

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:  
DISEÑO Y MODELACIÓN DE UNA CABINA DE PINTURA  
APLICANDO CRITERIOS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA (PML) PARA  
TALLERES MALDONADO, PARROQUIA LA MAGDALENA, CANTÓN  
QUITO PROVINCIA PICHINCHA**

**AUTOR:  
LUIS FABIÁN GUEVARA ZAMBRANO**

**TUTOR:  
CARLOS IVÁN MALDONADO DAVILA**

**Quito, marzo del 2016**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Luis Fabián Guevara Zambrano, con documento de identificación N° 0802782219, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: Diseño y modelación de una cabina de pintura aplicando criterios de producción más limpia para talleres Maldonado, parroquia la magdalena, cantón quito provincia de pichincha, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Luis Fabián Guevara Zambrano

Cédula: 0802782219

Quito, marzo 2016

## DECLARATORIA DE COAUTORIA

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación Diseño y modelación de una cabina de pintura aplicando criterios de producción más limpia para talleres Maldonado, parroquia la magdalena, cantón quito provincia de pichincha realizado por Luis Fabián Guevara Zambrano, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, marzo 2016



Carlos Iván Maldonado Dávila

Cédula de identidad:1711156073

## **Dedicatoria**

Este trabajo lo dedico especialmente a mis padres que me inculcaron los valores y la voluntad necesaria para no rendirme en medio de este camino, de igual manera estoy dispuesto a corresponder a las muchas personas cercanas que me brindaron su apoyo a lo largo de la carrera con una mención especial a mi querido hermano.

## **Agradecimiento**

Agradezco a todos mis profesores que contribuyeron a mi formación académica con sus enseñanzas y experiencias, de la misma forma quiero agradecer a mi institución como es la Universidad Politécnica Salesiana y por último quiero hacer un reconocimiento especial para mi tutor en este trabajo el ing. Carlos Maldonado.

## Índice

|   |    |
|---|----|
| Introducción .....  | 1  |
| Capítulo 1 .....  | 2  |
| Marco Teórico .....   | 2  |
| 1.1 Problemas ambientales .....   | 2  |
| 1.1.1 Cambio climático. ....  | 2  |
| 1.1.2 Desgaste de la capa de ozono.....                                 | 2  |
| 1.1.3 Deforestación. ....   | 3  |
| 1.1.4 Acidificación del océano.....                                     | 3  |
| 1.2 Impacto ambiental producido por talleres automotrices. ....         | 4  |
| 1.2.1 Enderezado y pintura. ....  | 5  |
| 1.3 Producción Más Limpia. ....   | 7  |
| 1.3.1 Iniciativas mundiales en Producción Más Limpia. ....              | 7  |
| 1.3.2 Producción limpia para Latinoamérica y el Caribe.....             | 9  |
| 1.3.3 Producción limpia en Ecuador. ....                                | 11 |
| 1.3.4 Producción más limpia en el distrito metropolitano de Quito. .... | 13 |
| 1.3.5 Estrategias de la Producción Más Limpia.....                      | 16 |
| 1.4 Aplicación en productos.....  | 17 |
| 1.5 Aplicación en procesos. ....  | 18 |
| 1.6 Cabina de pintura. ....   | 19 |
| 1.6.1 COVs.....   | 20 |
| 1.6.2 Los efectos de los COVs sobre la salud.....                       | 20 |
| 1.7 Pinturas a base de agua. ....                                       | 21 |
| 1.7.1. Productividad de las pinturas en base de agua. ....              | 22 |
| Capítulo 2.....   | 24 |

|  |    |
|--|----|
| Diseño .....   | 24 |
| 2.1 La empresa. ....   | 24 |
| 2.2.1 Actividad de la empresa y ubicación. ....                                      | 25 |
| 2.2.2 Impacto ambiental originado por los procesos. ....                             | 28 |
| 2.2.3 Análisis crítico (Diagnóstico) .....   | 31 |
| 2.2.4 Definición de alternativas de PML .....  | 36 |
| 2.2 Cabina de pintura. ....  | 37 |
| 2.2.1 Generalidades.....   | 37 |
| 2.2.2 Dimensionamiento. ....   | 38 |
| Capítulo 3.....  | 61 |
| Simulación .....   | 61 |
| 3.1 Simulación térmica en Solidworks.....  | 62 |
| 3.1.1 Visión general de análisis térmico. ....                                       | 62 |
| 3.2 Simulación de flujo de fluidos en SolidWorks. ....                               | 63 |
| 3.2.1 Visión general de la simulación de flujo de fluidos.....                       | 63 |
| 3.3 Desarrollo de la simulación térmica y dinámica del sistema caso de estudio. .... | 64 |
| Conclusiones .....   | 77 |
| Recomendaciones.....   | 78 |
| Referencias.....   | 79 |

## Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Aplicación de la Producción más Limpia a nivel de productos. .... | 17 |
| Tabla 2. Aplicación de la Producción más Limpia a nivel de procesos.....   | 18 |
| Tabla 3. Eco material. ....  | 29 |
| Tabla 4. Recursos afectados.....   | 31 |
| Tabla 5. Costos de ineficiencia. ....                                      | 34 |
| Tabla 6. Datos de Curvas del ventilador y del sistema. ....                | 46 |
| Tabla 7. Tabla de modelos de ventilador. ....                              | 49 |
| Tabla 8. Tabla de costos.....  | 59 |

## Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación geográfica de los CNPML.....                                   | 10 |
| Figura 2. Número de establecimientos productivos y de servicios en el DMQ.....     | 14 |
| Figura 3. Mejora del desempeño ambiental. ....                                     | 15 |
| Figura 4. Mejoras del desempeño ambiental.....                                     | 15 |
| Figura 5. Talleres Maldonado. ....   | 24 |
| Figura 6. Talleres Maldonado. ....   | 25 |
| Figura 7. Talleres Maldonado. ....   | 25 |
| Figura 8. Talleres Maldonado. ....   | 26 |
| Figura 9. Talleres Maldonado. ....   | 26 |
| Figura 10. Mapas de Google. Ubicación Talleres Maldonado.....                      | 27 |
| Figura 11. Distribución Talleres Maldonado. ....                                   | 27 |
| Figura 12. Diagrama espina de pescado Talleres Maldonado.....                      | 33 |
| Figura 13. Porcentajes de consumo de energía eléctrica.....                        | 35 |
| Figura 14. Porcentaje de consumo total de energía. ....                            | 35 |
| Figura 15. Curva operación del ventilador.....                                     | 47 |
| Figura 16. Curva características del Ventilador.....                               | 48 |
| Figura 17. Estructura metálica a simular.....                                      | 55 |
| Figura 18. Tensión de Von Mises. ....  | 56 |
| Figura 19. Desplazamiento estructural.....   | 57 |
| Figura 20. Factor de seguridad.....  | 58 |
| Figura 21. Cotejo del volumen de flujo. ....                                       | 64 |
| Figura 22. Clasificación del flujo.....  | 65 |
| Figura 23. Introducción de los valores parámetros flujo másico y temperatura. .... | 65 |
| Figura 24. Introducción de los valores del parámetro presión a la salida.....      | 66 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 25. Resolución del modelo. ....   | 66 |
| Figura 26. Vista general de la ventana de la solución en curso de la simulación. ....                      | 67 |
| Figura 27. Perfil de velocidades del flujo al interior de la cámara. ....                                  | 67 |
| Figura 28. Introducción de datos al proyecto. ....   | 68 |
| Figura 29. Declaración de unidades de medida. ....   | 69 |
| Figura 30. Elección del tipo de análisis. ....   | 69 |
| Figura 31. Elección del tipo del fluido. ....  | 70 |
| Figura 32. Elección del material de la cámara. ....  | 70 |
| Figura 33. Declaración de las características térmicas y geométricas de las superficies de la cámara. .... | 71 |
| Figura 34. Declaración de los parámetros iniciales de presión y temperatura del flujo. ....                | 71 |
| Figura 35. Ventana de introducción de espesor de las paredes de la cámara. ....                            | 72 |
| Figura 36. Identificaciones de los parámetros de modelado que permitirán la simulación. ....               | 73 |
| Figura 37. Simulación de la temperatura del flujo. ....  | 74 |
| Figura 38. Resultados de la simulación de las condiciones térmicas de flujo. ....                          | 75 |
| Figura 39. Simulación parámetro presión de flujo. ....   | 76 |

## Índice de anexos

|  |    |
|--|----|
| Anexo 1. Tabla de Velocidades .....  | 83 |
| Anexo 2. Secciones de Ductos .....   | 84 |
| Anexo 3. Diámetro Equivalente .....  | 85 |
| Anexo 4. Diagrama de Moody .....   | 86 |
| Anexo 5. Perdidas en los codos.....  | 87 |
| Anexo 6. Tabla de conductividad, viscosidad y calor específico del aire..... | 88 |
| Anexo 7. Valores de c y m .....  | 89 |
| Anexo 8. Factor de corrección .....  | 89 |
| Anexo 9. Resistencias .....  | 90 |
| Anexo 10. Características técnicas del ventilador.....                       | 91 |

## **Resumen**

El presente trabajo aborda la problemática de un taller automotriz en cuanto al diseño y simulación de una cabina de pintura, ya que esta área es una parte importante del desarrollo del taller y la inversión en el diseño óptimo es de gran relevancia hablando de costos tanto económicos como energéticos.

Para empezar se engloba toda la teoría pertinente en relación a problemas e impacto ambiental producido en los talleres automotrices, para dar una perspectiva acerca de la importancia del proyecto en su totalidad por lo cual se profundiza también sobre la producción más limpia tanto a nivel internacional como local y sus aplicaciones, finalmente se referirá a cabinas de pintura.

A continuación corresponde hablar todo acerca del diseño, donde se observan las características de la empresa para la cual se realizará el proyecto, las diferentes restricciones con las que se cuenta para el trabajo y la definición de alternativas de producción más limpia para la cabina de pintura, de igual manera aquí se expondrán las generalidades de la misma y los cálculos necesarios para su diseño adecuado.

También se considera la simulación térmica y dinámica de los regímenes de flujo utilizando Solid Works en donde se evidencia todas las características necesarias para el funcionamiento satisfactorio de la cabina de pintura en la realidad de talleres Maldonado.

Por último se analiza los resultados obtenidos de la simulación traducido en las conclusiones y recomendaciones, las cuales presentan estrecha relación con los objetivos planteados.

## **Abstract**

The present project addresses the problem of an automobile repair shop in relation to the design and simulation of a car paint booth due to the fact that this area is an important element in the development of the repair shop and the investment in its optimal design is highly relevant in terms of economic and energetic costs.

First, this project encompasses all the theory related to environmental impact issues produced by automobile repair shops in order to provide a perspective about the general importance of the project. Therefore, it also addresses clean production implementation related to car paint booths at an international and local level.

Furthermore, it becomes necessary to talk about the design. This section is about the characteristics of the company for which the project will be executed, the different restrictions present in the project and the definition of the alternatives of clean production for the paint booth. The features of the booth and the calculations for its optimal design will also be included in this section.

In addition, the project also takes into account the thermic and dynamic simulation of the flow regimes using Solid Works to put in evidence all the characteristics that are necessary to operate the paint booth in a satisfactory way at the Maldonado workshop.

Finally, the results obtained from the simulation will be analyzed and translated into recommendations and conclusions, which are deeply related to the objectives previously set out.

## **Introducción**

En el campo de la industria automotriz la importancia de las diferentes áreas de pintura y su correcta tecnificación es vital para los talleres de la pequeña y mediana empresas pues de esto depende su prosperidad o declive debido a la inversión que esto requiere. De igual manera las obligaciones impuestas por el estado deberán ser cumplidas con respecto al manejo de residuos y formas de trabajo de estas pequeña y medianas empresa que de ahora más llamaremos PYMES.

Muchos de los diseños aplicados actualmente no presentan las garantías necesarias para la sustentabilidad del entorno natural, los criterios de producción más limpia plantean una serie de retos en cuanto al diseño para aportar a la preservación del medio ambiente así como también contribuyen en el proceso productivo en cuanto a la eficiencia y eficacia que se traduce en un aumento en las ganancias y en una disminución considerable en el impacto que tienen las diferentes industrias en el entorno.

El trabajo a realizar será guiado a través de la aplicación del método científico mediante la investigación exploratoria, descriptiva y explicativa, con las cuales se puede sustentar de forma clara el tema.

## **Capítulo 1**

### **Marco Teórico**

#### **1.1 Problemas ambientales**

##### **1.1.1 Cambio climático**

Es la modificación del clima a nivel global debido a las diferentes actividades industriales y productivas realizadas por el hombre, pues en estas modificaciones del clima las causas naturales han pasado a jugar un papel poco importante.

Las principales consecuencias del cambio climático son el aumento del nivel del mar lo que también ocasiona la fusión de los casquetes polares, además el planeta se enfrenta a la desaparición diferentes animales y plantas, y aumento masivo y desmedido de fenómenos naturales como: ciclones, huracanes, el desbordamiento de ríos, entre otros etc.

##### **1.1.2 Desgaste de la capa de ozono**

La presencia de agentes químicos en el aire tales como: cloro y bromo, han contribuido al desgaste de la capa de ozono, debido a las reacciones que se generan cuando entran en contacto con la atmosfera. Formando hoyos por la separación de las moléculas de ozono.

La zona de desgaste más grande se encuentra localizada en la Antártida, ya que una molécula de cloro puede romper hasta diez mil moléculas de ozono.

La proliferación de melanomas (cáncer de piel), cataratas oculares, supresión del sistema inmunológico en seres humanos y otras especies, afectación a la flora y fauna por rayos uv (ultravioleta), intensificación del smog, etc. Son tantas de las afectaciones que ha producido el deterioro de la capa de ozono.

### **1.1.3 Deforestación**

Los bosques del planeta representan un tercio del mismo, la tala indiscriminada (deforestación), ha disminuido la calidad de los suelos, debido a la erosión que se produce.

Los bosques y selvas tropicales pluviales, están al borde de la extinción, dentro de 100 años, ya no se tendrá bosques si no se frena el ritmo de consumo actual. El impacto será devastador, y millones de especies se perderán ya que el sesenta por ciento de los animales y plantas habitan los bosques de la Tierra y muchos no podrán sobrevivir a la destrucción de su medio.

### **1.1.4 Acidificación del océano**

Es el descenso del pH de los océanos, y es causada por la toma del dióxido de carbono antropogénico desde la atmosfera.

Esto provoca efectos negativos en la biodiversidad marina algo como la osteoporosis en cuanto a los organismos calcáreos reduciendo los nutrientes para su correcto desarrollo.

## **1.2 Impacto ambiental producido por talleres automotrices**

Las diferentes actividades realizadas en un taller automotriz representan la producción de desechos sólidos, líquidos y gaseosos y aunque muchos talleres en la actualidad disponen de estos en forma adecuada conforme la ley vigente de su país, estado o región, pero de igual manera muchos desechos son vertidos al medio ambiente contaminando los suelos, la atmosfera y las diferentes masas de agua.

Algunos elementos contaminantes generados son:

Los aceites lubricantes, los mismos que pueden ser aprovechados al reutilizarlos pero debemos recordar no incidir en prácticas inadecuadas:

- No realizar el derramamiento sobre la tierra.
- No esparcir sobre hierba mala, o polvo.
- No verterlo sobre drenajes, ríos, lagos, o algún tipo de fuente fluvial.
- No mezclar con otros residuos.
- No utilizar como combustible en quemadores de baja eficiencia.

(Instituto Politécnico Nacional, 2006, pág. 14)

El anticongelante que se vuelve corrosivo con el uso normal y transporta impurezas además de los compuestos químicos que lo conforman como el plomo, el benceno y otros colocan al anticongelante como un elemento altamente dañino para el ser humano y el medio ambiente pues dichos elementos pueden ser almacenados por los tejidos biológicos y se pueden integrar a la cadena alimenticia al ser

depositados en el suelo, el agua y las plantas. (Instituto Politécnico Nacional, 2006, pág. 15)

Las baterías en su composición poseen elementos contaminantes altamente tóxicos como son: Pb (plomo), Ni (níquel), Cd (cadmio), otros elementos como Ca (carbono), Cinc (Zn), también pueden estar contenidos.

### **1.2.1 Enderezado y pintura**

Se realiza una revisión general del automóvil y se determina el estado del mismo mediante una inspección visual para la determinación del estado general, y poder determinar si el vehículo requiere el cambio o reparación de sus elementos, la pintura de sus elementos acompaña a este proceso.

El enderezado, consiste en deformación plásticamente las piezas afectadas en el vehículo, mediante golpes, utilizando martillos, punzones, herramientas manuales. Para restituir el estado original de sus partes metálicas, en algunos casos se requiere deformar en caliente, bajo la adición de calor.

También se realiza una estimación del costo de la reparación. De los impactos contaminantes del ambiente ocasionados se pueden mencionar los siguientes:

- Monóxido de carbono (CO)
- Dióxido de carbono ( $CO_2$ )
- Emisiones de otros gases de combustión
- Hidrocarburos (Instituto Politécnico Nacional, 2006, pág. 20)

La pintura del vehículo, se aplica mediante el fondo y el color, previamente determinado por el cliente, o seleccionado de la paleta de matices, este proceso se lo realiza aplicando una pistola de aire presurizado, el cual es almacenado en un tanque pulmón, y tratado mediante un secador para eliminar el agua contenida en el mismo. Este proceso se lo puede realizar en cabinas de pintura o al ambiente. (Instituto Politécnico Nacional, 2006, pág. 21)

En las etapas de pintura, acabado y pulido, debido a los agentes en su composición así como el proceso de aplicación, generan impactos ambientales, como son:

Aire:

- Material particulado
- Emisiones de compuestos orgánicos
- Volátiles (COV)
- Olores
- Ruido

Suelo:

- Envases de plástico y metálicos
- Residuos de pintura
- Cintas y residuos de papel

### **1.3 Producción Más Limpia**

Por sus siglas (PML), nace en 1989 por PNUMA, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, bajo un enfoque más general y menos restrictivo para sus procesos de producción, y técnicas de productivas, minimizando la proliferación de residuos, agentes contaminantes, entre otros.

La producción más limpia “constituye la continua aplicación de una estrategia ambiental integrada y preventiva a los procesos y productos con el objeto de reducir los riesgos para la salud humana y el medio ambiente” (Bermejo, 2005, pág. 236), con la convicción de ahorrar tanto materia prima como energía, eliminar el uso de materias primas tóxicas y reducir al mínimo las emisiones y residuos no solo al final de la línea de producción o el final del tubo como se conoce sino que esto se llevará a cabo a todo lo largo del proceso. Superando de esta forma la eco eficiencia pues la producción más limpia nos ofrece una visión más completa y sistemática de los problemas a tratar.

#### **1.3.1 Iniciativas mundiales en Producción Más Limpia**

La promoción a escala global de la producción más limpia se ha dado gracias a PNUMA y ONUDI (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo industrial) que desde 1994 iniciaron el programa de Centros Nacionales de Producción Más Limpia (CNPML) como una forma de llevar dicho concepto a la práctica en diferentes países, esto se ha llevado a cabo de forma exitosa pues hasta el año 2003 se hallan normalizados CNPML en 35 países.

Dichos centros anteriormente mencionados se han convertido en un faro para el desarrollo medioambiental idóneo guiando en este importante aspecto a empresas tanto estatales como privadas en sus procesos, brindando soluciones enfocadas a la producción más limpia tomando en cuenta las ventajas y limitaciones geográficas de cada región, de igual manera cada CNPML puede solicitar apoyo técnico científico de otro gracias a la red internacional que forman, por supuesto cada uno de ellos también es independiente en cuanto a su organización pues son administrados y trabajan en ellos profesionales originarios del país donde se encuentran cabe recalcar que no solo prestan atención a las grandes industrias sino también a las pequeñas y medianas empresas (PyMEs) que conforman un alto porcentaje en el sector productivo de todo país.

**Las ventajas claves de los CNPMLs son:**

- Ampliación de las relaciones con la industria local, gobiernos, academia y otros.
- Adopción de estrategias ambientales, acorde a las condiciones locales, culturales, y prácticas en los campos de la manufactura.
- Apoyo por personal calificado así como por CNPMLs.

**Las actividades principales de los CNPMLs son:**

- Concienciación
- Asistencia técnica,
- Capacitación y proyectos demostrativos,
- Divulgación de información, y asesoría en políticas.

(Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2003, pág. 5)

### **1.3.2 Producción limpia para Latinoamérica y el Caribe**

La producción más limpia es una iniciativa global pero de igual forma cada región específica posee sus propios métodos de gestión, administración y objetivos particulares a alcanzar, por lo cual se crea la Red Latinoamericana de Producción Más Limpia, CPLATINNET, por sus siglas en inglés Clean Production Latinoamerican Network. Esta organización cuenta con los siguientes participantes:

- Bolivia, Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles CPTS.
- Brasil, Centro Nacional de Tecnologías Limpias SENAI.
- CIGB, Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología de Cuba.
- Colombia, Centro Colombiano de Producción Más Limpia.
- Costa Rica, Centro Costarricense de Producción Más Limpia.
- Cuba, Agencia de Medio Ambiente – AMA.
- Ecuador, Centro Ecuatoriano de Producción Más Limpia.
- El Salvador, Fundación Centro Nacional de Producción Más Limpia.
- Guatemala, Fundación Centro Guatemalteco de Producción Más Limpia.
- ICDC, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.
- IIFT, Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical, Habana Cuba.
- IIIA, Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia.
- México, Centro Mexicano Para la Producción Más Limpia.

- Nicaragua, Centro de Producción más Limpia de Nicaragua.
- Perú, Centro de Eco eficiencia y Responsabilidad Social – CER

(Red Latina de Produccion Mas Limpia, 2014)



CPLATINNET tiene sus objetivos definidos entre los cuales tenemos:

- Facilitar la cooperación activa de centros y programas de producción más limpia a través de la gestión del conocimiento.
- Crear oportunidades de mercado y propuestas de proyectos de conjunto.
- Promover la inclusión de nuevos miembros en la red e incrementar la demanda de PML en industrias y gobiernos.
- Difundir y aumentar la disponibilidad de información para la capacitación de PML (UNIDO, 2005, págs. 4-5)

### **1.3.3 Producción limpia en Ecuador**

Al emprender el cambio de la matriz productiva Ecuador se ha visto involucrado en una transformación completa en el campo industrial debido a las diversas políticas estatales que de la misma forma ofrecen distintos incentivos para aquellas empresas y microempresas que implementen políticas medioambientales, por lo cual se cuenta con “centro de eficiencia de recursos y producción más limpia, que busca contribuir al desarrollo industrial sostenible del Ecuador” (Ministerio de Industrias y Productividad, 2015), mediante métodos, estrategias, prácticas y capacitaciones tanto en el sector público como privado en cuanto a la PML.

Se encuentran más de 60 profesionales de diferentes áreas; 40 en Quito y 20 en Guayaquil, en procesos de entranmiento. (Ministerio de Industrias y Productividad, 2015)

Expertos seleccionados, en base al perfil profesional, capacitación y experiencia de trabajo en la industria. Esta capacitación es dictada por expertos de ONUDI constando de varios módulos como la implementación de metodología para PML, gestión de la energía y gestión de los recursos.

Empresas que participan en el Programa de Entrenamiento de Consultores en PML:

- CURTIEMBRES TUNGURAHUA
- CURTIDURÍA HIDALGO

- COOPERATIVA EL SALINERITO
- LACTEOS LEITO
- TEIMSA S.A.
- PLASTICAUCHO INDUSTRIAL S.A.
- INTERAGUA CIA LTDA
- PRONACA – CENTRO DE DISTRIBUCIÓN GUAYAQUIL
- PAPELERA NACIONAL S.A.
- DISMA
- DUPOCSA
- ALIMENTOS PUEMBO
- SERVICIO INTEGRAL PARA LA INDUSTRIA ALIMENTICIA SIPIA  
S.A.
- GRUPO LA FAVORITA
- LAVANDERÍAS NORTE S.A.
- OMNIBUS BB TRANSPORTES S.A.
- TEXTILES TORNASOL
- UNILIMPIO S.A.
- SEDEMI
- CENTRO DE OPERACIONES EL DORADO
- LABORATORIOS DPEC
- CHOVA S.A.
- PLÁSTICOS GUIDO RAMOS
- TECHNOSWISS CIA. LTDA

- UNIÓN CEMENTERA NACIONAL – COMPAÑÍA DE ECONOMÍA MIXTA PLANTA INDUSTRIAL GUAPAN
- EMAPAL EP
- PLASTIFLAN (Ministerio de Industrias y Productividad, 2015)

#### **1.3.4 Producción más limpia en el distrito metropolitano de Quito**

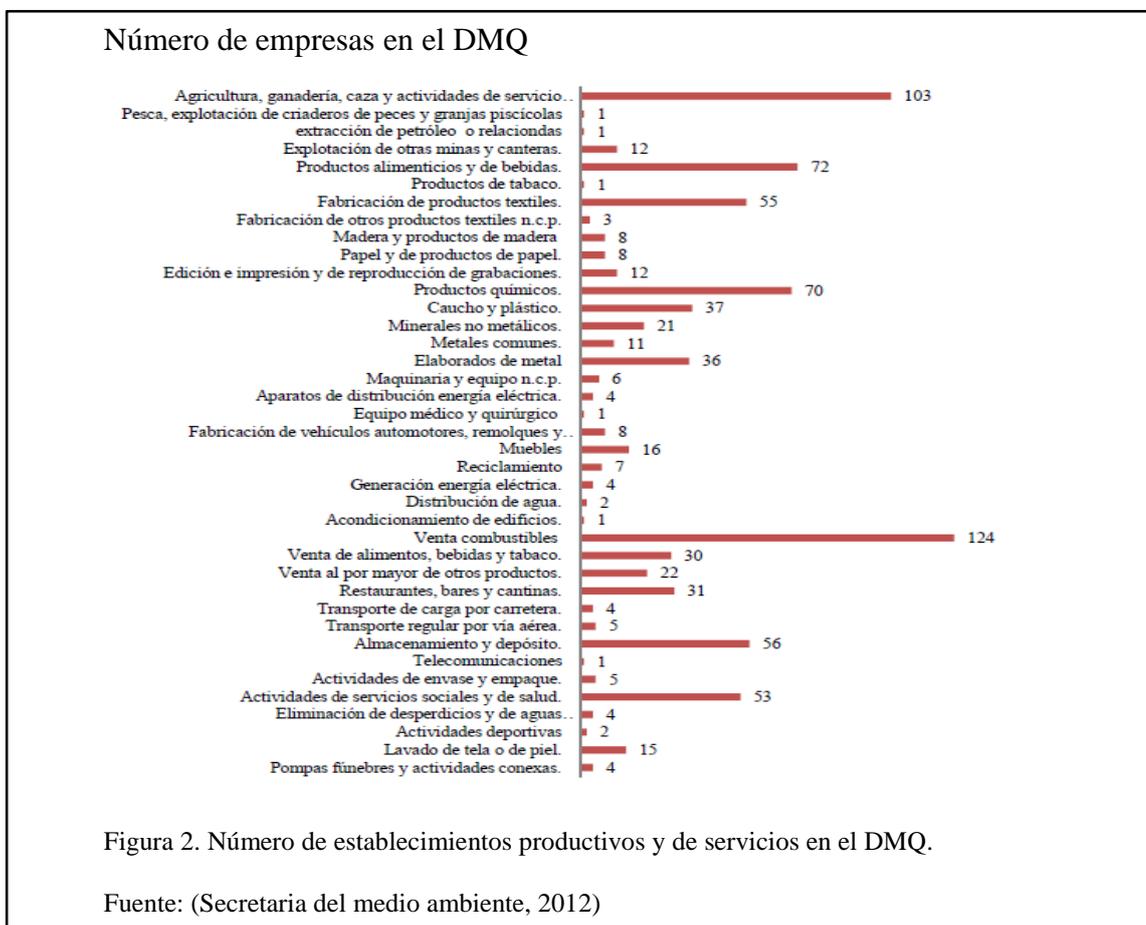
Siendo esta la capital del Ecuador es prescindible la motivación y aplicación de prácticas medioambientales sustentables que permitan a las diferentes empresas como medianas pequeñas y grandes, realizar sus diferentes actividades con el menor impacto para el entorno natural. (Sánchez, 2013, pág. 1)

Mediante el instrumento de la encuesta realizada a una muestra representativa de empresas, se encontró que un 66% de acciones realizadas contribuyen a mejorar el desempeño ambiental, que factores como el mejoramiento de la imagen empresarial, la preparación para obtener certificaciones y la existencia de regulaciones ambientales constituyen motivaciones para mejorar el desempeño ambiental, mientras que el alto costo de las tecnologías o la falta de información sobre tecnologías se consideran obstáculos para el mejoramiento ambiental.

Como grupo de muestra se tomó el sector industrial y de servicios del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), conformado por 856 industrias y servicios que tienen impactos ambientales significativos (abril 2012).

De acuerdo con el Clasificador Internacional Industrial Uniforme CIIU las 856 empresas pertenecen a 39 actividades o grupos CIIU. En la figura 1 se observa

una representación gráfica del número de industrias y servicios de impacto significativo que existen en el Distrito por grupos CIU.



En la figura 3 se presenta una lista de preguntas sobre desempeño ambiental, una representación del porcentaje general de respuestas positivas, negativas y aquellas que no aplican.

### Mejora del desempeño ambiental.

| Nº | MEJORA DEL DESEMPEÑO AMBIENTAL DE LA EMPRESA                                     |
|----|--|
| 1  | Aplica actividades de mejora en la eficiencia del uso de agua, insumos y energía |
| 2  | Tiene sistemas para tratamiento de efluentes y gases                             |
| 3  | Realiza acciones para minimizar residuos   |
| 4  | Realiza acciones de reciclado interno o externo                                  |
| 5  | Realizó cambios en procesos/tecnologías contaminantes                            |
| 6  | Realizó cambios de equipos contaminantes   |
| 7  | Sustituyó insumos o materias primas contaminantes                                |
| 8  | Implementó acciones de remediación del medio ambiente                            |
| 9  | Desarrolló productos más amigables con el medio ambiente                         |
| 10 | Alcanzó alguna certificación de gestión ambiental                                |
| 11 | Realiza actividades de capacitación de sus empleados sobre gestión ambiental     |
| 12 | Al comprar sus insumos y materiales, incluye criterios ambientales               |
| 13 | En la selección de proveedores, tiene en cuenta su desempeño ambiental           |

### Porcentaje total de respuestas

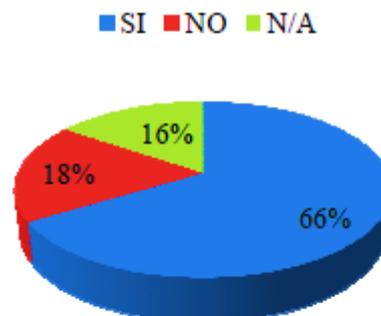


Figura 3. Representación gráfica de datos de la mejora del desempeño ambiental

Fuente: (Sánchez, 2013, pág. 5)

El segundo segmento de la encuesta hizo preguntas sobre las motivaciones para mejorar el desempeño ambiental.

### Motivaciones del desempeño ambiental.

| Nº | MOTIVACIONES PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO AMBIENTAL     |
|----|--|
| 1  | Regulaciones ambientales locales                     |
| 2  | Mejorar la imagen ambiental de la firma              |
| 3  | Reducir los costos de la gestión ambiental           |
| 4  | Preparación para obtener certificaciones ambientales |
| 5  | Estándares corporativos                              |
| 6  | Reducir los costos operativos                        |
| 7  | Obtener reconocimiento del Ministerio del Ambiente   |
| 8  | Obtener sello Quito Verde del MDMQ                   |
| 9  | Exigencias de mercados externos                      |
| 10 | Exigencias de clientes locales                       |
| 11 | Exigencias de crédito (local o internacional)        |
| 12 | Emular las acciones de competidores locales          |

### Porcentaje Total de respuestas



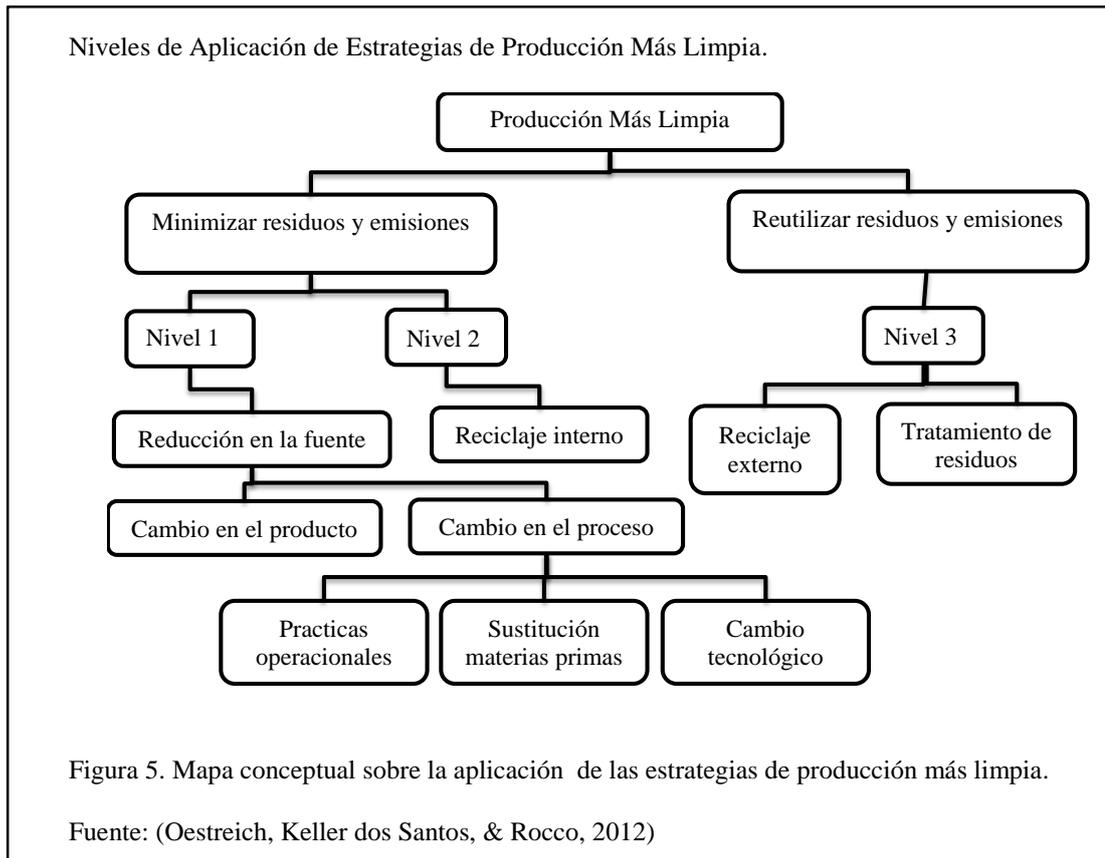
Figura 4. Representación gráfica de datos de la motivación del desempeño ambiental

Fuente: (Sánchez, 2013, pág. 6)

### **1.3.5 Estrategias de la Producción Más Limpia**

Estrategias de producción más limpia, están enfocadas, a la implementación de sistemas de gestión ambiental como la ISO 14001, que permiten adoptar la práctica de estrategias ambientales, mejorando la calidad de sus servicios así como lo efectos sobre el medio ambiente. (Hoof, Monroy, & Saer, 2007, pág. 51)

En el siguiente mapa conceptual se representan las estrategias de PML.



### 1.4 Aplicación en productos

En este nivel la PML busca identificar, desarrollar e implementar mejoras competitivas en las diferentes empresas e industrias no solo en la fase de fabricación del producto sino a través de todo su ciclo de vida, observando el impacto que estos aspectos antes mencionados tienen en el medio ambiente y de esta manera aplicar diferentes mejoras como las plasmadas en la siguiente tabla.

Tabla 1.

Aplicación de la Producción más Limpia a nivel de productos.

| Aspecto   | Medidas  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sustitución de materiales</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Sustituir solventes por agua (por ejemplo, tintas, derivados del petróleo, tintas a base de agua).</li> </ul> |

|   |  |
|---|--|
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Evitar el uso de ácidos.</li> <li>- Evitar el uso de cloritos.</li> <li>- Evitar el uso de metales pesados.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rediseño del producto</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Usar materiales reciclados.</li> <li>- Disminuir el uso de materiales.</li> <li>- Utilizar empaques reutilizables</li> <li>- Disminuir el consumo de energía y agua durante el uso.</li> <li>- Aumentar la durabilidad del producto.</li> </ul> |

Nota: Representación ordenada y resumida de las aplicaciones de la producción más limpia a nivel de productos.

Fuente: (Hoof, Monroy, & Saer, 2007, pág. 55)

### 1.5 Aplicación en procesos

A nivel de procesos la PML se concentra en el ahorro de energía, materia prima y la mejor utilización de los recursos en general y aunque los procesos productivos de cada industria difieren entre sí, se pueden aplicar diferentes prácticas de mara general como:

Tabla 2.

Aplicación de la Producción más Limpia a nivel de procesos.

| Aspecto  | Medidas   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Administración de procedimientos de producción</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Control de consumo de salidas de aguas, energías y materia prima.</li> <li>- Control de condiciones de operaciones unitarias (temperaturas, presiones, dosificaciones, tiempos, velocidades, control de calidad de insumos, etc.).</li> <li>- Recoger derrames o desechos en el transporte de partes o productos.</li> <li>- Optimizar las configuraciones de las máquinas.</li> </ul> |

|   |  |
|---|--|
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Minimizar desechos en cambios de operaciones.</li> <li>– Prevenir y optimizar el manejo de las materias primas y los escapes.</li> <li>– Optimizar mantenimiento (aislamientos térmicos, válvulas, recambios, limpieza, etc.).</li> </ul>         |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios de tecnología</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Limpieza mecánica en vez de limpieza con solventes y/o detergentes.</li> <li>– Utilizar pintura a base de agua en vez de pintura tradicional.</li> <li>– Verter químicos en un proceso de forma segura mediante nuevos procedimientos.</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprovechamiento de residuos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Reciclaje interno del agua empleada en el proceso.</li> <li>– Reciclaje interno de los desechos del proceso.</li> <li>– Separación de empaques obsoletos.</li> <li>– Reuso como subproductos en otros procesos productivos.</li> </ul>            |

Nota: Representación ordenada y resumida de las aplicaciones de la producción más limpia a nivel de procesos.

Fuente: (Hoof, Monroy, & Saer, 2007, pág. 51)

### **1.6 Cabina de pintura**

Una cabina de pintura, actúa como un resisto cerrado, donde se alojara el vehículo a pintar, en está existe la circulación de aire forzado por el techo de la cabina hacia la parte inferior de la misma. El flujo forzado que se produce en la cabina, es el encargado de producir el arrastre de los restos de pulverización aero gráfica.

Las cabinas de pintura logran un acabado perfecto en las carrocerías de los autos o elemento a pintar. Su diseño ayuda a que la capa de pintura esté libre de contaminantes y no se requiera realizar un pulido de la superficie para eliminar las imperfecciones.

### **1.6.1 COVs**

Los Compuestos Orgánicos Volátiles, llamados también como VOC's (Volatile Organic Compounds), por sus iniciales en inglés, son sustancias químicas orgánicas cuya base es el carbono y que se evaporan a temperatura y presión ambiental, razón por la cual generan vapores. ( Autobody Magazine, 2013)

En el carbono, es posible hallar en su composición hidrógeno, flúor, oxígeno, cloro, bromo, nitrógeno o azufre, los cuales tienen propiedades volátiles, liposolubles, tóxicas e inflamables que contribuyen a la formación del smog al reaccionar con otros contaminantes.( Autobody Magazine, 2013)

### **1.6.2 Los efectos de los COVs sobre la salud**

Estos varían según el compuesto, y pueden variar desde un alto grado de toxicidad, hasta la no presencia de síntomas notables, estos además obedecerán al carácter de cada composición y el tiempo de exposición.

Los COVs pueden tener diferentes consecuencias que se manifiestan a largo o corto plazo, la vía más común de acceso es respiratoria, entre los principales efectos se destaca:

- Compuestos orgánicos carcinogénicos (como el benceno).

- La exposición a largo plazo produce: lesiones del hígado, los riñones y el sistema nervioso central.
- La exposición a corto plazo causa irritación en los ojos y las vías respiratorias, dolor de cabeza, mareo, trastornos visuales, fatiga, pérdida de coordinación, reacciones alérgicas de la piel, náusea y trastornos de la memoria.
- El riesgo de explosión y de inflamabilidad. ( Autobody Magazine, 2013)

Por estas razones se motivó el desarrollo de las pinturas a base de agua ya que representan un gran beneficio no solo a la salud sino también al medio ambiente al reducir considerablemente las emisiones y residuos dañinos.

### **1.7 Pinturas a base de agua**

Estas pinturas tienen un porcentaje de COV significativamente inferior, reduciendo el grado de contaminación. Lugares de trabajo más seguros y menos nocivos para la salud del personal, el terminado y la apariencia visual de los colores metálicos y perlados es igual, ya que presenta idénticas propiedades que la pintura en fabricación.

La dureza, adherencia, así como otras propiedades físicas de la capa son iguales, la estabilidad de almacenaje es inferior, además gran variedad de pinturas no requiere la utilización de máquinas agitadoras, su tecnología permite una agitación previa en el envase, esto es posible ya que los productos se mantiene en suspensión, y no existe la sedimentación. ( Autobody Magazine, 2013)

Dadas todas estas propiedades favorables de las pinturas con agua se puede enumerar algunas de sus ventajas más notorias como:

- Se obtienen óptimos resultado, respetando los más altos estándares de calidad del vehículo original.
- Métodos sencillos de preparación y aplicación, por ser procesos similares a los de las pinturas base disolvente.
- Fácil implementación, por no ser necesario modificar la forma de trabajo ni realizar grandes inversiones.
- Permite reducir en un 95% los residuos producidos. Con la utilización de un coagulante en polvo, se logra separar el componente sólido (resina y pigmentos) del líquido (agua), de la pintura sobrante. El agua reciclada se puede utilizar para la limpieza de equipos.
- Los recubrimientos a base de agua son menos tóxicos, tienen menores niveles de COV y son menos inflamables. Su uso reduce las emisiones en el aire, mejora la salud y seguridad de los trabajadores.
- El esfumado o difuminado de colores complicados es más sencillo. (Autobody Magazine, 2013)

### **1.7.1. Productividad de las pinturas en base de agua**

Estas pinturas además de las ventajas ya mencionadas son capaces de aumentar la productividad de todo el proceso mediante diferentes estrategias.

- Usar directamente desde la máquina: la pintura queda lista para aplicar desde la máquina de mezclas, lo que le permite ahorrar más tiempo.
- Rápida igualación del color: con los avanzados sistemas de igualación del color, encontrar el color correcto es cuestión de segundos.
- Menor tiempo de secado: ya no hace falta dejar un tiempo de evaporación intermedio porque la base bicapa se aplica en húmedo sobre húmedo. Puede acelerar el secado creando flujo de aire.
- Excelente cubrición: menor consumo, tan sólo es necesario aplicar una pasada y media en húmedo sobre húmedo, lo que le permite ahorrar costes y también reducir el consumo de material. (DuPont, 2005)

## Capítulo 2

### Diseño

El diseño de la cabina de pintura se hará para una pequeña empresa como fue definido anteriormente por lo cual es prudente revisar los antecedentes de la misma para saber que entorno y limitaciones se enfrentará a lo largo del proceso.

#### 2.1 La empresa

Talleres Maldonado abre sus puertas en el año de 1971 como una empresa familiar dedicada al rubro de enderezado y pintura de vehículos livianos multimarca. Durante los siguientes 43 años se ha mantenido operando buscando mejorar constantemente para ofrecer servicios de calidad.

Talleres Maldonado.



Figura 5. Cartel publicitario de talleres Maldonado

Elaborado por: Luis Guevara

Desde el año 1971 se prosigue el dinámico proceso de incorporar maquinaria tecnológica adecuada buscando cumplir siempre con los requerimientos de los clientes.

## Talleres Maldonado.



Figura 6. Fachada y cartel publicitario de talleres Maldonado

Elaborado por: Luis Guevara

### 2.2.1 Actividad de la empresa y ubicación

Talleres Maldonado es una empresa dedicada al rubro de enderezada y pintura, brindando también los servicios de mecánica automotriz, razón por la cual consta de varias áreas en las cuales se realizan diferentes actividades, como se muestra en las imágenes.

## Talleres Maldonado



Figura 7. Areas de enderezado y pintura de talleres Maldonado

Elaborado por: Luis Guevara

De igual manera se cuenta con un área diferente para la enderezada de vehículos compactos y un área para el mantenimiento y reparación mecánica en general como se explicó anteriormente.

### Talleres Maldonado



Figura 8. Areas de enderezado de autos compactos y mecanica de talleres Maldonado

Elaborado por: Luis Guevara

Para el caso de estudio particular del presente trabajo se considerará el área de pintura pero en forma específica la cabina la cual no se encuentra en funcionamiento pues su condición es inacabada y esto ofrece la oportunidad de diseñarla de mejor manera para posterior construcción.

### Talleres Maldonado



Figura 9. Cabina de pintura inconclusa en talleres maldonado

Elaborado por: Luis Guevara

La ubicación de empresa es en la calle Inti OE2-329 y Av. Jipijapa (sur de la capital).

### Mapas de Google. Ubicación Talleres Maldonado



Figura 10. Imagen satelital con la ubicación geográfica de talleres Maldonado

Fuente: (Google, 2015)

### Distribución Talleres Maldonado

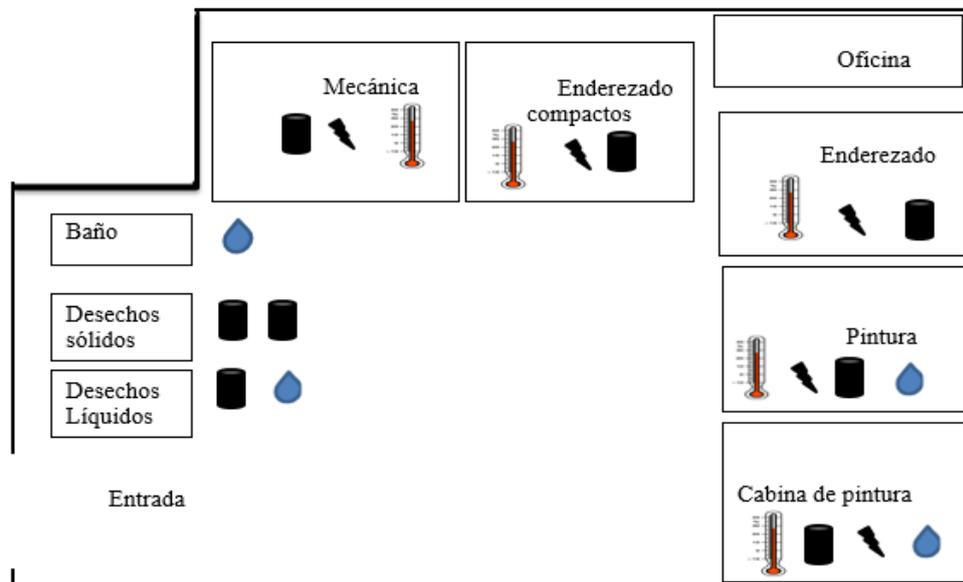
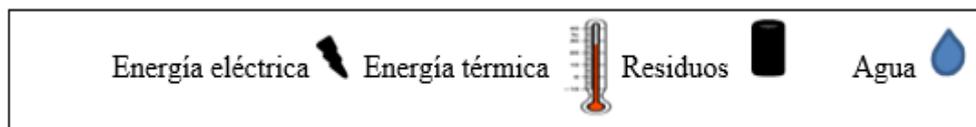


Figura 11. Representación gráfica de la distribución y proceso productivo de talleres Maldonado. Elaborado por: Luis Guevara

El proceso productivo en Talleres Maldonado consta de los siguientes



Parámetros:

- Recepción del automóvil.
- Redacción de una orden de trabajo.
- Registro de orden.
- Asignación del operador.
- Procesado de la orden de trabajo.
- Reparación del vehículo (daños mecánicos, eléctrico, enderezada y pintura).
- Inspección del vehículo.
- Entrega del vehículo.

Los parámetros indicados se realizan en las diferentes áreas de la empresa cabe indicar que de acuerdo al estado de cada automóvil se pueden realizar trabajos de enderezada y pintura, reparaciones mecánicas, entre otras operaciones para que se pueda entregar correctamente el auto al cliente.

### **2.2.2 Impacto ambiental originado por los procesos**

En el área de mecánica los impactos ambientales se dan por el uso de la soldadura, en la cual se produce vapores metálicos húmedos, olores que afectan al aire, cabe indicar que el uso continuo de la soldadura puede causar daños al sistema respiratorio de los trabajadores de la empresa.

Cabe mencionar que en las cercanías de la empresa anteriormente mencionada se encuentran lugares como parques públicos y una escuela primaria por lo cual al manejo ambiental de los procesos debe prestársele especial atención.

De igual manera al momento del cambio y/o arreglo de piezas se produce ruido excesivo que afecta de una manera considerable al entorno laboral, afectando a las personas de las inmediaciones, con el paso del tiempo por el alto nivel de decibeles se puede originar enfermedades en el sistema auditivo de las personas.

Durante las etapas de enderezado, pintura, acabado y pulimento se genera una variada afectación a los recursos naturales debido a la naturaleza de los distintos insumos que son utilizados.

Tabla 3.

Eco material

| Tipo | Entrada  | Salida   |
|------|--|--|
| Masa | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Materia prima</li> <li>Pintura</li> <li>Macilla</li> <li>Partes automotrices nuevas</li> <li>• Insumos</li> <li>Agua</li> <li>Electrodos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Producto</li> <li>Aceite usado</li> <li>Partes de carrocería</li> <li>• Subproducto</li> <li>Partes de carrocería reciclable</li> <li>Partes mecánicas inservibles</li> </ul> |

|         |  |   |
|---------|--|---|
|         | Aceites lubricantes<br>Aire comprimido<br>Lijas<br>Guipe<br>Papel<br>Oxígeno<br>CO2<br>Solventes | Residuos sólidos<br>Chatarra<br>Envases de pintura e<br>insumos varios<br>Cartón y papel<br>Residuos líquidos<br>Agua sucia<br>Aceites<br>Residuos gaseosos<br>COVs<br>Gases de soldadura |
| Energía | Energía eléctrica utilizada kW/h   | Energía térmica de salida   |

Nota: Se describe la transformación de los materiales a través del proceso productivo. Elaborado por: Luis Guevara

De los impactos ambientales causados por el uso de contaminantes se mencionan los siguientes:

- Monóxido de carbono (CO)
- Dióxido de carbono (CO2)
- Emisiones de otros gases
- Hidrocarburos

En el cuadro siguiente se pueden observar los recursos afectados a causa del área de enderezada y pintura:

Tabla 4.

Recursos afectados

| Recurso afectado | Causas  |
|------------------|---|
| AIRE             | Material en forma de partículas.  |
|                  | Emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV)   |
|                  | Olores  |
|                  | Ruido   |
| SUELO            | Envases de plástico y metálicos   |
|                  | Residuos de pintura   |
|                  | Cintas y residuos de papel  |
| AGUA             | Lavado de partes  |
|                  | Mezclas con aceite  |
|                  | Mezclas con compuestos nocivos al ambiente producidos en los procesos de reparación del automóvil |

Nota: Recursos afectados por el área de enderezado y pintura de talleres Maldonado. Fuente: Ing. Maldonado Carlos

En el lavado de piezas los impactos ambientales más relevantes son: aguas residuales, solventes, tenso-activos, grasas, aceites y también las emisiones al aire de compuestos orgánicos volátiles.

### 2.2.3 Análisis crítico (Diagnóstico)

Existen varios procesos que se desarrollan en Talleres Maldonado, se los va a clasificar en cuatro categorías que son:

- Enderezado
- Pintura
- Mecánica
- Administración

Cabe mencionar el proceso de mecánica es asociado, es decir, no forma parte del giro de negocio de Talleres Maldonado, la principal actividad es en enderezado y pintura de vehículos livianos multimarca.

El principal problema que detectado en esta empresa es definitivamente el desperdicio de energía, que principalmente es eléctrica y también térmica ya que se utilizan gases para los procesos de soldadura autógena y MIG, la falta de aprovechamiento de la energía se puede deber a distintas causas, para realizar un adecuado análisis se va a hacer uso de un diagrama espina de pescado y de diagramas de barra y pastel, esto con el objeto de evidenciar las o la principal causa del desperdicio de energía, se ha dividido las causas en las cuatro áreas principales de Talleres Maldonado (ver figura 12).

Diagrama espina de pescado Talleres Maldonado.

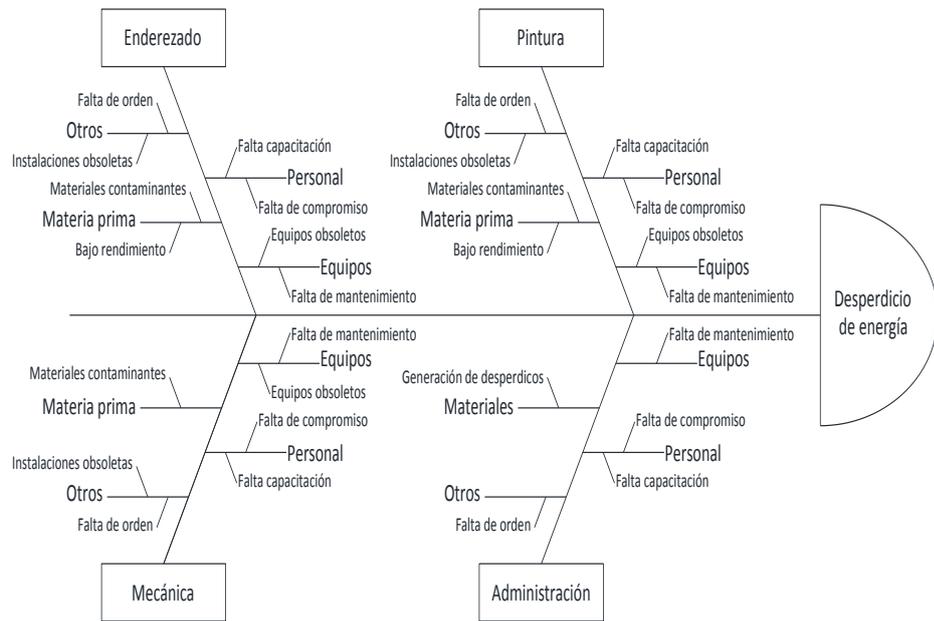


Figura 12. Diagrama sobre las causas de desperdicio de energía de talleres Maldonado

Fuente: Ing. Maldonado Carlos

Como se puede observar los procesos que causan las pérdidas de energía debido a equipos obsoletos, materias primas inadecuadas y otros factores son enderezados, pintura y mecánica, el proceso de mecánica queda descartado debido a que este es un proceso asociado como se expresó con antelación.

Tabla 5.

Costos de ineficiencia.

| Origen de las ineficiencias | Rubros  | Cost drivers   |
|-----------------------------|---|--|
| No calidad                  | Pérdida en materia prima  | \$120 de la cantidad de residuos por unidad de producto.                           |
|                             | Pérdida en hora/máquina   | \$40 de la cantidad de tiempo de maquina por unidad del producto                   |
|                             | Pérdida en mano de obra operativa   | \$80 de la dedicación de mano de obra por unidad de producto                       |
| Manejo ambiental            | Costos en mano de obra dedicada al manejo de desperdicios   | \$10 de la dedicación de mano de obra al manejo de residuos por unidad de producto |
|                             | Perdidas de daños debido a imagen y competitividad de la empresa por mal manejo o generación excesiva de desperdicios | \$800 de las perdidas en ventas sobre los productos producidos totales             |
| Costos Potenciales          | Costos de oportunidad por no poder ofrecer el producto defectuoso en el mercado                                       | \$ 300   |
|                             | Perdidas por disminución de la productividad laboral  | \$ 800   |

Nota: se refleja la ineficiencia en categorías pertinentes para su comprensión  
Elaborado por: Luis Guevara

En los cuadros siguientes se muestra los porcentajes de consumo de energía eléctrica y total de los distintos procesos.

Porcentajes de consumo de energía eléctrica.

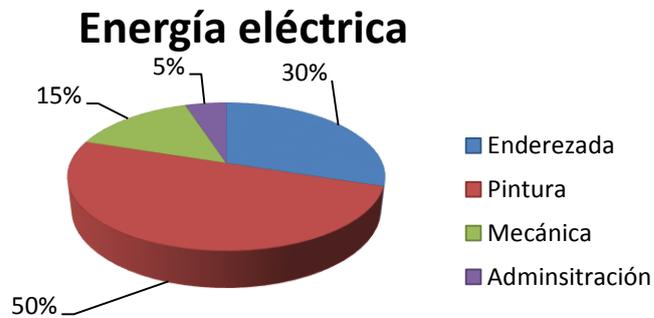


Figura 13. Diagrama circular del consumo de energía eléctrica.

Fuente: Ing. Maldonado Carlos.

Porcentaje de consumo total de energía.

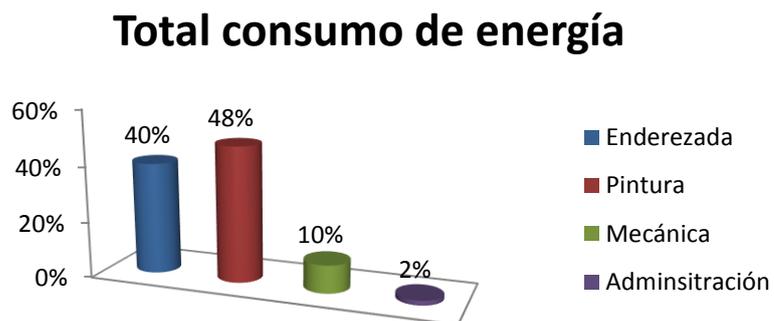


Figura 14. Diagrama de barras del consumo de energía.

Fuente: Maldonado Carlos.

En los gráficos es evidente el alto consumo de energía que tienen los procesos de enderezado y pintura, razón por la cual se va a poner principal atención a los mismos.

Ya que el problema principal encontrado es el desperdicio de energía se puede definir como efecto predominante

#### **2.2.4 Definición de alternativas de PML**

Las alternativas deben ser planteadas de forma preventiva enfocadas a la disminución de la ineficiencia de los procesos y el retorno de la inversión en el menor tiempo posible.

Como se observa en los datos anteriores la mayor ineficiencia se produce el proceso de enderezado y pintura en cuanto a energía por lo tanto se concluye que el diseño óptimo de la cabina de pintura es indispensable para la empresa, tomando en consideración la ubicación y el mercado donde la misma ejerce sus actividades y el espacio físico con el que se cuenta para ser aprovechado al máximo.

Dicha cabina de pintura representará un ahorro de materia prima, energía e insumos además de un aporte positivo al medio ambiente y a la localidad puesto que en el área donde la empresa se encuentra ubicada podemos encontrar centros de estudio infantiles y áreas de esparcimiento como deportivas. De igual manera la implementación de estas estrategias significa un paso adelante en el desarrollo y

aplicación de tecnologías lo que proporciona prestigio y una puerta para la expansión y prosperidad no solo de este negocio en particular sino en todos los de esta línea de trabajo fomentando la libre competencia y activando la economía de este sector.

## **2.2 Cabina de pintura**

Estos son recintos cerrados con el suficiente espacio para albergar un automóvil y a operarios para realizar todo el proceso de pintado, las paredes de este recinto se encuentran aisladas y de igual manera se controla el flujo de aire y temperatura dentro de esta para lograr la mejor calidad posible por lo cual la implementación adecuada de una cabina de pintura es indispensable para una mediana empresa dedicada a estas actividades antes mencionadas.

### **2.2.1 Generalidades**

El aire que circula dentro de la cabina de pintura se encuentra en el rango de 20 °C a 25 °C moviéndose desde el techo hasta el piso de la misma, y de acuerdo a diferentes texto sobre ventilación y normas para hornos de pintura primero el aire tomado del exterior es depurado en un filtro para luego ser calentado y asciende hasta el techo de la instalación donde a través de otros filtros se limpia el aire de finas partículas de polvo, este mismo aire circula a una velocidad de aproximadamente 0.3 m/s alrededor del transformador provocando una pequeña sobrepresión haciendo que el aire, así como las partículas pulverizadas de pintura desciendan dentro del recinto casi en su totalidad para realizar el proceso de pintado y evitando la intrusión de partículas extrañas y de polvo del exterior. En el piso de la

cabina se encuentra una rejilla de extracción con un filtro que separa las partículas de pintura con el aire en la salida.

### **2.2.2 Dimensionamiento**

El dimensionamiento del horno permite conocer el paso del aire así como el caudal del aire para que coincida con los parámetros especificados para este tipo de instalaciones.

El tipo de horno que se diseñara será de flujo vertical de aire donde la corriente de este bajará desde el techo filtrante hacia el suelo en sentido vertical, saliendo hacia el exterior a través de la rejilla en el piso.

Según la norma DIN el caudal de aire que debe entrar a un taller de pintura debe tener hasta 50 renovaciones completas de aire por hora, mientras que bajo la norma española se explica que podría tener hasta 60 pero se realiza la recomendación que para la instalación de un horno de pintura las renovaciones estén dadas de entre 120 y 300 renovaciones por hora, dato que se extiende ampliamente en la práctica y para este caso en particular se tomaran las 150 renovaciones por hora.

Las medidas internas del horno serán:

$$L= 6.5 \text{ m}$$

$$A=4.57 \text{ m}$$

$$H=2.82 \text{ m}$$

### **Calculo del caudal**

El caudal Q de aire que debe proporcionar el ventilador se determina en función del volumen interior del horno y el número de renovaciones de aire por hora recomendado para este tipo de recintos, por lo cual también debemos identificar el volumen interior a partir de las medidas especificadas.

$$V=L \times A \times H$$

$$V= (6.5 \times 4.57 \times 2.82) \text{ m}^3$$

$$V= 83.768 \text{ m}^3$$

Multiplicando por el número de renovaciones

$$Q=V \times \# \text{ de renovaciones}$$

$$Q= 83.768 \text{ m}^3 \times 150 \text{ ren/hora}$$

$$Q= 12565.5 \text{ m}^3/\text{h} = 3.49 \text{ m}^3/\text{s}$$

### **Dimensionamiento de los ductos**

Las dimensiones necesarias para este ducto en cuanto a su longitud son definidas por la distancia desde el ventilador hasta la entrada a la cabina. Se cuenta con dos tramos uno es el vertical que va desde el ventilador hasta el codo y cuenta con 2.5 m. El segundo desde el codo hasta la entrada al horno y cuenta con una distancia de 1.5 m.

Dadas estas dimensiones se facilita la instalación del ducto así como su revisión y mantenimiento en el futuro.

Según las tablas de anexo 1 del libro de “cálculos de climatización” la velocidad del aire al transitar por los ductos no debe sobrepasar los 12.5 m/s para locales industriales, con lo cual se consigue evitar un ruido excesivo y grandes pérdidas en los ductos.

Se encuentra el área del ducto de admisión de aire hacia la cabina a partir del caudal y la velocidad.

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$A = \frac{3.49 \text{ m}^3/\text{seg}}{12.5 \text{ m/s}}$$

$$A = 0.279 \text{ m}^2$$

$$A = 0.288 \text{ m}^2$$

(Anexo 1)

Las dimensiones del ducto de entrada de aire se determinan con forme al tipo de resistencia que se instalará y su configuración, estos datos se encuentran en las tablas presentadas en el anexo 2, el cual dimensiona para esta sección un ducto de 1100 x 300 mm.

Este ducto de entrada de aire se conecta con el plenum en la parte superior de la cabina donde se requiere que el flujo disminuya su velocidad y descienda hacia el piso.

La superficie filtrante del plenum de impulsión tiene que abarcar la mayor parte posible del techo del horno, al menos el 80% del mismo, ya que superficies inertes mayores ocasionan turbulencias perjudiciales.

De esta manera se tiene:

$$L \times A = (6.5 \times 4.57) \text{ m}^2$$

$$L \times A = 29.705 \text{ m}^2$$

$$80\% L \times A = 23.764 \text{ m}^2$$

Entonces el plenum deberá abarcar 23.764 m<sup>2</sup> de la superficie del techo.

### **Cálculo de pérdidas en los ductos**

Obtener datos previos antes de realizar el análisis es importante entre los cuales la equivalencia del ducto rectangular con uno circular:

$$r = \sqrt{A/\pi}$$

$$r = \sqrt{0.288 \text{ m}^2 / \pi}$$

$$r = 0.3027 \text{ m}$$

$$D = 2 r = 0.6055 \text{ m}$$

Con el número de Reynolds se determina que el flujo es turbulento:

$$\text{Re} = \frac{\rho * v * D}{\mu}$$

$$\text{Re} = \frac{0.8746 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 12.5 \text{ m/s} * 0.6055 \text{ m}}{1.70 \times 10^{-5} \text{ kg/m} * \text{seg}}$$

$$\text{Re} = 389389.9265$$

Es necesario el radio hidráulico del ducto en este caso, para este tipo de ducto no circular.

$$Rh = \frac{A}{\rho} = \frac{0.288 \text{ m}^2}{2.3 \text{ m}}$$

$$Rh = 0.1252 \text{ m}$$

$$D = 4 Rh = 0.5 \text{ m}$$

La rugosidad relativa es:

$$\frac{E}{D} = \frac{4.6 \times 10^{-5} \text{ m}}{0.5 \text{ m}}$$

$$\frac{E}{D} = 9.2 \times 10^{-5}$$

El valor de E se toma de tablas de acuerdo al material del ducto o tubería.

Con estos valores se busca el factor de fricción  $\lambda$  en el diagrama de Moody, el valor de  $\lambda$  es 0.015.

Reemplazando en la fórmula de pérdidas por el método de Darcy-Weisbach se tiene:

$$H_{rp} = \lambda \frac{L V^2}{D 2g}$$

$$H_{rp} = 0.015 \frac{4 \text{ m} (12.5 \text{ m/s})^2}{0.5 \text{ m} 2 * 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$H_{rp} = 0.9556 \text{ m}$$

Se puede transformar este valor a una presión

$$\Delta P = H_{rp} * \rho * g$$

$$\Delta P = 0.9556 \text{ m} * 08746 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta P = P_e = 8.1988 \text{ Pa}$$

En cálculos de sistemas de climatización utilizan este método pero con el cálculo de la presión dinámica, que como se observa tiene el mismo resultado.

$$Pd = \frac{1}{2} * \rho * V^2$$

$$Pd = \frac{1}{2} * 0.8746 \frac{kg}{m^3} * (12.5 m/s)^2$$

$$Pd = 68.32 Pa$$

Se necesita estos valores para calcular la presión estática reemplazando datos en la siguiente fórmula:

$$Pe = \lambda * \frac{L}{D} * Pd$$

$$Pe = 0.015 * \frac{4 m}{0.5 m} * 68.32$$

$$Pd = 8.1984 Pa$$

### **Pérdidas en los accesorios**

De acuerdo con el monograma del anexo 12, se determina con las dimensiones del codo los valores de A/B y R/A siendo estas las siguientes:

$$\frac{A}{B} = \frac{300}{1100} = 0.273$$

$$\frac{R}{A} = \frac{300}{300} = 1$$

Se determina el valor de “n” en 0.3

$$\Delta P_{codo} = n * Pd$$

$$\Delta P_{codo} = 0.3 * 68.32 Pa$$

$$\Delta P_{codo} = 20.496 Pa$$

El coeficiente de la campana de salida hacia la cabina es de 0.15 y para calcular el valor de caída de presión se lo multiplica por la presión dinámica.

$$\Delta P_{camp.} = 0.15 * Pd$$

$$\Delta P_{camp.} = 0.15 * 68.32 Pa$$

$$\Delta P_{camp.} = 10.25 Pa$$

### **Presión total**

En primer lugar se suma las presiones estática, dinámica y la de los accesorios.

$$P1 = Pe + Pd + \Delta P_{codo} + \Delta P_{camp.}$$

$$P1 = (8.1984 + 68.32 + 20.496 + 10.25)Pa$$

$$P1 = 107.2644 Pa = 10.9379 \text{ mm.c.a.}$$

Se utilizará la unidad m.m.c.a. Para poder sumar la caída de presión de los filtros.

Para realizar un cálculo completo se tiene que sumar la caída de presión por los elementos que se instalan en el horno como son los filtros.

Para este diseño se plantea acoplar un techo filtrante en la parte superior del horno, para el cual no existen fuentes que especifiquen su caída de presión pero se tienen datos de hasta una pulgada y media para un área similar, además un filtro Turbodin diseñado especialmente para atrapar contaminantes viscosos como aceites,

grasas y pintura; con una caída de presión de 7.62 mm.c.a. , en el ducto de salida.  
Estos filtros cumplen con la norma HEPA.

### **Presión total**

$$P_t = P_1 + \Delta P_{\text{Filtros}}$$

$$P_t = (10.93 + 38.1 + 7.62) \text{ m. m. c. a.}$$

$$P_t = 56.6579 \text{ m. m. c. a.}$$

Se debe tomar en cuenta un  $\Delta P$  por la obstrucción que presentan las resistencias y su disposición al interior del ducto, pero para ello será necesario el análisis termodinámico y conocer el tipo de resistencia y la cantidad de ellas.

El valor es de 2.28 m.m.c.a. y su análisis se detalla más adelante.

Entonces el punto de operación del ventilador es:

$$Q = 12565.5 \text{ m}^3/\text{h} = 3.49 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_t = (56.6579 + 2.28) \text{ m. m. c. a.}$$

$$P_t = 58.9379 \text{ m. m. c. a.}$$

### **Selección del ventilador**

Para la selección del ventilador se revisa la curva del sistema versus la de los ventiladores con los cálculos realizados y suponiendo diversos valores de caudal. El ventilador que se va a utilizar es de tipo centrífugo ya que se trata de conducir un caudal que tiene una presión que vencer.

En este caso es mucho más recomendable ubicar un ventilador a la entrada del sistema y un extractor a la salida, con ello se gana en cuanto a la presión que tiene que vencer ese caudal para transitar por el interior del horno, y por ello también los valores que se consideran a continuación corresponden a la mitad de la presión total a vencer.

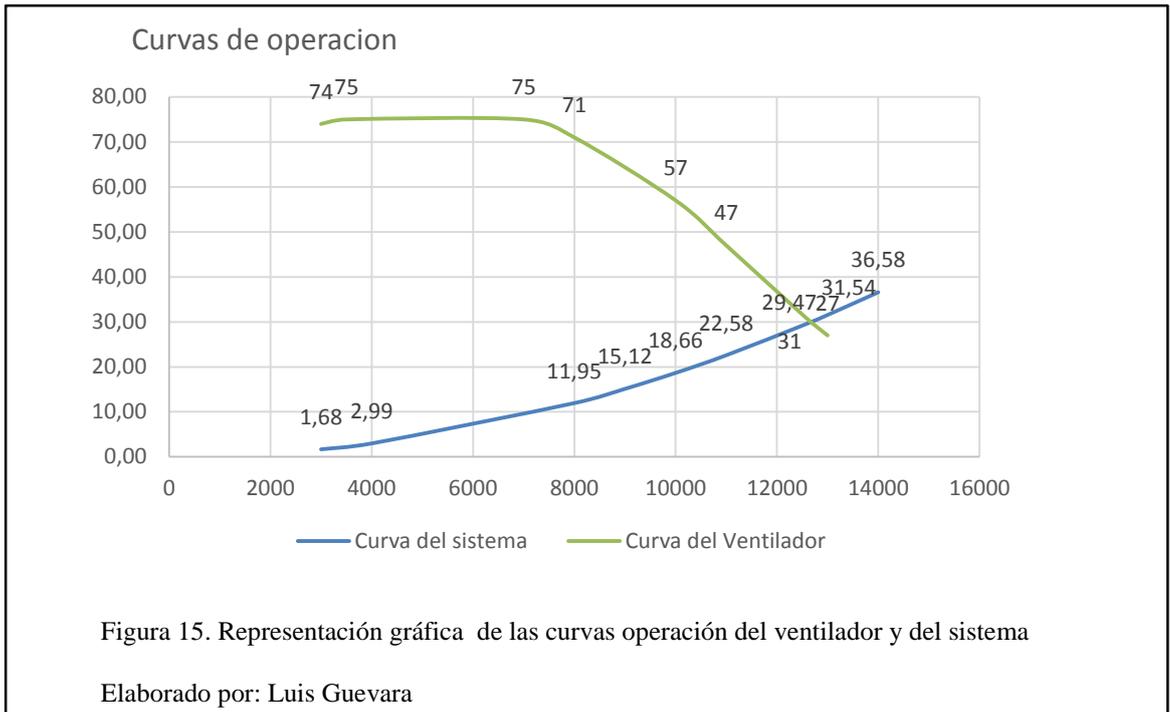
Los datos de las curvas del sistema y el ventilador se presentan respectivamente en la tabla siguiente:

Tabla 6.

Datos de Curvas del ventilador y del sistema.

| Pto. | Caudal<br>Q=m <sup>3</sup> /h | Presión C.S.<br>m.m.c.a. | Presión C.S.<br>m.m.c.a. |
|------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1    | 3000                          | 1,68                     | 74                       |
| 2    | 4000                          | 2,99                     | 75                       |
| 3    | 8000                          | 11,95                    | 75                       |
| 4    | 9000                          | 15,12                    | 71                       |
| 5    | 10000                         | 18,66                    | 57                       |
| 6    | 11000                         | 22,58                    | 47                       |
| 7    | 12565                         | 29,47                    | 31                       |
| 8    | 13000                         | 31,54                    | 27                       |
| 9    | 14000                         | 36,58                    | 15                       |

Nota: tabla de datos del sistema y del ventilador para realizar una posterior representación gráfica. Elaborado por: Luis Guevara



El punto de operación del ventilador está ubicado en:

Caudal 12565 m<sup>3</sup>/h; caída de presión 29,47 m.m.c.a.

Con estos valores se recurre a la tabla de algún catálogo de ventiladores en donde se selecciona uno que aproxime sus valores a los del requerimiento. Se tiene:

Las características del ventilador son:

Modelo: CVST- 18/8

Potencia: 1.1 a 7.5 kW

Revoluciones del ventilador: 1400 rpm

## Curva características del Ventilador.

### CURVAS CARACTERÍSTICAS

- $q_v$  = Caudal en  $m^3/h$  y  $m^3/s$ .
- $p_{st}$  = Presión estática en  $mmcda$  y  $Pa$ .
- Aire seco normal a  $20^\circ C$  y  $760$   $mmHg$ .
- Ensayos realizados de acuerdo a Norma ISO 5801 y AMCA 210-99.

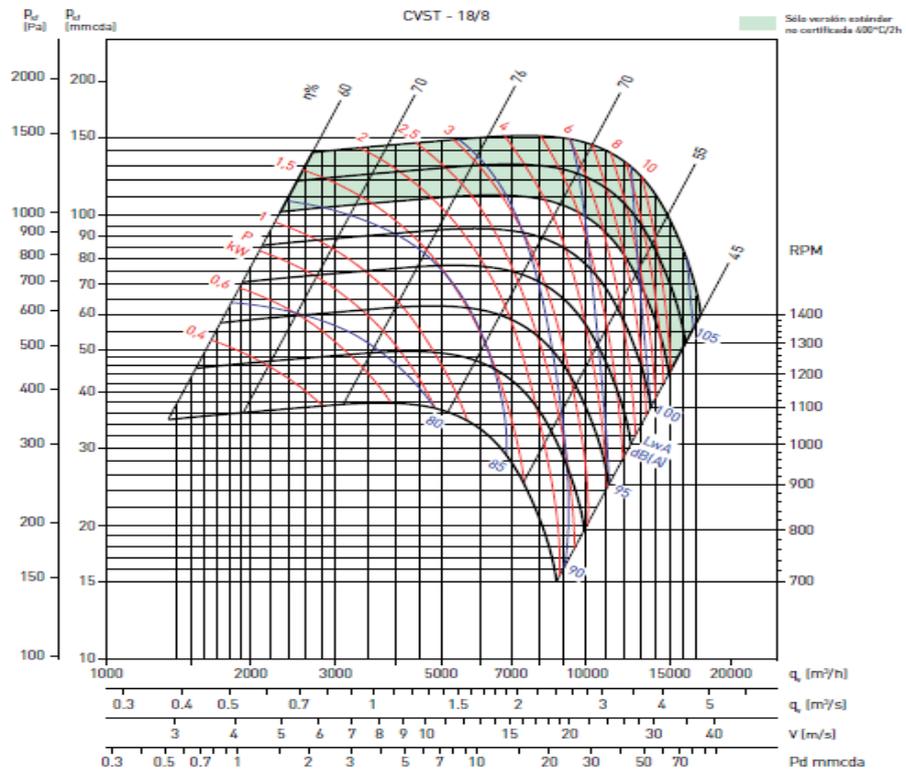


Figura 16. Diagrama de las curvas características del ventilador para su funcionamiento.

Fuente: (Soler & Paulo, 2013)

Tabla 7.

Tabla de modelos de ventilador.

| Modelo     | Potencia motor (kW) |                           |                                | Revoluciones ventilador (r.p.m.) |                           |                                | Peso con el motor de máxima potencia* (kg) |
|------------|---------------------|---------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
|            | Mínima              | Máxima (versión 400°C/2h) | Máxima (sólo versión estándar) | Mínima                           | Máxima (versión 400°C/2h) | Máxima (sólo versión estándar) |  |
| CVST 9/4   | 0,25                | 2,2                       | 2,2                            | 1200                             | 2500                      | 2500                           | 49   |
| CVST 10/6  | 0,37                | 2,2                       | 3                              | 1200                             | 1850                      | 2000                           | 54   |
| CVST 12/6  | 0,55                | 3                         | 3                              | 800                              | 1800                      | 2000                           | 85   |
| CVST 15/8  | 0,55                | 3                         | 3                              | 600                              | 1200                      | 1500                           | 106  |
| CVST 18/8  | 1,1                 | 7,5                       | 7,5                            | 700                              | 1200                      | 1400                           | 125  |
| CVST 20/10 | 2,2                 | 11                        | 11                             | 500                              | 1300                      | 1400                           | 235  |
| CVST 22/11 | 2,2                 | 18,5                      | 18,5                           | 500                              | 1200                      | 1400                           | 273  |
| CVST 25/13 | 3                   | 22                        | 22                             | 400                              | 1000                      | 1100                           | 305  |
| CVST 30/14 | 4                   | 22                        | 22                             | 300                              | 600                       | 600                            | 398  |

\* Con el motor más potente.

Nota: modelos de ventilador y algunas de sus características del catálogo.  
Fuente: (Soler & Paulo, 2013)

### Diseño térmico

El horno será utilizado para el pintado y secado de vehículos, para este caso el aire debe estar entre 20 y 25 °C en el interior.

Con un análisis termodinámico en el ducto se puede determinar la cantidad de energía que requerida para que la temperatura a la salida del ducto sea de 23 C, se considera además que se trata de condiciones de flujo estable.

$$E_{entra} - E_{sale} = \Delta E = 0$$

$$E_{entra} = E_{sale}$$

$$E_{req} = m \cdot Cp \cdot \Delta T$$

Para realizar los cálculos de flujo másico antes se necesita saber la densidad del aire en el lugar donde se pretende construir la cabina. Para ello son necesarios los siguientes datos:

Ra= Constante de los gases= 287 Nm/°K

T= temperatura ambiente = 17 °C = 290 °K

P= presión atmosférica = 72793.8 Pa (Quito)

$$\rho = \frac{P}{Ra.T}$$

$$\rho = \frac{72793.8 \text{ N/m}^2}{287 \frac{\text{Nm}}{\text{kg}^\circ\text{K}} * 290^\circ\text{K}}$$

$$\rho = 0.8746 \text{ kg/m}^3$$

La tasa de flujo másico de aire a través del ducto se obtiene con:

$$m = Q * \rho$$

$$m = 12565.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 0.8746 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m = 10989.78 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 3.05 \text{ kg/s}$$

Se puede trabajar también con el volumen específico, obteniendo el mismo resultado.

Para determinar la cantidad de energía que se necesita por infiltración de aire exterior o ventilación y que viene dada por:

$$E_{req} = m * Cp * \Delta T$$

$$E_{req} = 3.0527 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 1.005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (20 - 17)^\circ\text{C}$$

$$E_{req} = 9.2038 \text{ kW}$$

El cálculo de la pérdida por conducción de las paredes viene dada por:

$$q = \frac{\Delta T}{\frac{l_1}{k_1 A_1} + \frac{l_2}{k_2 A_2} + \frac{l_3}{k_3 A_3} + \frac{l_4}{k_4 A_4}}$$

$$q = \frac{(20 - 17)^\circ\text{C}}{\frac{0.15 \text{ m}}{0.49 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} * 62.44 \text{ m}^2} + \frac{0.1}{0.025 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} * 62.44 \text{ m}^2} + \frac{0.0009}{60.5 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} * 62.44 \text{ m}^2}}$$

$$q = 43.5 \text{ W}$$

El cálculo de la pérdida por techo y pisos está dada por:

$$q = \frac{\Delta T}{\frac{l_1}{k_1 A_1} + \frac{l_2}{k_2 A_2}}$$

$$q = \frac{(20 - 17)^\circ\text{C}}{\frac{0.002}{60.5 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} * 23.76 \text{ m}^2} + \frac{0.05}{0.025 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} * 29.76 \text{ m}^2}}$$

$$q = 44.64 \text{ W}$$

Por lo tanto, la cantidad de calor que se requerida para el proceso es de 10 kW

### **Cálculo de transferencia de calor por resistencias**

Corriente de aire transversal a un banco de tubos isotermos.

Se asume que transversalmente a un banco de tubos (resistencias) de 1 cm de diámetro exterior escalonadas en tres hileras, circula aire a la presión atmosférica

obtenida, 17 °C y a la velocidad de 12.5 m/s. La superficie del cilindro se mantiene a una temperatura de 750 °C. El análisis que se da a continuación se realiza para saber la cantidad de calor que estas resistencias brindan por unidad de longitud.

Se hace el cálculo a temperatura de película que es el promedio entre la temperatura de superficie, luego se busca la densidad del aire a esa temperatura.

$$T = \frac{T_w + T_\infty}{2}$$

$$T = \frac{720 + 17}{2}$$

$$T = 368.5 \text{ °C}$$

$$T = 641.5 \text{ °K}$$

A 641.5 K la densidad es:

$$\rho = \frac{P}{Ra * T}$$

$$\rho = \frac{72793.8 \text{ N/m}^2}{287 \frac{\text{Nm}}{\text{kg}^\circ\text{K}} * 641.5 \text{ °K}}$$

$$\rho = 0.386 \text{ kg/m}^3$$

Se necesita saber el número de Reynolds para estas condiciones:

$$Re = \frac{0.386 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 12.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.01\text{m}}{3.177 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}}}$$

$$Re = 1548$$

Se busca las correlaciones de Prandtl y Nusselt:

Valores de  $\mu$ ,  $k$ ,  $C_p$  se obtiene de las tablas en el anexo 6.

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k}$$

$$Pr = \frac{3.177 \times 10^{-5} \frac{kg}{m * s} * 1063.5 \frac{Kj}{Kg * ^\circ C}}{0.04953 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}}$$

$$Pr = 0.682$$

Para banco de tubos escalonados se puede trabajar con la siguiente ecuación:

Valores de C y m se obtiene de la tabla del anexo 7.

$$Nu = C * (Re)^m * (Pr)^{0.34} * F_n$$

$$Nu = 0.273 * (1548)^{0.635} * (0.683)^{0.34} * 0.85 = 21.6$$

Factor de corrección del anexo 8.

$$Nu = 0.75 * 21.6$$

$$Nu = 16.2$$

Con estos valores se obtiene el coeficiente convectivo:

$$h = \frac{Nu * k}{d}$$

$$h = \frac{(16.2) * (0.04953) \frac{W}{m * ^\circ C}}{0.01m}$$

$$h = 80.63 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Finalmente se determina la cantidad de calor por unidad de longitud:

$$\frac{q}{L} = h * \pi * d * (T_w + T_\infty)$$

$$\frac{q}{L} = \left( 80.63 \frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right) * \pi * (0.01m) * (750 - 70)^\circ C$$

$$\frac{q}{L} = 2461.7 \frac{W}{m}$$

Con esta relación y la potencia térmica que el sistema requiere, se necesita una serie de tres resistencias escalonadas con una longitud efectiva de calentamiento de 1.2 metros cada una.

Ahora se puede calcular la caída de presión en el ducto por el paso del aire a través de las resistencias. Esto es:

$$\Delta P = N * f \frac{\rho v^2}{2g}$$

$$\Delta P = 3 * 0.12 \frac{0.8746 * 12.5^2}{2 * 9.81}$$

$$\Delta P = 2.28 \text{ m. m. c. a.}$$

### **Diseño estructural**

Para el diseño de la estructura metálica se considerara la carga de los recubrimientos aislantes y el peso de hasta dos personas que será una carga de 120 kg en caso de ser necesario el mantenimiento pertinente ya que la cabina de pintura será un recinto aislado el cual no deberá soportar una carga excesiva en su normal funcionamiento.

El diseño del sistema consiste en el anclaje de los elementos metálicos definidos como tubo cuadrado A36 de 100x4 mm en las paredes de tal manera que estos formen un marco, razón por la cual se simulará solo estos elementos mediante el software llamado autodesk inventor.

Estructura metálica a simular.



Figura 17. Modelación en Inventor Autodesk

Elaborado por: Luis Guevara

Se observa la tensión de Von Mises la cual nos indica después de ingresar los datos asignados que la estructura es confiable.

## Tensión de Von Mises.

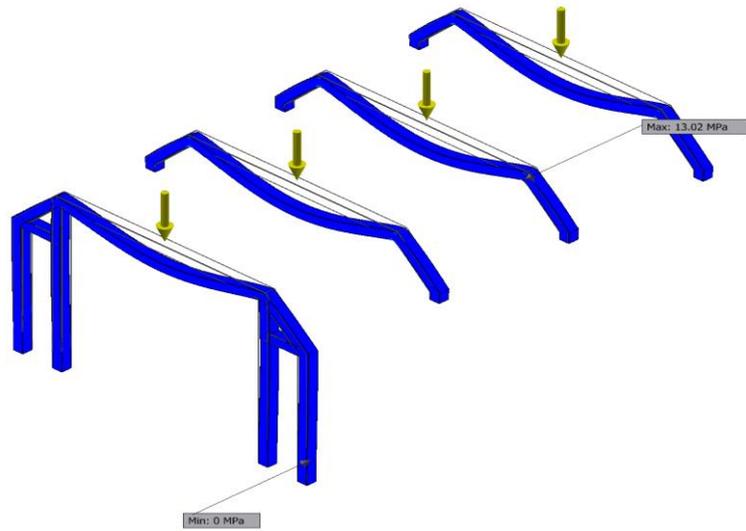
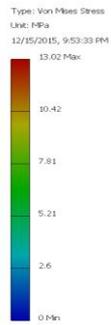


Figura 18. Simulación en inventor autodesk para la tensión de Von Mises

Elaborado por: Luis Guevara

A través de esta simulación también se puede observar el desplazamiento de la estructura, sin ser el máximo permisible sinónimo de falla sino de su desplazamiento máximo.

## Desplazamiento estructural.

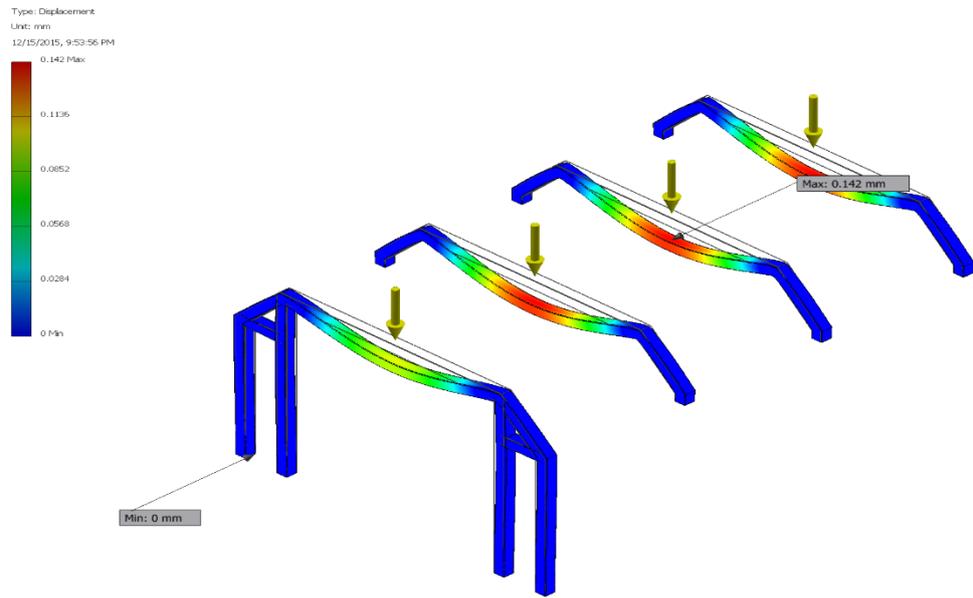
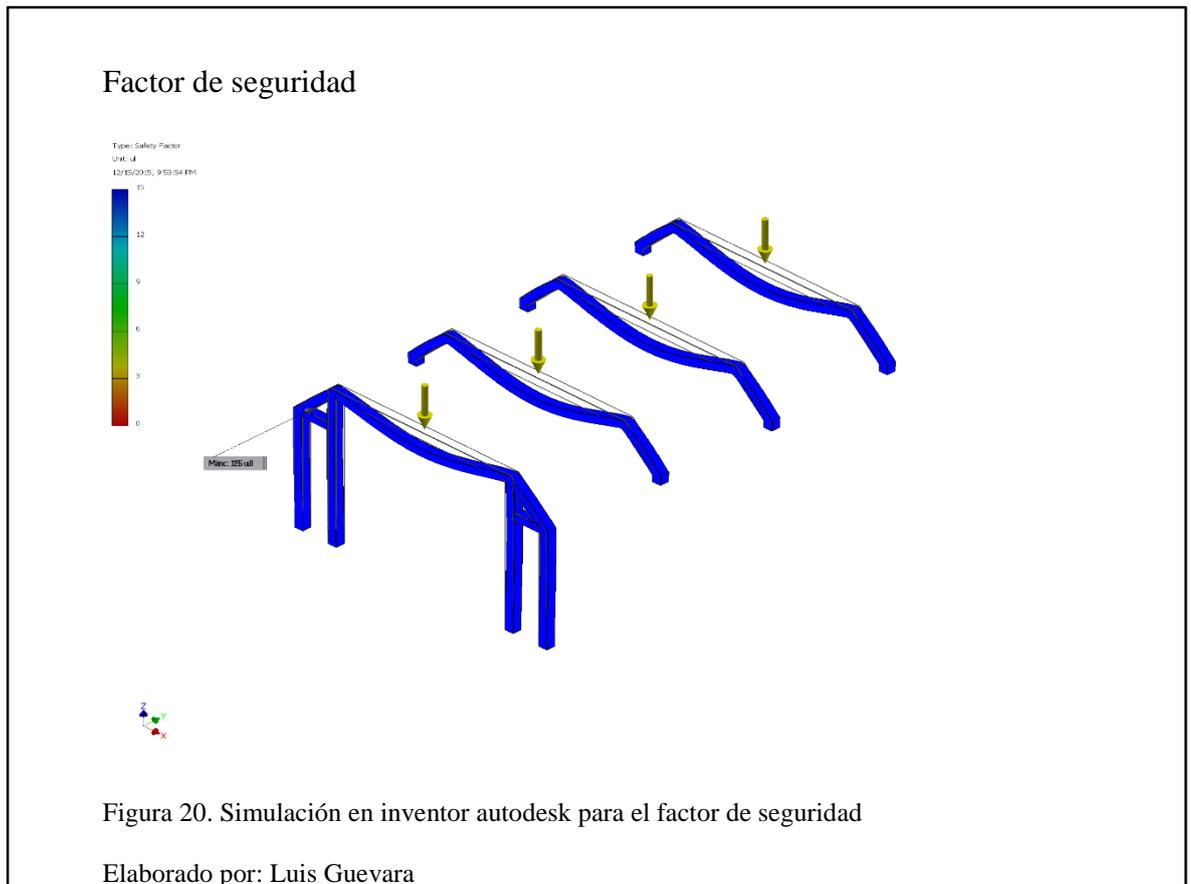


Figura 19. Simulación en inventor autodesk para desplazamiento estructural.

Elaborado por: Luis Guevara

También es pertinente exponer el factor de seguridad arrojado por el programa que indica el cociente que se obtiene a partir del valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real es igual a 1,5.



Mediante la simulación de la carga a la cual está sometida la estructura se puede concluir que esta es capaz de resistir sin problemas las cargas.

### **Costos**

En todas las empresas se puede observar que uno de sus apartados más importantes es la rentabilidad que sus procesos u operaciones generan a la misma, por lo tanto se detallaran en forma breve el presupuesto requerido para la implementación de la cabina diseñada en cuanto a los materiales mano de obra e insumos necesarios para que esta genere beneficios.

En cuanto a equipos se utilizaran dos ventiladores de 1.1 0 7.5 kW, un calentador de 380 V, en cuanto a luminarias se utilizara tecnología LED con 80 unidades instaladas y se instalará interruptores de control para las diferentes variables en la cabina. También se puede decir que en a ducteria se utilizará dos ángulos, filtros de pintura, filtro de techo, filtro de entrada, los tres últimos se presentan en rollo en el mercado de igual manera se instalaran 3 resistencias eléctricas. En cuanto al aislante se utilizará poliuretano conformado, no se pude dejar de lado los tubos estructurales cuadrados siendo 15 los utilizados y las 20 planchas de acero.

Además de todos los costos directos que representan la construcción de esta cabina tenemos todos los costos de instalación como son la suelda eléctrica, taladro, dobladora, moladora y el trabajo del personal adecuado para esto como son un soldador, armador conjuntamente con dos ayudantes y electricista, sin olvidar de la obra civil previa que la cabina exige.

Tabla 8.

Tabla de costos.

|          |  |        |
|----------|--|--------|
| Equipos  | Ventiladores                             | \$1300 |
|          | Calentador                               | \$1500 |
|          | Luminarias                               | \$300  |
|          | Control (temperatura, flujo, enecendico) | \$370  |
| Ductería | Ductos                                   | \$470  |

|              |                     |         |
|--------------|---------------------|---------|
|              | Filtros             | \$670   |
|              | Insumos             | \$250   |
| Cabina       | Paredes metálicas   | \$1125  |
|              | Aislante            | \$1950  |
|              | Piso                | \$200   |
|              | Insumos             | \$300   |
| Mano de obra | Suelda              | \$250   |
|              | Instalación ductos  | \$2000  |
|              | Instalación equipos | \$2100  |
|              | Civil               | \$4000  |
| Varios       |                     | \$300   |
| TOTAL        |                     | \$17085 |

Nota: se detallan en forma breve los costos de la implementación de la cabina de pintura. Elaborado por: Luis Guevara

## **Capítulo 3**

### **Simulación**

La simulación térmica y dinámica de los regímenes de flujo dentro de la cámara, los fenómenos que se producen al interior de la misma, son resultados que serán representados en este capítulo.

El programa nos proporcionará datos tales como velocidad del fluido, temperatura y presión, los cuales se consideran como el grupo de datos de mayor importancia para mostrar el análisis del comportamiento del sistema. La simulación se desarrollará utilizando como plataforma los datos, extraídos mediante mediciones de distintos parámetros, efectuados en la instalación caso de estudio. El software de simulación es una herramienta de apoyo para especialistas de la rama ingenieril, debido a que proporciona información y resultados preliminares de algún producto o proceso que se pretende desarrollar o implementar. Si bien los mismos creadores de tales programas no recomiendan basar totalmente un diseño en un software, sino que sean compartidos con elementos reales y con experiencia en el campo que se investiga, son útiles para el ahorro de tiempo, dinero e insumos en el desarrollo de un producto.

### **3.1 Simulación térmica en Solidworks**

SolidWorks Simulation integrado en el CAD permite a los diseñadores e ingenieros que forman parte de un proyecto realizar un análisis térmico (simulación) en cualquier fase del diseño para garantizar que tanto componentes y ensamblajes funcionen correctamente en intervalos de temperatura previstos, y detectar problemas de seguridad o de diseño antes de la ejecución del proyecto.

El análisis térmico se calcula en función de la temperatura del entorno y la transferencia de calor del interior de los componentes. Se trata de un factor de suma importancia y que se debe a tener en cuenta en el diseño, ya que muchos productos y materiales tienen propiedades que dependen de la temperatura. La seguridad del producto también es un factor a tener en cuenta. Si un producto o componente se calienta demasiado, puede que se necesite diseñar una cubierta para protegerlo.

#### **3.1.1 Visión general de análisis térmico**

El flujo de calor a través de los componentes puede encontrarse en un estado estable (en el que el flujo de calor no cambia con el tiempo) o en forma transitoria. La analogía térmica de un análisis estático lineal es un análisis térmico de estado estable, mientras que el análogo del análisis estructural dinámico es el análisis térmico transitorio.

Los problemas de transferencia de calor pueden resolverse mediante el uso de distintos métodos para el análisis estructural y de flujo de fluido:

En un análisis estructural térmico, el efecto del aire en movimiento o de un líquido en movimiento se aproxima mediante una serie de condiciones de contorno o cargas.

En un análisis térmico de fluidos, el efecto del aire o de un líquido se calcula, aumentando el tiempo de ejecución, así como la precisión general de la solución.

### **3.2 Simulación de flujo de fluidos en SolidWorks**

Se determina el impacto de un líquido o gas en el rendimiento de un producto durante la fase de diseño con SolidWorks Flow Simulation integrado en el CAD. Los estudios de dinámica de fluidos computacional (CFD) ofrecen información significativa sobre el impacto del flujo de fluidos, para que pueda solucionar los problemas con antelación, reducir la necesidad de crear costosos prototipos y eliminar las repeticiones.

#### **3.2.1 Visión general de la simulación de flujo de fluidos**

CFD simula el paso de fluidos (líquidos o gases) a través de un objeto o a su alrededor. El análisis puede ser muy complejo; por ejemplo, un cálculo puede contener transferencia de calor, mezclas, y flujos inestables y compresibles. La capacidad de predecir el impacto de dichos flujos en el rendimiento de producto puede resultar lenta y cara si no se utiliza ningún tipo de herramienta de simulación.

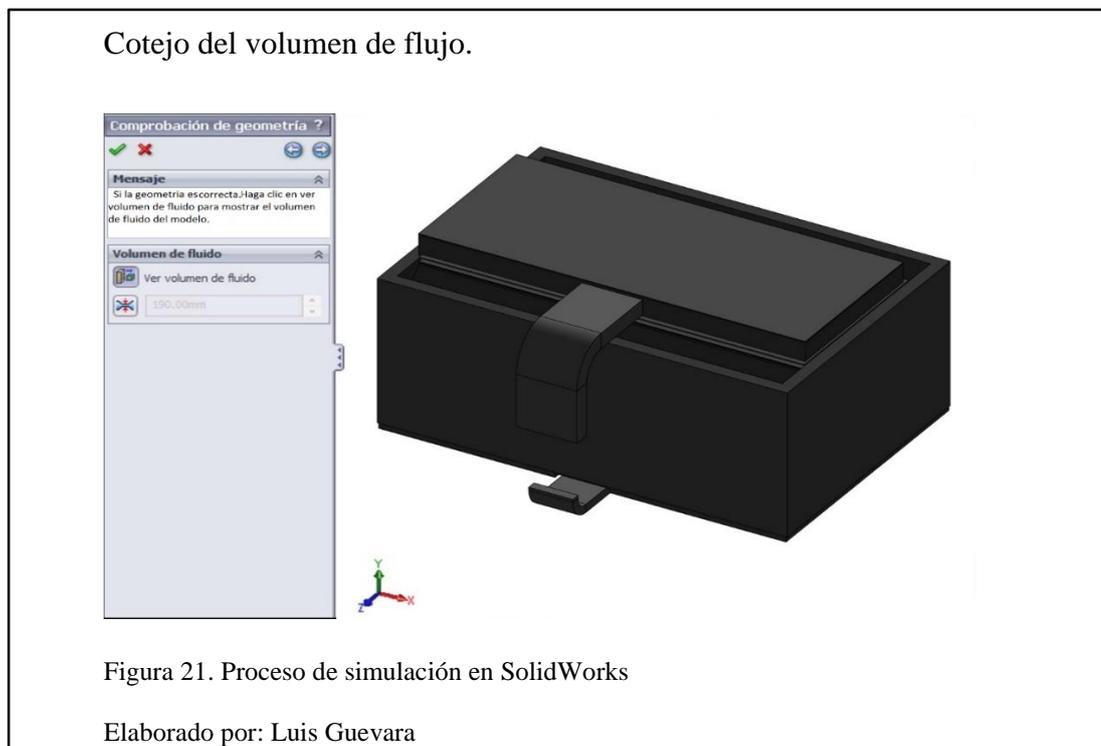
El análisis de SolidWorks CFD para el flujo de líquidos, el flujo de gases o la transferencia de calor puede ayudarle a desarrollar diseños innovadores y a obtener una mayor eficacia del producto. Entre los problemas típicos resueltos se incluyen:

- Caída de la presión de la válvula para calcular su eficacia.
- Flujo de aire en el interior de una vivienda u oficina para calcular factores de comodidad térmica
- Distribución térmica de un componente electrónico para calcular modelos térmicos electrónicos
- Simulación aerodinámica para calcular las fuerzas de elevación y resistencia aerodinámica

A continuación se detallaran los pasos, a grandes rasgos, del orden lógico que se asumirá el proceso de simulación térmica y dinámica de los regímenes de flujo dentro de la cámara.

### 3.3 Desarrollo de la simulación térmica y dinámica del sistema caso de estudio

- 1) Inicialmente se precisa en volumen de fluido con que se operará.



- 2) Se declara el tipo de fluido que ocupa la cabina.

Clasificación del flujo.

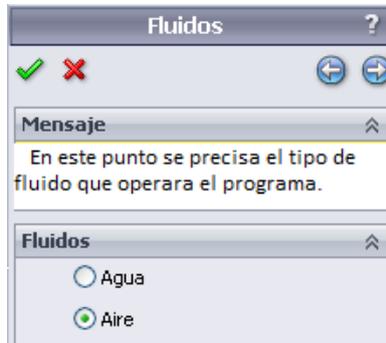


Figura. 22. Proceso de simulación en SolidWorks, clasificación de flujo.

Elaborado por: Luis Guevara

- 3) Se introducen los datos de flujo másico y temperatura de entrada del aire en programa de simulación computarizada. Es pertinente además especificar el sitio por donde penetra el flujo de a la cámara.

Introducción de los valores parámetros flujo másico y temperatura.

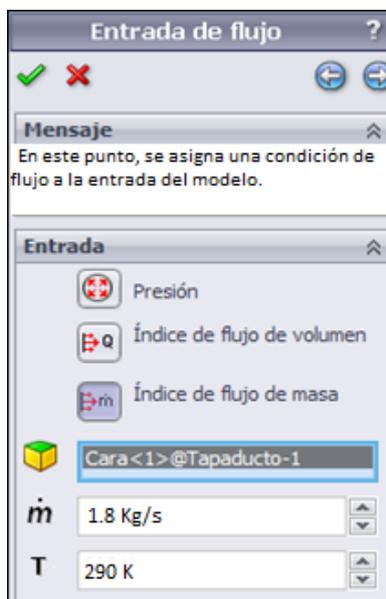


Figura 23. Proceso de simulación en SolidWorks, parámetros flujo másico y temperatura.

Elaborado por: Luis Guevara

4) Se precisa el valor de la presión a la salida de la cámara, que en nuestro caso de estudio consideramos el valor de presión atmosférica. Luego se indica el sitio por donde el flujo abandona la cámara.

Introducción de los valores del parámetro presión a la salida.



Figura 24. Proceso de simulación en SolidWorks, valores de presión de salida.

Elaborado por: Luis Guevara

5) Luego de desarrollado los anteriores pasos necesarios y suficientes.

Estamos en condiciones de iniciar la simulación del modelo.

Resolución del modelo.

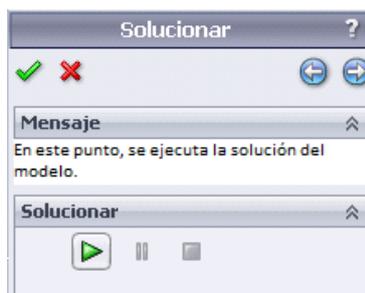


Figura 25. Proceso de simulación en SolidWorks, solución del modelo.

Elaborado por: Luis Guevara

En este punto el programa computarizado procede a desarrollar las interacciones entre las variables las cuales nos ofrecerán un horizonte de sucesos que

emulará con la realidad de lo ocurrido dentro de la cabina en cuanto a condiciones térmicas y dinámicas del fluido dentro de esta.

Vista general de la ventana de la solución en curso de la simulación.

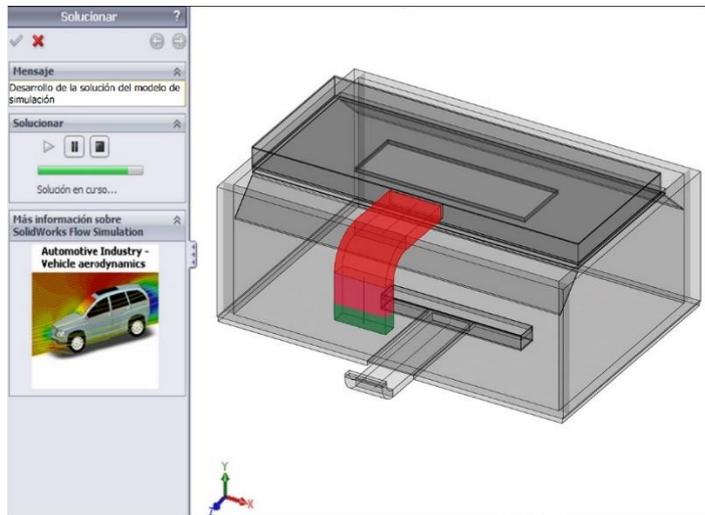


Figura 26. Proceso de simulación en SolidWorks, solución en curso de la simulación.

Elaborado por: Luis Guevara

Perfil de velocidades del flujo al interior de la cámara.

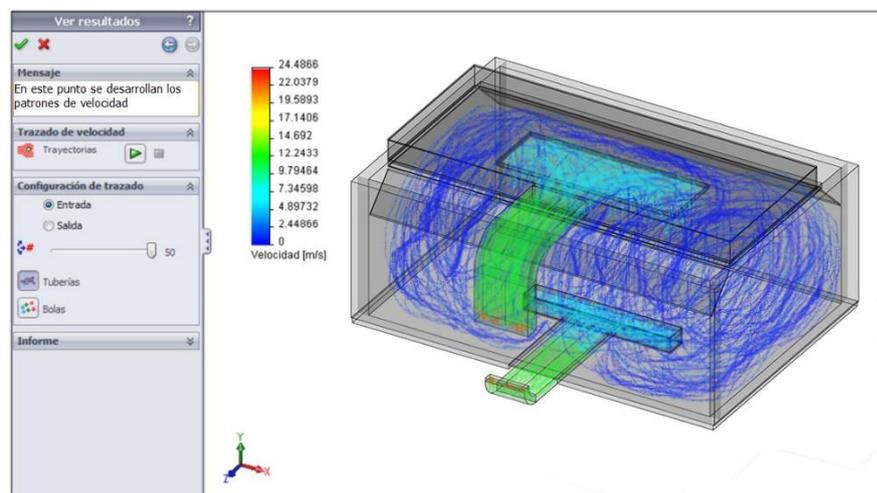


Figura 27. Simulación en SolidWorks de las velocidades de flujo al interior de la cámara

Elaborado por: Luis Guevara

Se comprueba que el valor del parámetro velocidad en el interior de la cámara se encuentra en el rango menor a 1.2 m/s que resulta correcto dado las indicaciones del análisis; y que la velocidad de entrada se encuentra en el rango que fue calculado sin haber tenido que ingresarlo como dato inicial al software; esto es aproximadamente 11 m/s.

El complemento del programa computacional llamado “FloXpress” puede mostrar los datos de velocidad en el interior de la cámara pero está limitado para realizar el análisis térmico, por ello se hace necesario el apoyo de otro complemento llamado “Flow Simulation”. Mediante el empleo de este complemento se puede añadir opciones avanzadas al diseño, que mostrarán resultados que puedan ser comparados con el desempeño térmico del sistema caso de estudio. Con este propósito se continúan las instrucciones de un “Wizard” que guarda los datos acerca del diseño.

- 1) Inicialmente en el trabajo con este complemento se declaran en nombre del proyecto y comentarios al respecto.

#### Introducción de datos al proyecto.

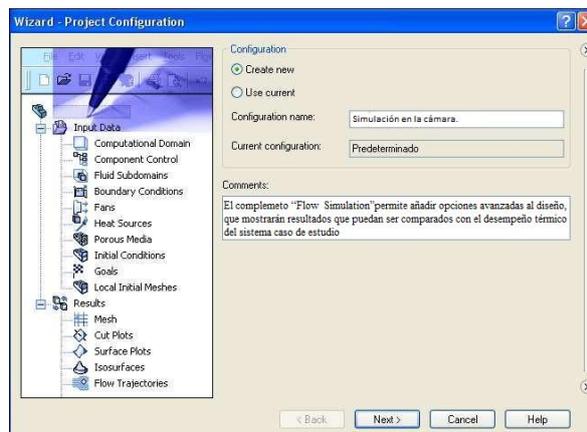


Figura 28. Proceso de simulación complementario a través de un wizard.

Elaborado por: Luis Guevara

2) Se declaran en el programa el sistema de medidas y las unidades con que se operará el sistema.

Declaración de unidades de medida.

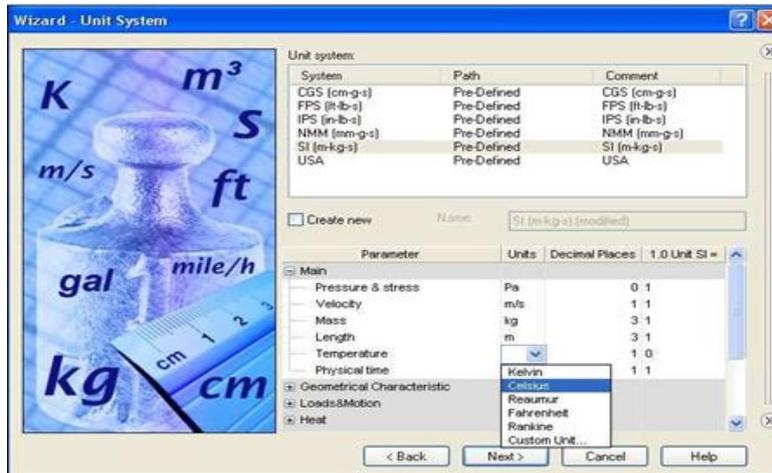


Figura 29. Proceso de simulación, declaración de unidades de medida.

Elaborado por: Luis Guevara

3) En este punto se precisa el tipo de análisis que deberá desarrollar el complemento computacional del programa de simulación.

Elección del tipo de análisis.

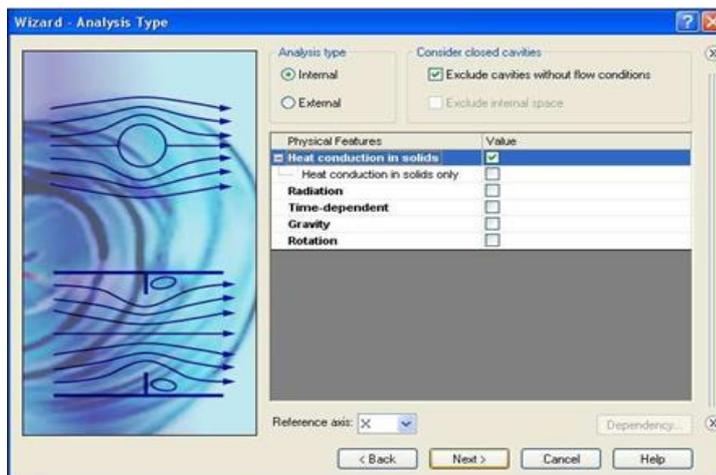


Figura 30. Proceso de simulación, elección de tipo de análisis.

Elaborado por: Luis Guevara

4) Selección del fluido con que se operara la simulación en este complemento.

Elección del tipo del fluido.

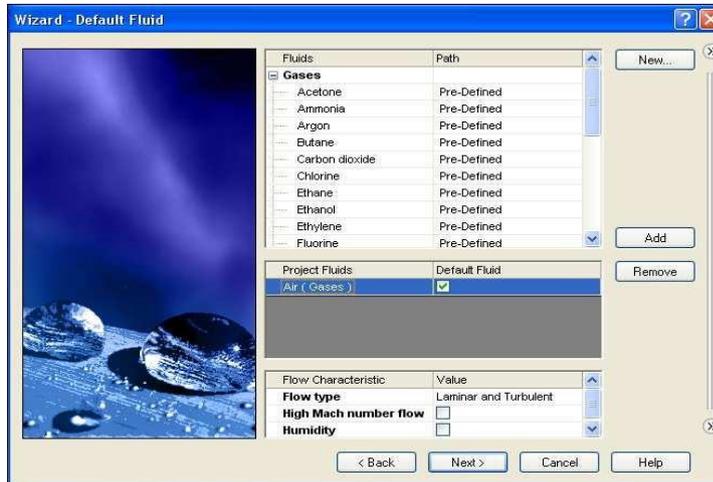


Figura 31. Proceso de simulación, elección del tipo de fluido.

Elaborado por: Luis Guevara

5) En este paso se introducen en el programa el tipo de material del sistema a analizar.

Elección del material de la cámara.

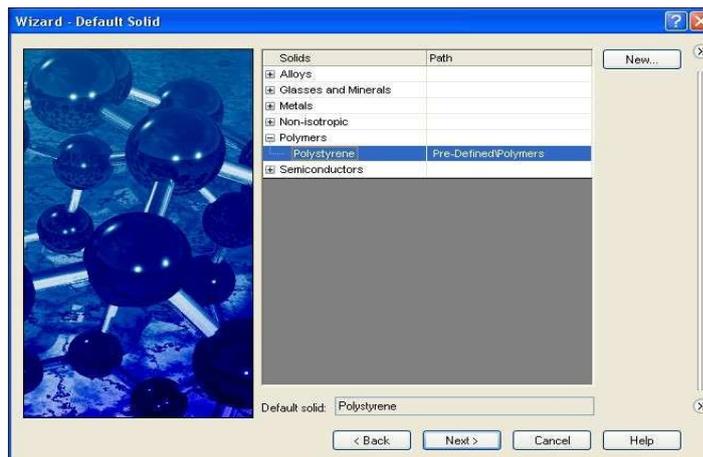


Figura 32. Proceso de simulación, elección de material.

Elaborado por: Luis Guevara

- 6) Características térmicas y geométricas de las superficies que componen la cámara y la temperatura exterior.

Declaración de las características térmicas y geométricas de las superficies de la cámara.

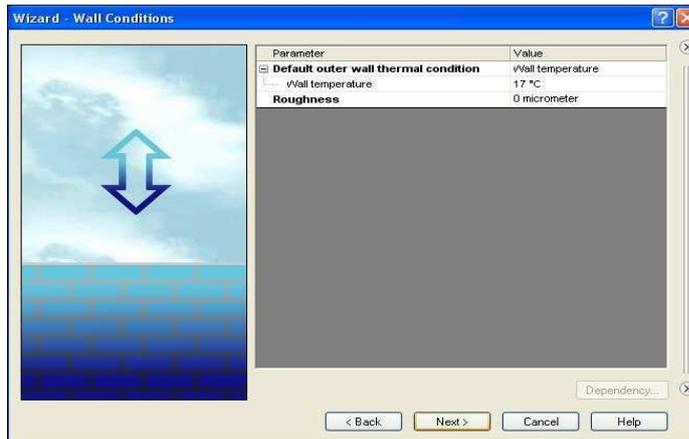


Figura 33. Proceso de simulación, declaración de características.

Elaborado por: Luis Guevara

- 7) Características de las condiciones iniciales de presión y temperatura dentro de la cámara.

Declaración de los parámetros iniciales de presión y temperatura del flujo.

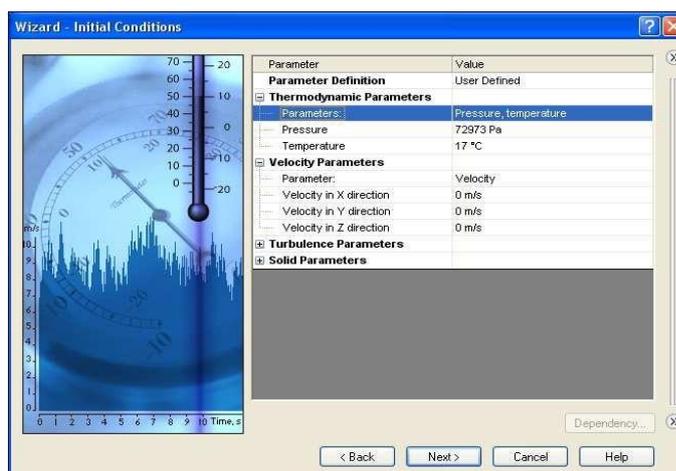


Figura 34. Proceso de simulación, declaración de parámetros iniciales.

Elaborado por: Luis Guevara

8) Detalle de la anchura o espesor de las paredes de la cámara. Para este caso se trata de 0.05m

Ventana de introducción de espesor de las paredes de la cámara.

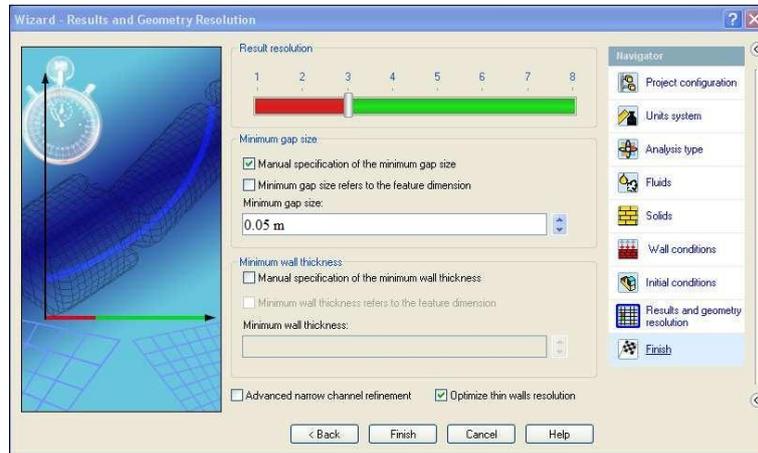


Figura 35. Proceso de simulación, parámetros de las paredes.

Elaborado por: Luis Guevara

Después de haberse cumplido el desarrollo de estos pasos lógicos, se procede a ubicar los datos necesarios y suficientes para obtener el análisis completo del sistema, es decir en unión del sistema de ventilación y las resistencias eléctricas.

A continuación se muestra una vista los datos y valores que se necesita analizar:

Identificaciones de los parámetros de modelado que permitirán la simulación.

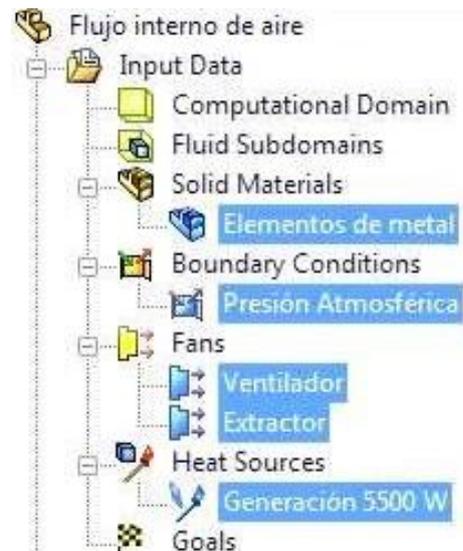


Figura 36. Proceso de simulación, parámetros de modelación.

Elaborado por: Luis Guevara

En el estudio se asignó el material como acero al ducto de entrada y salida, las resistencias, la placa de entrada que funciona con los datos insertados del ventilador y el techo; además se indica el flujo másico y los valores de presión. El ventilador insertado fue creado con la curva que se ha determinado para el sistema, y las resistencias simulan el valor  $Q$  de 5500 W que se calculó para el requerimiento de calor. Finalmente el programa puede correr. Una vez terminado el proceso de cálculo de software se obtiene los siguientes resultados:

### Simulación de la temperatura del flujo.

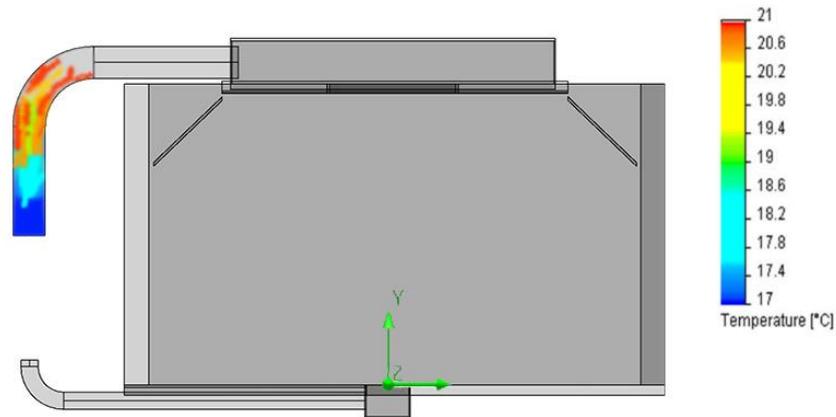


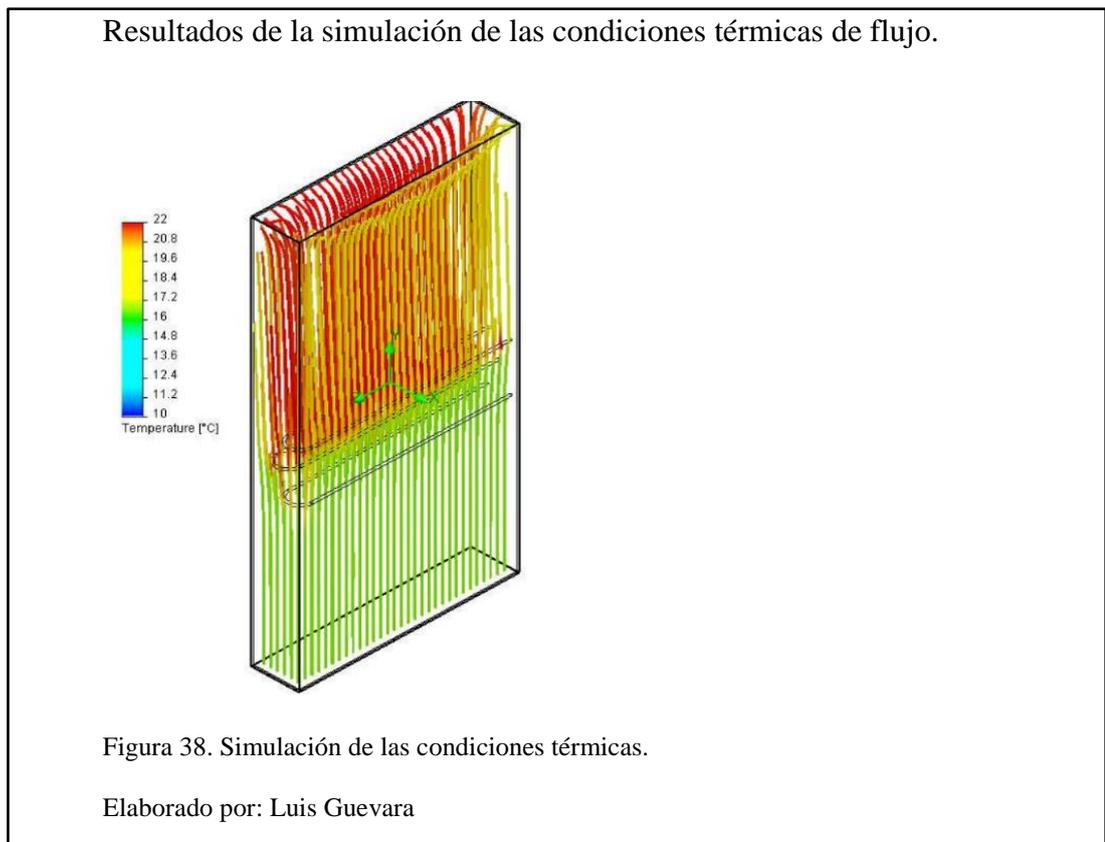
Figura 37. Simulación de la temperatura de flujo.

Elaborado por: Luis Guevara

La figura 37 muestra como en la variación de colores que el aire que ingresa al ducto, realmente está siendo calentado hasta la temperatura deseada tras su paso por las resistencias eléctricas. En la parte inferior del ducto se tiene un azul intenso que demuestra que el aire que ingresa está a 17 °C y que al llegar al codo superior ya ha variado en 3 °C. Es importante tomar en cuenta que en ningún momento se introdujo al programa valores de temperatura fuera de los requeridos en los exteriores de las paredes de la cámara.

En este estudio se puede cotejar el cambio de la temperatura del fluido, en el ducto de entrada donde se alojan las resistencias eléctricas que provoca el gradiente de temperatura en el flujo de aire al interior de la cámara.

Se aprecia en la figura 38 que: una vez que ha ingresado el fluido cruza las resistencias y que luego cambia su temperatura. En la escala se observa que el color verde representa la temperatura del aire ambiente, y se puede ver como varia los colores con la escala de temperatura al hacer contacto el flujo de aire con la resistencia eléctrica que se encuentra a una temperatura mayor.



### Simulación parámetro presión de flujo.

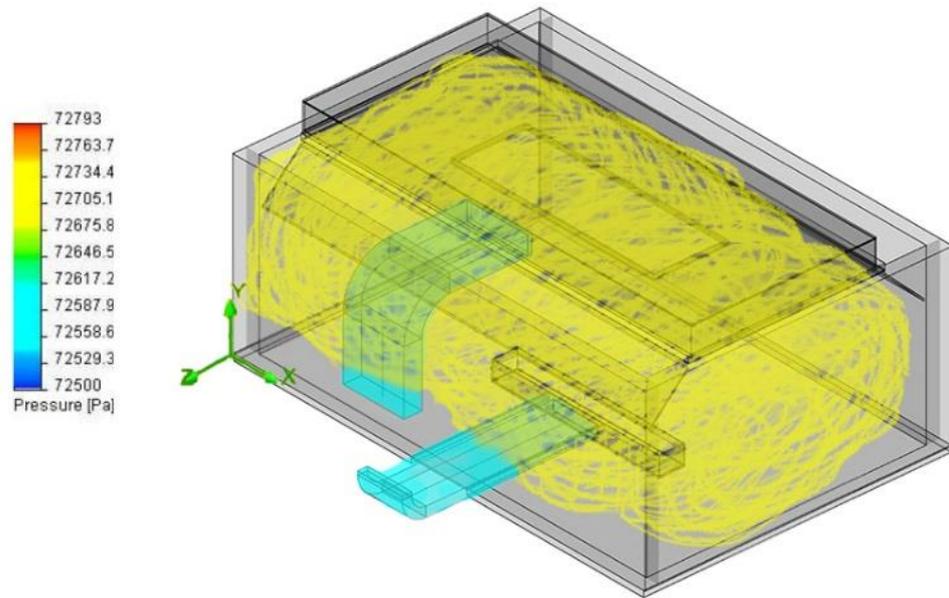


Figura 39. Simulación de presión de flujo

Elaborado por: Luis Guevara

Por último se muestra en la figura 38 la simulación del comportamiento del parámetro presión del flujo de aire dentro de la cámara.

## Conclusiones

Para el discernimiento de los resultados el trabajo se basa en una estructura teórica bien desarrollada y detallada. Sustentada en materias como la termodinámica, la transferencia de calor y masa, y la física matemática; herramienta necesaria y suficiente para desarrollar, de conjunto con las técnicas computacionales, el presente trabajo.

- Siguiendo los criterios de producción más limpia se logró un diseño de la cabina de pintura adecuado a la realidad y necesidades de talleres Maldonado.
- En la búsqueda de referencias bibliográficas sobre PML se evidenció la existencia de información confiable tanto a nivel internacional como nacional sirviendo como base fundamental para el desarrollo del proyecto.
- Teniendo a disposición una gran cantidad de software para la modelación en tres dimensiones se optó por utilizar el programa inventor de la casa comercial Autodesk debido a su versatilidad en proyectos mecánicos y la afinidad del proyectista, de igual manera en cuanto a la simulación dinámica de flujo de aire se utilizó el programa SolidWorks debido a su interfaz amigable y requerimientos del proyecto.
- Los resultados obtenidos en la simulación son similares a los presentados en los cálculos. Dado que el sistema está sujeto a la exactitud de las suposiciones, éstas se ajustaron a los requerimientos estipulados por la empresa.

## **Recomendaciones**

- El diseño de la cabina de pintura es una inversión importante que debe ser complementada posteriormente con la implementación de sistemas de control y automatización a fin de incrementar la productividad y eficiencia.
- Para la instalación y correcta operatividad de este sistema, es indispensable utilizar personal capacitado y el uso de artículos de seguridad, puesto que se tiene grandes pesos, trabajos en altura, uso de herramientas y circulación de personas.

## Referencias

- Autobody Magazine. (31 de Octubre de 2013). *Autobody Magazine*. Recuperado el 18 de Junio de 2015, de [http://www.autobodymagazine.com.mx/abm\\_previo/2012/09/preguntas-base-agua2/](http://www.autobodymagazine.com.mx/abm_previo/2012/09/preguntas-base-agua2/)
- Arrastia, M. (2002). *Energía y cambio climático*. La Habana, Cuba: Editorial Academia.
- Arturo, P. P. (2006). Biomecánica estructural. *El médico*, 43-52.
- Beer, F. (1999). *Mecánica de materiales*. Santa Fe de Bogota, Colombia: McGraw hill.
- Bermejo, R. (2005). *La Gran Trancicion Hacia la Sostenibilidad, Principios y Estrategias de Economía Sostenible*. Madrid: Los Libros de la Catarata.
- Cabinas de pintura. (2013). *Cabinas de pintura*. Recuperado el 18 de Junio de 2015, de <http://cabinasdepintura.com/index.php/cabinas-automotrices/cabinas-automotrices/para-autos>
- Cengel, Y. (2003). *Termodinámica*. Ciudad de Mexico, Mexico: McGraw hill.
- D, R. (1985). *Elemeto de Máquina*. La Habana: Pueblo y Educación.
- DuPont. (16 de Febrero de 2005). *DuPont Refinish*. Recuperado el 22 de Junio de 2015, de [www.Dupontrefinish.com.es](http://www.Dupontrefinish.com.es)
- Escoda, S. (2000). *Manual de ventilación*. Barcelona, España: Editorial S&P.
- Fundora, P. (1990). *Teoria de mecanismos*. Ciempuegos: Universo Sur.
- Gere, J. (202). *Mecánica de meteriales*. Londres: Editorial Thompsom Learning.

- Google. (8 de junio de 2015). *Google Maps*. Obtenido de <https://www.google.com.ec/maps/place/Av+Jipijapa+%26+Inti,+Quito+EC170111/@-0.2507754,-78.5277437,405m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x91d599043b34ec2f:0x201b44bac5ed515a!6m1!1e1>
- Holman, J. (2002). *Transferencia de calor*. Madrid, España: McGraw Hill.
- Hoof, B. V., Monroy, N., & Saer, A. (2007). *Producción más Limpia-Paradigma de gestión ambiental*. Bogotá: Alfaomega.
- Inkropera. (2005). *Transferencia de calor y masa Tomo I*. Carolina, EE.UU.: Editorial continental.
- Inkropera. (2005). *transferencia de calor y masa Tomo II*. Carolina, EE.UU.: Editorial continental.
- Inkropera. (2005). *Transferencia de calor y masa Tomo III*. Carolina, EE.UU.: Editorial comtinal.
- Instituto Politécnico Nacional. (2006). *Producción Más Limpia en Talleres Automotrices* (Vol. 9). (Q. G. Paniagua, C. Romero Hernández, & P. Sebastián Vargas, Edits.) Mexico: Centro Mexicano para la Producción Más Limpia.
- Isachenko, V. (1984). *Transmisión de calor Tomo II*. Moscú: Pueblo y educación.
- Isachenko, V. (1984). *Trasmisión de calor Tomo I*. Moscú: pueblo y educación.
- John, V. (1989). *Elemetos de mecánica de fluidos Tomo I*. New Work: book´s sky.
- Kern, D. (2002). *Procesos de transferencia de calor*. New work, EE.UU.: Editorial continetal.
- Kirillin, V. A. (1986). *Termidinámica técnica*. Moscú: Mir.

- M, A. (2013). *Ahorro de energía y respeto ambiental*. La Habana, Cuba: Editorial Científico Técnica.
- Mataix, C. (1993). *Mecánica de fluidos*. Madrid, España: Ediciones del castillo.
- Ministerio de Industrias y Productividad. (09 de junio de 2015). *CENTRO DE EFICIENCIA DE RECURSOS Y PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN ECUADOR*. Recuperado el 15 de junio de 2015, de <http://www.industrias.gob.ec/centro-de-eficiencia-de-recursos-y-produccion-mas-limpia/>
- Oestreich, A., Keller dos Santos, M., & Rocco, V. (15 de Mayo de 2012). *Producción más limpia y Competitividad, un camino hacia la excelencia empresarial sustentable*. Recuperado el 15 de Junio de 2015, de <http://socrates.ieem.edu.uy/wp-content/uploads/2012/05/ProduccionMasLimpia.pdf>
- PALAU, S. &. (27 de noviembre de 2013). Catalogo de productos, SOLER & PALAU Sistemas de Ventilación S.L.U. *CAJAS DE VENTILACIÓN A TRANSMISIÓN de simple oído*. Barcelona, España.
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2003). *USANDO PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA*. Montreal: Programa de Capacitación de PNUMA-DTIE/InWent.
- Red Latina de Produccion Mas Limpia. (18 de 08 de 2014). *Red Latinoamericana Produccion Más Limpia*. Recuperado el 14 de 06 de 2015, de Red Latinoamericana Produccion Más Limpia: <http://produccionmaslimpia-la.net/miembros-red#ecuador7>

- Sánchez, T. (2013). *ACUERDOS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN EL DISTRITO*. Quito, Pichincha: Secretaría de Ambiente, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.
- Secretaría del medio Ambiente. (2012). Número de establecimientos productivos y de servicios en el DMQ. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Shigley. (2006). *Diseño en ingeniería mecánica*. New Work, EE.UU.: Mcgraw Hill.
- Shigley. (2006). *Diseño en Ingeniería mecánica, 8va Edición, Editorial McGraw-Hill*. Chicago. EE.UU.: Editorial McGraw-Hill.
- Shur, I. (2005). *Física clásica*. Moscú: Ciencia popular.
- Soler, & Paulo. (27 de 11 de 2013). catalogo de productos. Barcelona, España.
- Timoshenko. (2002). *Resistencia de materiales*. Madrid, España: Editorial Thompsom Learnig.
- UNIDO. (Abril de 2005). *UNIDO*. Recuperado el 14 de Junio de 2015, de Programa Regional de Producción Limpia para Latinoamérica y el Caribe: [http://www.unido.org/fileadmin/import/37377\\_Conclusionfinal.7.pdf](http://www.unido.org/fileadmin/import/37377_Conclusionfinal.7.pdf)
- Vallejo, P. (2003). *Física vectorial Tomo I*. Quito: Grafiti ofssett.
- Vallejo, P. (2003). *Física vectorial Tomo II*. Quito: Grafiti ofssett.
- Vernnard, J. (1989). *Elementos de mecánica de fluidos Tomo II*. New Work: Book's sky.