

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

MEJORA EN LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE
MOLIENDA EN LA EMPRESA AKZONOBEL CR,
CARTAGO, DEL SEGUNDO CUATRIMESTRE
DEL 2025

Proyecto de graduación para optar por el
Bachillerato en Ingeniería Industrial

Rebeca Paniagua Gatgens

Nahum Montiel Salas

Puntarenas, 2025

Acta de Aprobación

Tabla de Contenidos

Acta de Aprobación	2
--------------------------	---

Tabla de Contenidos	2
Índice de Tablas	7
Índice de Figuras	8
Acrónimos y Siglas	10
Capítulo I: Planteamiento del Problema	12
1.1 Descripción General del Proyecto	13
1.2 Identificación de la Empresa.....	14
1.2.1 Descripción General de la Empresa AkzoNobel.....	14
1.2.2 Antecedentes del Contexto de la Empresa AkzoNobel	17
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.3.1 Definición y Medición del Problema	19
1.3.2 Justificación del Proyecto	24
1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO	25
1.4.1 Objetivo General.....	25
1.4.2 Objetivos Específicos	25
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	26
1.5.1 Alcances	26
1.5.2 Limitaciones.....	26
Capítulo II: Marco Teórico	28
2.1 Marco Conceptual General Relativo a la Carrera	28
2.1.1 Ingeniería.....	28
2.1.2 Ingeniería Industrial	29
2.1.3 Operaciones Industriales.....	29
2.1.4 Pintura Industrial.....	29
2.1.5 Pintura Automotriz	30
2.2 Marco Conceptual Atendiendo a la Gestión del Proyecto.....	30
2.2.1 Six Sigma.....	30
2.2.2 Metodología DMAIC	31
2.2.3 Fases de la Metodología DMAIC	31
2.2.3.1 Definir	32
2.2.3.1.2 Entrevista Semiestructurada.....	32
2.2.3.1.3 Diagrama de Ishikawa	32
2.2.3.2 Medir.....	34

2.2.3.2.1 Diagrama de Pareto.....	34
2.2.3.2.2 Cursograma	35
2.2.3.2.3 Tablas de Datos.....	36
2.2.3.2.4 Overall Equipment Efficiency (OEE).....	37
2.2.3.3. Analizar	38
2.2.3.3.1 Los 5 Porqué.....	38
2.2.3.3.2 Tablas de Datos.....	38
2.2.3.3.3 Gráficos.....	38
2.2.3.3.4 Análisis de Datos	39
2.2.3.3.5 Enlistamiento de Posibles Propuestas	39
2.2.3.4 Mejorar (Improve).....	39
2.2.3.4.1 Tablas de Datos.....	39
2.2.3.4.2 Gráficos.....	39
2.2.3.4.3 Planes de Acción	40
2.2.3.5 Controlar.....	40
2.2.3.5.1 Cuadros de Control.....	40
2.2.3.5.2 Indicadores Clave de Rendimiento (KPI).	40
2.3 Marco Conceptual Referente al Impacto del Proyecto.....	41
2.4.1 Mejoramiento de los Procesos de Latonería y Pintura en el Taller Automotriz Brujo Cars en la Ciudad de Bogotá. Diego Andrés Calderón Arias, 2020.....	45
2.4.2 Bases de Diseño Para una Planta de Manufactura de Pinturas en la Península de Yucatán. Francisco Javier Colli Pinto, 2021.....	46
2.4.3 Diseño de un Sistema de Planificación y Control en los Procesos que Impactan la Eficacia Operativa de la Empresa Tecno-Carrocerías Eben-Ezer. Leidy Barrantes Solano, María Paula Morera Rojas, y Fabiana Velásquez Solís, 2022.....	47
2.4.4 Estudios Previos Y Anteproyecto de una Fábrica de Pinturas. José Abel Martínez Roldán, 2022.	49
Capítulo III: Marco Metodológico	51
3.1 Metodología para la Definición del Problema.....	52
3.1.1 Observación Directa	52
3.1.1 Entrevista Semiestructurada	52
3.1.3 Diagrama de Ishikawa	53
3.2 Metodología para la Medición y Respaldo Cualitativo de Proyecto	53

3.2.1 Los 5 Por Qué.....	54
3.2.2 Diagrama de Pareto	54
3.2.3 Cursograma	54
3.2.4 Tablas de Datos	54
3.2.5 Overall Equipment Efficiency (OEE)	54
3.3 Metodología para la Propuesta de Mejora, Construcción o Puesta en Práctica de un Nuevo Proceso, Producto o Servicio.....	55
3.3.1 Tablas de Datos	55
3.3.2 Gráficos	55
3.3.3 Análisis de Datos	56
3.3.4 Enlistamiento de Posibles Propuestas.....	56
3.4 Metodología para la Implementación del Proyecto	56
3.4.1 Tablas de Datos	56
3.4.2 Gráficos	56
3.4.3 Planes de Acción.....	57
3.5 Metodología para la Verificación, Aseguramiento, Control, y Seguimiento de	57
Resultados	57
3.5.1 Cuadros de Control	58
3.5.2 Indicadores Clave de Rendimiento (KPI)	58
Capítulo IV: Análisis de Causa Raíz	59
4.1 Análisis de la Situación Actual.....	60
4.1.1 Observación Directa	60
4.1.2 Entrevista Estructurada	61
4.1.3 Diagrama de Ishikawa	74
4.1.3.1 Mano de Obra. En cuanto a la mano de obra se encontraron dos causas.	74
4.1.3.2 Medición	75
4.1.3.3 Materiales.....	76
4.1.3.4 Máquinas.....	77
4.1.3.5 Método	78
4.1.3.6 Medio Ambiente	79
4.1.4 Análisis del Diagrama de Pareto.....	80
4.1.5 Análisis del Cursograma.....	84

4.1.6	Análisis del Overall Equipment Effectiveness	86
4.1.7	Análisis de los 5 Por qué	88
	Faltante de perlas HSD	90
4.1.8	Conclusiones de la Situación Actual	92
Capítulo V: Diseño e Implementación de la Solución		94
1.	Causas y Soluciones	95
1.1	Soluciones a Corto Plazo	97
1.2	A largo plazo	98
1.2	Presupuesto	98
1.2.1	Justificación	98
1.2.	Costos	99
1.2.1	Costos Directos	99
1.2.2	Costos Indirectos	101
1.3	Inversión Total de la Propuesta	102
1.4	Análisis Costo-Beneficio	102
1.5	Periodo de Recuperación de la Inversión (Payback)	103
1.6	Retorno de la Inversión	103
1.7	Evaluación Financiera y Técnica de la Propuesta	104
1.8	Beneficios	105
1.8.1	Beneficios Operativos	105
1.8.2	Beneficios Organizacionales	105
1.8.3	Beneficios Financieros Indirectos	106
1.8.4	Resumen de Beneficios Cuantificables	106
1.8.5	Relación Costo–Beneficio	106
1.8.6	Conclusión Técnica	107
Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones		108
6.1	Conclusiones	108
6.2	Recomendaciones	110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		111
Anexos		118

Índice de Tablas

Tabla 1 Acrónimos y siglas.....	10
Tabla 2 High Speed Dispenser	21
Tabla 3 Metodología para la Definición del Problema. Fase "Definir"	52
Tabla 4 Metodología para la Medición y Respaldo Cualitativo de Proyecto. Fase "Medir".....	53
Tabla 5 Metodología para la Propuesta de Mejora, Construcción o Puesta en Práctica de un Nuevo Proceso, Producto o Servicio. Fase "Analizar"	55
Tabla 6 Metodología para la Implementación del Proyecto. Fase "Implementar".....	56
Tabla 7 Metodología para la Verificación, Aseguramiento, Control, y Seguimiento de Resultados	57
Tabla 8 Preguntas 1, 2, 4, 6, y 9 de la Entrevista Estructurada	61
Tabla 9 Minutos Adicionales que se Pierden por Lote Debido a la Alta Viscosidad.....	63
Tabla 10 Tiempo que se Podría Retrasar el Proceso de Molido por el Tipo de Pigmento.....	64
Tabla 11 ¿Qué Tanto Afecta el Mal Pesado de Materia Prima la Calidad del Producto Final?	65
Tabla 12 ¿Con Qué Frecuencia Hay Faltante de Materia Prima Que Genera Atrasos en la Molienda?	66
Tabla 13 Tiempo Que se Retrasan por Parte del Montacarga	66

Tabla 14	Evaluación de la Coordinación Entre el Área de Pesado y Molinos.....	67
Tabla 15	Tiempo Que Dura en Promedio Cada Molienda	68
Tabla 16	Principal Factor Que Más Retrasa el Proceso de Molienda	69
Tabla 17	Preguntas 14 y 15 de la Entrevista Estructurada.....	69
Tabla 18	Frecuencia del Mantenimiento del HSD y el Cowles.....	71
Tabla 19	Tiempo en Que Estuvieron sin Nitrocelulosa.....	71
Tabla 20	Preguntas 18 y 19 de la Entrevista Estructurada	72
Tabla 21	Frecuencia de las Averías en los Equipos de Molienda.....	73
Tabla 22	Atrasos de Tiempo en el Área de Molienda (Pareto 1)	80
Tabla 23	Atrasos de Tiempo en el Área de Molienda (Pareto 2)	82
Tabla 24	Cursograma.....	84
Tabla 25	KPI del OEE	86
Tabla 26	Disponibilidad.....	86
Tabla 27	Rendimiento	87
Tabla 28	Calidad.....	87
Tabla 29	Pesado de Materia Prima	88
Tabla 30	Atrasos en el Montacarga.....	89
Tabla 31	Faltante de Perlas	90
Tabla 32	Causas y Soluciones del Atraso en Molienda	95
Tabla 33	Costos Directos.....	99
Tabla 34	Costos Indirectos.....	101
Tabla 35	Indicadores Financieros.....	104

Índice de Figuras

Figura 1	Empresa Akzonobel, Costa Rica	16
Figura 2	Overall Equipment Efficiency.....	23
Figura 3	Pintura Industrial	30
Figura 4	Metodología DMAIC	31
Figura 5	Diagrama de Ishikawa.....	33
Figura 6	Diagrama de Pareto.....	34
Figura 7	Cursograma	35
Figura 8	Tablas de Datos	36
Figura 9	Overall Equipment Efficiency.....	37
Figura 10	Gráficos.....	38
Figura 11	Cuadro de Control	40

Índice de Gráficos

Gráfico 1 Minutos Adicionales que se Pierden por Lote Debido a la Alta Viscosidad ..	63
Gráfico 2 Tiempo que se Podría Retrasar el Proceso de Molido por el Tipo de Pigmento.....	64
Gráfico 3 ¿Que Tanto Afecta el Mal Pesado de Materia Prima la Calidad del Producto Final?	65
Gráfico 4 ¿Con Qué Frecuencia Hay Faltante de Materia Prima Que Genera Atrasos en la Molienda?	66
Gráfico 5 Tiempo que se Retrasan por Parte del Montacarga.....	67
Gráfico 6 Evaluación de la Coordinación entre el Área de Pesado y Molinos.....	67
Gráfico 7 Tiempo Que Dura en Promedio Cada Molienda	68
Gráfico 8 Principal Factor Que Más Retrasa el Proceso de Molienda.....	69
Gráfico 9 Preguntas 14 y 15 de la Entrevista Estructurada.....	70
Gráfico 10 Mantenimiento del HSD y el Cowles	71
Gráfico 11 Tiempo en Que Estuvieron sin Nitrocelulosa	72
Gráfico 12 Frecuencia de las Averías en los Equipos de Molienda.....	73
Gráfico 13 Atrasos de Tiempo en el Área de Molienda (Pareto 1).....	80
Gráfico 14 Atrasos de Tiempo en el Área de Molienda (Pareto 2).....	82
Gráfico 15 Causas del Retraso en la Etapa de Molienda.....	95

Acrónimos y Siglas

Tabla 1 Acrónimos y siglas

Abreviación	Significado	Página
HSD	Dispersores de Alta Velocidad/High-Speed Dispersers.	6
OEE	Overall Equipment Efficiency.	12
DMAIC	Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.	14
KPI	Indicadores Clave de Rendimiento	27
MES	Manufacturing Execution System	27
AS IS	Análisis del Estado Actual de un Proceso	30

Fuente: *Elaboración propia, 2025*

Resumen Ejecutivo

Paniagua Gatgens, R. (2025) Mejora en la Reducción de Tiempos de Molienda en la Empresa AkzoNobel CR, Cartago, del Segundo Cuatrimestre del 2025. [Proyecto de Graduación para Optar por el Bachillerato en Ingeniería Industrial, Universidad Hispanoamericana]. Profesor asesor: Nahum Montiel Salas.

Este proyecto se elaboró en la empresa AkzoNobel Costa Rica, ubicada en Ochomogo, Cartago, dedicada a la elaboración de pinturas y recubrimientos. El eje central de la investigación fue la etapa de molienda de la pintura automotriz, identificando altos tiempos, variabilidad en la operación, y reprocesos que afectan la eficiencia productiva y originan atrasos en la fabricación.

El objetivo del proyecto fue reducir en un % los tiempos promedio de molienda, a través de la aplicación de la metodología Six Sigma DMAIC y el uso del indicador Overall Equipment Efficiency (OEE) para medir la eficacia del proceso. El estudio se enfocó en la etapa de molienda, estableciendo como

limitaciones la disponibilidad de datos internos y la exclusión de otras fases del proceso productivo.

En la investigación se aplicaron herramientas como observación directa, entrevistas semiestructuras, diagramas de Ishikawa y Pareto, cursograma, y análisis del OEE, permitiendo detectar como principales causas raíz la falta de estandarización del proceso, errores de pesado de materia prima, y desgaste de equipos.

Se sugirió una propuesta de mejora para darle solución a las causas raíz, permitiendo reducir los tiempos de molienda, mejorar la eficacia operativa, y aumentar la productividad.

Capítulo I: Planteamiento del Problema

1.1 Descripción General del Proyecto

Actualmente, la industria automotriz es una de las más grandes e importantes en cualquier parte del mundo porque millones de personas utilizan un vehículo para transportarse a realizar las diferentes actividades de su vida. Por este motivo, adquiere gran relevancia que estos vehículos tengan características específicas que les ofrezcan seguridad y confiabilidad pero que a la vez sean estéticamente atractivos.

Un aspecto determinante para que un vehículo sea atractivo es su pintura. Sin embargo, la pintura no solo es útil para lograr la belleza visual del vehículo, sino para darle protección del deterioro provocado a su carrocería por las inclemencias del ambiente.

El proceso de fabricación de pintura automotriz incluye varias etapas: dispersión, mezclado, molienda, completado y envasado. El desarrollo de cada una de estas etapas adquiere gran relevancia para el resultado final del proceso de pintura de un vehículo.

En Costa Rica, una de las empresas dedicadas a la fabricación de pintura automotriz es Akzonobel, quien bajo la marca Protecto ofrece al público pintura

de auto de la línea Mega. Esta empresa, ubicada en Ochomogo de Cartago, en busca mejorar y reducir los tiempos de proceso de la fabricación de los productos que llevan molienda mediante HSD, en Inglés, High-Speed Dispenser, los cuales son los equipos que utiliza esta empresa para moler los pigmentos, además de los Cowless para mezclar, dispersar, y homogenizar los componentes de la pintura tales como resinas y aditivos.

Este proyecto investigativo se enfoca en una de las etapas de la elaboración de pintura para vehículos, específicamente el proceso de molienda, ubicándolo dentro de la línea de investigación de la Escuela de Ingeniería Industrial, clasificada como Operaciones Industriales. Lo anterior debido a que este proyecto promueve la optimización del proceso de fabricación de pintura y se analizará los tiempos de la etapa de molienda en dicho proceso.

La empresa Akzonobel, ubicada en Costa Rica, desea mejorar y reducir los tiempos en el proceso de elaboración de su pintura automotriz de la línea Mega. Este problema se manifiesta en los altos tiempos de molienda registrados en los Dispersores de Alta Velocidad (HSD), equipos industriales utilizados para moler los pigmentos.

Lo antes descrito da origen la pregunta de este proyecto investigativo ¿Cómo se puede mejorar y reducir los tiempos de molienda de la pintura automotriz en la empresa Akzonobel CR, Cartago, del Segundo cuatrimestre del 2025?

1.2 Identificación de la Empresa

1.2.1 Descripción General de la Empresa AkzoNobel

Este proyecto investigativo se desarrolla en la empresa Akzonobel, Costa Rica, compañía especializada en pinturas con presencia en más de ciento

cincuenta países del mundo, y busca posicionarse en el mercado de pinturas y revestimientos a nivel latinoamericano. Esta empresa se constituyó con capital neerlandés y trabaja bajo diferentes marcas en el país y Sudamérica, siendo una de las más reconocidas en el mercado centroamericano y nacional, la marca Protecto.

La empresa se ubica en Ochomogo, Cartago, específicamente un kilómetro al Oeste de Recope. Cuenta con dos plantas, en las cuales se producen pinturas base agua y base aceite (DECO) y automotriz (RAD), teniendo aproximadamente cuarenta colaboradores.

La empresa distribuye pinturas a Centroamérica, y tiene plantas en Panamá y Costa Rica, así como centros de distribución en Honduras, Nicaragua, El Salvador, y Costa Rica. Se dedica a la producción y comercialización de pinturas y recubrimientos de alto desempeño para diversas industrias, incluyendo la construcción, el hogar y la industria automotriz. Ofrecen soluciones integrales para proteger, mantener y decorar diferentes espacios, con un enfoque en la sostenibilidad y la innovación. Además, tienen una cadena de tiendas especializadas para atender las necesidades de sus clientes.

La misión de la empresa Akzonobel es la siguiente: “Brindamos soluciones innovadoras, sostenibles y de alta calidad en las que nuestros consumidores confían para proteger y decorar sus espacios y bienes, generando valor a nuestros grupos de interés.”

La visión de esta empresa es: “Somos una Compañía de pinturas, líder en Latinoamérica reconocida por tener las marcas preferidas por los consumidores, una llegada al mercado cercana, un crecimiento superior al promedio de la industria y una generación de valor positiva para los inversionistas.”

La empresa Akzonobel, Costa Rica tiene un amplio portafolio que incluye pintura, barnices, primers, catalizadores, masillas, solventes y sistemas de color, entre otros. Además, ofrece soluciones para exteriores e interiores para diferentes materiales como madera y metal.

Esta empresa cuenta con diferentes células de trabajo, en la planta RAD, dentro de las que están las denominadas Dispersiones, Masillas, y Molinos. La célula donde se realiza el proyecto investigativo es la célula Molinos, que contempla equipos HSD y Cowles dedicados a la molienda de todos los productos necesarios para la producción de pintura según la fórmula de producto.

La planta 2, donde se realiza el proyecto investigativo, cuenta con dieciséis operadores, divididos en operario 1, operario 2 y operario 3. En el área de molienda únicamente trabajan los operarios 3 ya que ellos tienen mayor experiencia laboral. Protecto cuenta con ciento cincuenta colaboradores en total, y cincuenta operadores de producción aproximadamente

Figura 1 Empresa Akzonobel, Costa Rica



Fuente: Manufactura Akzonobel, 2025

1.2.2 Antecedentes del Contexto de la Empresa AkzoNobel

Multinacional AkzoNobel adquirió Pintuco en Colombia y esta transacción incluyó operaciones de Protecto en Costa Rica. La compra tuvo como objetivo expandir la posición de la empresa —a largo plazo— en América del Sur y América Central.

AkzoNobel, una firma en la industria de pinturas —con sede en los Países Bajos— adquirió las operaciones de la compañía colombiana de pinturas y revestimientos Grupo Orbis, la cual agrupó empresas como Pintuco, Andercol, y Poliquim (resinas) y Mundial (distribución y servicios).

Asimismo, incluyó la compra de ocho plantas de manufactura, cinco pertenecientes a Pintuco y otras tres alrededor de Colombia, Ecuador, Costa Rica, Panamá y Curacao.

Pintuco con sede en Colombia, era la propietaria de las operaciones de la marca Protecto en Costa Rica. Esta adquisición de \$120 millones, tuvo lugar en el año 2012, luego de que la firma colombiana comprara Grupo Kativo —dueño de la marca Protecto—.

La información fue dada a conocer el 29 de junio por medio de un comunicado de prensa publicado en el sitio web de AkzoNobel.

La compra realizada por AkzoNobel tuvo como objetivo expandir la posición de la empresa —a largo plazo— en América del Sur y América Central. “Se trata de una excelente adquisición prevista que se alinea perfectamente con nuestra estrategia Grow & Deliver de crear posiciones líderes a nivel mundial e impulsar el crecimiento en los mercados emergentes. Expandirá nuestra posición a largo plazo en América del Sur al establecernos como pioneros en la región andina y en América Central, donde varios países ocupan un lugar destacado en

las clasificaciones de crecimiento mundial durante la próxima década”, explicó Thierry Vanlancker, director ejecutivo de AkzoNobel.

Por su parte, Grupo Orbis —con presencia— en diez países de Suramérica, Centroamérica y Antillas— cuenta con ingresos consolidados de alrededor de \$307 millones.

“Este acuerdo representa una importante oportunidad de crecimiento para las empresas del Grupo Orbis. Creemos firmemente que hay varios beneficios, como el acceso a la tecnología y los canales de innovación. Asimismo, encontramos grandes oportunidades para el desarrollo de nuestros colaboradores y nuestros clientes, quienes podrán acceder a un portafolio ampliado y más completo”, dijo Andrés Bernal, CEO de Grupo Orbis.

Esta adquisición fue el resultado de una serie de compras recientes de AkzoNobel en la industria de pinturas y recubrimientos durante los últimos dieciocho meses, que han incluido Titan Paints en España y New Nautical Coatings en Estados Unidos.

En el comunicado se indicó que la compra de Grupo Orbis —además de crear valor a partir de la innovación de productos y servicios a nivel mundial y regional— también le permitió a AkzoNobel servir mejor a los clientes en más geografías, así como acceder a nuevos mercados.

“Ambas empresas comparten una fuerte creencia en el poder transformador del color y un enfoque altamente comprometido con la sostenibilidad. Por lo tanto, se espera que unirse al programa “Let’s Colour” de AkzoNobel con la experiencia de la Fundación Pintuco, proporcione un nuevo impulso para mejorar aún más la calidad de vida de las personas en las comunidades locales de toda la región”, indicó la compañía en su página web.

AkzoNobel tiene una cartera mundial de marcas de “clase mundial” tales como Dulux, International, Sikkens, e Interpon. Tienen presencia en más de ciento cincuenta países y emplean a más de treinta y tres mil personas.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1 Definición y Medición del Problema

En el proceso de fabricación de pinturas, una de las etapas fundamentales es la producción de pastas (pigmentos) los cuales se obtienen mediante la molienda de pigmentos utilizando equipos especializados de alta velocidad conocidos como HSD (High-Speed Disperser). Estos equipos están diseñados para lograr una dispersión eficiente de los pigmentos; sin embargo, en la práctica operativa se ha evidenciado que los tiempos de ciclo son elevados y variables, lo que ha generado un impacto directo en la capacidad de la célula de trabajo y en la productividad general del área.

Esto queda en evidencia en cuanto se comienza a moler la pintura y se realiza la muestra cada cinco horas, ya que en algunas ocasiones la pintura se observa con alto brillo, viscosidad alta o baja, poder tintóreo entre otros, se revisa sí se que tiene que realizar un ajuste en el proceso de fabricación del acabado de la pintura de acuerdo con las normas de calidad de la empresa; por lo tanto, el operador debe solicitar más materia prima de acuerdo a lo que el analista de calidad le indique.

El operador debe esperar de treinta y cinco minutos a una hora para que le provean la materia prima extra para hacer el ajuste en el acabado. Esto ocasiona que las etapas de la fabricación de la pintura se atrasen. Por ejemplo, el atraso del montacarga al traer la materia prima extra solicitada puede ocasionar que la etapa de molienda tarde más tiempo de lo esperado, de tal

manera que por ejemplo una las pintura que realicen puede tardar desde diez horas hasta veinticuatro horas para estar lista.

Otro problema identificado se presenta en el área de pesado. El personal de esta sección es responsable de marcar como “visto bueno” la materia prima correspondiente a cada fórmula utilizada en la fabricación de los distintos tipos de pintura. Sin embargo, cuando los colaboradores del área de pesado aprueban los materiales como revisados, el operario del área de molinos confía en que la materia prima fue verificada correctamente y procede a añadirla al cowles para iniciar el mezclado.

El inconveniente surge cuando, al realizar el muestreo de arrastre comparativo, se detectan diferencias significativas en las propiedades del producto. Esto ocurre porque, en algunos casos, el área de pesado no envía la totalidad de la materia prima indicada en la fórmula.

En ciertas ocasiones, los operarios de molienda vuelven a pesar los materiales antes de incorporarlos al Cowles y descubren faltantes. Por ejemplo, si se está elaborando un galonaje de 50 y faltan 100 gramos de pigmento, la diferencia es notable al comparar con la muestra del arrastre, ya que el volumen del lote es pequeño. En cambio, si se trata de un galonaje mayor, como de 250, la ausencia de esa misma cantidad de pigmento no genera un impacto visible en el producto final debido a la mayor proporción de materiales.

Es importante destacar que los operarios de molido revisan las fórmulas y van tachando los componentes conforme los van añadiendo, lo que demuestra su compromiso con el control del proceso. No obstante, la falta de precisión en el área de pesado representa un riesgo de variabilidad en la calidad del producto.

La organización cuenta con cuatro HSD, se mostrarán en la siguiente tabla:

Tabla 2 High Speed Disperser

MODEL	TAMAÑO DE LOTE RECOMENDADO MIN/MAX (GALONES)	VOLUMEN DE MEDIOS (LITROS)
	LOS LOTES MAS GRANDES REQUERIRAN TIEMPOS DE MOLIENDA MAS LARGOS	
HSD-01	5/20 GALONES	1
HSD-05	35/60 GALONES	4,5
HSD -10	50/150 GALONES	8
HSD-20	120/250 GALONES	18

Fuente: Manufactura Akzonobel, 2025

En el proceso de fabricación de pinturas, se ha detectado una problemática relacionada con el estado mecánico de los equipos de molienda tipo HSD (High Speed Disperser), los cuales son fundamentales para la elaboración de pastas y concentrados. Específicamente, se ha observado que el desgaste de componentes clave como las esferas de molienda, una pieza conocida comúnmente como "manzana", y los pines, afecta significativamente el desempeño del equipo.

Cuando estas piezas presentan desgaste, el equipo no logra moler los pigmentos con la misma eficiencia que cuando se encuentra en óptimas condiciones. Como resultado, el tiempo requerido para completar un lote de pintura aumenta considerablemente. Esta disminución en la capacidad de dispersión genera retrasos en el proceso, ya que la pasta no alcanza la consistencia adecuada en el tiempo esperado, provocando tiempos de espera adicionales y afectando directamente la productividad de la planta.

Las variaciones en los parámetros de carga, tiempos de dispersión y velocidades de agitación han dependido en gran medida del criterio del operario,

lo que ha generado inconsistencias en la calidad del producto y en la duración del ciclo de producción esta falta de estandarización ha dificultado también la planificación eficiente de la producción, al no poder estimar con precisión la capacidad de respuesta del área frente a la demanda.

Además, se ha identificado que los equipos HSD no cuentan con un programa formal de mantenimiento, lo cual ha contribuido al deterioro del desempeño operativo. En varias ocasiones, se han presentado desviaciones en la calidad de los concentrados ya que no es verificada la materia prima, además de las velocidades de agitación, errores en la medición del tiempo efectivo de dispersión, y fallos en los sensores de temperatura, generando reprocesos, desperdicio de materia prima, y retrasos acumulados en la cadena productiva.

Lo antes descrito provoca baja productividad, incumplimiento en los tiempos de entrega, reprocesos y desaprovechamiento de la capacidad instalada, lo que impacta directamente en los costos operativos y la eficiencia del proceso.

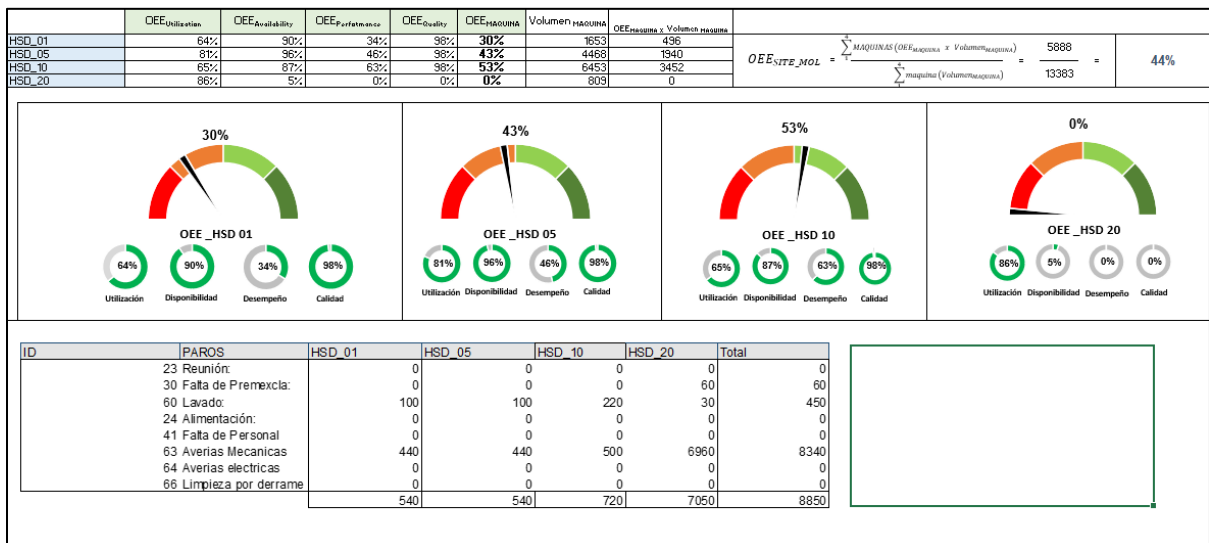
Con la adquisición de Akzonbel en abril de 2022, se han incorporado nuevos indicadores de eficiencia general operativa dentro de los cuales Overall Equipment Efficiency (OEE, por sus siglas en inglés), es un indicador clave de realización kpi utilizado para medir cómo se aprovecha la capacidad productiva de un proceso de fabricación.

El OEE es una razón que compara la producción efectiva con la capacidad de producción teórica en los productos que llevan un proceso de molido de pigmento. La planta cuenta con cuatro equipos.

Los pasos por seguir para el desarrollo del trabajo en la célula de molinos del área de producción de planta industrial abarcan los pasos recomendados para la implementación de la metodología Seis Sigma DMAIC.

En el segundo semestre del 2024, se genera una línea base del OEE, el cual es de 41%, para el 2025 se determina una meta de 45%.

Figura 2 Overall Equipment Efficiency



Fuente: Manufactura Akzonobel, 2025

Consideraciones de la situación encontradas:

- El porcentaje de eficiencia de la línea (OEE) es de un 41% línea base y una meta 2025 de 45%.
- Los principales factores de pérdida de OEE son:
 - Averías mecánicas
 - Liberación de fórmulas de fabricación del rango de 300 gal

Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de la empresa por mejorar la reducción de los necesario estandarizar el proceso.

1.3.2 Justificación del Proyecto

La empresa Akzonobel CR, con instalaciones en Cartago, requiere mejorar los tiempos de proceso en la etapa de molienda de la pintura automotriz. Este problema trae efectos negativos en la eficiencia operativa, provocando ciclos prolongados de producción, tiempos de mantenimiento de ochenta y cinco horas a doscientos ocho por mes, tiempos de entrega en algunos casos de 27 horas, y un impacto directo en los costos de operación en la fabricación de las pinturas.

Al no poseer un proceso estandarizado, ni equipos de trabajo optimizados, se aumentan las variables de calidad y los tiempos de procesamiento, evidenciando una necesidad apremiante de intervención mejora.

La consecuencia de no llevar a cabo una solución efectiva se evidencia en pérdidas económicas significativas para la empresa, porque se elevan los tiempos muertos, la carga laboral, y los recursos desperdiciados.

Este proyecto investigativo propone la aplicación de la metodología Seis Sigma (DMAIC) y la métrica de eficiencia general de los equipos (OEE) como una posibilidad para optimizar la etapa de molienda, aumentar la productividad, y disminuir los costos operativos.

Los que más se benefician con esta investigación serán los operarios y encargados de producción de la planta donde se realiza la etapa de molienda, quienes observarán una mejora en la planificación, estandarización, y facilidad de operación en la fabricación de la pintura.

Por otro lado, la empresa obtendrá un incremento en la eficiencia productiva, la competitividad, y el potencial de negocio para consolidar un liderazgo en el mercado de pinturas.

Asimismo, esta investigación ayudará al área de la ingeniería industrial al presentar un estudio que se puede emplear en otras empresas. Se estima que los resultados sean generalizables y que el proyecto investigativo origine un instrumento de análisis que sea beneficioso para investigaciones futuras, teniendo como base la información recolectada a través de métricas OEE.

Además, este proyecto investigativo aportará información útil para la industria de la pintura automotriz costarricense y para el desarrollo académico que brinda soluciones aplicadas a problemas reales del entorno inmediato.

Finalmente, esta investigación se idéntica con los objetivos de mejora constante fomentados por la gerencia de Akzonobel y con los principios de sostenibilidad y eficiencia operativa que propone el sector industrial moderno.

1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.4.1 Objetivo General

Reducir en un 10% los tiempos promedio de molienda en la producción de pintura automotriz de la planta Akzonobel CR, Cartago, durante el segundo cuatrimestre del 2025, mediante la implementación de la metodología DMAIC y el uso del indicador OEE, logrando estandarizar el proceso y mejorar la eficiencia operativa.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Analizar los tiempos actuales del proceso de molienda en la producción de pintura automotriz utilizando indicadores de eficiencia como el OEE.
2. Aplicar la metodología DMAIC para definir, medir, analizar, mejorar y controlar el proceso de molienda de la pintura automotriz
3. Proponer acciones de mejora que permitan estandarizar el proceso de molienda de la pintura automotriz y optimizar el uso de los equipos HSD.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1 Alcances

Esta investigación se enfoca en la etapa de molienda como parte del proceso de producción de pintura automotriz en la empresa Akzonobel CR, Cartago, permitiendo analizar y mostrar los factores que intervienen en el tiempo de este procedimiento. Este estudio investigativo utiliza la metodología DMAIC con el propósito de medir, examinar, y sugerir mejorar, fortaleciendo su autenticidad.

Se pretende potenciar los tiempos de molienda, ayudando a la estandarización del proceso, la reducción de reprocesos, y el aumento de la productividad de la empresa. Los resultados obtenidos se podrán emplear tanto en la empresa Akzonobel como en otras empresas similares, creando aportes a la ingeniería industrial del país, y brindando un preámbulo para investigaciones venideras.

1.5.2 Limitaciones

Esta investigación se lleva a cabo obteniendo los datos internos de la empresa suministrados por su personal, lo que puede limitar la extensión de la información analizada.

Por otra parte, este estudio investigativo se enfoca en el análisis de los tiempos de molienda, sin tomar en cuenta otras etapas de la producción de pintura automotriz, tales como dispersión, mezclado, o envasado.

Además, algunos factores como atrasos en el suministro de materia prima, problemas inesperados en los equipos, o modificaciones en los procesos internos de la empresa pueden influenciar en los resultados en los

resultados obtenidos en la investigación y la investigadora no tendrá injerencia en ello.

Capítulo II: Marco Teórico

2.1 Marco Conceptual General Relativo a la Carrera

2.1.1 Ingeniería

Según Smith (2025) la ingeniería es “es la aplicación de la ciencia para optimizar el aprovechamiento de los recursos naturales para el consumo humano. Implica la aplicación creativa de principios científicos para diseñar, desarrollar y operar estructuras, máquinas y procesos de fabricación” (párr. 1). En palabras simples, la ingeniería se encarga de emplear los conocimientos de la ciencia, la tecnología y las matemáticas para dar solución a problemáticas y establecer soluciones apropiadas para determinadas área de la sociedad.

2.1.2 Ingeniería Industrial

La ingeniería industrial es una disciplina que es responsable de diseñar, desarrollar, y optimizar sistemas productivos, con el fin de reestablecer la eficacia y aprovechar al máximo los recursos con los que cuenta una empresa. En la actualidad, la ingeniería industrial adquiere gran relevancia porque contribuye a cubrir las necesidades de la sociedad moderna. Por otro lado, soluciona dificultades que posibilita a las empresas a aumentar su productividad. Esto contribuye al desarrollo económico y a la expansión empresarial de un país debido a su habilidad de optimizar recursos, mejorar procesos, y establecer un equilibrio entre calidad y costo (Gómez, 2023, párrs. 2-3).

2.1.3 Operaciones Industriales

Se entiende como operaciones industriales a una serie de funciones sistemáticas y planificadas para convertir materias primas en productos terminados o productos semielaborados. Esta labor la llevan a cabo con el uso de maquinaria, herramientas, mano de obra, y tecnología moderna. Para corroborar la calidad, las operaciones industriales deben ser supervisadas y mejoradas en forma continua, pudiendo ser realizado a través de la puesta en marcha de técnicas de control de calidad, gestión de producción, y progreso permanente (Cañon, 2024, párrs. 3-4).

2.1.4 Pintura Industrial

“La pintura industrial abarca un conjunto de recubrimientos técnicos formulados específicamente para proteger y embellecer superficies sometidas a condiciones extremas. A diferencia de las pinturas decorativas convencionales, estos productos incorporan componentes de alta resistencia química y física” (INGESUR Soluciones Técnicas, S. L. 2025, párr. 2).

Figura 3 Pintura Industrial



2.1.5 Pintura Automotriz

Carrasquero (2023) afirma que la pintura automotriz “es uno de los aspectos más importantes del diseño y mantenimiento de un automóvil. Además de ser responsable de la apariencia y la estética del vehículo, la pintura también es una protección esencial contra la corrosión y el óxido” (párr. 1). Es aquí donde resalta la importancia que tiene el proceso de elaboración de pintura automotriz, la cual se realiza con la ejecución de cinco etapas: dispersión, mezclado, molienda, completado y envasado.

2.2 Marco Conceptual Atentive a la Gestión del Proyecto

2.2.1 Six Sigma

Rosales (2024) afirma que Six Sigma “es una metodología de gestión centrada en mejorar la calidad y la eficiencia de los procesos. Su objetivo principal es reducir la variabilidad, eliminar defectos y satisfacer las expectativas

de los clientes.” (párr. 1). Es decir, Six Sigma es el procedimiento que utilizan las empresas para aumentar la calidad de los productos que elaboran, encontrando errores o problemas en estos.

2.2.2 Metodología DMAIC

Esta metodología se caracteriza por su capacidad de reducir la variabilidad de procesos y aumentar la eficiencia a través de un ciclo estructurado de mejora continua; es decir, está diseñada para mejorar procesos y eliminar defectos (Gerges, 2023, párr. 3). Esta metodología es una manera en la que las empresas realizan su trabajo dentro de la filosofía Six Sigma siendo su principal objetivo mejorar los procesos paso a paso encontrando los problemas existentes, resolviéndolos, y dándoles pronta solución.

2.2.3 Fases de la Metodología DMAIC

Gerges (2023) describe las cinco fases de esta sistemática y rigurosa metodología, clasificándolas en Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar las cuales se detallan seguidamente (párr. 2).

Figura 4 Metodología DMAIC



Fuente: Aileen Pierce, 2025

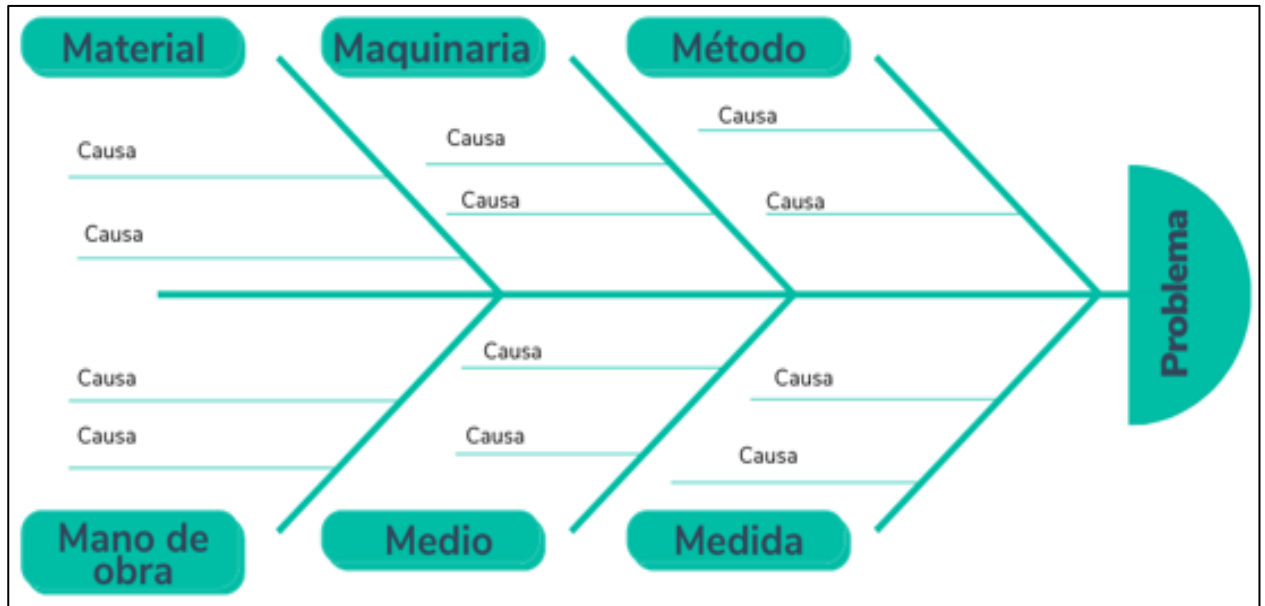
2.2.3.1 Definir. En la fase definir, se detallan el problema y los objetivos del proyecto. En este proceso se van a utilizar 3 herramientas para desarrollar esta fase.

2.2.3.1.1 Observación Directa. Es una técnica que el investigador utiliza para recolectar datos sobre un individuo, un fenómeno, o una situación determinada. Su característica es que el investigador asiste en forma presencial al sitio donde sucede el hecho investigado. Sin embargo, él no participa ni altera el medio ambiente, porque cualquier variación podría perjudicar la validez y confiabilidad de la información obtenida (Cajal, 2020, párr. 1).

2.2.3.1.2 Entrevista Semiestructurada. Es un procedimiento que le permite al investigador tener mayor flexibilidad para abordar un poco más en las respuestas dadas por los entrevistados, a pesar de que tienen una estructura general definida. Si bien este tipo de entrevista se desarrolla como una conversación entre el entrevistador y el entrevistado, permite tener un cierto grado de libertad para tomar el máximo provecho de la información recolectada. Esto le da la oportunidad al entrevistador desarrollar nuevas ideas y tomar ventaja de la dinámica llevada a cabo en la conversación obteniendo información más detallada (Ortega, 2025, párrs. 19-20).

2.2.3.1.3 Diagrama de Ishikawa. Es una herramienta que identifica las causas probables de un problema o situación. Frecuentemente se utiliza en la elaboración y en el desarrollo de productos para determinar las etapas de determinado proceso, mostrar los aspectos que disminuyen su calidad, y detallar los recursos que son indispensables en cualquiera de sus etapas (Hayes, 2025, párr. 2).

Figura 5 Diagrama de Ishikawa



Fuente: Nancy Rodríguez, 2025

De acuerdo a STEL Order (2024) el diagrama de Ishikawa presenta las causas de un problema organizadas en 6 categorías conocidas como las 6 M, detalladas a continuación:

- **Métodos.** Se refiere a los procedimientos aplicados en las labores realizadas. Además, incluye las técnicas de trabajo mal ejecutadas, los flujos de proceso imprecisos, o las disposiciones operativas defectuosas que dan origen a la problemática.
- **Máquinas.** Incluye los equipos y herramientas utilizadas en el desarrollo del proceso tomando en cuenta aspectos con el mantenimiento, la precisión, o la productividad de las máquinas porque si estas no funcionan bien, se corre el riesgo que ocasiona defectos de producción.
- **Mano de obra:** Se relaciona con los colaboradores, su formación, las habilidades que poseen, su experiencia y su motivación. Debido a que la organización de los equipos repercuten en forma directa en la calidad y la

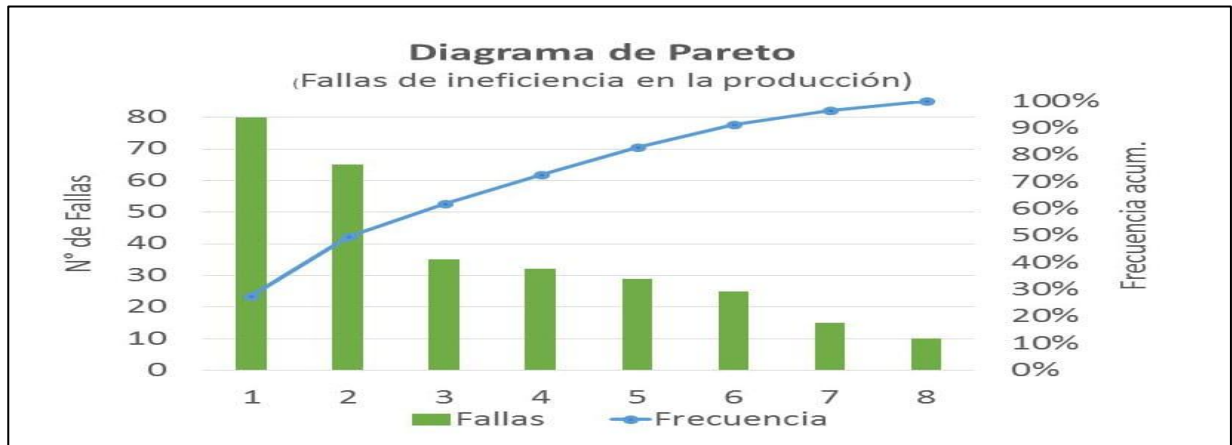
eficiencia, los colaboradores de las empresas deben estar capacitados para evitar errores de proceso.

- **Materiales.** Se asocia con las materias primas u otros componentes que se utilizan en el proceso de producción. Aspectos como la calidad, la disponibilidad, y el uso adecuado de estas materias o componentes adquieren gran relevancia; y si estos son deficientes, la producción no tendrá la calidad requerida.
- **Mediciones.** Se vincula con las herramientas e instrumentos de control usados para constatar la calidad y el desempeño de la línea de producción. Su evaluación y exactitud adquieren gran relevancia porque sin estas comprobaciones, el producto final no será el esperado.
- **Medio ambiente.** Se enlaza con las circunstancias del sitio de trabajo tales como temperatura, humedad, iluminación, o limpieza. Un entorno inapropiado puede causar afecciones en la salud, en la seguridad y en la productividad de los colaboradores; perjudicando a la vez la calidad del producto (párrs. 18-24).6

2.2.3.2 Medir. En esta fase del DMAIC se recolectan datos relevantes del proceso actual que se investiga, para lo cual se usarán 3 herramientas.

2.2.3.2.1 Diagrama de Pareto. Es un mecanismo que presenta la información en forma gráfica, clasificándola de mayor a menor importancia. Su objetivo es mostrar los problemas más relevantes para encontrar las soluciones más pertinentes. Esta técnica se basa en el principio de Pareto o regla 80/20, que señala que el 80% de los efectos proceden solamente del 20% de las causas. También se le conoce con el nombre de “Curva de Distribución ABC” esta herramienta expone a través de una gráfica los aspectos relacionados a la

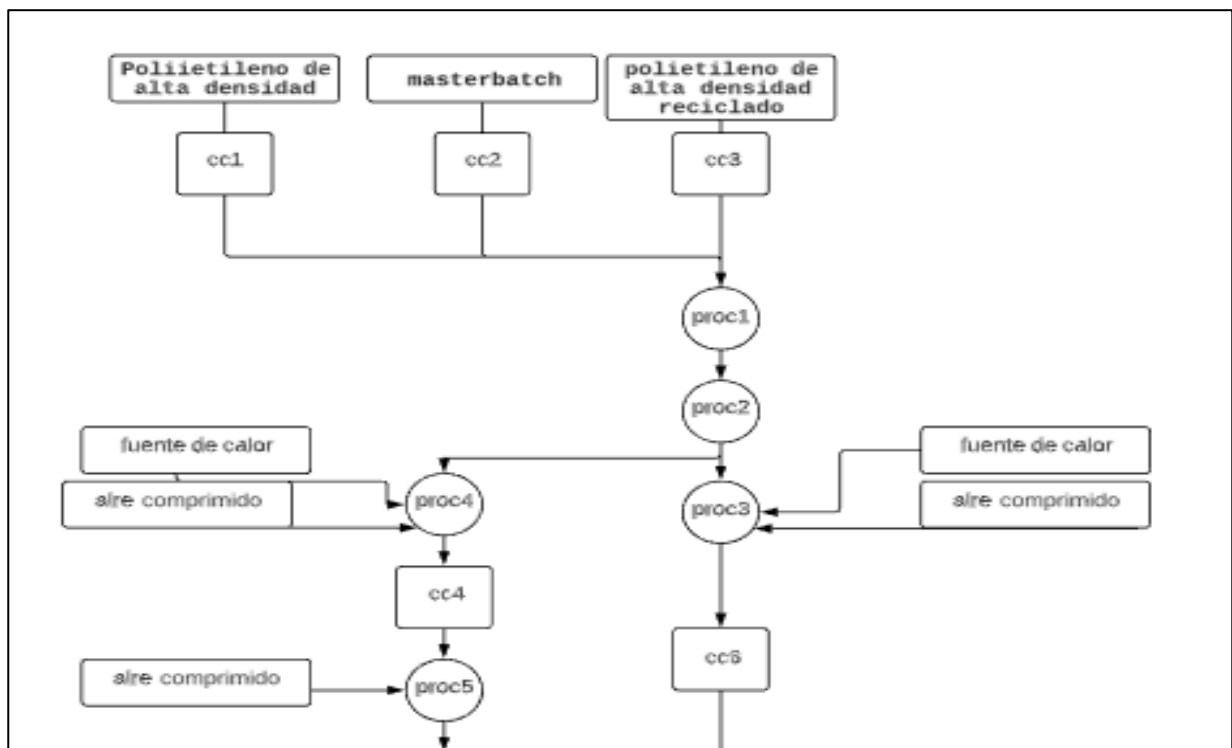
problemática estudiada. Se estructura según su frecuencia, facultando determinar con facilidad cuál es la causa primordial de un resultado obtenido (Velázquez, 2025, párrs. 3-5).



Fuente: Mairene Rosales, 2023

2.2.3.2.2 Cursograma. Es un instrumento que simboliza gráficamente los procesos administrativos, haciendo posible constatar si el detalle del proceso está completo. Por otra parte, ayuda en la detección de errores, repeticiones, omisiones o superposiciones de las tareas que se realizan en el proceso, lo que permite dar solución a estos aspectos y desarrollar procesos eficientes (Castilla,

Figura 7 Cursograma



Fuente: Creative Commons Atribución-CompartirIgual, 2022

2.2.3.2.3 Tablas de Datos. “Es un tipo de modelado de datos donde se guarda una información recogida por un sistema. Es decir, son objetos o estructuras que contienen los datos organizados en filas y columnas” (Compara Software, 2023, párr. 2).

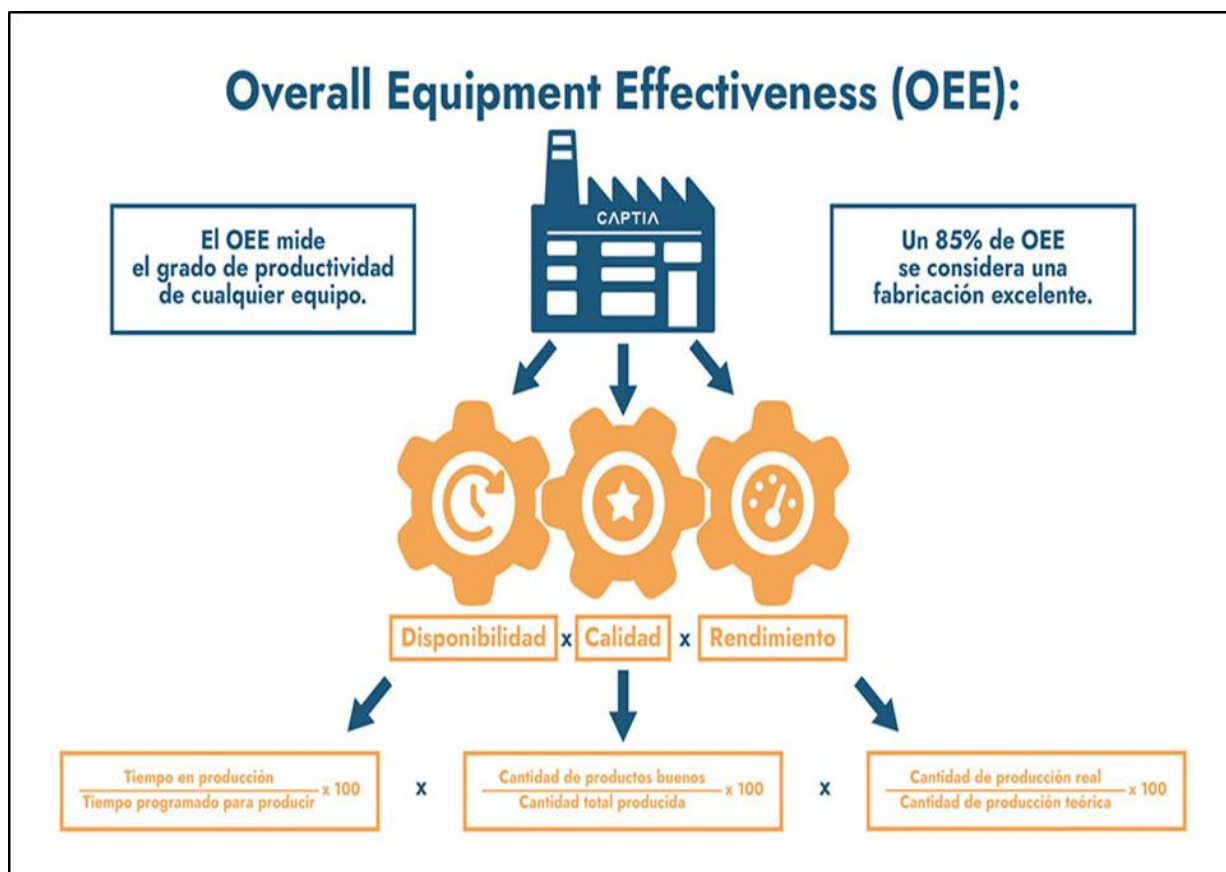
Figura 8 Tablas de Datos

	A	B	C	D	E
1	Unidades	ID de Producto	Producto	Precio Especial	Precio Regular
2	1	I23568E2541RL	Adidas Leistung 16 - 2.0 - Men's - Weightlifting Shoe	179,95 €	179,95 €
3	1	I73569F2541NK	Nike Romaleos 3 Weightlifting Shoes - Men's	169,96 €	199,95 €
4	2	353479F3652SS	Nike Romaleos 3 Weightlifting Shoes - Women's	134,95 €	134,95 €
5	1	O12454U9783GE	Adidas Powerlift 3.1 - Men's	89,95 €	89,95 €
6	1	I21215K4589OP	Adidas Adipower Weightlifting Shoe	140,00 €	200,00 €
7	1	I645825T2325LR	Adidas Powerlift 3 - Men's	90,00 €	90,00 €
8	1	I21215K4589OP	Adidas Adipower Weightlifting Shoe	140,00 €	200,00 €
9	1	I73569F2541NK	Nike Romaleos 3 Weightlifting Shoes - Men's	169,96 €	199,95 €
10	1	O12454U9783GE	Adidas Powerlift 3.1 - Men's	89,95 €	89,95 €
11	1	I252585Y4545KL	Reebok Legacy Lifter - Women's	199,99 €	199,99 €
12	1	I252585Y4545KL	Reebok Legacy Lifter - Women's	199,99 €	199,99 €
13	1	I252585Y4545KL	Reebok Legacy Lifter - Women's	199,99 €	199,99 €
14	1	I347568R4788YT	Reebok Lifter PR - Men's	74,95 €	89,99 €
15	2	353479F3652SS	Nike Romaleos 3 Weightlifting Shoes - Women's	134,95 €	134,95 €
16	1	I23568E2541RL	Adidas Leistung 16 - 2.0 - Men's - Weightlifting Shoe	179,95 €	179,95 €
17	1	I645825T2325LR	Adidas Powerlift 3 - Men's	90,00 €	90,00 €
18	1	I23568E2541RL	Adidas Leistung 16 - 2.0 - Men's - Weightlifting Shoe	179,95 €	179,95 €
19	1	O12454U9783GE	Adidas Powerlift 3.1 - Men's	89,95 €	89,95 €
20	1	I73569F2541NK	Nike Romaleos 3 Weightlifting Shoes - Men's	169,96 €	199,95 €
21	1	I243568E2541RR	Reebok Legacy Lifter - Men's	149,95 €	199,99 €
22	1	I73569F2541NK	Nike Romaleos 3 Weightlifting Shoes - Men's	169,96 €	199,95 €
23	1	I252585Y4545KL	Reebok Legacy Lifter - Women's	199,99 €	199,99 €

Fuente: Gonzalo Casado, 2022

2.2.3.2.4 Overall Equipment Efficiency (OEE). Es un indicador de referencia para medir la productividad de los procesos de fabricación de un producto; en otras palabras, indica el porcentaje de tiempo de fabricación que es realmente productivo. Por ejemplo, una puntuación del OEE del 100% significa que solo se obtienen productos en buen estado, lo más pronto posible y sin la presencia de tiempos muertos; lo que significa un 100% de calidad cuando se obtienen productos en buen estado, un 100% de rendimiento cuando se fabrican lo más pronto posible, y un 100% de disponibilidad cuando no existen tiempos inactivos (Rosales, 2023, párr. 1).

Figura 9 Overall Equipment Efficiency



Fuente: Carlos Sobrino, 2022

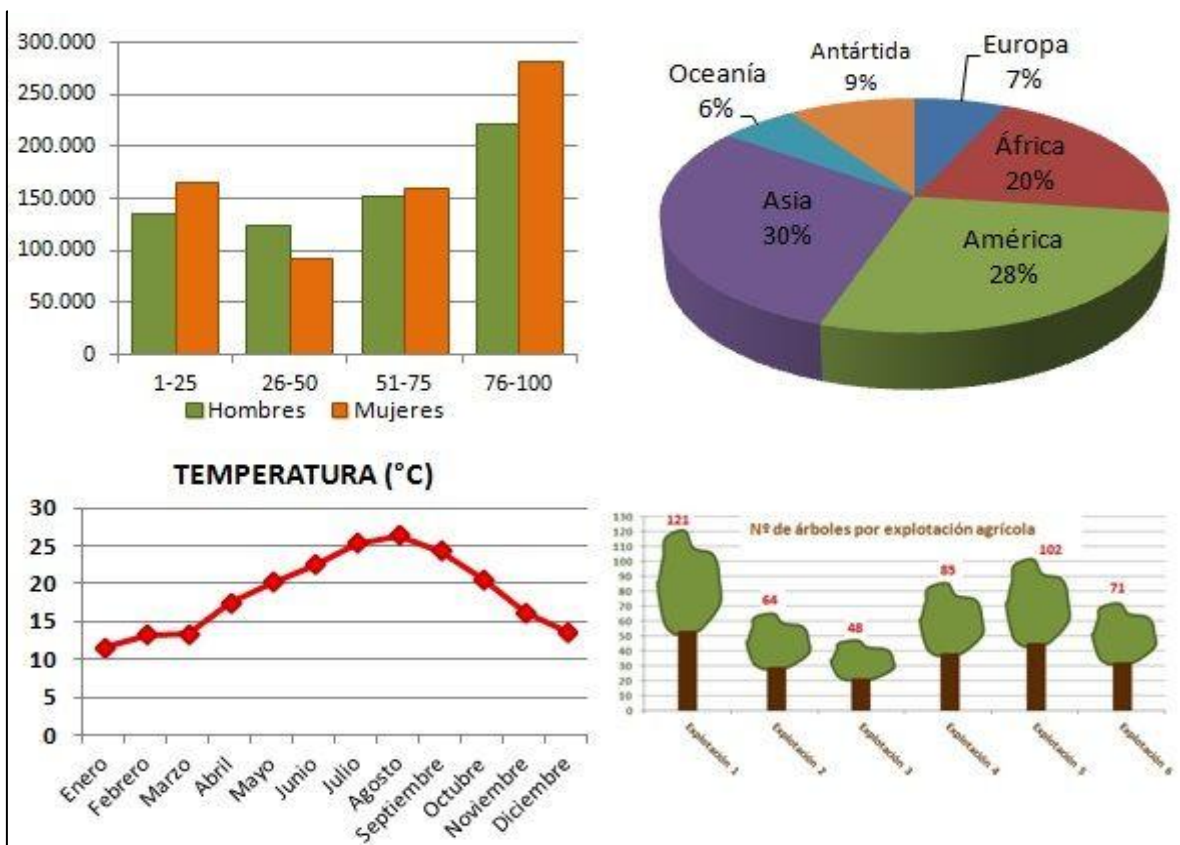
2.2.3.3. Analizar. En esta fase se establece la causa raíz de las ineficiencias de producción. En este proyecto investigativo se usarán 4 herramientas.

2.2.3.3.1 Los 5 Porqué. Según Montagud (2021) los 5 porqué es una “estrategia muy usada en la resolución de problemas que permite hallar la causa raíz de un problema complejo o que es producto de una sucesión de causas” (parr.3).

2.2.3.3.2 Tablas de Datos. En palabras simples las tablas de datos son una herramienta que se usa para organizar y mostrar datos en forma comprensible. Los datos se clasifican para ser analizados posteriormente.

2.2.3.3.3 Gráficos. Es un procedimiento que posibilita la exposición de datos mediante una representación visual. Su objetivo primordial es demostrar la correlación existente entre las diferentes variables en periodo de tiempo específico (Westreicher, 2024, párr. 2).

Figura 10 Gráficos



Fuente: Universo Fórmulas, 2025

2.2.3.3.4 Análisis de Datos. Según Westreicher (2020) “El análisis de datos es el estudio exhaustivo de un conjunto de información cuyo objetivo es obtener conclusiones que permitan a una empresa o entidad tomar una decisión” (párr. 1). Es decir, el análisis de datos convierte las información recolectada en resultados comprensibles para facilitar la labor de encontrar la resolución del problema mostrado en una investigación.

2.2.3.3.5 Enlistamiento de Posibles Propuestas. Las posibles propuestas a problemas de una investigación son las estrategias a través de la cual se pretende encontrar una respuesta a la situación presentada. Es necesario recalcar que un solo problema puede tener varias soluciones, ahí radica la importancia de utilizar una técnica que permita elegir la mejor opción (Laoyan, 2025, párr. 4). Una buena estrategia es enlistar posibles propuestas que den solución a la problemática planteada en un proyecto investigativo, dándole la oportunidad al investigador de analizarlas detenidamente para elegir la mejor de ellas.

2.2.3.4 Mejorar (Improve). En esta fase de la metodología DMAIC se ponen en práctica soluciones basados en los datos encontrados. Para lograrlo, en esta investigación, se utilizan 3 herramientas.

2.2.3.4.1 Tablas de Datos. Es un tipo de tabla conformado por columnas y filas donde se muestran diferentes datos.

2.2.3.4.2 Gráficos. Son representaciones visuales de datos recolectados en un proceso investigativo que ayudan a su proceso analítico.

2.2.3.4.3 Planes de Acción. Es una guía conformada por actividades y recursos necesarios para desarrollar un proyecto o alcanzar una meta definida. Es similar a un cronograma de tareas que indica las labores que se deben realizar, en fechas definidas, para llevar a cabo un proyecto o alcanzar ciertos objetivos propuestos (Udoagwu, 2025, párr. 6).

2.2.3.5 Controlar. En esta fase se constituyen mecanismos que aseguren la sostenibilidad de las mejoras establecidas. En esta investigación se utilizarán dos herramientas.

2.2.3.5.1 Cuadros de Control. “Están diseñados para el correcto funcionamiento de todos los equipos que intervienen durante una cadena de procesos. Son los encargados de dar servicio y realizar las maniobras correspondientes a cada equipo” (Cuadristas Serca, 2024, párr. 2)

Figura 11 Cuadro de Control

INSTRUMENTO DE SEGUIMIENTO Y MEDICIÓN		MODELO EFQM Y NTC ISO 9001:2015																								
Este documento es producto de la investigación "Aporte del modelo de excelencia - EFQM y de ISO 9001:2015 a la gestión del servicio educativo", desarrollado por Maritza González y Anyela Olarte. Maestría en calidad y gestión integral. Universidad Santo Tomás.																										
CUADRO DE CONTROL																										
Permite identificar los resultados de cada indicador y su grado de cumplimiento respecto a la meta.																										
INDICADOR	META	FRECUENCIA																								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1. Encuestas de satisfacción	0%	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
2. Quejas recibidas	0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3. Felicitaciones recibidas	0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4. Capacitación a docentes	0%	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
5. Formación en competencias administrativas	0%	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
6. Apoyo profesional y pedagógico	0%	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
7. Participación de colaboradores en actividades institucionales	0%	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
8. Estudiantes en intercambio internacional	0%	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
9. Participación de egresados	0%	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
10. Proveedores con políticas ambientales	0%	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
11. Estudiantes admitidos no matriculados	0%	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
12. Relación estudiantes por docente	0%	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
13. Estudiantes por Computador	0%	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
14. Tasa de ausentismo de docentes y administrativos	0%	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
15. Tasa de retención de docentes y administrativos	0%	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
16. Tasa de crecimiento de los ingresos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
17. Total de estudiantes becados	0%	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
18. Convenios internacionales activos	0%	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
19. Evaluación de currículos	0%	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
20. Total de estudiantes matriculados	0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21. Desempeño institucional en las pruebas de Estado	0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22. Mejoras implementadas	0%	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####

Fuente: Anyela Olarte, 2021

2.2.3.5.2 Indicadores Clave de Rendimiento (KPI). Un KPI, es el acrónimo de la frase en Inglés Key Performance Indicator, siendo esta una

forma de medir en forma cuantitativa que posibilita estimar el nivel de avance de una empresa o equipo de trabajo asociado a sus objetivos principales (Martins, 2025, párrs. 2-3).

2.3 Marco Conceptual Referente al Impacto del Proyecto

El impacto de este proyecto investigativo se medirá tanto en términos en términos cuantitativos. Las expectativas a corto plazo son lograr una mejora en la productividad, entendiéndose como aquella que mide cuántos productos o servicios logra una empresa obtener con la integración de varios elementos tales como colaboradores, dinero, tiempo, y otros recursos, durante un periodo de tiempo previamente establecido (Sevilla, 2025, párr. 4).

Existen varios indicadores que se utilizan para medir la productividad en una empresa, tales como: Producción por hora, producción por trabajador, utilización de la capacidad de producción, coste por unidad producida, tasa de defectos o de errores, tiempo de ciclo, y retorno de la inversión. En esta investigación se utiliza el tiempo ciclo que mide el tiempo que se requiere para elaborar un producto o terminar un proceso, siendo en este caso la elaboración de la pintura automotriz.

Por otro lado, a corto plazo también se espera mejorar la reducción de tiempos muertos que son los tiempos perdidos en los procesos de producción y son actividades que no contribuyen al producto terminado y son una de las razones principales que altera la productividad de las empresas. Algunas acciones que se pueden catalogar como tiempos muertos son: La espera por la falta de materia prima, los equipos sin actividad, los tiempos de cambio entre las etapas del proceso de producción, o averías en la maquinaria (Mazo, 2024, p. 13).

Actualmente se reconocen metodologías y herramientas para analizar y registrar los tiempos muertos que proporcionan información precisa y exhaustiva relacionada con ellos en el proceso de producción, dándole la oportunidad a la empresa de hacer evaluaciones rigurosas, tal es el caso de las siguientes: Mapeo de procesos, análisis de Pareto, sistema de ejecución de Producción en Inglés Manufacturing Execution System (MES), análisis de causa raíz, software de gestión de producción, observación directa y entrevistas, Indicadores Clave de Rendimiento (KPI), y sistemas de alerta temprana (Automatica Technologies, 2024, párrs. 13-21).

En este estudio investigativo se establecen los Indicadores Clave de Rendimiento (KPI) vinculados con la eficacia y los tiempos muertos con el fin de establecer el rendimiento del proceso y determinar el impacto de las mejoras ejecutadas.

A mediano plazo se prevé lograr la disminución de reprocesos, entendiéndose como la reelaboración de materiales, piezas o productos que tienen baja calidad con el propósito de transformarlos para que acaten las normas y criterios de calidad requeridos por la empresa; es decir, en el reproceso se toman productos que no cumplen con los estándares de calidad previamente determinados y los vuelven a procesar para que alcancen los requisitos de alto nivel de calidad. Este procedimiento tiene un costo económico y necesita la utilización de más mano de obra lo que disminuye los márgenes de ganancia del producto elaborado.

Entre las causas más sobresalientes de los reprocesos están: maquinaria dañada, mala calidad de los materiales utilizados, error humano de los operarios, los programas de control y gestión de la calidad implementados con rigor, y la

comunicación deficiente al informar acerca de las especificaciones de productos existentes y nuevos (Lemay, 2022, párrs. 10-15).

Otro aspecto que se quiere mejorar a mediano plazo es el aprovechamiento de los recursos, tomándose como aquellos bienes, servicios, y activos que facultan a la empresa a actuar de forma habitual en el entorno financiero y poder alcanzar los objetivos comerciales. Su buen manejo es parte fundamental del funcionamiento y éxito de la empresa porque forman parte de su patrimonio y están a su disposición (Nebrada, 2023, párrs. 3-4).

Hay dos tipos de recursos empresariales, los recursos intangibles que son los que no se pueden tocar, pero tienen una gran valía; por ejemplo, los colaboradores de la empresa que no son propiedad de esta pero reciben un salario por la labor que hacen en ella. También están los recursos tangibles que son los que son susceptibles al tacto, se pueden aglomerar, y es posible movilizarlos de un lugar a otro; por ejemplo, el dinero, la materia prima, o los productos tecnológicos (Nebrada, 2023, párrs. 3-4).

Según la naturaleza de cada empresa, los recursos empresariales se dividen en ocho grupos.

- Recursos humanos, son todos los colaboradores de la empresa.
- Recursos financieros, es el capital que tiene la empresa para desarrollar sus operaciones.
- Recursos materiales, son los activos tangibles de la empresa: instalaciones, maquinaria, herramientas.
- Recursos tecnológicos, son las herramientas tecnológicas que facilitan la optimización de los procesos: software, hardware, bases de datos.

- Recursos intangibles, son aquellos que no se pueden palpar: marca, patente, licencia.
- Recursos físicos, son las partes que conforman la empresa: edificios, maquinaria.
- Recursos intelectuales, son aquellos que se originan del conocimiento y el intelecto.
- Recursos sociales y relacionales, se asocian con las relaciones y redes de contacto (Edenred, 2025, párrs. 12-26)

Finalmente, a largo plazo se pretende que haya un incremento en la rentabilidad operativa de la empresa, definiéndose como la capacidad que tiene una empresa para recibir ganancias, midiendo la relación resultante de la utilidad obtenida y la inversión realizada (Torres, 2023, párr. 4)

Hay diferentes tipos de rentabilidad, tales como: Rentabilidad económica, mide la capacidad para producir utilidades.

- Rentabilidad financiera, valora el rendimiento recibido por los propietarios vinculados a la inversión realizada.
- Rentabilidad operativa, analiza la eficiencia de las operaciones relacionadas con los ingresos y gastos.
- Rentabilidad sobre venta, estima el porcentaje de utilidad obtenido por cada producto vendido.
- Rentabilidad por cliente, evalúa la rentabilidad de cada cliente.
- Rentabilidad por producto, establece la eficiencia y la rentabilidad generados en cada línea de trabajo.
- Rentabilidad ajustada por riesgo, mide las utilidades producto del nivel de riesgo tomado.

- Rentabilidad bruta valora las ganancias antes de deducir los gastos operativos.
- Rentabilidad neta evalúa la rentabilidad después de deducir los gastos.
- Rentabilidad sobre la inversión, mide la rentabilidad asociada con la inversión realizada (García, 2024, párrs. 12-20).

2.4 Antecedentes de Proyectos o Experiencias Semejantes

2.4.1 Mejoramiento de los Procesos de Latonería y Pintura en el Taller Automotriz Brujo Cars en la Ciudad de Bogotá. Diego Andrés Calderón Arias, 2020.

Esta investigación tiene el propósito de rediseñar los procesos de latonería y pintura automotriz en el taller automotriz Brujo Cars en Bogotá, Colombia mediante las diferentes herramientas de ingeniería para mejorar costos, métodos y tiempos. Se pretende lograrlo integrando el mejoramiento productivo, minimizando tiempos muertos, sobrecostos y retrocesos en la mano de obra, con el objetivo de mejorar la calidad de cada uno de los procesos que intervienen en la actividad productiva de latonería y pintura automotriz, al igual que la investigación que se está llevando a cabo.

Para ello, se realizan estudios AS IS (análisis de la situación actual de un proceso o sistema) al trabajo que lleva a cabo el taller objeto de estudio, reconociendo el problema que provoca atrasos en la producción. Además, se toman los tiempos productivos y no productivos para determinar el tiempo que requiere cada proceso de manufactura.

Como conclusión general se tiene que la empresa tiene muy buenas oportunidades, solo que no las aprovechaba, pero si acata las recomendaciones

dadas y usa las herramientas propuestas, se espera que el taller Brujo Cars inicie a obtener buenos resultados y pueda dar competencia a sus similares.

Otras conclusiones importantes son: El taller si cumple con las normativas y medición de tiempos en la evaluación técnica; por lo tanto, podrá mantener una alta producción y por consiguiente aumentar sus ganancias. Por otra parte, se sugiere que el taller tenga una estructura en los procesos de latonería y pintura automotriz planificando las actividades y organizando al personal operativo.

2.4.2 Bases de Diseño Para una Planta de Manufactura de Pinturas en la Península de Yucatán. Francisco Javier Colli Pinto, 2021

El objetivo principal de esta investigación es realizar la ingeniería básica de una planta de producción de pinturas en Yucatán, México. Por otro lado, da paso a la ingeniería de detalle para ocuparse de todas las particularidades que puedan aparecer durante la realización de la investigación. Colli describe el proceso y todo lo que él encierra; por ejemplo, personal, equipo, y materia prima. Además, se analiza la aproximación de costos para verificar si el proyecto es rentable, y establecer el tiempo de retorno de la inversión realizada.

Esta estudio señala que el proceso de manufactura de la pintura depende particularmente de 3 procesos físicos: dispersión, molienda, y filtración; por lo cual, se utilizan tres equipos: dispersores, molinos y filtros. El proceso que guarda relación con esta investigación es el proceso de molienda, y se menciona que los molinos pueden ser continuos o discontinuos dependiendo del tipo de operación que se va a realizar.

Se describe diferentes tipos de molino: Molino de bola, se usa usualmente para dispersar pigmentos difíciles como los orgánicos o los negros. Molino de rodillas, tiene dos o más rodillos para ayudar a la reducción de tamaño de la

partícula. Molino de perlas, produce la desintegración de los aglomerados por múltiples impactos.

La principal conclusión de esta investigación es que el proyecto es rentable y la inversión se recuperará en 10 años. Otros aspectos que se concluyen son: El volumen de producción es muy pequeño, el tamaño de los equipos es el mínimo para que sean factibles económicamente; no obstante, se puede aumentar la producción porque los equipos no funcionan toda la semana ni todas las horas. El costo de materias primas: La resina es la que tiene mayor costo, ésta no se produce sino que se compra, pero vale la pena realizar la síntesis de ésta para averiguar cuánto es el costo de las materias primas.

Por otro lado, el departamento de investigación y desarrollo puede formular mejores pinturas y resinas. Desarrollar el costo de los equipos de laboratorio: Este se incluyó en el costo de construcción, pero es necesario definir lo que se requiere para que en la ingeniería de detalle tenga certeza de los costos.

2.4.3 Diseño de un Sistema de Planificación y Control en los Procesos que Impactan la Eficacia Operativa de la Empresa Tecno-Carrocerías Eben-Ezer. Leidy Barrantes Solano, María Paula Morera Rojas, y Fabiana Velásquez Solís, 2022

Este estudio investigativo tiene como objetivo primordial diseñar un sistema de planificación y control con enfoque de mejora continua para los procesos sustantivos y el proceso de apoyo de gestión financiera de la empresa Carrocerías Eben-Ezer, en Heredia, Costa Rica con el fin de contribuir en la eficiencia operativa.

Se quiere alcanzar este objetivo porque estos procesos tienen deficiencias y carecen de algún control, provocando pérdidas operativas lo que se traduce en una necesidad innegable de la adquisición de capital.

Este estudio se asemeja con la investigación que se está llevando a cabo porque ambas desean mejorar las operaciones productivas para mejorar la ganancias de la empresa. Para llegar a la meta propuesta se realiza un análisis de todos los procesos para identificar las ineficiencias y la falta de control en las operaciones.

Después se realiza un diagnóstico para encontrar las causas del problema. Se determina que el taller tienen más de la mitad de los vehículos recibidos en espera de reparación. Se precisa que para compensar las pérdidas económicas en algunos meses, se recurre al pago de horas extra del personal para poder hacerle frente a los gastos del taller. Se identifica que esta empresa no tiene un control de las actividades que se hacen diariamente lo que ocasiona errores en los pedidos de repuestos, refacciones, y otros artículos. La distribución del almacén no es la adecuada y se desperdicia el espacio con el que cuenta el local comercial.

Las principales conclusiones de este estudio son: Se logró aumentar la producción de vehículos con el uso de una herramienta de secuenciación a través del algoritmo de Greedy, entendiéndose este como una estrategia de resolución de problemas que toma la decisión localmente óptima en cada paso del algoritmo, con la esperanza de que esto conduzca a una solución globalmente óptima.

Además, se reacomodó el almacén y se estandarizó el proceso por medio del método 5S, siendo este una técnica de organización y gestión del lugar de

trabajo que busca crear un entorno más eficiente, seguro y productivo. También se diseñó un panel de control para tener una base de datos para acceder a la información recopilada referente a los procesos realizados.

2.4.4 Estudios Previos Y Anteproyecto de una Fábrica de Pinturas. José Abel Martínez Roldán, 2022.

El objetivo fundamental de este estudio es definir el anteproyecto de una empresa de fabricación de varios tipos de pinturas en Sevilla, España, desde el nivel particular hasta el industrial. En la ejecución del proyecto se sigue una metodología bien establecida.

En primer lugar, se realiza un estudio de viabilidad técnica, definiendo las partes interesadas y los requisitos indispensable para realizar el proyecto. En segundo lugar, un estudio de viabilidad legal, donde se determinan todas las leyes y normativas necesarias para llevarse a cabo. En tercer lugar, viabilidad económica, estableciéndose una estimación de los ingresos y gastos de la empresa para estudiar la rentabilidad de la inversión del proyecto.

Se dan detalles específicos del proceso de elaboración de la pintura; por ejemplo, las materias primas, la clasificación de los productos finales, y las propiedades físicas y químicas de los productos. En la descripción del estudio de viabilidad técnica, se encuentra el desarrollo del proceso de fabricación de la pintura, lo cual coincide con la investigación en curso, teniendo relevancia el proceso de molienda.

Se señala que la molienda no siempre es necesaria, solo lo es cuando la unión entre los sólidos y los líquidos no consigan separarse en la etapa dispersión durante la premezcla; por lo cual es indispensable aplicar una energía extra sobre el producto que se está trabajando.

Esta etapa se puede realizar de dos diferentes maneras: Una en el mismo dispersor que se ha utilizado en la fase de premezcla, y otra en un molino, utilizándose solamente cuando la energía extra que se usa para homogeneizar el producto es superior. Cuando la etapa de molienda se realiza en el dispersor, solo se aumenta la velocidad de giro aproximadamente a 1500 rpm, y cuando se realiza en el molino, el depósito que contiene el producto debe moverse hacia donde está el molino.

Como conclusión principal de este proyecto se tiene que el anteproyecto es viable y se puede empezar a realizar el proyecto. Otros aspectos importantes que se concluyeron son: Se define el proceso de fabricación de pinturas de manera detallada, añadiendo una estimación de la producción en base a empresas similares. Además, se determinan los productos terminados que se quieren vender en función a los tipos de pinturas más vendidos en el mercado.

Capítulo III: Marco Metodológico

En este capítulo se estableció la dirección que siguió el plan de acción del proyecto investigativo teniendo en cuenta el problema que se planteó y la

configuración del marco teórico. En su desarrollo se utilizó la metodología DMAIC a través de una serie de herramientas en cada de sus fases.

3.1 Metodología para la Definición del Problema

En este punto se empleó la fase “definir” de la metodología DMAIC, detallándose el procedimiento utilizado y su justificación para definir el problema objetivamente, tal y como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3 Metodología para la Definición del Problema. Fase "Definir"

Objetivo específico	Actividades	Herramienta	Descripción	Plazos	Responsables
Analizar los tiempos actuales del proceso de molienda en la producción de pintura automotriz utilizando indicadores de eficiencia como el OEE.	Examinar los tiempos de molienda en la elaboración de pintura automotriz utilizando los indicadores OEE.	- Observación Directa. - Entrevista Semiestructurada. - Diagrama de Ishikawa.	Detallar los tiempos de molienda, atrasos en el proceso, estado y mantenimiento de los equipos, variaciones en los parámetros.	Observación directa desde el 17 de junio Entrevista semiestructurada el 8 de julio Diagrama de Ishikawa 21 de agosto	Investigadora: Rebeca Paniagua Gatgens.

Fuente: Elaboración propia, 2025

3.1.1 Observación Directa

Esta herramienta se seleccionó para recolectar información acerca de la etapa de molienda, en forma directa, para comprenderla en forma más amplia y realista. Por otro lado, da la oportunidad posibilidad de analizar de forma visual detalles específicos de este proceso.

3.1.1 Entrevista Semiestructurada

La entrevista semiestructurada se realizó a tres operarios rango tres del departamento de molienda. Para llevarla a cabo se hizo una guía de 20

preguntas de selección relacionadas con el desarrollo de las actividades dentro del área de fabricación de pintura específicamente en planta 2.

3.1.3 Diagrama de Ishikawa

Esta herramienta se empleó para clasificar y analizar de forma estructurada las posibles causas que influían en la variabilidad en los tiempos de la etapa de molienda de la pintura automotriz, los datos se agruparon bajo las categorías de las 6M (mano de obra, método, máquina, material, medición y medio ambiente).

3.2 Metodología para la Medición y Respaldo Cualitativo de Proyecto

En este punto se utilizó la fase “medir” de la metodología DMAIC, definiéndose el sistema de medición del proyecto así como se detalla en la tabla 4.

Tabla 4 Metodología para la Medición y Respaldo Cualitativo de Proyecto.

Fase "Medir"

Objetivo específico	Actividades	Herramienta	Descripción	Plazos	Responsables
Aplicar la metodología DMAIC para definir, medir, analizar, mejorar y controlar el proceso de molienda de la pintura automotriz	Establecer las relaciones de causa para la resolución del problema a través de la metodología DMAIC e identificar las herramientas usadas en cada fase.	- Los 5 Porqué - Diagrama de Pareto. - Cursograma. - Tablas de Datos. - Overall Equipment Efficiency (OEE)	Emplear la segunda fase de la metodología DMAIC, “medir” en la etapa de molienda en la producción de pintura automotriz.	Recolectar información: Analizar información: Cursograma se inició el 17 de julio Diagrama de Pareto el 10 de octubre OEE 13 de agosto	Investigadora: Rebeca Paniagua Gatgens.

Fuente: Elaboración propia, 2025

3.2.1 Los 5 Por Qué

Los 5 Por Qué se emplearon para analizar las causas y las consecuencias del problema planteado. Con el uso de esta técnica se pudo explorar la relación causa-efecto que condujo a un determinado problema.

3.2.2 Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto fue útil para presentar las causas raíz que afectan las demoras en la etapa de molienda tomando en cuenta el tiempo invertido, el porcentaje que representa, y el porcentaje acumulado.

3.2.3 Cursograma

Esta herramienta se utilizó durante 3 meses para registrar paso a paso la labor del operario de la etapa de molienda en la producción de pintura automotriz, prestando especial atención a los tiempos de duración de cada actividad que se realiza en esta etapa. Además, se clasificó cada acción según su tipo: por ejemplo, si es una medición, un traslado, o cualquier otra operación.

3.2.4 Tablas de Datos

Las tablas de datos se utilizaron para agrupar, organizar, almacenar y visualizar la información recolectada durante el proceso de medición.

3.2.5 Overall Equipment Efficiency (OEE)

Esta herramienta se utilizó como indicador principal para evaluar la eficiencia del proceso de fabricación de pintura automotriz, específicamente en la etapa de molienda. Los datos que se obtuvieron fueron cualitativos, y estos se relacionan con el aprovechamiento real de los equipos HSD (High Speed Disperser).

3.3 Metodología para la Propuesta de Mejora, Construcción o Puesta en Práctica de un Nuevo Proceso, Producto o Servicio

Este punto se dedicó al desarrollo de la fase “analizar” de la metodología DMAIC en la cual se fundamentó la base de la propuesta de mejora, pudiendo observarse en la tabla 5.

Tabla 5 Metodología para la Propuesta de Mejora, Construcción o Puesta en Práctica de un Nuevo Proceso, Producto o Servicio. Fase “Analizar”

Objetivo específico	Actividades	Herramienta	Descripción	Plazos	Responsables
Proponer acciones de mejora que permitan estandarizar el proceso de molienda de la pintura automotriz y optimizar el uso de los equipos HSD.	Sugerir actividades que faculiten el mejoramiento del proceso de molienda de la pintura automotriz, así como enriquecer el uso de los equipos HSD.	- Tablas de Datos. - Gráficos. - Análisis de Datos. - Enlistamiento de Posibles Propuestas.	Presentar una propuesta que permita el mejoramiento del proceso de molienda de la pintura automotriz.	Tabla de datos 31 de julio Análisis de datos 4 de septiembre Enlistado de posibles propuestas 30 de octubre	Investigadora: Rebeca Paniagua Gatgens.

Fuente: Elaboración propia, 2025

3.3.1 Tablas de Datos

En esta fase, las tablas de datos se usaron para organizar, resumir y presentar la información de manera lógica y clara, lo que facilitó la comparación, identificación de patrones, validación de la pregunta investigativa, y la comunicación de resultados. Ayudaron a desmenuzar los datos para comprender de forma más profunda los datos obtenidos.

3.3.2 Gráficos

Los gráficos se aplicaron con el propósito de representar visualmente los datos recolectados durante el análisis de la etapa de molienda de la pintura automotriz, permitiendo una interpretación más clara y comprensible de la información obtenida.

3.3.3 Análisis de Datos

A través del análisis de datos se pudo examinar, transformar y modelar los datos recolectados con el propósito de mostrar información útil, llegar a conclusiones, y tomar las mejores decisiones.

3.3.4 Enlistamiento de Posibles Propuestas

El enlistado de posibles soluciones ayudó a identificar y a generar diversas alternativas para solucionar las causas raíz de los problemas detectados en la etapa de molienda de la pintura automotriz.

3.4 Metodología para la Implementación del Proyecto

Este punto se asoció con la fase “implementar” de la metodología DMAIC en la cual se especificaron los aspectos clave para poner en práctica la propuesta de mejora, detallados en la tabla 6.

Tabla 6 Metodología para la Implementación del Proyecto. Fase “Implementar”

Objetivo específico	Actividades	Herramienta	Descripción	Plazos	Responsables
Proponer acciones de mejora que permitan estandarizar el proceso de molienda de la pintura automotriz y optimizar el uso de los equipos HSD.	Especificar el procedimiento que se usa para implementar la propuesta para el mejoramiento del proceso de molienda de la pintura automotriz.	- Tablas de Datos. - Gráficos. - Planes de Acción.	Puntualizar la metodología de la implementación de la propuesta para mejorar el proceso de molienda de la pintura automotriz.	Gráficos 2 de diciembre Plan de acción se realizará el 18 de noviembre	Investigadora: Rebeca Paniagua Gatgens.

Fuente: Elaboración propia, 2025

3.4.1 Tablas de Datos.

En esta fase, las tablas de datos impulsaron la toma de diversas decisiones basadas en el procesamiento indispensable de los datos, siendo uno de los elementos más importantes del proceso investigativo.

3.4.2 Gráficos.

Los gráficos son representaciones visuales de los datos recolectados para comprenderlos de manera rápida y eficiente, siendo estos indispensables para plantear una propuesta que en realidad se ajuste a la problemática planteada en la investigación.

3.4.3 Planes de Acción.

Los planes de acción fueron útiles para especificar las actividades, recursos y plazos necesarios para alcanzar los objetivos de la propuesta presentada, brindando una estructura clara.

3.5 Metodología para la Verificación, Aseguramiento, Control, y Seguimiento de Resultados

Este punto se ejecutó tomando en cuenta la fase “control” de la metodología DMAIC en donde se señala el seguimiento necesario a la propuesta de mejora, especificándose en la tabla 7.

Tabla 7 Metodología para la Verificación, Aseguramiento, Control, y Seguimiento de Resultados

Objetivo específico	Actividades	Herramienta	Descripción	Plazos	Responsables
Proponer acciones de mejora que permitan estandarizar el proceso de molienda de la pintura automotriz y optimizar el uso de los equipos HSD.	Establecer el seguimiento que se realiza a la propuesta para el mejoramiento del proceso de molienda de la pintura automotriz.	- Cuadros de Control. - Indicadores Clave de Rendimiento (KPI).	Precisar el seguimiento a propuesta para mejorar el proceso de molienda de la pintura automotriz.	Cuadros de control 20 de noviembre KPI 25 de noviembre	Investigadora: Rebeca Paniagua Gatgens.

Fuente: Elaboración propia, 2025

3.5.1 Cuadros de Control

Los cuadros de control son una herramienta visual que mostró los planes de acción con los que se abordarán los problemas identificados en la etapa de molienda en la pintura automotriz; además de aminorar los riesgos que podrían existir o identificar las mejoras que podrían establecerse en dicho proceso.

3.5.2 Indicadores Clave de Rendimiento (KPI)

Los indicadores clave de rendimiento (KPI) se emplearon para comparar los resultados obtenidos con las metas establecidas para cada indicador. Ellos permitieron verificar si las mejoras implementadas dieron el resultado esperado.

Capítulo IV: Análisis de Causa Raiz

En este capítulo se diagnosticaron las principales causas que impactan en el problema establecido. Para lo cual se recolectó información utilizando las diferentes herramientas descritas en el capítulo anterior con el fin de analizarla.

4.1 Análisis de la Situación Actual

Akzonobel, es una de las más grandes e importantes empresas que elaboran pintura automotriz en cualquier parte del mundo. Tiene sede en Costa Rica, quien bajo la marca Protecto, es líder en la fabricación de este tipo de pintura. Sin embargo, la empresa busca mejorar y reducir los tiempos de proceso de la fabricación de los productos que incluyen la etapa de molienda, lo cual dio origen a este proyecto investigativo.

Para brindar una solución a esta situación fue necesario determinar sus posibles causas utilizando el siguiente proceso:

4.1.1 Observación Directa

Se realizó una observación directa permitiendo comprender en forma más amplia y realista información relevante de la etapa de molienda del proceso de pintura automotriz tales como: Las condiciones reales de trabajo, los movimientos de los operarios, el uso de los equipos y las posibles ineficiencias presentes en este proceso.

Esta herramienta se utilizó durante cinco meses obteniendo una mayor visión de las principales causas de la demora en el proceso de molienda. Se observó directamente el trabajo realizado por los operarios teniendo la posibilidad de realizarles consultas en el mismo momento de la realización del proceso.

Entre los aspectos observados que sobresalen están: Normalmente el tiempo de molienda para elaborar una pintura tiene una duración de 5 horas, pero en varias ocasiones se registran en el OEE doce horas, incluso 3 días. Además, se observó la presencia de prácticas inadecuadas en el pesaje de la materia prima antes de añadirlo al Cowles o al HSD. También, se observó que

no se realiza en mantenimiento adecuado al equipo (HSD y Cowles) y falta de esferas en los HSD-01 y HSD-10. Por otra parte, se observó la existencia de retrasos de 20 minutos a 4 horas en el traslado de la materia prima con el montacargas.

La observación directa dio el punto de partida para definir las causas de la demora en la etapa de molienda de la pintura automotriz identificando los principales puntos críticos dentro de este proceso.

4.1.2 Entrevista Estructurada

Se entrevistó a 3 operarios quienes han alcanzado el rango 3. Ellos cuentan con amplia experiencia en el proceso de pintura automotriz teniendo la capacidad de confirmar y ampliar los hallazgos encontrados en la observación directa.

La entrevista estructurada (anexo 1) estaba compuesta por veinte preguntas de selección permitiendo obtener datos relevantes que ayudaron a detectar las principales causas de la demora en la etapa de molienda en la fabricación de la pintura automotriz, sustentando y complementando los descubrimientos iniciales con la experiencia de los operarios quienes aportaron una visión más técnica y práctica de las causas que originan las demoras y fallos operativos.3.

La tabla 8 resume algunos daros importantes recolectados a través de la entrevista estructura realizada a tres operario rango 3.

Tabla 8 Preguntas 1, 2, 4, 6, y 9 de la Entrevista Estructurada

Pregunta	Nunca	Rara vez	A veces	Frecuente	Muy frecuente
-----------------	--------------	-----------------	----------------	------------------	----------------------

¿Con qué frecuencia considera que los altos ciclos de molienda se deben a alta viscosidad del producto?		1	2	3
¿Con qué frecuencia se presentan problemas de humectación o mala premezcla que afectan la molienda?	1	2	3	
¿Qué tan frecuente considera que los pigmentos muy concentrados o duros al moler provocan atrasos?		2	1	3
¿Con qué frecuencia el área de pesado no envía la totalidad de la materia prima indicada en la fórmula?		2	1	3
¿Con qué frecuencia se presentan atrasos en la entrega de materia prima por parte del montacarga?				1 2 3
1= Operario 1 2= Operario 2 3= Operario 3				

Fuente: Elaboración propia, 2025

La tabla 8 muestra que los 3 operarios entrevistados coinciden en la mayoría de las respuestas. Por ejemplo, los 3 operarios opinaron que con frecuencia los altos ciclos de molienda se deben a alta viscosidad del producto, que rara vez se presentan problemas de humectación o mala premezcla que afectan la molienda, y que es muy frecuente que se presentan atrasos en la entrega de materia prima por parte del montacarga.

Además el operario 1 y el operario 3 estimaron que con frecuencia los pigmentos muy concentrados o duros al moler provocan atrasos y que el área de

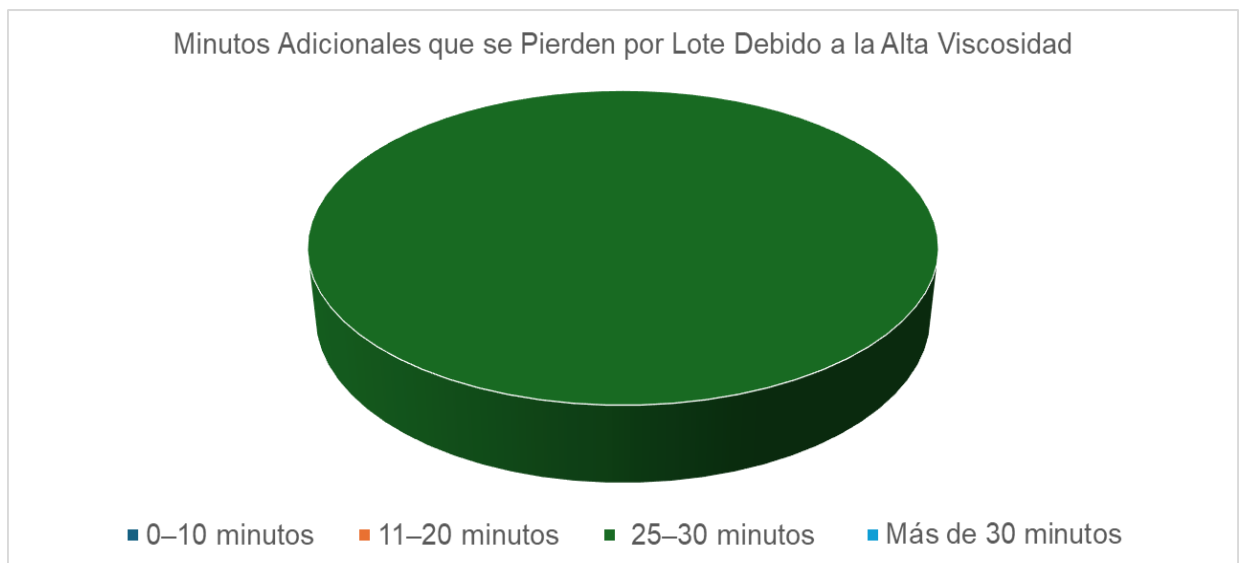
pesado no envía la totalidad de la materia prima indicada en la fórmula. En cambio, la opinión del operario 1 acerca de estos dos aspectos, es que rara vez ocurren.

Tabla 9 Minutos Adicionales que se Pierden por Lote Debido a la Alta Viscosidad

Minutos	Operario 1	Operario 2	Operario 3
0–10 minutos			
11–20 minutos			
25–30 minutos	x	x	x
Más de 30 minutos			

Fuente: Elaboración propia, 2025

Gráfico 1 Minutos Adicionales que se Pierden por Lote Debido a la Alta Viscosidad



Fuente: Elaboración propia, 2025

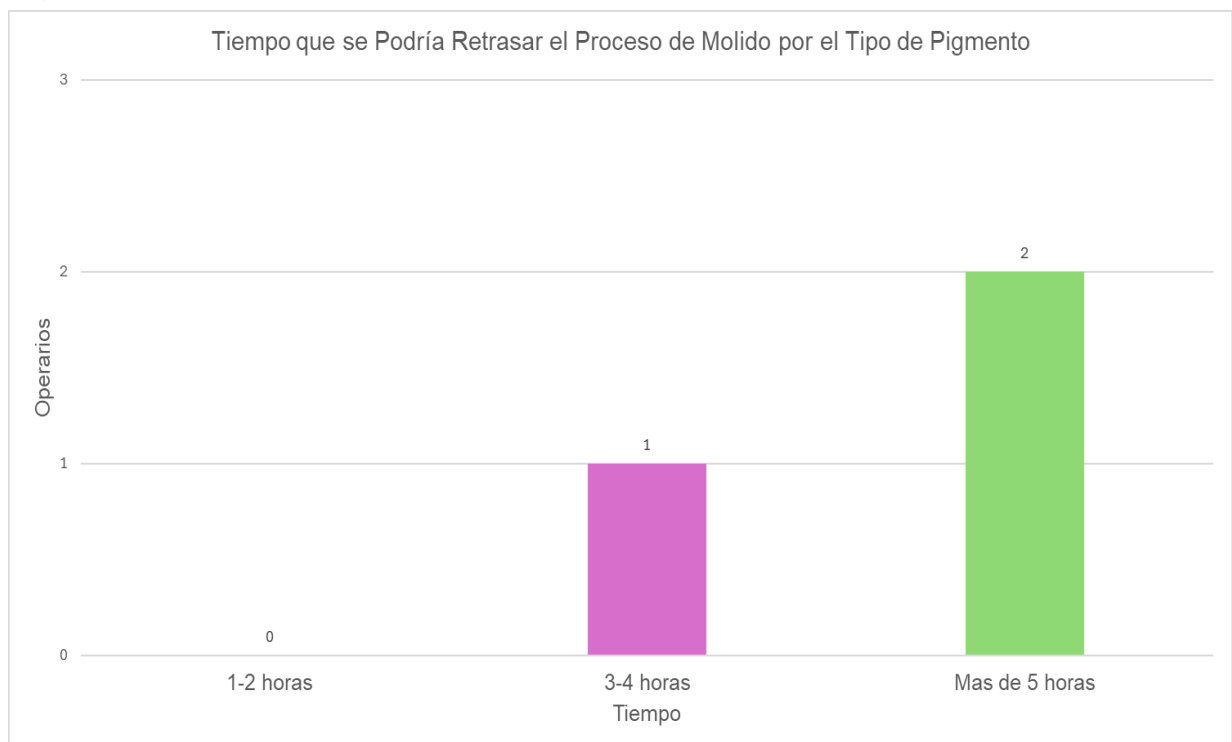
La tabla 9 y el gráfico 1 muestran que los 3 operarios opinan que se pierden entre 25 y 30 minutos adicionales por lote debido a la alta viscosidad, representando el 100% de los entrevistados.

Tabla 10 Tiempo que se Podría Retrasar el Proceso de Molido por el Tipo de Pigmento

Tiempo	Operario 1	Operario 2	Operario 3
1-2 horas			
3-4 horas		X	
Más de 5 horas	X		X

Fuente: Elaboración propia, 2025

Gráfico 2 Tiempo que se Podría Retrasar el Proceso de Molido por el Tipo de Pigmento



Fuente: Elaboración propia, 2025

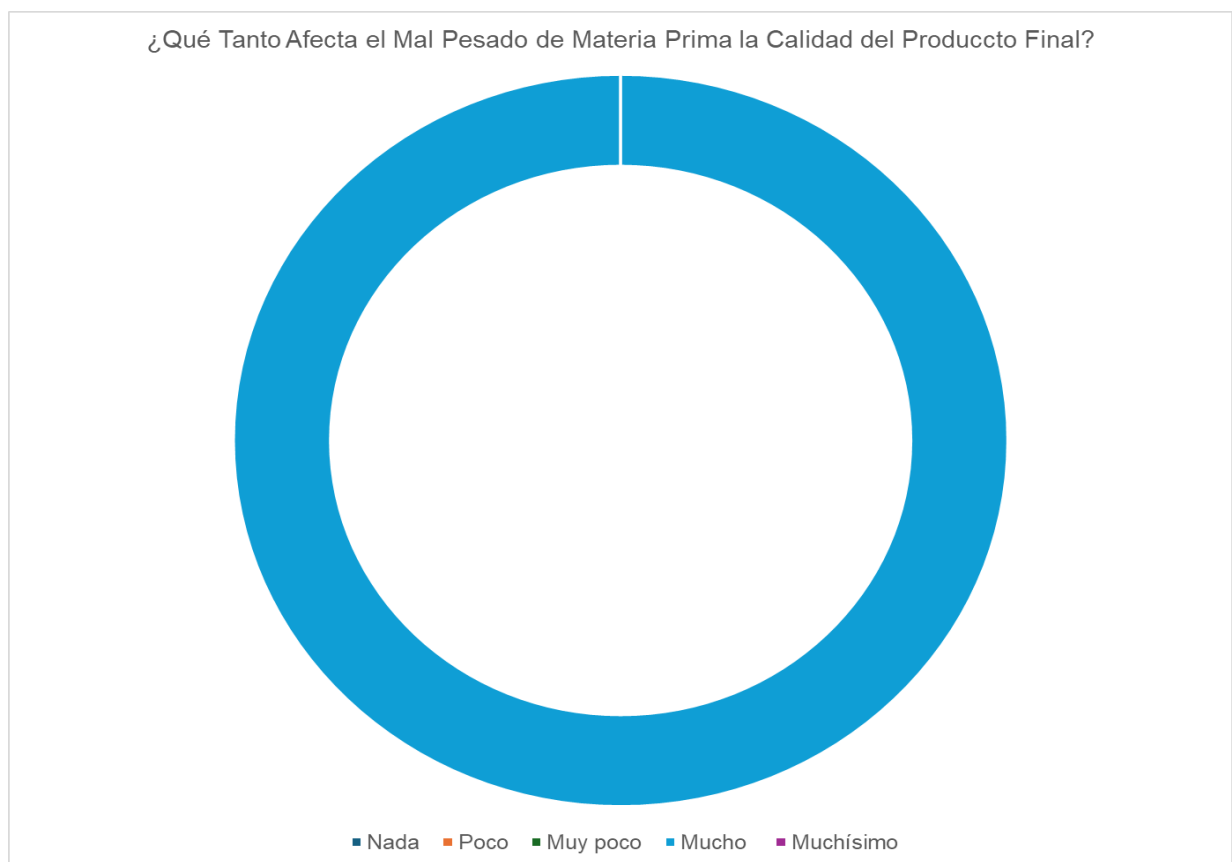
La tabla 10 y el gráfico 2 muestran que 2 de los operarios opinan que se pierden más de 5 horas que podría retrasar el proceso de molido por el tipo de pigmento, representando un 67% de los entrevistados. Además, muestran que 1 operario opina que se pierden entre 3 y 4 horas que podría retrasar el proceso de molido por el tipo de pigmento, representando un 33% de los entrevistados.

Tabla 11 ¿Qué Tanto Afecta el Mal Pesado de Materia Prima la Calidad del Producto Final?

Afección	Operario 1	Operario 2	Operario 3
Nada			
Poco			
Muy poco			
Mucho	x	x	x
Muchísimo			

Fuente: Elaboración propia, 2025

Gráfico 3 ¿Que Tanto Afecta el Mal Pesado de Materia Prima la Calidad del Producto Final?



Fuente: Elaboración propia, 2025

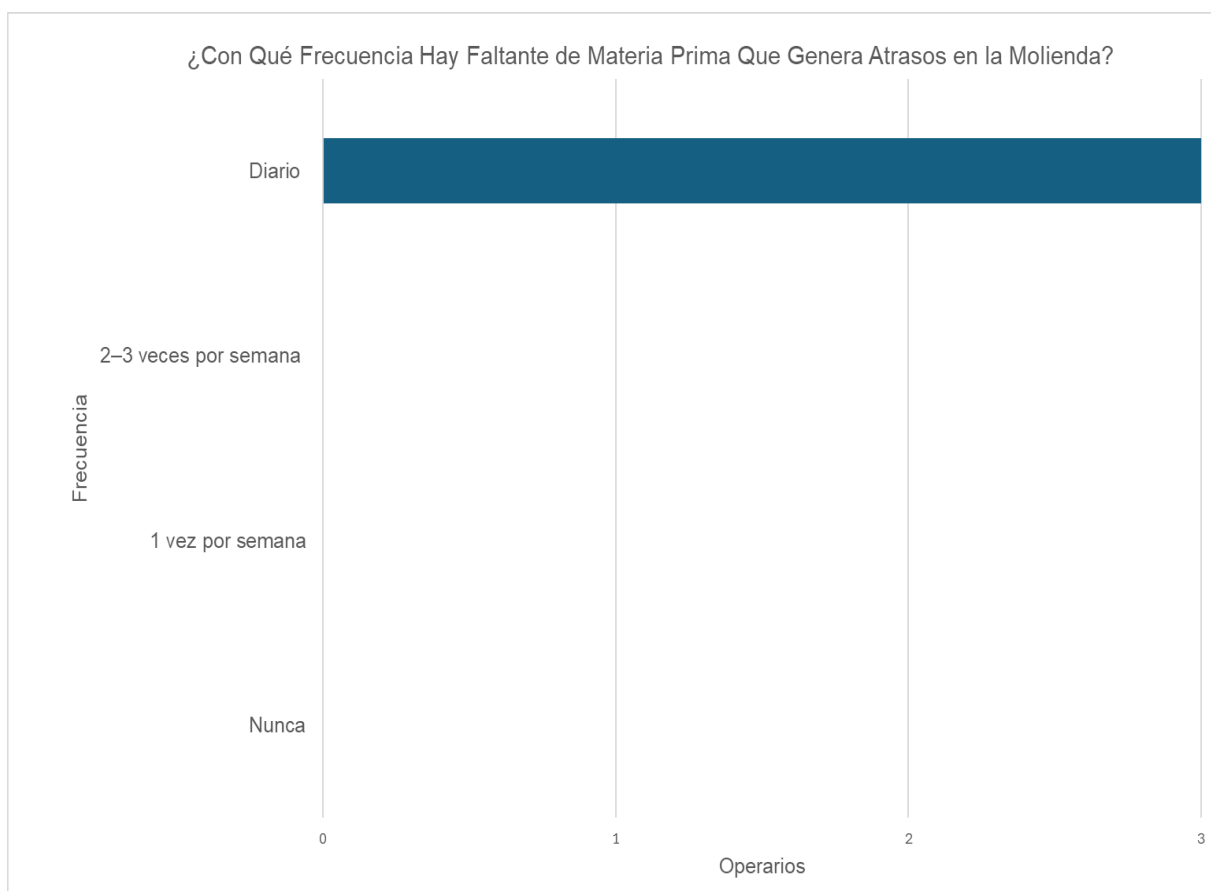
La tabla 11 y el gráfico 3 muestran que los 3 operarios opinan que el mal pesado de materia prima afecta mucho la calidad del producto final, representando el 100% de los entrevistados.

Tabla 12 ¿Con Qué Frecuencia Hay Faltante de Materia Prima Que Genera Atrasos en la Molienda?

Frecuencia	Operario 1	Operario 2	Operario 3
Nunca			
1 vez por semana			
2-3 veces por semana			
Diario	X	X	X

Fuente: Elaboración propia, 2025

Gráfico 4 ¿Con Qué Frecuencia Hay Faltante de Materia Prima Que Genera Atrasos en la Molienda?



Fuente: Elaboración propia, 2025

La tabla 12 y el gráfico 4 muestran que los 3 operarios opinan que a diario hay faltante de materia prima que genera atrasos en la molienda, representando el 100% de los entrevistados.

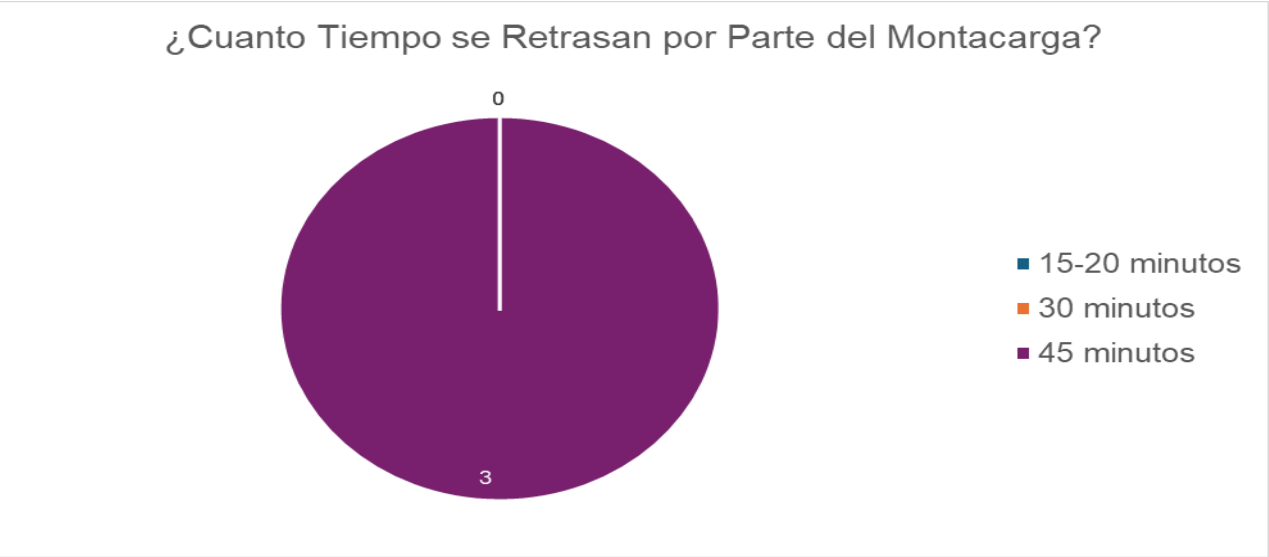
Tabla 13 Tiempo Que se Retrasan por Parte del Montacarga

Tiempo	Operario 1	Operario 2	Operario 3
15-20 minutos			

30 minutos			
45 minutos	x	x	x

Fuente: Elaboración propia, 2025

Gráfico 5 Tiempo que se Retrasan por Parte del Montacarga



Fuente: Elaboración propia, 2025

La tabla 13 y el gráfico 5 muestran que los 3 operarios opinan que se retrasan 45 minutos por parte del montacarga, representando el 100% de los entrevistados.

Tabla 14 Evaluación de la Coordinación Entre el Área de Pesado y Molinos

Evaluación	Operario 1	Operario 2	Operario 3
Muy mala			
Mala			
Regular	x	x	x
Buena			
Muy buena			

Fuente: Elaboración propia, 2025

Gráfico 6 Evaluación de la Coordinación entre el Área de Pesado y Molinos



Fuente: Elaboración propia, 2025

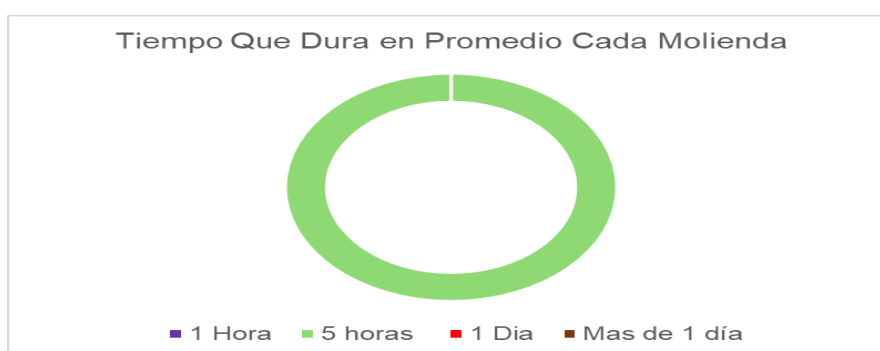
La tabla 14 y gráfico 6 muestran que los 3 operarios evalúan como regular la coordinación entre el área de pesado y molinos, representando el 100% de los entrevistados.

Tabla 15 Tiempo Que Dura en Promedio Cada Molienda

Evaluación	Operario 1	Operario 2	Operario 3
1 Hora			
5 horas	x	x	x
1 Dia			
Más de 1 día			
1 Hora			

Fuente: Elaboración propia, 2025

Gráfico 7 Tiempo Que Dura en Promedio Cada Molienda



Fuente: Elaboración propia, 2025

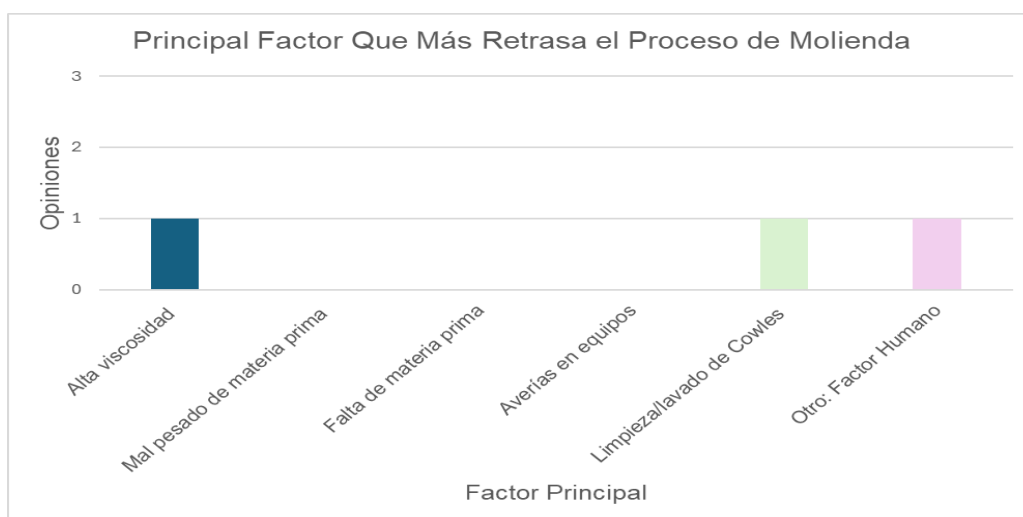
La tabla 15 y gráfico 7 muestran que los 3 operarios opinan que cada molienda dura 5 horas en promedio, representando el 100% de los entrevistados.

Tabla 16 Principal Factor Que Más Retrasa el Proceso de Molienda

Opinión	Operario 1	Operario 2	Operario 3
Alta viscosidad			
Mal pesado de materia prima			x
Falta de materia prima			
Averías en equipos			
Limpieza/lavado de Cowles		x	
Otro: Factor Humano	x		

Fuente: Elaboración propia, 2025

Gráfico 8 Principal Factor Que Más Retrasa el Proceso de Molienda



Fuente: Elaboración propia, 2025

La tabla 16 y gráfico 8 muestran que los 3 operarios tienen diferentes opiniones acerca del principal factor que más retrasa el proceso de molienda. El operario 1 manifiesta que es el factor humano, el operario 2 expresa que es limpieza/lavado de Cowles, y el operario 3 declara que es el mal pesado de materia prima; representando cada uno un 33.33% de los entrevistados.

Tabla 17 Preguntas 14 y 15 de la Entrevista Estructurada

Pregunta	Nunca	Casi nunca	Ocasionalmente	Casi siempre	Siempre
¿Con qué frecuencia					1 2 3

considera que los altos ciclos de molienda se deben a alta viscosidad del producto?

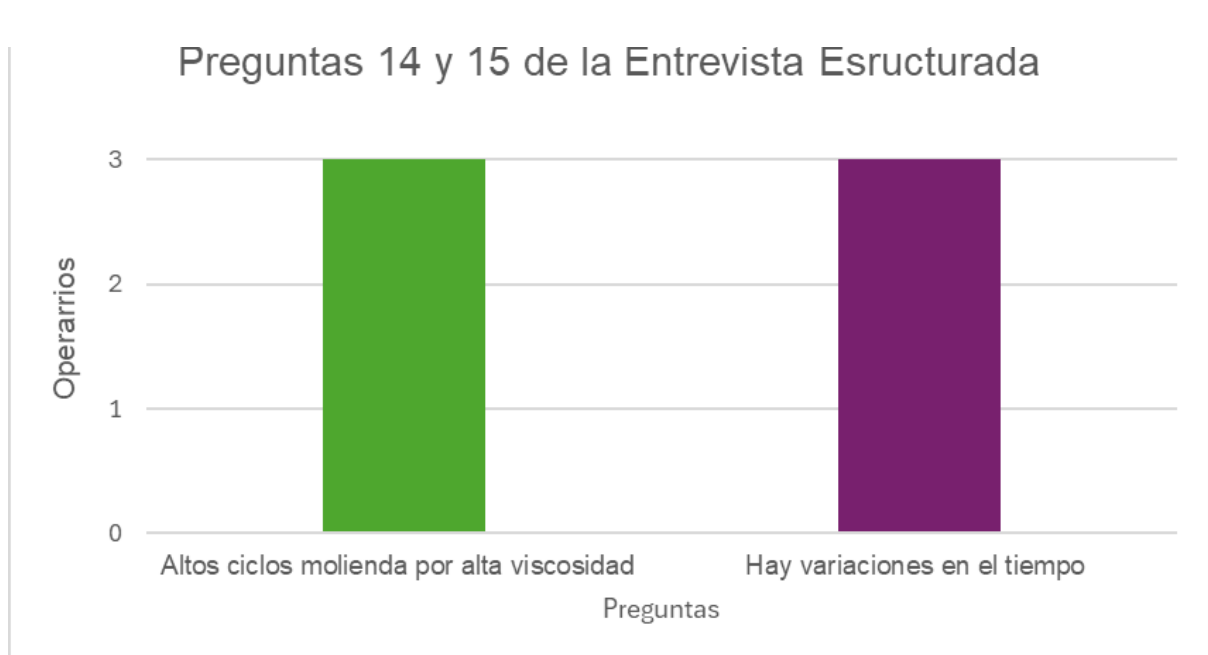
¿Hay variaciones en el tiempo dependiendo del tipo de pintura o pigmento?

1 2 3

1= Operario 1
2= Operario 2
3= Operario 3

Fuente: *Elaboración propia, 2025*

Gráfico 9 Preguntas 14 y 15 de la Entrevista Estructurada



Fuente: *Elaboración propia, 2025*

La tabla 17 y el gráfico 9 muestran que los tres operarios entrevistados coinciden en sus respuestas. Por ejemplo, los 3 operarios opinaron los altos ciclos de molienda siempre se deben a alta viscosidad del producto; representando cada uno un 33.33% de los entrevistados. También coincidieron

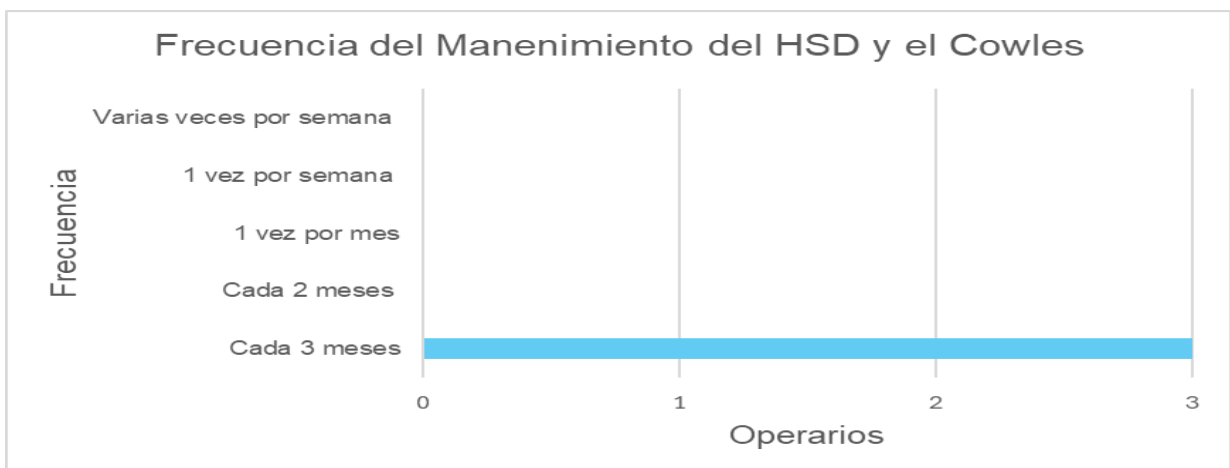
en que siempre hay variaciones en el tiempo dependiendo del tipo de pintura o pigmento; representando cada uno un 33.33% de los entrevistados.

Tabla 18 Frecuencia del Mantenimiento del HSD y el Cowles

Opinión	Operario 1	Operario 2	Operario 3
Cada 3 meses	X	X	X
Cada 2 meses			
1 vez por mes			
1 vez por semana			
Varias veces por semana			

Fuente: Elaboración propia, 2025

Gráfico 10 Mantenimiento del HSD y el Cowles



Fuente: Elaboración propia, 2025

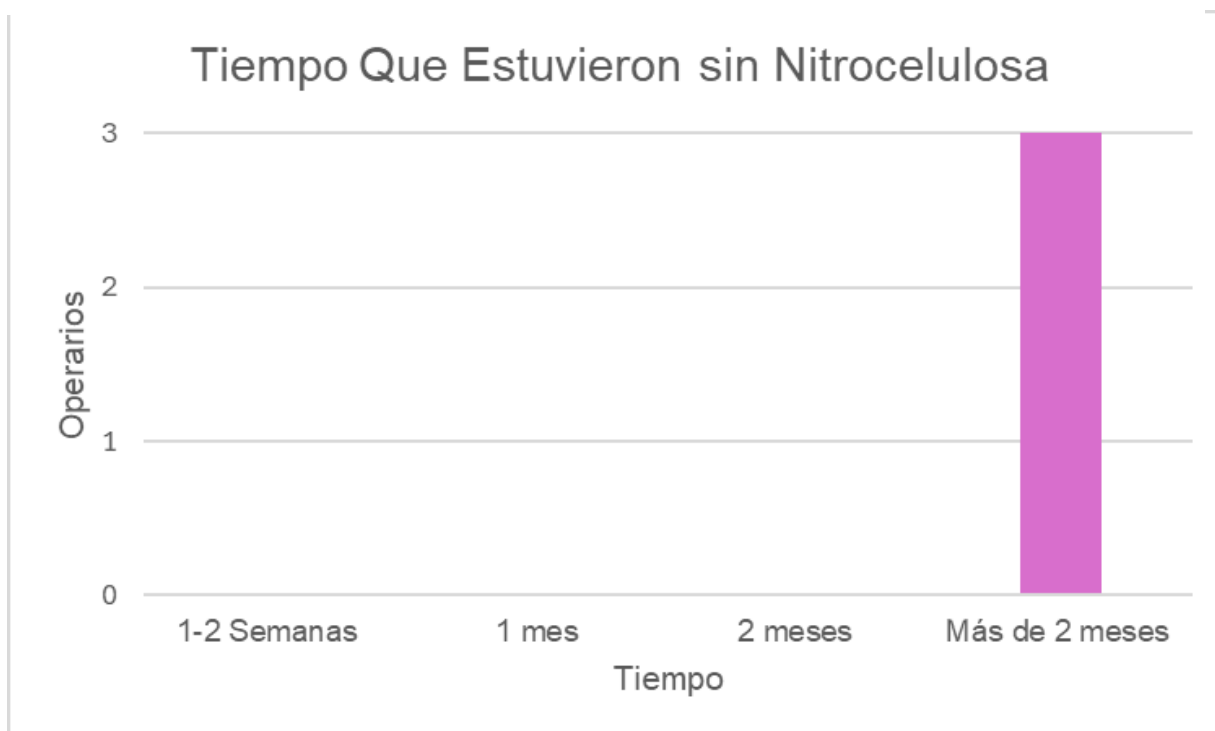
La tabla 18 y gráfico 10 muestran que los 3 operarios opinan que el mantenimiento del HSD y el Cowles se hace cada 3 meses, representando el 100% de los entrevistados.

Tabla 19 Tiempo en Que Estuvieron sin Nitrocelulosa

Opinión	Operario 1	Operario 2	Operario 3
1-2 Semanas			
1 mes			
2 meses			
Más de 2 meses	X	X	X

Fuente: Elaboración propia, 2025

Gráfico 11 Tiempo en Que Estuvieron sin Nitrocelulosa



Fuente: Elaboración propia, 2025

La tabla 19 y gráfico 11 muestran que los 3 operarios opinan que estuvieron sin nitrocelulosa más de 2 meses, representando el 100% de los entrevistados.

Tabla 20 Preguntas 18 y 19 de la Entrevista Estructurada

Pregunta	Menos de 15 minutos	30 minutos	45 minutos	1 hora
¿Cuánto tiempo esperan para recibir un ajuste o faltante?	3	2		1
¿Cuánto duran lavando un Cowles o un HSD?	1		2 3	

- 1= Operario 1
- 2= Operario 2
- 3= Operario 3

Fuente: Elaboración propia, 2025

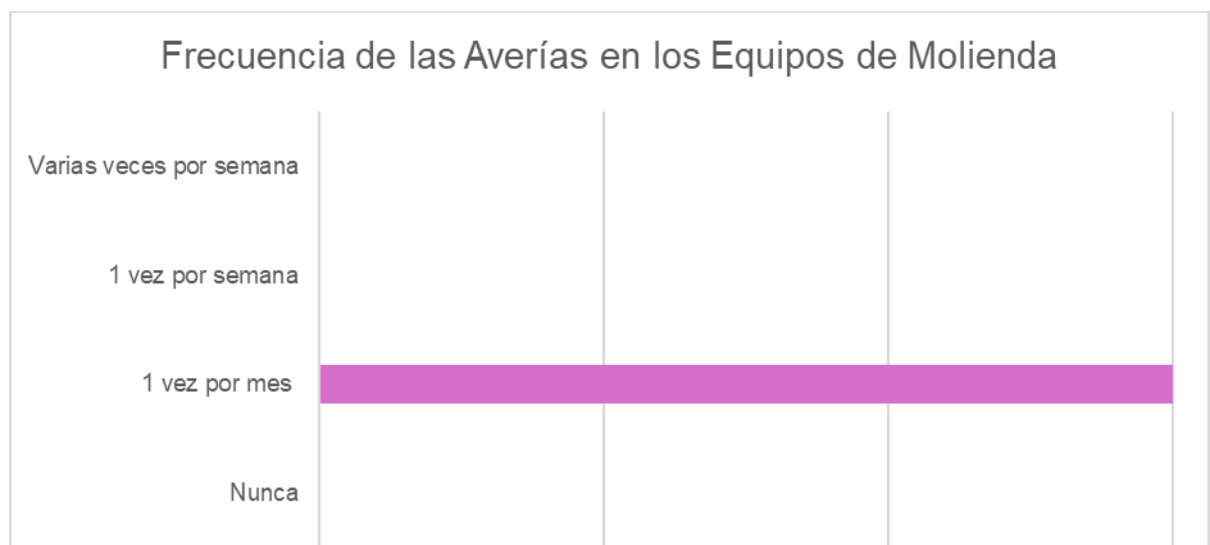
La tabla 20 muestra que los 3 operarios difieren en sus respuestas. Por ejemplo, referente al tiempo que esperan para recibir un ajuste o faltante, el operario 1 expresó que esperan una hora, el operario 2 manifestó que esperan treinta minutos, y el operario 3 opinó que esperan menos de quince minutos; representando un 33, % de los entrevistados. Además, relacionado con el tiempo que duran lavando un Cowles o un HSD, el operario 1 declaró que duran menos de 15 minutos; y los operarios 2 y 3 exteriorizaron que duran 45 minutos; representando un 67% de los entrevistados.

Tabla 21 Frecuencia de las Averías en los Equipos de Molienda

Opinión	Operario 1	Operario 2	Operario 3
Nunca			
1 vez por mes			
1 vez por semana	x	x	x
Varias veces por semana			

Fuente: Elaboración propia, 2025

Gráfico 12 Frecuencia de las Averías en los Equipos de Molienda



Fuente: Elaboración propia, 2025

La tabla 21 y gráfico 12 muestran que los 3 operarios opinan que la frecuencia de las averías en los equipos de molienda es de 1 vez por mes; representando el 100% de los entrevistados.

4.1.3 Diagrama de Ishikawa

Tercero, después de un diagnóstico inicial a través de la observación directa y la entrevista estructura se elaboró un diagrama de Ishikawa (anexo 2) clasificando de forma estructurada las causas que influían en la variabilidad significativa en los tiempos de operación en la etapa de molienda, agrupándolas bajo las categorías de las 6M (mano de obra, método, medición, máquina, material, y medio ambiente. Las causas raíz que se encontraron se detallan a continuación.

4.1.3.1 Mano de Obra. En cuanto a la mano de obra se encontraron dos causas.

1. Diferencia en la forma en que cada operador ejecuta la molienda. En la planta 2, hay 4 operadores de rango 3, y cada uno tiene su propio ritmo al elaborar la pintura. Por ejemplo, uno de ellos es más rápido que los otros debido a los años de experiencia trabajando en Protecto. Este operador tiene tanta habilidad que puede elaborar varios producto a la vez, y preparar 1 a 2 lotes por día. En cambio, hay otro operador que es más lento. Él solo tiene la

destreza de elaborar un lote al día, lo cual se adjudica por la falta de experiencia.

2. Falta de experiencia y capacitación en protocolos durante la molienda. La falta de experiencia es un aspecto que se consideró como una causa de los retrasos en la etapa de molienda. Además, la falta de capacitación en los operarios también se considera como tal. Más concretamente, no se capacita a los operarios en un 100% acerca del proceso molienda. Son los mismos operarios los que entrenan al personal que ingresa al departamento, mostrándoles el protocolo que deben seguir en este proceso. Algunos aspectos en los que se enfatiza son: Seguridad al utilizar las máquinas, como mantener aseado el lugar de trabajo, como limpiar los equipos, cómo manejar la materia prima, cómo preparar la muestra para ser analizada en el espectrofotómetro, equipo que mide el color con alta precisión al descomponer la luz en sus diferentes longitudes de onda. Para ello, se toma una muestra del producto y se coloca en el espectrofotómetro. Si los operarios no tienen el conocimiento requerido en todos estos aspectos pueden echar a perder el producto, trayendo consigo pérdidas económicas al desperdiciar envases, etiquetas, materia prima y tiempo.

4.1.3.2 Medición. Relacionadas a la medición sobresalen los siguientes aspectos.

1. Tiempos estándar de molienda desactualizados. Se estima que 1 lote dure 5 horas por molienda, pero no todos los productos que se hacen son del mismo galonaje ni todos se hacen con el mismo pigmento, debido a que tanto los

pigmentos como los concentrados son diferentes por lo que unos son más duros de moler que otros.

2. Variabilidad en el pesaje de materias primas. Uno de los atrasos más recurrentes y con mayor impacto en las operaciones de la etapa de molienda es los errores cometidos en el pesaje de materia prima. Por ejemplo, de cada diez envíos de materia prima, entre ocho y nueve presentan desviaciones en el pesaje. Esta situación genera reprocesos durante la etapa de molienda y afecta la comparación de muestras de arrastre, ya que se evidencian diferencias entre formulaciones.

El tiempo requerido por el área de pesado para solventar la materia prima faltante oscila entre 15 minutos y una hora. Considerando una frecuencia de cuatro días por semana durante un periodo de cuatro meses, se estima un impacto acumulado de 2 368 minutos, equivalentes a 39 horas y 30 minutos de atraso, afectando significativamente la eficiencia del proceso de molienda.

4.1.3.3 Materiales. Referente a los materiales, destacan las siguientes causas.

1. Faltante de nitrocelulosa para resina Binder. Este es un aspecto fundamental porque muchas de las pinturas que se realizan son creadas con resina Binder de la nitrocelulosa. Esta resina se utiliza en la línea 4290; sin embargo, no se contó con nitrocelulosa por aproximadamente 2 meses, agosto y septiembre del 2025. Esto se debió a que la bodega en que se guardaba se quemó en su totalidad ya que es muy inflamable. Evidencia 86400 minutos /1440 horas.
2. Pigmentos que requieren molienda extra. Esto es un atraso natural en la etapa de molienda, porque hay unos pigmentos unos más duros que otros, siendo uno de los más concentrados, el pigmento negro. Es decir, otros

colores duran 5 horas por molienda en HSD, en cambio el negro podría durar otras 5 horas, duplicando el tiempo de molienda.

3. Faltante de perlas para los HSD-01 y HSD-20. Las perlas usadas en cada HSD son indispensables porque sin ellas la maquina no se utilizaría para la función que se creó. Aproximadamente desde mayo hasta agosto los equipos HSD-01 y HSD-20 estuvieron sin perlas, por lo que no era posible homogenizar y romper todo grumo que tenga la pintura.

Otro aspecto relacionada con la perlas es que estas salen de una especie de “ollita” que el HDS tiene. Cuando bajan con el producto, algunas perlas logran salirse y caer al tanque. Cuando se lava el tanque las quedan ahí como son “pocas “, los operadores no las vuelven a colocar en los HSD. Evidencia 86 400 minutos de mayo agosto.

4.1.3.4 Máquinas. Concerniente a las máquinas, resaltan algunas causas.

1. Averías en los equipos. Las averías también provocan atrasos en la etapa de molienda porque sin un equipo se detiene, la producción lo hace también. Un ejemplo de esto es la avería en un Cowles que estuvo sin funcionar una semana.
2. Atrasos en el montacargas para trasladar materia prima a planta 2. El montacargas traslada la materia prima al departamento donde se elabora la pintura, por lo que si hay atrasos con esta entrega, la producción también lo hace. Durante los cuatro meses que se realizó la observación participante, hubo aproximadamente 40 atrasos, con una duración promedio estimada de 35 minutos por evento adjudicada a las demoras con el montacarga. Este cálculo se obtuvo tomando la frecuencia semanal y el rango de duración

reportado (15–60 minutos), obteniendo una media representativa del comportamiento real del proceso.

3. Falta de mantenimiento preventivo en los equipos. Sí se hace el mantenimiento preventivo de los equipos se podría evitar paros innecesarios en la producción. Se determinó que lo que más se desgasta son los pines y peras. El mantenimiento que debe realizar 2 veces por semana; no obstante, esto no se realiza hasta que el equipo se detiene por una avería; de lo contrario puede pasar hasta 4 meses sin que el equipo se revise.
4. Lavado de HSD y Cowles muy prolongados. En ocasiones, ha pasado que los operarios no pueden dispersar para luego moler porque el equipo (HSD y Cowles está sucio. Es necesario esperar a que los laven entre 25 a 40 minutos'. Evidencia: 2400 minutos en un lapso de junio a septiembre aproximado de un tiempo estándar de 30 minutos por día equivale a 40 horas durante los 4 meses.

4.1.3.5 Método. En el método utilizado en el área de pesaje, también se encontraron causas de atraso en este departamento.

1. Falta de protocolo para el pesaje previo de materia prima. La ausencia de protocolos en el pesaje de materia prima da como resultado pesados con cantidades incorrectas; generando desviaciones en la formulación. Esto obliga a los operarios a realizar ajustes o retrabajos en la etapa de molienda, afectando directamente la calidad final del producto.

Por otra parte, se incrementa el tiempo total del proceso cuando los operarios pesan mal la materia prima porque ellos lo hacen empíricamente y no por el conocimiento adquirido a través de la inducción necesaria para trabajador. Es tan relevante este punto, que los operarios en ocasiones pasan por alto la

diferencia de entre 100g hasta 500g de ciertos ingredientes porque creen que es poco; pero en realidad esto genera desviaciones en la formulación si se trata de galonajes bajos.

Durante el periodo de 4 meses, se registraron en promedio 4 eventos semanales de error en el pesaje de materia prima. Cada evento genera un tiempo de espera promedio de 47,5 minutos, mientras se ajusta la cantidad faltante según la formulación inicial. Como resultado, el impacto total acumulado asciende a 3 040 minutos de tiempo improductivo, afectando directamente la eficiencia del proceso de molienda.

2. Operarios asignados a otras áreas durante la molienda. Durante su trabajo, algunos operarios están en un área asignada sacando un producto, ya sea en molienda o en otras etapas de la elaboración de la pintura automotriz, conocido como “hacer otras pinturas” que se tuvieron que hacer días atrás”, atrasando la culminación de ambos productos.

4.1.3.6 Medio Ambiente. Vinculadas a este punto, se encuentran otras causas.

1. Temperatura ambiente afecta viscosidad. La baja viscosidad (diluida) afecta la etapa de molienda porque es más difícil encontrar el punto ideal para elaborar la pintura. Esto ocurre por las bajas temperaturas o por dejar la baja viscosidad, haciéndolo de manera intencional para lograr un recubrimiento eficaz con menos disolventes; además, controlando la temperatura lo que vital para mantener la viscosidad dentro del rango óptimo durante la aplicación.
2. La alta viscosidad (más espesa) se debe a altas temperaturas ya que, durante la molienda se mezcla todo el solvente disolviéndose más rápido. Esto

provoca que la pintura sea más espesa, causando un retraso porque se deben hacer ajustes para recuperar la pintura.

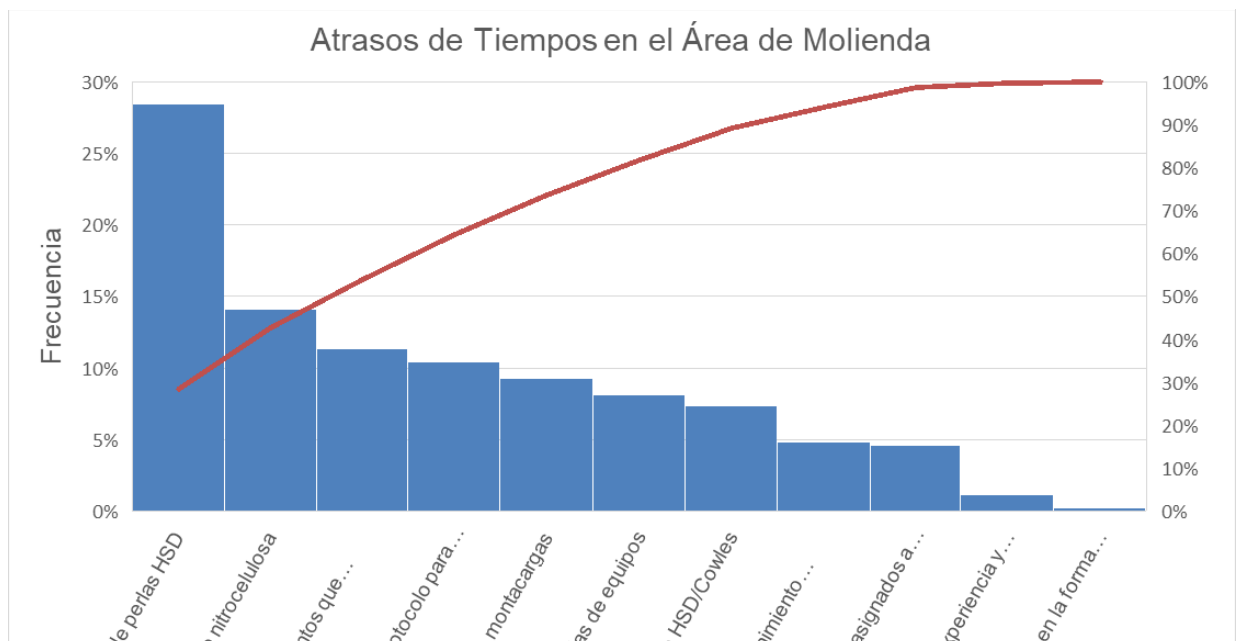
4.1.4 Análisis del Diagrama de Pareto

Tabla 22 Atrasos de Tiempo en el Área de Molienda (Pareto 1)

Causa	Frecuencia	Frecuencia acumulada	% Acumulado
Faltante de perlas HSD	123	28%	28%
Faltante de nitrocelulosa	61	14%	43%
Pigmentos que requieren molienda extra	49	11%	54%
Falta de protocolo para el pesaje previo de materia prima	45	10%	64%
Atrasos montacargas	40	9%	74%
Averías de equipos	35	8%	82%
Lavado HSD/Cowles	32	7%	89%
Mantenimiento preventivo deficiente	21	5%	94%
Operarios asignados a otras áreas durante la molienda	20	5%	99%
Falta de experiencia y capacitación en protocolos durante la molienda	5	1%	100%
Diferencia en la forma en que cada operador ejecuta la molienda	1	0%	100%
TOTAL	432		

Fuente: Elaboración propia, 2025

Gráfico 13 Atrasos de Tiempo en el Área de Molienda (Pareto 1)



Fuente: Elaboración propia, 2025

En la tabla 22 y en el gráfico 13 se muestran las principales causas de atrasos de tiempo en el área de molienda identificados en la primera observación. Sin embargo, no se debe tomar en cuenta la “falta de nitrocelulosa” porque este faltante se debió a una causa atípica. En agosto del 2025 hubo un incendio en la bodega de la nitro, siendo esta materia prima que se utiliza para elaborar algunas de las pinturas, y al tratar de apagar el fuego esta recibió agua dañándola por completo.

Lo mismo ocurre con los “pigmentos que requieren molienda extra”. Esta causa no se debe tomar en cuenta porque todos tienen diferentes concentraciones desde 60% hasta la más baja de 10%.

Por lo tanto, se determina que las 3 causas más sobresalientes son: Faltante de perlas HSD, falta de protocolo para el pesaje previo de materia prima, y atrasos montacargas; representando respectivamente 28%, 10%, y 9% respectivamente.

Por otra parte las 3 menos sobresalientes en orden descendente son: Operarios asignados a otras áreas durante la molienda, falta de experiencia y capacitación en protocolos durante la molienda, y diferencia en la forma en que

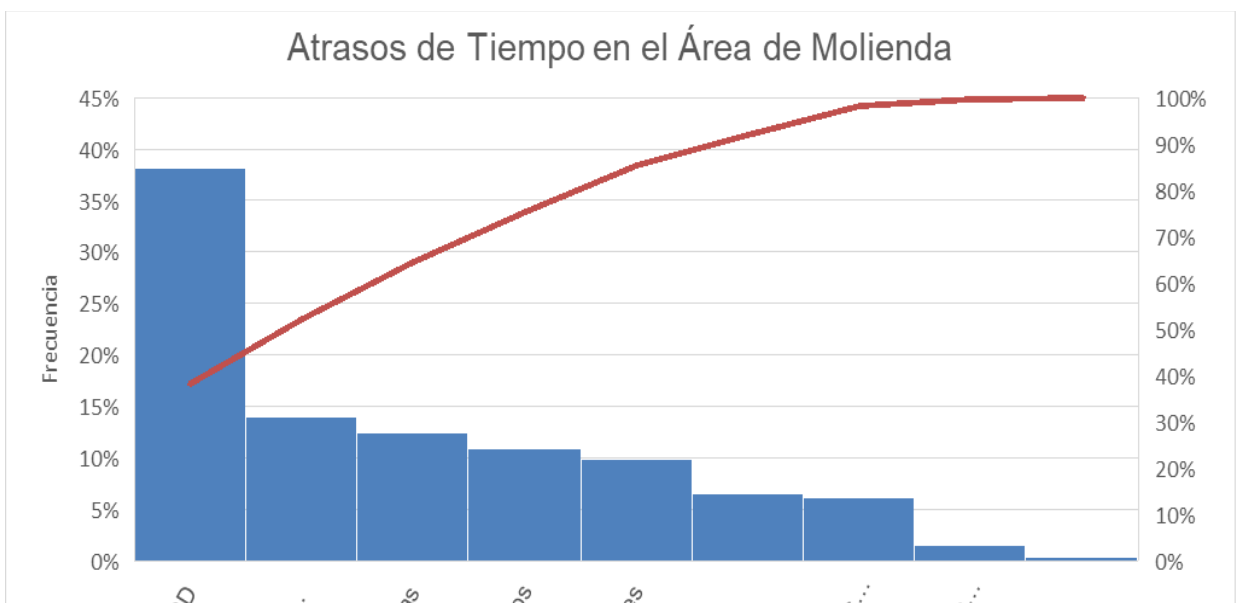
cada operador ejecuta la molienda; representando respectivamente 5%, 1%, y 0%.

Tabla 23 Atrasos de Tiempo en el Área de Molienda (Pareto 2)

Causa	Frecuencia	Frecuencia acumulada	% Acumulado
Faltante de perlas HSD	123	38%	38%
Falta de protocolo para el pesaje previo de materia prima	45	14%	52%
Atrasos montacargas	40	12%	65%
Averías de equipos	35	11%	75%
Lavado HSD/Cowles	32	10%	85%
Mantenimiento preventivo deficiente	21	7%	92%
Operarios asignados a otras áreas durante la molienda	20	6%	98%
Falta de experiencia y capacitación en protocolos durante la molienda	5	2%	100%
Diferencia en la forma en que cada operador ejecuta la molienda	1	0%	100%
TOTAL	322		

Fuente: Elaboración propia, 2025

Gráfico 14 Atrasos de Tiempo en el Área de Molienda (Pareto 2)



Fuente: Elaboración propia, 2025

En la tabla 22 y en el gráfico 13 muestran las 3 causas más sobresalientes son: Faltante de perlas HSD, falta de protocolo para el pesaje previo de materia prima, y atrasos montacargas; representando respectivamente 38%, 14%, y 12% respectivamente.

Por otra parte las 3 menos sobresalientes en orden descendente son: Operarios asignados a otras áreas durante la molienda, falta de experiencia y capacitación en protocolos durante la molienda, y diferencia en la forma en que cada operador ejecuta la molienda; representando respectivamente 6%, 2%, y 1%.

4.1.5 Análisis del Cursograma

Tabla 24 Cursograma

ACTIVIDAD				FECHA						
FECHA:										
OPERADOR:	Alejandro valverde			ANALISTA: ATC						
MÉTODO:	Normal			TECNICA EMPLEADA						
MÉTODO ANALIZADO:	Actual			INSPECCIÓN						
TPO DE MATERIAL:				ALMACENAJE						
COMENTARIOS:										
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDAD		SÍMBOLO			FECHA					
					7/17/2025	7/31/2025	8/13/2025	8/20/2025	9/3/2025	9/22/2025
					sin demoras	Demora por atraso por materia prima de 1 hora	demora de atraso de 4 horas el operador lo pusieron hacer otras prioridades	sin demoras	atraso de demora por el montacargas 40 min	demora de 45 min de lavado de espera + 2 horas de averia en HSD
Preparacion de lote	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Busqueda de tanque	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5 minutos	4 min	5 min	2min	5 min	5 min
Aprobacion de calidad de tanque	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2 min	1 min	1,35 min	4 min	15 min	7 min
Busca MP	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5 min	10 min	6,35 min	8,56 min	6 min	3 min
Seleccionar cowles	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2 min	1 min	2 min	3 min	10 min	2 min
Verificar aprobacion de MP	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4 min	5 min	7 min	6 min	10 min	5 min
Dispersion de resina	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	16 min	3 min	3,27 min	3,12 min	3,35 min	2,29 min
Agregar dispersante	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5s	6,3 s	8s	5s	7s	20s
Agregar pigmento	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	15 min	30 min	35 min	45 min	35 min	30 min
Añadir totuelo	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10s	15 s	16s	15 s	15s	10s
Mezclar	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	60 min	90 min	45 min	60 min	90 min	90 min
Verificar viscodiad 80-90 ku	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2 min	3,20 min	1,31 min	1,27 min	3,5 min	1,5 min
Lavado de cowles	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	16 min	20 min	20,57 min	20 min	15,38 min	25 min
Moler en HSD	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5 hrs	10 hrs	48 hrs	5 hrs	12 horas	9 horas
Verificar tincion	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2,30 min	4 min	5 min	3 min	5 min	3 min
Lavado de HSD	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	45 min	20 min	25 min	35 min	30 min	45 min
Añadir solvente restante	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2 min	1 min	1,36 min	30 s	1 min	25s
Verificar viscosidad 25 °	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2 min	1 min	1,5	3 min	1 min	1,5 min
Verificar poder tintoreo	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3 min	5 min	4 min	5 min	3,5 min	5 min
Peso por galon	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5 min	15 min	4,48 min	3,5 min	5 min	7 min
Arrastre comparativo	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2 min	3 min	3,2 minutos	2 min	2 min	2 min
Aprobacion por calidad	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2 min	5 min	10 min	1 min	10 min	1 min
Basura	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	12,38 min	10 min	13 min	4 min	12 min	5 min
Guardar muestra en caja de retenes	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5s	2s	6s	3s	5s	10 minutos
Traslado de tanque al area de pesado	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2 min	2,45 min	3 min	3 min	2 min	2 min
Pesado de tanque	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2 min	2,30 min	2,5 min	3 min	1 min	1,5 min
Envasado	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	30 min	35 min	45 min	1 horas	45 min	30 min
Traslado de PT	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1 min	45s	2 min	1,5 min	1 min	1,5 min
Almacenamiento de PT	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10 min	5 min	30 min	15 min	25 min	35 min
					9 horas	15 horas y 37 minutos	56 horas con 42 minutos	10 con 9 minutos	17 horas con 21 min	16 horas con 35 minutos

Fuente: Elaboración propia, 2025

La tabla 24 muestra los atrasos en la etapa de molienda en diferentes días. El 7 de julio del 2025, el proceso se realizó en 9 horas. Este periodo de tiempo se considera normal, 5 horas de molienda en HSD más 4 horas en los otros procedimientos. Es decir, no hubo atrasos este día.

El 31 de julio del 2025, el proceso tardó 15 horas y 37 minutos. Ese día se usó una pintura automotriz de pigmento de hierro amarillo. Este pigmento tiene un concentrado de un 35%. Este día hubo problemas porque durante la molienda

de HSD, las primeras 5 horas el producto tenía apariencia de piel de naranja, estaba muy denso, y le hacía falta moler un poco más.

Por lo tanto, con una temperatura que no sobrepasó los 55°C, se dejó moliendo el producto 5 horas más. Es decir, se completaron 10 horas de molido; además hubo un atraso de 1 hora por error en el pesado de algunos ingredientes de materia prima.

El 13 de julio del 2025, el proceso se llevó a cabo en 56 horas y 42 minutos, lo cual equivale a 2 días y 8 horas y 42 minutos. Tuvo una duración extensa porque la pintura que se elaboraba era con un pigmento negro catalogándose con un 60% de concentrado. Elaborar este color es uno de los más duros de moler, requiriendo 48 horas moliendo porque cada vez que realizaban muestras, estas salían con grumos.

Además, es importante agregar que este procedimiento tardó más de lo esperado porque ese día enviaron al operador en encargado a otra planta donde se elaboran otro tipo de pintura, quedándose ahí durante 4 horas. Además, el producto fue de un galonaje de 250 por lo que es también es un factor que se debe valorar.

El 20 de agosto del 2025, la elaboración del producto tuvo una duración de 10 horas con 9 minutos. Este proceso fue rápido porque era un galonaje de 50 y se hizo con un pigmento azul. Este pigmento es de un concentrado bajo de 10%. Además, tuvo una duración normal de 5 horas moliendo en el HSD. Este lote fue de 50 galones

El 3 de setiembre del 2025. En este caso la duración fue de 17 horas con 9 minutos debido a que el pigmento que se utilizó para este producto fue un naranja. Esse en un pigmento de 50% duro de moler. Tuvo una demora porque el montacarga tardó aproximadamente 40 minutos en

traer la resina; además, la molienda tuvo una duración de 12 horas. Este lote fue de 150 galones.

El 22 de setiembre del 2025, el proceso tuvo una duración de 16 horas con 35 minutos. Este tiempo fue más extenso de lo programado debido a que el HSD-20 (uno de los equipos más grande) estaba sucio. El proceso de lavado fue de aproximadamente de 45 minutos. Después se descubrió una avería en la etapa del equipo, necesitando 2 horas para arreglarlo. Este lote fue de 150 galones

4.1.6 Análisis del Overall Equipment Effectiveness

Tabla 25 KPI del OEE

KPI DEL OEE	
Equipo	Cowles/ HSD
Area	Molienda
Periodo que se analizo	Junio hasta setiembre (4 meses)
Tiempo Programado	
Horas por turno:	9 h con 30 min= 570 min
Turnos por día	1
Días trabajados en 4 meses	89 días
Calculo	
Tiempo programado (minutos)	50730 min

Fuente: Elaboración propia, 2025

Tabla 26 Disponibilidad

Disponibilidad

Averías mecánicas (minutos)	27450
lavados HSD (minutos)	2400
Total de paros del equipo	
29850 minutos	
Tiempo Operativo	
20880 minutos	
Disponibilidad	
Tiempo operativo /tiempo programado	41%

Fuente: Elaboración propia, 2025

Tabla 27 Rendimiento

Rendimiento	
Datos	
Tiempo estándar por lote en molienda	5 horas =300 min
Lotes producidos por día	1 lote
Total de lotes en 4 meses	89 días = 89 lotes
Tiempo estándar total	
26700 min	
Tiempo real de molienda	
Rango 10-15 horas	
Promedio usado 12,2h=	
750 min	66750
Rendimiento	
40%	

Fuente: Elaboración propia, 2025

Tabla 28 Calidad

Calidad	
Total de lotes	89
Lotes reprocesados	6

Producción buena	83 lotes
Calidad	93%

Fuente: Elaboración propia, 2025

Las tablas 25, 26, 27, y 28 nos ofrecen datos relevantes. Disponibilidad baja alto impacto de averías, rendimiento crítico tiempos reales muy superiores al estándar, y calidad aceptable pero no es el principal problema.

Por otra parte, se debe agregar que el OEE del equipo de molienda (HSD/Cowles) durante el periodo junio–septiembre del 2025 fue de 15,4%.

La disponibilidad se vio afectada principalmente por averías mecánicas y lavados del equipo; mientras que el rendimiento presentó una desviación significativa debido a tiempos reales de molienda superiores al estándar establecido.

La calidad del proceso mostró un comportamiento aceptable, con un bajo porcentaje de reprocesos en relación con el total de lotes producidos.

4.1.7 Análisis de los 5 Por qué

Tabla 29 *Pesado de Materia Prima*

Causa	Por qué 1	Por qué 2	Por qué 3	Por qué 4	Por qué 5
Pesado de	¿Por qué se generan	¿Por qué en algunas	¿Por qué la ausencia de	¿Por qué algunos	¿Por qué no siempre se

materia prima	desviaciones en la formulación?	ocasiones la materia prima se pesa con cantidades incorrectas?	un protocolo estandarizado influye en errores de pesaje?	operadores realizan ajustes basados en su criterio?	dimensiona el impacto de estas variaciones?
	Porque en algunas ocasiones pesan la materia prima con cantidades incorrectas antes de iniciar la molienda.	Porque no existe un protocolo formal y estandarizado o que guíe el pesaje previo de la materia prima en todos los casos.	Porque ante la falta de un procedimiento claro, algunos operadores realizan ajustes basados en su criterio o experiencia	Porque no siempre se dimensiona el impacto que pequeñas variaciones (100g o 500g) pueden tener en la formulación, especialmente en galonaje bajos.	Porque no se cuenta con capacitación específica ni controles que refuercen la importancia de cumplir estrictamente las cantidades definidas en la formulación.

Fuente: Elaboración propia, 2025

La tabla 29 muestra aspectos vinculados al pesado de materia prima. Específicamente que el pesado de la materia prima es un punto relevante que provoca atrasos en los tiempos de molienda.

Tabla 30 Atrasos en el Montacarga

Causa	Por qué 1	Por qué 2	Por qué 3	Por qué 4	Por qué 5
Atrasos con	¿Por qué se atrasa	¿Por qué la materia prima	¿Por qué el montacargas	¿Por qué no existe una	¿Por qué no se cuenta

el	el inicio	no llega a	presenta	priorización	con una
Monta-	de la	tiempo a Planta	atrasos	clara del uso	planificación
carga	molienda	2?	frecuentes?	del	formal del
	?			montacarga	traslado de
				s para	materia
				molienda?	prima?
			Porque el	Porque no	Porque no
	Porque la	Porque el	montacargas	hay una	existe un
	materia	montacargas	es compartido	planificación	procedimient
	prima no	presenta	entre varias	ni	o
	llega a	atrasos en el	áreas y no	programació	estandarizad
	tiempo a	traslado de la	existe una	n formal del	o que
	Planta 2	materia prima	priorización	traslado de	coordine
	para	desde el área	clara para el	materia	logística
	iniciar el	de	abastecimient	prima según	interna y
	proceso	almacenamient	o de	el plan de	producción,
	de	o.	molienda.	producción.	definiendo
	pintura.				tiempos,
					responsable
					s y
					prioridades

Fuente: Elaboración propia, 2025

La tabla 30 muestra información relevante acerca de los atrasos con el montacarga. Para ser más específicos, se establece que se generan atrasos en el inicio del proceso de molienda debido a demoras en el traslado de materia prima a Planta 2 por parte del montacargas.

Tabla 31 *Faltante de Perlas*

Causa	Por qué 1	Por qué 2	Por qué 3	Por qué 4	Por qué 5
Faltant e de	¿Por qué los equipos HSD-	¿Por qué no cuentan	¿Por qué la disminución de	¿Por qué la revisión	¿Por qué no existen

perlas HSD	01 y HSD-20 no pueden operar correctamente?	con la cantidad necesaria de perlas si existe un estándar definido?	perlas no se detecta oportunamente ?	no se realiza con la frecuencia adecuada ?	controles visuales ni registros formales para la revisión periódica?
	Porque no cuentan con la cantidad necesaria de perlas para realizar la homogenización y ruptura de grumos durante la molienda.	Porque las perlas se van perdiendo durante la operación y el lavado, y la disminución no se detecta de forma oportuna	Porque, aunque existe una persona responsable de la revisión, esta no se realiza con la frecuencia establecida o requerida.	Porque no hay un control visual, registro formal ni alerta que indique cuándo debe realizarse la verificación de perlas.	Porque el control de perlas no ha sido integrado de manera sistemática dentro de los controles operativos del proceso de molienda.

Fuente: Elaboración propia, 2025

La tabla 30 muestra datos relacionados con los faltante de perlas HSD como causa de la demora en la etapa de molienda. Los equipos HSD-01 y HSD-20 presentan faltante de perlas, lo que impide su correcta operación durante este proceso.

4.1.8 Conclusiones de la Situación Actual

Se distinguen las siguientes conclusiones de la situación actual.

- ✓ La empresa Akzonobel, es una de las más importantes empresas que elaboran pintura automotriz en cualquier parte del mundo; sin embargo, esta empresa busca mejorar y reducir los tiempos en la etapa de molienda.
- ✓ Normalmente el tiempo de molienda para elaborar una pintura tiene una duración de 5 horas, pero en varias ocasiones se registran en el OEE doce horas, incluso 3 días.
- ✓ Muy frecuentemente se presentan atrasos en la entrega de materia prima por parte del montacarga.
- ✓ Con frecuencia, los altos ciclos de molienda se deben a alta viscosidad del producto, los pigmentos muy concentrados o duros al moler provocan atrasos, y el área de pesado no envía la totalidad de la materia prima indicada en la fórmula.
- ✓ Referente a la mano de obra de la empresa destacan la diferencia en la forma en que cada operador ejecuta la molienda y falta de experiencia y capacitación en protocolos durante la molienda como causas del retrasos de molienda.
- ✓ Asociado a la medición sobresalen los tiempos estándar de molienda desactualizados y la variabilidad en el pesaje de materias primas como causas del retrasos de molienda.
- ✓ Vinculado a materiales se distinguen la faltante de nitrocelulosa para resina Binder, los pigmentos que requieren molienda extra, y faltante de perlas para los HSD-01 y HSD-20 como causas del retrasos de molienda.

- ✓ Relacionado con las máquinas se distinguen averías en los equipos, atrasos en el montacargas para trasladar materia prima a planta, falta de mantenimiento preventivo en los equipos, y lavado de HSD y Cowles muy prolongados como causas del retrasos de molienda.
- ✓ En cuanto al método, resaltan falta de protocolo para el pesaje previo de materia prima y operarios asignados a otras áreas durante la molienda como causas del retrasos de molienda
- ✓ Referente a medio ambiente predominan temperatura ambiente afecta viscosidad y la alta viscosidad (más espesa) se debe a altas temperaturas como causas del retrasos de molienda

Capítulo V: Diseño e Implementación de la Solución

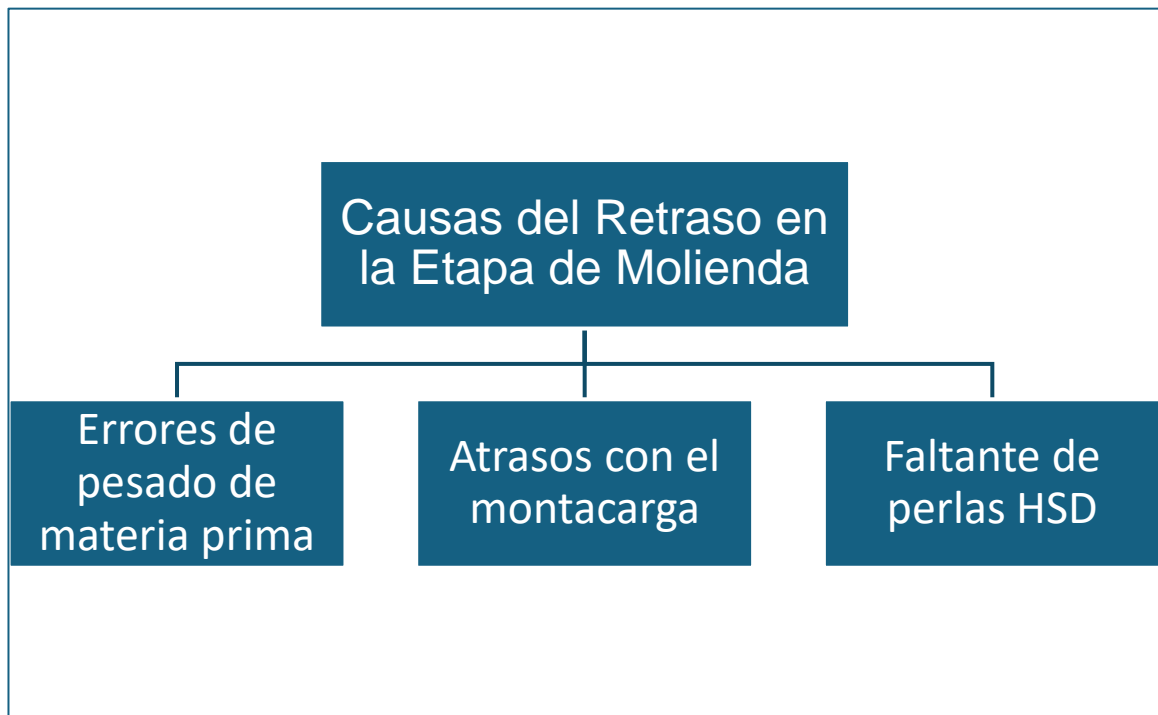
Se identificó la propuesta a la problemática expuesta en este proyecto con el objetivo de organizar y evaluar las posibles soluciones identificadas durante la fase de análisis del proyecto. Esto permitió seleccionar aquellas acciones más

viables y efectivas para mejorar el proceso de molienda en la empresa Akzonobel Costa Rica.

Para lograrlo se clasificaron las alternativas de mejora según su impacto en la eficiencia, el costo, el tiempo de implementación y la factibilidad operativa.

1. Causas y Soluciones

Gráfico 15 Causas del Retraso en la Etapa de Molienda.



Fuente: Elaboración propia, 2025

El gráfico 15 muestra cuáles son las 3 principales causas de los atraso en la etapa de molienda de la pintura automotriz. Una vez que se identificaron estas causas se establecieron propuestas orientadas a reducir los errores de pesado de materia prima, atrasos con el montacarga, y faltante de perlas HSD.

Tabla 32 Causas y Soluciones del Atraso en Molienda

	Pesado de Materia Prima	Retrasos con el Montacargas	Faltante de Perlas de HSD
--	--------------------------------	------------------------------------	----------------------------------

Solución	Estandarizar el procedimiento de pesaje.	Asignar un montacargas exclusivo para el área de molienda.	Corto plazo: Establecer por escrito la cantidad mínima y óptima de perlas para HSD-01 y HSD-20.
Solución	Capacitar al personal.		Largo plazo: Implementar control de inventario mínimo de perlas.
Solución	Incorporar básculas digitales.		

Fuente: Elaboración propia, 2025

Tal como se muestra en la tabla 32, las tres principales causas de atrasos en el área de molienda se relacionan con el pesado en molienda, retraso con el montacargas, faltante de perlas HSD.

En el área de materia prima se identificó un problema recurrente relacionado con el mal pesado de la materia prima antes de enviarlos al área de molienda. Esta situación genera faltantes en las formulaciones, afectando directamente el proceso de producción de pintura. El impacto se evidencia principalmente en los lotes pequeños, como los de 50 galones, donde una diferencia de 100 gramos puede alterar la mezcla y la calidad final del producto.

En cambio, en lotes grandes, como los de 250 galones, la misma variación no representa un efecto significativo.

Para corregir esta situación, se proponen las siguientes acciones:

1. Estandarizar el procedimiento de pesaje mediante una lista de chequeo que asegure que todos los materiales se pesan bajo los mismos criterios y tolerancias.
2. Capacitar al personal del área de materia prima en la importancia de la precisión en el pesaje, explicando cómo pequeñas variaciones afectan la calidad y el tiempo de producción.
3. Incorporar básculas digitales calibradas con alarmas o indicadores de tolerancia que alerten cuando el peso se encuentra fuera del rango permitido.

Referente a los retrasos con el montacarga cuando traslada los productos que necesitan en el área del montacarga, se ha detectado que éste tarda mucho tiempo en llegar a la planta. Esto genera tiempos muertos y pérdida de productividad.

Para mejorar los retrasos con el montacarga, se propone asignar un montacargas exclusivo o con prioridad de atención para el área de molienda, especialmente en los horarios de mayor carga de trabajo.

Asociado al faltante de perlas para los HSD, se plantearon tanto soluciones a corto plazo como soluciones largo plazo.

1.1 Soluciones a Corto Plazo

1. Establecer por escrito la cantidad mínima y óptima de perlas para HSD-01 y HSD-20 antes de iniciar cada molienda.
2. Incluir un punto en el checklist de arranque del HSD donde el operador confirme la presencia y nivel correcto de perlas.
3. Establecer como actividad obligatoria la recuperación de perlas al finalizar el lavado del tanque, sin excepción por cantidad.

4. Designar a los operadores a verificar que las perlas recuperadas sean reincorporadas al HSD.
5. Crear un formato sencillo donde se anoten pérdidas o faltantes de perlas detectados durante la operación.

1. 2 A largo plazo

1. Implementar control de inventario mínimo de perlas.
2. Definir un stock mínimo por equipo y un punto de reposición para evitar faltantes inesperados.
3. Estandarizar el procedimiento de inmersión del HSD.
4. Documentar y capacitar al personal sobre la forma correcta de bajar el HSD al tanque, reduciendo la salida de perlas
5. Incluir las perlas como insumo crítico en el sistema de control.
6. Clasificar las perlas como material crítico dentro del sistema de inventarios, debido a su impacto directo en la operación.
7. Sensibilizar a los operadores sobre el impacto acumulativo de la pérdida de perlas en paros, costos y productividad.
8. Realizar inspecciones mensuales del sistema de contención de perlas para detectar desgaste, holguras o fallas mecánicas.

1.2 Presupuesto

1.2.1 Justificación

El presupuesto para la implementación de la solución a la problemática descrita se realizó para estimar los recursos económicos que se necesitan para realizar las iniciativas de optimización enfocadas a minimizar los tiempos de producción en la etapa de molienda.

Las inversiones se dirigieron especialmente a la incorporación de equipos de control de pesaje, el desarrollo de procedimientos estandarizados, la capacitación del personal operativo, y el establecimiento de controles de inventario de las perlas que se usan en los equipos HSD.

El fin primordial de estas acciones es acortar la variabilidad de la etapa de molienda, disminuir reprocesos, y aumentar la eficiencia integral del equipo (OEE).

En la planta 2 de esta empresa, al año, se elaboran 520.000 galones pintura automotriz; sin embargo, se desperdician entre 900 galones al año en planta.

Por lo antes descrito, la inversión que se requiere es relativamente baja si se compara con los beneficios operativos y financieros esperados, lo que transforma la solución al problema planteado en una alternativa factible para aumentar la productividad y la competitividad de la empresa en el mercado de pintura automotriz.

1.2. Costos

1.2.1 Costos Directos

Tabla 33 Costos Directos

Concepto	Monto (C)
Implementación de equipos (2 básculas digitales)	3 000 000

Desarrollo e implementación de controles	616 00
Capacitación del personal (3 sesiones)	420 00
Inventario mínimo inicia de perlas	253500
TOTAL	€4 289 500

Fuente: Elaboración propia, 2025

En la tabla 33 se muestran los rubros que componen lo costos directos. Referente al primer rubro, implementación de equipos, se debe añadir la siguiente información:

- ✓ El salario del ingeniero es de €6 000 por hora
- ✓ Hay 4 equipos HSD.
- ✓ Las horas invertidas serán 79, desglosadas de la siguientes manera:

Tiempo análisis mantenimiento	15 horas
Desarrollo plan mantenimiento correctivo/preventivo	20 horas
Análisis inventario mínimo perlas (4 equipos)	12 horas
Diseño formatos y listas de chequeo	10 horas
Redacción procedimiento estandarizado	12 horas
Validación en planta y ajustes	10 horas

El segundo rubro, desarrollo e implementación de controles, se desglosa en: desarrollo técnico (ingeniero) con un costo de €474 000 e implementación y materiales con un costo de €616 000.

Por otro lado, en el tercer rubro, capacitación de personal, es necesario agregar que las capacitaciones se realizarán con la participación de 11 operarios y 1 ingeniero en 3 sesiones con una duración de entre 2 a 4 horas.

Finalmente, el cuarto rubro, inventario mínimo inicial de perlas, está integrado por: diseño e ingeniería, con un costo de €120 000, capacitación

con un costo de ¢92 000, y costo operativo anual del chequeo con un costo de ¢41 500.

1.2.2 Costos Indirectos

Tabla 34 Costos Indirectos

Concepto	Monto (¢)
Costo administrativo (escenario realista)	60 000
Reuniones de implementación y validación	104 000
Instalación y calibración de básculas	30 000
Curva de aprendizaje	30 000
Ajustes y seguimiento inicial adicional del ingeniero	42 000
TOTAL	¢266 000

Fuente: Elaboración propia, 2025

La tabla 34 presenta los rubros que constituyen los costos indirectos, especificándose de la siguiente manera:

El costo administrativo contiene la siguiente información:

- ✓ El cargo que coordina compras es Ingeniero/Encargado de compras.
- ✓ El salario promedio es de entre ¢5 000 y ¢6 000 por hora.
- ✓ Tiempo total proceso de compra es de entre 8 y 12 horas, desglosadas en:
 - Solicitud de cotizaciones (3 proveedores).
 - Comparativo técnico–económico.
 - Validación con gerencia.
 - Emisión de orden de compra.
 - Seguimiento al proveedor.
 - Recepción y verificación del equipo.

En cuanto a reuniones de implementación y validación, se debe agregar que participarán 3 operarios y un ingeniero, el total de horas por persona es de 8 horas, el costo que se pagará por los operarios es de ₡48 000 y por el ingeniero ₡56 000.

La Instalación y calibración de básculas señala los siguientes datos: En cuanto a horas se invertirán 4 horas de instalación: 2 horas operarios y 2 horas ingeniero. El costo por los operarios es de ₡16 000 y del ingeniero es ₡14 000.

La curva de aprendizaje detalla que se necesitarán 5 horas por operario con un costo de ₡30 000.

Referente a los ajustes y seguimiento inicial adicional del ingeniero será indispensable el uso de 6 horas adicionales de supervisión con un costo de ₡42 000.

1.3 Inversión Total de la Propuesta

La inversión total estimada para la implementación de la propuesta tomando en cuenta los costos directos y los costos indirectos es de ₡4 555 500.

1.4 Análisis Costo-Beneficio

Los beneficios económicos del proyecto se generan fundamentalmente de la disminución del desperdicio de pintura y la reducción considerable de reprocesos en la etapa de molienda. De acuerdo a los cálculos realizados, el ahorro directo anual llega a la suma aproximada de ₡27 200 00. Esto determina que la inversión inicial se recuperará en 2 meses aproximadamente.

La relación costo-beneficio estimada es de 5.97, lo que implica que por cada colón invertido en la implementación de la propuesta se obtiene aproximadamente ₡5.97 en beneficios anuales. Este dato evidencia que la propuesta acrecienta la eficiencia operativa, representando una inversión

altamente rentable desde el punto de vista financiero, con un ahorro anual estimado de ¢27 200 000. Esto demuestra que las acciones incorporadas en la propuesta producen una repercusión importante en la productividad de la etapa de molienda.

1.5 Periodo de Recuperación de la Inversión (Payback)

El periodo de recuperación de la inversión facilita establecer el tiempo requerido para recuperar el capital invertido basándose en los beneficios obtenidos en la implementación de la propuesta.

Se utilizó la fórmula: $\text{Payback} = \frac{\text{Inversión total}}{\text{Beneficio anual}}$

$$\text{Payback} = \frac{4\,555\,500}{27\,200\,000} \longrightarrow 2.01$$

El resultado aproximado es de 2.01 meses, es decir, alrededor de 2 meses.

1.6 Retorno de la Inversión

El retorno de la inversión es una métrica financiera que calcula la rentabilidad de la inversión realizada, mostrando cuál es la ganancia obtenida.

Se utilizó la fórmula: $\text{ROI} = \frac{\text{Ingresos} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}} \times 100$

$$\text{ROI} = \frac{27\,200\,000 - 4\,555\,500}{4\,555\,500} \quad 497.01$$

El retorno de la inversión es de 497.01%

1.7 Evaluación Financiera y Técnica de la Propuesta

Tabla 35 Indicadores Financieros

Indicador	Valor (C)
Inversión total del proyecto	¢4 555 500
Beneficio anual estimado	¢27 200 00
Relación costo/beneficio	5.97
Retorno sobre la inversión (ROI)	497.1%
Periodo de recuperación (Payback)	2.01 meses

Fuente: Elaboración propia, 2025

La tabla 35 muestra los indicadores financieros de la propuesta, reflejando que dicha propuesta brindará una alta rentabilidad económica. La relación costo-beneficio refleja que por cada colón invertido la empresa recibe múltiples colones en ganancias anuales. El retorno de la inversión (ROI) es alto, lo que reafirma la rentabilidad financiera de la propuesta. Además, el periodo de recuperación de la inversión es reducido, minimizando en forma significativa el riesgo financiero.

Por otro lado, los indicadores financieros comprueban que la propuesta de mejora se convierte en una inversión estratégica para la empresa, aumentando la eficiencia del proceso de la etapa de molienda sin la necesidad de hacer grandes inversiones en equipo. Asimismo, la fusión de controles operativos, estandarización de procedimientos, y capacitación de personal da la posibilidad de disminuir reprocesos, desperdicios, y variabilidad del proceso, potenciando la ventaja competitiva y la sostenibilidad económica.

1.8 Beneficios

1.8.1 Beneficios Operativos

- ✓ Reducción de tiempos a un 10% hay que decir que se adicionarían por año 15604 galones.
- ✓ La reducción del 10% en tiempos de molienda libera capacidad productiva equivalente aproximadamente al 3% de la producción anual sin necesidad de inversión adicional en maquinaria en HSD.
- ✓ Reducción de la variabilidad del proceso: La incorporación de básculas calibradas con tolerancia programable disminuye las desviaciones en el pesado de materias primas. Esto se traduce en lotes más estables y consistentes.
- ✓ Impacto: menor dispersión en la formulación, mayor repetibilidad y confiabilidad en los resultados.
- ✓ Estandarización del proceso: La aplicación de listas de chequeo, procedimientos definidos y formatos de control reduce la dependencia del conocimiento empírico de los operarios.
- ✓ Impacto: procesos replicables, mayor control estadístico y una base sólida para futuras iniciativas de mejora continua.
- ✓ Mayor trazabilidad: Los nuevos formatos permiten identificar con precisión quién realizó el pesado, qué lote se fabricó y qué desviaciones se presentaron. Impacto: mejor análisis de causa raíz, cumplimiento de auditorías y mayor control de calidad.

1.8.2 Beneficios Organizacionales

- ✓ Reducción del riesgo ante la salida de personal clave: La estandarización asegura la conservación del conocimiento operativo, disminuyendo la

vulnerabilidad de la planta ante la jubilación o rotación de colaboradores experimentados. Impacto: continuidad del proceso y menor riesgo operacional.

- ✓ Fortalecimiento de la cultura de calidad: La capacitación del personal genera mayor conciencia sobre tolerancias y el impacto de los errores, fomentando responsabilidad en la operación. Impacto: reducción de errores humanos y mayor compromiso del equipo.

1.8.3 Beneficios Financieros Indirectos

- ✓ Liberación de capital inmovilizado en reprocesos: La reducción de 12 a 2 reprocesos anuales implica menos materia prima retenida y menos producto en proceso, mejorando el flujo de caja.
- ✓ Optimización en la rotación de inventarios: Al disminuir desperdicios y reprocesos, se optimiza el consumo de materias primas y se reduce la necesidad de inventarios de seguridad elevados.
- ✓ Disminución de reclamos y devoluciones: La mayor estabilidad del producto asegura uniformidad en color y textura, lo que protege la imagen de la marca y reduce costos ocultos por garantías.

1.8.4 Resumen de Beneficios Cuantificables

- ✓ Reducción de desperdicio: ₡5 200 000
- ✓ Reducción de reprocesos: ₡22 000 000
- ✓ Ahorro directo anual: ₡27 200 000

1.8.5 Relación Costo–Beneficio

- ✓ Inversión total actualizada: ₡4 555 500
- ✓ Relación costo–beneficio: 5.97. Por cada colón invertido, la empresa obtiene ₡5.97 en beneficios anuales.

1.8.6 Conclusión Técnica

La mejora del OEE de 45% a 50% representa un incremento relativo del 11.1%.

Este avance refleja:

- ✓ Mayor disponibilidad operativa
- ✓ Reducción significativa de reprocesos
- ✓ Mayor estabilidad del proceso
- ✓ Recuperación de la inversión en aproximadamente 2 meses

En síntesis, la propuesta no solo es financieramente rentable, sino que también fortalece la eficiencia, la sostenibilidad y la competitividad de la planta.

Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

Se identificaron 3 principales causas de influyen negativamente en la etapa de molienda. Estas fueron el mal pesado de la materia prima, los retrasos en el servicio de montacargas, y el faltante de perlas para los equipos HSD. Estos

aspectos impactan directamente la productividad, la calidad de la pintura, y el tiempo de producción.

El pesado inadecuado de materia prima influye en la calidad de la pintura. Se determinó que los errores en el pesaje da como resultado que se produzcan desviaciones en las formulaciones, generando reprocesos y afectando la calidad de la pintura, especialmente en lotes de 50 galones. Esto resalta la necesidad de estandarizar el proceso y mejorar los controles para reforzar la precisión en el pesaje.

La logística interna de la empresa limita la eficiencia operativa. Esto se muestra con los atrasos en la llegada del montacarga a la planta donde se lleva a cabo la molienda, generando tiempos muertos y pérdida de productividad. La falta de prioridad del montacarga para el departamento de molienda señala un punto vulnerable en la planificación logística interna, afectando el flujo continuo de la producción.

La gestión de perlas del equipo HSD es un aspecto crítico en la elaboración de pintura automotriz, específicamente en el área de molienda. El faltante de perlas se vincula con la ausencia de controles formales y el tiempo esperado tras el lavado del equipo. La falta de perlas para el equipo HSD influye en la etapa de molienda, provocando paros, retrasos y costos adicionales.

El establecimiento de checklists, formatos de control y procedimientos documentados fortalece la disciplina operativa, reduce la variabilidad del proceso y permite mantener resultados sostenibles en el tiempo.

El análisis económico realizado comprueba que la propuesta de mejora para minimizar los tiempos en la etapa de molienda es viable financiera y altamente rentable. Con una inversión de ₡4 555 500 y un ahorro anual de ₡27

200 000, la propuesta tiene una relación costo-beneficio de 5.97, un ROI de 497.01%, y un periodo de recuperación de 2 meses, lo que señala que la implementación de la propuesta producirá beneficios económicos de gran magnitud y fortalecerá la eficacia en la productividad de la empresa.

6.2 Recomendaciones

Estandarizar formalmente el proceso de pesaje de materia prima, implementando listas de chequeo para el pesaje, de tal manera que todos los operarios sigan los mismos criterios. Esto reducirá los errores en la formulación especialmente en lotes pequeños, puesto que pequeñas variaciones afectan en gran manera la calidad del producto final.

Capacitar al personal de molienda. Es indispensable reforzar la formación del personal acerca de la precisión en el pesaje, el manejo adecuado de insumos y el impacto de los errores en la productividad y calidad.

Incorporar básculas calibradas con sistemas de alerta o indicadores de tolerancia para detectar desviaciones en el peso, previniendo errores antes de que el material llegue al departamento de molienda.

Asignar un montacarga exclusivo para molienda para disminuir tiempos muertos y mejorar la productividad; o al menos uno con prioridad para esta área especialmente en horarios de alta demanda.

Establecer controles operativos para el uso de perlas HSD a corto plazo. Es recomendable definir por escrito la mínima y óptima de perlas por equipo; incluyendo su verificación con la ayuda de una lista de chequeo de arranque del HSD.

Es beneficioso implementar un sistema de inventario mínimo para perlas a largo plazo, definiendo un stock mínimo por equipo y un punto de reposición

para impedir faltantes inesperados, lo cual dará continuidad al proceso productivo en la molienda. Se recomienda a la empresa implementar la propuesta de mejora en la etapa de molienda, porque la inversión necesaria es baja si se compara con los beneficios económicos que se espera obtener. Asimismo, es indispensable darle seguimiento a los indicadores operativos y financieros para garantizar que los ahorros proyectados, originados de la minimización de desperdicios y reprocesos, permanezcan en el tiempo, fortaleciendo la rentabilidad y la competitividad de la empresa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Automatica Technologies (2024). *Aprende a Identificar y a Reducir los Tiempos Muertos*. <https://automaticatech.com/tiempos-muertos-en-produccion/>
- Barrantes, L., Morera, M. P., Velásquez, F. (2022). *Diseño de un Sistema de Planificación y Control en los Procesos que Impactan la Eficiencia Operativa de la Empresa Tecnocarrocías Eben-Ezer*. Para Optar por el Grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial.

<https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/server/api/core/bitstreams/a8f493d4-bc2a-4199-84a8-47a559ca19b9/content>

Becciu, S. (2023). *Qué es la Estandarización de Procesos, Cómo Aplicarla y Ejemplos*. <https://fullaudits.com/estandarizacion-de-procesos-aplicarla-y-ejemplos/>

Berganzo, J. (2025). Definición del OEE. <https://www.sistemasooee.com/definicion-ooee/>

Cajal, A. (2020). *Observación Directa: Características, Tipos y Ejemplo*. <https://www.lifeder.com/observacion-directa/>

Calderón, D. A. (2020). *Mejoramiento de los Procesos de Latonería y Pintura en el Taller Automotriz Brujo Cars en la Ciudad de Bogotá*. Tesis para Optar al Grado de: Ingeniero Industrial. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/36888/dacalderon.d.pdf?sequence=>

Cañon, C. (2024). *¿Qué son los Procesos Industriales?* <https://www.usanmarcos.ac.cr/blogs/que-son-los-procesos-industriales>

Carrasquero, R. (2023). *Pintura Automotriz. Todo lo que Debes Saber sobre Ella*. <https://www.kavak.com/mx/blog/pintura-automotriz-todo-lo-que-debes-saber-sobre>

Casado, G. (2022). *Listas de Datos Vs. Tablas de Excel*. [imagen]. <https://www.gadesoft.com/blog/diferenciando-las-listas-de-datos-de-las-tablas-en-excel/>

Castilla, M. J. (s.f.). *Cursogramas*. <https://debategraph.org/Handler.ashx?path=ROOT%2Fu17693%2FCursogramas.pdf>

Colli, F. J. (2021). *Bases de Diseño para una Planta de Manufactura de Pinturas en la Península de Yucatán*. Trabajo Escrito Vías Curso de Educación Continua para Obtener el Título de Ingeniero Químico. <https://ru.dgb.unam.mx/server/api/core/bitstreams/e18e7f20-7bc6-4654-b687-38640de5476a/content>

Compara Software (2023). *Qué es una Tabla en Base de Datos? Definición y Tipos*. <https://blog.comparasoftware.com/que-es-tabla-en-base-de-datos/>

Creative Commons Atribución-CompartirIgual. (2020). *Archivo: Cursograma.png*. [imagen]. <https://evaluaciondeproyectos.com.ar/wiki/index.php?title=Archivo:Curso grama .png>

Cuadristas Serca. (2024). *Cuadros de Control de Procesos Industriales*. <https://www.cuadriserca.es/cuadros-de-control-de-procesos-industriales/>

Grupo Edenred. (2025). *¿Qué Son los Recursos Empresariales y Cómo Planificarlos?* <https://www.edenred.mx/blog/que-son-los-recursos-empresariales-y-como-planificarlos>

Fusion Fluid Equipment. (2025). *Impulsor STX*. <https://fusionfluid.com/products/mixing-impellers/cowles-disperser-multi-blade-stx>

García, R. (2024). *Cómo Calcular la Rentabilidad de Una Empresa Paso a Paso*. <https://improven.com/servicio/finanzas/como-calcular-rentabilidad-empresa/>

Gerges, M. N. (2023). *Lean Six Sigma, Una Metodología Aplicada a Procesos Reales*. <https://www.izertis.com/es/-/blog/lean-six-sigma-una-metodologia-aplicada-a-procesos-reales>

Gómez, I. (2023). *¿Qué es Ingeniería Industrial y Por Qué Estudiarla?*

<https://www.usanmarcos.ac.cr/blogs/que-es-ingenieria-industrial>

Guangdong Sybon New Materials Co.; Ltd. Sybon. (2024). *Proceso de Producción de Pintura para Automóviles.*

<https://www.supersybon.com/es/pintura-del-coche/produccion-de-pintura-para-automoviles>

Hockmeyer, H. (2022). *Dispensador de Alta Velocidad: Una Guía Práctica Actualizada.*

<https://hockmeyer.com/blog/articles/a-practical-guide-to-high-speed-dispersions/>

INGESUR Soluciones Técnicas, S. L. (2025). *Pintura Industrial: Tipos y Características Principales.*

<https://www.igesur.com/blog/que-es-la-pintura-industrial/>

Laoyan, S. (2025). *Usa Estas Estrategias Para Ayudar a Tu Equipo a Desarrollar Habilidades Para la Resolución de Problemas.*

<https://asana.com/es/resources/problem-solving-strategies>

La Universidad en Internet. (2025). *Proceso Productivo: Qué Es, Tipos y Etapas.*

<https://mexico.unir.net/noticias/economia/proceso-productivo/>

Lemay, P. (2022). *La Guía del Fabricante para Reducir el Trabajo de Repaso.*

<https://tulip.co/es/blog/manufacturers-guide-to-reducing-rework/>

López, S. (2024). *Guía Completa de Productividad Industrial.*

<https://www.arbentia.com/blog/guia-completa-productividad-industrial/>

Martins, J. (2025). *Qué Es un KPI, Para Qué Sirve y Cómo Utilizarlo en Tu Proyecto.*

<https://asana.com/es/resources/key-performance-indicator-kpi>

Martínez, J. A. (2022). *Estudios Previos y Anteproyecto de Una Fábrica de Pinturas.* Trabajo Fin de Grado Ingeniería Química.

<https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/94053/fichero/TFG-4053%2BMART%C3%8DNEZ%2BROLD%C3%81N%2C%2BJOS%C3%89%2BABEL.pdf>

Mazo, M. (2024). *Análisis de Tiempos Muertos en las Líneas de Producción de HOT MELT de la Empresa HB FULLER y Documentación de Parámetros en Empacadora 1A*. Trabajo de Grado Presentado para Optar por Título de Ingeniera Industrial. Universidad de Antioquia, Colombia.
<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/002a088a-c121-4ad2-972c-8586ae1e9b8d/content>

Montagud, N. (2021). *La Técnica de los Cinco Porqués: En Qué Consiste y Cómo se Usa*. <https://psicologiaymente.com/organizaciones/tecnica-cinco-porques>

Nebrada, M. (2023). *¿Qué Son los Recursos Empresariales?*
<https://www.campustraining.es/noticias/que-son-recursos-empresariales/>

Noguera, B. (2021). *Proceso Industrial de Fabricación de Pinturas*. [imagen].
<https://share.google/images/VErFOro82ZYwtunWq>

Olarte, A. A. (2021). *Propuesta de una Herramienta Para el Seguimiento y Medición en Instituciones de Educación* *Propuesta de una Herramienta Para el Seguimiento y Sedición en Instituciones Educativas*. [imagen].
https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Hoja-Cuadro-de-Control-Fuente-Elaboracion-propia_fig1_348703672

Ortega, C. (2025). *¿Qué es una Entrevista Estructurada, Semiestructurada y No Estructurada?* <https://www.questionpro.com/blog/es/entrevista-estructurada-y-no-estructurada/>

Pierce, A. (2025). *DMAIC: Haz Realidad la Mejora Continua de Tus Procesos*.

[imagen]. <https://share.google/images/j6dE1ejHQ3IZv2XBm>

Rodríguez, N. (2025). *Diagrama de Ishikawa: Qué es, Cómo Hacerlo y Ejemplos*.

[imagen]. <https://blog.hubspot.es/sales/diagrama-ishikawa>

Rosales, J. (2023). *¿Qué es el OEE?*

<https://www.fractal.com/es/mantenipedia/oeo-oportunidades-para-mejorar-los-procesos>

Rosales, J. (2024). *¿Qué es Six Sigma yCuál es su Objetivo?*

[https://www.fractal.com/es/blog/como-aplicar-la-metodologia-six-sigma-en-mantenimiento-](https://www.fractal.com/es/blog/como-aplicar-la-metodologia-six-sigma-en-mantenimiento-industrial#:~:text=El%20t%C3%A9rmino%20%22Six%20Sigma%22%20proviene,por%20sus%20siglas%20en%20ingl%C3%A9s)

[industrial#:~:text=El%20t%C3%A9rmino%20%22Six%20Sigma%22%20proviene,por%20sus%20siglas%20en%20ingl%C3%A9s](https://www.fractal.com/es/blog/como-aplicar-la-metodologia-six-sigma-en-mantenimiento-industrial#:~:text=El%20t%C3%A9rmino%20%22Six%20Sigma%22%20proviene,por%20sus%20siglas%20en%20ingl%C3%A9s)

Rosales, M. (2023). *2 Ejemplos de Diagrama de Pareto*. [imagen].

<https://www.webyempresas.com/ejemplos-de-diagrama-de-pareto/>

Sevilla, A. (2025). *Productividad: Qué es, Fórmula, Factores y Ejemplo*.

<https://economipedia.com/definiciones/productividad.html>

Smith, R. J. (2025). *Ingeniería*. [https://www.britannica.com/science/physics-](https://www.britannica.com/science/physics-science)

[science](https://www.britannica.com/science/physics-science)

Sobrino, C. (2022). *Qué es el OEE, Cómo se Calcula y Por Qué es Importante*.

[imagen]. <https://www.captia.es/blog/analisis-oeo.html>

STEL Order. (2024). *Diagrama de Ishikawa: Qué Es y En Qué Consiste*.

<https://www.stelorder.com/blog/diagrama-de-ishikawa/>

Torres, D. (2023). *Rentabilidad Empresarial: Qué Es y Cómo Calcularla*.

<https://blog.hubspot.es/sales/rentabilidad-empresa>

Twin, A. (2025). *KPI: ¿Qué Son los Indicadores Clave de Rendimiento? Tipos y Ejemplos.* <https://www.investopedia.com/terms/k/kpi.asp>

Udoagwu, K. (2025). *¿Qué Es un Plan de Acción? (Ejemplo y Plantilla).* <https://www.wrike.com/es/blog/que-es-un-plan-de-accion-ejemplo-y-plantilla/>

Universo Fórmulas. (2025). Gráfico. [imagen]. <https://www.universoformulas.com/estadistica/descriptiva/grafico/>

Velázquez, A. (2025). *¿Qué es el Diagrama de Pareto?* <https://www.questionpro.com/blog/es/diagrama-de-pareto/>

Westreicher, G. (2020). *Análisis de Datos.* <https://economipedia.com/definiciones/analisis-de-datos.html>

Westreicher, G. (2024). *Gráfico: Qué Es, Qué Tipos Hay.* <https://economipedia.com/definiciones/matematicas/grafico.html>

Anexos

Anexo 1: Entrevista Estructurada

Entrevista Estructurada

Entrevista Estructurada Realizada a Tres Operarios Rango Tres

Buenos días. Soy Rebeca Paniagua Gatgens, estudiante de la Universidad Latinoamericana, específicamente de Ingeniería Industrial. Actualmente estoy realizando un proyecto de investigación para obtener el título de Bachillerato en Ingeniería Industrial, cuyo tema es "Mejora en la Reducción de Tiempos de Molienda en la Empresa Akzonobel CR, Cartago del Segundo Cuatrimestre del 2025 ". Por lo tanto, solicito su ayuda respondiendo algunas preguntas. La información obtenida en esta entrevista será confidencial y se utilizará únicamente en este proyecto de investigación.

La entrevista se realizará presencialmente en un lugar designado por el entrevistado.

Fecha: _____

Estoy entrevistando a _____

Preguntas:

1. En una escala del 1 al 5, ¿con qué frecuencia considera que los altos ciclos de molienda se deben a alta viscosidad del producto?

1 = Nunca

2 = Rara vez

3 = A veces

4 = Frecuente

5 = Muy frecuente

2. ¿Con qué frecuencia se presentan problemas de humectación o mala premezcla que afectan la molienda?

1 = Nunca

2 = Rara vez

3 = A veces

4 = Frecuente

5 = Muy frecuente

3. En promedio, ¿cuántos minutos adicionales se pierden por lote debido a la alta viscosidad?

0–10 minutos

11–20 minutos

25–30 minutos

Más de 30 minutos

4. ¿Qué tan frecuente considera que los pigmentos muy concentrados o duros al moler provocan atrasos?

1 = Nunca

2 = Rara vez

3 = A veces

4 = Frecuente

5 = Muy frecuente

5. ¿Cuánto tiempo podrían retrasar el proceso de molido por el tipo de pigmento?

1-2 horas

3-4 horas

Más de 5 horas

6. ¿Con qué frecuencia el área de pesado no envía la totalidad de la materia prima indicada en la fórmula?

1 = Nunca

2 = Rara vez

3 = A veces

4 = Frecuente

5 = Muy frecuente

7. En una escala del 1 al 5, ¿qué tanto afecta el mal pesado de materia prima la calidad del producto final?

1 = Nada

2 = Poco

3 = Muy poco

4 = Mucho

5 = Muchísimo

8. ¿Con qué frecuencia hay faltante de materia prima que genera atrasos en la molienda?

- Nunca
- 1 vez por semana
- 2–3 veces por semana
- Diario

9. ¿Con qué frecuencia se presentan atrasos en la entrega de materia prima por parte del montacarga?

- 1 = Nunca
- 2 = Rara vez
- 3 = A veces
- 4 = Frecuente
- 5 = Muy frecuente

10. ¿Cuánto tiempo se retrasan por parte del montacarga?

- 15-20 minutos
- 30 minutos
- 45 minutos

11. En una escala del 1 al 5, ¿cómo evalúa la coordinación entre el área de pesado y molinos?

- 1 = Muy mala
- 2 = Mala
- 3 = Regular
- 4 = Buena
- 5 = Muy buena

12. ¿Cuánto tiempo dura en promedio cada molienda?

- 1 Hora
- 5 horas
- 1 Día
- Más de 1 día

13. Si tuviera que identificar el principal factor que más retrasa el proceso de molienda, ¿cuál sería?

- Alta viscosidad
- Mal pesado de materia prima
- Falta de materia prima
- Averías en equipos
- Limpieza/lavado de Cowles
- Otro: _____

14. En una escala del 1 al 5, ¿con qué frecuencia considera que los altos ciclos de molienda se deben a alta viscosidad del producto?

1 = Nunca

2 = Casi nunca

2 = Ocasionalmente

3 = Casi siempre

5 = Siempre

15. ¿Hay variaciones en el tiempo dependiendo del tipo de pintura o pigmento?

1 = Nunca

2 = Casi nunca

2 = Ocasionalmente

3 = Casi siempre

5 = Siempre

16. ¿Con que frecuencia se da el mantenimiento del HSD y del Cowles?

1 vez por mes

1 vez por semana

Varias veces por semana

17. ¿Durante cuánto tiempo estuvieron sin nitrocelulosa?

1-2 Semanas

1 mes

2 meses

Más de 2 meses

18. ¿Cuánto tiempo esperan para recibir un ajuste o faltante?

Menos de 15 minutos

30 minutos

45 minutos

1 hora

19. ¿Cuánto duran lavando un Cowles o un HSD?

Menos de 15 minutos

30 minutos

45 minutos

1 hora

20. ¿Qué tan frecuentes son las averías en los equipos de molienda HSD/Cowles durante su turno?

Nunca

1 vez por mes

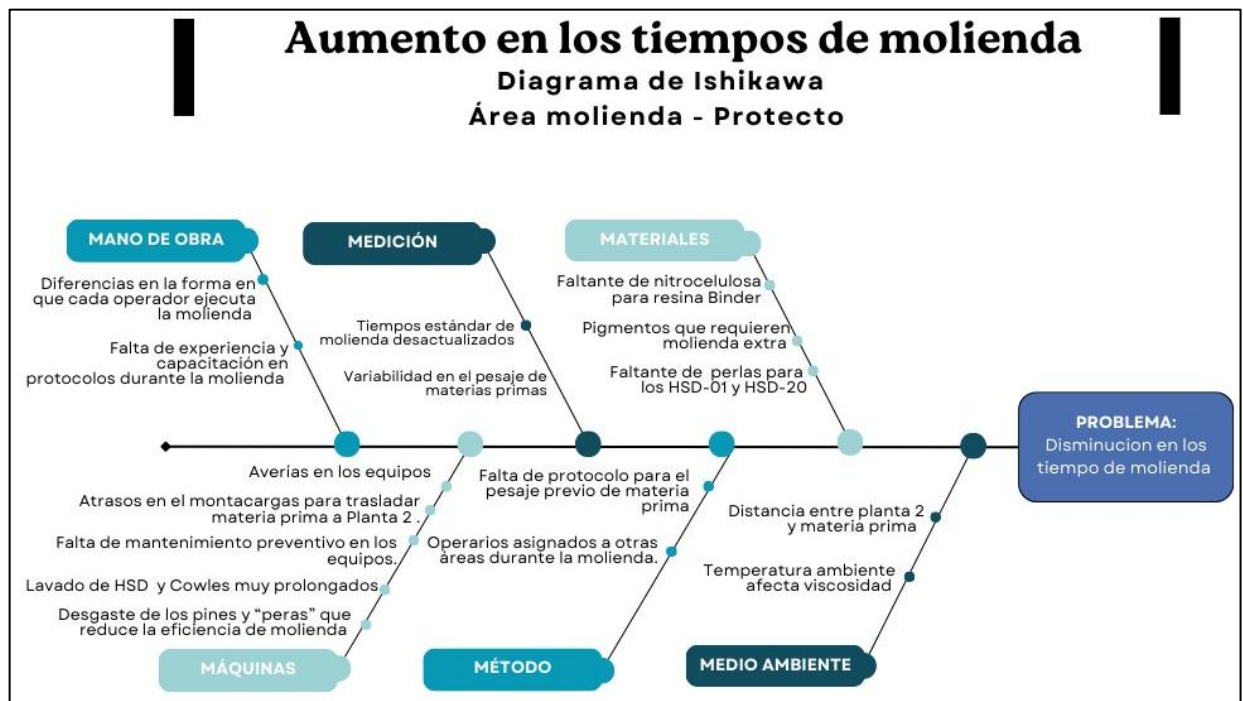
1 vez por semana

Varias veces por semana

La información obtenida es muy importante para la realización de mi proyecto de investigación.

Muchas gracias por su tiempo.

Anexo 2: Diagrama de Ishikawa



Puntarenas, 6 de abril de 2026

Señores
Servicios estudiantiles
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

El estudiante Rebeca Paniagua Gatgens, cédula de identidad 6-0464-0876, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado: MEJORA EN LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE MOLIENDA EN LA EMPRESA AKZONOBEL CR, CARTAGO, DEL SEGUNDO

CUATRIMESTRE DEL 2025, el cual ha elaborado para optar por el grado de Bachillerato en Ingeniería Industrial.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente, lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y el análisis de datos; el análisis económico, la consistencia de los objetivos y su cumplimiento; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, uso adecuado de las herramientas en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente,



Ing. Agustín Mejía Solano

Cédula: 6-0345-0690

Carné del Colegio: II-28964

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION**

San José, 20 de abril del 2026

Señores:
Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Rebeca Paniagua Gatgens con número de identificación 6-04640876 autor (a) del trabajo de graduación titulado Mejora en la reducción de tiempos de molienda en la empresa AkzoNobel Cr, Cartago, del segundo cuatrimestre del 2025 presentado y aprobado en el año 2025 como requisito para optar por el título de Bachiderato en Ingeniería Industrial; SI autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,



Firma y Documento de Identidad

**ANEXO 1 (Versión en línea dentro del Repositorio)
LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y
PERMITIR LA CONSULTA Y USO**

Parte 1. Términos de la licencia general para publicación de obras en el repositorio institucional

Como titular del derecho de autor, confiero al Centro de Información Tecnológico (CENIT) una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, el autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito.

b) Autoriza al Centro de Información Tecnológico (CENIT) a publicar la obra en digital, los usuarios puedan consultar el contenido de su Trabajo Final de Graduación en la página Web de la Biblioteca Digital de la Universidad Hispanoamericana

c) Los autores aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) Los autores manifiestan que se trata de una obra original sobre la que tienen los derechos que autorizan y que son ellos quienes asumen total responsabilidad por el contenido de su obra ante el Centro de Información Tecnológico (CENIT) y ante terceros. En todo caso el Centro de Información Tecnológico (CENIT) se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

e) Autorizo al Centro de Información Tecnológica (CENIT) para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

f) Acepto que el Centro de Información Tecnológico (CENIT) pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

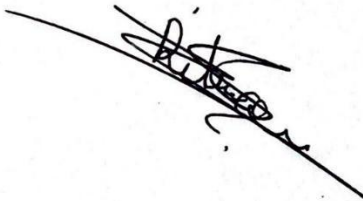
g) Autorizo que la obra sea puesta a disposición de la comunidad universitaria en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en las "Condiciones de uso de estricto cumplimiento" de los recursos publicados en Repositorio Institucional.

SI EL DOCUMENTO SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA O UNA ORGANIZACIÓN, CON EXCEPCIÓN DEL CENTRO DE INFORMACIÓN TECNOLÓGICO (CENIT), EL AUTOR GARANTIZA QUE SE HA CUMPLIDO CON LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES REQUERIDOS POR EL RESPECTIVO CONTRATO O ACUERDO.

Yo Rebeca Paniagua Gatgens, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número

6-0464-0876 egresado de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bac en Ingeniería Industrial, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: Mejora en la reducción de tiempos de molienda en la empresa AkzoNobel CR Cartago, del segundo cuatrimestre del 2025, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de Cartago, a los 10 días del mes de enero del año dos mil veinticinco



Firma del estudiante
Cédula: 60464-0876

CARTA DEL TUTOR

Registro
Ingeniería Industrial
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores

El estudiante **Rebeca Paniagua Gätgens** cédula número **6-0464-0876**, me ha presentado para efectos de revisión y aprobación el trabajo de investigación denominado: **“MEJORA EN LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE MOLIENDA EN LA EMPRESA AKZONOBEL CR, CARTAGO, DEL SEGUNDO CUATRIMESTRE DEL 2025”** el cual ha elaborado para optar por el grado académico de **bachillerato en Ingeniería Industrial**.

En mi calidad de tutor, eh verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría, y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación, antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos, conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

A.	ORIGINALIDAD DEL TEMA	10%	10%
B.	CUMPLIMIENTO DE ENTREGA DE AVANCES	20%	18%
C.	COHERENCIA ENTRE LOS OBJETIVOS, LOS INSTRUMENTOS APLICADOS Y LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	30%	30%
D.	RELEVANCIA DE LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20%	20%
E.	CALIDAD, DETALLE DEL MARCO TEÓRICO	20%	20%
	TOTAL	100%	98%

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura

Atentamente:

**NAHUM
MONTIEL
SALAS**

Digitally signed by
NAHUM MONTIEL SALAS
Date: 2026.01.10 15:06:46
-06'00'

Ing. Nahum Montiel Salas, MBA.

Cédula: 3030980713

Carné CITEC: IPI-41226