

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA CABINA DE PINTURA POR
PULVERIZACIÓN PARA APLICACIONES AUTOMOTRICES EN EL
LABORATORIO LIDA DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA
PASCUAL BRAVO**

Hernán Darío Patiño Berrio
Henry Alexis Benítez Duque
Norvey Galviz Chica

Trabajo de Grado en modalidad investigación, presentado como requisito parcial para
optar al título de:

Tecnólogo en Mecánica Industrial

Asesor:
I.M, Ms.C Álvaro Delgado Mejía

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA, DEPARTAMENTO DE MECÁNICA
MEDELLÍN - COLOMBIA
2025

Agradecimientos

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento al profesor ALVARO LEON DELGADO MEJIA, cuyo acompañamiento, disposición y conocimientos fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo de grado. Su orientación constante, sus aportes técnicos y su compromiso con nuestra formación académica hicieron posible la consolidación del diseño conceptual de la cabina de pintura por pulverización.

Agradecemos profundamente su paciencia, sus recomendaciones oportunas y la confianza que depositó en nosotros durante cada etapa del proyecto. Este resultado es reflejo del apoyo y guía que nos brindó en todo momento.

Dedicatorias

Dedicamos este trabajo a los integrantes de nuestro equipo, por su esfuerzo continuo, su compromiso y la dedicación que permitió llevar este proyecto a término. Cada uno aportó sus conocimientos, habilidades y tiempo para construir una propuesta sólida, responsable y coherente con los objetivos planteados. Este logro es el resultado del trabajo conjunto, la colaboración constante y la convicción compartida de que, unidos, es posible alcanzar metas significativas.

Resumen

El presente trabajo de grado tuvo como objetivo desarrollar el diseño conceptual de una cabina de pintura por pulverización para aplicaciones automotrices, destinada al Laboratorio de Investigación y Diagnóstico Automotriz (LIDA) de la Institución Universitaria Pascual Bravo. Esta propuesta surge como respuesta a la necesidad de fortalecer las prácticas académicas en procesos de latonería y pintura, componentes esenciales en la formación técnica de los estudiantes del programa de Tecnología en Mecánica Automotriz.

El diseño contempló criterios técnicos relacionados con la ventilación forzada, la iluminación adecuada del área de trabajo, la sujeción segura de piezas vehiculares y la integración de elementos didácticos que faciliten su uso en contextos académicos. La metodología empleada incluye la revisión de normativas nacionales e internacionales aplicables, el modelado tridimensional mediante software CAD, y la elaboración de guías prácticas orientadas a la formación por competencias.

El proyecto se plantea como base para una futura fase de ejecución física en el laboratorio, y cobra especial relevancia en el contexto local, dada la alta incidencia de colisiones vehiculares en Medellín, lo que refuerza la pertinencia de contar con infraestructura adecuada para la formación en reparación automotriz.

Palabras claves

Diseño conceptual, Cabina de pintura por pulverización, Tecnología en mecánica automotriz, Ventilación industrial, Formación técnica

Abstract

This undergraduate thesis aimed to develop the conceptual design of a spray painting booth for automotive applications, intended for the Automotive Research and Diagnostic Laboratory (LIDA) at the Institución Universitaria Pascual Bravo. The proposal addresses the need to strengthen academic practices in bodywork and painting processes, which are essential components in the technical training of students enrolled in the Automotive Mechanics Technology program.

The design incorporated technical criteria related to forced ventilation, appropriate lighting of the workspace, secure fastening of vehicle parts, and the integration of didactic elements to facilitate its use in academic settings. The methodology includes a review of applicable national and international regulations, three-dimensional modeling using CAD software, and the development of practical guides aligned with competency-based learning.

The project serves as a foundation for a future implementation phase and is particularly relevant in the local context, given the high rate of vehicular collisions in Medellín, which underscores the importance of having adequate infrastructure for technical training in automotive repair.

Keywords

Conceptual design, Spray painting booth, Automotive mechanics technology, Industrial ventilation, Technical training

Tabla de contenido

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	10
2. ALCANCE Y LIMITACIONES	11
1.1 Alcance.....	11
1.2 Limitaciones.....	11
2 MARCO TEÓRICO	12
2.1 Procesos de pintura automotriz	12
2.2 Cabinas de pintura por pulverización	12
2.3 Ventilación industrial y control ambiental	13
2.4 Seguridad ocupacional en procesos de pintura.....	14
2.5 Diseño conceptual y modelado CAD.....	14
2.6 Formación técnica y aprendizaje basado en competencias	15
2.7 Normatividad aplicable en Colombia.....	15
2.8 Conclusión del marco teórico.....	15
3 METODOLOGÍA	17
3.1 Enfoque metodológico	17
3.2 Tipo y diseño de investigación	17
3.3 Fases del proyecto	17
3.4 Instrumentos y recursos utilizados	19
3.5 Cronograma general.....	20
3.6 Consideraciones éticas y de seguridad	20
4 RESULTADOS	21
4.1 Diseño conceptual de la cabina de pintura por pulverización.....	21
4.2 Materiales recomendados para la estructura de la cabina	21
4.3 Cálculos técnicos del sistema de ventilación.....	25
4.4 Sistema de iluminación	28
4.5 Sistema de sujeción de piezas.....	29
4.6 Ergonomía y accesibilidad.....	29
4.7 Evaluación técnica.....	29
4.8 Análisis económico y de costos.....	31
5 CONCLUSIONES	33
5.1 Logros del proyecto.	33

5.2	Aportes al conocimiento o a la industria	33
5.3	Recomendaciones para implementación o estudios posteriores	34
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
7	ANEXOS	37
	Precio Promedio Estimado por Metro Cuadrado	37
	Quemadores Típicos para Cabinas Pequeñas	38
	Resistencia a la Temperatura del Vidrio Templado	39

Índice de tablas

Tabla 1. Características de los materiales empleados en las paredes de la cabina	22
Tabla 2. Resúmen de los principales parámetros para el diseño y construcción de la cabina .	29
Tabla 3. Costos asociados a equipos, insumos y materiales para la construcción de la cabina	31
Tabla 4. Costos asociados a implementos de seguridad para el personal que.....	32

Índice de Figuras

Figura 1. Ejemplo de una Cabina automotriz (Elaborada con IA)	13
Figura 2. Vista esquemática de una cabina automotriz de flujo vertical (Elaborada con IA)	14
Figura 3. Vista esquemática de una sección de pared	23

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de latonería y pintura constituye una etapa fundamental dentro del ciclo de reparación y mantenimiento automotriz, tanto en el contexto industrial como en el formativo. A nivel mundial, este tipo de intervención no solo busca restaurar la estética de los vehículos, sino también garantizar su funcionalidad, seguridad y valor comercial. En Colombia, aunque la industria automotriz se caracteriza principalmente por actividades de ensamble, el país cuenta con un parque automotor superior a los 20 millones de vehículos registrados oficialmente en el Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT), de los cuales aproximadamente el 61 % corresponde a motocicletas. Esta cifra evidencia la magnitud del sector y la necesidad de contar con infraestructura adecuada para su mantenimiento y reparación.

La limitada infraestructura vial y el crecimiento acelerado del número de vehículos han contribuido al agravamiento de los problemas de movilidad, especialmente en ciudades con alta densidad vehicular. Esta situación, sumada a la alta tasa de siniestralidad vial en el país, ha generado una demanda constante de servicios de reparación automotriz, incluyendo trabajos especializados de latonería y pintura. Según datos de Confecámaras, en 2020 se estimaba la existencia de cerca de 28.000 talleres en Colombia, cifra que incluye establecimientos dedicados a la mecánica general, chapa, pintura y otros servicios relacionados.

En este contexto, la formación técnica en procesos de latonería y pintura adquiere una relevancia estratégica. El nuevo plan de estudios del programa de Tecnología en Mecánica Automotriz de la Institución Universitaria Pascual Bravo contempla una línea de profundización en esta área; sin embargo, actualmente no se dispone de un espacio físico adecuado para la realización de prácticas experimentales que permitan a los estudiantes familiarizarse con los equipos, técnicas y procedimientos propios de este tipo de intervención.

El presente trabajo de grado busca dar solución a esta problemática mediante el diseño conceptual de una cabina de pintura por pulverización para aplicaciones automotrices, destinada al Laboratorio de Investigación y Diagnóstico Automotriz (LIDA). Este proyecto no solo contribuirá al fortalecimiento de las competencias técnicas en reparación y gestión del mantenimiento automotriz, sino que también permitirá a los estudiantes adquirir habilidades específicas en procesos de pintura, ventilación industrial, seguridad ocupacional y uso de tecnologías aplicadas al sector. La propuesta se enmarca en una metodología que combina revisión normativa, modelado CAD y elaboración de guías didácticas, con miras a una futura fase de implementación física en el laboratorio.

- Contexto del problema (industria automotriz, procesos de pintura).
- Justificación del proyecto.

- Objetivos generales y específicos.

2. ALCANCE Y LIMITACIONES

1.1 Alcance

Este trabajo de grado se enfoca en el desarrollo del diseño conceptual de una cabina de pintura por pulverización para aplicaciones automotrices, destinada al Laboratorio de Investigación y Diagnóstico Automotriz (LIDA) de la Institución Universitaria Pascual Bravo. El proyecto contempla:

- La definición de los requerimientos técnicos y funcionales de la cabina.
- La selección preliminar de equipos y componentes necesarios para su operación.
- El modelado tridimensional de la propuesta mediante herramientas CAD.
- La elaboración de guías didácticas orientadas a su uso académico.
- La estimación de costos asociados a la implementación física del sistema.

El diseño propuesto busca servir como base para una futura fase de ejecución, proporcionando a la institución una referencia clara sobre las características técnicas, operativas y presupuestales que debe considerar al momento de materializar el proyecto.

1.2 Limitaciones

Este trabajo no incluye la construcción física de la cabina ni la adquisición de equipos, dado que su alcance se limita al diseño conceptual. Tampoco se realizaron simulaciones computacionales avanzadas (como dinámica de fluidos computacional - CFD), aunque se contemplan como posibles desarrollos futuros. La estimación de costos se basa en cotizaciones preliminares y referencias comerciales disponibles al momento de la elaboración del informe, por lo que podrían variar en función de factores de mercado y decisiones institucionales.

Asimismo, el diseño se orienta principalmente a fines académicos y formativos, por lo que no se considera la certificación para uso industrial o comercial. Finalmente, el proyecto se desarrolló en el marco de un semestre académico, lo que condicionó el tiempo disponible para la profundización en ciertos aspectos técnicos y normativos.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Procesos de pintura automotriz

El proceso de pintura automotriz constituye una de las etapas más relevantes dentro del ciclo de reparación y mantenimiento de vehículos. Su finalidad no se limita únicamente a mejorar la apariencia estética del automóvil, sino que también busca proteger las superficies metálicas contra la corrosión y otros agentes ambientales.

De acuerdo con **BASF (2020)**, una correcta aplicación de pintura involucra tres fases principales: preparación de la superficie, aplicación del recubrimiento y secado o curado del material. Estos pasos garantizan una adherencia adecuada y un acabado uniforme, factores críticos tanto en el entorno industrial como en el educativo.

En los talleres y laboratorios de enseñanza automotriz, la práctica de estos procesos requiere condiciones controladas de ventilación, iluminación y seguridad, las cuales solo pueden alcanzarse mediante el uso de **cabinas de pintura**. Dichas estructuras permiten aislar el área de trabajo, controlar la emisión de partículas y optimizar la calidad del acabado.

2.2 Cabinas de pintura por pulverización

Una **cabina de pintura por pulverización** es un recinto cerrado diseñado para contener el proceso de aplicación de pintura mediante pistolas de aire comprimido o sistemas de atomización. Su función principal es asegurar la **protección del operario y del ambiente**, al tiempo que garantiza un acabado libre de contaminantes.

Según **Normas OSHA (Occupational Safety and Health Administration, 2021)** y **NFPA 33 (National Fire Protection Association)**, las cabinas de pintura deben contar con un sistema de **ventilación forzada** que asegure un flujo de aire constante y uniforme, evitando la acumulación de vapores inflamables y partículas suspendidas.

Existen diferentes tipos de cabinas: de flujo horizontal, vertical o mixto; presurizadas y no presurizadas; de extracción inferior o posterior. La elección del sistema depende del tipo de pintura, el tamaño de las piezas y el nivel de acabado requerido. En el contexto educativo, se priorizan los sistemas **compactos y modulares**, que permiten su fácil mantenimiento y adaptación a distintos entornos de aprendizaje.

En la figura siguiente se muestra una cabina típica para pintura automotriz, en donde se pueden apreciar algunos de sus componentes, los cuales serán detallados más adelante



Figura 1. Ejemplo de una Cabina automotriz (Elaborada con IA)

2.3 Ventilación industrial y control ambiental

El control de la ventilación en una cabina de pintura es un aspecto fundamental para garantizar la seguridad ocupacional y la calidad del proceso. El flujo de aire debe ser suficiente para arrastrar las partículas de pintura hacia los filtros, sin generar turbulencias que afecten la atomización.

De acuerdo con la **Norma ISO 14644-1 (2015)** sobre clasificación de limpieza del aire en ambientes controlados, el sistema de ventilación debe mantener un equilibrio entre el caudal de entrada y salida, además de incorporar filtros de alta eficiencia (HEPA o equivalentes).

Asimismo, la **Resolución 2400 de 1979** del Ministerio de Trabajo de Colombia y la **Norma Técnica Colombiana NTC 2884** establecen parámetros de seguridad para espacios industriales, incluyendo niveles máximos de exposición a solventes, iluminación mínima y control de incendios. Estos lineamientos resultan esenciales para el diseño de cabinas con fines académicos, en las que se busca garantizar la salud y seguridad de los usuarios.

En la figura siguiente se ilustra el flujo de aire en una cabina de pintura automotriz. Más adelante en este informe se detallan los cálculos correspondientes al sistema de ventilación, ductos, filtros, etc.

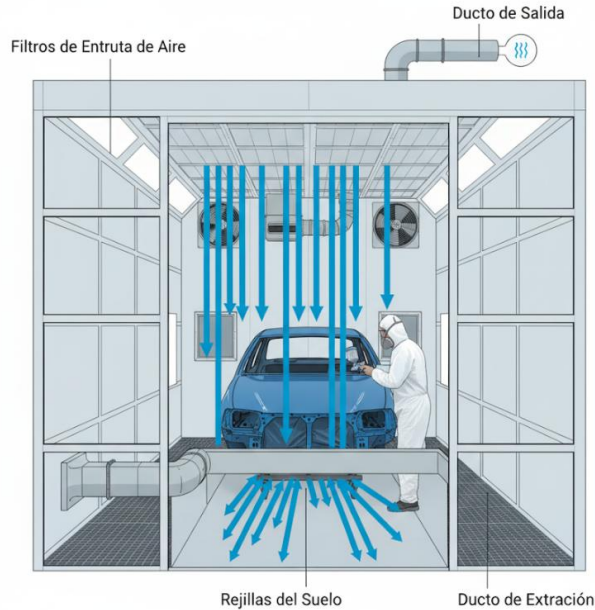


Figura 2. Vista esquemática de una cabina automotriz de flujo vertical (Elaborada con IA)

2.4 Seguridad ocupacional en procesos de pintura

El manejo de pinturas, disolventes y catalizadores implica riesgos químicos, físicos y de incendio. Por ello, las cabinas de pintura deben estar equipadas con sistemas de extracción adecuados, iluminación antiexplosiva y señalización visible.

La **Norma NFPA 33** y el **Código de Seguridad de Incendios de la NFPA 1** recomiendan el uso de materiales no combustibles en la estructura, así como la conexión a sistemas de puesta a tierra para evitar la acumulación de cargas electrostáticas.

En el contexto educativo, estas medidas se refuerzan con la implementación de **protocolos de seguridad industrial**, capacitación en el uso de equipos de protección personal (EPP), y prácticas guiadas que minimicen los riesgos asociados.

La formación en estos aspectos no solo mejora las competencias técnicas del estudiante, sino que fomenta una cultura preventiva alineada con la normatividad vigente.

2.5 Diseño conceptual y modelado CAD

El **diseño conceptual** constituye la primera fase del desarrollo de un producto o sistema técnico. En esta etapa se definen los requerimientos funcionales, se analizan alternativas de solución y se establecen los parámetros que guiarán el diseño detallado. Según **Pahl y Beitz (1996)**, el diseño conceptual busca transformar una necesidad en una solución técnica viable, mediante el uso de representaciones gráficas y modelos tridimensionales.

El **modelado CAD (Computer-Aided Design)** es una herramienta esencial para el diseño de cabinas de pintura, ya que permite visualizar la distribución espacial, validar dimensiones y simular el comportamiento del flujo de aire.

En el ámbito académico, el uso de software como **SolidWorks, AutoCAD o Inventor** facilita la comprensión de conceptos de diseño mecánico y ventilación industrial, además de servir como soporte para la elaboración de manuales y guías didácticas.

2.6 Formación técnica y aprendizaje basado en competencias

La implementación de proyectos de diseño en el entorno educativo responde al enfoque de **formación por competencias**, promovido por el **Ministerio de Educación Nacional (MEN)**. Este modelo privilegia el aprendizaje práctico, la resolución de problemas reales y el desarrollo de habilidades técnicas aplicadas.

Una cabina de pintura didáctica representa una herramienta pedagógica que permite al estudiante integrar conocimientos de mecánica, electricidad, seguridad industrial y gestión ambiental. Además, contribuye a fortalecer el vínculo entre la academia y el sector productivo, al reproducir condiciones similares a las de un taller profesional. Como señalan **Zapata & Ruiz (2019)**, los espacios de práctica equipados con tecnología pertinente favorecen el aprendizaje significativo y la empleabilidad de los egresados.

2.7 Normatividad aplicable en Colombia

El diseño y operación de cabinas de pintura por pulverización en el contexto colombiano deben alinearse con la siguiente normativa:

- **Resolución 2400 de 1979:** Establece normas sobre seguridad e higiene en los lugares de trabajo.
- **Decreto 1072 de 2015:** Compila las disposiciones del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST).
- **NTC 2884 (ICONTEC):** Define los requisitos para cabinas de pintura y procesos de recubrimiento por pulverización.
- **Resolución 909 de 2008:** Regula las emisiones atmosféricas generadas por fuentes fijas.
- **Ley 99 de 1993:** Crea el Ministerio de Ambiente y reglamenta la protección ambiental en Colombia.

El cumplimiento de estas normas no solo garantiza la legalidad y seguridad del diseño, sino que refuerza el compromiso institucional con la sostenibilidad y la formación responsable.

2.8 Conclusión del marco teórico

En síntesis, el diseño conceptual de una cabina de pintura por pulverización para aplicaciones automotrices se sustenta en fundamentos de ingeniería, seguridad ocupacional, ventilación

industrial y pedagogía técnica. La integración de estos elementos permite concebir una propuesta que no solo cumple con los estándares técnicos y normativos, sino que también aporta un valor formativo al proceso de enseñanza-aprendizaje en el área de mecánica automotriz.

3 METODOLOGÍA

3.1 Enfoque metodológico

El presente proyecto adopta un **enfoque de tipo descriptivo y proyectivo**, orientado al desarrollo del **diseño conceptual** de una cabina de pintura por pulverización con fines académicos.

El carácter **descriptivo** permite analizar las condiciones actuales del Laboratorio de Investigación y Diagnóstico Automotriz (LIDA) y las necesidades específicas del programa de Tecnología en Mecánica Automotriz; mientras que el componente **proyectivo** se centra en la elaboración de una propuesta técnica viable, fundamentada en criterios normativos, de seguridad y funcionalidad.

El trabajo combina métodos **teóricos y prácticos**, mediante una secuencia de etapas que integran la revisión bibliográfica, la recopilación de requerimientos técnicos, el modelado tridimensional y la validación del diseño propuesto.

El enfoque metodológico se apoya en los principios del **aprendizaje basado en proyectos (ABP)**, promoviendo la aplicación de conocimientos multidisciplinarios y la participación activa en la solución de un problema real.

3.2 Tipo y diseño de investigación

La investigación corresponde a un **estudio de tipo aplicado**, dado que busca generar un producto con utilidad práctica dentro del entorno educativo.

Se enmarca en un **diseño no experimental**, ya que no se manipulan variables, sino que se analizan las condiciones existentes para desarrollar una propuesta técnica basada en la observación, análisis y modelado.

El desarrollo del diseño conceptual se estructuró en fases, siguiendo una metodología de diseño ingenieril similar a la propuesta por **Pahl y Beitz (1996)** y **Ulrich y Eppinger (2016)**, que incluye: identificación de necesidades, especificación de requerimientos, conceptualización, modelado y documentación técnica.

3.3 Fases del proyecto

Fase 1. Revisión bibliográfica y normativa

En esta etapa se realizó una búsqueda y análisis de información relacionada con:

- Principios del proceso de pintura automotriz y sus requerimientos técnicos.

- Tipos, estructuras y funcionamiento de cabinas de pintura por pulverización.
- Normas nacionales e internacionales aplicables (NTC 2884, NFPA 33, ISO 14644, Resolución 2400 de 1979, entre otras).
- Requisitos de seguridad ocupacional, ventilación, iluminación y control ambiental.

El objetivo fue establecer un marco de referencia técnico y normativo que orientara el desarrollo del diseño conceptual.

Fase 2. Diagnóstico del entorno académico y definición de requerimientos

Se llevó a cabo un levantamiento de información en el Laboratorio de Investigación y Diagnóstico Automotriz (LIDA) para identificar:

- Espacio físico disponible y condiciones ambientales.
- Necesidades específicas de los docentes y estudiantes en las prácticas de pintura automotriz.
- Equipos y herramientas existentes en el laboratorio.

A partir de esta información, se definieron los **requerimientos funcionales, técnicos y de seguridad** de la cabina, clasificándolos según su nivel de prioridad (esenciales, deseables y opcionales).

Fase 3. Diseño conceptual

En esta fase se desarrollaron diferentes **alternativas de diseño**, evaluadas según criterios de funcionalidad, ergonomía, seguridad y viabilidad de implementación.

Posteriormente, se seleccionó la alternativa más adecuada y se procedió a su desarrollo conceptual, definiendo los siguientes aspectos:

- Dimensiones generales y distribución interna.
- Sistema de ventilación forzada y extracción de aire.
- Sistema de iluminación y ubicación de fuentes de luz.
- Elementos de sujeción y soporte de piezas vehiculares.
- Accesos, puertas, filtros y materiales de construcción.

La estructura conceptual se documentó mediante **planos esquemáticos y diagramas funcionales**.

Fase 4. Modelado tridimensional (CAD)

El diseño seleccionado fue representado en **modelos tridimensionales mediante software CAD**, específicamente **SolidWorks**, con el propósito de visualizar la propuesta en detalle. En esta etapa se desarrollaron los siguientes productos:

- Ensamble completo de la cabina de pintura.
- Modelos de los subsistemas (ventilación, iluminación, filtración y estructura metálica).
- Planos técnicos 2D derivados del modelo 3D.
- Renderizados para la presentación visual del diseño.

El modelado permitió validar la factibilidad geométrica y técnica del diseño, además de facilitar la identificación de mejoras antes de una futura fase de construcción.

Fase 5. Elaboración de guías didáctica

Con base en el diseño propuesto, se elaboraron **guías prácticas orientadas a la formación por competencias**, en las cuales se describen:

- Procedimientos seguros de pintura y mantenimiento.
- Uso de equipos de protección personal.
- Medidas preventivas de riesgo químico y eléctrico.
- Actividades de aprendizaje enfocadas en la operación de la cabina

Estas guías buscan integrar el uso del prototipo a los procesos formativos del programa académico, fortaleciendo las capacidades técnicas de los estudiantes.

Fase 6. Estimación de costos y análisis de factibilidad

Finalmente, se realizó una estimación de los costos asociados a la implementación física de la cabina, considerando materiales, componentes, sistemas eléctricos, filtros, ventiladores y estructura metálica. Se incluyó un análisis de factibilidad técnica y económica basado en cotizaciones preliminares del mercado nacional.

Esta información servirá como insumo para una futura etapa de ejecución del proyecto dentro del LIDA.

3.4 Instrumentos y recursos utilizados

Para el desarrollo de las diferentes fases se emplearon los siguientes recursos:

- **Software:** SolidWorks, AutoCAD, Excel y Word.

- **Normativas técnicas:** NFPA 33, NTC 2884, ISO 14644, Resolución 2400 de 1979, Decreto 1072 de 2015.
- **Fuentes bibliográficas:** artículos académicos, manuales técnicos de fabricantes y publicaciones especializadas en ventilación y pintura automotriz.
- **Recursos institucionales:** acceso al Laboratorio LIDA, asesorías docentes y equipos de medición disponibles en la Institución Universitaria Pascual Bravo.

3.5 Cronograma general

El desarrollo del proyecto se realizó durante un semestre académico, siguiendo un cronograma dividido en seis fases principales:

1. Revisión normativa y bibliográfica.
2. Diagnóstico del entorno académico.
3. Diseño conceptual.
4. Modelado CAD.
5. Elaboración de guías didácticas.
6. Estimación de costos y documentación final.

Cada fase tuvo una duración aproximada de 2 a 3 semanas, logrando un **avance superior al 70 % del cronograma total**, con resultados tangibles en el diseño digital y la documentación técnica.

3.6 Consideraciones éticas y de seguridad

El proyecto fue desarrollado bajo los principios de responsabilidad social, sostenibilidad y seguridad industrial. Todas las decisiones de diseño consideraron la protección del medio ambiente, la salud de los usuarios y la reducción del riesgo de accidentes.

Asimismo, se garantizó el uso de fuentes bibliográficas con el debido reconocimiento académico y el respeto por los derechos de propiedad intelectual.

4 RESULTADOS

4.1 Diseño conceptual de la cabina de pintura por pulverización

El diseño conceptual de la cabina de pintura se desarrolló tomando como base un espacio disponible de 2 metros de ancho, 3 metros de largo y 3 metros de alto, ubicado en el Laboratorio de Investigación y Diagnóstico Automotriz (LIDA). Este volumen fue considerado suficiente para realizar prácticas académicas con piezas vehiculares de tamaño medio, como puertas, guardabarros o tanques de motocicleta.

El diseño se orientó a cumplir criterios técnicos de ventilación, iluminación, sujeción de piezas, ergonomía y accesibilidad, con el fin de garantizar condiciones seguras y funcionales para el desarrollo de actividades formativas. A continuación, se describen los principales aspectos técnicos considerados:

4.2 Materiales recomendados para la estructura de la cabina

Usualmente, las cabinas industriales para latonería y pintura automotriz se construyen con paneles tipo *sándwich*, debido a su capacidad de aislamiento, tanto térmico como acústico, además de su facilidad y rapidez de montaje.

Típicamente un panel sándwich consta de:

- Dos láminas externas de acero galvanizado y lacado.
- Un núcleo aislante interno.

El material del núcleo aislante es uno de los aspectos más importante en el diseño de cabinas de pintura y latonería, siendo los más utilizados los siguientes:

- Poliestireno Expandido (EPS) o Poliuretano (PUR): Estos son los materiales aislantes más comunes en los paneles sándwich usados para la construcción general, almacenes o, efectivamente, cuartos frigoríficos. El EPS y el PUR ofrecen un excelente aislamiento térmico y ligereza.
- Lana de Roca (o Lana Mineral): Este es el material preferido y más seguro para el núcleo aislante de las cabinas de pintura profesionales, especialmente aquellas que utilizan calor para el secado (horneado). La razón principal es la resistencia al fuego (clasificación A2s1d0 o similar).

No obstante, las cabinas de pintura son entornos que están sujetos a un alto riesgo de incendio por la presencia de vapores y residuos de pintura (solventes). En este caso el EPS (Poliestireno Expandido) y el PUR (Poliuretano), aunque son autoextinguibles en muchos casos, son materiales combustibles. En un incendio, pueden propagar el fuego o generar humo tóxico más rápidamente que la lana de roca.

Por seguridad y cumplimiento normativo, los fabricantes de cabinas de pintura de alta gama optan por el panel sándwich con núcleo de Lana de Roca, que es ignífugo (no combustible).

Con base en lo anterior, para la estructura de la cabina se recomienda el uso de:

- Paneles metálicos galvanizados o en acero inoxidable para la estructura principal, por su resistencia y facilidad de limpieza.
- Paneles tipo sándwich con núcleo de poliuretano o lana mineral, si se desea incorporar aislamiento térmico y acústico, especialmente útil si se incluye un sistema de secado por calor.
- Pintura epóxica en superficies internas, resistente a solventes y fácil de mantener.
- Piso en rejilla metálica con bandeja inferior para recolección de residuos o líquidos.

Basados en cabinas para pintura automotriz, de marcas como Nova Verta, Blowtherm, SAIMA, USI Italia, etc., encontramos que utilizan una configuración muy estandarizada:

Tabla 1. Características de los materiales empleados en las paredes de la cabina

Capa	Material típico	Espesor aproximado	Función
Exterior	Chapa de acero galvanizado (lacado o pre-pintado)	0.6 – 1.0 mm	Protección mecánica, resistencia estructural y estética.
Núcleo aislante	Lana de roca de alta densidad (80–120 kg/m ³) o panel PIR (poliisocianurato), según Normas NFPA 33 y EN 16985	40 – 80 mm (a veces 100 mm para cabinas con modo secado)	Aislamiento térmico y acústico, resistencia al fuego.
Interior	Chapa de acero galvanizado (sin pintar o con pintura epóxica blanca)	0.6 – 0.8 mm	Resistencia al impacto, fácil limpieza, protección frente a solventes.

En la figura siguiente se muestra un esquema de la estructura tipo Sandwich empleada en el diseño de la cabina de pintura.

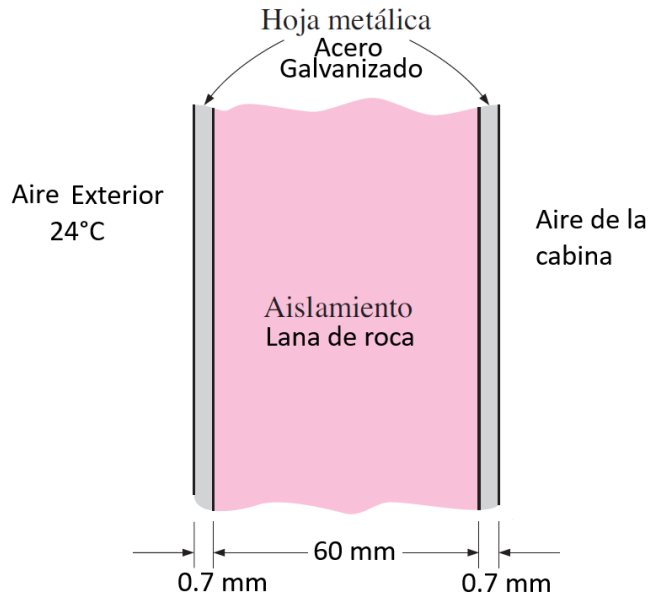


Figura 3. Vista esquemática de una sección de pared tipo "Sandwich" de la cabina (Elaborada con IA)

En estas condiciones, mediante un análisis sencillo de transferencia de calor se puede comprobar la elección del espesor de la capa de aislante termo-acústico.

Asumiendo una temperatura interior en la cabina de 70°C (típica para procesos de secado) entonces se tendría una diferencia de temperaturas de $(70 - 24)^\circ\text{C} = 46^\circ\text{C}$. A su vez, de las tablas de propiedades de los materiales, se encuentra que para la lana de roca mineral, la densidad es de 100 kg/m³ y la conductividad térmica (k) es de 0.04 W/m°C.

El modelo de cálculo establece que el calor que circula a través del "sandwich", es:

$$\text{Calor} = \frac{\Delta T}{R_{\text{termica}}} = \frac{\Delta T}{\frac{\text{espesor}}{k * A}} = \frac{\Delta T * k * A}{\text{espesor}}$$

Donde:

- q = flujo térmico (W/)
- L = espesor del aislante en metros
- k = conductividad térmica del aislante en W/m°C
- A = Área de transferencia de calor por conducción térmica, en m²

Entonces, bajo el supuesto que sólo las paredes y el techo están aislados, el área de transferencia de calor por conducción es:

$$\text{Area} = 2 * (2 \text{ m} * 3 \text{ m}) + (2 \text{ m} * 2 \text{ m}) = 16 \text{ m}^2$$

En este caso no se considera la resistencia térmica del aislante ya que el acero galvanizado tiene una alta conductividad térmica, y esto sumado al hecho que el espesor es muy pequeño, da como resultado una resistencia térmica tendiendo a cero.

De esta manera, el calor que se transfiere a través de las paredes de la cabina es:

$$Calor = \frac{46^{\circ}\text{C} * 0.04 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}} * 16 \text{ m}^2}{0.06 \text{ m}} = 490 \text{ W}$$

En promedio, una cabina de pintura usa entre 60 kW y 120 kW de calefacción en modo secado. Así que 490 W de pérdidas por paredes es marginal y admisible, representando tan solo el 0.8% del valor más bajo de 60 Kw, lo cual indica que un espesor de aislante de 60 mm es más que suficiente para esta aplicación.

Sin embargo, para esta cabina que se propone, la potencia de calentamiento para llevar el aire hasta unos 45°C por encima de la temperatura ambiente, es:

$$P_{calentamiento} = \rho * Caudal * Cp * \Delta T = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1.6 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1005 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * 45^{\circ}\text{C} = 86688 \text{ W} = 86.7 \text{ kW}$$

Este valor se encuentra dentro del intervalo mencionado antes de 60 kW a 120 kW, y en este caso la pérdida de calor a través de las paredes equivale a 0.6%, que sigue siendo admisible.

Ahora calculamos el consumo energético por ciclo de secado, asumiendo un tiempo de calentamiento del aire de alrededor de 12 minutos:

$$Consumo \text{ por ciclo} = 86.7 \text{ kW} * 12 \frac{\text{minutos}}{\text{ciclo}} * \frac{\text{hora}}{60 \text{ minutos}} = 18 \text{ kWh}$$

Ahora se calcula el calor necesario para mantener la temperatura del aire durante aproximadamente 25 minutos. En este caso se recomienda tomar entre el 60% y 80% de la potencia de calentamiento:

$$P_{sostenimiento} = 0.7 * 86.7 \text{ kW} * \frac{1}{4} \text{ hora} = 15 \text{ kWh}$$

Así, la potencia total es:

$$P_{total} = 18 \text{ kWh} + 15 \text{ kWh} = 33 \text{ kWh}$$

Este resultado se encuentra dentro de los valores típicos para cabinas de pintura automotriz, siendo de 30 a 45 kWh por cada ciclo.

En este diseño se considera como elemento calefactor un quemador de gas, como el que se describe en uno de los anexos, pero a continuación se hace un análisis comparativo de consumo energético, considerando varias opciones.

Para Gas Natural (PCI = 10.5 kWh/m³, eficiencia de 92% y costo de \$ 2 300/m³):

El consumo de gas natural se calcula así:

$$Consumo_{gas} = \frac{P_{total}}{PCI} = \frac{33 \text{ kW}}{0.92 * 10.5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}} = 3.5 \text{ m}^3$$

$$Costo_{gas} = \frac{\$2300}{\text{m}^3} * 3.5 \text{ m}^3 = \frac{\$8050}{\text{ciclo}}$$

Comparativamente, en el caso del GLP (PCI = 12.8 kWh/kg, eficiencia de 92% y \$7000/kg)

$$Consumo_{gas} = \frac{P_{total}}{PCI} = \frac{33 \text{ kW}}{0.92 * 12.8 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}} = 3.0 \text{ kg}$$

$$Costo_{GLP} = \frac{\$7000}{\text{kg}} * 3.0 \text{ m}^3 = \frac{\$ 21000}{\text{ciclo}}$$

Para el caso en que el calentamiento se efectuara con electricidad, el costo sería (con base en la tarifa estipulada por EPM (<https://www.epm.com.co/content/dam/epm/clientes-y-usuarios/energia/tarifas-energia/publicacion-tarifas-octubre-16-2025-ant-om.pdf>)):

$$Costo_{electricidad} = \frac{\$ 1030}{\text{kW} - \text{h}} * 33 \text{ kWh} = \frac{\$ 34000}{\text{ciclo}}$$

En un principio la operación de la cabina resulta más económica con gas natural, pero para la época en que se hizo este estudio, en la Institución Universitaria Pascual Bravo no cuenta con red domiciliaria de gas, así que la mejor opción es utilizar propano.

4.3 Cálculos técnicos del sistema de ventilación

Para el sistema de ventilación, se propone un mecanismo de extracción forzada mediante ventiladores centrífugos o axiales, con capacidad para renovar el aire al menos 100 veces por hora en el volumen de la cabina, sujeto a los siguientes condicionantes:

- Volumen de la cabina: 12 m^3 (2 m ancho \times 2 m largo \times 3 m alto)
- Tasa de renovación de aire: mayor a 100 veces por hora (con base en las normas consultadas). Este aspecto es de suma importancia, ya que permite mantener una concentración segura de vapores inflamables por debajo del límite inferior de explosividad (LEL) y además permite garantizar una atmósfera limpia (sin partículas flotantes) para lograr una buena calidad de pintado, así como la evacuación de calor y solventes durante el secado. Es por eso que la normativa aborda tanto las renovaciones como la velocidad de aire en la zona de trabajo.
Específicamente la norma NFPA 33 (EE. UU.) establece una velocidad mínima de 0.3 m/s y entre 90 y 100 renovaciones/h como mínimo. Mientras que la norma Europea UNE EN 16985:2019 establece una velocidad mínima entre 0.3 y 0.5 m/s con 100 a 160 renovaciones/h.
- Flujo de aire requerido: el cálculo del caudal volumétrico de aire necesario para la ventilación de la cabina es el siguiente:

$$\text{Caudal} = V_{\text{cabina}} * \text{Renovaciones} = 12 \text{ m}^3 * \frac{200 \text{ renovaciones}}{\text{hora}} = 2400 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0.67 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Pero como la velocidad mínima recomendada para el aire, según las normas antes mencionadas, es de 0.4 m/s, entonces:

$$\text{Caudal} = \text{Velocidad} * A_{\text{flujo}} = 0.4 \frac{\text{m}}{\text{s}} * (2\text{m} * 2\text{m}) = 1.6 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 8640 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 5760 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Por lo tanto se debe recalcular el número de renovaciones

$$\text{Renovaciones} = \frac{5760 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{12 \text{ m}^3} = 480 \frac{\text{renovaciones}}{\text{hora}}$$

El área de filtrado se toma como $2 \text{ m} * 2 \text{ m} = 4 \text{ m}^2$.

La velocidad de paso por filtro se calcula así:

$$V_{\text{filtrado}} = \frac{\text{caudal}}{A_f} = \frac{1.6 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{4 \text{ m}^2} = 0.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

El Caudal de impulsión se calcula aumentando el caudal de aire en un factor de 2% a 5%:

$$\text{Caudal impulsión} = 1.05 * 5760 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 6048 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Con este aumento de 5% se tiene un incremento en la presión entre 5 Pa a 20 Pa

- Pérdida de carga estimada: 500 Pa (valor típico para cabinas pequeñas)

Según los valores recomendados, las pérdidas de carga en el filtro de impulsión es de alrededor de 150 Pa, en el filtro de extracción también alrededor de 150 Pa y las pérdidas de carga en la estructura de la cabina está en torno a 50 Pa, dando un total de 350 Pa. Ahora se sobreestima con un factor de seguridad de 10% y queda:

$$Pérdida\ de\ carga = 1.1 * 350\ Pa = 385\ Pa$$

- Cálculo de los ductos

En una cabina de pintura, el sistema de ventilación incluye conductos de impulsión (aire limpio) desde el ventilador hasta los difusores o filtros del techo; conductos de extracción (aire contaminado) desde la rejilla inferior o lateral hasta el ventilador y el sistema de filtrado.

Las velocidades del aire en estos ductos deben cumplir un equilibrio entre arrastre eficiente de solventes y partículas, niveles de ruido aceptables (< 80 dB) y pérdidas de carga razonables.

La norma NFPA 33 (2021) recomienda velocidades mínimas de 9–12 m/s (1800–2400 ft/min) en conductos de extracción, para evitar depósitos de pintura o vapores inflamables y evitar erosión o acumulación de pintura en los ductos.

Por su parte, la norma OSHA 1910.94(c) – Ventilación industrial, establece velocidades de 10–20 m/s (2000–4000 ft/min) para ductos que transportan vapores o partículas de pintura.

Con base en lo anterior, para un caudal de 5760 m³/h, se recomienda tener una velocidad del aire de unos 10 m/s, por lo tanto:

$$\text{Área del ducto} = \frac{\text{Caudal extracción}}{\text{Velocidad}} = \frac{1.6 \frac{m^3}{s}}{10 \frac{m}{s}} = 0.16\ m^2$$

De manera que el diámetro mínimo del ducto es

$$D_{ducto} = \sqrt{\frac{4 * A_{ducto}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0.16m^2}{\pi}} = 0.45\ m$$

Las pérdidas de carga en el ducto se calculan así:

$$Pérdidas\ ducto = \frac{\rho * V_{ducto}^2}{2} = \frac{1 \frac{kg}{m^3} * 10^2 \frac{m^2}{s^2}}{2} = 50\ Pa$$

Las pérdidas por accesorios se estiman como un 20% más que las del ducto

$$Pérdidas\ accesorios = 1.2 * 50\ Pa = 60\ Pa$$

Entonces las pérdidas de carga totales son:

$$P\acute{e}rdidas\ totales = 385\ Pa + 50\ Pa + 60\ Pa = 495\ Pa$$

- Potencia requerida para el sistema de ventilaci3n: 0.12 kW (120 W)

La potencia del motor que impulsa el ventilador se calcula as3, asumiendo una eficiencia t3pica de 75% a 85% para motores de inducci3n monof3sico:

$$P_{motor} = \frac{Caudal * P\acute{e}rdida\ de\ carga\ total}{eficiencia} = \frac{1.6\frac{m^3}{s} * 495\ Pa}{0.85} = 932\ W = 0.93\ kW$$

Se lleva a una potencia normalizada de 1 kW

Este resultado de potencia, comparado con otras cabinas existentes, resulta razonable para una cabina de uso acad3mico, y permite seleccionar ventiladores centr3fugos o axiales de bajo consumo energ3tico. Si se desea incorporar filtraci3n adicional o presurizaci3n, se debe ajustar la p3rdida de carga y recalcular la potencia.

- Selecci3n del ventilador

Con base en los par3metros previamente calculados, se recomienda utilizar un ventilador centr3fugo de 3labes curvados hacia atr3s o tipo *plug fan*, con motor de transmisi3n directa (sin correas), ya que Cubre bien los 500 Pa de presi3n, es m3s eficiente que un ventilador axial para la misma ca3da de presi3n, adem3s el motor no queda expuesto al flujo de aire contaminado (seguridad + mantenimiento) y puede integrarse con un filtro HEPA y sistema de extracci3n/explosi3n sin riesgo.

Filtros de part3culas (prefiltros y filtros de alta eficiencia) para capturar overspray.

- Conductos de entrada y salida de aire ubicados estrat3gicamente para generar flujo laminar descendente.
- Sistema de presurizaci3n positiva opcional para evitar ingreso de contaminantes externos.

4.4 Sistema de iluminaci3n

- Luminarias LED con protecci3n IP65, resistentes a vapores y polvo.
- Distribuci3n uniforme en techo y paredes laterales, con una intensidad m3nima de 800 lux en el 3rea de trabajo.
- Temperatura de color entre 5000 y 6500 K para simular luz natural y facilitar la inspecci3n visual de acabados.

4.5 Sistema de sujeción de piezas

- Estructuras modulares ajustables para sujetar puertas, capós, tanques u otras piezas.
- Soportes giratorios para facilitar el acceso a todas las caras de la pieza.
- Materiales resistentes a solventes y pintura, preferiblemente en acero con recubrimiento anticorrosivo.

4.6 Ergonomía y accesibilidad

- Puerta de acceso amplia (mínimo 90 cm) con visor transparente.
- Altura de trabajo ajustable mediante plataformas o mesas móviles.
- Sistema de extracción de aire silencioso para reducir la fatiga auditiva.
- Espacio libre mínimo de 60 cm alrededor de la pieza para permitir la movilidad del operario.
- Cálculos técnicos (flujo de aire, renovación, iluminación, etc.).
- Consideraciones ergonómicas y de seguridad.

4.7 Evaluación técnica

- Comparación con soluciones existentes.
- Análisis de ventajas y limitaciones.
- Posibles mejoras o adaptaciones futuras.

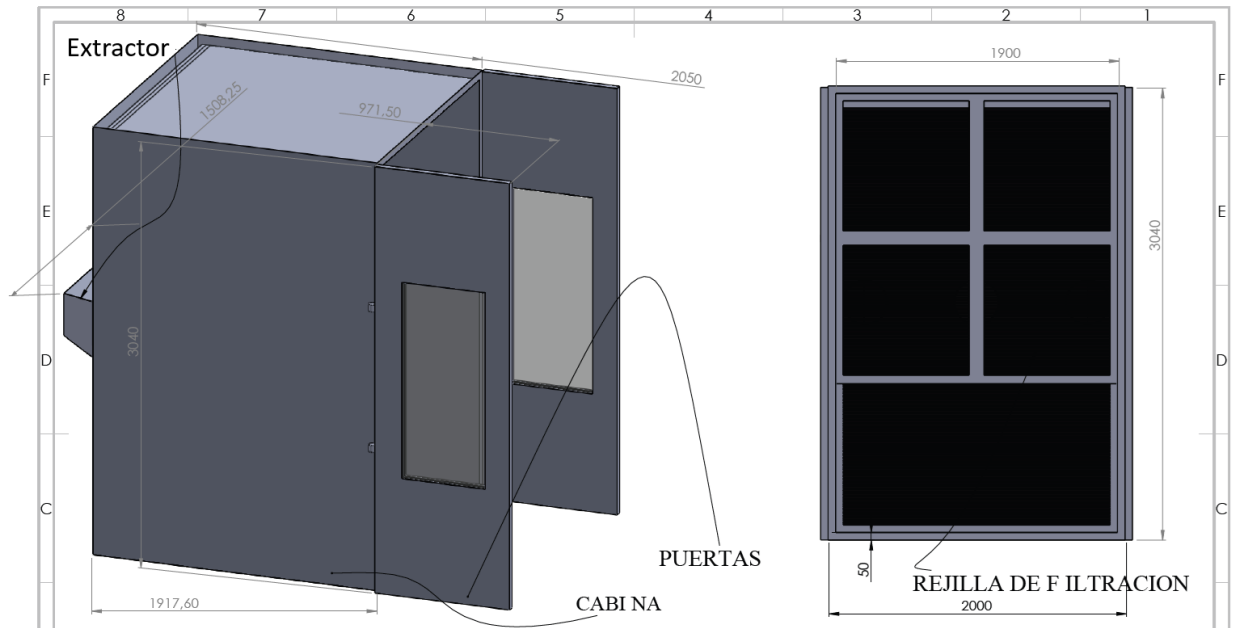
A continuación se resumen los resultados de los cálculos de la cabina:

Tabla 2. Resumen de los principales parámetros para el diseño y construcción de la cabina

Componente	Especificación técnica
Dimensiones internas	2 m (ancho) × 2 m (largo) × 3 m (alto) – Volumen: 12 m ³
Estructura	Paneles metálicos galvanizados o acero inoxidable; opción de panel tipo sándwich con aislamiento térmico/acústico
Revestimiento interno	Pintura epóxica resistente a solventes y fácil de limpiar

Piso	Rejilla metálica con bandeja inferior para recolección de residuos.
Ventilación	<ul style="list-style-type: none"> • Flujo de aire: 5760 m³/h (1.6 m³/s); • presión: 500 Pa; • potencia requerida: 1 kW
Tipo de ventilador	Centrífugo, con filtros de partículas (prefiltro + filtro de alta eficiencia)
Iluminación	Luminarias LED IP65; intensidad mínima: 800 lux; temperatura de color: 5000–6500 K
Sujeción de piezas	Soportes modulares ajustables; estructuras giratorias; materiales resistentes a solventes
Accesibilidad	Puerta de acceso de mínimo 90 cm con visor transparente; espacio libre de 60 cm alrededor de la pieza
Ergonomía	Altura de trabajo ajustable; sistema de extracción silencioso
Uso académico	Integración con guías prácticas de laboratorio; orientado a formación técnica

En la figura siguiente se ilustra esquemáticamente el modelo CAD de la cabina de pintura.



4.8 Análisis económico y de costos

Con base en lo registrado en la tabla anterior, se presupuesta el siguiente costo aproximado de los diferentes componentes, necesarios para la fabricación y ensamble de la cabina de pintura, así como los implementos de seguridad para quienes van a operar dentro de la cabina:

Tabla 3. Costos asociados a equipos, insumos y materiales para la construcción de la cabina

ELEMENTO	COSTO	
Bisagras	\$	264.436
Empaque para puerta Metro *6	\$	150.000
Manija para apertura de puerta *2 UDS	\$	40.000
Toma corriente Monofasico *2 UDS	\$	24.400
Toma corriente Trifasico *2 UDS	\$	27.400
Pistola para aplicación de pintura *2 UDS	\$	268.000
Panel Sándwich Lana de Roca Metro *25	\$	4.500.000
Lampara antiexplosión *4 UDS	\$	1.270.000
Quemador de gas wayne 80,000BTU	\$	3.449.000
Vidrio templado incoloro espesor 10mm *4 M	\$	920.000
Marco puerta de vidrio en aluminio	\$	1.600.000
Rieles y ángulos para el panel	\$	1.350.000
Ventilador y extractor *2 UDS	\$	2.849.000
Lámpara de secado laser	\$	1.850.000
Filto de cartón plegado 10M	\$	598.400
Chapa entrada principal	\$	95.000
Mano de obra	\$	6.500.000
Costo total más 15%	\$	29.618.981

Tabla 4. Costos asociados a implementos de seguridad para el personal que haga uso de la cabina

ELEMENTO	COSTO
Mazcara de protección respiratoria	\$ 170,000
Filtrdos de respiración	\$ 25,000
Oberol desechable * 12 UDS	\$ 296,000
Guantes de nitrilo largos	\$ 28,000
Lentes transparentes	\$ 40,000
Tapon Desechable 32Db 3M *7	\$ 20,000
platinas de seguridad T, única.	\$ 125,000
Costo total	\$ 704,000

En este orden de ideas, de llevarse a cabo la ejecución de este diseño, se requiere de un presupuesto de alrededor de \$ 30 millones (con precios a octubre de 2025). Sin embargo debe tenerse en cuenta que muchos de estos insumos son importados y por lo tanto estarán sujetos a la tasa de cambio oficial que se tenga en ese momenmto.

Es de aclarar que no se incluyen costos por mano de obra ni por trabajos de adecuación del espacio físico donde se tenga presupuestado tener la cabina.

En los anexos se incluyen las especificaciones técnicas de algunos de los items que se incluyen en las dos tablas anteriores

5 CONCLUSIONES

En este trabajo de grado se realizó el diseño conceptual de una cabina de pintura por pulverización, para aplicaciones automotrices, adecuada al espacio disponible en el laboratorio LIDA de la Institución Universitaria Pascual Bravo, respondiendo a una necesidad de contar con un espacio que permita llevar a cabo prácticas experimentales en esta materia.

El desarrollo del proyecto permitió cumplir de manera integral los objetivos planteados, consolidando un diseño conceptual sólido y funcional de una cabina de pintura por pulverización para aplicaciones automotrices, ajustada a las condiciones reales del laboratorio LIDA. A partir del análisis del espacio disponible y de los requerimientos técnicos, se definió una cabina de aproximadamente 4 m², incorporando adecuadamente los sistemas de ventilación, iluminación y sujeción de piezas necesarios para garantizar un proceso seguro, eficiente y didáctico. Asimismo, la modelación estructural facilitó la selección de materiales apropiados y la validación de la configuración espacial, permitiendo visualizar la viabilidad del diseño dentro del laboratorio. Finalmente, la elaboración de las guías de laboratorio aportó un componente pedagógico fundamental, ya que estructuran el uso académico de la cabina, integrando el proceso de aplicación de pintura, el secado en horno y el análisis microscópico de la superficie final. En conjunto, el proyecto no solo responde a las necesidades técnicas del entorno académico, sino que también fortalece la formación práctica y experimental de los estudiantes en procesos automotrices.

5.1 Logros del proyecto.

El proyecto logró desarrollar de manera satisfactoria el diseño conceptual de una cabina de pintura por pulverización destinada al Laboratorio de Investigación y Diagnóstico Automotriz (LIDA), cumpliendo con los criterios técnicos, ergonómicos, normativos y de seguridad establecidos para este tipo de estructuras. Se definieron los requerimientos funcionales, se construyó un modelo tridimensional detallado mediante software CAD y se seleccionaron los materiales y componentes adecuados para garantizar una operación segura y eficiente. Asimismo, se elaboraron guías didácticas orientadas a fortalecer la formación por competencias en el área de latonería y pintura. El proyecto alcanzó más del 70 % de su cronograma previsto, consolidando un avance significativo en el proceso de diseño y en la estructuración técnica del sistema.

5.2 Aportes al conocimiento o a la industria

Este trabajo aportó un modelo conceptual aplicable al contexto académico, que integra principios de ventilación industrial, seguridad ocupacional y diseño mecánico de manera articulada. La propuesta constituye una referencia útil para instituciones educativas que buscan modernizar o implementar espacios especializados para la formación técnica en procesos de pintura automotriz. Desde el punto de vista industrial, el diseño incorpora elementos basados en

normativas internacionales (NFPA 33, OSHA, ISO 14644, NTC 2884), lo que permite que el prototipo sea coherente con estándares ampliamente empleados en cabinas comerciales. Adicionalmente, el análisis económico y los cálculos técnicos desarrollados contribuyen al conocimiento sobre viabilidad, eficiencia energética y dimensionamiento de sistemas de ventilación y calefacción en espacios de pintura controlados.

5.3 Recomendaciones para implementación o estudios posteriores

Para una futura fase de implementación física del diseño, se recomienda realizar simulaciones computacionales avanzadas, como dinámica de fluidos computacional (CFD), que permitan optimizar la distribución del flujo de aire y evaluar escenarios de operación real. También se sugiere profundizar en el estudio de alternativas de eficiencia energética, incluyendo recuperación de calor y sistemas de control automatizado para la ventilación y temperatura. Es aconsejable ampliar el análisis económico incorporando costos de instalación, mano de obra y adecuación del espacio físico, así como gestionar cotizaciones actualizadas de proveedores nacionales. Finalmente, se recomienda validar el prototipo mediante pruebas a escala o modelos piloto dentro del LIDA, con el fin de comprobar su desempeño, ajustar parámetros técnicos y asegurar condiciones óptimas para su uso académico.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

National Fire Protection Association. (2021). NFPA 33: Standard for spray application using flammable or combustible materials (2021 ed.). Quincy, MA, United States: National Fire Protection Association. <https://www.nfpa.org/>

Occupational Safety and Health Administration. (2024). 29 CFR 1910.107 – Spray finishing using flammable and combustible materials. U.S. Department of Labor. Retrieved from <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.107>

Asociación Española de Normalización. (2019). UNE-EN 16985:2019 – Cabinas de pulverización y zonas de mezcla (ISO 16985:2018, IDT). Madrid, España: AENOR.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (2022). Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice for Design (31st ed.). Cincinnati, OH: ACGIH.

Giampieri, A., et al. (2024). Energetic Optimization of an Automotive Paintshop Using Heat Recovery and Air-Supply Control. SDEWES24.

Adamkiewicz, A. & Nikończuk, P. (2019). Waste heat recovery from the air preparation room in a paint shop. [Artículo técnico].

Pendar, M. R., et al. (2025). Enhancing Automotive Paint Curing Process Efficiency. Sustainability, 17(7), 3091.

Axelsson, D. (2008). Design and Development of a Spray Booth. Tesis Licenciatura, DiVA Portal.

Rodríguez Apaza, G. J. (2020). Diseño de una cabina de pintado, lacado y horneado para taller automotriz. UCSM.

Daniarta, S., et al. (2023). Waste Heat Recovery in Automotive Paint Shop via Regenerative Thermal Oxidizer. Energies (o conferencia técnica).

Daniarta, S., Kolasiński, P. & Rogosz, B. (2022). Waste Heat Recovery in Automotive Paint Shop via Organic Rankine Cycle and Thermal Energy Storage System — Selected Thermodynamic Issues. Energies, 15(6), 2239.

Paramita, P. D. P., et al. (2025). Techno-economic Analysis of Waste Heat Recovery in Automotive Paint Shops. Applied Sciences, 15(2), 569.

SUMBA ORDÓÑEZ, J. J. (2022). Diseño de una cabina de pintura para el taller de latonería y pintura. Universidad Politécnica Salesiana.

RODRÍGUEZ APAZA, G. J. (2020). Diseño de una cabina de pintado, lacado y horneado para taller automotriz. Universidad Católica de Santa María (UCSM).

PÉREZ CHÁVEZ, F. (2006). Diseño de una cabina de pintura para elementos aeronáuticos. Universidad de Cádiz (UCA).

7 ANEXOS

Precio Promedio Estimado por Metro Cuadrado

El panel sándwich de lana de roca es un producto industrial de alto desempeño (cortafuego y termoacústico). Basado en referencias de costos de construcción y proveedores en Colombia para espesores similares (\$80 \text{ mm}\$ y \$100 \text{ mm}\$), el rango promedio del material (sin instalación) es:

Producto	Espesor	Rango de Precio Estimado (COP/m ²)
Panel Sándwich Lana de Roca (Muro o Cubierta)	\$100 \text{ mm}\$	\$140.000 a \$200.000 COP por m^2
Panel Sándwich Lana de Roca (Muro o Cubierta)	\$80 \text{ mm}\$	\$125.000 a \$180.000 COP por m^2

The screenshot displays the Alibaba.com interface for a search of 'panel de lana de roca'. The main product listing is for 'Panel sándwich ecológico moderno, pared aislante de lana de roca para edificios/oficinas/industriales/logística, paneles de pared externos' by 'PHUONG NAM SOUNDPROOF INSULATING COMPANY LIMITED'. A floating overlay titled 'Selecciona variaciones y cantidad' is active, showing a price range of 'COP 126.312,54- 217.099,68' and a minimum order quantity of 800 square meters. The overlay also features a 'Tipo' dropdown set to 'Paneles sándwich de lana de roca' and a 'De espesor' section with four options: 50mm, 200mm, 150mm, and 75mm, each with a quantity selector set to 0. At the bottom of the overlay, it shows 'Total antes de impuestos' as 'COP 0,00 - COP 0,00' and two buttons: 'Cotizar' and 'Chatear'.

https://www.alibaba.com/product-detail/Modern-Eco-Friendly-Sandwich-Panel-Rock_1601589255208.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.3f8b13a0OtypeS&priceld=17799deb7a404b34909ef7953262738a.

Volver al listado | Hogar y Muebles > Iluminación para el Hogar > Bombillos > Lámpara A Prueba de Explosión Vender uno igual | Compartir

Visitar la tienda de Compra Internacional

Nuevo

Lámpara Led Anti Explosión
Lámpara De Trabajo Tri Prueba 24-

\$ 317.459
6 cuotas de \$ 52.910 con 0% interés
[Ver los medios de pago](#)

COMPRA INTERNACIONAL

Llega gratis entre el 14/nov y el 4/dic
[Más detalles y formas de entrega](#)

Sin costos de importación

Stock disponible

Cantidad: 1 unidad (+50 disponibles)
Puedes comprar hasta 5 unidades

[Comprar ahora](#)

[Agregar al carrito](#)

Vendido por LINGICO
+50 ventas

↩ Devolución gratis. Tienes 30 días desde que lo recibes.

https://www.mercadolibre.com.co/lampara-led-anti-explosion-lampara-de-trabajo-tri-prueba-24-/p/MCO2004656791#polycard_client=search-nordic&search_layout=grid&position=1&type=product&tracking_id=b15ffc40-8119-446b-8167-ff3519543f64&wid=MCO1527438095&sid=search.

Quemadores Típicos para Cabinas Pequeñas

Marca/Modelo (Referencial)	Potencia (Aprox.)	Precio Aproximado (COP con IVA)	Aplicación Típica
Quemador Industrial Pequeño (Marca Genérica/THD)	\$3,9 \text{ kW}\$ (\$\approx 13.300 \text{ BTU/h}\$)	\$750.000 COP	Hornos muy pequeños, laboratorios de curado.

Quemador a Gas Wayne/Exhibir Equipos	\$80.000 \text{ BTU}\\$	\$3.449.000 COP	Cabinas de pintura automotriz de tamaño muy reducido o solo para secado.
Quemador a Gas Wayne/Exhibir Equipos	\$250.000 \text{ BTU}\\$	\$3.949.000 COP	El tamaño más común para repintado automotriz estándar.

Resistencia a la Temperatura del Vidrio Templado

El proceso de templado, que consiste en calentar el vidrio a altas temperaturas y luego enfriarlo rápidamente, le confiere una estructura interna que le permite soportar mejor las variaciones térmicas.

- **Temperatura Máxima Continua:** Generalmente, el vidrio templado mantiene sus propiedades inalteradas en condiciones continuas hasta aproximadamente los 250 °C.
- **Resistencia al Choque Térmico:** El vidrio templado puede resistir una diferencia de temperatura (gradiente térmico) de hasta 200 °C a 250 °C entre sus caras sin romperse. En comparación, el vidrio común solo resiste un gradiente de alrededor de 40 °C a 60 °C.

Esta resistencia mejorada lo hace ideal para aplicaciones donde el vidrio estará expuesto al calor, como puertas de hornos, mamparas de ducha o fachadas de edificios expuestas a un sol intenso.

Importante: Aunque es muy resistente al calor y a los cambios de temperatura bruscos, no debe exponerse al contacto directo con llamas o fuentes de calor extremadamente elevadas a corta distancia, a menos que el producto esté específicamente diseñado para esa aplicación (como ciertas vitrocerámicas que usan materiales cerámicos avanzados).

Tipo de Vidrio	Espesor	Rango de Precio Estimado (por m ²)	Uso Típico
Templado Incoloro	6 mm	\$108.000 COP - \$160.000 COP (o más)	Ventanas, mesas, repisas
Templado Incoloro	8 mm	\$140.000 COP - \$200.000 COP (o más)	Divisiones de baño, puertas, barandas
Templado Incoloro	10 mm	\$180.000 COP - \$250.000 COP (o más)	Fachadas, barandas, puertas grandes
Templado Incoloro	12 mm	\$225.000 COP - \$300.000 COP (o más)	Barandas, puertas de alto tráfico

El precio promedio del vidrio templado de 10 mm (solo la lámina, sin instalación ni herrajes) está aproximadamente entre:

\$140.000 COP y \$200.000 COP por m²

Concepto	Rango de Precio Estimado (COP/m ²)	Nota Importante
Solo Vidrio Templado Incoloro 10 mm	\$140.000 - \$200.000 COP	Este es el costo de la lámina de vidrio cortada y templada.
Costo Directo	Aproximadamente	Según algunas referencias de costos de construcción.