https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/sahagun/issue/archive

Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún

Publicación semestral, Vol. 14, No. Especial 4 (2026) 69-81

ISSN: 2007-784X

Mejora del proceso de pintura electrostática mediante un enfoque integrado de mejora continua

Improvement of the electrostatic painting process through an integrated continuous improvement approach

Tania G. Hernández Álvarez [a], Leishly G. Espinoza González [b], Rafael Granillo Macías [c]

Abstract:

This research set out to strengthen part control and reduce rework across the electrostatic painting line of a metal-mechanical plant. Prior to this study, the shop floor lacked a functional system to distinguish newly introduced parts from those sent for rework entering the coating line. To address this issue, the study was structured around the PDCA (Plan-Do-Check-Act) continuous improvement cycle. During the initial diagnostic phase, historical data were evaluated to identify defect patterns un the process using a FRACAS (Failure Reporting, Analysis, and Corrective Action System) framework; simultaneously, a rework inventory was compiled and classified using ABC analysis and Pareto diagram. When contamination emerged as the primary defect, an Ishikawa diagram was used to pinpoint its root causes. Based on these findings, daily tracking logs were implemented for production control, alongside corrective and improvement actions focused on area cleanliness, line maintenance, and monitoring trough 5S methodology. The results demonstrate that tracking logs consolidated production monitoring, while cleanliness, maintenance, and the 5S framework reduced the contamination defect and rework, improving overall operational performance.

Keywords:

FRACAS, lean manufacturing, PDCA cycle, quality tools, rework

Resumen:

La investigación se desarrolló con el objetivo de fortalecer el control de piezas producidas y reducir el retrabajo en el proceso de pintura electrostática de una empresa metalmecánica. Previo al estudio, el área no contaba con un sistema para diferenciar las piezas nuevas de las de retrabajo que ingresaban a la línea de pintura. Para resolver esta problemática, el estudio se estructuró bajo el enfoque de mejora continua del ciclo PDCA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar). Durante el diagnostico, se analizaron los datos históricos para identificar el comportamiento de los defectos en el proceso mediante el Sistema de Reporte de Fallos, Análisis y Acciones Correctivas (FRACAS); simultáneamente, se elaboró un inventario de retrabajo para su clasificación mediante un análisis ABC y el diagrama de Pareto. Al identificar la contaminación como el defecto más crítico, se determinaron sus causas raíz con un diagrama de Ishikawa. A partir de estos hallazgos, se diseñaron formatos de control diario para registrar la producción y se implementaron acciones correctivas y de mejora enfocadas en limpieza del área, mantenimiento de la línea y seguimiento con la metodología 5S. Los resultados evidencian que los formatos consolidaron el control de las piezas producidas, mientras que las acciones de limpieza, mantenimiento y el esquema 5S redujeron el defecto de contaminación y el retrabajo, mejorando el desempeño operativo.

Palabras Clave:

Ciclo PDCA, FRACAS, herramientas de calidad, manufactura esbelta, retrabajo

Introducción

[a] Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, https://orcid.org/0009-0006-3096-9578 , Email: he467110@uaeh.edu.mx

[b] Autor de correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, https://orcid.org/0009-0009-5046-3613 , Email: es465189@uaeh.edu.mx

[c] Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Ciudad Sahagún | Ciudad Sahagún-Hidalgo | México, https://orcid.org/0000-0002-1015-667X , Email: rafaelgm@uaeh.edu.mx

Fecha de recepción: 29/06/2026, Fecha de aceptación: 10/08/2026, Fecha de publicación: 06/11/2026

DOI: https://doi.org/10.29057/escs.v14iEspecial4.18255

Los procesos industriales constituyen un pilar fundamental de la producción manufacturera, ya que un desempeño operativo adecuado no solo determina la calidad del producto final, sino que también incide directamente en la eficiencia y la competitividad de las organizaciones. Asimismo, una gestión eficaz en las líneas de producción permite mitigar la presencia de defectos, optimizar el uso de los recursos disponibles y promover la innovación tecnológica (Mendoza-Arvizo y Solís-Rodríguez, 2022).

Bajo este contexto, los sistemas de aseguramiento de la calidad han evolucionado hacia metodologías proactivas que priorizan la prevención de anomalías directamente en las etapas operativas, disminuyendo la dependencia tradicional de las inspecciones al final de la línea (Azamfirei et at., 2023). En este sentido, la aplicación de pintura electrostática, también denominada pintura en polvo, destaca como una alternativa altamente eficiente frente a los sistemas convencionales de recubrimiento. Este método aprovecha la inducción de una carga eléctrica en las partículas de polvo para lograr una adherencia homogénea sobre la superficie, garantizando un acabado de alta calidad con propiedades superiores de resistencia mecánica y química (Rodríguez et al., 2025). En esta misma línea, Reyes Pico (2026) analizó el proceso de pintura en un proveedor del sector metalmecánico con el propósito de mejorar la adherencia del recubrimiento. Para ello empleó herramientas como el diagrama de Ishikawa, los cinco porqués y la metodología 8D, mediante las cuales identificó las principales causas de las no conformidades y propuso estrategias orientadas a estabilizar el proceso y fortalecer el aseguramiento de la calidad. Estos resultados evidencian que la aplicación sistemática de herramientas de análisis facilita la identificación de oportunidades de mejora en los procesos de recubrimiento.

Este tipo de tecnología se ha consolidado como uno de los acabados superficiales de mayor demanda en el sector metalmecánico. Recientemente, su adopción se ha extendido significativamente a las industrias automotriz, de la construcción y de electrodomésticos, impulsada por atributos clave como el rendimiento óptimo del material, la resistencia a la corrosión, una vida útil prolongada y la reducción de la huella ambiental (Kurc-Lisiecka y Lisiecki, 2025). No obstante, la eficiencia de este proceso puede verse comprometida por desviaciones superficiales que deterioran tanto el comportamiento funcional como la estética de las piezas. Al respecto, estudios recientes demuestran que la obtención de un acabado óptimo está condicionada por variables críticas como la preparación adecuada del sustrato, la regulación de los parámetros de aspersión y el ciclo de curado, factores que determinan directamente la aparición de fallas operativas (Baxevani et al., 2025). En consonancia con estas afirmaciones, diversos análisis coinciden en que la variabilidad de los parámetros operativos afecta directamente las propiedades del acabado, lo que deriva en deficiencias asociadas al espesor de la capa, la adherencia y la homogeneidad del recubrimiento final (Rubino y Venettacci, 2023). De manera similar, Pavón Cruz y Pallo Paspuezan, (2026) aplicaron la metodología Lean Six Sigma mediante el ciclo DMAIC para mejorar el proceso de curado en el área de pintura de una empresa metalmecánica. Además, identificaron que una elevada tasa de reproceso estaba asociada a defectos como burbujas, perdida de adherencia y acabados irregulares. Con apoyo de herramientas como Pareto, Ishikawa y el análisis modal de fallos y efectos (AMEF), propusieron acciones de mejora orientadas a reducir los reprocesos y mejorar la estabilidad del proceso.

Al respecto, Kurc-Lisiecka y Lisiecki (2025) exponen que las principales anomalías registradas en este proceso abarcan la presencia de micro perforaciones, la falta de adherencia y las impurezas superficiales. Dentro de esta clasificación, los fallos por contaminación destacan como los más recurrentes, vinculados directamente a la permanencia de partículas extrañas, sustancias aceitosas o agentes grasos retenidos en el sustrato metálico antes del proceso de recubrimiento. Esta clase de imperfecciones compromete severamente la adherencia del recubrimiento, lo que origina fallas prematuras y se traduce en un incremento directo de los índices de rechazo y retrabajo en las líneas de producción.

En el ámbito de mejora continua, Pérez Mendoza et al. (2023) destacan que la aplicación de herramientas de calidad en las empresas del sector metálico permite identificar de manera estructurada las causas de las no conformidades y establecer acciones correctivas que favorecen la estandarización de los procesos y la reducción de desperdicios, así como también muestran que estas herramientas constituyen un apoyo importante para fortalecer el desempeño operativo y la calidad del producto.

Desde la perspectiva, Mora et al. (2025) señalan el seguimiento sistemático de los fallos mediante herramientas de calidad, como el diagrama de Pareto. Resulta fundamental para monitorear la estabilidad operativa e identificar las principales fuentes de variación. Esto facilita la toma de decisiones y la implementación de acciones correctivas orientadas a reducir las no conformidades del proceso.

En conjunto, estas investigaciones demuestran que la mejora en los procesos de pintura exige identificar las

causas de los defectos e implementar herramientas que controlen la variabilidad para asegurar la calidad del recubrimiento. No obstante, la efectividad de estas estrategias depende de las condiciones particulares de cada proceso industrial, por lo que resulta indispensable evaluar su aplicación en distintos contextos productivos.
La presente investigación se llevó a cabo en una empresa del sector metalmecánico, dedicada a la fabricación de gabinetes eléctricos. El estudio se desarrolló específicamente en el área de pintura electrostática, debido a que allí se identificaron problemáticas relacionadas con la ausencia de registros sistemáticos del número de piezas pintadas diariamente, así como un alto porcentaje de retrabajo derivado de la presencia de diversos defectos en el recubrimiento.

Metodología

La presente investigación se desarrolló bajo un diseño de estudio de caso con enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo), con el objetivo de mejorar el control de piezas y reducir el retrabajo en el proceso de pintura electrostática. La metodología se estructuró con base en el ciclo de mejora continua PDCA, que se aplicó implícitamente a lo largo del estudio mediante la integración de herramientas de calidad. Esto permitió un análisis sistemático del problema y la implementación de mejoras orientadas al control del proceso.

La Figura 1, muestra el diagrama de flujo de desarrollo metodológico del estudio en el cual se describen de manera secuencial las etapas seguidas desde el planteamiento del problema hasta la obtención de los resultados. Dicho diagrama permite visualizar la aplicación del ciclo PDCA y relación entre cada una de las actividades realizadas durante el desarrollo de la investigación.

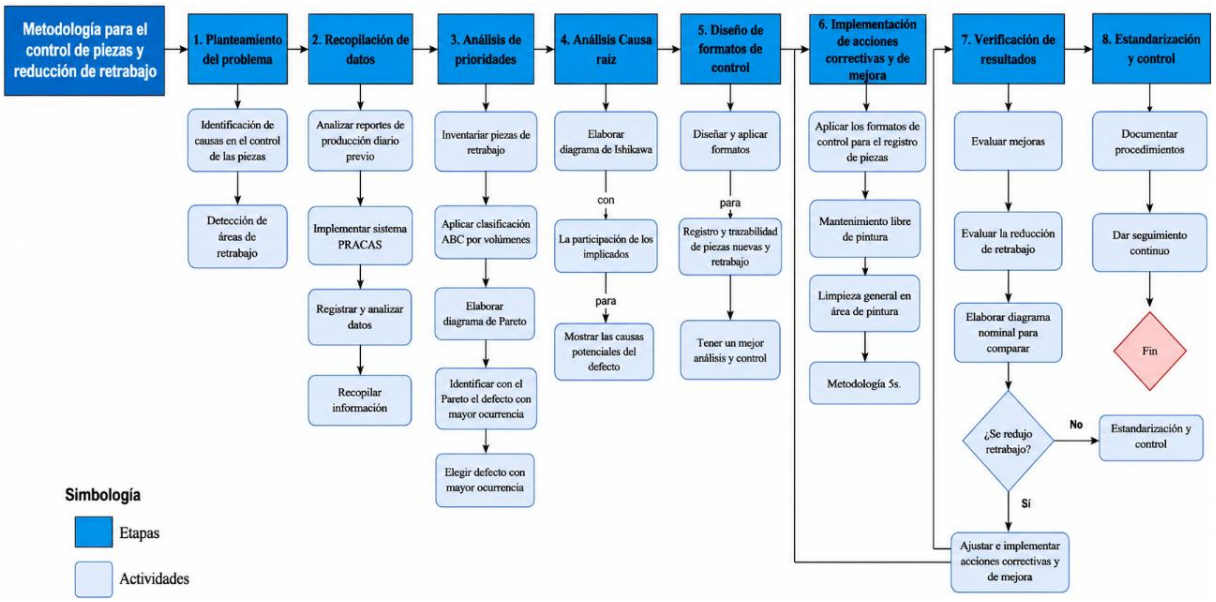


Figura 1. Metodología para el control de piezas y la reducción de retrabajo en el proceso de pintura electrostática. Fuente: Elaboración propia.

Alcance y limitación

El análisis se orientó a la identificación y priorización de los defectos que afectan el proceso de pintura electrostática. Para ello, se recopilaron y clasificaron los datos de las fallas detectadas durante la operación, categorizándolas por tipo y frecuencia de ocurrencia.

A partir de esta información se emplearon formatos para el registro de los datos y el diagrama de Pareto para su análisis lo que permitió identificar los defectos con mayor incidencia dentro del proceso, mediante priorización, se determinó el defecto de contaminación como objeto principal del estudio, debido a su frecuencia relativa en comparación con los demás defectos detectados.

Con base en lo anterior, el alcance del trabajo se delimitó al análisis de las causas asociadas a dicho defecto y la propuesta de acciones operativas del área, mediante la aplicación de prácticas de orden, limpieza y control del proceso.

Limitaciones del estudio

Durante la etapa de diagnóstico se identificaron diversos defectos asociados al proceso; sin embargo, el estudio se centró exclusivamente en la contaminación, al tratarse del defecto de mayor incidencia según el análisis realizado. Por ello, los demás defectos no se analizaron a profundidad ni se desarrollaron acciones específicas para su control. Asimismo, el desarrollo del estudio estuvo condicionado por el tiempo disponible para la recolección y análisis de la información, lo que limitó el seguimiento prolongado de las acciones propuestas. Finalmente, la evaluación del comportamiento del proceso se realizó dentro de un periodo determinado, por lo que el análisis se basa en la información disponible durante dicho intervalo, sin considerar variaciones a lo largo plazo.

Desarrollo del proceso

Se empleó la metodología PDCA (Plan, Do, Check, Act) mostrada en la Figura 2 como herramienta de mejora continua en el proceso de pintura, orientada a la identificación de mejoras y la implementación de acciones correctivas.

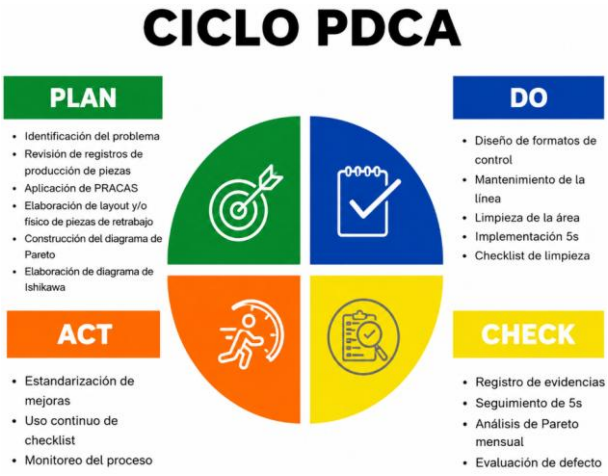


Figura 2. Ciclo PDCA. Fuente: Elaboración propia.

Como primera etapa, correspondiente a la fase de Plan (Planear), el estudio inició con la identificación de la problemática en el proceso de pintura, en la que se detectó la ausencia de un control formal de piezas nuevas y de retrabajo. Esta situación impedía conocer con precisión cuántas piezas se ingresan diariamente a línea de pintura, así como cuántas corresponden a material nuevo y cuántas a material de retrabajo, dificultando el seguimiento y control de producción. Asimismo, se observó un alto índice de retrabajo, lo que perjudicaba la eficiencia del proceso.

Una vez definido el problema, se realizó el diagnóstico inicial del proceso para identificar los principales defectos asociados al retrabajo en el área de pintura electrostática. Para ello, se analizaron los reportes diarios de producción de los operadores y los registros de defecto generados durante la operación en el periodo enero-agosto, lo que permitió recopilar información sobre el comportamiento y la frecuencia de las fallas.

Como parte de esta etapa, se implementó el sistema FRACAS (Failure Reporting Analysis and Corrective Action System), un enfoque metodológico orientado al control de desviaciones que, de acuerdo con Guerrero (2025), organiza la gestión de problemas en tres pasos esenciales: registrar los eventos no deseados, investigar a fondo sus causas raíz y establecer soluciones para que no vuelvan a ocurrir. Su aplicación en el estudio permitió organizar la información, categorizar los incidentes identificados y facilitar su análisis.

Posteriormente, se elaboró un inventario físico en el área de retrabajo para identificar el estado de las piezas acumuladas con defectos, dado que no existían registros previos de dicha zona. Para ello, se diseñó un formato de Excel que facilitó la cuantificación de los datos. Con esta información, se aplicó una clasificación ABC para jerarquizar los elementos de mayor presencia e identificar visualmente los componentes críticos. A partir de esto, se elaboró un diagrama de Pareto para priorizar los defectos de mayor frecuencia, determinándose que la contaminación representa la mayor incidencia en las piezas de retrabajo, por lo que se definió, como el foco principal del estudio. Una vez identificado el defecto crítico, se procedió al análisis de causa raíz mediante el diagrama de Ishikawa. Para ello, se integró al personal operativo en una sesión colaborativa en la que se identificaron causas relacionadas con factores como los métodos, el medio ambiente y las máquinas, destacando la deficiente limpieza, la presencia de polvo y la falta de mantenimiento.

En la siguiente Do (Hacer) se diseñaron e implementaron formatos específicos para el control de piezas nuevas y las de retrabajo, los cuales integran variables clave para el control del proceso, tales como fecha, descripción, cantidad de piezas, color y total. Asimismo, se llevó a cabo el registro diario de las piezas mediante dichos formatos y con el propósito de fortalecer la trazabilidad del proceso. En colaboración con producción se definieron e implementaron acciones correctivas orientadas a reducir la incidencia del defecto de contaminación. Estas incluyeron actividades de mantenimiento en la línea de pintura, tales como el cambio de ganchos y eslabones, la limpieza de las tinas,

el mantenimiento de las pistolas, así como la limpieza de ciclones y filtros, cambio de luminarias de la cabina. Adicionalmente, se implementaron acciones de mejora orientadas al orden y la limpieza del área de trabajo mediante la aplicación de la metodología 5S.

En la fase correspondiente a Check (Verificar) tras la implementación de las acciones correctivas y de mejora, así como el registro diario de las piezas en los formatos de control, se elaboró de manera mensual un diagrama de Pareto con el propósito de analizar a lo largo del tiempo la tendencia del defecto de contaminación. Esto permitió evaluar la efectividad de las acciones implementadas mediante la comparación de los niveles de retrabajo antes y después de la intervención.

Por otra parte, se registraron evidencias diarias proporcionadas por los operadores para constatar la correcta ejecución de las actividades de limpieza y mantenimiento en el área de pintura. Estas evidencias permitieron dar seguimiento, en esta fase de verificación, al cumplimiento de las actividades establecidas en el checklist de 5s por parte del personal operativo.

Finalmente, en la fase Act (Actuar), se analizaron los resultados de la verificación para determinar la efectividad de las acciones implementadas. Con base en el balance, se evaluó la pertinencia de las medidas adoptadas para asegurar la continuidad del proceso.

Derivado de lo anterior, se estableció la estandarización de las actividades en las prácticas operativas del área. Esto implicó promover el uso constante de los formatos de registro, dar un seguimiento a las tareas de limpieza y mantenimiento, y aplicar periódicamente una lista de verificación (checklist) basada en 5S. De esta manera, se adoptaron esos formatos como base de seguimiento y control, garantizando que las mejoras permanezcan en el tiempo y que el proceso en el área de pintura conserve su estabilidad.

Resultados y discusión

Para comenzar el análisis, se revisó la información histórica del proceso con el fin de identificar el comportamiento de los defectos registrados en los reportes de producción. Con base en esta información, se consolidaron los datos acumulados de defectos generados por mes, del periodo de enero a agosto, lo que permitió observar la tendencia y la variabilidad del volumen total de fallas a lo largo del tiempo, tal como lo ilustra la Figura 3.

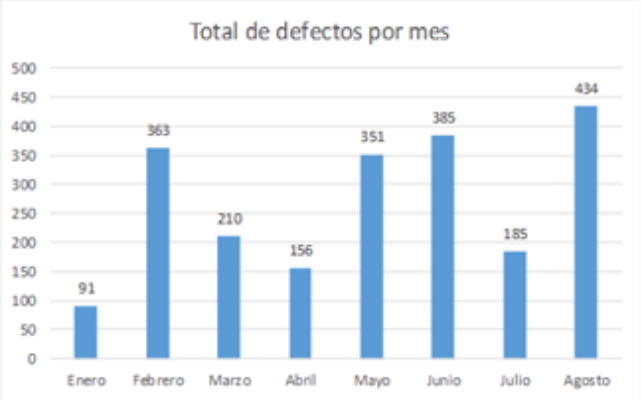


Figura 3: Gráfica de barras de defectos generados de enero-agosto. Fuente: Elaboración propia.

A partir de la información recopilada y organizada en la gráfica anterior, se contabilizó un total de 2175 incidencias asociadas a distintos tipos de defectos durante el periodo considerado. Estos resultados permitieron visualizar el comportamiento frecuente de los defectos durante el periodo comprendido enero- agosto e identificar aquellos defectos con mayor ocurrencia dentro del proceso.

Posteriormente, los registros consolidados obtenidos durante el diagnóstico inicial se emplearon como base para la implementación del sistema FRACAS. De acuerdo con Guerrero (2025), esta herramienta permite registrar anomalías operativas de forma estructurada, evaluar sus causas raíz e implementar acciones correctivas orientadas a evitar su ocurrencia. No obstante, la aplicación de este sistema ha sido poco explorada en estudios enfocados específicamente en control de defectos dentro del proceso de pintura electrostática, lo que abre una oportunidad para demostrar su utilidad en planta. Bajo esta premisa, el uso de este formato en el estudio hizo posible clasificar los defectos del proceso de pintura electrostática, facilitando la posterior identificación de sus causas raíz.

A partir de ello, se desarrolló la matriz FRACAS detallada en la Figura 4, que integra variables como el error o la falla, la descripción del hallazgo o la falla, el número de incidencias, así como los niveles de frecuencia, severidad y criticidad, las causas probables y las acciones correctivas. Para fortalecer la jerarquización de los defectos y evitar criterios subjetivos en los niveles de criticidad, se construyó la matriz de clasificación en la Figura 5, tomando como referencia metodológica la norma CLSI EP18-A2 (Clinical and Laboratory Standars Institute [CLSI],2009). El valor de adoptar este estándar radica en su modelo de evaluación de riesgos, que enseña a cruzar matemáticamente la probabilidad de ocurrencia de un fallo con el daño real que este genera.

Al fusionar este principio preventivo con el enfoque estructurado de los sistemas FRACAS, la criticidad de cada defecto de pintura se determinó formalmente mediante el producto de su frecuencia y su severidad, lo que permitió priorizar con precisión matemática los esfuerzos en las fallas que provocan un mayor índice de retrabajo. Los valores asignados en la matriz de evaluación se establecieron con base en el comportamiento histórico de las incidencias registradas durante el periodo analizado, lo que permitió clasificar los defectos según su ocurrencia y nivel de afectación en el proceso.

Como complemento, La Figura 6 muestra visualmente los diferentes fallos (defectos superficiales) presentes en este estudio.

Los resultados demostraron que el defecto de contaminación presentó la mayor frecuencia y severidad, con una criticidad máxima de 16.

Este resultado coincide con el defecto de contaminación, que presentó la mayor incidencia, acumulando un total de 560 casos y posicionándose como la falla de mayor prioridad debido a su alta ocurrencia y su impacto directo sobre la calidad superficial del recubrimiento. En segundo nivel se ubicaron los defectos de transparencia y cráter con 430 y 423 incidencias, respectivamente, mientras que los defectos como rayón, bajo micraje, golpes y puntos de alfiler presentaron una ocurrencia considerablemente menor.

La adopción de sistemas FRACAS facilita el diagnóstico sistemático y la jerarquización de los fallos en los procesos, logrando de este modo dirigir las acciones correctivas hacia los eventos que comprometen en mayor medida la continuidad operativa (Hegde, 2024). Al respecto, cabe destacar que, aunque la aplicación de este sistema, ha sido concebido tradicionalmente para procesos clínicos y de laboratorio, su uso en este estudio demuestra su versatilidad y utilidad para el análisis de datos, así como para la gestión y priorización de defectos en el proceso de pintura industrial.

Matriz FRACAS análisis de fallas en el proceso de pintura electrostática

No.	Área	Error/falla	Descripción del hallazgo/falla	Incidencia	Frecuencia	Severidad	Criticidad (F * S)	Causa probable	Acción correctiva propuesta
1	Pintura	Contaminación	Presencia de partículas (polvo,pintura o impurezas ambientales) incrustadas en la capa de pintura durante su aplicación o curado.	550	4	4	16	Polvo, suciedad	Limpieza profunda en el área
2	Pintura	Transparencia	Defecto de opacidad (falta de cobertura) donde el color del sustrato metálico se ve o quedan visibles debido a un espesor insuficiente.	420	4	3	12	Bajo espesor, mala aplicación	Ajuste de recip y aplicación
3	Pintura	Otear	Formación de cavidades o hundimientos circulares exponen el sustrato metálico causadas por solventes o gases.	423	4	3	12	Grasa, aceite, silicón	Mejor limpieza superficial
4	Pintura	Rayón	Marcas lineales visibles en la superficie pintada provocada por fricción o contacto mecánico.	250	3	3	9	Mala manipulación	Protección de material
5	Pintura	Bajo micraje	Espesor del recubrimiento inferior a la especificación técnica.	182	3	2	6	Parámetros incorrectos	Calibración de equipos.
6	Pintura	Pintura defectuosa	Falla de adhesión o cobertura debido a propiedades degradadas de polvo, causadas por caducidad, humedad o contaminación de origen de lote.	144	2	2	4	Variación operativa	Estandarización del proceso.
7	Pintura	Micro burbuja	Acumulación o atrapamiento irregular de pintura en los bordes y aristas de la pieza.	61	2	2	4	Mala posición de pieza	Ajuste de colgado
8	Pintura	Ojo de pescado	Formaciones circulares con un punto central, causada por presencia de agua o aceite en el aire comprimido.	55	1	2	2	Contaminación por aceite, agua, humedad	Mejor limpieza, más aire comprimido.
9	Pintura	Golpe	Daño fisico por impacto antes o después del pintado.	27	1	1	1	Manejo inadecuado	Mejor transporto interno
10	Pintura	Mal acabado	Superficie irregular de textura o nivelación deficiente.	24	1	1	1	Mala aplicación	Ajuste de parámetros.
11	Pintura	Manipulación	Marcas, huellas o desprendimientos causados por el contacto directo de las operadores durante el manejo físico.	8	1	1	1	Manejo incorrecto	Capacitación operativa.
12	Pintura	Acumulación	Exceso de pintura concentrado en una zona.	6	1	1	1	Sobreaplicación	Ajuste de flujo
13	Pintura	puntos alfiler	Orificios pero o agujeros abiertos en la película de la pintura, sucede cuando burbujas de aire revientan durante el proceso de secado.	5	1	1	1	Aire atrapado o contaminación	Mejor limpieza y curado.

Figura 4. Matriz FRACAS para la identificación y clasificación histórica de defectos. Fuente: Elaboración propia.

Criticidad					
		Severidad			
Frecuencia		Muy severo (4)	Severo (3)	Moderado(2)	Poco severo(1)
	Muy frecuente (4)	560	415	250	150
	Frecuente (3)	415	300	230	100
	Poco frecuente (2)	250	230	150	60
	Remoto (1)	150	100	60	30

Figura 5. Matriz de evaluación de defectos. Fuente: Elaboración propia.

Con la finalidad de contrastar estos hallazgos con las condiciones reales observadas en el área de trabajo, se realizó una inspección directa en dicho área. Se identificó una acumulación considerable de piezas pendientes de retrabajo, por lo que se realizó un inventario detallado.

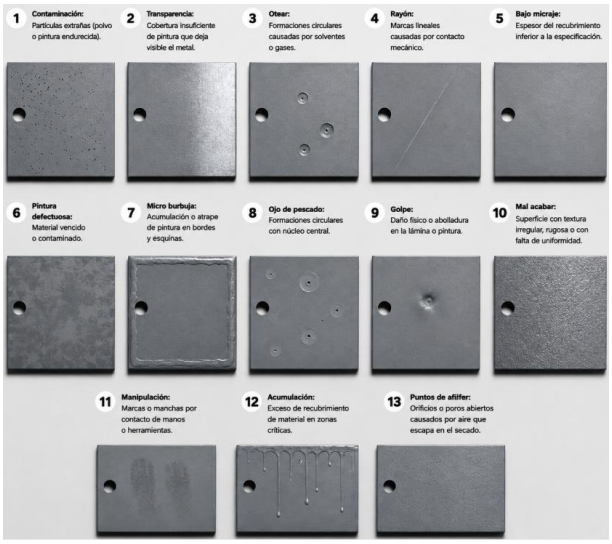


Figura 6: Defectos superficiales de piezas de retrabajo. Fuente: Elaboración propia.

Se contabilizó un total de 457 piezas con defectos superficiales diversos. Derivado de este registro, la aplicación de la clasificación ABC, como se muestra en la Figura 7, permitió segmentar el volumen operativo y lograr una jerarquización clara para optimizar el flujo físico y el orden de reparación. Este comportamiento coincide con lo expuesto por Fentanes et al. (2025), quienes demostraron que la estratificación del inventario bajo criterios ABC permite identificar visualmente los elementos críticos dentro del inventario, además, permite mejorar la toma de decisiones, mejorando la productividad de las operaciones y el control sobre los flujos de componentes en las áreas de trabajo.

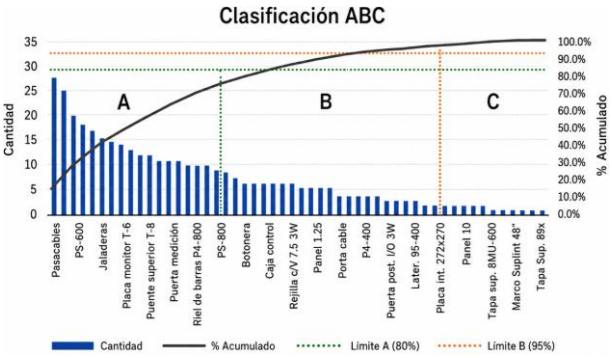


Figura 7. Clasificación ABC para la identificación de elementos críticos en área de retrabajo. Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, la Figura 8 exhibe el estado del área de almacenamiento destinada al producto de retrabajo en el piso de producción; la disposición observada de dicha ilustración constituye el estado posterior a la segregación y ordenamiento del material, facilitando un control visual del área que optimiza.

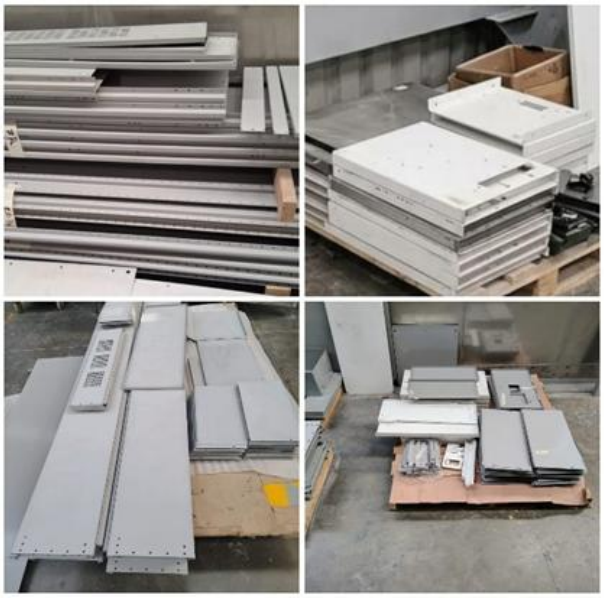


Figura 8: Área de retrabajo con acumulación de piezas. Fuente: Elaboración propia.

Con el inventario ya clasificado mediante el análisis ABC, se procedió a evaluar la frecuencia de los defectos específicos que originaron dicho acumulado a través de un diagrama de Pareto respecto a Chávez et al.(2024), puesto que este recurso permite organizar las incidencias en orden descendente para identificar aquellas fallas que generan la mayor afectación dentro del proceso, sustentándose en el principio propuesto por Vilfredo Pareto, donde una proporción reducida de causas suele concentrar la mayor parte de los efectos (defectos), a este concepto se le conoce comúnmente como regla 80/20.

Los resultados, como se muestra en las Figuras 9 y 10, evidencian que el defecto por contaminación presentó la mayor ocurrencia, acumulando 181 registros, equivalentes al 39.6% del total analizado. En conjunto con los defectos de transparencia (110 casos) y cráter (68 casos), estos tres tipos de defectos concentraron 359 incidencias, lo que representa el 78.6% total registrado. Las filas sombreadas en color gris reflejan la acumulación cercana al principio (80/20)Bajo esta tendencia, la contaminación sobresalió frente al resto de los defectos evaluados, al concentrar la mayor proporción de las incidencias y reflejando su papel como el principal defecto asociado al retrabajo del proceso. Al cotejar estos hallazgos con investigaciones previas, emerge un comportamiento comparable con lo reportado por Jiménez et al. (2023) y Carrazco et al. (2025), quienes destacan que la identificación y priorización de defectos

críticos permiten enfocar los esfuerzos de mejora sobre las principales fuentes de falla, contribuyendo a mejorar el proceso y a la disminución significativa de los defectos.

Defecto	Frecuencia	%Individual	%Acumulado
Contaminación	181	39.6%	39.6%
Transparencia	110	24.1%	63.7%
Cráter	68	14.9%	78.6%
Rayón	38	8.3%	86.9%
Ojo de pescado	25	5.5%	92.3%
Bajo micraje	15	3.3%	95.6%
Pintura	10	2.2%	97.8%
Marco lamina	5	1.1%	98.9%
Golpe	3	0.7%	99.6%
Mal acabado	2	0.4%	100%
Total	**457**	**100%**	

Figura 9. Clasificación de defectos por frecuencia y porcentaje. Fuente: Elaboración propia.

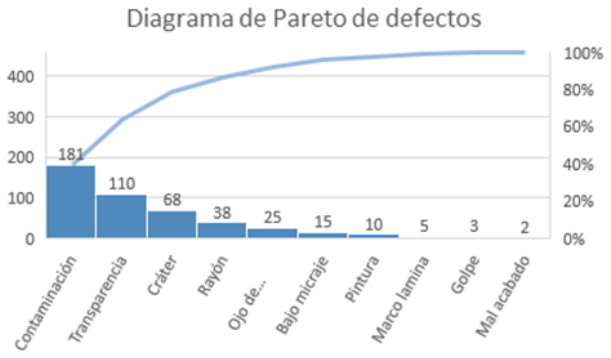


Figura 10. Identificación y priorización del defecto crítico en el inventario. Fuente: Elaboración propia.

Tras identificarse la contaminación como el defecto con mayor ocurrencia dentro del proceso, se profundizó en el análisis de los factores asociados a su presencia en el área de pintura. El desglose estructurado que ofrece el diagrama de Ishikawa permite examinar a fondo las variables críticas de un proceso, transformando la búsqueda de la causa raíz en un esquema visual y ordenado (García Romero et al.,2026).

El análisis de causa-raíz, reflejado en la Figura 11, revela que la contaminación no se originó de una sola causa, sino de distintos factores críticos en el área de pintura en los cuales con mayor relevancia destacan en la categoría de medio ambiente, la presencia de polvo suspendido en el área, en mano de obra, la limpieza deficiente, condiciones que favorecen la adhesión de partículas sobre la superficie pintada y afectan directamente a la calidad del acabo. De igual manera, en la categoría de máquinas se identificó la falta de mantenimiento previo, lo que contribuye a la acumulación de residuos y afecta las condiciones de los equipos del proceso. Por otra parte, dentro del factor de medición se observó la inexistencia de listas de verificación para las actividades de limpieza, limitando el seguimiento y control de las condiciones del área de pintura.

A partir de estos hallazgos, es posible deducir que las deficiencias en el control operativo y a las condiciones ambientales del entorno fueron detonantes clave para la aparición del defecto de contaminación, lo que termino elevando el índice de piezas de retrabajo. Esta situación coincide con lo expuesto por Kurc-Lisiecka y Lisiecki (2025), quienes identificaron que la contaminación superficial es un defecto recurrente en los recubrimientos de pintura en polvo, vinculado su origen a factores como una preparación deficiente de la superficie, la falta de control en el proceso y fallas operativas al momento de aplicar la capa de pintura. A su vez, Molina-Barrios et al. (2023) señalan que el diagrama de Ishikawa es clave para desglosar ordenadamente los factores que alteran la calidad, sirviendo como guía directa para establecer las acciones correctivas del proceso.

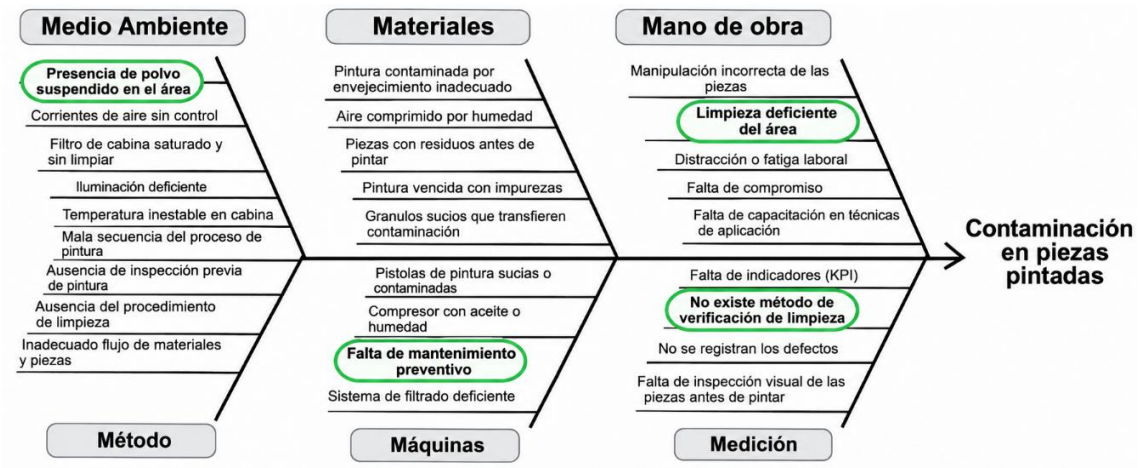


Figura 11: Diagrama de Ishikawa del defecto de contaminación en el proceso de pintura electrostática. Fuente: Elaboración propia.

Acciones correctivas y de mejora implementadas

Una vez identificadas las causas mediante el diagrama de Ishikawa, la ejecución de acciones orientadas a mejorar en el proceso de pintura. Los resultados demuestran la efectividad del reacondicionamiento del área mediante rutinas de limpieza diaria, mantenimiento periódico de la línea, así como la implementación de un formato de registro diseñado para este proceso. Dicho formato ayudó a organizar y controlar variables como la fecha, el diseño de la pieza, la cantidad de piezas nuevas y de retrabajo, el color, la OP y el total. Las características de este formato se aprecian en la Figura 12, donde, además, se muestra una vista parcial de los primeros días de registro. Al final. La integración de este recurso hizo más sencillo el seguimiento de la producción diaria y aportó datos claros sobre el flujo del material, logrando que el proceso estuviera más controlado. Lo anterior concuerda con lo expuesto con Ramos Luna et al. (2024), quienes sostienen que la recopilación y monitoreo de la información dentro de los procesos productivos contribuyen al control de las operaciones y a la identificación de oportunidades de mejora para incrementar el desempeño del proceso.

Control y seguimiento de piezas de pintura

Fecha	Descripción	Cantidad de piezas nuevas	Cantidad de piezas de retrabajo	Color	OP	Total
01/08/2025	Caja de seguridad	20		Gris Asa 61 Nema	20	
	Panel lateral 1200	1	2	Gris Asa 61 Nema	20	22
	Panel frontal P6-800	1		silver	20	
	Angulos QHO	15		negro kraken	20	
	Pestaña corta frontal	2		Gris Asa 61 Nema	20	
	Pestaña lateral frontal P4	2		Gris Asa 61 Nema	20	
	Puerta lat. Post. P6-800	2		Gris Asa 61 Nema	20	
	Angulo post. Estructuras	2		Gris Asa 61 Nema	20	
	Panel frontal P6-800	1		Gris Asa 61 Nema	19	
	Tapa post. P6-800	1		Gris Asa 61 Nema	20	
	Tapa lateral NEMA P-6-00	2		Gris Asa 61 Nema	20	
	Angulo post. De estructura	4		Gris Asa 61 Nema	20	
	Pestaña lateral post	4		Gris Asa 61 Nema	19	
02/08/2025	Pestaña lateral frontal3	4		Gris Asa 61 Nema	20	
	Tapa lateral P-6-800	4		Gris Asa 61 Nema	20	
	Conjunto de cajas de seguridad	142		Gris Asa 61 Nema	20	220
	Panel frontal P-6-800	2		Gris Asa 61 Nema	20	
	Panel post. P-4-00	2		Gris Asa 61 Nema	21	
	Sop. Posterior P6-800	4		Gris Asa 61 Nema	20	
	Pestaña corta post.	4		Gris Asa 61 Nema	20	
	Post. Corta frontal	4		Gris Asa 61 Nema	20	
	Lat.P-6-800		6	Gris Asa 61 Nema	19	
	Base para tapa sup.		4	Gris Asa 61 Nema	20	
	Colum. intermedia		7	Gris Asa 61 Nema	20	
	Lat. side 43"		2	Gris Asa 61 Nema	20	
	Angulos QHO	13		Negro Kraken	20	
03/08/2025	Tapa frontal inferior P-6-800	120		Gris Asa 61 Nema	20	
	Riel soporte barras P-4-00	22		Gris Asa 61 Nema	20	180
	Cajas RIO	15		Gris Asa 61 Nema	20	
	Colum. intermedia		10	Gris Asa 61 Nema	20	
04/08/2025	Tapa frontal inferior P4-400	24		Gris Asa 61 Nema	20	24
Total general		442	31			473

Figura 12. Formato de control y seguimiento de las piezas en la línea de producción. Fuente: Elaboración propia.

Con la intervención en la línea de pintura se logró una mejora significativa en las condiciones operativas del proceso. El sistema quedó funcionando de manera óptima gracias a la renovación de componentes como eslabones, ganchos, la limpieza profunda de tinas, filtros, ciclones y pistolas, así como el cambio de las luminarias de la cabina. En paralelo, las acciones de orden y limpieza transformaron por completo el entorno de trabajo se redujo drásticamente la presencia de polvo y residuos, lo que abrió paso a un espacio mucho más adecuado y organizado para el día a día de las operaciones. Todo este proceso de mejora en el área puede apreciarse en el comparativo del antes y después de la Figura 13.



Figura 13. Evidencias de orden, limpieza y mantenimiento en la línea de pintura. Fuente: Elaboración propia.

En el sector industrial, el uso continuo de las líneas de pintura provoca un desgaste acelerado que aumenta la probabilidad de fallas; por ello, resulta fundamental aplicar un mantenimiento que permita recuperar y proteger el sistema, tal como explican Gu et al. (2023). Siguiendo esta premisa, en este estudio se implementaron mejoras mecánicas directas para frenar dicho deterioro y asegurar que la producción no se detenga. Por otra parte, para mantener este nuevo estándar, se adoptó una rutina de limpieza diaria respaldada por verificaciones semanales. Esto se facilitó mediante una lista de cotejo (checklist) basada en la metodología 5S y diseñada específicamente para las necesidades del proceso, el cual ayudó al personal a adoptar y reforzar estas prácticas de forma constante.
El formato utilizado para estas evaluaciones se muestra en la Figura 14.

Este control coincide con lo expuesto por Castillo-Bolaños et al. (2025), quienes explican que la acumulación de polvo, suciedad y restos de pintura dentro del área de trabajo es unas razones principales por las que aparecen defectos en las piezas, haciendo que la limpieza constante sea clave para eliminar fuentes de contaminación. En alineación este enfoque, el trabajo en este estudio no se limitó únicamente a la cabina de pintura, sino que se extendió de forma general a los almacenes de material, las zonas de trabajo y las áreas comunes, lograron mantener un orden integral en toda el área.

CHECK LIST 5S PARA CONTROL DEL ÁREA DE PINTURA						
Frecuencia de evaluación: Semanal		Fecha de evaluación:		12/09/2025		
No.	**Actividad a verificar**	**5S**	**Cumple (1)**	**No cumple (0)**	**Observaciones**	**Puntaje**
1	¿Se retiraron del área las herramientas innecesarias?	**Seiri** (clasificar)	1	0		1
2	¿El área se encuentra libre de objetos ajenos al proceso?	**Seiri** (clasificar)	1	0		1
3	¿Las herramientas se encuentran colocadas en su lugar asignado?	**Seiton** (Ordenar)	1	0		1
4	¿Se respetan las áreas de almacenamiento establecidas?	**Seiton** (Ordenar)	0	1	Se requiere una mejor distribución y clasificación del material.	0
5	¿El piso se encuentra limpio y libre de polvo o residuos?	**Seiso** (Limpiar)	1	0		1
6	¿Se realizó la limpieza diaria del área?	**Seiso** (Limpiar)	1	0		1
7	¿La cabina de pintura se encuentra limpia?	**Seiso** (Limpiar)	1	0		1
8	¿Se siguen los procedimientos de limpieza definidos?	**Seiketsu** (Estandarizar)	1	0		1
9	¿Se mantienen las condiciones de orden y limpieza en el área?	**Seiketsu** (Estandarizar)	1	0		1
10	¿Se cumplen las actividades programadas de limpieza?	**Shitsuke** (Disciplina)	1	0		1
11	¿El personal participa en las actividades de orden y limpieza?	**Shitsuke** (Disciplina)	1	0		1
Total Cumple						10
Porcentaje						91%
Nivel						Excelente

Figura 14. Checklist de verificación semanal basado en metodología 5S. Fuente: Elaboración propia.

Durante el periodo de seguimiento, el registro continuo de las piezas defectuosas permitió controlar su flujo y agilizar su salida. Como se muestra en la Figura 15, este formato permitió gestionar oportunamente la atención de los defectos conforme aparecían, evitando la acumulación de material en el área de almacenamiento de retrabajo. La implementación de este registro mejoró el control de las piezas pendientes de retrabajo y facilitó el seguimiento continuo de los defectos a lo largo del proceso.

Registro de retrabajo generado en pintura										
Fecha de registro	**Fecha de rechazo**	**Cantidad**	**Nombre de la pieza**	**Defecto**	**Área**	**Reportado por**	**Proceso de retrabajo (Costo y detalle)**		**Tiempo total**	**Operador**
							Hora de inicio	**Hora de término**		
03/11/2023	03/11/2023	1	Lateral de 3	Temperatura	Pintura	C.J	10:00	10:04	4 min	-
03/11/2023	03/12/2023	2	Lateral de 3	Temperatura	Pintura	C.J	10:10	10:20	10 min	-
03/11/2023	03/12/2023	11	Soldaduras	Temperatura	Pintura	C.J	11:20	11:41	21 min	-
03/11/2023	03/12/2023	1	Tapa ventilación	Contaminación	Pintura	C.J	08:30	08:33	3 min	L.V
03/11/2023	03/12/2023	2	Tapa ventilación	Ojo (contaminación)	Pintura	C.J	08:40	08:51	11 min	L.V
03/11/2023	03/12/2023	2	Soportes de rieles	Contaminación	Pintura	C.J	09:15	10:00	45 min	A.R
03/11/2023	03/12/2023	4	Ángulos	Contaminación pintura se	Pintura	C.J	10:00	10:40	40 min	J.J
03/11/2023	03/12/2023	6	Ventanas	Contaminación	Pintura	C.J	10:40	10:44	4 min	J.J
03/11/2023	03/12/2023	8	Soldaduras	Temperatura	Pintura	C.J	10:50	11:13	23 min	A.R
03/11/2023	03/12/2023	1	Ángulo	Contaminación pintura	Pintura	C.J	16:10	16:20	10 min	Zirve
03/11/2023	03/12/2023	2	Puerta tolvas	Curado precario	Pintura	C.J	16:15	16:31	16 min	A.R
03/11/2023	03/12/2023	1	Defensa de	Marcas de Agua	Pintura	C.J	12:10	12:25	15 min	L.V
03/11/2023	03/12/2023	3	Ángulo	Temperatura	Pintura	C.J	12:54	13:29	35 min	L.V
03/11/2023	03/12/2023	1	Ventana superior	Inder	Pintura	C.J	13:04	13:20	16 min	A.R
03/11/2023	03/12/2023	8	estructura late-ral	Temperatura	Pintura	C.J	16:00	16:49	49 min	J.J
03/11/2023	03/12/2023	1	Puerta tolvas	Curado precario	Pintura	C.J - D.V	10:03	10:32	29 min	J.J
03/11/2023	03/12/2023	1	Puerta tolvas	Curado precario	Pintura	C.J - D.V	11:03	11:32	29 min	J.J

Figura 15. Formato de registro de defectos generados. Fuente: Elaboración propia.

Las acciones implementadas durante el estudio contribuyeron a mejorar el control del proceso y a mejorar favorablemente las condiciones del área. El enfoque principal se centró en atacar el problema de contaminación, al ser el defecto crítico del área y el que ocasionaba la mayor parte de retrabajo.

Como se muestra el diagrama de Pareto de diciembre en la Figura 16, el total de defectos disminuyo a solo 91, lo que representa una reducción significativa en comparación con las 457 piezas que se tenían acumuladas al inicio.

El mayor impacto se observó en la contaminación; en septiembre con solo 32 piezas. Aunque este defecto y el de transparencia continúan encabezando el diagrama, el volumen real de piezas es mínimo. Esto demuestra que las acciones lograron frenar el problema, disminuir el retrabajo y agilizar el flujo de producción.

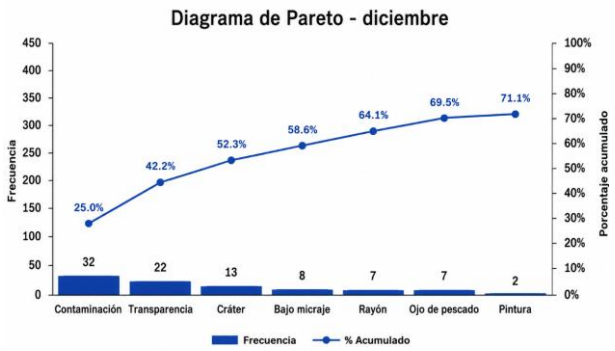


Figura 16. Diagrama de Pareto de reducción de defectos del proceso de pintura. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, al concluir el estudio, el área de retrabajo se muestra en la Figura 17. El espacio evidencia la correcta aplicación de las rutinas de orden y limpieza, al encontrarse libre de material acumulado, logrando liberar por completo el inventario pendiente de meses anteriores. Este contraste es significativo respecto a las condiciones iniciales del estudio.



Figura 17. Condiciones finales del área de retrabajo (enero, 2026). Fuente. Elaboración propia.

Conclusiones

La adopción de las herramientas de calidad y mejora continua fue clave para cumplir con el propósito principal del estudio: mitigar la falta de control en la línea de pintura, diferenciar con exactitud las piezas que se procesaban de aquellas que eran de retrabajo y disminuir la acumulación de material en dicha área. Por su parte, la implementación del sistema FRACAS permitió obtener un panorama claro del comportamiento de los defectos, lo que facilitó la comprensión de los factores con mayor impacto y el análisis de su causa raíz. Aunque el estudio siguió un enfoque implícito del ciclo PDCA, comenzando con la detección del problema en la fase de Planear, centrar los esfuerzos en combatir la contaminación ofreció excelentes aportaciones. Las acciones correctivas, como el mantenimiento de la línea y la limpieza del área, demuestran que el seguimiento constante y la verificación del cumplimiento del orden conducen a optimizar el proceso. Esto se alinea con las investigaciones previas del estudio, las cuales sostienen que una adecuada limpieza y un mantenimiento oportuno son las mejores herramientas para prevenir defectos, especialmente cuando el problema principal es la contaminación. A la par de esto, el diseño e implementación de formatos y registros inéditos fue indispensable, ya que permitió obtener una visibilidad exacta del volumen de piezas pintadas al día y seguimiento de la producción.

Al final, este proyecto fue más que los números y los datos técnicos. Se logró corregir las malas prácticas de limpieza y cuidado de los equipos; al mismo tiempo, se mejoró el desempeño del personal en sus tareas diarias y se fomentó una mayor responsabilidad, comunicación y compromiso del equipo de trabajo.

Referencias

Azamfirei, V., Psarommatis, F., & Lagrosen, Y. (2023). Application of automation for in-line quality inspection, a zero-defect manufacturing approach. Journal of Manufacturing Systems, 67, 1-22. doi: 10.1016/j.jmsy.2022.12.010

Baxevani, A., Lamprou, E., Mavropoulos, A., Stergioudi, F., Michailidis, N., & Tsoulfaidis, I. (2025). Investigation of Corrosion Resistance in Powder-Coated 6060 Aluminum Alloy: Effects of Powder Coating and Pre-Anodizing Followed by Powder Coating. Metals, 15(10), 1062. doi: 10.3390/met15101062

Carrazco, A. G., Avendaño, L. C., Luna, V. M. J., & Duque, J. I. A. (2025). Proyecto de reducción de defectos en el proceso de pintura en la fabricación de guitarras. ANFEI Digital, (17), 662-671. doi: 10.63136/read1720251084pp662-671

Castillo-Bolaños, B. N., Esquivel-Rodríguez, J., Castillo-Castillo, O., & Wong-Zapata, I. E. (2025). Aplicación de la mejora continua para la disminución de merma en la operación de pintado de productos de vidrio. Revista Interdisciplinaria de Ingeniería Sustentable y Desarrollo Social, 11(1), 362-373. doi: 10.63728/riisds.v11i1.336

Chávez, L. F., De-La-Rosa, S. E., Manjarres, J. C., Valbuena, S. G., & Becerra-Torres, M. (2024). Diagrama de Pareto. Perspectiva de la Asignatura de Control de la Calidad. Boletín de Innovación, Logística y Operaciones, 6(1), 51-56. doi: 10.17981/bilo.6.1.2024.07

Clinical and Laboratory Standards Institute. (2009). Risk Management Techniques to Identify and Control Laboratory Error Sources; Approved Guideline—Second Edition (CLSI document EP18-A2). Wayne, PA: Clinical and Laboratory Standards Institute. Recuperado de https://clsi.org/shop/standards/ep18/

Fentanes, J. L., Morales, J. A. H., Hernández, M. G., & Vázquez, V. S. (2025). Aplicación del Análisis ABC al inventario de un productor de cancelería de aluminio. ARANDU UTIC, 12(1), 3697-3706. doi: 10.69639/arandu.v12i1.834

García Romero, N. J., Macedo Torres, L., López Alvarado, L. P., Reátegui Noriega, E., & Quintanilla Huamán, R. E. (2026). Optimización en el uso del diagrama de Ishikawa utilizando el software MindMaster. Universidad, Ciencia y Tecnología, 30(130), 37-46. doi: 10.47460/uct.v30i130.1030

Gu, D., Nie, R., Han, W., Chen, G., & Jia, L. (2023). Research on preventive maintenance strategy of Coating Machine based on dynamic failure rate. Eksploatacja i Niezawodność, 25(1), 1-10. doi: 10.17531/ein.2023.1.20

Guerrero, G. E. (2025). Un marco estratégico integrando mapeo de procesos, AMEF, FRACAS, análisis de Pareto y KPIs. Revista Mexicana de Medicina Transfusional, 17(S1), s118-s121. doi: 10.35366/121348

Hegde, V. (2024, enero). Failure Report And Corrective Action System a Closed Loop System. En 2024 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS) (pp. 1-5). IEEE. doi: 10.1109/RAMS51492.2024.10457668

Jiménez, H. F., Zuñiga, A. H., Londoño, C. A., Rativa, J. R., & Cortes, M. R. (2023). Aplicación de Seis Sigma para la Reducción de Defectos en la Fabricación de Muebles de Madera en una PYME. Dirección y Organización, (81), 52-68. doi: 10.37610/dyo.v0i81.652

Kurc-Lisiecka, A., & Lisiecki, A. (2025). Quality Assessment and Analysis of the Causes of Coating Defects in the Powder Coating Process. International Journal of Modern Manufacturing Technologies, 17(1), 7-15. doi: 10.54684/ijmmt.2025.17.1.7

Mendoza-Arvizo, U., & Solís-Rodríguez, F. T. (2022). Calidad, conocimiento e innovación de procesos de manufactura en Ciudad Juárez, México. RETOS. Revista de Ciencias de la Administración y Economía, 12(23), 83-109. doi: 10.17163/ret.n23.2022.05

Molina-Barrios, O., Ortega-García, O., Heredia-Fonseca, S., & Rivera-Rojas, L. (2023). Aplicación de la Metodología de Ishikawa en el Proceso de Cromado en una Empresa del Sector Industrial. Boletín de Innovación, Logística y Operaciones, 5(2), 62-71. doi: 10.17981/bilo.5.2.2022.06

Mora, J. G. M., Guzmán, B. A. F., Suárez, J. H., & León, J. J. M. (2025). Aplicación del Control Estadístico de Procesos: Un caso de estudio. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 9(3), 440-462. doi: 10.37811/cl_rcm.v9i2.17639

Pavón Cruz, R. A., & Pallo Paspuezan, J. D. (2026). Propuesta de mejora en el proceso de curado en una empresa metal mecánica en el área de pintura aplicando el ciclo DMAIC (Tesis de licenciatura). Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. Recuperado de http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/32423

Pérez Mendoza, E. D., Granillo Macías, R., Rivera Gómez, H., & Santanam Robles, F. (2023). Herramientas de calidad aplicadas para la mejora continua en una PYMe del sector metalmecánico. LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, 4(5), 604–619. doi: 10.56712/latam.v4i5.1341

Ramos Luna, J. P., Ibarra Villegas, F. J., & Pérez Wences, C. (2024). Método automático para la recolección y monitoreo de códigos de falla en procesos industriales guiados por PLCs. Revista de Ciencias Tecnológicas, 7(3), e361. doi: 10.37636/recit.v7n3e361

Reyes Pico, G. E. (2026). Análisis y Desarrollo de Estrategias de Calidad para la Optimización del Proceso de Pintura: Caso de Estudio en un Proveedor de Metalmecánica (Tesis de posgrado/licenciatura). Repositorio Institucional. Recuperado de https://hdl.handle.net/10882/19187

Rodríguez, D. R., Miranda, J. R., Máximo, D. V. M., Valdez, M. D. T., Ramírez, M. E. M., & Hernández, A. G. (2025). Recubrimientos a base de pintura electrostática modificados con nanopartículas de TiO2. Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI, 13(Especial4), 73-78. doi: 10.29057/icbi.v13iEspecial4.16062

Rubino, G., & Venettacci, S. (2023). Advances in powder coating of metal components: A case study for wire die springs. Journal of Manufacturing Processes, 101, 1257-1274. doi: 10.1016/j.jmapro.2023.06.067