratorias, lo cual permite a los operarios trabajar en condiciones seguras.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Dentro del rediseño se cumplió con el objetivo principal el cual fue transformar la cabina de pintura en un horno de secado de carrocerías, cumpliendo normas y parámetros de seguridad, ventilación, iluminación, evitando modificar en lo más mínimo su estructura con la ayuda de software CAD, CAE.
- Es factible realizar las modificaciones para transformarla en una cabina de pintado y secado, ya que el costo es de 9706,52 USD y es menor en comparación de las cabinas importadas las cuales superan 25000 USD.
- El tiempo de recuperación de la inversión será de aproximadamente de 11 meses.
- La cabina de pintado y secado internamente no sufrió muchas modificaciones, por lo cual la dimensión de la cámara es suficiente para el libre movimiento de los operarios.
- Los precios actuales en el pintado de un vehículo y piezas no serán afectados al implementar un sistema intercambiador de calor, no habrá elevaciones de precios para el cliente.
- Durante el proceso de secado se mantiene una temperatura constante debido a la recirculación de aire caliente.
- Se diseña un óptimo sistema de iluminación lo que permite un buen desarrollo del trabajo.
- Debido a que la cabina se encuentra protegido por un techo protector con un dimensionamiento mayor, esta no será afectada en la productividad ante factores del medio ambiente como es lluvia, sol o viento.
- Se mejoró en un 100% la calidad de aire dentro de la cabina durante el proceso de pintado, debido a que el sistema de ventilación diseñado cumple con las normas de recirculación de aire, y así evitar enfermedades profesionales.

RECOMENDACIONES

- La cabina de pintura mientras no esté en uso se debe tener cerrada las puertas bajo llaves para así evitar que ingrese partículas de polvo y personal no autorizado.
- Proporcionar a los operarios equipos de protección personal.
- No utilizar la cabina de pintura como bodega de equipos y herramientas no relacionada con el proceso de pintura y secado.
- Los mantenimientos de los equipos serán realizados por personal calificado.

- Utilizar encendedores dentro de la cabina y en sus alrededores está estrictamente prohibido debido a que es una zona altamente inflamable.
- Mantener los extinguidores, botiquín de primeros auxilios en puntos estratégicos al alcance del personal y libre de obstáculos.
- Lavar el vehículo previo a la introducción en la cabina.
- Quitar todos los accesorios del vehículo como molduras plásticas, espejos, debido a que la cabina está diseñada para secado de pintura en carrocería.
- Limpiar semanalmente las paredes internas de la cabina y las lámparas leds para así evitar la disminución de la iluminación.

BIBLIOGRAFÍA

- BKB. (5 de septiembre de 2015). *Motores de corriente alterna*. Obtenido de BKB: <http://www.bkbmaquinaria.com/>
- Bohórquez, R., & Fiallos, R. (2005). *DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA CABINA-HORNO PARA EL ACABADO Y SECADO DE LA PINTURA APLICADA EN LA CARROCERIA DE VEHÍCULOS PARA EL "CENTRO MECÁNICO DE SERVICIOS NAVAS INGENIERÍA AUTOMOTRIZ"*. Sangolquí.
- Bolton, W. (2013). *Mecatrónica. Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica*. Mexico: Alfaomega quinta edición.
- F.B.R. (2016). *Quemadores*. Cochabamba.
- Gausemeier, & Moehringer. (2004). *Methodology form Mechatronic Systems*. Berlín, Alemania.
- *Import Aceros*. (2020). Obtenido de Import Aceros: <https://irp-cdn.multiscreensite.com/b3826eab/files/uploaded/catalogo%20final.pdf>
- INAMHI. (2020). *SERVICIO METEOROLÓGICO*. Obtenido de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/pronostico-del-tiempo/>
- INDUCOM. (2016). *Intercambiadores de Calor*. Recuperado el 10 de Mayo de 2017, de http://inducomec.com/index.php?option=com_content&view=article&id=22
- Infiltró S.L. (2019). www.infiltró.es. Obtenido de <http://www.infiltró.es/index.php/infiltró-filtros-de-aire-para-automocion-aeropuertos-salas-blancas/prefiltros/item/foam>
- Ipac S.A. (2017). *Tube de acero ASTM A53 SCH 40*. Guayaquil.
- Isofilter Filtración SLU. (2018). www.isofilter.es. Obtenido de <https://www.isofilter.es/producto/espuma-filtrante-poliuretano/>
- Isover Saint-Gobain. (2020). *SAINT GOBAIN ISOVER IBÉRICA SLU*. Obtenido de <http://www.isover.net/programaconductos/>
- Mc Adams. (1954). *Heat Transmission (Chemical Engineering)*. New York: McGraw-Hill Inc.
- McCabe y Smith. (Enero de 2003). *Operaciones Básicas de Ingeniería Química, Volumen 1*. Barcelona: Reverté. Obtenido de http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/mezclado_fluidos.pdf

- Molano, E. (01 de Octubre de 2013). *salud ocupacional pintura para auto*. Recuperado el 11 de Abril de 2017, de Pintura automotriz: <http://pinturaparaautosaludocupacional.blogspot.com/>
- Mott, R. (2009). *Resistencia de materiales*. México Quinta edición .
- Mott, R. L. (1996). *Mécanica de fluidos aplicada*. . México: Pearson Education.
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Naucalpan de Juárez, México: PEARSON. Recuperado el 25 de Febrero de 2015
- Nisbett, R. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México : Mc Graw Hill.
- Ochoa, D. (2006). *Diseño y Construcción de una Cabina de pintado - secado de vehículos*. Guayaquil.
- Powdertronic. (2016). *powdertronic*. Recuperado el 11 de Abril de 2017, de <http://powdertronic.com/cabina-de-pintura-automotriz/>
- Resnick, Halliday & Krane. (2004). *Física 1*. Mexico: Cecsa.
- Riba, C. (2002). *Diseño concurrente*. Barcelona.
- Salvador escoda S.A. (s.f.). Manual practico de ventilación. Barcelona.
- Santamaría, D. (2012). *Diseño y construcción cabina - horno de pintura con un sistema de alimentación de GLP para la empresa Automotores Santamaría*. Latacunga.
- Soler & Pauta. (s.f.). *S&P Sistemas de Ventilación SLU*. Obtenido de <http://www.solerpalau.es/es-es/hojas-tecnicas-velocidad-del-aire/>
- Soler&Palau. (2017). *S&P México Soluciones Innovadoras*. Obtenido de <http://www.solerpalau.mx/Formacion2-3b.php>
- Tei. (2010). *Ingeniería Soluciones Tecnología*. Recuperado el 12 de Abril de 2017, de Controladores de temperatura: <http://www.teii.com.mx/controles-temperatura.html>
- Verein Deutscher Ingenieure. (2004). *Design Methodology for Mechatronic Systems*.
- Yunus, C., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de Calor y Masa*. México D.F.: Mc. Graw Hill.

ANEXOS

ANEXO 1. Comprobación de cálculos Software Isover



SOFTWARE DE DIMENSIONADO DE CONDUCTOS HVAC



RESULTADOS OBTENIDOS EN EL CÁLCULO

CLIMAVER NETO

Producto: CLIMAVER NETO

Metros cúbicos por hora (m³/h): 13787

Metros cúbicos por segundo (m³/s): 3.8297

Diámetro Equivalente Conducto Circular (mm): 698.29

Lado Conducto Cuadrado (mm): 639.23

Velocidad (m/s): 10

Pérdida de Carga (Pa/m): 1.42

Longitud Conducto (m): 1.48

Pérdida de Carga (Pa): 2.1

Lado a (cm): 63.92

Lado b (cm): 63.92

Dimensiones Aconsejadas por ISOVER

Dimensión 1 (a x b) (cm): 63.92 x 63.92

Dimensión 2 (a x b) (cm): 65.00 x 63.00

Dimensión 3 (a x b) (cm): 67.50 x 60.50

Dimensión 4 (a x b) (cm): 70.00 x 58.50

Dimensión 5 (a x b) (cm): 72.50 x 56.50

Dimensión 6 (a x b) (cm): 75.00 x 54.50

Dimensión 7 (a x b) (cm): 77.50 x 52.50

AVISO LEGAL

Cálculo orientativo y de uso en instalaciones pequeñas, de no más de 400 m², con velocidades de 0 a 15 m/s para el **CLIMAVER Plus R** y **CLIMAVER A2** y 0 a 10 m/s para los otros productos.

Se recomienda trabajar a bajas velocidades para asegurar una adecuada atenuación acústica, recomienda el uso de un software específico para proyectos de más entidad.

Los datos de cálculo obtenidos son orientativos y tienen una finalidad meramente informativa. no se responsabiliza de los posibles errores, omisiones y/o inexactitudes que los citados datos puedan tener y del uso que se haga de esta información.

ANEXO 2. Ficha técnica de impulsor Dayton 6k937

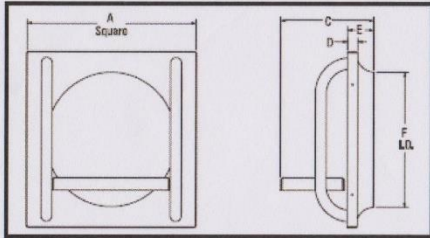
FANS

Commercial & Industrial Exhaust Fans

Reversible Direct-Drive Exhaust/Supply Fans

- Mount: vertical or horizontal
- Motors: totally enclosed, 115 / 230V 60 Hz
- Thermally protected ball bearing
- Max. inlet/ambient temp.: 104°F

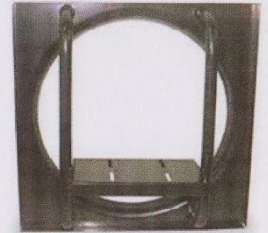
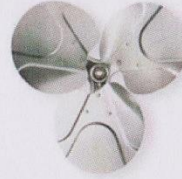
Dayton



5K410

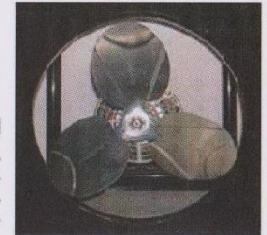
3K771

6K937



For Propeller Dia. (In.)	A	Dimensions (In.)			F	Dia. Opening Req. (In.)
		C	D	E		
12	16	8 1/4	1	2 1/2	12 1/4	16
16	20	8 1/2	1	2 3/4	16 1/2	20
20	24	8 3/4	1	3 1/4	20 3/4	24

For Propeller Dia. (In.)	CFM @ Static Pressure Shown*			HP	RPM	Volts @ 60 Hz	Full Load Amps	Item No.
	0.0"	0.125"	0.250"					
12	1430	1335	1065	1/4	1725	115	5.0	3K771 Open Dripproof
						115/230	4.4/2.2	5K410 Totally Enclosed Fan Cooled
16	2275	2150	1975	1/4	1725	115	5.0	3K771 Open Dripproof
						115/230	4.4/2.2	5K410 Totally Enclosed Fan Cooled
20	4175	4020	3850	1/2	1725	115/230	8.0/4.0-4.0	6K937 Totally Enclosed Fan Cooled



ANEXO 3. Diagramas eléctricos

ANEXO 4. Programación PLC TIA Porta

ANEXO 5. Planos partes y piezas