



UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**“PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN Y MEJORA EN EL PROCESO DE APLICACIÓN DE
REVESTIMIENTO NANOCERAMICO EN ALABES DE VENTILADORES AXIALES
HOWDEN CHILE SPA”**

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Ingeniero en Mantenimiento
Industrial.

Alumno: Sr. Franco Arancibia
Zamora.

Profesor guía: PhD. Mg. Ing. Carlos Alberto Parra.

DEDICATORIA

A mis padres, Ernesto Arancibia y Paola Zamora, cuyo amor, apoyo incondicional y fortaleza me dieron la esperanza de seguir adelante cuando más lo necesitaba. Tras el accidente que marcó un punto de inflexión en mi vida, fue gracias a ustedes que encontré la fuerza para enfrentar los desafíos y poner el doble de empeño en mi carrera universitaria. Sin su apoyo, no habría podido superar los momentos más difíciles ni alcanzar todo lo que hoy celebro.

A mi hermano Sebastián Arancibia, quien fue mi gran motivación para ingresar a esta carrera y siempre estuvo ahí para ayudarme a pulir los conocimientos que los profesores me brindaron. Tu ejemplo y tu apoyo fueron clave en mi crecimiento y en este logro.

A mis abuelos y a mi Tío Gastón, quienes siempre soñaron con verme convertido en un profesional. Aunque el destino no les permitió acompañarme hasta este final de proceso, su amor y sus enseñanzas siguen siendo una inspiración constante. Aunque ya no estén físicamente conmigo, sé que me observan desde el cielo. Q.E.P.D. Tata Ernesto, Tata Gastón, Abuelita Isaura, Tío Gastón. Siempre estarán en mi corazón.

A mis profesores, que con su dedicación y enseñanzas no solo me formaron como ingeniero, sino también como persona. Gracias por guiarme y por ser parte fundamental de mi crecimiento profesional y humano.

Y, por último, a mi novia Siska Aguilera, quien llegó a mi vida en un momento crucial, brindándome su apoyo y amor en los últimos pasos de esta travesía universitaria. Tu presencia ha sido una fuente de motivación y alegría en estos últimos años.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento. Cada uno ha sido esencial en mi camino y, sin duda, gracias a su apoyo y confianza, hoy puedo mirar atrás con orgullo y seguir hacia adelante con nuevas metas por alcanzar.

Índice

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
OBJETIVOS	10
OBJETIVO GENERAL	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y PROBLEMÁTICA DEL PROYECTO	11
1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	12
1.1 UBICACIÓN	14
1.2 ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA	14
1.2.1. Organización del área mantenimiento e ingeniería	15
1.3 PROCESO PRODUCTIVO	16
1.3.1 Área del proceso productivo	18
1.3.2 Área del proceso de recepción de partes y componentes	19
1.3.3 Área de recepción y almacenamiento.....	19
1.3.4 Área del taller mecánico.....	19
1.3.5 Área de la logística.....	19
1.3.6 Área de mantenimiento	19
1.3.7 Clientes:	20
1.4 PROBLEMÁTICA DEL PROYECTO.....	21
CAPÍTULO 2: ANÁLISIS Y DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA RCA.	22
2. METODOLOGÍA RCA.....	23
Flujograma de la metodología “RCA” basado en Ishikawa.....	23
2.1 ¿Por qué se utiliza el diagrama de Ishikawa?.....	23
2.1.1 Características del diagrama de Ishikawa.	23
2.2 Pasos básicos para crear un diagrama de Ishikawa.	24
2.2.1 Definir el problema:	24
2.2.2 La línea principal:	24
2.2.2 Las líneas secundarias:.....	24
2.2.3 Dibujar la espina de pescado.....	25
2.2.4 Analizar y agrupar causas.	25
2.2.5 Priorizar causas.	25
2.2.6 Análisis y discusión.	25
2.2.7 Desarrollar soluciones.....	26
2.2.7 Seguimiento y acción.	26
2.3 Definición de causas asociadas al problema.	26
2.4 Implementación de matriz de riesgo para priorizar causas.	28
2.4.1 ¿Por qué utilizar una matriz de riesgo en la identificación del problema?.....	28
2.5 Análisis crítico del área de pintado y ensamblado Howden Chile Spa.	30
2.5.1 Criterios de evaluación para la creación de una matriz cualitativa de riesgos.	31
2.6 Jerarquización de causas.	33
2.6.1 Identificación de causas.	33

2.6.2 Evaluación del impacto.	33
2.6.3 Evaluación de la probabilidad.	33
2.6.4 Asignación de puntajes.	34
2.6.5 Construcción de la matriz de riesgo.	34
2.6.6 Jerarquización de causas.	34
2.6.7 Planificación de acciones.	34
2.6.8 Monitoreo y revisión.	34
2.7 Definir acciones correctivas.	34
2.8 Evaluación económica del análisis causa-raíz.	35
2.8.0 Análisis costo-beneficio	36
2.9 Conclusiones y recomendaciones	36
CAPÍTULO 3: ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA EN EL PROCESO DE PINTADO ÁREA DE ENSAMBLADO.	37
3.1 Implementación del diagrama de Ishikawa paso a paso	38
3.1.1 Definir el problema	38
3.1.2 La línea principal	38
3.1.3 Categoría 1 (Materiales).	38
3.1.4 Categoría 2 (Medio ambiente).	39
3.1.5 Categoría 3 (Medición).	39
3.1.6 Categoría 4 (Método).	40
3.1.7 Categoría 5 (Mano de obra).	41
3.2 Aplicación del diagrama Ishikawa (5M).	42
3.3 Jerarquización de las causas de fallas del procedimiento de pintado en los álabes mediante matriz cualitativa de riesgos.	42
3.4 Acciones correctivas para las causas críticas, semi críticas y no críticas.	43
3.4.1.1 Acción correctiva para las causas semi críticas	44
3.4.4 Acciones correctivas para las causas no críticas	51
3.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ.	52
3.5.1 Evaluación económica de las 3 causas críticas (implementación del container con climatizador)	52
3.5.1.0 Análisis costo-beneficio del análisis causa-raíz	53
3.5.1.1 Evaluación económica para las 4 causas semi críticas.	53
3.5.1.2 Evaluación económica para las 5 causas no críticas	54
3.5.1.3 Evaluación de la eficiencia de producción de los álabes.	55
3.5.1.4 Análisis y evaluación económica del proyecto	56
RECOMENDACIONES	57
CONCLUSIONES	59
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	62
Anexo A: Detalle de costos por fallas de las causas	62
Anexo B: Especificaciones técnicas del aire acondicionado AC-M5W	63
Anexo C: Presupuesto container de 20 pies	63
Anexo D: Evaluación Climatizador	64
Justificación del proyecto.	64

Índice de figuras

Figura 1-1. Ubicación: Howden Chile Spa	14
Diagrama 1-2. Organización de la empresa.	15
Diagrama 1-3. Mapa conceptual jerárquico del trabajo de ingeniería en Howden Chile Spa.....	15
Figura 1-4. Diagrama general del proceso de ensamblado Howden Chile Spa.	18
Figura 1-5. Fotografía del problema tomada por el departamento de calidad. (2023).	21
Figura 2-0. Flujograma del RCA.	23
Figura 3-0. Ensayos de adherencia rechazados.....	38
Figura 3-1. Evidencia del problema.	39
Figura 3-2. Tiempos de curado en horas.....	39
Figura 3-3. Control de medición.	40
Figura 3-4. Procedimiento de control.....	41
Figura 3-5. Limpieza y tratado del álabe.	41
Figura 3-6. Diagrama de Ishikawa 5M.	42
Figura 3-7. Layout y disposición del container.....	44
Fuente: Información directa de Howden Chile Spa.	44
Figura 3-8. Control de rugosidad del álabe.	46
Figura 3-9. Material ARC 855.	46
Figura 3-10. Especificaciones de tiempos de trabajo.....	47
Figura 3-11. Medición de espesores de película.	47
Figura 3-12. Tiempos de curado material “ARC 855”.....	47
Figura 3-13. Proceso de pintado.	48
Figura 3-14. Control de micras.	49
Figura 3-15. Paso 1: Ensayo de adherencia.	49
Figura 3-16. Paso 2: Ensayo de adherencia.	50
Figura 3-17. Paso 3: Ensayo de adherencia.	50
Figura 3-18. Resultado: Ensayo de adherencia aprobado.	50
Figura 4-2. Especificaciones técnicas AC-M5W.....	63
Figura 4-0. Presupuesto del container.....	64
Figura. 4.1 Aire acondicionado AC-M5W para contenedor, con sistema telescópico.	65

Índice de tablas

Tabla 2-1. Matriz de riesgo.	31
Tabla 2-2. Frecuencias de fallos para la realización de matriz.	31
Tabla 2-3. Impacto operacional para la realización de matriz.	31
Tabla 2-4. Flexibilidad operacional para la realización de matriz.	32
Tabla 2-5. Costos de mantenimiento para realizar la matriz.....	32
Tabla 2-6. Impacto en seguridad ambiente e higiene industrial.....	33
Tabla 3-2. Causas de fallas jerarquizadas.	42
Tabla 3-3. Costos de implementación.....	52
Tabla 3-4. Análisis costo beneficio del RCA.....	53

Tabla 3-5. Costos de implementación Semi Críticas. 54

Tabla 3-6. Análisis costo-beneficio del RCA. 54

Tabla 3-7. Análisis de costos de la implementación. 55

Tabla 3-8. Análisis costo-beneficio del RCA. 55

Tabla 3-9. Análisis de pérdida de producción.....55

Tabla 4-0. Análisis de pérdida de producción.....55

Tabla 4-1. Análisis de pérdida de producción.....56

Tabla 4-2. Análisis de pérdida de producción.....56

Tabla 4-3. Análisis costos-beneficios de las implementaciones. 56

Tabla 4-4. Gestión de la aplicación del ACR.....57

RESUMEN

En el presente documento se busca implementar un Análisis causa raíz (RCA) el cual va a ayudar a encontrar una falla raíz de un problema y respecto a esto se implementará una optimización y mejora enfocado a la aplicación de revestimiento nano cerámico en álabes de ventiladores axiales generados por Howden Chile Spa, esto va a encontrar unas posibles problemáticas la cual se va a basar posiblemente en el procedimiento y aplicación de los distintos químicos que son utilizados en estos. El análisis de causa raíz es una herramienta valiosa para los ingenieros, ya que les permite abordar los problemas de manera sistemática y evitar soluciones superficiales que solo tratan los síntomas, en lugar de las verdaderas causas detrás de un problema.

Howden Spa Trabaja en colaboración con sus clientes, estén donde estén, para ofrecer soluciones sostenibles y personalizadas. Durante más de un siglo, han construido una sólida red global de expertos que se forma a partir de equipos locales de servicio y entregareceptivos, en más de 100 países, que están familiarizados con los requisitos y desafíos locales.

Capítulo I: Se genera conocimiento de los análisis generales que se mantienen de la empresa y del enfoque correspondiente a la misión y la visión de esta. Se menciona una posible problemática basada en los álabes de los ventiladores axiales.

Capítulo II: Se pone en conocimiento los temas que forman parte de este informe, dando a conocer los distintos conceptos clave del análisis en cuestión, reconociendo específicamente la problemática del estudio en cuestión, para así dar paso al análisis causa raíz, se genera una recopilación de datos, no conformidades, mediciones y utilización de normas asociadas, para esto se utilizara una herramienta conocida como espina de pescado (Diagrama de Ishikawa), esta herramienta consta con el método de las 5M, (Método, mano de obra, materiales, medición y medio ambiente).

Capítulo III: Se contemplan los resultados del análisis causa-raíz, con base en esto se van a identificar los criterios que nos van a ayudar a generar distintas propuestas de ayuda en el proceso y optimización de tiempos, se observaran indicadores como lo son frecuencia del problema, impacto, comparación con normativas y estándares, análisis de riesgos con estos criterios y las posibles fallas del porqué se han producido estas fallas de adherencia de pintura, se implementara una propuesta de mejora para el proceso. Respecto a esto, se generarán soluciones eficaces que prolonguen el ciclo de vida del equipo y así aumentar la confiabilidad de los ventiladores, también buscando disminuir los gastos asociados al equipo.

INTRODUCCIÓN

Las empresas de ingeniería dedicadas a la fabricación y venta de equipos rotativos son esenciales tanto a nivel micro como macro industrial, ya que proveen de activos necesarios para los diversos procesos que se desarrollan en estas industrias. Sin lugar a dudas, tienen una gran importancia dentro de este ámbito.

Dado que en el sector existen muchas empresas que ofrecen productos similares, la competitividad entre ellas es alta. Por lo tanto, el nivel de calidad y confiabilidad que estas empresas ofrecen debe ser el más alto posible para ganar los proyectos que las industrias demandan.

Howden Chile Spa, ubicada en la Región Metropolitana, Santiago de Chile, en Cordillera 575, Pudahuel, es una filial de "Howden, a Chart Industries Company", cuya casa matriz se encuentra en Brasil. Howden tiene una amplia presencia a nivel mundial y está posicionada como una de las mejores en su rubro a nivel global.

A **Howden Chile Spa** se le presentó una problemática relacionada directamente con el proceso de ensamblaje de los ventiladores axiales. En este contexto, se busca reducir los tiempos asociados a garantías de proveedores, despachos y reprocesos de equipos. Asimismo, se pretende aumentar la confiabilidad y calidad de los ventiladores para garantizar la seguridad de los clientes.

Ante estos antecedentes, se sugirió implementar un análisis causa raíz para determinar la problemática. Este análisis consiste en recopilar información relacionada con los procesos de aplicación del revestimiento nano-cerámico, las temperaturas de los químicos, la limpieza de los álabes y las preparaciones recurrentes que se están llevando a cabo. El estudio tiene como objetivo encontrar la causa raíz del problema, identificarla, analizarla y proponer una mejora y optimización en el proceso. El fin de este análisis es reducir los tiempos muertos en los que el equipo está inactivo, de modo que no se retrase el proceso de ensamblaje de los ventiladores.

necesitamos de los siguientes pasos:

Identificación del problema de mantenimiento: El primer paso es identificar claramente el problema de mantenimiento que se desea analizar. Puede ser una falla recurrente, una disminución del rendimiento o cualquier otro problema que afecte la confiabilidad de los equipos.

Recopilación de datos de mantenimiento: Una vez identificado el problema, es esencial recopilar datos de mantenimiento relacionados con el incidente. Esto puede incluir registros de mantenimiento, datos de rendimiento, historiales de mantenimiento, entre otros.

Análisis de datos de mantenimiento: Con los datos recopilados, es hora de analizarlos para identificar patrones y tendencias. Esto permitirá entender mejor la naturaleza y la frecuencia del problema.

Identificación de causas-raíz de las fallas: El siguiente paso implica identificar las posibles causas raíz de las fallas. Esto puede involucrar el uso de herramientas, como el diagrama de espina de pescado, para visualizar las diferentes categorías de causas que pueden estar contribuyendo al problema.

Verificación de causas-raíz: Una vez identificadas las posibles causas-raíz, es importante verificar su veracidad y relevancia con respecto al problema de mantenimiento. Esto implica realizar pruebas y análisis adicionales para confirmar que las causas identificadas realmente están contribuyendo al problema.

Selección de soluciones de mantenimiento: Con las causas-raíz verificadas, es hora de seleccionar las soluciones de mantenimiento más efectivas para abordar el problema. Estas soluciones pueden incluir cambios en los procedimientos de mantenimiento, mejoras en la lubricación y mantenimiento preventivo más frecuente, entre otros.

Implementación de soluciones de mantenimiento: El último paso es implementar las soluciones seleccionadas. Es importante seguir un enfoque estructurado y monitorear los resultados para asegurarse de que las soluciones estén funcionando según lo previsto.

En resumen, en este trabajo se tiene como objetivos utilizar un análisis causa raíz, para encontrar el trasfondo de la problemática y así dar una solución efectiva y certera para los alabes de los ventiladores axiales de Howden Chile Spa.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Aplicar una metodología de análisis de fallas que permita encontrar las causas raíces en la problemática de falta de adherencia del material ARC 855 y determinar las soluciones óptimas del proceso de revestimiento de los álabes del ventilador axial marca Howden.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir el contexto operacional que permita establecer la problemática existente en el proceso de revestimiento de los álabes del ventilador axial.
- Aplicar la metodología: Diagrama de Ishikawa, para identificar las causas raíces involucradas en la problemática de los álabes del ventilador axial.
- Desarrollar las recomendaciones que ayuden a eliminar las causas raíces y establecer los recursos humanos y técnicos que permitan consolidar los planes de acción.

**CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y PROBLEMÁTICA DEL
PROYECTO**

1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Howden Chile Spa es una filial de Howden Group, una empresa global líder en el diseño, fabricación y mantenimiento de equipos industriales de alta calidad, especializada en soluciones de ingeniería para sectores como minería, energía, infraestructura y otros sectores industriales.

Misión de Howden

La misión de Howden es “proveer soluciones innovadoras y de alta calidad en ingeniería para la gestión de aire, gases y fluidos, mejorando la eficiencia y el rendimiento de los procesos industriales a nivel global”. La empresa se compromete a trabajar estrechamente con sus clientes para desarrollar productos y servicios a medida que resuelvan sus desafíos técnicos, optimizando su productividad mientras minimizan el impacto ambiental.

Visión de Howden

La visión de Howden es “ser líder mundial en la provisión de soluciones sostenibles, eficientes y de alto rendimiento para la gestión de energía, gases y fluidos en sectores industriales clave, apoyando el desarrollo de infraestructuras resilientes y sostenibles”.

La compañía tiene una fuerte presencia en Chile y en la región, ofreciendo productos y servicios que incluyen ventiladores industriales, compresores, sistemas de filtración, turbinas y otras soluciones relacionadas con el manejo de aire, gases y fluidos. Estos equipos son fundamentales para la operación de procesos industriales que requieren alta eficiencia energética y condiciones operativas exigentes.

Servicios y productos: Howden Chile Spa se enfoca en proporcionar soluciones personalizadas a las necesidades específicas de sus clientes. Entre los productos y servicios que ofrece destacan:

Ventiladores Industriales: Equipos de ventilación diseñados para una amplia variedad de aplicaciones industriales, desde sistemas de ventilación en minería hasta procesos de generación de energía.

Compresores y bombas: Soluciones para el manejo de gases y líquidos en diversas aplicaciones industriales.

Sistemas de filtración: Equipos diseñados para eliminar partículas y contaminantes del aire o de los gases industriales.

Turbinas y generadores: Equipos clave en la generación de energía en plantas industriales y de energía renovable.

Servicios de mantenimiento: Howden Chile ofrece servicios integrales de instalación,

mantenimiento preventivo y correctivo, y optimización de sistemas industriales para maximizar la eficiencia y vida útil de los equipos.

Ingeniería y personalización: Howden Chile se distingue por su capacidad para desarrollar soluciones a medida. La empresa trabaja de cerca con sus clientes para ofrecer productos adaptados a las condiciones operativas y necesidades específicas de cada proyecto, garantizando eficiencia, seguridad y rendimiento a largo plazo.

La compañía aplica las últimas tecnologías en simulación y modelado de equipos, lo que permite validar el diseño antes de la fabricación, asegurando que los equipos operen bajo las condiciones más exigentes.

Compromiso con la calidad: Howden Chile Spa está comprometida con los más altos estándares de calidad y seguridad. La empresa sigue rigurosos procedimientos de control de calidad y tiene certificaciones internacionales que garantizan que sus productos cumplen con las normativas más estrictas, como ISO 9001 y otras certificaciones relacionadas con la seguridad industrial y el rendimiento de los equipos.

Sostenibilidad y responsabilidad social: Howden Chile también se enfoca en soluciones sostenibles y eficientes desde el punto de vista energético, ayudando a sus clientes a reducir su impacto ambiental mediante el uso de tecnologías que optimizan el consumo de energía y reducen las emisiones de gases contaminantes.

Presencia en la región: Con una sólida base en Chile, Howden Chile Spa brinda soporte no solo a empresas locales, sino también a clientes en otros países de América Latina. La compañía tiene una red de soporte técnico y logístico para garantizar una atención de calidad en todas las fases del ciclo de vida del producto, desde la fabricación hasta el mantenimiento postventa.

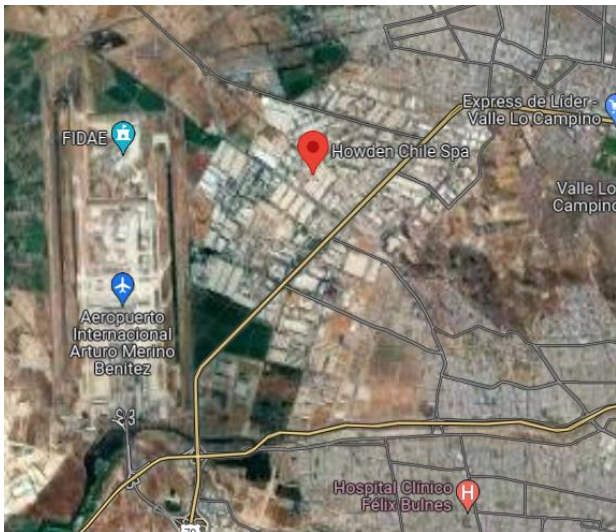
Howden Chile Spa trabaja en colaboración con los clientes, estén donde estén, para ofrecer soluciones sostenibles y personalizadas. Durante más de un siglo, se ha construido una sólida red global de expertos que se forma a partir de equipos locales de servicio y entrega receptivos, en más de 100 países, que están familiarizados con los requisitos y desafíos locales.

El lema de Howden que más llama la atención es "girar a tu alrededor", algo que ha sustentado el negocio desde que se estableció. Al mejorar constantemente los productos y servicios de acuerdo con las necesidades de los clientes, Howden nunca se ha detenido.

Fundada originalmente por James Howden en Escocia como una empresa de ingeniería marina en 1854, Howden ha crecido y evolucionado hasta convertirse en un líder mundial en la fabricación de soluciones de manejo de aire y gas. Con el poder de experiencia en ingeniería y tecnología, sus equipos juegan un papel integral dentro de los procesos de los clientes, que brindan soluciones seguras y confiables que son sostenibles y eficientes.

1.1 UBICACIÓN

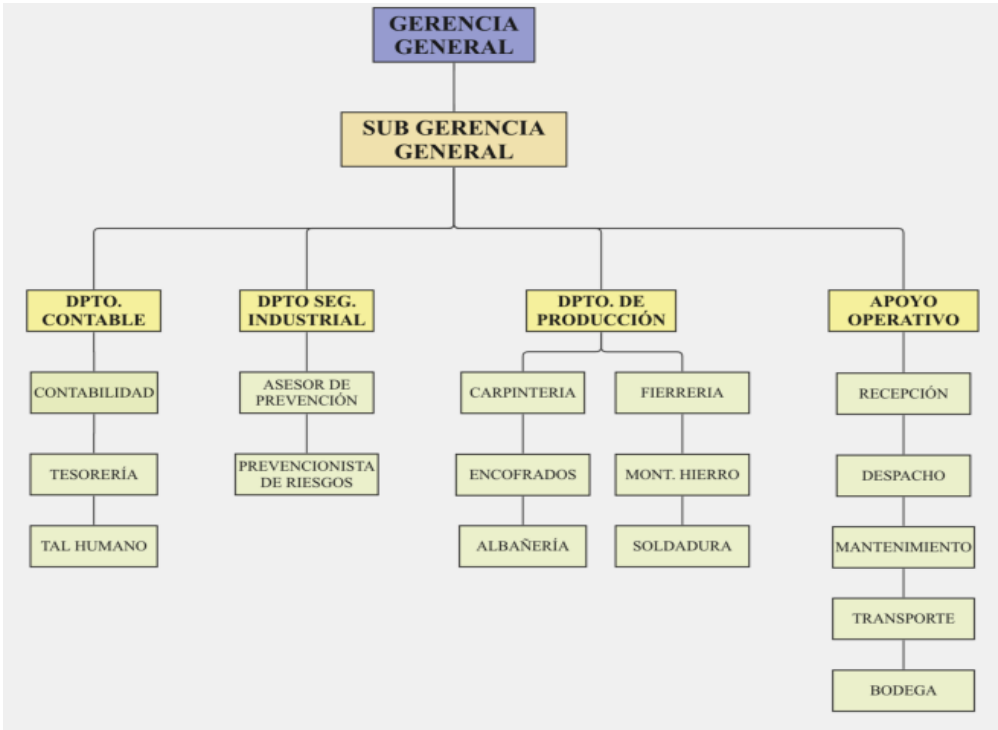
Howden Chile Spa se encuentra situada en Santiago de Chile, en Avenida Cordillera 575, Pudahuel, Región Metropolitana. Chile (Figura 1-1).



Fuente: Foto de “Google Maps”.
Figura 1-1. Ubicación: Howden Chile Spa.

1.2 ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA

Función administrativa de Howden Chile Spa (Diagrama 1-2), encargados de la organización, estructuración e integración de los recursos. Su trabajo consiste en desarrollar y aplicar estrategias, para alcanzar sus objetivos.



Fuente: Elaboración propia con base en información de la empresa.
Diagrama 1-2. Organización de la empresa.

1.2.1. Organización del área mantenimiento e ingeniería

Este trabajo de título es realizado en la unidad mecánica de Howden Chile Spa, en conjunto con ingenieros de mantención e ingenieros de confiabilidad. A continuación, se muestra un mapa conceptual jerárquico (Diagrama 1-3) del trabajo de ingeniería que se realiza en planta.

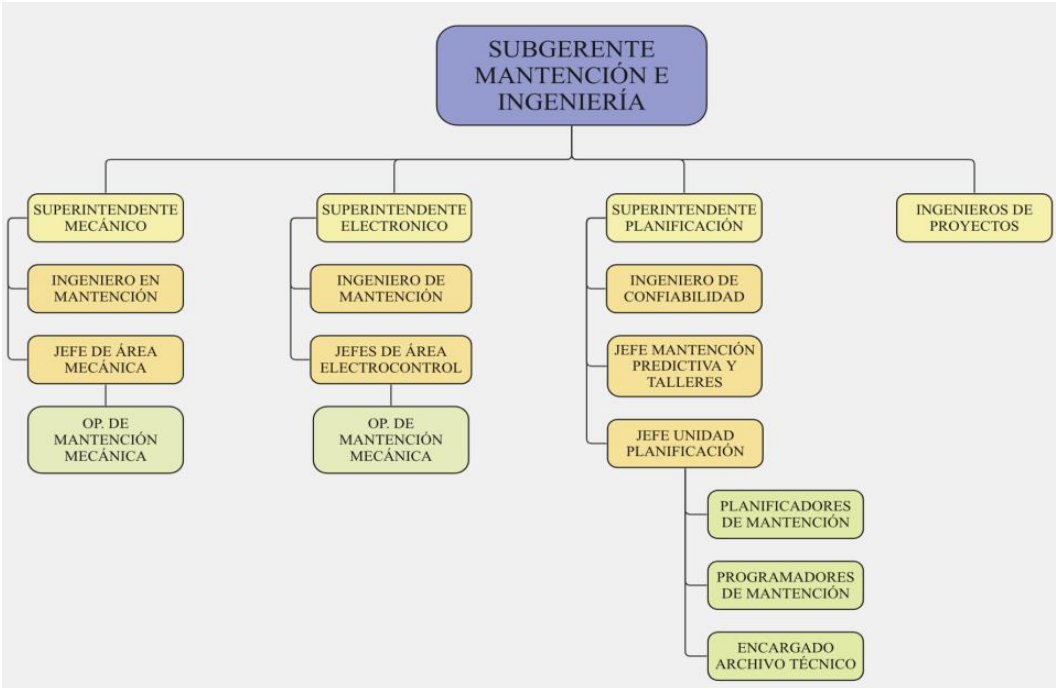


Diagrama 1-3. Mapa conceptual jerárquico del trabajo de ingeniería en Howden Chile Spa.
Fuente: Elaboración propia con base en registros de Howden.

1.3 PROCESO PRODUCTIVO

Howden tiene como proceso general de fabricación una serie de etapas que incluyen el diseño, fabricación, ensamblaje y pruebas de calidad de sus productos.

1. Diseño y desarrollo

Ingeniería y personalización: Howden Chile trabaja en estrecha colaboración con los clientes para diseñar soluciones a medida, adaptadas a las necesidades específicas de cada aplicación. Este proceso involucra la ingeniería de productos como ventiladores, compresores y otros equipos industriales.

Simulación: Antes de la fabricación, los diseños son validados mediante simulaciones computacionales y pruebas preliminares para asegurar que los productos cumplan con los requisitos técnicos, de seguridad y eficiencia.

2. Fabricación de componentes

Selección de materiales: Se seleccionan los materiales adecuados, como acero, aleaciones o materiales compuestos, para soportar las condiciones operativas específicas (temperatura, presión, corrosión, etc.).

Corte y conformado: Los materiales son cortados, doblados y moldeados utilizando maquinaria especializada, como láseres de corte y prensas.

Fusión y soldadura: Los componentes más grandes y complejos se ensamblan mediante técnicas de soldadura para garantizar la resistencia y la integridad estructural.

3. Montaje y ensamblaje

Montaje de componentes principales: Una vez fabricadas las piezas individuales, estas son ensambladas para formar el producto final, que puede ser un ventilador, un compresor u otro equipo industrial.

Pruebas de ensamblaje: Después del ensamblaje, los productos son sometidos a pruebas para verificar que funcionan correctamente y cumplen con las especificaciones de diseño, incluyendo pruebas de rendimiento, vibración y temperatura.

4. Pruebas de calidad

Control de calidad: Se realizan inspecciones rigurosas de cada producto para garantizar que cumpla con los estándares internacionales de calidad, seguridad y rendimiento. Esto puede incluir pruebas de funcionamiento en condiciones simuladas, pruebas de integridad estructural y eficiencia energética.

Certificación: Algunos productos pueden requerir certificaciones adicionales, como las

normas ISO o ASME, para asegurar su conformidad con estándares internacionales.

5. Entrega e instalación

Logística: Los productos fabricados son preparados para su envío al cliente, utilizando diversos métodos de transporte, como terrestre, marítimo o aéreo, dependiendo de la ubicación.

Instalación y puesta en marcha: Howden Chile ofrece servicios de instalación y puesta en marcha, donde técnicos especializados se encargan de la instalación de los equipos en las instalaciones del cliente y realizan pruebas finales para garantizar su correcto funcionamiento.

6. Mantenimiento y soporte postventa

Mantenimiento preventivo y correctivo: La empresa también proporciona servicios de mantenimiento para asegurar que los equipos continúen operando de manera eficiente durante su vida útil.

Optimización de rendimiento: Además, se pueden realizar actualizaciones o mejoras tecnológicas a los equipos para optimizar su rendimiento y adaptarlos a nuevas condiciones operativas.

Equipos que se elaboran en Howden Chile

En el caso de Howden Chile, la empresa se dedica principalmente a la fabricación y el suministro de ventiladores axiales y centrífugos, que son utilizados en diversas industrias, como la minería, energía, construcción y manufactura.

Algunos de los principales productos y servicios que ofrece Howden Chile incluyen:

Ventiladores axiales: Estos ventiladores son utilizados para mover grandes volúmenes de aire o gas en diversas aplicaciones industriales, como la ventilación de minas, plantas de energía, y en procesos de refrigeración.

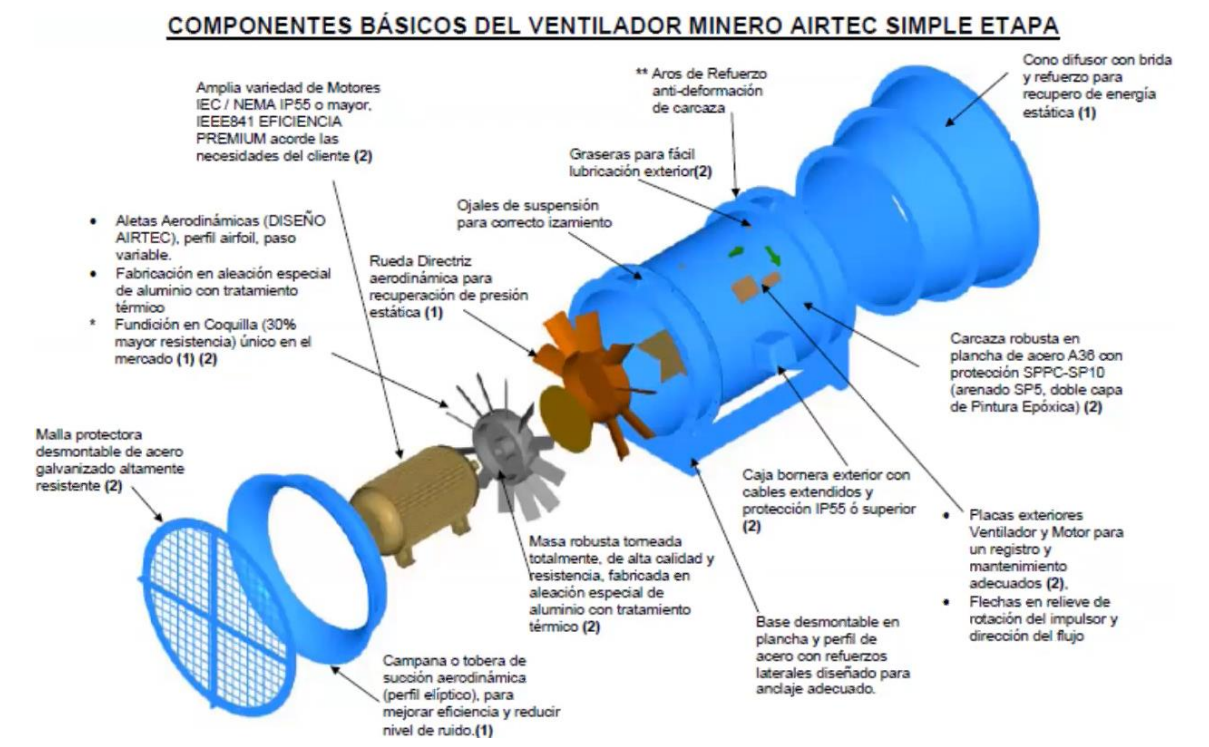
Ventiladores centrífugos: Similar a los axiales, pero diseñados para mover aire o gas de manera más eficiente a través de sistemas de alta presión. Se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo procesos industriales y HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado).

Sistemas de revestimiento: Howden Chile también trabaja en la aplicación de recubrimientos especializados como el nano-cerámico, que se utilizan para mejorar la durabilidad y la eficiencia de los equipos rotativos, protegiéndolos del desgaste y la corrosión.

Soluciones de ingeniería personalizadas: Howden ofrece servicios de diseño y fabricación a medida para satisfacer las necesidades específicas de sus clientes, adaptando sus productos a los requerimientos de cada industria.

Servicios de mantenimiento y soporte técnico: Además de fabricar equipos, Howden Chile proporciona soporte técnico, mantenimiento preventivo y correctivo para asegurar la operatividad de sus sistemas a lo largo de su vida útil.

El principal enfoque de esta investigación va relacionado con la producción de ventiladores axiales, los cuales son ensamblados y fabricados en Howden, pero de esta fabricación se desprenden proveedores, los cuales envían distintos componentes del ventilador, como lo es la carcasa, Hub, machón, aspas, etc. Por lo tanto, los procesos de cada una de las piezas son inspeccionados y generados por parte del departamento de ingeniería como lo es también el de calidad, para que luego estas sean ingresadas a almacenamiento, y generar el ensamblado final en la dependencia de Howden.



A continuación, un diagrama general (Figura 1-4) del proceso de ensamblado Howden Chile Spa.

Figura 1-4. Diagrama general del proceso de ensamblado Howden Chile Spa.

1.3.1 Área del proceso productivo

El proceso productivo se constituye de 4 áreas en total, las cuales involucran personal y activos que llevan a la empresa a cumplir el objetivo principal, que es la elaboración de

ventiladores axiales, entre otras más funciones que tiene Howden.

1.3.2 Área del proceso de recepción de partes y componentes

En esta área se visualiza e inspecciona de manera muy cautelosa los distintos elementos que son enviados por proveedores, aquí es donde se encuentra el departamento de calidad junto con el de almacenamiento, se analiza de manera visual y respecto a mediciones de los distintos planos.

1.3.3 Área de recepción y almacenamiento

Aquí se da paso a la verificación de todos los componentes, se dividen en 3 categorías; los que están acorde a todas las mediciones del plano se aprueban y pasan como stock, los elementos que estén fuera de los parámetros, pero son solucionables, quedan con una etiqueta amarilla para ser despachados devuelta al proveedor para que se tomen las medidas necesarias, los que están fuera de parámetros y no son solucionables, se envían devuelta al proveedor para generar un reproceso.

1.3.4 Área del taller mecánico

Aquí se le hacen las entregas de los planos, con el stock, a los mecánicos que trabajan dentro del taller de Howden. Una vez ya entregados estos, se comienza el proceso de pintura y luego ensamblado de piezas de los ventiladores, para el final generar una puesta en marcha del ventilador y lograr balancear para entregar en óptimas condiciones.

1.3.5 Área de la logística

Una vez probado el ventilador y logrado obtener una buena puesta en marcha, este pasa directamente a ser dado de servicio, es preparado y enviado a la respectiva empresa minera que lo requiera.

1.3.6 Área de mantenimiento

Se envían ingenieros junto con los ventiladores, para evitar que el ventilador se coloque en mala posición y se haga una mal puesta en marcha, para esto el ingeniero debe tener claro el contexto operacional de donde va a trabajar este ventilador, por lo tanto, se debiese adaptar de la mejor manera al sector que se requiere.

1.3.7 Clientes:

Howden, a Chart Industries Company, tiene distintos clientes en el territorio Nacional e internacional. A nivel internacional se encuentran los siguientes:

- BHP: Una de las principales compañías mineras que opera en el país.
- Constructora Gardilicic: Dedicada al diseño, construcción y ejecución de proyectos inmobiliarios y de infraestructura.
- Antofagasta Minerals: Dedicada a la exploración, extracción y comercialización de cobre.
- Minera Doña Ines de Collahuasi: Pertenece al grupo de las principales compañías mineras.
- Minera Los Pelambres: Pertenece al grupo de Antofagasta Minerals.
- Pucobre: Dedicada a la minería (cobre) pero a menor escala.
- Minera Las Cenizas: Dedicada a la minería, principalmente a la extracción de cobre.
- Codelco: Es la mayor productora de cobre del mundo y una de las empresas más importantes del país.
- Anglo American: Empresa minera que tiene una fuerte influencia en la industria del cobre, el hierro y otros minerales.
- Yamana Gold: Es una empresa minera canadiense dedicada a la exploración, desarrollo y explotación de yacimientos de oro y otros metales preciosos, con presencia en Chile.
- Mas Errazuriz: Dedicada al desarrollo inmobiliario y la construcción de proyectos residenciales y comerciales.
- HCA: Dedicada a la generación de energía a partir de fuentes renovables, principalmente la energía hidroeléctrica.

1.4 PROBLEMÁTICA DEL PROYECTO

Sin duda los ventiladores axiales son un equipo de alta necesidad y vital importancia dentro de las distintas mineras, ya que estos proveen de oxigenación y limpieza a zonas subterráneas. Debido a un reciente análisis causa raíz que se registró en dicha empresa, se dio cuenta de una falla común entre los distintos controles de calidad que se estaban tomando a los álabes de los ventiladores, estas fallas se encuentran alojadas todas dentro de un procedimiento a las que son sometidos los álabes. Este procedimiento llamado “Aplicación de revestimiento nano-cerámico ARC 855” el cual consiste en aplicar un revestimiento de pintura que es de vital importancia para la resistencia de los álabes dentro de un ventilador y contexto operacional, este revestimiento se encuentra normado y se puede aplicar bajo ciertas condiciones ambientales. Una de las principales causas que determinó el “RCA” está relacionada directamente con la temperatura ambiental y el procedimiento aplicado por el técnico en cuestión, dicho procedimiento no tiene una existencia a nivel manual, solo se sabe por criterios de la norma. Esto está generando problemas de indisponibilidad de componentes para generar su ensamble, por lo tanto, se están perdiendo tiempos cruciales para terminar proyectos y prologando situaciones de vital importancia. Howden es un proveedor bastante importante a nivel mundial, por tan razón, tiene lazos con muchas empresas mineras las cuales trabajan en diferentes puntos del país y a diferentes alturas debido a esto no los tienen funcionando a las mismas capacidades o contextos operacionales, pero sin duda estos álabes tienen que tener resistencias a bastantes adversidades debido al entorno que trabajan. El revestimiento ARC 855 ayuda a proteger los metales contra sustancias químicas, abrasión y corrosión. Como bien se puede apreciar, no es fácil llegar y generar un recambio de ventilador, ya que estos son de gran tamaño y en las zonas que trabajan no son de fáciles accesos, en este caso la falla a corto plazo no afecta al funcionamiento del equipo, pero al no tener este recubrimiento en zonas donde se trabaja habitualmente con contaminantes en el ambiente, se va perdiendo su resistencia y comienzan a tener desgaste en exceso hasta llegar a quiebres y fracturas, que pueden causar daños peligrosos dentro del ventilador.



Figura 1-5. Fotografía del problema tomada por el departamento de calidad. (2023).
Fuente: Elaboración propia con base en registros de Howden Chile Spa.

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS Y DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA RCA.

2. METODOLOGÍA RCA

Análisis Causa Raíz con diagrama de Ishikawa.

El análisis de causa raíz es un proceso sistemático utilizado para identificar las causas fundamentales de un problema o un evento no deseado. El objetivo principal es llegar a la causa raíz, es decir, la causa más básica o fundamental que, si se aborda, debería prevenir la ocurrencia del problema.

Este tipo de análisis es aplicable en diversos contextos, como la ingeniería, la gestión de la calidad, la seguridad, la salud ocupacional y muchos otros campos. La idea central es evitar tratar solo los síntomas superficiales de un problema y en su lugar, profundizar para entender y abordar las causas subyacentes.

Flujograma de la metodología “RCA” basado en Ishikawa

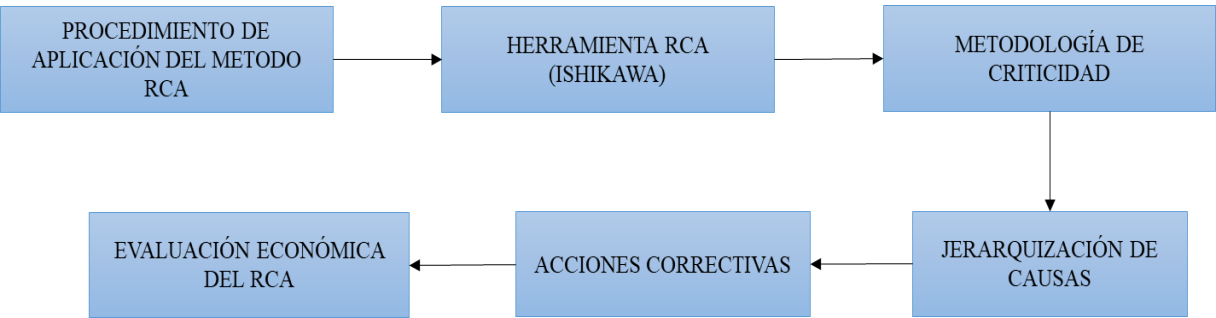


Figura 2-0. Flujograma del RCA.
Fuente: Elaboración propia en aplicación Canva.

2.1 ¿Por qué se utiliza el diagrama de Ishikawa?

Un diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de espina de pescado o diagrama de causa y efecto, es una herramienta visual utilizada para identificar y analizar las posibles causas de un problema específico. El objetivo es desglosar el problema en diversas categorías para entender mejor sus causas raíz.

2.1.1 Características del diagrama de Ishikawa.

1. Visualización clara:

Proporciona una representación visual clara de las causas potenciales de un problema, facilitando la comprensión tanto para expertos como para aquellos menos familiarizados con el tema.

2. Enfoque estructural:

Organiza sistemáticamente las posibles causas en categorías específicas, lo que ayuda a

estructurar el pensamiento y a identificar áreas clave para el análisis.

3. Colaboración y brainstorming:

Fomenta la colaboración a través de sesiones de brainstorming, permitiendo que las personas con diferentes perspectivas aporten ideas y conocimientos.

4. Enfoque multidisciplinario:

Al incluir categorías como Método, Material, Mano de obra, Medio ambiente y Medición, se abarcan diversos aspectos, asegurando un enfoque integral para identificar causas.

5. Identificación de causas-raíz:

Facilita la identificación de causas-raíz al proporcionar una estructura que guía la reflexión profunda sobre cada aspecto del problema.

6. Mejora continua:

Al abordar las causas-raíz, el diagrama de Ishikawa contribuye a la mejora continua y a la prevención de problemas recurrentes.

2.2 Pasos básicos para crear un diagrama de Ishikawa.

2.2.1 Definir el problema:

- Se comienza por identificar claramente el problema que se desea analizar. Este problema será el "efecto" en el diagrama.

2.2.2 La línea principal:

- Esta línea representará el espinazo del "pescado". es la columna central que representa el problema o efecto que se está investigando. Esta línea principal se dibuja horizontalmente en el centro del diagrama y se etiqueta con el problema específico que se está analizando.

2.2.2 Las líneas secundarias:

Se agregan espinas secundarias: como las espinas de un pez. Estas líneas representarán las categorías principales de causas que podrían contribuir al problema. Las categorías suelen ser definidas por la naturaleza del problema, pero ejemplos comunes incluyen las posibles categorías de causas que podrían contribuir al problema. Estas categorías suelen ser:

- Personas: Factores humanos que pueden contribuir al problema.
- Procesos: Procedimientos, métodos o flujos de trabajo que podrían ser problemáticos.

- Equipos: Maquinaria, herramientas y tecnología que podrían influir en el problema.
- Materiales: Insumos, materias primas o suministros que podrían afectar al problema.
- Medio ambiente: Condiciones externas que podrían estar contribuyendo al problema.

2.2.3 Dibujar la espina de pescado.

Dibuja una línea horizontal en el centro de la pizarra o papel, representando la columna vertebral del "pescado".

- En el extremo derecho, dibuja un óvalo para representar el problema específico.
- A lo largo de la línea principal, dibuja líneas diagonales hacia la izquierda para representar las espinas del pescado.
- Identificar causas potenciales: A lo largo de las líneas secundarias, comienza a identificar las posibles causas que podrían haber contribuido al problema. Estas causas son los "huesos" de las espinas. Pueden ser factores específicos, acciones o elementos que podrían haber influido en el problema.

2.2.4 Analizar y agrupar causas.

- Examina las causas identificadas y busca relaciones o patrones.
- Agrupa las causas relacionadas para facilitar el análisis.
- Detallar causas secundarias: Si es necesario, puedes descomponer aún más las causas principales en subcausas. líneas adicionales, para representar estas subcausas y unir las a las causas principales.

2.2.5 Priorizar causas.

- Se pueden utilizar técnicas como el análisis de Pareto o matriz de riesgo para identificar las causas más significativas o frecuentes.
- Clasifica las causas en función de su relevancia y contribución al problema. Algunas pueden ser más significativas que otras, por lo que es importante priorizarlas para enfocar los esfuerzos de resolución.

2.2.6 Análisis y discusión.

- Una vez identificadas todas las posibles causas, se revisan y analizan cada una de ellas. Esto puede implicar discusiones en equipo, análisis de datos y revisión de evidencia para determinar qué causas son más relevantes y cuáles podrían ser las

causas raíz.

2.2.7 Desarrollar soluciones.

- Una vez que se hayan identificado las causas principales, se puede comenzar a desarrollar estrategias y soluciones para abordarlas. Esto puede incluir cambios en procesos, capacitación, mejoras en la gestión, etc.

2.2.7 Seguimiento y acción.

- Implementa las soluciones propuestas y realiza un seguimiento para evaluar su efectividad en la resolución del problema.

2.3 Definición de causas asociadas al problema.

Las "causas materiales" se refieren a los factores físicos, tangibles o relacionados con los recursos que pueden contribuir a un problema específico. Estas causas se centran en elementos concretos, materiales o condiciones físicas que pueden influir en la aparición o persistencia de un problema. Algunas características y ejemplos de causas materiales frente a un problema:

Características:

- Tangibles: Las causas materiales son cosas que se pueden ver, tocar o medir. Están relacionadas con aspectos físicos o materiales del entorno o proceso en cuestión.
- Directas: Las causas materiales a menudo tienen una conexión directa y observable con el problema. Pueden incluir equipos, herramientas, materiales, infraestructura física, entre otros.
- Identificables: Debido a su naturaleza física, las causas materiales suelen ser relativamente fáciles de identificar y diagnosticar.

Las "causas medioambientales" se refieren a los factores relacionados con el entorno o las condiciones externas que pueden influir en la aparición o persistencia de un problema específico. Estas causas se centran en aspectos del entorno natural, social o cultural que pueden afectar al sistema o proceso en cuestión. Aquí hay algunas características y ejemplos de causas medioambientales frente a un problema:

Características:

- Contextuales: Las causas medioambientales están relacionadas con el contexto en el que ocurre el problema. Pueden incluir aspectos sociales, culturales, económicos, políticos o físicos del entorno.

- Indirectas: A diferencia de las causas materiales, las causas medioambientales a menudo no tienen una conexión directa y observable con el problema, pero pueden ejercer una influencia significativa.
- Amplias: Las causas medioambientales pueden ser complejas y multifacéticas, abarcando una variedad de factores que interactúan entre sí para afectar al problema en cuestión.

Las "causas de medición" se refieren a los errores, sesgos o inexactitudes asociadas con los métodos de medición utilizados para evaluar o cuantificar un problema o fenómeno. Estas causas se relacionan con la precisión, fiabilidad y validez de las mediciones realizadas en el proceso de análisis del problema. Aquí hay algunas características y ejemplos de causas de medición frente a un problema:

Características:

- Inexactitudes: Las causas de medición pueden conducir a mediciones incorrectas o imprecisas del problema en cuestión, lo que dificulta una comprensión precisa de su naturaleza y magnitud.
- Sesgos: Los sesgos en los métodos de medición pueden introducir distorsiones sistemáticas en los datos recopilados, influenciando la interpretación y las conclusiones derivadas del análisis.
- Variedad de fuentes: Las causas de medición pueden surgir de una variedad de factores, incluyendo la instrumentación utilizada, los procedimientos de muestreo, el error humano, las condiciones ambientales, entre otros.

Las "causas de método" se refieren a los errores o sesgos asociados con los procedimientos, enfoques o métodos utilizados para investigar, analizar o abordar un problema específico. Estas causas se centran en las decisiones metodológicas tomadas durante el proceso de investigación o análisis, y cómo estas decisiones pueden influir en la comprensión y resolución del problema. Aquí hay algunas características y ejemplos de causas de método frente a un problema:

Características:

- Decisiones metodológicas: Las causas de método pueden surgir de las elecciones realizadas en relación con los enfoques de investigación, los métodos de análisis de datos, los procedimientos de muestreo, entre otros aspectos metodológicos.

- **Sesgos metodológicos:** Los sesgos en la selección o aplicación de métodos pueden influir en los resultados o conclusiones del estudio, introduciendo distorsiones en la comprensión del problema o en las recomendaciones de acción.
- **Impacto en la validez:** Las decisiones metodológicas pueden afectar la validez interna y externa de un estudio o análisis, así como la generalización de los resultados a otras situaciones o contextos.

Las "causas de mano de obra" se refieren a los factores relacionados con el desempeño, habilidades, capacitación, actitudes y otros aspectos del trabajo humano que pueden contribuir a un problema específico. Estas causas se centran en los trabajadores involucrados en un proceso o actividad y cómo sus acciones o características pueden influir en la ocurrencia o persistencia del problema en cuestión. Aquí hay algunas características y ejemplos de causas de mano de obra frente a un problema:

Características:

- **Habilidades y competencias:** Las causas de mano de obra pueden incluir la falta de habilidades o competencias necesarias para realizar una tarea de manera efectiva y eficiente.
- **Actitudes y motivación:** Los problemas relacionados con la motivación, el compromiso o la actitud de los trabajadores pueden afectar su desempeño y contribuir a la ocurrencia de problemas en el lugar de trabajo.
- **Capacitación y experiencia:** La falta de capacitación adecuada o la experiencia insuficiente pueden llevar a errores o malentendidos en la ejecución de tareas, lo que resulta en problemas operativos o de calidad.

2.4 Implementación de matriz de riesgo para priorizar causas.

2.4.1 ¿Por qué utilizar una matriz de riesgo en la identificación del problema?

Utilizar una matriz de riesgo es una práctica común en la gestión de proyectos, la gestión empresarial y en varios campos para evaluar y visualizar los riesgos asociados con diversas actividades. Algunas razones clave para utilizar una matriz de riesgo:

Identificación y clasificación de riesgos:

- La matriz de riesgo proporciona un marco estructurado para identificar y clasificar los riesgos potenciales. Esto ayuda a los equipos a tener una comprensión clara de las amenazas que podrían afectar sus objetivos.

Priorización de riesgos:

- La matriz permite la clasificación de los riesgos según su impacto y probabilidad. Esto ayuda a priorizar los riesgos, centrándose en aquellos que tienen el potencial de causar mayores impactos negativos.

Toma de decisiones informada:

- Al visualizar los riesgos en una matriz, los líderes y tomadores de decisiones pueden tomar decisiones más informadas sobre cómo abordar y mitigar los riesgos. Esto contribuye a una gestión más efectiva de las contingencias.

Comunicación efectiva:

- La matriz de riesgo proporciona una herramienta gráfica que facilita la comunicación de los riesgos a partes interesadas internas y externas. Permite una comprensión rápida y clara de los riesgos identificados.

Planificación de contingencias:

- Con base en la evaluación de riesgos, se pueden desarrollar planes de contingencia y estrategias de mitigación. La matriz sirve como guía para asignar recursos y establecer medidas preventivas y correctivas.

Mejora de la conciencia del equipo:

- La matriz de riesgo ayuda a crear conciencia dentro del equipo sobre los posibles desafíos que podrían surgir. Esto fomenta una cultura de anticipación y preparación.

Optimización de recursos:

- Al identificar y priorizar los riesgos, las organizaciones pueden asignar de manera más efectiva sus recursos para abordar los riesgos más críticos y evitar la dispersión de esfuerzos en áreas menos significativas.

Seguimiento y evaluación continua:

- La matriz de riesgo proporciona un punto de referencia para el seguimiento continuo del entorno de riesgos a lo largo del tiempo. Permite ajustar las estrategias a medida que evolucionan las circunstancias y los proyectos.

Cumplimiento normativo:

- En algunos sectores y proyectos, la elaboración de matrices de riesgo puede ser un requisito normativo. Utilizar estas herramientas no solo ayuda a cumplir con regulaciones, sino que también contribuye a una gestión más eficiente y responsable.

Mejora de la resiliencia organizacional:

- La gestión de riesgos a través de una matriz contribuye a la construcción de resiliencia organizacional al permitir que las organizaciones se preparen para los desafíos y mitiguen los impactos adversos.

2.5 Análisis crítico del área de pintado y ensamblado Howden Chile Spa.

Principalmente es necesario establecer la importancia de un componente dentro de la cadena de producción, definiendo si este tiene cualidades críticas, vitales o secundarias para un correcto funcionamiento del equipo y además de trabajar de forma eficiente, mediante un grupo de especialistas se obtienen opiniones sobre cuál es la causa de las más críticas del área seleccionada.

Es necesario tener los datos históricos del sistema, estos ayudarán a guiar el análisis. Una matriz de criticidad o riesgo crítico (Tabla 1-1) es una herramienta que se utiliza para evaluar, categorizar y priorizar la necesidad de intervención de un equipo determinado.

FRECUENCIA	4	20	40	60	80	100
	3	15	30	45	60	75
	2	10	20	30	40	50
	1	5	10	15	20	25
		5	10	15	20	25
CONSECUENCIA						

	No crítico
	Semi crítico
	Crítico

Tabla 2-1. Matriz de riesgo.

Fuente: Elaboración propia con base en gestión de riegos.

Para realizar esta matriz se utiliza un modelo de factores ponderados, los cuales se basan en la evaluación cualitativa del riesgo. A continuación, una fórmula que relaciona la consecuencia y frecuencia, para así evaluar el riesgo y priorizar la necesidad de un equipo específico.

$$Críticidad = Frecuencia * Consecuencia$$
$$Frecuencia = \text{Número de fallos en un tiempo determinado}$$
$$Consecuencia = ((Impacto Operacional * Flexibilidad) + Cost Mtto + Impacto SHA)$$

2.5.1 Criterios de evaluación para la creación de una matriz cualitativa de riesgos.

a) Frecuencia de fallas: Número de veces que se reitera un evento, el cual sea considerado como falla dentro de un periodo de tiempo determinado (1 año).

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
Críticidad = FF X (IO x FO) + CM + SHA	
Frecuencia de fallos (FF)	
Mala: Mayor a 5 fallos/año	4
Promedio: Entre 3 a 4 fallos/año	3
Buena: Entre 1 a 2 fallos/año	2
Excelente: Menor a 1 falla/año	1

Tabla 2-2. Frecuencias de fallos para la realización de matriz.

Fuente: IngeCon, métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos.

b) Impacto operacional: Se entiende como los efectos causados en la producción, analizándolos de la siguiente manera.

CRITERIOS DE EVALUACION	
Críticidad = FF x (IO x FO) + CM + SHA	
Impacto Operacional (IO)	
Parada inmediata del servicio (Taller)	10
Parada del proceso	6
Impacta en niveles de produccion o calidad	4
Repercute en costes operacionales asociados a indisponibilidad	2
No genera ningún efecto significativo sobre gastos operacionales	1

Tabla 2-3. Impacto operacional para la realización de matriz.

Fuente: IngeCon, métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos.

c) Flexibilidad operacional: Es la posibilidad de realizar un cambio rápido para continuar con la producción, sin la necesidad de acudir en costos o pérdidas considerables.

CRITERIOS DE EVALUACION	
Criticidad = FF x (IO x FO) + CM + SHA	
Flexibilidad Operacional (FO)	
No existe opción de servicio y no hay función de repuesto	4
Hay opción de repuesto compartido	3
Función de repuesto disponible	2
El repuesto no es aplicable	1

Tabla 2-4. Flexibilidad operacional para la realización de matriz.

Fuente: IngeCon, métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos.

d) Costo del mantenimiento: Son todos los costos asociados al mantenimiento del equipo, dejando fuera los costos de producción sufridos por la falla del activo.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
Criticidad = FF X (IO x FO) + CM + SHA	
Coste de Mantenimiento (CM)	
Mayor \$1.000.000	4
Entre \$500.000 a \$1.000.000	3
Menor a \$500.000	2

Tabla 2-5. Costos de mantenimiento para realizar la matriz.

Fuente: IngeCon, métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos.

e) Impacto de seguridad y medio ambiente: Enfocado principalmente a evaluar los posibles sucesos que puedan causar sobre las personas o directamente al medio ambiente.

CRITERIOS DE EVALUACION	
Criticidad = FF x (IO x FO) + CM + SHA	
Impacto en Seguridad ambiente higiene (SHA)	
Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	8
Afecta el medio ambiente produciendo daños irreversibles	6
Afecta las instalaciones causando daños severos	4
Provoca daños menores (accidentes e incidentes) personal propio	2
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1
No provoca ningún tipo de daño a personas, instalaciones o al ambiente	0

Tabla 2-6. Impacto en seguridad ambiente e higiene industrial.

Fuente: IngeCon, métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos.

2.6 Jerarquización de causas.

En una matriz de riesgo, las causas se suelen jerarquizar en función de su impacto y su probabilidad de ocurrencia. Esto permite identificar las causas más significativas y prioritarias para abordarlas adecuadamente. Proceso para jerarquizar las causas en una matriz de riesgo:

2.6.1 Identificación de causas.

- Enumerar todas las posibles causas que podrían contribuir al problema o riesgo en cuestión. Utiliza información relevante, como datos históricos, análisis de expertos, revisiones de literatura, entre otros, para identificar de manera exhaustiva todas las posibles causas.

2.6.2 Evaluación del impacto.

- Evalúa el impacto potencial de cada causa en el problema o riesgo. Considera cómo cada causa afectaría el resultado final si se materializa. Este impacto puede ser cuantificado o cualitativo, dependiendo de la naturaleza del problema.

2.6.3 Evaluación de la probabilidad.

- Evalúa la probabilidad de ocurrencia de cada causa. Considera la frecuencia con la que la causa podría ocurrir en relación con la frecuencia total de eventos o situaciones

relevantes.

2.6.4 Asignación de puntajes.

- Asigna puntajes a cada causa en función de su impacto y probabilidad. Puedes utilizar escalas numéricas o categorías (por ejemplo, baja, media, alta) para asignar estos puntajes.

2.6.5 Construcción de la matriz de riesgo.

- Construye una matriz de riesgo que tenga el impacto en un eje y la probabilidad en el otro eje. Cada celda de la matriz representa un nivel de riesgo, que se calcula multiplicando el puntaje de impacto por el puntaje de probabilidad.

2.6.6 Jerarquización de causas.

- Basándose en los niveles de riesgo calculados en la matriz, identifica las causas que generan los mayores riesgos. Estas serán las causas más críticas y prioritarias para abordar.

2.6.7 Planificación de acciones.

- Desarrolla un plan de acción para abordar las causas identificadas como más críticas. Esto puede implicar la implementación de medidas preventivas, correctivas o de mitigación para reducir el riesgo asociado con estas causas.

2.6.8 Monitoreo y revisión.

- Monitorea regularmente el estado de las causas identificadas y la efectividad de las acciones implementadas. Realiza revisiones periódicas de la matriz de riesgo para actualizar las evaluaciones y ajustar las acciones según sea necesario.

2.7 Definir acciones correctivas.

Para cada categoría de causas, se desarrollan acciones correctivas específicas que abordan los problemas identificados.

- Causas críticas: Prioriza la asignación de recursos y la implementación de acciones inmediatas y efectivas para abordar estas causas. Las acciones correctivas deben ser robustas y dirigidas a eliminar o mitigar completamente la causa subyacente del problema.
- Causas semi-críticas: Diseña acciones correctivas que aborden estas causas de manera oportuna, aunque no tan urgentemente como las causas críticas. Estas acciones pueden

incluir mejoras en los procesos, capacitación adicional o cambios en los procedimientos operativos.

- Causas no críticas: Aunque menos urgentes, aún es importante desarrollar acciones correctivas para abordar estas causas y prevenir la recurrencia del problema en el futuro. Estas acciones pueden incluir mejoras incrementales, revisión de políticas o procedimientos, o la implementación de controles adicionales.

2.8 Evaluación económica del análisis causa-raíz.

En una evaluación económica de un análisis de causa raíz, se analiza el costo-beneficio de implementar las acciones correctivas propuestas para abordar el problema identificado. Esto implica evaluar los costos asociados con la implementación de las soluciones propuestas en comparación con los beneficios esperados que se derivarían de la eliminación o mitigación del problema.

Se enumeran todos los costos asociados con la adquisición, instalación y operación del contenedor con climatizador. Esto puede incluir el costo del contenedor, el climatizador, la infraestructura para la conexión eléctrica, la instalación y posiblemente los costos de mantenimiento.

Costos operativos recurrentes:

- Se consideran los costos operativos recurrentes, como el consumo de energía del climatizador, los costos de mantenimiento regular y cualquier otro gasto recurrente asociado con el funcionamiento del sistema.

Ahorros potenciales:

- Se identifica cualquier ahorro potencial derivado de la implementación del contenedor con climatizador. Por ejemplo, considera la reducción de desperdicios de material debido a un mejor control de temperatura, lo cual podría traducirse en ahorros de costos de producción.

Impacto en la producción:

- Evalúa cómo la implementación del climatizador podría afectar la eficiencia y la producción en general. Un mejor control de la temperatura podría resultar en una producción más consistente y en una reducción del tiempo de inactividad debido a problemas relacionados con la temperatura.

Beneficios cualitativos:

- Además de los aspectos cuantificables, hay que tener en cuenta los beneficios cualitativos. Estos podrían incluir mejoras en la calidad del producto, la satisfacción del

cliente y la imagen de la empresa.

Vida útil del contenedor:

- Se considera la vida útil esperada del contenedor con climatizador. Se dividen los costos iniciales y los costos operativos recurrentes por la vida útil para obtener un costo anual promedio.

Análisis de retorno de inversión (ROI):

- Calcula el retorno de inversión dividiendo los beneficios netos esperados por los costos iniciales de implementación. Esto dará una indicación de cuánto tiempo tomará para recuperar la inversión inicial.

Análisis de eficiencia de producción de álabes (KPI):

- Evalúa el rendimiento de un sistema productivo, con el objetivo de determinar cuán bien se utilizan los recursos (como el trabajo, el capital, las materias primas, la tecnología, etc.) para generar bienes o servicios. Este análisis busca identificar áreas en las que se pueda mejorar la productividad, reducir costos, optimizar procesos y maximizar la salida con los mismos o menos insumos.

$$\text{Eficiencia de producción} = \frac{\text{Recursos Utilizados}}{\text{Recursos Disponibles}} \times 100\%$$

Evaluación de riesgos:

- Identifica posibles riesgos que podrían afectar la efectividad del contenedor con climatizador y evalúa cómo estos podrían influir en los costos y beneficios. Asegúrate de tener estrategias para mitigar estos riesgos.

2.8.0 Análisis costo-beneficio

Este análisis se utiliza para evaluar y comparar costos y beneficios de una implementación o mejora, consiste en identificar y cuantificar todos los costos y beneficios relevantes asociados a la mejora, y luego compararlos para determinar si los beneficios superan a los costos y así lograr tomar la mejor decisión frente al problema. Comparación anualizada de los costos totales de implementación con los beneficios esperados. Se busca determinar si los beneficios superan los costos y si la implementación de las acciones correctivas es económicamente justificable.

2.9 Conclusiones y recomendaciones

Se sintetizan los hallazgos y resultados, se dan a conocer las recomendaciones específicas basadas en las propuestas, estas pueden incluir acciones a tomar, sugerencias o prácticas para mejorar las prácticas y así lograr los resultados esperados del estudio.

CAPÍTULO 3: ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA EN EL PROCESO DE PINTADO ÁREA DE ENSAMBLADO.

3.1 Implementación del diagrama de Ishikawa paso a paso

3.1.1 Definir el problema.

- Definición del problema: A partir de una serie de datos requeridos en la empresa Howden, se definió el problema que estaba ocurriendo. Esto se determinó en el proceso de pintado y ensamblado de los álabes, el cual tiene como correspondencia la falta de adherencia de material “ARC 855” en los álabes de los ventiladores.



Figura 3-0. Ensayos de adherencia rechazados.
Fuente: PNC de Howden Chile Spa.

3.1.2 La línea principal.

Corresponde a la espina de en medio de nuestro problema, de donde se desprenden las espigas secundarias que dan paso a las categorías del diagrama, (Materiales, medio ambiente, medición, método y mano de obra).

3.1.3 Categoría 1 (Materiales).

De esta categoría existen 3 causas que van directamente relacionadas con el álabe y el revestimiento nano-cerámico “ARC 855”, las cuales son:

- Causa 1 (ARC 855 con baja temperatura): El material ARC 855, al ser almacenado en el taller, durante las horas de la mañana se le aplica la toma de temperatura correspondiente con el pirómetro, lo que arroja temperaturas por debajo de la adecuada (10° C) para aplicar el material.
- Causa 2 (Material sin adherencia): El material ARC 855, al ser aplicado a los álabes no presenta adherencia, por lo tanto, se imposibilita su aplicación.

- Causa 3 (Mezcla sólida): El procedimiento de la mezcla se obtiene en malas proporciones, lo cual está generando que la mezcla esta se comporte de manera muy sólida.



Figura 3-1. Evidencia del problema.
Fuente: PNC de Howden Chile Spa.

3.1.4 Categoría 2 (Medio ambiente).

A nivel ambiental, existen 2 causas que afectan en el procedimiento de pintado, las cuales ambas hablan de temperatura y sensación térmica, estas son:

- Causa 1 (Temperatura ambiental baja): Al momento de ser aplicado el revestimiento durante las mañanas, la temperatura ambiental suele ser menor a 10°C lo que provoca que no alcance a ser la adecuada para el proceso.
- Causa 2 (Humedad en el ambiente): Los materiales dispuestos para la aplicación del revestimiento se encuentran en lugares húmedos, ya que no disponen de un sector climatizado.

Tiempos de curado - En horas				
	10°C	16°C	25°C	32°C
Secado al tacto	16	8	4	2
Carga ligera	36	24	12	6
Recubrimiento adicional	42	32	20	10
Carga completa	96	48	24	12
Resistencia química	128	96	48	24

Figura 3-2. Tiempos de curado en horas.
Fuente: Especificaciones del revestimiento “ARC 855”.

3.1.5 Categoría 3 (Medición).

Esta categoría se basa solamente en la medición que puedan tener antes durante y al final del proceso de pintado, con este proceso de medición se logran identificar posibles fallas de

aplicación, como así lo son la toma de temperatura errónea una vez que el material este “listo para ser aplicado”, de esta categoría se desprenden 3 causas relevantes

- Causa 1 (Medidor de espesor de camada dañado): Medidor de espesor de camada descalibrado o dañado, esto entorpece la toma de este dato, ya que se pierde el control de micras sobre el álabe. Este equipo puede ser doblado con facilidad y así arruinar su registro.
- Causa 2 (Medidor de humedad descalibrado): Medidor de humedad descalibrado, lo que provoca que descomponga el equipo y entregue datos erróneos sobre la temperatura y humedad ambiental.
- Causa 3 (Datos de temperaturas erróneos): Mala utilización de pirómetro al momento de ejercer la toma de datos, por lo cual se genera un mal seguimiento de la temperatura del material ARC 855.

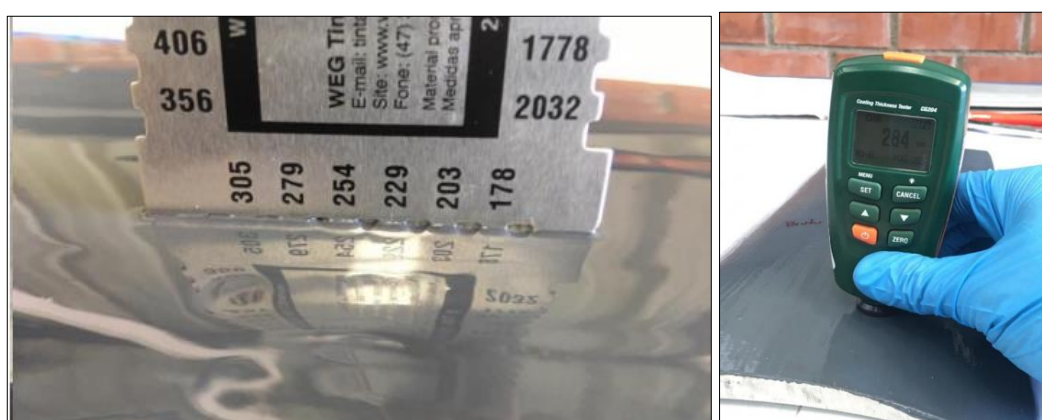


Figura 3-3. Control de medición.
Fuente: Especificaciones del revestimiento “ARC 855”.

3.1.6 Categoría 4 (Método).

En la categoría de método, lo único reprochable como causa que se puede mencionar es una falta en el control de calidad del procedimiento (desde el comienzo hasta el final).

- Causa 1 (Falta de control de calidad): Se da cuenta de una falta de mediciones previas, durante y finales que este componente debe tener, como lo son el ensayo de adherencia, toma de temperaturas a la mezcla del material, limpieza de los componentes, entre otras.



Figura 3-4. Procedimiento de control.
Fuente: Especificaciones del revestimiento “ARC 855”.

3.1.7 Categoría 5 (Mano de obra).

En esta última categoría se habla directamente del procedimiento como principal enfoque del cual se desprenden 3 causas.

- Causa 1 (Mezcla con proporciones erróneas): Al momento de comenzar a hacer la mezcla del revestimiento, este da en proporciones erróneas referentes al catálogo del fabricante.
- Causa 2 (Falta de limpieza de componente): Los álabes dispuestos para aplicar el revestimiento se encuentran en malas condiciones de limpieza, además de la utilización de herramientas en malas condiciones.
- Causa 3 (Aplicación excesiva de revestimiento): La aplicación del revestimiento en los álabes es excesiva, por lo cual se ve afectado el tiempo de curado y los parámetros de control (en micras).



Figura 3-5. Limpieza y tratado del álabe.
Fuente: Especificaciones del revestimiento “ARC 855”.

3.2 Aplicación del diagrama Ishikawa (5M).

El siguiente diagrama es la representación esquemática de la espina de pescado con sus causas y sub causas detectadas y analizadas.

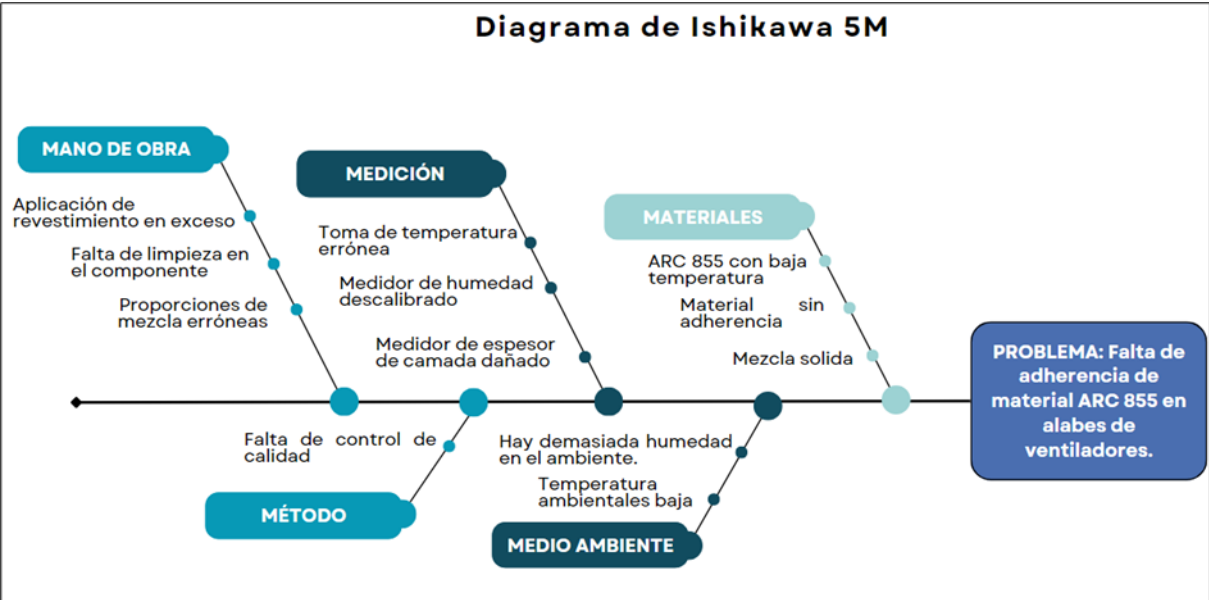


Figura 3-6. Diagrama de Ishikawa 5M.
Fuente: Elaboración propia en aplicación Canva.

3.3 Jerarquización de las causas de fallas del procedimiento de pintado en los álabes mediante matriz cualitativa de riesgos.

En la siguiente tabla se muestran los resultados del estudio realizado en la problemática, donde se evaluó la criticidad de 12 causas involucradas directamente en dicho problema y el valor máximo de criticidad es de 100 divididos en 3 posibles niveles de jerarquización (Crítico, Semi Crítico y No Crítico).

Howden								
Alias	Causas de fallas en proceso de aplicación de revestimiento ARC 855 en alabes	Frecuencia	Imp Ope	Flex Ope	Cost de Mant	Imp SHA	Consecuencia	Riesgo
RAT	Revestimiento ARC 855 con baja temperatura	3	6	4	4	1	29	87
MS	Mezcla solida	3	6	4	4	0	28	84
MSA	Material sin adherencia	4	4	4	4	0	20	80
FCC	Falta de control de calidad	3	4	4	4	1	21	63
ARE	Aplicación de revestimiento excesivo	3	3	4	4	1	17	51
FLC	Falta de limpieza de los alabes	2	4	3	3	4	19	38
PME	Proporciones de mezcla erróneas	3	2	4	3	1	12	36
TAB	Temperatura ambiental baja	4	4	1	2	0	6	24
HA	Humedad en el ambiente	4	2	1	2	1	5	20
MCD	Medidor de espesor de camada dañado	1	4	4	2	2	20	20
MHD	Medidor de humedad descalibrado	1	4	2	2	1	11	11
TTE	Toma de temperaturas erróneas	1	2	4	2	1	11	11

Tabla 3-2. Causas de fallas jerarquizadas.
Fuente: Elaboración propia en Excel.

3.4 Acciones correctivas para las causas críticas, semi críticas y no críticas.

En el análisis causa-raíz generado, se logran identificar 12 causas relevantes a la problemática. 5 de estas son no críticas, 4 semi críticas y los 3 restantes son críticas (principal enfoque), al ya tener identificadas las causas se establecen acciones correctivas, para lograr disminuir eventualidades y riesgos asociados.

Causa crítica 1: Materiales (Riesgo “87”): Revestimiento ARC 855 con temperatura inadecuada para el proceso, por lo tanto, se busca el almacenar este producto en lugares que puedan mantener la temperatura regulada.

Causa crítica 2 y 3: Materiales (Riesgo “84”, “80”): El Material mantiene mezclas irregulares las cuales generar que se endurezca el material, por lo tanto, el revestimiento tiene que ser reprocesado o enviado a la basura, se determina generar un instructivo que estime la cantidad de producto que se debe aplicar, además de indicar el proceso paso a paso desde la realización.

3.4.1.0 Acción correctiva para las tres causas críticas

Para abordar las problemáticas críticas de la falta de adherencia del material ARC 855 en el proceso de revestimiento de los álabes del ventilador axial, es fundamental controlar las condiciones de almacenamiento y manipulación del material. La adherencia deficiente es un problema que puede estar estrechamente relacionado con la temperatura a la que se somete el material, lo que afecta sus propiedades fisicoquímicas y su rendimiento durante el proceso de aplicación.

La implementación de un contenedor con climatizador aborda directamente una de las posibles causas-raíz: la exposición a condiciones de temperatura inadecuadas durante el almacenamiento del material. Para esto se requiere que las dimensiones del container sean de (6m x 2,40m x 2,50m). En el anexo, la figura 4-0, se ve reflejado el presupuesto elegido que cumple con los requisitos empleados para asegurar el espacio y la buena climatización que pueda almacenar este container. Para esto en la figura 3-25 se demuestra la organización de espacios, para darle lugar al contenedor, quedando este fuera del galpón a la “intemperie”, por lo tanto, las condiciones en las que va a operar este equipo van a ser de exposición al ambiente, se determina una vida útil máxima y óptima de 5 años a ambos equipos tanto como el container como lo es el climatizador.

Mantener una temperatura constante y controlada dentro del rango recomendado para el ARC 855 es esencial para garantizar que el material se mantenga en condiciones óptimas para su uso. La fluctuación térmica o la exposición a temperaturas extremas pueden deteriorar las propiedades del material, disminuyendo su eficacia en el proceso de revestimiento y

contribuyendo a la falta de adherencia. De este modo, la implementación de un sistema de almacenamiento adecuado y controlado se alinea perfectamente con el objetivo de optimizar el proceso de revestimiento y mejorar la calidad del producto final.

La implementación del contenedor con climatizador tiene un impacto directo y positivo tanto en los objetivos generales como específicos. En primer lugar, ayuda a reducir el riesgo de que las condiciones ambientales inadecuadas interfieran con el proceso de revestimiento, optimizando la adherencia del material ARC 855. En segundo lugar, el control adecuado de la temperatura permite que el material mantenga sus propiedades a lo largo del proceso, lo que mejora la calidad del producto final. Al mismo tiempo, esta propuesta contribuye de manera efectiva a la identificación y eliminación de causas raíz, alineándose con el enfoque metodológico que se busca en este trabajo.

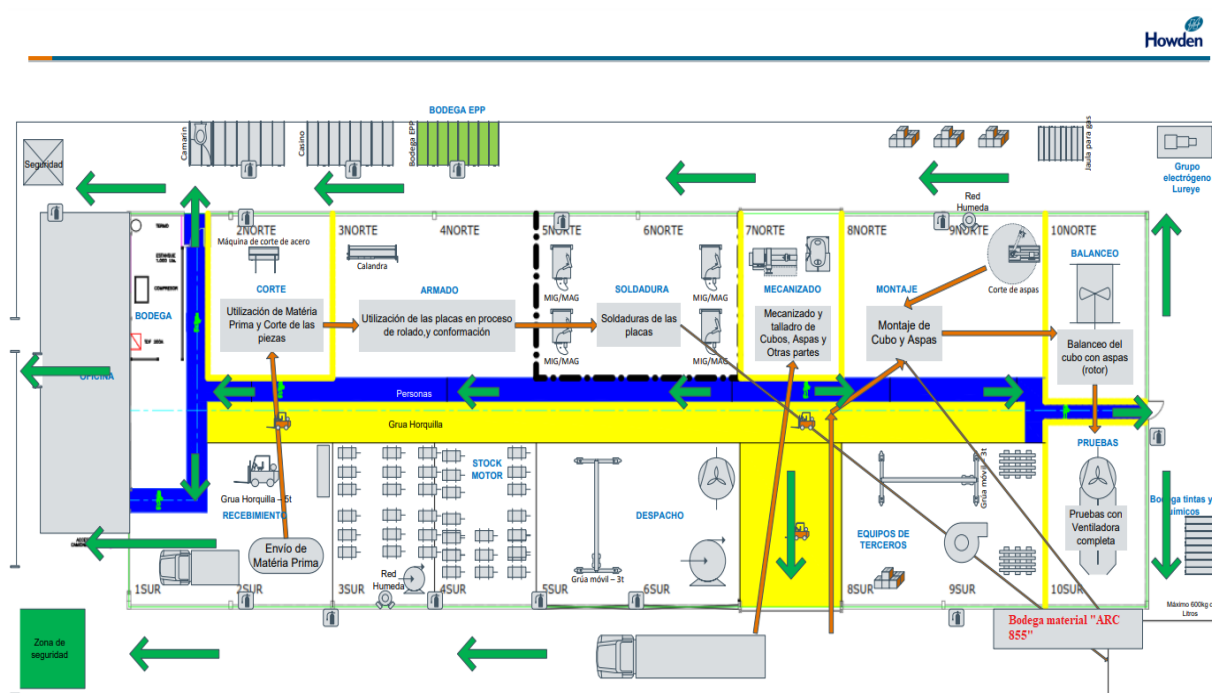


Figura 3-7. Layout y disposición del container.
Fuente: Información directa de Howden Chile Spa.

3.4.1.1 Acción correctiva para las causas semi críticas

La falta de control de calidad en el proceso de revestimiento de los álabes del ventilador axial, junto con la aplicación excesiva del material ARC 855, la falta de limpieza adecuada en los álabes y las proporciones incorrectas en las mezclas, son factores críticos que contribuyen a la deficiencia en la adherencia del material. Estos problemas operacionales no solo afectan la calidad del producto final, sino que también tienen un impacto directo en la eficiencia del proceso y en la durabilidad de los componentes.

La intervención del ingeniero experto se orientará a realizar una evaluación exhaustiva

de estos aspectos del proceso. Con su experiencia, será capaz de identificar y diagnosticar las principales fuentes de estos errores y desviaciones, y proporcionar soluciones técnicas para corregirlas. Al hacer esto, el ingeniero estará contribuyendo directamente a la optimización del proceso de revestimiento de los álabes, lo que mejorará la adherencia del material ARC 855 y, en consecuencia, la calidad del producto final.

Para resolver estas deficiencias, la contratación de un ingeniero experto en calidad de procesos es una solución estratégica que permitirá evaluar y corregir estas fallas de manera integral. Con una remuneración de \$60,000 por hora, con el objetivo de llevar a cabo una evaluación exhaustiva del proceso actual.

Para iniciar este trabajo, se ha programado una inspección preliminar que se llevará a cabo durante un tiempo de 5 horas. Esta inspección tiene como finalidad identificar tanto los aciertos como los errores en el proceso en cuestión, proporcionando así una base sólida para futuras mejoras.

Una vez completada la evaluación inicial, el ingeniero dedicará un total de 24 horas a la elaboración de un instructivo normativo. Este documento contendrá directrices claras y específicas que permitirán optimizar el proceso identificado, asegurando una ejecución eficiente y conforme a los estándares de calidad establecidos.

Adicionalmente, se ha acordado que el ingeniero realizará visitas de seguimiento cada seis meses para verificar la correcta implementación del instructivo y evaluar el desempeño del proceso en función de las recomendaciones realizadas. Este enfoque sistemático garantiza no solo la mejora continua del proceso, sino también la sostenibilidad de los resultados alcanzados a lo largo del tiempo. a continuación, se muestra en forma detallada el procedimiento adecuado y formal.

1-. Preparación de la superficie.

- Realizar una limpieza con solvente orgánico completamente limpia de contaminantes.
- Superficie del aspa debe tener una rugosidad de perfil angular de 75 a 125 micrones (inspección por parte de calidad)

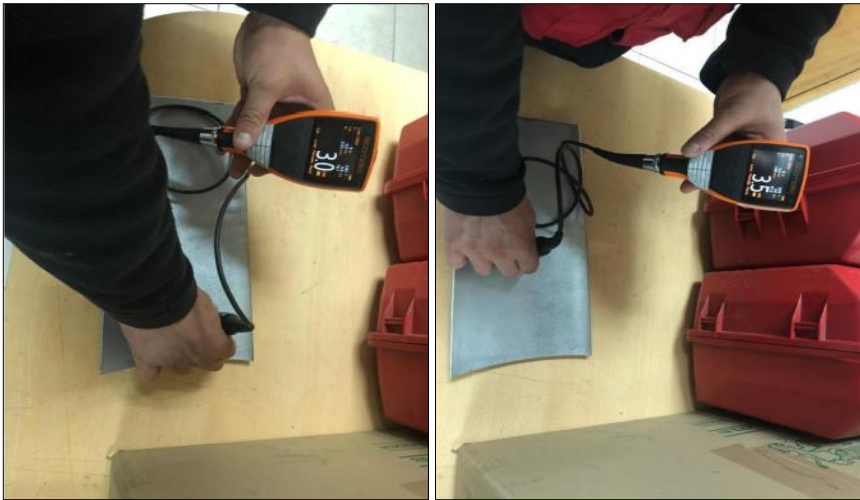


Figura 3-8. Control de rugosidad del álabe.
Fuente: Control de la empresa Howden.

2-. Mezclado.

- Para facilitar el mezclado y aplicación, la temperatura del material debe estar entre 21°C y 32°C. Las proporciones deben realizarse entre proporción de 6,8: 1. Vierta el contenido de la parte B en la parte A, mezclando a baja velocidad con un mezclador mecánico, con velocidad variable durante tres a cinco minutos. Raspar bien los lados y fondos del envase para mezclar de manera homogénea ambos componentes. Transfiera una porción pequeña de esta mezcla nuevamente al envase de la parte B y raspe los lados y el fondo del envase. Luego vuelva a colocar toda la mezcla en el envase de la parte A.



Figura 3-9. Material ARC 855.
Fuente: Especificaciones del revestimiento “ARC 855”.

3-. Tiempo de trabajo (En minutos).

- Desde el momento en que comienza a mezclarse, en el siguiente cuadro (figura 3-16) se definen los tiempos de trabajo durante la aplicación del ARC 855.

Tiempo de trabajo - En minutos				
	10°C	16°C	25°C	32°C
1 kg	80	70	40	25
4,5 kg	80	70	35	20
15 litros	65	55	25	10

Figura 3-10. Especificaciones de tiempos de trabajo
Fuente: Especificaciones del revestimiento “ARC 855”

4-. Aplicación.

- ARC 855 puede aplicarse en un espesor mínimo de 250 micrones. Cuando se usa ARC 855 solo, siempre debe aplicarse en dos capas. La temperatura de aplicación mínima es de 10°C. Con una brocha, moje completamente la superficie, luego aplique el material del compuesto en el espesor deseado y verifique con una plantilla el espesor de película húmeda aplicado.

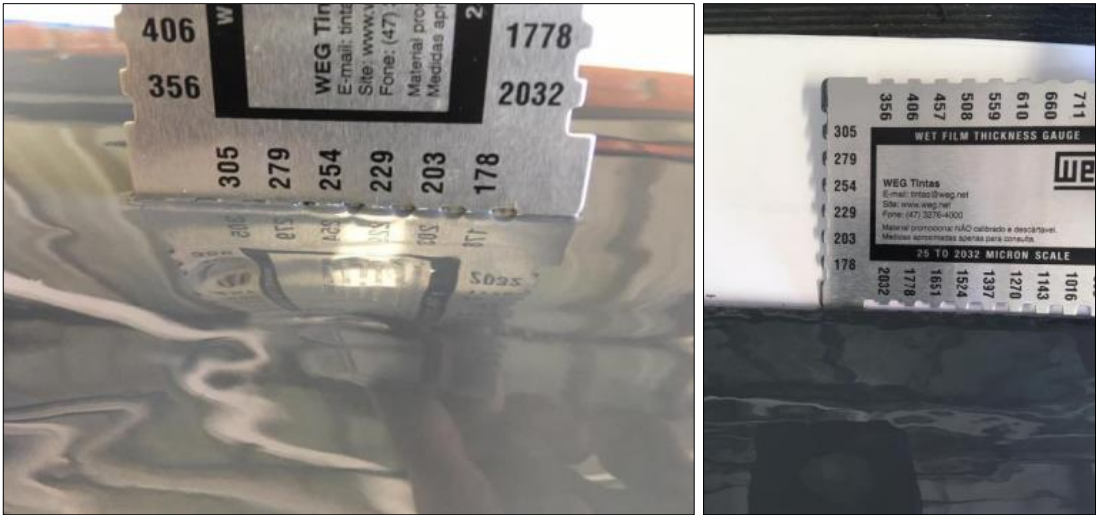


Figura 3-11. Medición de espesores de película.

Fuente: Control de la empresa Howden.

- Pueden aplicarse capas múltiples de ARC 855, sin preparación adicional de la superficie, siempre y cuando la película no haya sido contaminada y el curado no haya pasado de la fase de recubrimiento adicional (Ver figura 3-18). Si el curado ha pasado este periodo, debe efectuarse un lijado liviano, seguido de un lavado con solvente para quitar los residuos abrasivos.

<i>Tiempos de curado - En horas</i>				
	10°C	16°C	25°C	32°C
Secado al tacto	16	8	4	2
Carga ligera	36	24	12	6
Recubrimiento adicional	42	32	20	10
Carga completa	96	48	24	12
Resistencia química	128	96	48	24

Figura 3-12. Tiempos de curado material “ARC 855”.

Fuente: Especificaciones del revestimiento “ARC 855”.

- Para alcanzar rápidamente las propiedades químicas plenas, se puede forzar el curado. Para hacerlo, deje que el material seque al tacto, luego caliente a 70°C por 4 horas.



Figura 3-13. Proceso de pintado.
Fuente: Proceso técnico de Howden.

5-. Limpieza.

- Limpiar las herramientas inmediatamente después de usarlas con disolventes comerciales (Acetona, Xileno, Alcohol, Metil, Etil, Cetona). Una vez curado, para quitar este producto se necesita restregarlo.

6-. Almacenaje.

- La temperatura de almacenaje recomendada es entre 10°C y 32°C. Salidas temporales de estos límites, que pueden ocurrir durante el embarque, son aceptables. La vida en el almacén es de dos años en envases sin abrir.

7-. Seguridad.

- Antes de usar cualquier producto, revise la Hoja de Datos de Seguridad del Material (MSDS) o la hoja de seguridad que se usa en su zona. Si es necesario, siga los procedimientos de seguridad para ingreso y trabajo en lugares cerrados.

8-. Control de Micras, medidor de espesor de camada. (Película seca).

- La verificación del espesor de película seca debe realizarse con un instrumento de medición apropiado y calibrado.
- Al realizar una medición cada 3 metros cuadrados (o fracción), las áreas dentro de un rango de hasta 20% de espesor por encima del especificado pueden considerarse aprobadas y pueden tener puntos aislados hasta un 10% por debajo del espesor especificado.



Figura 3-14. Control de micras.
Fuente: Toma de datos Howden.

9-. Ensayo de adherencia. (Conforme norma D 3359-02 / ABNT NBR 11003 criterio de aceptación X1/Y1.)

- Seleccionar una zona libre de manchas, limpie y seque la superficie con un disolvente adecuado que no dañe la integridad del revestimiento.
- Se realizan dos cortes en la película de 40 mm de largo. Se cruzan con ángulo de 45°.



Figura 3-15. Paso 1: Ensayo de adherencia.
Fuente: Taller de Howden.

- Se realiza inspección de la incisión, para verificar que la película de revestimiento fue penetrada.
- Se coloca una cinta en la intersección de los cortes. Se suaviza la cinta con el dedo en el área de las incisiones y luego se frota firmemente con la goma.



Figura 3-16. Paso 2: Ensayo de adherencia.
Fuente: Howden Chile spa.

- Luego de 60 segundos de aplicación, se retira la cinta tirando de él con rapidez lo más cercano a un ángulo de 180°.



Figura 3-17. Paso 3: Ensayo de adherencia.
Fuente: Howden Chile spa.

- Se inspecciona el área X-corte para la eliminación del revestimiento. Obteniendo valores aceptables en X1/Y1 conforme a la norma ASTM D3359-02 / ABNT NBR 11003 criterio de aceptación X1/Y1.



Figura 3-18. Resultado: Ensayo de adherencia aprobado.

La contratación del ingeniero experto en calidad de procesos tendrá un impacto directo y positivo en los objetivos generales y específicos del trabajo. Primero, al abordar de manera sistemática los problemas de control de calidad, aplicación excesiva del material ARC 855, falta de limpieza en los álabes y proporciones erróneas en las mezclas, se estará atacando directamente las causas de la falta de adherencia. Esto permitirá optimizar el proceso de revestimiento, lo que está alineado con el objetivo general de mejorar la adherencia del material.

En segundo lugar, los planes de acción elaborados por el ingeniero, junto con las recomendaciones específicas y la implementación de un sistema de seguimiento continuo, contribuirán a una mejora operativa sostenida, que está en línea con los objetivos específicos de definir el contexto operativo y aplicar la metodología del Diagrama de Ishikawa para identificar causas raíz. Finalmente, el seguimiento a largo plazo asegurará que el proceso se mantenga optimizado y bajo control, garantizando la calidad continua del producto.

3.4.4 Acciones correctivas para las causas no críticas

La implementación de una checklist preventiva es una herramienta clave para garantizar la correcta operación de los equipos y las condiciones ambientales adecuadas en el proceso de revestimiento de los álabes con material ARC 855. La falta de control en los equipos de medición (como el medidor de espesor de capa, el medidor de humedad y el pirómetro), las condiciones ambientales inadecuadas (temperatura baja y alta humedad) y los errores en las mediciones son factores que afectan directamente la adherencia del material. Una checklist preventiva bien diseñado ayudará a minimizar estos problemas mediante un seguimiento regular y sistemático de los aspectos críticos del proceso.

Los factores ambientales (temperatura baja y humedad) y las deficiencias en los equipos de medición (medidor de espesor de capa, medidor de humedad y pirómetro) son causas directas que afectan la adherencia y calidad del revestimiento.

Temperatura baja y humedad: Las condiciones ambientales inadecuadas afectan las propiedades fisicoquímicas del material ARC 855. Si el material se aplica a temperaturas demasiado bajas o en un ambiente húmedo, su adherencia y durabilidad se ven comprometidas.

Equipos de medición descalibrados: Los medidores descalibrados o mal utilizados generan lecturas incorrectas, lo que puede resultar en una aplicación imprecisa del revestimiento, afectando tanto el espesor de la capa como la calidad del curado del material.

Una checklist preventiva enfocada en estos aspectos garantizará que las mediciones y condiciones sean correctas en todo momento, mejorando así la adherencia del material y

optimizando el proceso en su totalidad.

Acciones clave que se incluirán en la checklist preventiva:

- Temperatura baja: Verificar los horarios de pintado, asegurando que se realicen a mediodía o en las tardes, cuando la temperatura sea más favorable.
- Humedad en el ambiente: Verificar que el material ARC 855 se almacene en lugares secos y aislados de la humedad del piso o cielo. Además, revisar las condiciones de almacenamiento en áreas con humedad controlada.
- Medidores descalibrados: Establecer controles de calibración semanales para el medidor de espesor de capa y el medidor de humedad. Este control asegurará que los equipos de medición estén operando dentro de los parámetros establecidos.
- Toma de temperaturas erróneas: Verificar el funcionamiento adecuado del pirómetro mediante una revisión semanal, y garantizar que el personal utilice correctamente los equipos para tomar la temperatura de la superficie durante el proceso.

3.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

Para comenzar con la evaluación del plan de acción asociado a la implementación de un container con un climatizador, el cual logra mantener una temperatura agradable como se justifica anteriormente de entre 10° a 25° C al material, se necesita disponer de un lugar en la fábrica. Gracias a la reciente compra de un terreno aledaño, existe un espacio para la disposición y ubicación de este container. Como complemento se introduce un instructivo al departamento de calidad. Se puede demostrar, con base en datos futuros, una posible mejora en el comportamiento y responsabilidad de los técnicos.

3.5.1 Evaluación económica de las 3 causas críticas (implementación del container con climatizador)

Para evaluar económicamente la implementación se necesitan de los factores que este produzca, el valor del container, climatizador, costo energético, instalación, transporte y todo esto anualizado para lograr identificar el costo anual de esta mejora.

Items	Costos al año 1	Costos al año 5
Container (vida util 5 años)	\$ 1.956.713	\$ 1.956.713
Climatizador (vida util 5 años)	\$ 500.000	\$ 500.000
Costo energético	\$ 480.000	\$ 2.400.000
Instalación	\$ 70.000	\$ 70.000
Transporte	\$ 500.000	\$ 500.000
Total Inversión		\$ 5.426.713

Tabla 3-3. Costos de implementación.

Fuente: Elaboración propia en Excel.

3.5.1.0 Análisis costo-beneficio del análisis causa-raíz

En la siguiente tabla se ven reflejados las 3 principales causas “Críticas” que se encontraron en nuestro RCA, en donde podemos dar cuenta la disminución de las frecuencias de fallas al año y costos que generan actualmente, un costo total anual de \$12.250.000 en gastos y perdidas debido a estos inconvenientes no controlados.

ANTES DEL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ				IMPLEMENTADO EL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ				
Causas de fallas	Frecuencias fallas/año	Cost. Por fallo	Costo anual	Inversión Total Anual (5 años)	Frecuencias fallas/año	Cost. Por Fallo	Costo Anual	Ahorro Potencial Anual
Revestimiento ARC 855 con temperatura inadecuada	3	\$ 1.500.000	\$ 4.500.000	\$ 5.426.713	0,6	\$ 1.500.000	\$ 900.000	\$ 3.600.000
Mezcla solida	3	\$ 1.250.000	\$ 3.750.000		0,4	\$ 1.250.000	\$ 500.000	\$ 3.250.000
Material sin adherencia	4	\$ 1.000.000	\$ 4.000.000		0,2	\$ 1.000.000	\$ 200.000	\$ 3.800.000
TOTAL ANUAL	10	\$ 3.750.000	\$12.250.000	\$ 1.085.343	1,2	\$ 3.750.000	\$ 1.600.000	\$ 10.650.000
Costo total Mensual			\$ 1.020.833	\$ 90.445	Beneficio Mensual			\$ 887.500
					Beneficio Anual implementado el ACR			\$ 9.564.657

Tabla 3-4. Análisis costo beneficio del RCA.

Fuente: Elaboración propia en Excel.

Se visualiza que la implementación del container genera costos bastantes inferiores a diferencia de las 3 posibles fallas críticas en el plazo de 1 año, por lo tanto, es evidente que la mejora al ser anualizada genera beneficios monetarios y en la disminución de eventos.

Se puede decir con base en los resultados de la tabla anterior se obtiene un ahorro potencial significativo, esto se logra enfrentando los costos anuales tomados antes del análisis causa raíz, contra los costos de la implementación más los costos anuales post implementación, generalizando las causas arrojadas por nuestro análisis causa raíz, se obtiene un ahorro potencial de \$10.650.000 anual sin inversión.

3.5.1.1 Evaluación económica para las 4 causas semi críticas

Para evaluar económicamente la implementación se necesitan de los factores estimados. El valor de la mejora de procesos mediante la contratación de un Ingeniero especializado en calidad. Para lograr identificar el costo anual de esta mejora, se muestra la siguiente tabla.

Items	Costos al año 1	Costos al año 5
Inspeccion previa del proceso (5 horas)	\$ 60.000	\$ 300.000
Creacion del instructivo (24 horas)	\$ 288.000	\$ 1.440.000
Inspecciones anuales (6)	\$ 360.000	\$ 1.800.000
Total Inversion		\$ 3.540.000

Tabla 3-5. Costos de implementación Semi Críticas.
Fuente: Elaboración propia en Excel.

En la siguiente tabla se ven reflejadas las 4 causas “Semi Críticas” que se encontraron en nuestro RCA, en donde podemos dar cuenta la disminución de las frecuencias de fallas al año y costos que generan actualmente, un costo total anual de \$8.500.000 en gastos y pérdidas debido a estos inconvenientes no controlados.

ANTES DEL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ				IMPLEMENTADO EL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ				
Causas de fallas	Frecuencias fallas/año	Cost. Por fallo	Costo anual	Inversión Total Anual (5 años)	Frecuencias fallas/año	Cost. Por Fallo	Costo Anual	Ahorro Potencial Anual
Falta en control de calidad	3	\$ 1.000.000	\$ 3.000.000	\$ 3.540.000	0,2	\$ 1.000.000	\$ 200.000	\$ 2.800.000
Aplicación de revestimiento excesivo	3	\$ 1.000.000	\$ 3.000.000		0,4	\$ 1.000.000	\$ 400.000	\$ 2.600.000
Falta de limpieza de los alabes	2	\$ 500.000	\$ 1.000.000		0,2	\$ 500.000	\$ 100.000	\$ 900.000
Proporciones de mezcla erróneas	3	\$ 500.000	\$ 1.500.000		0,6	\$ 500.000	\$ 300.000	\$ 1.200.000
TOTAL ANUAL	11	\$ 3.000.000	\$ 8.500.000	\$ 708.000	1,4	\$ 3.000.000	\$ 1.000.000	\$ 7.500.000
Costo total Mensual			\$ 708.333	\$ 59.000	Beneficio Mensual			\$ 625.000
					Beneficio Anual implementado el ACR			\$ 6.792.000

Tabla 3-6. Análisis costo-beneficio del RCA.
Fuente: Elaboración propia en Excel.

Se visualiza que la implementación de la mejora en el proceso genera una disminución significativa en los costos, por lo tanto, es evidente que la mejora al ser anualizada genera beneficios monetarios y en la disminución de eventualidades.

Se puede decir que, con base a los resultados de la tabla anterior, se obtiene un ahorro potencial significativo, esto se logra enfrentando los costos anuales tomados antes del análisis causa raíz, contra los costos de la implementación más los costos anuales post implementación, generalizando las causas arrojadas por nuestro análisis causa raíz, se obtiene un ahorro potencial de \$7.500.000 anual sin inversión.

3.5.1.2 Evaluación económica para las 5 causas no críticas

Para evaluar económicamente la implementación se necesitan de los factores estimados, el valor de la mejora de procesos mediante la contratación de un Ingeniero especializado en calidad, para lograr identificar las inspecciones realizadas en terreno, se determinó hacer una check list preventiva, la cual demora 5 horas en prepararse. El costo anual de esta mejora se muestra la siguiente tabla.

Items	Costos al año 1	Costos al año 5
Inspeccion semanal con Check list preventivo	\$ 60.000	\$ 300.000
Total Inversión		\$ 300.000

Tabla 3-7. Análisis de costos de la implementación.

Fuente: Elaboración propia en Excel.

ANTES DEL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ				IMPLEMENTADO EL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ				
Causas de fallas	Frecuencias fallas/año	Cost. Por fallo	Costo anual	Inversión Total Anual (5 años)	Frecuencias fallas/año	Cost. Por Fallo	Costo Anual	Ahorro Potencial Anual
Temperatura ambiental baja	4	\$ 350.000	\$ 1.400.000	\$ 300.000	0,6	\$ 350.000	\$ 210.000	\$ 1.190.000
Humedad en el ambiente	4	\$ 250.000	\$ 1.000.000		1	\$ 250.000	\$ 250.000	\$ 750.000
Medidor de espesor de camada dañado	1	\$ 50.000	\$ 50.000		0,2	\$ 50.000	\$ 10.000	\$ 40.000
Medidor de humedad descalibrado	1	\$ 40.000	\$ 40.000		0,2	\$ 40.000	\$ 8.000	\$ 32.000
Toma de temperatura errónea	1	\$ 15.000	\$ 15.000		0,2	\$ 15.000	\$ 3.000	\$ 12.000
TOTAL	11	\$ 705.000	\$ 2.505.000	\$ 60.000	2,2	\$ 705.000	\$ 481.000	\$ 2.024.000
Costo total Mensual			\$ 208.750	\$ 5.000	Beneficio Mensual			\$ 168.667
					Beneficio Anual implementado el ACR			\$ 1.964.000

Tabla 3-8. Análisis costo-beneficio del RCA.

Fuente: Elaboración propia en Excel.

A partir de los resultados presentados en la tabla anterior, se puede concluir que se logra un ahorro potencial anual significativo de \$2.024.000 sin inversión incluida, Además, se observa una notable reducción en la cantidad de eventualidades, que previamente variaban entre 1 y 4 fallas anuales, las cuales, tras la implementación del análisis de causa raíz, se han reducido a un rango de 0,2 a 1 falla anualmente.

3.5.1.3 Evaluación de la eficiencia de producción de los álabes.

Para evaluar la eficiencia de producción, se utilizó la comparación entre la cantidad de álabes que deberían producirse anualmente y la cantidad que se está produciendo en la actualidad. Las tablas a continuación reflejan las pérdidas de producción tanto antes como después de las implementaciones realizadas, a lo largo de un periodo de un año.

CASO ACTUAL		
PERDIDA DE PRODUCCIÓN ANUAL		
Semanas	Alabes	Causas
10	720	Perdida produccion críticas
11	792	Perdida produccion semi críticas
11	792	Perdida produccion no críticas

Tabla 3-9. Análisis de pérdida de producción.

Fuente: Elaboración propia en Excel.

CASO FUTURO		
PERDIDA DE PRODUCCIÓN ANUAL		
Semanas	Alabes	Causas
0,02	1,2	Perdida produccion críticas
0,02	1,4	Perdida produccion semi críticas
0,03	2,2	Perdida produccion no críticas

Tabla 4-0. Análisis de pérdida de producción.

Fuente: Elaboración propia en Excel.

A continuación, se presenta una comparación entre la producción estimada y la producción afectada por fallas, lo que permite obtener los valores de eficiencia en cada uno de los procesos.

CASO ACTUAL			
Causas	Tipo de recursos	Cantidad de Alabes anual	Eficiencia anual
CRÍTICAS	Recurso utilizado	3024	81%
	Recurso disponible	3744	
SEMI CRÍTICAS	Recurso utilizado	2952	79%
	Recurso disponible	3744	
NO CRÍTICAS	Recurso utilizado	2952	79%
	Recurso disponible	3744	

Tabla 4-1. Análisis de pérdida de producción.

Fuente: Elaboración propia en Excel.

CASO FUTURO ESPERADO			
Causas	Tipo de recursos	Cantidad de Alabes anual	Eficiencia anual
CRÍTICAS	Recurso utilizado	3742,8	99,97%
	Recurso disponible	3744	
SEMI CRÍTICAS	Recurso utilizado	3742,6	99,96%
	Recurso disponible	3744	
NO CRÍTICAS	Recurso utilizado	3741,8	99,94%
	Recurso disponible	3744	

Tabla 4-2. Análisis de pérdida de producción.

Fuente: Elaboración propia en Excel.

De acuerdo con los resultados de eficiencia, se observa un incremento cercano al 20%, lo que contribuye a un flujo más eficiente y optimizado en los procesos de revestimiento. Como se puede apreciar, estas mejoras han permitido reducir significativamente los riesgos de pérdida y a su vez aumentar la producción dentro de los procesos.

3.5.1.4 Análisis y evaluación económica del proyecto

Causas	Antes del ACR		Despues del ACR			
	Costo Anual	Promedio de Frecuencias falla/año	Inversión + Costo Anual	Promedio de Frecuencias falla/año	% Ahorro Potencial Anual con inversión	\$ Ahorro Potencial Anual con inversión
Criticas	\$ 12.250.000	10	\$ 2.685.343	1,2	78,08%	\$ 9.564.657
Semi Criticas	\$ 8.500.000	11	\$ 1.708.000	1,4	79,91%	\$ 6.792.000
No Criticas	\$ 2.505.000	11	\$ 541.000	2,2	80,60%	\$ 1.964.000
Total	\$ 23.255.000	32	\$ 4.934.343	4,8	78,78%	\$ 18.320.657

Tabla 4-3. Análisis costos-beneficios de las implementaciones.

Fuente: Elaboración propia en Excel.

Como se detalló anteriormente, se determinó que las causas críticas representan el 52.9% del ahorro potencial total. Esto implica que, al invertir un porcentaje del presupuesto destinado a los costos asociados a las fallas, la empresa podría ahorrar \$9,564,657 anuales, como se muestra en la tabla a continuación.

La evaluación presentada en la tabla 3-9, titulada "Análisis costo-beneficio de implementaciones", revela una notable reducción en las eventualidades, que pasan de un total de 4 a un rango de 0 a 1. Este cambio conlleva un impacto monetario significativo y positivo para la organización, resultando en un beneficio neto que supera los costos de implementación. Esta disminución en las eventualidades no solo refleja un ahorro económico tangible, sino que también indica una mejora considerable en la eficiencia y en la gestión de riesgos del proyecto. Por lo tanto, se puede afirmar que la inversión realizada ha generado resultados concretos y beneficiosos, posicionando a la empresa de manera más sólida y competitiva en su mercado.

Al evaluar la viabilidad de implementar el contenedor climatizado, los resultados son claramente positivos. El Análisis de Causa Raíz (RCA) ha priorizado las causas seleccionadas, revelando resultados satisfactorios. Un aspecto clave es la reducción en la frecuencia de fallas, como el problema de adherencia del material ARC 855, que antes ocurría unas 4 veces al año; con la implementación, esta frecuencia ha disminuido a 0.2 veces al año. Esto reduce significativamente la probabilidad de fallos tanto en el corto como en el largo plazo.

RECOMENDACIONES

¿Cómo gestionar la aplicación del Análisis Causa Raíz?

Gestión de la aplicación del ACR						
Implementación para causas	Año 1		Año 2		Año 3	
	Inversión Anual	Beneficio Anual	Inversión Anual	Beneficio Anual	Inversión Anualizada	Beneficio Anual
Criticas	\$ 1.085.343	\$ 10.650.000	\$ 1.085.343	\$ 10.650.000	\$ 1.085.343	\$ 10.650.000
Semi-Criticas	0	0	\$ 885.000	\$ 7.500.000	\$ 885.000	\$ 7.500.000
No-Criticas	0	0	0	0	\$ 100.000	\$ 2.024.000

Gestión de la aplicación del ACR						
Implementación para causas	Año 4		Año 5		Total	
	Inversión Anualizada	Beneficio Anual	Inversión Anualizada	Beneficio Anual	Inversión	Beneficio Total
Criticas	\$ 1.085.343	\$ 10.650.000	\$ 1.085.343	\$ 10.650.000	\$ 5.426.713	\$ 53.250.000
Semi-Criticas	\$ 885.000	\$ 7.500.000	\$ 885.000	\$ 7.500.000	\$ 3.540.000	\$ 30.000.000
No-Criticas	\$ 100.000	\$ 2.024.000	\$ 100.000	\$ 2.024.000	\$ 300.000	\$ 6.072.000

Tabla 4-4. Gestión de la aplicación del ACR.

Fuente: Elaboración propia en Excel.

Se recomienda comenzar en el primer año con la inversión en un contenedor y su respectivo climatizador, lo cual tiene como objetivo reducir la cantidad de eventualidades relacionadas con fallas y, por ende, minimizar los costos operativos. Esta inversión, con un

costo estimado de \$5,426,713 y una vida útil de cinco años, se traduce en un costo anualizado de \$1,085,343. A su vez, se proyecta un beneficio anual de \$10,650,000, sin considerar la inversión inicial, lo que permitirá un flujo de caja positivo de \$9,564,657 a partir del segundo año, recuperando así la inversión relacionada con las fallas críticas.

Para el segundo año, se sugiere implementar la segunda inversión, un instructivo elaborado por un ingeniero especializado en procesos. Este proyecto, que no tiene una vida útil definida, se prevé financiar durante cinco años, con un costo total de \$3,540,000 y un retorno anual estimado de \$7,500,000, además de un costo anual de inversión de \$708,000. Se espera recuperar esta inversión al tercer año, lo que contribuirá significativamente a la reducción de fallas semi críticas y a la contención de costos.

Finalmente, la tercera propuesta se plantea para el tercer año, momento en el cual las dos implementaciones previas ya estarán generando un flujo positivo anual de \$16,356,657. Esta última inversión, valorada en \$300,000, generará un retorno de \$2,024,000 anuales. Con la implementación de las tres propuestas, se logrará una disminución notable en el número de fallos y una optimización del rendimiento financiero de la empresa.

La ejecución ordenada y estratégica de estas tres iniciativas permitirá no solo abordar las causas raíz de las fallas, sino también fortalecer la sostenibilidad económica del proceso y de la organización en su conjunto.

CONCLUSIONES

En esta investigación se aplicó de manera efectiva la metodología de análisis causa-raíz, utilizando herramientas como el diagrama de Ishikawa, para identificar las principales causas de la falta de adherencia del material ARC 855 en el proceso de revestimiento de los álabes del ventilador axial. Este enfoque permitió diagnosticar de manera precisa los factores subyacentes a las fallas, lo que facilitó el diseño de soluciones específicas para mejorar la calidad del revestimiento y optimizar el rendimiento del proceso. Al abordar las causas raíz, se contribuyó directamente a la mejora de la adherencia del material ARC 855, uno de los principales objetivos de esta investigación.

A lo largo de la investigación, se definió el contexto operacional del proceso de revestimiento, lo cual fue esencial para entender las condiciones actuales y los desafíos asociados con la falta de adherencia del material ARC 855. Este análisis detallado del entorno operativo permitió establecer de manera clara y precisa la problemática existente en el proceso de revestimiento de los álabes del ventilador axial, facilitando la formulación de soluciones prácticas y orientadas a la mejora continua del proceso productivo.

Como resultado del análisis causa raíz, se desarrollaron recomendaciones concretas para eliminar las causas subyacentes de las fallas en el proceso de revestimiento. Entre las soluciones propuestas, destaca la implementación de un contenedor climatizado para el material ARC 855, que garantiza condiciones ambientales óptimas durante el proceso de producción, evitando la degradación del material y reduciendo las fallas imprevistas. Además, la incorporación de un instructivo elaborado por un ingeniero especializado y la implementación de medidas de protección ante condiciones climáticas extremas refuerzan la eficacia de las soluciones planteadas. Estas acciones requieren recursos humanos y técnicos específicos, como la capacitación del personal y la adquisición de equipos especializados, lo que permitirá consolidar los planes de acción y asegurar una mejora significativa en el proceso productivo.

Las soluciones propuestas no solo abordan las causas-raíz de las fallas en el proceso de revestimiento, sino que también contribuyen a la optimización general del proceso, incrementando la eficiencia operativa y reduciendo los costos asociados con pérdidas de material y tiempos de inactividad. La inversión en el contenedor climatizado y el instructivo especializado, mejora de manera directa la adherencia del material ARC 855, reduciendo significativamente la frecuencia de fallas críticas y semi-críticas. Esto se traduce en una mejora continua del proceso de revestimiento, alineada con el objetivo de optimizar el proceso productivo y mejorar la calidad del producto final.

Las soluciones implementadas también fortalecen la competitividad de la empresa al mejorar la calidad y la eficiencia de sus operaciones. El retorno de inversión proyectado, así como los ahorros generados por la reducción de fallas y la mejora en la disponibilidad de los

álaves, refuerzan la sostenibilidad financiera del proceso. Estas medidas no solo contribuyen a la optimización técnica del proceso de revestimiento, sino que también posicionan a la empresa para enfrentar de manera más efectiva los desafíos operacionales a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Miro. (2020). ¿Qué es un diagrama de Ishikawa? Recuperado de <https://miro.com/es/diagrama/que-es-diagrama-ishikawa/>.
2. IONOS. (2019). Cómo aumentar la productividad con el diagrama de Ishikawa. Recuperado de <https://www.ionos.es/startupguide/productividad/diagrama-de-ishikawa/>.
3. Fractal. (2018). Análisis de causa raíz: qué es y cómo aplicarlo en mantenimiento. Recuperado de <https://www.fractal.com/es/blog/analisis-de-causa-raiz-que-es-y-como-aplicarlo-en-mantenimiento>.
4. SafetyCulture. (2020). Análisis de causa raíz: qué es y cómo aplicarlo. Recuperado de <https://safetyculture.com/es/temas/analisis-de-causa-raiz/>.
5. Asana. (2021). Plantilla de matriz de riesgos. Recuperado de <https://asana.com/es/resources/risk-matrix-template>.
6. MercadoLibre. (2019). Contenedores de 40 pies. Recuperado de <https://listado.mercadolibre.cl/container-40-pies>.
7. ConContainers. (2018). ¿Cuál es el precio de un contenedor marítimo? Recuperado de <https://concontainers.com/cual-es-el-precio-de-un-contenedor-maritimo/>.
8. ACAR. (2019). Recuperado de https://www.acar.cl/?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMIserbh7aThQMVgFpIAB07Twi7EAAYAAEgI3H_D_BwE.
9. Chesterton. (2020). Recuperado de <https://www.chesterton.com.mx/arc-855/>
Luciano Droguett. (2023). Técnicas de Análisis Causa Raíz (ACR): Filtro Larox PF1054-55 OUTOTEC RCA (Root Cause Analysis). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/372132534_Tecnicas_de_Analisis_Causa_Raiz_ACR_Filtro_Larox_PF1054-55_OUTOTEC_RCA_Root_Cause_Analysis.

ANEXOS

Anexo A: Detalle de costos por fallas de las causas

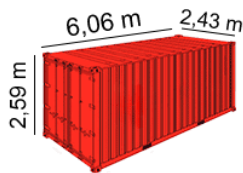
Causas de fallas	Frecuencias fallas/año	Cost. Por fallo	Costo anual
Revestimiento ARC 855 con temperatura inadecuada	3	\$ 1.500.000	\$ 4.500.000
Mezcla solida	3	\$ 1.250.000	\$ 3.750.000
Material sin adherencia	4	\$ 1.000.000	\$ 4.000.000
Falta en control de calidad	3	\$ 1.000.000	\$ 3.000.000
Aplicación de revestimiento excesivo	3	\$ 1.000.000	\$ 3.000.000
Falta de limpieza de los alabes	2	\$ 500.000	\$ 1.000.000
Proporciones de mezcla erróneas	3	\$ 500.000	\$ 1.500.000
Temperatura ambiental baja	4	\$ 350.000	\$ 1.400.000
Humedad en el ambiente	4	\$ 250.000	\$ 1.000.000
Medidor de espesor de camada dañado	1	\$ 50.000	\$ 50.000
Medidor de humedad descalibrado	1	\$ 40.000	\$ 40.000
Toma de temperatura errónea	1	\$ 15.000	\$ 15.000
TOTAL	32	\$ 7.455.000	\$23.255.000
Costo total anualizado			\$ 1.937.917

Anexo B: Especificaciones técnicas del aire acondicionado AC-M5W

DESCRIPCIÓN	VALOR
N.S.N.	4120-22-624-3431
Rango operativo, refrigeración	20-601C
Rango operativo, calefacción	-32/+20°C
Flujo de aire interno, l/II	417/900 m3/h
Flujo de aire, fresco, l/II	N/A
Flujo de aire, externo	1 475 m3/h
Capacidad de refrigeración máx.	4.7 kW
Capacidad de refrigeración, a 55/55°C	4.7 kW
Capacidad de refrigeración, a 35/27°C	3.3 kW
Capacidad calorífica	2.0 kW
Alimentación	1 - 230V / 50Hz
Corriente máx., frío	9.8 A
Corriente máx. calor	9.3 A
Amperaje de rotos bloqueado (LRA), frío	47 A
Máx. consumo de energía	2.3 kW
Refrigerante / cantidad	R134a / 1.4 kg
Material filtrante	PPI 15
Clase de protección	IP55
Nivel de ruido, a 1m, l/II	49/63.5 dB(A)
Peso neto / con sistema de trampilla	79.0/ 105.5 kg

Figura 4-2. Especificaciones técnicas AC-M5W
Fuente: Empresa Multi container

Anexo C: Presupuesto container de 20 pies



Ate.: Sra. Lorena Díaz
lorenadiazgrossy@gmail.com
Presente.-

Santiago de Chile,
20 de noviembre
de 2023

REF: COTIZACIÓN 08/09/4855

De nuestra mayor consideración:

De acuerdo a lo solicitado tenemos el agrado de hacerle llegar la siguiente cotización:

- **Contenedor marítimo standard operativo de 20 pies (6m x 2.40m x 2.50m).**
 - Chapa exterior de acero de 1.8 mm
 - Estructura en vigas de acero
 - Pavimento interior en compensado marítimo
 - Puerta en 2 hojas con trabas y soporte para candado

Precio de venta: CLP \$1.956.713 (Un millón novecientos cincuenta y seis mil setecientos trece pesos).

Figura 4-0. Presupuesto del container
Fuente: Empresa Multi container

Anexo D: Evaluación Climatizador

Evaluacion Climatizador AC-M5W	
Inversion	500,000
Costo energia anual (1200 BTU)	480,000
Instalacion	70,000
Costo total anual	1,050,000

Justificación del proyecto

La situación actual en Howden implica la realización de un procedimiento para pintar un total de 60 álabes, divididos en 5 lotes de 12 álabes cada uno. Este proceso se extiende a través de una serie de etapas, comenzando con la limpieza minuciosa de cada álabe, seguida de la preparación meticulosa del material. Finalmente, se lleva a cabo el proceso de pintado, que demanda aproximadamente 4 horas por cada uno de los 5 lotes. Este enfoque secuencial garantiza la aplicación cuidadosa y uniforme del recubrimiento en cada álabe, asegurando resultados de calidad en todo el procedimiento. En este contexto, la implementación de mejoras estratégicas emerge como un elemento esencial para optimizar este proceso, no solo reduciendo tiempos y costos, sino también mejorando la consistencia y calidad del resultado final. La introducción de innovaciones puede impulsar la eficacia y competitividad de este procedimiento clave para Howden.

El equipo de aire acondicionado AC-M5 MKII, de Dantherm, está diseñado para su uso en contenedores y shelters. Tiene una potencia frigorífica de 4,7 kW y un elemento eléctrico de calefacción de 2,0 kW, lo que lo hace ideal para contenedores de alojamiento. Este aire acondicionado está diseñado para un montaje tipo ventana en contenedores ISO, pudiendo guardarse en el interior del contenedor ISO durante el transporte o el almacenaje, si se hace uso del sistema de trampilla. Así, el equipo AC-M5 MKII se desliza a través de la trampilla, empujándolo desde el interior, y de esta manera, sale del contenedor para su funcionamiento. Después, se bloquea desde el interior para su operación.

La implementación del sistema climatizado se reveló como una necesidad imperativa y contribuyó de manera significativa a la mejora del proceso. La estabilidad térmica proporcionada por el sistema climatizado fue crucial para mantener las condiciones óptimas en la gestión de álabes, resultando en una notable disminución de fallos imprevistos y, consecuentemente, en una tendencia a la baja de la indisponibilidad de los álabes. Este enfoque no solo abordó eficazmente los desafíos operativos, sino que también respaldó la eficiencia general del proceso, consolidándose como una inversión esencial y altamente beneficiosa para el rendimiento y la confiabilidad del sistema.



Figura. 4.1 Aire acondicionado AC-M5W para contenedor, con sistema telescópico.

Como acción, se requiere la implementación de un contenedor con climatizador. Este contenedor con climatizador se vuelve esencial para garantizar las condiciones óptimas de temperatura para el material ARC 855 durante su almacenamiento o en procesos específicos. Mantener una temperatura constante en este rango contribuirá a la calidad del producto final y podría reducir los riesgos de fallos relacionados con la temperatura. La implementación del contenedor con climatizador, adaptado específicamente al ARC 855, se presenta como una estrategia clave para optimizar la utilidad y eficacia del material en diversas aplicaciones industriales. Para ello, se requiere que las dimensiones del contenedor sean de (6 m x 2,40 m x 2,50 m). En el anexo, la figura 4-0 refleja el presupuesto elegido que cumple con los requisitos establecidos para asegurar el espacio y la correcta climatización que permita almacenar este contenedor. Para esto, en la figura 3-25 se demuestra la organización de los espacios, con el fin

de dar cabida al contenedor, quedando este fuera del galpón a la "intemperie". Por lo tanto, las condiciones en las que operará este equipo serán de exposición al ambiente. Se determina una vida útil máxima y óptima de 5 años para ambos equipos, tanto el contenedor como el climatizador.