



**DISEÑO DE CABINA MÓVIL DE PINTURA ELECTROESTÁTICA PARA LA
APLICACIÓN EN PIEZAS DE DIVERSAS DIMENSIONES**

Sebastián Restrepo Morales

Informe de prácticas presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Asesores

Sebastián Arteaga Bórquez, Ingeniero mecánico

Junes Abdul Villarraga Ossa, PhD en Ingeniería Mecánica

**Universidad de Antioquia
Facultad de ingeniería
Escuela de Ingeniería mecánica
Medellín, Colombia.**

2024

Cita

(Restrepo Morales, S. 2024)

Referencia	Restrepo Morales, S. (2024). <i>Diseño de cabina móvil de pintura electrostática para la aplicación en piezas de diversas dimensiones</i> [Informe de práctica].
Estilo APA 7 (2020)	Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Escuela de Ingeniería mecánica, 2024-1.



Centro de documentación de ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A lo largo de este viaje académico, he recibido el apoyo incondicional de muchas personas a las cuales me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento.

A mis padres, por su amor inagotable, su paciencia y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. Gracias por ser mi inspiración y mi mayor fuente de motivación. A mis profesores y mentores, quienes con su sabiduría, dedicación y ejemplo me guiaron por el camino del conocimiento y me ayudaron a convertir mis sueños en realidades. En especial, al profesor *Junes Abdul Villarraga Ossa*, por su guía y consejos durante el desarrollo de esta práctica profesional.

A la empresa *JM Estrada*, por brindarme la oportunidad de aplicar mis conocimientos en un entorno profesional y por el valioso aprendizaje obtenido durante esta experiencia. Que este logro sea una prueba de que, con esfuerzo, perseverancia y pasión, todo es posible.

Contenido

Resumen.....	7
Abstract.....	8
Introducción	9
1. Planteamiento del problema.....	11
Objetivos.....	12
Objetivo general:.....	12
Objetivo específico:	12
2. Marco teórico	13
3. Despliegue del proyecto.....	14
3.1. Cabina	14
3.1.1. Recuperación del material particulado.....	14
3.1.2. Transportadores aéreos	16
3.1.3. Pistola de pintura electrostática.	17
3.1.4. Variedad de pintura electroestática.	18
3.2. Proceso actual del área de pintura (Funcionamiento del área de pintura)	19
3.2.1. Descripción de las Instalaciones	19
3.2.2. Proceso de lavado de las piezas de pintura.	25
3.2.3. Limitaciones del proceso (Que se busca solucionar)	28
3.3. Avances del proyecto	29
3.3.1. Construcción de la cabina móvil modular diferente	29
3.3.2. Adaptaciones Necesarias para la Cabina Móvil.....	33
3.4. Diseño de la cabina	35
3.5. Estado del proyecto.....	38
Conclusiones	40

Referencias..... 42

Tabla de Figuras

Figura 1. Esquema de pintura electrostática.....	13
Figura 2. Cabina semicerrada SIFAP.....	14
Figura 3. Ciclón recolector.....	15
Figura 4. Filtro de mangas con pulsador de aire.....	16
Figura 5. Transportador aéreo SIFAP.....	17
Figura 6. Pistola aplicación de pintura electroestática.....	18
Figura 7. Jaula de lavado.....	20
Figura 8. Transportador aéreo área de lavado con su polipasto.....	21
Figura 9. plano de distribución zona de pintura.....	22
Figura 10. Cabina de pintura verde.....	23
Figura 11. Cabina de pintura roja.....	24
Figura 12. Curva entre cabina verde y roja.....	24
Figura 13. Curva parte posterior horno principal.....	25
Figura 14. Tanques de lavado.....	26
Figura 15. Tanque de secado.....	27
Figura 16. Cabina móvil modular CAD.....	30
Figura 17. Cabina móvil modular armado 1.....	31
Figura 18. Cabina móvil modular armado 2.....	31
Figura 19. Cabina móvil modular terminada.....	32
Figura 20. Nuevo tanque de lavado.....	33
Figura 21. Diferencial de nuevo tanque de lavado.....	34
Figura 22. Tipo de cortina propuesta.....	36
Figura 23. Cabina de pintura móvil propuesta.....	36
Figura 24. Rieles de la cabina móvil.....	37
Figura 25. Carros móviles internos.....	38

Resumen

La pintura electrostática es un proceso de recubrimiento en el que se aplica un polvo cargado eléctricamente sobre una superficie conductora. Este polvo se adhiere a la superficie mediante fuerzas electrostáticas y posteriormente se cura a alta temperatura, formando una capa protectora y decorativa. Este método ofrece numerosas ventajas, como una mayor durabilidad del recubrimiento, una aplicación uniforme y eficiente, y una reducción en el impacto ambiental al eliminar el uso de diversos químicos.

Las cabinas de pintura son esenciales en este proceso, ya que proporcionan un ambiente controlado para la aplicación del polvo electrostático, garantizando la seguridad del operario, la calidad del acabado, la recolección y reutilización de la pintura en polvo. Las cabinas móviles, en particular, ofrecen flexibilidad y movilidad, permitiendo la aplicación de pintura en piezas de diferentes tamaños y formas directamente en el sitio de operación, lo cual es especialmente beneficioso en el sector agroindustrial.

Este trabajo tiene como finalidad diseñar una cabina móvil de pintura electrostática para la aplicación en piezas de diferentes dimensiones dentro del sector agroindustrial. Se busca mejorar la eficiencia del proceso de pintura, reducir costos de transporte y manejo de piezas, y aumentar la calidad del recubrimiento final. Además, el diseño propuesto pretende cumplir con las normativas de seguridad y medioambientales vigentes, promoviendo una solución sostenible y económicamente viable para la industria.

Palabras clave: pintura electrostática, cabina de pintura, cabina móvil, sector agroindustrial, recubrimiento en polvo.

Abstract

Electrostatic painting is a coating process in which electrically charged powder is applied to a conductive surface. This powder adheres to the surface through electrostatic forces and is then cured at high temperature, forming a protective and decorative layer. This method offers numerous advantages, such as increased coating durability, uniform and efficient application, and a reduction in environmental impact by eliminating the use of various chemicals.

Paint booths are essential in this process, as they provide a controlled environment for the application of electrostatic powder, ensuring operator safety, finish quality, and the collection and reuse of powder paint. Mobile paint booths, in particular, offer flexibility and mobility, allowing for the application of paint on pieces of different sizes and shapes directly at the operation site, which is especially beneficial in the agro-industrial sector.

This work aims to design a mobile electrostatic paint booth for the application on pieces of different dimensions within the agro-industrial sector. The goal is to improve the efficiency of the painting process, reduce transportation and handling costs, and enhance the quality of the final coating. Additionally, the proposed design aims to comply with current safety and environmental regulations, promoting a sustainable and economically viable solution for the industry.

Keywords: electrostatic painting, paint booth, mobile booth, agro-industrial sector, powder coating

Introducción

*JM Estrada*¹ es una empresa colombiana con una larga trayectoria y una sólida presencia en el mercado internacional. Fundada en 1865 y con sede en Medellín, Antioquia, se dedica al diseño, fabricación, montaje y comercialización de maquinaria para el sector agroindustrial, ofreciendo una amplia gama de productos para el procesamiento de café, cacao, frutas y otros productos agrícolas. Los productos de *JM Estrada* tienen un impacto significativo en el sector agroindustrial, mejorando la eficiencia y la calidad de los procesos de producción. Sus principales clientes son empresas procesadoras de café, cacao y frutas, así como pequeñas y medianas empresas agrícolas. La empresa ha experimentado un crecimiento constante en los últimos años gracias a la expansión de su mercado internacional, contando con una amplia red de distribuidores y clientes. Sus productos son utilizados por las principales empresas procesadoras de café, cacao y frutas del mundo, teniendo presencia en más de 20 países.

La pintura electrostática es una técnica recubrimiento que utiliza partículas de polvo cargadas eléctricamente para aplicar una capa protectora y decorativa sobre superficies metálicas, siendo esencial en el sector agroindustrial debido a sus numerosas ventajas. El proceso comienza con la limpieza de la superficie metálica, seguida de la aplicación del polvo mediante una pistola especial, y finaliza con un curado en horno para formar una capa sólida y uniforme. Este recubrimiento proporciona una barrera eficaz contra la corrosión, prolongando la vida útil del equipo y reduciendo costos de mantenimiento, esencial en el sector agroindustrial, donde las maquinarias están expuestas a condiciones adversas y demandantes, la pintura electrostática mejora la durabilidad y el rendimiento, además de ofrecer un acabado estético de alta calidad.

Una de las directrices de la empresa es que la gran mayoría de las piezas metálicas que requieran pintura se recubran con pintura electrostática, principalmente en dos tonalidades corporativas. Para ello, se disponen de dos cabinas de pintura independientes y dos pistolas de pintura en polvo, cada una destinada a un color específico. Aunque es posible cambiar el color en estas cabinas, este proceso es largo y engorroso. Una de las principales ventajas de este tipo de pintura es la posibilidad de reutilizar los polvos de pintura para múltiples aplicaciones.

¹ Empresa - *JM Estrada*. (s. f.). <https://www.jmestrada.com/empresa/>

Por lo tanto, dichas cabinas están equipadas con un sistema de recuperación de polvos, esencial para mitigar el impacto ambiental, minimizar los desperdicios y reducir costos. En algunos casos puntuales, cuando las piezas exceden las dimensiones de los equipos involucrados en la pintura electrostática, se procede a pintarlas mediante un proceso de pintura líquida. Esta opción se utiliza como última alternativa debido a la diferencia en la calidad del acabado comparado con la pintura electrostática.

1. Planteamiento del problema

En la agroindustria, es crucial contar con un buen recubrimiento en las piezas metálicas para protegerlas contra la corrosión, el desgaste y otros daños causados por los diversos ambientes de trabajos y constante uso. Por consiguiente, la pintura electrostática es una solución efectiva que proporciona una capa uniforme, robusta y duradera, mejorando la resistencia y apariencia de los equipos. Un proceso de pintura electrostática bien implementado puede reducir significativamente los costos al minimizar el mantenimiento y la necesidad de reemplazo de piezas, además de aumentar la calidad de los productos finales, lo que se traduce en mayor satisfacción del cliente y competitividad en el mercado. Sin embargo, una implementación deficiente de este proceso puede resultar en una protección inadecuada, anclajes de las pinturas ineficientes, recubrimientos desiguales o frágiles que no resisten las exigencias del entorno agroindustrial. Esto no solo incrementa los costos de reparación y reemplazo, sino que también puede comprometer la eficiencia operativa y la seguridad de los equipos, afectando negativamente la productividad y reputación de la empresa. Por lo tanto, asegurar un recubrimiento de alta calidad mediante la correcta aplicación de la pintura electrostática es fundamental para el éxito en el sector agroindustrial.

El objetivo de este proyecto es diseñar y desarrollar una cabina móvil de pintura electrostática adaptada a las necesidades específicas de la empresa JM Estrada. Esta iniciativa busca mejorar la eficiencia y la seguridad laboral, así como la calidad del proceso de pintura de piezas de diferentes dimensiones utilizadas en la industria agroindustrial. Al crear una solución móvil, se pretende facilitar el recubrimiento de piezas directamente en el sitio de operación, optimizando el uso de recursos y reduciendo tiempos de traslado. Además, se espera que esta cabina móvil contribuya a mantener altos estándares de seguridad para los trabajadores y asegure un acabado uniforme y duradero en los recubrimientos, reforzando la competitividad y sostenibilidad de la empresa.

Objetivos

Objetivo general:

Diseñar y desarrollar una cabina móvil de pintura electrostática adaptada a las necesidades específicas de la empresa JM Estrada, con el fin de mejorar la eficiencia, seguridad laboral y calidad del proceso de pintura de piezas de diferentes dimensiones utilizadas en la industria agroindustrial.

Objetivo específico:

- Realizar un análisis detallado del proceso actual de pintura electrostática en la empresa, identificando áreas de mejora en términos de eficiencia, seguridad y calidad del recubrimiento aplicado para adaptar eso a la nueva cabina.
- Realizar un análisis exhaustivo de los requisitos y necesidades específicas de la empresa en cuanto al espacio disponible, capacidad de producción y características técnicas requeridas para la cabina de pintura electrostática móvil.
- Diseñar un modelo tridimensional de la cabina móvil, teniendo en cuenta los requisitos de espacio, ergonomía y seguridad para los trabajadores, así como la facilidad de mantenimiento y limpieza.
- Desarrollar un plan de implementación detallado para la fabricación y montaje de la cabina móvil en la empresa, considerando los tiempos de producción, los costos asociados y la capacitación necesaria para el personal involucrado si se llega a este punto.

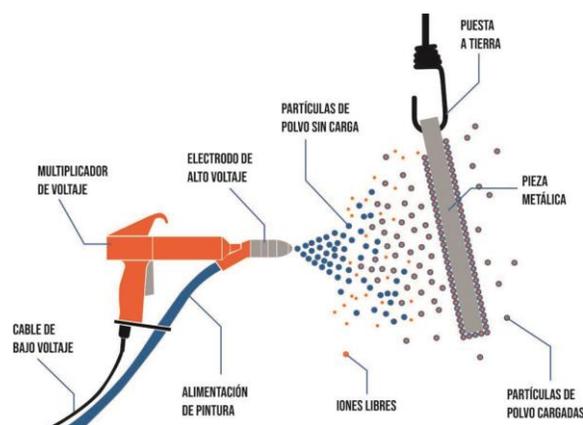
2. Marco teórico

La pintura electrostática en polvo es una alternativa eficiente y de alta calidad para el recubrimiento de piezas metálicas, ofreciendo numerosas ventajas en comparación con otros métodos. Este proceso utiliza una mezcla homogénea de cargas minerales, pigmentos y resinas en forma sólida y de partículas finas. La aplicación se realiza mediante una pistola electrostática para polvo que mezcla el polvo con aire y lo carga eléctricamente como se puede ver en la *Figura 1*. Las partículas cargadas se adhieren a la superficie de la pieza, la cual está conectada a tierra.

Una vez adheridas, las piezas recubiertas con pintura en polvo son calentadas en un horno, donde las partículas se funden y forman un revestimiento continuo. Durante el calentamiento, las resinas reaccionan químicamente, creando una película uniforme, duradera y estéticamente atractiva.

Las ventajas de la pintura electrostática en polvo incluyen una aplicación eficiente, la no inflamabilidad del material, y una reducción significativa del espacio de almacenamiento en comparación con la pintura líquida. Además, este método reduce los costos de gestión de residuos gracias a un reciclaje del 95% del polvo no aplicado, es menos peligroso para la salud de los operarios y ofrece una resistencia fisicoquímica superior frente a impactos, rayones, dobleces y agentes químicos.²

Figura 1. Esquema de pintura electrostática.



Nota: Imagen tomada de <https://www.industriasom.com/que-es-el-recubrimiento-en-polvo-electrostatico/>

² Estudio de factibilidad para renovación de tecnología en hornos de curado de pintura electrostática en la industria de elevadores (Juan Felipe Escobar Ramírez).

3. Despliegue del proyecto

3.1. Cabina

Una cabina para pintura electrostática es un recinto semicerrado tal y como se ve la *Figura 2* diseñado para la aplicación eficiente y controlada de pintura en polvo mediante equipos electrostáticos adecuados. Este tipo de cabina permite la recuperación de la pintura no adherida a la pieza a través de un sistema de ciclón, lo que maximiza el uso del material y reduce el desperdicio. La cabina se fabrica con lámina CR pintada, con una estructura robusta y duradera, mientras que el piso es de acero inoxidable, resiste la corrosión y facilidad de limpieza. Este diseño no solo asegura un entorno de trabajo seguro y ordenado, sino que también contribuye a mantener la calidad del proceso de pintura, garantizando un recubrimiento uniforme y de alta calidad en las piezas tratadas.

Figura 2. Cabina semicerrada SIFAP.



Nota: figura extraída de la página de la empresa fabricante SIFAP

<https://www.sifaptecnologia.com/cabinas.html>

3.1.1. Recuperación del material particulado.

Considerando que la eficiencia inicial de la pintura en polvo se encuentra entre un 30 y 50%, lo que representa que es relativamente baja comparada con la pintura líquida; la reutilización del polvo no adherido, que puede ser del 50 al 70%, se vuelve esencial tanto desde una perspectiva

económica como ambiental. Afortunadamente, las propiedades de la pintura en polvo facilitan este proceso.

El polvo que no se adhiere se dirige fuera de la cabina por gravedad y mediante un flujo de aire vertical; para lograr su recuperación se emplean ciclones y filtros de placa, cartucho o saco. En los ciclones, el aire cargado con la pintura se hace girar mediante una entrada tangencial, y la rotación del aire puede ser aumentada con paletas. Las fuerzas centrífugas empujan las partículas hacia la pared del ciclón, donde caen por gravedad y son recogidas en un recipiente tal y como se puede observar en la *Figura 3*.

Figura 3. Ciclón recolector



Nota: fotografía propia tomada dentro de las instalaciones de JM Estrada.

El grado de separación del polvo depende del tamaño de las partículas; las más finas no se recuperan completamente. La eficiencia de separación disminuye al aumentar el diámetro del ciclón, por lo que en los multiciclones el flujo de aire se divide en varios flujos individuales. En la

parte inferior del ciclón se tiene un recipiente donde cae toda la pintura recuperada y se puede disponer de ella para su uso.

Las partículas más finas siguen en suspensión dentro del ciclón y pasan al filtro de mangas; los filtros de mangas atrapan las partículas de polvo del aire mediante mangas de tela, permitiendo su posterior reutilización o eliminación segura. El aire limpio sale por la parte superior del filtro, mientras que un pulso de aire comprimido con accionamiento secuencial por las distintas mangas desprende el polvo de las mangas para su recolección en un recipiente en la parte inferior de la estructura como se evidencia en la *Figura 4*.

Figura 4. Filtro de mangas con pulsador de aire



Nota: figura extraída de la página de la empresa fabricante SIFAP

<https://www.sifaptecnologia.com/cabinas.html>

3.1.2. Transportadores aéreos

Un transportador aéreo está diseñado para operar tanto a temperatura ambiente como en entornos de alta temperatura, superiores a 200 °C, como dentro de hornos. Estos transportadores incluyen un tablero de control para la gestión y monitoreo, un sistema de tracción para el

movimiento de las piezas, y un sistema de lubricación automática para el mantenimiento de los componentes móviles. También cuentan con una zona de inspección para el control de calidad. Pueden instalarse de forma aérea o a nivel del piso, según la aplicación específica. El sistema de rotación de ganchos permite la manipulación de las piezas durante el transporte como se puede ver en la *figura 5*, con cada gancho soportado por cuatro rodamientos para estabilidad y otros cuatro rodamientos de guía para un movimiento suave y preciso.³

Figura 5. Transportador aéreo SIFAP



Nota: figura extraída de la página de la empresa fabricante SIFAP

<https://www.sifaptecnologia.com/cabinas.html>

3.1.3. Pistola de pintura electrostática.

En una pistola para pintura electrostática, la aplicación de pintura en polvo se realiza mediante el soplado de una corriente de aire a través de diversas boquillas como se puede observar en la *Figura 6*. Estas boquillas pueden incluir sistemas de placa de impacto, flujo de remolino, chorros de ventilador o boquillas de dedo. Recientemente, se han incorporado campanas rotatorias

³ SIFAP Tecnología. (s.f.). Cabinas. <https://www.sifaptecnologia.com/cabinas.html>

que giran a velocidades de 2,000 a 10,000 rpm, creando una nube de polvo muy amplia, ideal para piezas grandes. Estas campanas permiten aplicar hasta 700 g/min, lo cual es bastante alto. Las partículas de polvo se dispersan horizontalmente en todas direcciones, formando capas gruesas sobre las piezas que se mueven en un bucle y, si es necesario, giran sobre su propio eje.

Las partículas cargadas se dirigen hacia el objeto debido a las fuerzas eléctricas, aunque también actúan fuerzas de gravedad y resistencia del aire. Para asegurar que las fuerzas eléctricas predominen sobre las gravitatorias, se utilizan partículas de menos de 100 micras. Debido a la fricción del aire, el movimiento de las partículas se estabiliza a una velocidad de 1 a 2 m/s.⁴

Figura 6. Pistola aplicación de pintura electrostática.



Nota: Figura extraída de la página Nordson <https://www.nordson.com/es-es/products/industrial-coating-systems-products/encore-hd---manual-powder-coating-system>

3.1.4. Variedad de pintura electrostática.

En la empresa JM Estrada se utiliza principalmente pintura electrostática de poliéster en unas tonalidades específica para mantener los colores institucionales representativos. Esta pintura se compone de resina de poliéster, que proporciona alta resistencia química, mecánica y al rayado superficial. Este tipo de recubrimiento en polvo se caracteriza por sus excelentes propiedades tanto

⁴ Nordson. (s.f.). *Encore HD - Manual Powder Coating System*. <https://www.nordson.com/es-es/products/industrial-coating-systems-products/encore-hd---manual-powder-coating-system>

de protección como de decoración. Los recubrimientos de poliéster son resistentes a condiciones exteriores, manteniendo una gran retención de brillo, estabilidad de color y resistencia a los rayos UV, ideales para uso en aplicaciones donde se requiere durabilidad y estética.

La pintura en polvo de poliéster se aplica utilizando pistolas electrostáticas que están calibradas específicamente para esta variedad de pintura, lo que asegura una aplicación uniforme y eficiente. Según el fabricante, esta pintura ofrece un recubrimiento duradero y estéticamente atractivo, cumpliendo con las exigencias del sector agroindustrial. Además, el uso de esta pintura contribuye a la sostenibilidad ambiental, ya que no requiere solventes y permite la reutilización del polvo no adherido lo cual complementa con las cabinas de pintura permiten su reutilización.⁵

3.2. Proceso actual del área de pintura (Funcionamiento del área de pintura)

3.2.1. Descripción de las Instalaciones

3.2.1.1. Tamaño y disposición del área de pintura

El área de pintura de la empresa está en la parte más baja de las instalaciones, con ciertos desafíos logísticos. El espacio es limitado, lo que dificulta el movimiento y la distribución de las máquinas necesarias para el proceso de pintura electrostática. Esta área se diseñó para operar de forma circular con dos transportadoras aéreas, que facilitan el flujo continuo de las piezas mediante pintura.

El funcionamiento del área de pintura comienza con la recepción de las piezas a pintar, que se realizan mediante montacargas que llegan al área con las dos rampas de acceso de la *Figura 7*, las piezas que se pintan incluyen piezas de fundición, estructuras metálicas y láminas para presentación. Estas piezas se colocan en una estructura jaula como lo muestra la *Figura 7*, esta estructura se usa mediante un polipasto y el riel, el polipasto transporta la estructura hasta cada una de las estaciones de lavado. El proceso de lavado se realiza en cinco tanques, donde las piezas se limpian a fondo para asegurar una superficie adecuada para el anclaje de la pintura a las piezas. Luego, las piezas pasan a un sexto tanque, donde se secan completamente.

⁵ Pintuco. (s.f.). *Pintura electrostática poliéster Qualicoat*. <https://www.pintuco.com.co/productos/pintura-electrostatica-poliester-qualicoat/>

Figura 7. Jaula de lavado



Nota: Fotografía propia tomada en las instalaciones de JM Estrada.

Una vez secas, las piezas se transfieren al segundo riel de transporte, que las lleva a la cabina de pintura. En la cabina, se aplica la pintura electrostática, asegurando una cobertura uniforme y de alta calidad. Después de la aplicación de la pintura, las piezas son transportadas al horno mediante el segundo transportador aéreo, donde el recubrimiento se cura y se fija, completando así el proceso de pintura. Este flujo continuo y organizado garantiza la eficiencia y la calidad en cada etapa del proceso.

El primer transportador aéreo del área de lavado se encarga de los procesos de preparación previa al proceso de pintura, que mueve las piezas por las estaciones de limpieza mediante un polipasto como se observa en la *figura 8* accionado con un control a distancia, este primer transportador converge con el segundo transportador en el área central de la zona de pintura, buscando que se pueda descargar del primer transportador aéreo, subirlo al segundo completando un ciclo y comenzando el siguiente. ⁶

⁶ Nordson. (s.f.). *Encore HD - Manual Powder Coating System*. <https://www.nordson.com/es-es/products/industrial-coating-systems-products/encore-hd---manual-powder-coating-system>

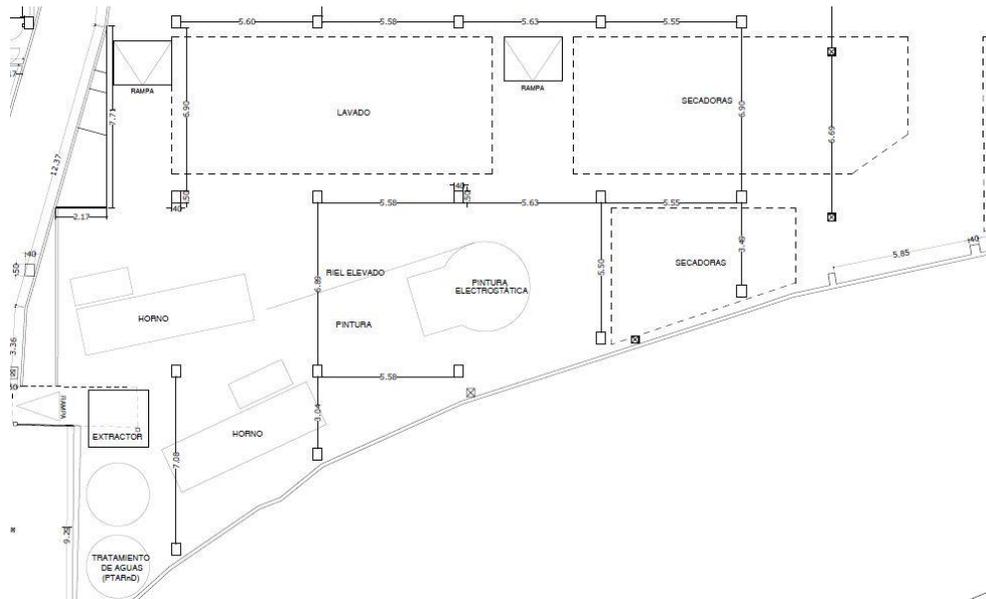
Figura 8. Transportador aéreo área de lavado con su polipasto



Nota: Imagen propia tomada en las instalaciones de JM Estrada.

El segundo se encarga del transporte de las piezas por las cabinas de pintura y el horno principal. Este transportador es controlado por el control central, y se acciona mediante motorreductores eléctricos los cuales mueven todo el transportador en conjunto. El espacio está rodeado por diecisiete columnas estructurales distribuidas por el sector como se ve en la figura 9 que sostienen el segundo piso de la empresa, lo que influye en la distribución y organización de la zona. Estas columnas crean obstáculos adicionales y limitan la flexibilidad para reubicar equipos y optimizar el espacio.

Figura 9. plano de distribución zona de pintura.



Nota: Figura extraída de los archivos internos de JM Estrada.

La disposición actual refleja estas restricciones, con las máquinas y transportadoras colocadas en posiciones específicas para adaptarse a las condiciones estructurales y maximizar la eficiencia operativa dentro de las limitaciones espaciales.⁷

3.2.1.2. Tipos de cabinas de pintura utilizadas

El funcionamiento de las cabinas de pintura en la empresa está organizado en dos cabinas suministradas por el fabricante Sifap. Inicialmente, Sifap proveyó una cabina de pintura, el horno, el transportador aéreo y dos extractores de polvo con ciclón tal y como se muestra anteriormente en la *Figura 4*, donde todo el sistema es accionado automáticamente mediante un controlador central, el mismo que gobierna el segundo transportador aéreo. Con el tiempo surgió la necesidad de una segunda cabina de pintura más grande, la cual se fabricó internamente con asesoría de Sifap. El sistema de extracción de polvo para esta segunda cabina también fue suministrado por Sifap, pero con un control independiente y sin ciclón.

⁷ Nordson. (s.f.). *Encore HD - Manual Powder Coating System*. <https://www.nordson.com/es-es/products/industrial-coating-systems-products/encore-hd---manual-powder-coating-system>

La primera cabina, equipada con dos extractores de polvo, está ubicada frente al horno y se utiliza para aplicar el color verde institucional como se observa en la *Figura 10*. Las piezas pintadas de verde son transportadas directamente por un riel hasta el horno. Por otra parte, las piezas pintadas de rojo institucional se realizan en la segunda cabina de pintura, tal y como se muestra en la *Figura 11*; dichas piezas deben pasar por una curva pronunciada por la cabina verde como se muestra en la *figura 12* y llegar al horno o devolverse y tomar otra curva pronunciada para llegar a la parte posterior del horno como se muestra en la *figura 13*.

Esto complica notablemente el proceso para piezas de grandes dimensiones, que, aunque puedan caber en las cabinas y el horno, no pueden seguir la ruta del transportador aéreo de manera eficiente. Es importante señalar que las piezas se pueden pintar de rojo o verde, pero no se combinan ambos colores en una sola pieza. Cada cabina tiene un color asignado, aunque este se puede cambiar mediante un proceso que, aunque es posible, termina siendo tedioso y requiere de un mayor tiempo y esfuerzo para limpiar y preparar las cabinas para un nuevo color.

Figura 10. Cabina de pintura verde.

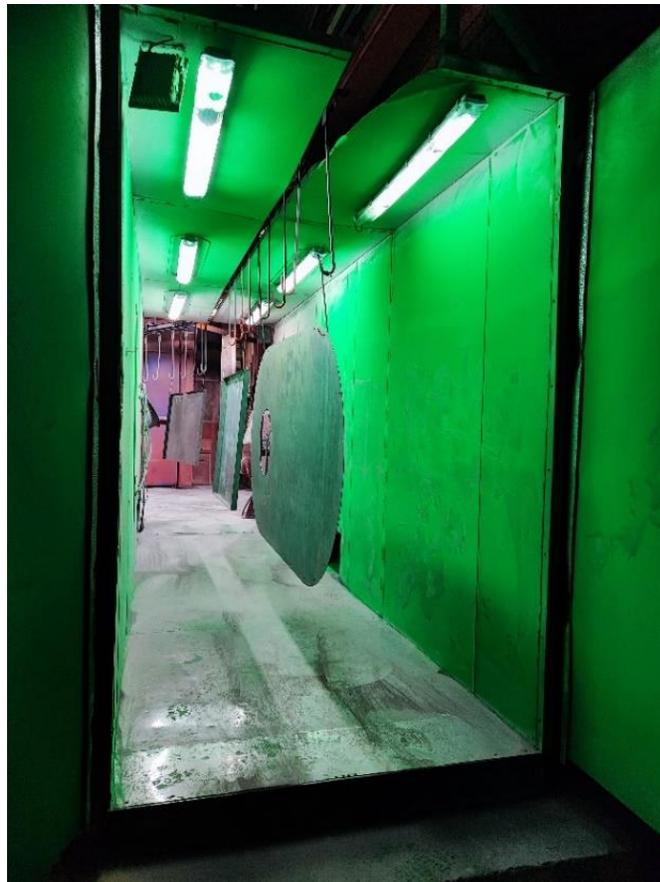


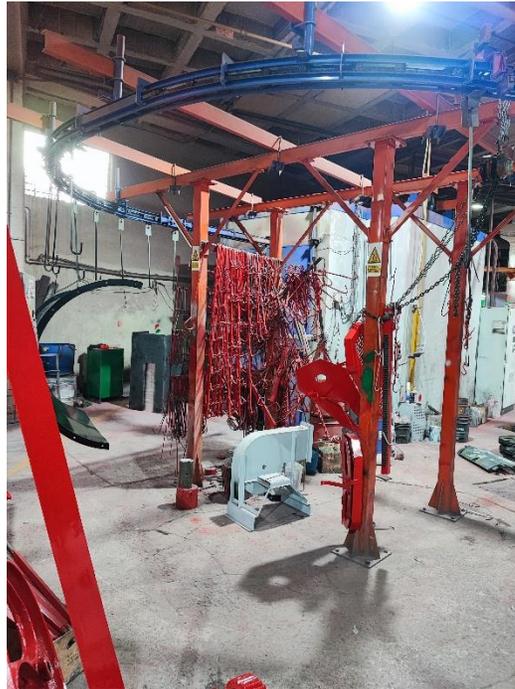
Figura 11. Cabina de pintura roja.



Figura 12. Curva entre cabina verde y roja.



Figura 13. Curva parte posterior horno principal.



Nota: Las Figuras 10, 11, 12 y 13 son fotografías propias tomadas de las instalaciones de JM Estrada.

Este sistema garantiza una aplicación eficiente y de alta calidad, permitiendo un control preciso del polvo y la pintura aplicada en cada cabina. La disposición de las cabinas y los sistemas de extracción está diseñada para maximizar la eficiencia y la calidad del proceso de pintura, al tiempo que minimiza el impacto ambiental y asegura la seguridad de los operarios. Este flujo organizado y controlado automáticamente permite a la empresa manejar grandes volúmenes de piezas con distintos requisitos de pintura, asegurando la consistencia y la calidad del acabado final. La flexibilidad de cambiar los colores en las cabinas, aunque laboriosa, proporciona la capacidad de adaptarse a diferentes necesidades de producción sin comprometer la calidad del recubrimiento.

3.2.2. Proceso de lavado de las piezas de pintura.

El lavado es un paso crucial que permite preparar las piezas para que la pintura se adhiera correctamente. En la empresa JM Estrada, las piezas a lavar son principalmente fundiciones grises y aceros estructurales de diferentes tamaños y pesos. Todas estas piezas deben pasar por el área de

lavado, donde se colocan en una estructura de acero inoxidable al estilo jaula tal y como se muestra anteriormente en la *Figura 7*, lo cual permite poder moverlas por todo el circuito.

Cuando las piezas están ubicadas en la estructura, se mueven mediante un polipasto que, a su vez, está unido a un riel circular cerrado. Este riel permite mover la estructura a los tanques de lavado, que constan de cinco tanques ubicados uno al lado del otro como se muestra la *Figura 14*.

Figura 14. Tanques de lavado.



Nota: Figura propia tomada en las instalaciones de JM Estrada.

El proceso de lavado inicia en el primer tanque, el cual contiene un decapante para eliminar óxidos y residuos, seguidamente pasa por un tanque que contiene agua para enjuagar, luego, pasa por el tercer tanque que contiene un desengrasante para eliminar aceites y grasas, para posteriormente entrar al cuarto tanque el cual le proporciona nuevamente un enjuague con agua, y, finalmente llega al quinto tanque que contiene un sellador para proteger la superficie. Después de pasar por los tanques de lavado, las piezas pasan a un tanque de secado justo al lado del quinto tanque, tal y como lo muestra la *Figura 15*.

Figura 15. Tanque de secado.



Nota: Figura propia tomada en las instalaciones de JM Estrada.

En este tanque se eleva la temperatura mediante un quemador a gas, para que el sellador se fije adecuadamente y las piezas queden completamente listas para el proceso de pintura.

Este sistema de lavado asegura que las piezas estén libres de contaminantes y con una superficie adecuada para la adherencia de la pintura, optimizando así la calidad del recubrimiento final. La estructura móvil y el riel circular cerrado permiten un flujo continuo y eficiente del proceso, garantizando que cada pieza reciba el tratamiento adecuado en cada etapa del lavado. El suministro de los químicos para el lavado de las piezas es por parte de la empresa Westquímica, ubicada en el municipio de la Estella.⁸

⁸ West Química. (s.f.). *Industrial*. <https://westquimica.com/industrial/>

3.2.3. Limitaciones del proceso (Que se busca solucionar)

Una de las principales limitaciones de este tipo de procesos es el espacio. En proyectos de grandes dimensiones, se arman estructuras metálicas con componentes mayores a 4 metros de largo, las cuales no caben en las cabinas de pintura actuales. Además, se utilizan estructuras con un ancho superior a 2 metros o una altura mayor a 2.3 metros, lo cual implican problemas de espacio.

Estas piezas tampoco caben en los tanques de la zona de lavado previo al proceso de pintura, por lo tanto, en estos casos, se utiliza un producto que lava en una aplicación, remplazando los procesos realizados en los tanques de lavado expuestos anteriormente, aplicándolo con trapos y manualmente, dejando residuos indeseados que causa imperfecciones en las piezas tratadas y un acabado final indeseado.

Otra limitación es que estas piezas grandes no pueden ser llevadas a las distintas partes del proceso por el transportador aéreo, ya que no pasan por las curvas pronunciadas de este sistema expuestos anteriormente en las *Figuras 12 y 13*. Esto dificulta significativamente la manipulación y el flujo de trabajo en el área de pintura.

Los largos tiempos que son necesarios para cambiar de color y preparar la cabina, también representan una limitación ya que el sistema de recuperación de polvos debe ser anulado para evitar la contaminación de la pintura recolectada, además de tener que limpiar rigurosamente las cabinas después del cambio para evitar contaminación de las mangas filtrantes, lo que impide la reutilización de la pintura cuando se cambian los colores, todo esto implica un problema, ya que solo se permite la reutilización de los dos colores institucionales mencionados anteriormente.

Además, el espacio dentro de las cabinas para los operarios es limitado. Algunas piezas, aunque puedan caber dentro de las cabinas, restringen considerablemente el movimiento de los operarios que deben estar dentro aplicando el recubrimiento. Esta restricción afecta la eficiencia y la calidad del trabajo realizado.

Por otra parte, otra limitación es la capacidad de fabricar lo necesario para el proyecto con la materia prima y maquinaria disponibles en la empresa. Esto implica que el proyecto debe desarrollarse en el curso normal de las operaciones de la fábrica, sin interrumpir significativamente la producción. Estas limitaciones de espacio, manejo de grandes piezas, tiempos de cambio de

color, espacio para los operarios y la capacidad de fabricación interna han sido los factores principales que motivaron la realización del proyecto para mejorar el área de pintura en la empresa.

3.3. Avances del proyecto

3.3.1. Construcción de la cabina móvil modular diferente

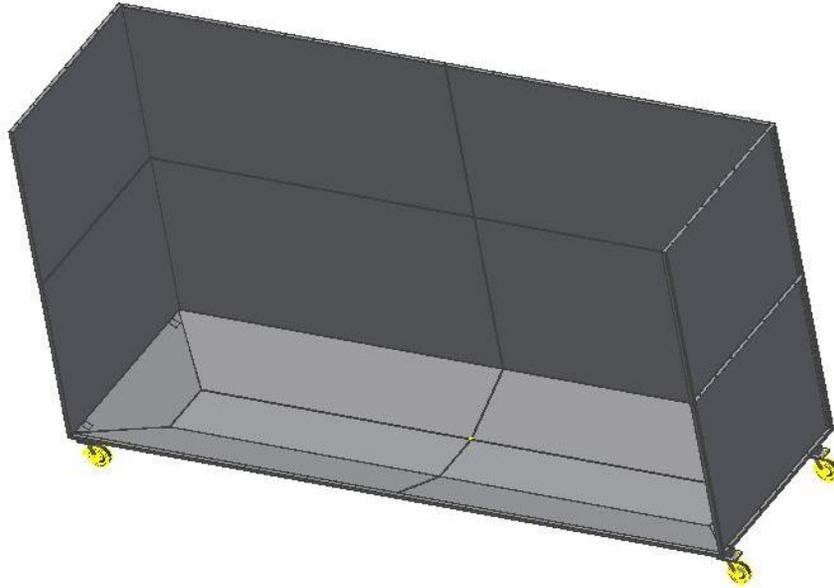
Se construyó una cabina de pintura móvil modular diferente a la originalmente diseñada por varios motivos. En primer lugar, el área de pintura de la empresa comenzó una intervención general con el objetivo de mejorar el proceso, haciéndolo más rápido, ágil, económico y con mejores resultados de pintura. Como parte de este plan mayor para el área, se decidió crear una cabina de pintura móvil.

Para probar algunos conceptos y acelerar su construcción, se fabricó la cabina móvil utilizando recursos sobrantes de otros proyectos y materia prima disponible en la empresa. Durante la construcción, se realizaron cambios sobre la marcha, adaptando el diseño a las necesidades emergentes.

La cabina fue diseñada para minimizar la intervención en los demás procesos del área de pintura, que continúan operando con normalidad. Este enfoque permitió probar cómo fluye el personal, las piezas y la maquinaria dentro del área con la cabina posicionada, identificando el lugar más factible para su ubicación en el espacio limitado disponible.

El diseño y construcción de una cabina móvil modular como se observa en la *Figura 16*, se realizó completamente con lámina calibre 14. Esta cabina incluye un piso dividido en dos partes con forma de bañera, lo que permite recolectar la pintura de manera eficiente. A este piso se le añadieron cuatro ruedas de trabajo pesado, facilitando el movimiento del conjunto. El cuerpo de la cabina está compuesto por ocho paneles: cuatro laterales y cuatro posteriores, formando un cubículo sin una pared frontal. Todos estos paneles están unidos entre sí y con la estructura principal mediante tornillos, asegurando una construcción robusta y estable.

Figura 16. Cabina móvil modular CAD



Nota: Figura CAD extraída de los archivos de JM Estrada.

La cabina móvil está diseñada para estar en la parte trasera del horno, zona designada para las secadoras mostradas anteriormente en la *Figura 13*. Esta área presenta una curva pronunciada debido al giro del transportador aéreo que permite reingresar al horno. El modularidad de la cabina facilita su montaje y desmontaje como lo muestra la *Figura 17* y *18*, adaptándose a las necesidades específicas del proceso de pintura. Esta flexibilidad es crucial para mejorar la eficiencia y optimizar el espacio disponible en el área de pintura.

Figura 17. Cabina móvil modular armado 1.



Figura 18. Cabina móvil modular armado 2.



Nota: Las Figuras 17 y 18 fueron fotografías tomadas en las instalaciones de JM Estrada

Además, se buscó evaluar la eficacia de la recuperación de la pintura en la cabina móvil, que no cuenta con los recuperadores de las cabinas fijas. Esto permitió determinar qué es necesario para poder reutilizar la pintura y si la cabina móvil puede integrarse eficientemente en el proceso sin comprometer la calidad del recubrimiento ni la sostenibilidad ambiental.

La construcción de esta cabina de pintura móvil provisional no solo respondió a la necesidad de experimentar con nuevas ideas y materiales disponibles, sino que también proporcionó valiosa información para futuras mejoras en el área de pintura y a la cabina móvil que se piensa construir, todo sin interrumpir las operaciones actuales.

Los datos de las pruebas realizadas con la cabina móvil de pintura indicaron áreas de mejora que se aplicarán en el diseño de la nueva cabina. Primero, se descubrió que la ubicación de la cabina no era la más adecuada, ya que la curva pronunciada del transportador aéreo dificultaba el movimiento y la aplicación del recubrimiento.

Además, la cabina resultó ser más pesada de lo esperado, lo que complicó su movilidad. La estructura no era suficientemente sólida, requiriendo la adición de refuerzos para rigidizarla como evidencia la *Figura 19*, lo cual aumentó aún más su peso y la necesidad de agregar cuatro ruedas adicionales.

Figura 19. Cabina móvil modular terminada



Nota: Figura tomada dentro de las instalaciones de JM Estrada.

Otra observación realizada fue que la forma de la cabina no permitía a los operarios trabajar desde ambos lados de las piezas, complicando su uso. También se detectó que la pintura se escapaba por la parte superior de la estructura, lo que era indeseado y representaba una pérdida de material. Sin embargo, hubo resultados positivos: la cabina permitió pintar estructuras de mayores dimensiones utilizando el transportador aéreo, y se comprobó que la mayoría de la pintura se acumulaba en la parte inferior de la cabina, facilitando su recolección y reutilización.

Estos aprendizajes serán fundamentales para diseñar una nueva cabina más eficiente y funcional, que resuelva los problemas de movilidad, estabilidad y pérdida de pintura, mejorando así el proceso de pintura electrostática en la empresa.

3.3.2. Adaptaciones Necesarias para la Cabina Móvil

Para la puesta en funcionamiento de la cabina móvil, es necesario adecuar el proceso actual para albergar piezas de grandes dimensiones. Uno de los primeros pasos fue fabricar un nuevo tanque para el proceso de limpieza como lo muestra la *Figura 20*, diseñado específicamente para contener el químico 3 en 1. Este tanque, con dimensiones significativamente mayores que los tanques existentes, mide 4.9 metros de largo, 0.9 metros de ancho y 1 metro de alto. El tanque está soportado por un chasis externo fabricado con tubería sobrante de otros proyectos, lo que permitió optimizar recursos y costos.

Figura 20. Nuevo tanque de lavado.



Nota: Figura propia extraída de las instalaciones de JM Estrada.

Se buscó la mejor ubicación para este tanque, considerando la necesidad de mantener un flujo de trabajo eficiente en el área de pintura. Después de evaluar varias opciones, se decidió posicionarlo cerca de los otros tanques de lavado. Esta ubicación permite que el nuevo tanque utilice el mismo riel elevado para transportar las piezas, integrándose así con el sistema de manipulación existente. Dicha integración es clave para mantener la continuidad del proceso sin necesidad de cambios drásticos en la disposición del área de trabajo.

Junto al tanque de lavado, se designó una pequeña área específica para el enjuague del producto, utilizando una hidro lavadora. Esta área asegura que las piezas estén completamente limpias antes de pasar al siguiente paso del proceso de pintura. La instalación de esta zona de enjuague fue crucial para garantizar que las piezas grandes reciban el mismo nivel de preparación que las piezas más pequeñas, asegurando así la calidad del recubrimiento final.

Para facilitar la manipulación de estas piezas de gran tamaño, se instaló un nuevo diferencial como lo muestra la *Figura 21* que permite mover las piezas del tanque de lavado al área de enjuague de manera eficiente. Este diferencial está diseñado para soportar el peso y las dimensiones de las piezas grandes, garantizando un manejo seguro y efectivo. Además, el nuevo sistema de manipulación minimiza el tiempo y el esfuerzo necesarios para mover las piezas, lo que contribuye a la eficiencia general del proceso.

Figura 21. Diferencial de nuevo tanque de lavado



Nota: Figura propia extraída de las instalaciones de JM Estrada.

La implementación de estos cambios es crucial para adaptar el área de pintura a las nuevas necesidades, permitiendo un manejo eficiente y seguro de las piezas de gran tamaño dentro del flujo de trabajo existente. Estas modificaciones no solo facilitan el proceso de limpieza y preparación, sino que también aseguran que la cabina móvil pueda operar de manera efectiva, mejorando la agilidad y la productividad del área de pintura. La optimización del espacio y la integración de nuevos equipos y procedimientos reflejan un enfoque proactivo para resolver las limitaciones actuales y preparar el área de pintura para futuros desafíos.

3.4. Diseño de la cabina

Durante la practica académica que se realizó en JM Estrada se decidió proponer un diseño para la nueva cabina móvil, el cual se basa en el análisis de los resultados obtenidos de la anterior cabina de pintura, buscando solucionar las deficiencias identificadas. Se decidió que la ubicación más adecuada para la nueva cabina es entre el horno principal y la cabina de pintura verde. Esta disposición permite que las piezas de grandes dimensiones eviten las curvas pronunciadas del transportador aéreo y faciliten el flujo del proceso de pintura. Además, se determinó que la cabina no debería desplazarse por el área, sino permanecer fija en su ubicación.

Una consideración clave en el diseño fue asegurar que los operarios puedan pintar las piezas desde ambos lados, lo cual mejora la eficiencia y la calidad del recubrimiento. También se decidió que la parte superior de la cabina debe estar cubierta para evitar que la pintura se disperse fuera de la cabina, asegurando un entorno de trabajo más limpio y eficiente.

Otro aspecto importante que se tuvo en cuenta fue que la cabina debía ser manejable por un máximo de dos personas, con estructuras que no sean excesivamente pesadas. Esto es crucial para facilitar la manipulación y permitir que se realicen tareas de mantenimiento en el riel aéreo, las cabinas y el horno con facilidad.

Considerando estas necesidades y la retroalimentación de gerencia, jefes de línea y colaboradores, se optó por diseñar la cabina utilizando cortinas industriales corredizas, similares a las utilizadas en cuartos fríos y talleres de soldadura como lo muestra la *Figura 22*. Estas cortinas permiten que, cuando la cabina no esté en uso, se puedan replegar, minimizando su impacto en los demás procesos del área de pintura.

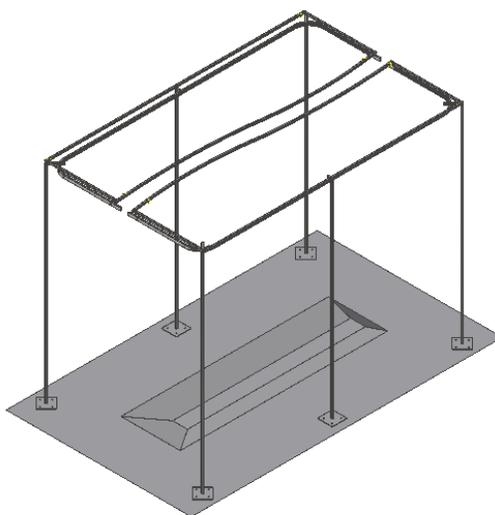
Figura 22. Tipo de cortina propuesta.



Nota: Figura extraída de <https://asei-ingenieria.com/galeriacortinas.html#prettyPhoto>.

La cabina está diseñada para ser fabricada con tubería rectangular de $20 \times 40 \times 1.5$ mm y tubería cuadrada de 25×2 mm, los cuales son materiales que la empresa maneja regularmente en sus productos. Estas tuberías pueden ser cortadas con la cortadora láser de tubería y roladas o dobladas con las máquinas de la empresa, lo que permite una fabricación rápida y precisa. El piso de la cabina está hecho de lámina calibre 14, similar al de la cabina de pruebas como lo muestra la *Figura 23*, con una forma que permite recolectar la pintura.

Figura 23. Cabina de pintura móvil propuesta.

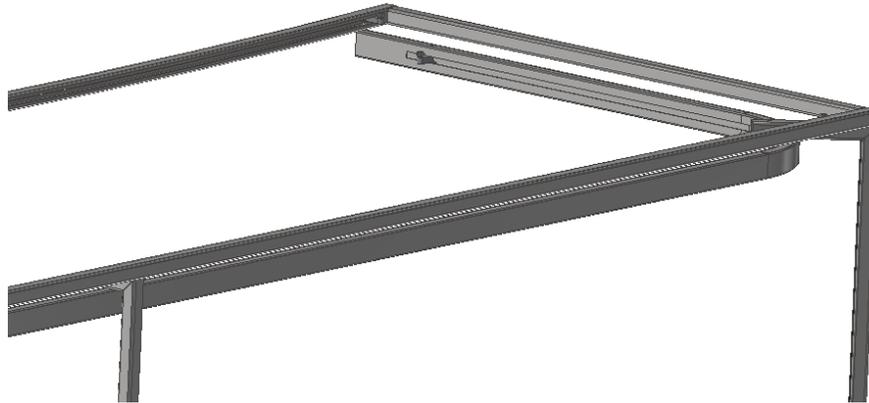


Nota: Figura propia realizada para la propuesta de diseño de la cabina de pintura.

La estructura de la cabina incluye seis parales de perfil cuadrado de $25 \times 25 \text{ mm}$ los cuales se anclan al piso mediante una platina con cuatro perforaciones para tornillos de $1/2''$. En la parte superior, estos parales tienen un doblado a 90° para poder sostener las estructuras. Los parales soportan cuatro estructuras soldadas, dos a cada lado en forma de espejo, que son sostenidas por tres de los parales en cada lado.

Estas estructuras incluyen dos rieles, uno superior y uno inferior como se muestra en la *Figura 24*. El riel superior, de perfil cuadrado de $25 \times 25 \text{ mm}$, cierra el techo de la cabina y tiene una ranura central de 10 mm por donde pasan unos carros por el interior del perfil. Esta estructura es cerrada con las partes más largas que tienen la ranura, y las laterales sin ella. Su parte interna es similar al riel del transportador aéreo, permitiendo que las piezas transiten con facilidad.

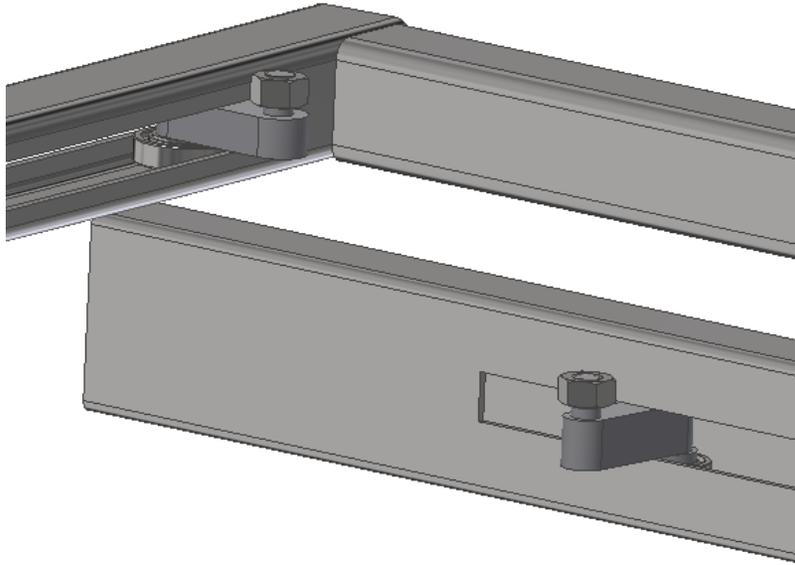
Figura 24. Rieles de la cabina móvil.



Nota: Figura propia de la propuesta de diseño de la cabina de pintura.

El riel inferior, de tubería rectangular de $20 \times 40 \times 1.5 \text{ mm}$ y con forma de "C" aísla las paredes laterales de la cabina. Tiene una ranura similar al riel superior, que recorre casi todo el perfil excepto en las puntas, permitiendo que los carros internos mostrados en la *Figura 25* se muevan con facilidad. Los carros que pasan por el interior de los rieles funcionan de manera similar, pero tienen diferentes dimensiones. Cada carro tiene una estructura que soporta una argolla de las cortinas y dos rodamientos que permiten su movimiento dentro de la estructura.

Figura 25. Carros móviles internos.



Nota: Figura propia de la propuesta de diseño de la cabina de pintura.

Este diseño modular y funcional busca mejorar significativamente la pintura electrostática, facilitando el manejo de piezas grandes y optimizando el uso del espacio y los recursos disponibles. Además, la flexibilidad de las cortinas corredizas permite un uso eficiente del espacio cuando la cabina no está en uso, contribuyendo a un entorno de trabajo más organizado y productivo.

3.5. Estado del proyecto

Como se mencionó anteriormente, el área de pintura ha sido objeto de una intervención general, la cual actualmente se encuentra en una fase de ejecución con un avance del 30% al 35%. Uno de los proyectos principales es la cabina móvil, pero no fue la primera intervención. La primera se dio en la cabina de pintura roja, que presentaba una pérdida de pintura debido a problemas en el colector de polvos. Esta cabina, creada durante la expansión del área de pintura, fue fabricada internamente y su funcionamiento es independiente del control principal que gobierna toda el área.

Para mejorar su rendimiento, se cerró la parte superior de la cabina roja para evitar que las partículas de pintura no adheridas floten fuera y no sean atrapadas por los recolectores. Además, se decidió transferir uno de los recolectores de polvos de la cabina verde, que cuenta con dos y funcionan correctamente, a la cabina roja. El recolector de la cabina roja se sometió a una

intervención mayor, que incluyó una revisión completa y minuciosa de los componentes, buscando cualquier anomalía que explique su mal funcionamiento.

Durante esta revisión, se verificó el funcionamiento correcto por tramos y se diseñó un ciclón para incorporarlo al sistema de filtrado, convirtiéndose en el primer paso de filtrado. Posteriormente, se va a fabricar internamente un sistema completo de extracción de polvos, que constará del ciclón y un filtro de mangas similar a los comprados inicialmente, que han demostrado funcionar correctamente.

Además, se revisó la puesta a tierra de todo el sistema y se identificó una deficiencia en la red de cobre. Para solucionarlo, se va a expandir la red de copperbell, mejorando así la conexión a tierra. También se están creando nuevos ganchos que permitan mantener un buen contacto durante todo el proceso. Para asegurar que estos ganchos mantengan un contacto óptimo, se soplan antes de entrar al horno, eliminando cualquier residuo que pudiera afectar la conductividad.

Estas intervenciones buscan no solo resolver problemas específicos, sino también mejorar la eficiencia y la calidad del proceso de pintura en general. La implementación de estas mejoras es crucial para garantizar que la cabina móvil y todo el sistema de pintura operen de manera óptima. El objetivo es crear un entorno de trabajo más eficiente y seguro, minimizando las pérdidas de pintura y mejorando la calidad del acabado de las piezas. Con estas medidas, se espera lograr una mayor uniformidad en los recubrimientos y una reducción significativa en los costos operativos.

En resumen, el proyecto de intervención en el área de pintura está en pleno desarrollo, con avances significativos en la resolución de problemas y la mejora de los procesos. La cabina móvil es una parte importante de este plan, pero el enfoque integral incluye la optimización de las cabinas existentes, la mejora de los sistemas de recuperación de polvos y la actualización de las infraestructuras eléctricas y de puesta a tierra. Con estos esfuerzos, se espera que el área de pintura alcance un nuevo nivel de eficiencia y calidad, cumpliendo con los estándares exigidos y preparando la empresa para futuros desafíos.

Conclusiones

El proyecto de diseño y construcción de una cabina móvil de pintura electrostática para la empresa JM Estrada ha logrado importantes avances hacia el objetivo general de mejorar la eficiencia, seguridad laboral y calidad del proceso de pintura de piezas de diferentes dimensiones utilizadas en la industria agroindustrial. Este proyecto comenzó con un análisis detallado del proceso actual de pintura electrostática en la empresa, identificando áreas críticas para mejorar la eficiencia, seguridad y calidad del recubrimiento aplicado. Este análisis permitió adaptar las necesidades específicas a la nueva cabina móvil, abordando tanto los desafíos como las oportunidades de mejora en el proceso de pintura.

El siguiente paso fue realizar un análisis exhaustivo de los requisitos y necesidades específicas de la empresa en cuanto al espacio disponible, capacidad de producción y características técnicas necesarias para la cabina móvil. Se identificaron limitaciones en el espacio de trabajo y se determinó la mejor ubicación para la nueva cabina, considerando el flujo de piezas y la ergonomía para los trabajadores. Este análisis fue crucial para el diseño de un modelo tridimensional de la cabina móvil, que tuvo en cuenta los requisitos de espacio, ergonomía y seguridad, así como la facilidad de mantenimiento y limpieza.

La primera versión de la cabina móvil reveló problemas como el peso excesivo y la falta de rigidez estructural, que se solucionaron mediante la adición de refuerzos y ruedas adicionales. Además, se identificó la necesidad de cubrir la parte superior de la cabina para evitar la fuga de pintura y de permitir que los operarios trabajaran en ambos lados de las piezas. Estos aprendizajes se incorporaron en el diseño modificado de la cabina, que ahora utiliza cortinas industriales corredizas para facilitar la operación y el mantenimiento.

El proyecto también abordó la necesidad de mejorar el proceso de limpieza previo a la pintura mediante la construcción de un nuevo tanque de lavado más grande y la instalación de un nuevo diferencial para manipular piezas de gran tamaño. Este enfoque integral ha permitido optimizar el flujo de trabajo y mejorar la calidad del recubrimiento.

Finalmente, el desarrollo de un plan de implementación detallado para la fabricación y montaje de la cabina móvil en la empresa ha sido fundamental. Este plan consideró los tiempos de producción, los costos asociados y la capacitación necesaria para el personal involucrado. La colaboración continua entre gerencia, jefes de línea y operarios ha sido vital para el éxito del

proyecto, asegurando que la cabina móvil cumpla con los requisitos y expectativas de todos los involucrados.

En consecuencia, el proyecto de la cabina móvil de pintura electrostática ha sido un paso significativo hacia la modernización y optimización del área de pintura en JM Estrada. Los avances logrados hasta ahora han demostrado el potencial de esta solución para mejorar la eficiencia, reducir costos y minimizar el impacto ambiental del proceso de pintura, cumpliendo así con los objetivos generales y específicos planteados al inicio del proyecto.

Referencias

- Diseño de un sistema de automatización para el horno de curado de pintura electrostática de la compañía PROIND S.A.S (Steven Nicolás Vargas Rico),
- Diseño y simulación de un horno de pintura electrostática para tableros eléctricos con PLC S7-1500 Y HMI KTP-700.
- Empresa JM Estrada. (s. f.). <https://www.jmestrada.com/empresa/>
- Estudio de factibilidad para renovación de tecnología en hornos de curado de pintura electrostática en la industria de elevadores (Juan Felipe Escobar Ramírez).
- Nordson. (s.f.). Encore HD - Manual Powder Coating System. <https://www.nordson.com/es-es/products/industrial-coating-systems-products/encore-hd--manual-powder-coating-system>
- Pintuco (s.f.). Pintura electrostática poliéster Qualicoat. <https://www.pintuco.com.co/productos/pintura-electrostatica-poliester-qualicoat/>
- SIFAP Tecnología. (s.f.). Cabinas. <https://www.sifaptecnologia.com/cabinas.html>.
- West Química. (s.f.). *Industrial*. <https://westquimica.com/industrial/>