

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

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

**“PROPUESTA DE PLAN DE MEJORA EN LA FABRICACIÓN DE VENTILADORES
AXIALES MEDIANTE ANÁLISIS CAUSA RAÍZ”**

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

Alumno: Sr. Daniel Flores Díaz

Profesor guía: Mg Ing Carlos Baldi González



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo:

Propuesta de plan de mejora en la fabricación de Ventiladores Axiales mediante Análisis causa raíz

Nombre del candidato(a):

Daniel Ignacio Flores Díaz

Carrera / Grado:

Ingeniería en Mantenimiento Industrial con Licenciatura en Ingeniería

Campus:

San Joaquín

Departamento:

Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Carlos Andrés Baldi González, en mi calidad de profesor(a)

guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO** contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

☐ 6 meses

☐ 12 meses

☐ 2 años

☐ 3 años

☐ 5 años

☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 28-10-2025

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha:

28/10/2025

Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Dedicado a: Daniel Flores Jiménez, Alejandra Lidia Díaz Castro y Daniel Antonio Flores Méndez, ustedes son mi inspiración y mi fortaleza.

RESUMEN:

KEYWORDS: ACR, FTA, Cadena de Suministro, Ventiladores.

El presente trabajo de titulación propone una mejora en el proceso de fabricación de ventiladores axiales en Howden Chile SpA, centrándose en los retrasos originados por la adquisición de materia prima. A través de la aplicación de la metodología de Análisis Causa Raíz (RCA), utilizando el enfoque del Árbol de Fallas (FTA), se identificaron los factores críticos que afectan los tiempos de entrega, impactando directamente en la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente.

El análisis reveló que la principal restricción de flujo se encuentra en el área de abastecimiento, específicamente en la gestión y recepción oportuna de materiales. A partir de este análisis, se diseñó una propuesta de mejora orientada a reducir los retrasos mediante acciones correctivas jerarquizadas, tales como la implementación de una máquina de corte interna, fortalecimiento de la gestión de inventarios y optimización de la comunicación con proveedores.

Los resultados obtenidos demuestran que la aplicación de esta propuesta permite disminuir los costos asociados a horas hombre improductivas y multas por entregas fuera de plazo. El análisis técnico-económico proyecta un ahorro potencial anual del 68%, lo cual valida la viabilidad y efectividad de la solución propuesta.

Con base en estos hallazgos, se concluye que se cumplieron los objetivos planteados, posicionando esta propuesta como una alternativa viable para mejorar la competitividad y confiabilidad de la empresa en el mercado de ventilación industrial.

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA:

ACR	Análisis Causa Raíz
FTA	Fault Tree Analysis (Análisis del Árbol de Fallas)
RCA	Root Cause Analysis (Análisis Causa Raíz)
CM	Costo de Mantenimiento
IO	Impacto Operacional
FF	Frecuencia de Fallos
FO	Flexibilidad Operacional
Nº	Número
USD	United States Dollar (Dólar estadounidense)
CLP	Peso Chileno
%	Porcentaje
h	Horas
Howden	Howden Chile SpA, empresa fabricante de ventiladores industriales
ERP	Enterprise Resource Planning (Sistema de Planificación de Recursos Empresariales)
KPI	Key Performance Indicator (Indicador Clave de Desempeño)

Índice:

INTRODUCCIÓN:.....	1
OBJETIVO GENERAL:	2
OBJETIVOS ESPECIFICOS:	2
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES:	3
1. ANTECEDENTES GENERALES:	4
1.1 Antecedentes de la empresa:.....	4
1.2 ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA:.....	5
1.2.1 Organigrama Howden South América.....	5
1.3 CLIENTES:	6
1.3.1 Cartera de clientes	6
1.4 PROBLEMÁTICA DEL PROYECTO:.....	7
1.5 DETALLES DE ENTREGAS CONFORMES EN EL AÑO 2023:	7
1.6 DATOS GRAFICADOS:.....	8
1.6.1 Gráfico de estatus de entregas de proyectos.....	8
1.6.2 Porcentaje conformidad anual año 2023	9
1.7 PROCESO PRODUCTIVO.....	9
1.7.1 Área de ventas.	10
1.7.1 Área de Ingeniería.	10
1.7.1 Área de planificación.....	10
1.7.2 Área de abastecimiento.	11
1.7.3 Área de manufactura.	11
1.7.4 Área de control de calidad.....	11
1.7.4 Área de Logística.....	11
1.8 COMPONENTES DE UN VENTILADOR AXIAL	12
1.8.1 Componentes posición en el plano y cantidades.	12
1.8.2 Desglose de componentes según plano de arreglo general.....	13
1.9 MARCO PARA LA DEFINICIÓN DEL RCA.....	18
CAPÍTULO II: ANÁLISIS Y DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA RCA.	19
2.0 METODOLOGIA RCA.....	20
2.1 FLUJOGRAMA DE LA METODOLOGÍA RCA BASADO EN ÁRBOL DE FALLAS:	21
2.3 ÁRBOL DE FALLAS.....	21
2.3.1 ¿Porque utilizar el árbol de fallas?	21
2.3.2 Características del árbol de fallas (FTA)	22
2.3.3 Pasos básicos para realizar un análisis causa raíz con árbol de fallas	23
2.3.1 Simbología FTA.	24
2.4 CAUSAS ASOCIADAS A LA PRODUCCIÓN DE VENTILADORES AXIALES:	26
2.4.1 Desglose de los factores que afectan al retraso en la entrega:	26
2.4.2 Retraso o fallo en la entrega de ventiladores axiales:.....	27
2.5.1.6 Análisis cuantitativo de riesgos.	34
2.6 APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE MEJORA CONTINUA.....	34
CAPITULO III: EVALUACIÓN TECNICO-ECONOMICA.	35
3.0 DESARROLLO DE ARBOL DE FALLAS	36
3.1 Análisis Causa Raíz utilizando el Método Árbol de Fallas (Fault Tree Analysis - FTA)	36
3.2 DISEÑO DE PROPUESTAS:.....	39
3.3 JERARQUIZACIÓN DE LAS CAUSAS DE LAS FALLAS DEL PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN DE MATERIA PRIMA.....	40

3.3.1 Acciones correctivas para las causas críticas, semi críticas y no críticas.	40
3.3.1.1 Causas críticas	40
3.3.1.2 Causas semi críticas.....	41
3.3.1.3 Causas no críticas:	41
3.4 EVALUACIÓN ECONOMICA DE ANÁLISIS CAUSA RAIZ	43
3.4.1 Evaluación económica de la causa critica “Retraso en la llegada de materia prima”	43
3.4.2 Gastos asociados al retraso de la llegada de materia prima:.....	44
GASTOS ASOCIADOS A MULTAS:.....	44
3.4.3 Gastos por horas hombre improductivas en fabrica:	44
3.5 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DEL ANALISIS CAUSA RAIZ	45
3.5.1 Cálculo de causas semi críticas:	45
3.5.2 Cálculo de causas no críticas:.....	46
3.6 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO.....	47
3.6.1 Evaluación económica con VAN:.....	49
3.6.2 Resumen económico:	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:.....	50
BIBLIOGRAFÍA	52

Índice de figuras

Figura 1.1 Ubicación Howden Chile Santiago.....	4
Figura 1.2 - Organigrama Howden South América.....	5
Figura 1.3 - 02 Ventiladores Axiales Howden de Alta eficiencia.....	6
Figura 1.4 – Grafico de estatus de entregas de proyectos	8
Figura 1.6 Grafico porcentaje conformidad anual año 2023.....	9
Figura 1.6 Grafico porcentaje conformidad anual año 2023.....	10
Figura 1.1.1 – Ventilador Axial Planos de arreglo general.....	12
Figura 1.1.2 – Listado de componentes y posición en el plano	12
Figura 1.1.3 Adaptador a Manga.....	13
Figura 1.1.4 Elementos que componen un adaptador a manga.....	13
Figura 1.1.5 Silenciador	14
Figura 1.1.6 Elementos que componen un silenciador.....	14
Figura 1.1.9 Carcasa del Ventilador	15
Figura 1.2.1 Componentes de la carcasa del ventilador	15
Figura 1.2.2 Rotor del Ventilador.....	16
Figura 1.2.3 Elementos que componen el rotor	16
Figura 1.2.4 Cono de admisión de ventilación.....	17
Figura 1.2.5 Elementos que componen el cono de admisión	17
Figura 2.0 Flujograma de la metodología RCA	21
Figura.3.0: árbol de fallas.....	38

Índice de tablas

Tabla 1.1 Cartera de clientes Howden Chile	6
Tabla 1.2 Resumen de ventas totales año 2023	7
Tabla 2.1 Impacto en seguridad ambiente higiene	31
Tabla 2.2 Flexibilidad Operacional	32
Tabla 2.3. Coste de mantenimiento	32
Tabla 2.4 Frecuencia de fallos	32
Tabla 2.4 Impacto Operacional.	33
Tabla 2.5 Matriz de Riesgo Cualitativa.	34
Tabla 3.1 – Causas de fallas jerarquizadas	40
Tabla 3.2 costos de inversión vida útil de 5 años	43
Tabla 3.3 referencia de gastos por multas asociadas al trazo de equipos	44
Tabla 3.4 Gastos en Fabrica	44
Tabla 3.5 Análisis costo beneficio de ACR	45
Tabla 3.6 - Ahorro potencial Anual.	45
Tabla 3.7 Análisis costo beneficio de ACR	46
Tabla 3.8 Ahorro potencial anual con inversión.	46
Tabla 3.9 Análisis de implementación ACR.	47
Tabla 3.10 – Ahorro potencial Anual	47
Tabla 3.11 – Análisis y evaluación económica	47
Tabla 3.12 – Análisis y evaluación económica con VAN.	49
Tabla 3.13 – CVA (Beneficio versus Costo).	49

INTRODUCCIÓN:

La industria minera es el pilar fundamental del desarrollo económico de nuestro país, que representa más del 50% de las exportaciones del país y más del 10% del PIB nacional promedio según la comisión chilena del cobre, la explotación de recursos siempre va a necesitar la mejor condición en cualquier equipo en los que se necesiten adquirir solicitando los estándares más altos y el cumplimiento de estos mismos.

En Howden Chile nos preocupamos de que cada proceso de fabricación cumpla con los estándares solicitados por nuestros clientes entregando ventilación de la mejor calidad y confiabilidad del mercado asegurando la integridad de cualquier operario de la mina. (Fuente: Misión y Visión Howden Chile)

Los ventiladores Axiales los cuales se fabrican en Chile son parte fundamental de cualquier actividad subterránea por ende una de las grandes preocupaciones y metas es cumplir con las fechas de entrega solicitadas por los clientes.

En el año 2023 la cantidad total de órdenes de compra fueron 286 de la cuales hubo 148 entregas conformes dentro del plazo y un total de 138 entregas no conformes dentro del plazo establecido, generando pérdidas en multas económicas para la organización en el año 2023 de \$135.240.000 CLP.

Debido al alto prestigio que tiene Howden a nivel mundial en la casa matriz de Chile no se puede permitir que el plazo de entrega sea un problema para la organización por ende se busca realizar un análisis causa raíz el cual indique la raíz del problema en la adquisición de materia prima, hoy en día los tiempos de adquisición de materia prima pueden llevar días dependiendo del componente. Como por ejemplo las planchas para fabricar las carcasas, que deben llegar en 7 días hábiles después de la emisión de la orden de compra, pero llegan a tardar entre 14 y 20 días hábiles emitida la orden. Con este trabajo de título se busca disminuir los tiempos en la adquisición o incluso buscar otra manera efectiva de conseguirlos el cual no impacte en el momento que se fabrican los ventiladores axiales.

Este trabajo de título recopilará información del departamento de planificación, abastecimiento y logística para identificar el punto crítico de flujo en la adquisición. La identificación de los puntos a mejorar en el proceso permitirá implementar soluciones efectivas que no solamente van a mejorar las fechas de entrega, sino que también la conformidad del cliente.

OBJETIVO GENERAL:

- Realizar una propuesta de plan de mejora para el proceso de fabricación de ventiladores axiales mediante la aplicación del análisis causa raíz, con el propósito de identificar la obstrucción de flujo del proceso y reducir los retrasos en la entrega de proyectos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Analizar la situación actual del proceso productivo en Howden Chile SpA, mediante la recopilación y evaluación de antecedentes operativos, organizacionales y productivos.
- Diseñar una metodología óptima para la organización, utilizando principios de mejora continua y explicando la herramienta de análisis causa raíz, con el fin de implementarlo y reducir los retrasos en la entrega de ventiladores y mejorar los tiempos de fabricación.
- Realizar una evaluación técnica y económica de la nueva metodología a partir de datos históricos y análisis cuantitativo, determinando su viabilidad y beneficios para Howden Chile SpA.

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES:

1. ANTECEDENTES GENERALES:

1.1 Antecedentes de la empresa:

Howden Chile SpA está ubicada en la región metropolitana de Santiago de Chile en Cordillera 575 Pudahuel. Su casa matriz es Howden, a Chart Industries Company la cual está ubicada en Sao Paulo, Brasil.

Howden Chile SpA, actualmente es una sección de Chart Industries ligada a la ventilación industrial, la cual ofrece soluciones eficientes y sostenibles.

Especializándose en sistemas de ventilación y compresión desempeñando un papel crucial en distintas industrias incluyendo la minería, la energía y manufactura.

La evolución histórica de Howden y su integración a Chart Industries Company fue una estrategia comercial y operativa beneficiando a ambas empresas, ampliando nuevos mercados y aumentando su tecnología en sus productos.

La empresa Howden fue fundada originalmente por James Howden en Escocia como una empresa de ingeniería marina en 1854, Howden lleva años en crecimiento y evolucionando hasta convertirse en uno de los líderes mundiales según financial times en la fabricación solucionando problemáticas de agua, aire y gas.

Hoy en día en el mundo, Howden a Chart Industries Company trabaja en múltiples sectores como infraestructura, energía, petróleo, gas, aguas residuales, metales, minería, transporte, hidrogeno verde.

El Centro de Servicios se encuentra ubicado en Santiago de Chile, Avenida Cordillera 575, Pudahuel Región Metropolitana. (Figura 1-1).

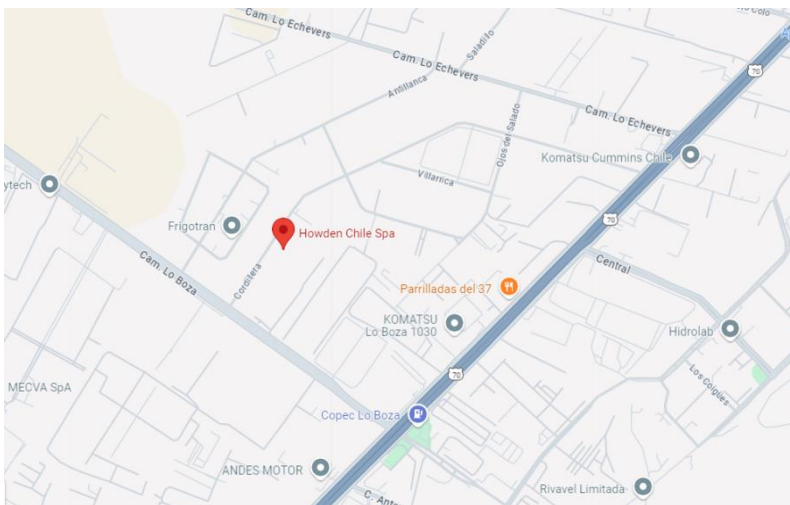


Figura 1.1 Ubicación Howden Chile Santiago

Fuente: “Google Maps”

1.2 ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA:

1.2.1 Organigrama Howden South América

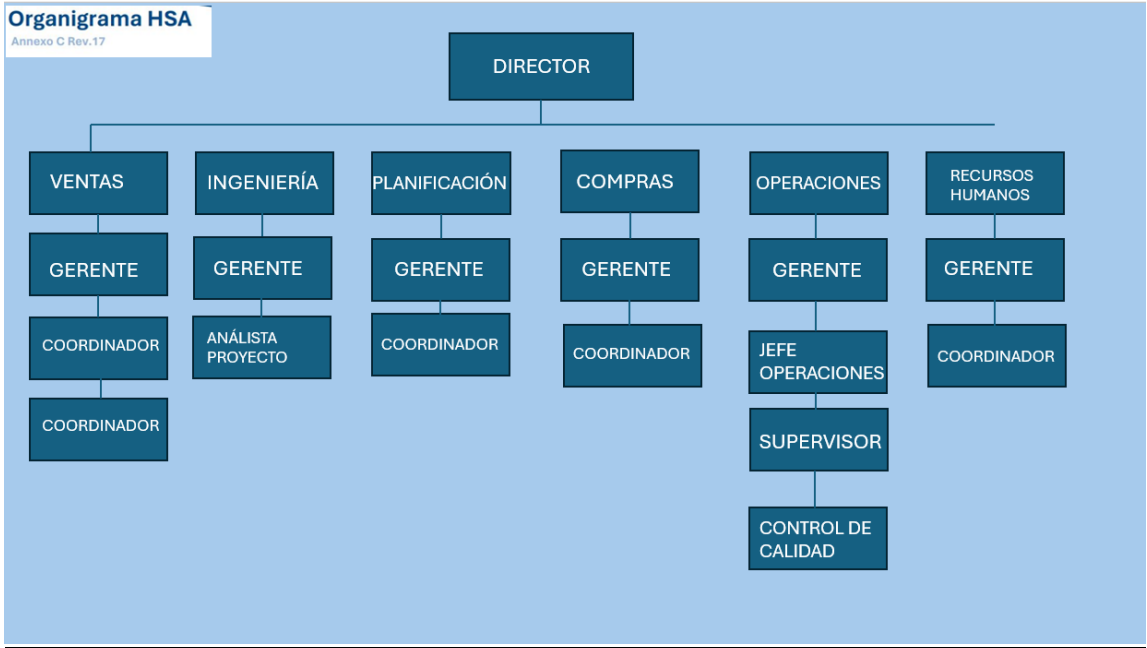


Figura 1.2 - Organigrama Howden South América
Fuente Howden Chile

El Organigrama de HSA (Howden South América) representa como está formado cada departamento que componen la organización cada uno fundamental en el proceso productivo de la ventilación industrial, partiendo por el director presidente dividiéndose en 7 departamentos.

Departamento Financiero: El departamento financiero es el área encargada de gestionar y supervisar los recursos económicos y financieros de la organización. Consta de 1 gerente, 2 analista financiero, y 1 coordinador.

Departamento de Ventas: El departamento de ventas es el área responsable de la comercialización de productos o servicios buscando aumentar los ingresos de la organización. Consta de 1 director, 1 gerentes y 3 vendedores técnicos encargados de realizar ventas y negociaciones con los clientes.

Departamento de Ingeniería: Es el área encargada del diseño, desarrollo y optimización de sistemas de ventilación. Consta de 1 director, 1 gerente y 5 ingenieros de diseño.

Departamento de manufactura: Área encargada de producir los bienes o productos. Consta de 1 Gerente y 2 supervisores de la fábrica encargados de la producción y gestión con los mecánicos.

Departamento de Suministros: Responsables de los suministros y abastecimiento de la empresa. Consta de 1 Gerente y 5 compradores técnicos encargados de la adquisición de materias primas.

Departamento de Operaciones: Consta de 1 gerente y 3 subgerencias donde este control de calidad, prevención de riesgos y lean manufacturing.

Departamento de Recursos Humanos: Es el área encargada de gestionar el capital humano de la empresa. Consta de 1 gerente y 1 administrativo.

1.3 CLIENTES:

1.3.1 Cartera de clientes

Howden, a Chart Industries Company tiene distintos clientes en el territorio Nacional e internacional. En Chile podemos encontrar los siguientes clientes:

CARTERA DE CLIENTES	CANTIDAD DE PROYECTOS 2023
Codelco	105
Bhp	30
Hca	30
Mas Errazuriz	26
Yamana Gold	25
Anglo American	17
Pucobre	14
Minera Las Cenizas	13
Antofagasta Minerals	8
Minera Los Pelambres	8
Constructora Gardilcic	7
Minera Doña Ines de Collahuasi	3

Tabla 1.1 Cartera de clientes Howden Chile

Fuente: Elaboración Propia

Se relaciona la tabla con la cantidad de proyectos a cada cliente en el año 2023 vendiendo el equipo que ofrece Howden en el mercado Chileno el Ventilador Axial.

Estos ventiladores son clave para asegurar un ambiente seguro y saludable en las minas, ya que permiten la circulación correcta de aire, especialmente en zonas subterráneas. Howden proporciona soluciones personalizadas que se adaptan a las necesidades específicas de cada mina, considerando factores como el tamaño, la profundidad y las condiciones ambientales. Además, la empresa ofrece soporte técnico, mantenimiento y servicios de optimización, garantizando el rendimiento y la fiabilidad de los equipos en operaciones mineras exigentes.



Figura 1.3 - 02 Ventiladores Axiales Howden de Alta eficiencia

Fuente Howden Chile

1.4 PROBLEMÁTICA DEL PROYECTO:

Los ventiladores axiales son equipos de alta necesidad en la minería ya que proveen la oxigenación y limpieza de las mineras subterráneas.

Entendemos que la estrategia de suministros tiene que ser muy precisa para la llegada de todos los materiales para la fabricación de cada componente.

De acuerdo con el monto total en multas del año 2023 con distintos clientes y el 48% de las entregas no conformes en el año, se debe analizar las desviaciones existentes del proceso como también donde se origina el problema.

Los datos que se verán a continuación es información de la planilla de planificación realizando un resumen de las entregas conformes y entregas atrasadas dando datos cuantitativos del año 2023. (Figura 1.5)

1.5 DETALLES DE ENTREGAS CONFORMES EN EL AÑO 2023:

RESUMEN VENTAS TOTALES AÑO 2023 HOWDEN CHILE			
MES	CANTIDAD DE PROYECTOS	ENTREGAS CONFORMES	ENTREGAS ATRASADAS
ENERO	15	7	8
FEBRERO	13	5	8
MARZO	17	10	7
ABRIL	20	13	7
MAYO	16	8	8
JUNIO	20	7	13
JULIO	27	15	12
AGOSTO	35	17	18
SEPTIEMBRE	38	13	25
OCTUBRE	45	20	25
NOVIEMBRE	17	13	4
DICIEMBRE	23	20	3
TOTAL		ENTREGAS CONFORMES	ENTREGAS ATRASADAS
		286	148
			138

Tabla 1.2 Resumen de ventas totales año 2023

Fuente: Howden Chile

La Tabla 1.2 muestra el comportamiento mensual de las entregas de proyectos durante el año 2023 en Howden Chile, diferenciando entre entregas conformes y entregas atrasadas. A primera vista, se puede observar que el total de entregas conformes fue de 148, lo que representa un 51,7% del total de 286 proyectos, mientras que las entregas atrasadas alcanzaron un 48,3% (138 casos), una cifra que va en aumento si lo relacionamos al año 2022 en el cual hubo 202 proyectos totales de los cuales 140 se entregaron conformes y 62 atrasados. Dándonos un 69,31% de entregas conformes y un 30,69% de entregas atrasadas.

Al analizar mes a mes, se observa que, durante los primeros cuatro meses del año, la cantidad de entregas conformes es más equilibrada respecto a las atrasadas. Sin embargo, a partir de junio se incrementa de manera sostenida el número de entregas atrasadas, alcanzando su punto más crítico en

los meses de septiembre y octubre, con 25 entregas atrasadas en cada uno, superando ampliamente las entregas conformes. Esto podría estar relacionado con una sobrecarga operativa, problemas acumulados en la cadena de suministro o deficiencias en la planificación.

En contraste, diciembre destaca con un desempeño significativamente mejor: 20 entregas conformes y solo 3 atrasadas, lo que sugiere una posible mejora en la coordinación entre las áreas de planificación, abastecimiento y producción, o bien una menor carga operativa que permitió cumplir los plazos comprometidos.

La tendencia reflejada en esta tabla permite concluir que existe una variabilidad considerable en el cumplimiento de los plazos de entrega a lo largo del año, la cual va en aumento relacionado con el año 2022 así como también aumento la cantidad de proyectos y la carga de trabajo, lo que da cuenta de una inestabilidad en algún proceso productivo. Esta información respalda el objetivo de este trabajo de título, que busca identificar las causas raíz de los retrasos para plantear una propuesta de mejora que permita reducir significativamente la cantidad de entregas no conformes, especialmente en los meses de mayor demanda.

1.6 DATOS GRAFICADOS:

1.6.1 Gráfico de estatus de entregas de proyectos

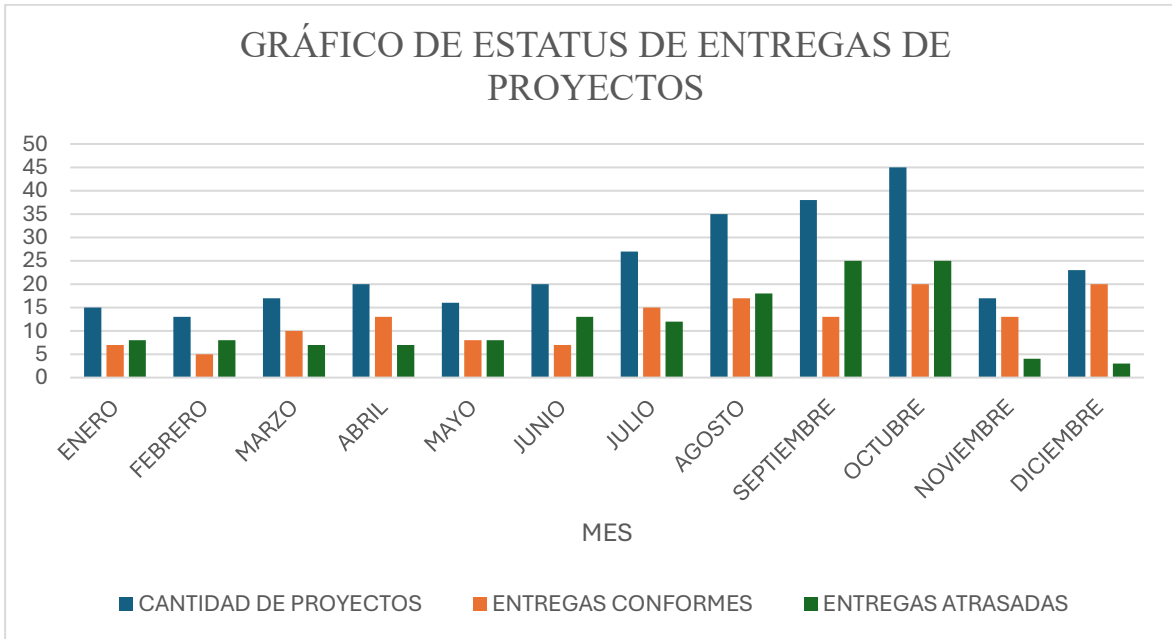


Figura 1.4 – Gráfico de estatus de entregas de proyectos
Fuente: Howden Chile.

En la figura 1.4 se grafica el estatus de entregas de proyectos separando en colores la cantidad de proyectos, entregas conformes y entregas atrasadas.

Con un análisis visual a los gráficos muestra una distribución equilibrada en la mayoría de los meses considerando la cantidad de proyectos representadas, en naranja las entregas conformes y en verde las entregas atrasadas.

1.6.2 Porcentaje conformidad anual año 2023

En el gráfico de barras muestra dos categorías principales las cuales son las entregas conformes y las entregas no conformes, con base en los datos proporcionados podemos hacer las siguientes observaciones del año 2023.

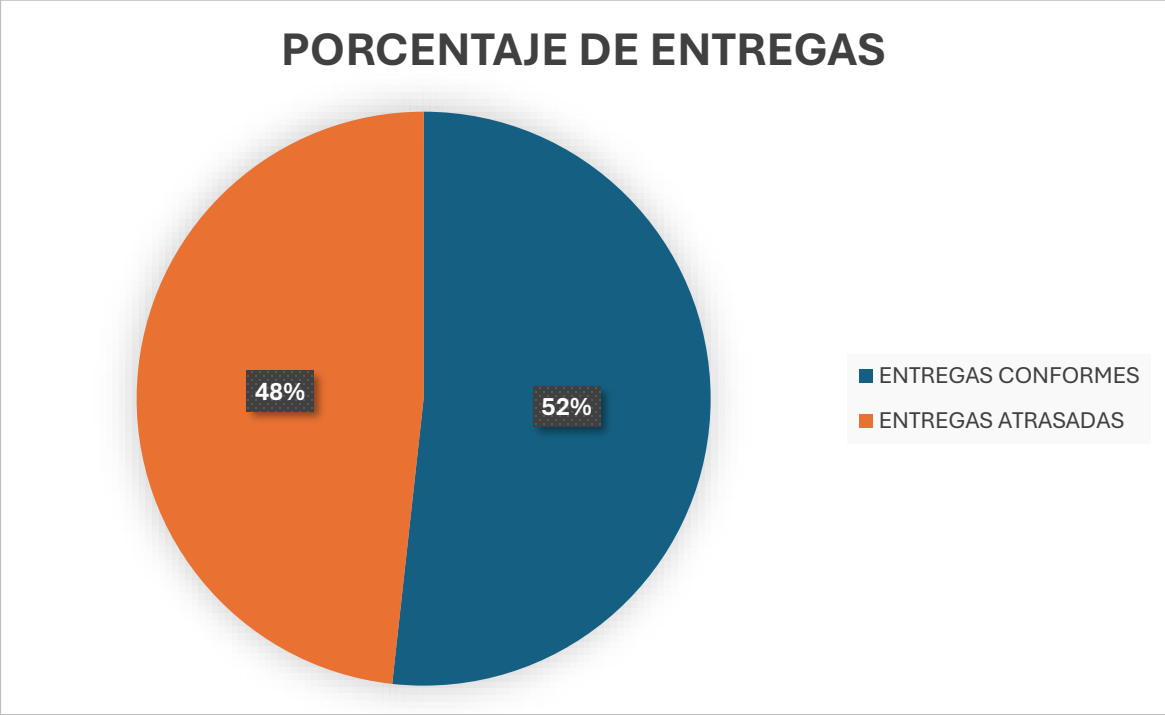


Figura 1.5 Grafico porcentaje conformidad anual año 2023
Fuente Howden Chile.

Figura 1.6 se puede ver el porcentaje anual del año 2023 de las entregas conformes (52%) cumpliendo los requisitos establecidos, en relación a las entregas no conformes (48%) debido a distintos factores ya sea en calidad, cantidad o cualquier otro aspecto relacionado al servicio o producto entregado.

Aunque el porcentaje más alto son las entregas conformes las entregas no conformes sigue siendo una parte considerable lo que podría indicar que hay áreas que mejorar en los procesos de entrega ya que un 48% es un porcentaje muy alto para la organización en relación con el año 2022 la cual fue de un 30,69 % en entregas atrasadas, tenemos un aumento en el incumplimiento de las fechas de entrega.

1.7 PROCESO PRODUCTIVO.

La especialidad en Howden Chile se la fabricación de equipos rotativos, destacando los ventiladores axiales utilizados en operaciones subterráneas donde la circulación de aire es vital para la seguridad y eficiencia operativa. La organización integra tecnología, experiencia y servicios de ingeniería para optimizar procesos críticos de sus clientes a nivel global.

El proceso productivo involucra una cadena coordinada entre diversas áreas funcionales como ventas, ingeniería, planificación, abastecimiento, manufactura, control de calidad y logística. Cada etapa diseñada para asegurar el cumplimiento y la satisfacción del cliente final.

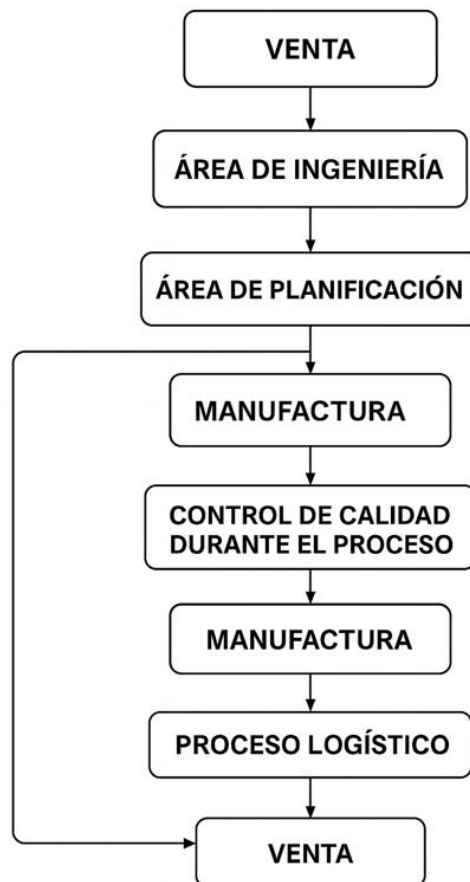


Figura 1.6 Flujograma del proceso
Fuente Howden Chile.

1.7.1 Área de ventas.

El área de ventas es la encargada de gestionar el contacto directo con el cliente, entender sus necesidades y cerrar acuerdos comerciales. Una vez se concreta la venta, se recopila toda la información técnica necesaria para iniciar el proceso con el área de ingeniería. Esta área inicia el proceso productivo y asegura la alineación entre las necesidades del cliente y las capacidades de fabricación de la empresa.

1.7.1 Área de Ingeniería.

El departamento de ingeniería diseña los planos y especificaciones técnicas de los ventiladores de acuerdo con los requerimientos del cliente. Se definen materiales, dimensiones, configuraciones y normas de calidad que deben cumplirse durante la fabricación. Proporciona las bases técnicas para un producto funcional y conforme a lo solicitado, asegurando viabilidad técnica y cumplimiento normativo.

1.7.1 Área de planificación.

El objetivo del área de planificación es coordinar la ejecución de los pedidos de fabricación conforme a los requerimientos del cliente. Recibe la información técnica de Ingeniería, incluyendo planos y especificaciones, estima los tiempos necesarios para la adquisición de insumos, fabricación e inspección. Posteriormente, emite las solicitudes de compra al área de abastecimiento. Esta etapa permite asegurar la disponibilidad oportuna de materiales y recursos, siendo clave para evitar retrasos en la cadena productiva.

1.7.2 Área de abastecimiento.

Su función principal es adquirir la materia prima y componentes necesarios para la fabricación de ventiladores, conforme a las solicitudes de planificación. Esto incluye tanto materiales estructurales como el conjunto rotativo del ventilador. Esta es una etapa crítica ya que cualquier atraso en la recepción de insumos genera un cuello de botella que afecta directamente la continuidad de la producción, pudiendo ocasionar horas improductivas, retrasos contractuales y penalizaciones económicas.

1.7.3 Área de manufactura.

Esta área es donde se ejecuta la fabricación física de los ventiladores axiales. La materia prima recibida se transforma en componentes como carcasas, conos de admisión, silenciadores y bases mediante procesos de calderería, mecanizado, soldadura y embalaje. Aquí se genera el valor agregado del producto. Las interrupciones por falta de insumos afectan directamente la productividad y el cumplimiento de los plazos, obligando a recurrir a horas extras o aceptando demoras que conllevan sanciones contractuales.

1.7.4 Área de control de calidad.

El área de control de calidad realiza todas las verificaciones desde la llegada de materia prima como también en el proceso productivo de la empresa realizando controles correspondientes al plan de calidad y/o plan de inspección y ensayos. Procurando que los equipos tengan la mayor calidad

Todas estas áreas involucradas aportan al proceso productivo de la empresa en la fabricación de ventiladores axiales que es el producto que Howden ofrece en Chile especialmente para operaciones subterráneas, donde la circulación de aire es esencial para la seguridad y eficiencia.

1.7.4 Área de Logística.

El área de logística es responsable de la organización y ejecución del embalaje, transporte y entrega de los ventiladores terminados. Asegura que los productos lleguen en condiciones óptimas y dentro de los plazos acordados con el cliente final. Esta área cierra el proceso productivo y es clave para cumplir con los compromisos de entrega, mantener la satisfacción del cliente y consolidar la reputación de la empresa.

1.8 COMPONENTES DE UN VENTILADOR AXIAL.

Se presenta un plano de arreglo general de un ventilador axial estandar donde podemos apreciar el armado correcto del ventilador pieza por pieza donde se ubican las posiciones de los productos de fabricación para posteriormente relacionar cada componente con su listado de materiales. (Figura 1.1.1)

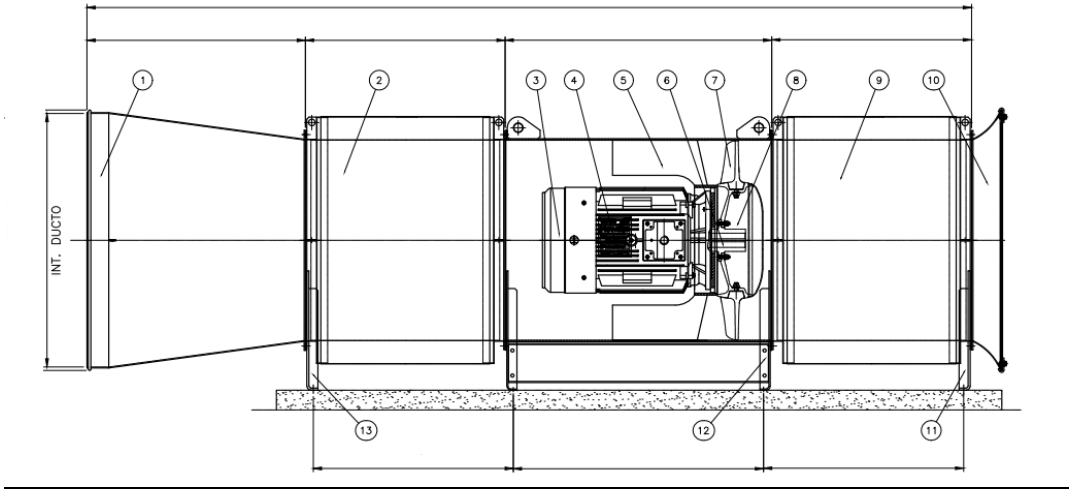


Figura 1.1.1 – Ventilador Axial Planos de arreglo general
Fuente: Howden Chile

Conocer los componentes de un ventilador axial y entender sus posiciones en el plano de fabricación es crucial para varios aspectos relacionados con su diseño, producción e incluso la adquisición de sus componentes para su fabricación. Las cotas fueron borradas de los planos ya que es información confidencial de la empresa.

1.8.1 Componentes posición en el plano y cantidades.

13	1	SOPORTE SILEN. SALIDA	JPP40M0056	ASTM A36	1308.0																																					
12	1	SOPORTE VENTILADOR	JPP09M0404	ASTM A36	16.3																																					
11	1	SOPORTE SILEN. ENTRADA	JPP40M0056	ASTM A36	51.1																																					
10	1	CONO DE ADMISIÓN	JPP11M0029	ASTM A36	16.3																																					
9	1	SILENCIADOR ENTRADA	HPP42M0007	ASTM A36	26.7																																					
8	1	HUB	JPP05M0125	ALUMINIO	180.2																																					
7	12	ASPAS	JPP04M0016	ALUMINIO	29.0																																					
6	1	BUJE	JPP05M0097	SAE 1045	38.4																																					
5	1	CARCASA	JPP08M0031	ASTM A36	8.9																																					
4	1	PLACA DE DATOS	150x215x0.8 mm	ALUMINIO	237.6																																					
3	1	MOTOR	ABLE 250M2 2P FF-400	ALUMINIO	0.2																																					
2	1	SILENCIADOR DE SALIDA	HPP42M0007	ASTM A36	407.0																																					
1	1	ADAPTADOR A MANGA	Ø1200x1000 mm	ASTM A36	180.2																																					
POS	QTD	D E S C R I Ç Ã O		DIMENSÃO / N° DESENHO	MATERIAL	PESO (kg)																																				
 TÍTULO: ARREGLO GENERAL VENT 3600 VAX 2100 HB MOTOR 250M2 <table><tr><td>2024</td><td>DATA</td><td>NOME</td><td>CLIENTE:</td></tr><tr><td>DES.</td><td>02.01</td><td>WALTER</td><td>COMPANHIA MINERA ARQUEROS</td></tr><tr><td>VER.</td><td>02.01</td><td>RAFAEL</td><td>CLIENTE TAG N°:</td></tr><tr><td>APR.</td><td>02.01</td><td>FELIPE</td><td>P.V. N°:</td></tr><tr><td colspan="3">1° DIBUJO</td><td>CN0155</td></tr><tr><td colspan="3">ESCALA: 1:15</td><td>DOCUMENTO N°:</td></tr><tr><td colspan="3"></td><td>JVA00CN0155</td></tr><tr><td colspan="3"></td><td>REV 0</td></tr><tr><td colspan="3"></td><td>FORMATO A2</td></tr></table>							2024	DATA	NOME	CLIENTE:	DES.	02.01	WALTER	COMPANHIA MINERA ARQUEROS	VER.	02.01	RAFAEL	CLIENTE TAG N°:	APR.	02.01	FELIPE	P.V. N°:	1° DIBUJO			CN0155	ESCALA: 1:15			DOCUMENTO N°:				JVA00CN0155				REV 0				FORMATO A2
2024	DATA	NOME	CLIENTE:																																							
DES.	02.01	WALTER	COMPANHIA MINERA ARQUEROS																																							
VER.	02.01	RAFAEL	CLIENTE TAG N°:																																							
APR.	02.01	FELIPE	P.V. N°:																																							
1° DIBUJO			CN0155																																							
ESCALA: 1:15			DOCUMENTO N°:																																							
			JVA00CN0155																																							
			REV 0																																							
			FORMATO A2																																							

Figura 1.1.2 – Listado de componentes y posición en el plano
Fuente Howden Chile

Se puede observar de acuerdo a los planos de fabricación y su lista de fabricación la posición de cada componente en el armado del ventilador y la cantidad de piezas para la solicitud de materia prima. Como vemos en el listado de componentes del plano de arreglo general tenemos los siguientes:

- Adaptador a manga.
- Silenciador de Salida.
- Motor eléctrico.
- Placa de datos.

- Carcasa del ventilador.
- Conjunto Girante (Buje, Aspas, Hub)
- Silenciador de entrada y Salida.
- Cono de admisión
- Soportes.

Todos estos componentes conforman 01 equipo en este caso un Ventilador Axial Howden 3600 VAX 2100.

1.8.2 Desglose de componentes según plano de arreglo general.

Los Ventiladores constan con los siguientes componentes:
Adaptador a Manga: Figura 1.1.3 Posición 1 del plano de arreglo general: Este componente se utiliza para la adaptación en terreno de mangas utilizadas para el flujo del aire.

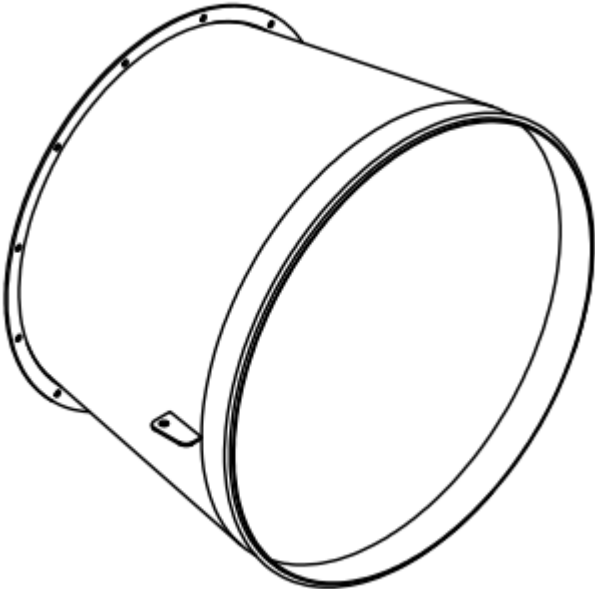


Figura 1.1.3 Adaptador a Manga
Fuente Howden Chile

Elementos que componen un adaptador a Manga según plano del componente JVA09CN0155:

					115.2
4	2	OREJA LATERAL	120x65x6 mm	ASTM A36	0.6
3	1	BARRA TREFILADA	DIAMETRO 12 mm	ASTM A36	3.3
2	1	FLANGE PERFORADO	CH. 1 1/2" ESP. 6 mm	ASTM A36	5.3
1	1	MANTO CONO	CH. ESPESOR 3.85 mm	ASTM A36	106.0
POS	QTD	DESCRIPCIÓN		MATERIAL	PESO (kg)
		TÍTULO: ADAPTADOR CARCASA 36" PARA SALIDA A MANGA Ø1200 MM			
		2023	DATA	NOME	CLIENTE:
		DES.	13.11	WALTER	COMPañIA MINERA ARQUEROS
		VER.	13.11	RAFAEL	CLIENTE TAG N°:
		APR.	13.11	FELIPE	P.V. N°:
					CN0155-04
		1º DIEDRO		ESCALA : 1:10	DOCUMENTO N°: JVA09CN0155
					REV 0
					FORMATO A3

Figura 1.1.4 Elementos que componen un adaptador a manga
Fuente Howden Chile

Se puede ver en el listado de fabricación figura 1.1.4 de un adaptador a manga los siguientes componentes que se solicitan como materia prima: Pos1: Manto de cono, Posición 2: Flange perforado, Posición 3: Barra Trefilada, Posición 4: Orejas laterales.

Ya teniendo identificada las cantidades, posiciones y dimensiones de la materia prima que se necesitan para fabricar un adaptador a manga el departamento de planificación puede realizar la solicitud de compra de materia prima, así se realiza con cada componente para saber específicamente que dimensiones y cantidades comprar y enviar la información al departamento de abastecimiento.

Silenciador de Entrada y Salida: Figura 1.1.5 Posición 2 y 9 del plano de arreglo general:

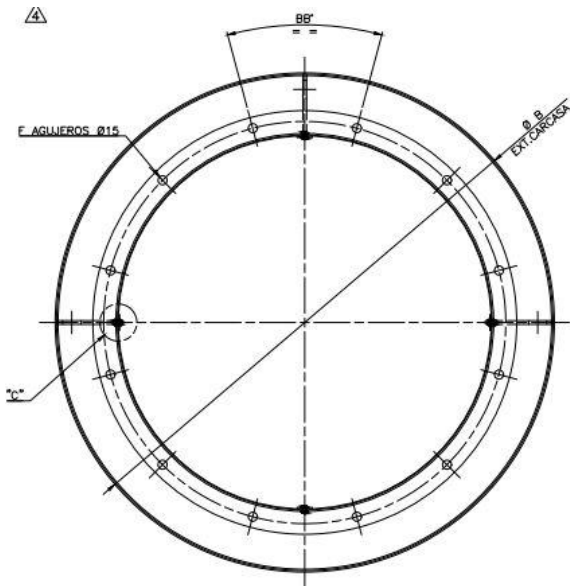


Figura 1.1.5 Silenciador
Fuente Howden Chile

Este componente es fundamental en los ventiladores ya que mitiga el ruido existente en el ventilador, generando disminución del ruido de los equipos de ventilación. Figura 1.1.5
Componentes de los silenciadores según su plano de fabricación HPP42M0007:

					PT
12	1	REMACHE POP	1/4"x3/8"	ALUMINIO	
11	4	PLETINA REFUERZO	PLET.#25x2xAA	ASTM A36	P10
10	1	TELA TNT 60 hasta 90 g/m²	0 x P	POLIPROPILENO	
9	1	LANA MINERAL	1 m³	64kg/m³	P9
8	6	OREJA DE IZAJE	98 x 44,5 x J	ASTM A36	P8
7	1	REFUERZO CENTRAL	Ø L x H	ASTM A36	P7
6	1	PLANCHA CON AGUJEROS	0 x P x 1,6	GALV.	P6
5	2	CARRETE DE LA CARCASA	Q x R x H	ASTM A36	P5
4	2	ANILLO CIERRRE	Ø L x H	ASTM A36	P4
2	2	BRIDA	T x V x J	ASTM A36	P2
1	1	CIERRE DE LA CARCASA	AA x N x H	ASTM A36	P1
POS	QTD	D E S C R I Ç Ã O	DIMENSÃO / N° DESENHO	MATERIAL	PESO (kg)
		TÍTULO: SILENCIADOR P/VAX – CHILE MODELO 1.0xDSN – 64KG/M3			
		2023	DATA	NOME	CLIENTE:
		DES.	23.01	RAFAEL	—
		VER.	23.01	MARCEL	CLIENTE TAG N°:
		APR.	23.01	FELIPE	—
		1° DIEDRO	ESCALA :	DOCUMENTO N°:	REV
			S/ESC	HPP42M0007	4
					FORMATO
					A1

Figura 1.1.6 Elementos que componen un silenciador
Fuente Howden Chile

Podemos ver en el listado de fabricación de los silenciadores según plano HPP42M0007 los siguientes componentes: Posición 1 : Carcasa Posición 2: Bridas Posición 4: Anillo de cierre. Posición 5: Carrete de carcasa. Posición 6: Plancha con agujeros. Posición 7: Refuerzo central. Posición 8: Orejas de izaje. Posición 9: Lana mineral. Posición 10: Tela TNT. Posición Posición 11: Pletina de refuerzo. Posición 12: Remaches Pop.

Carcasa del ventilador: Figura 1.1.9 Posición 5: Estructura principal del equipo donde va montado el conjunto girante (rotor) como también el motor eléctrico. Es fundamental el correcto control de fabricación en temas dimensionales como control de parámetros de soldaduras y END.

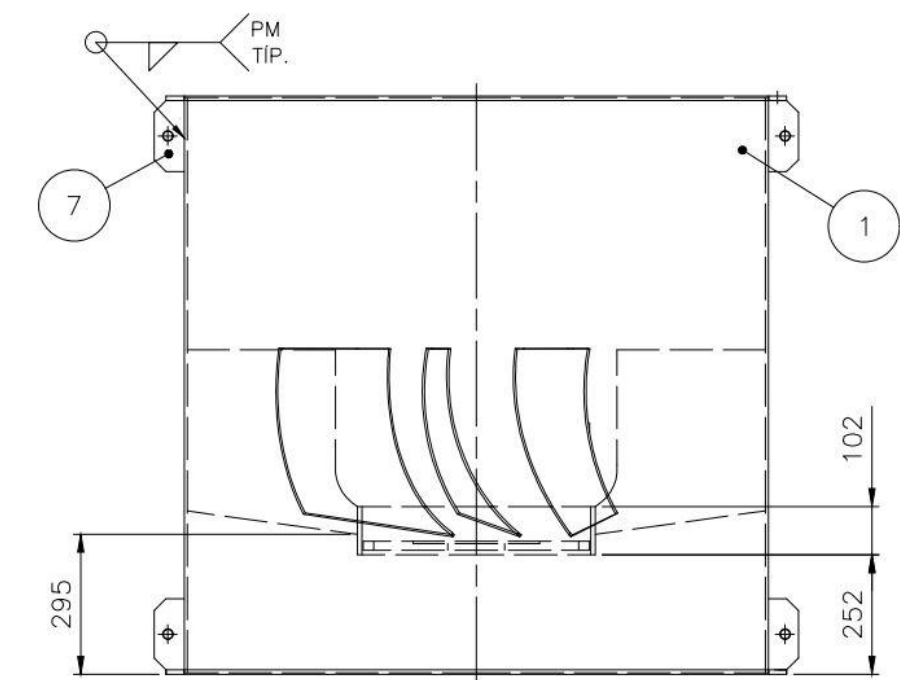


Figura 1.1.9 Carcasa del Ventilador
Fuente Howden Chile

					PT
8	2	OREJA DE IZAJE	PL.#16x100x150	ASTM A-36	2.6
7	4	SOPORTES	PL.#63.5x13x150	ASTM A-36	3.6
6	1	BRIDA	DIMENSIÓN BRIDA	ASTM A-36	PD
4	11	DIRECCIONAL CORTADO	JPP09M0414	ASTM A-36	PB
3	1	CARRETE	PL.#10x102x1545	ASTM A-36	11.8
2	1	DISCO SOPORTE MOTOR	JPP09M0390	ASTM A-36	22.0
1	1	CARCASA	DIMENSIÓN PLANCHAS	ASTM A-36	PA
POS	QTD	DESCRIPCIÓN	DIMENSIÓN / N° DISEÑO	MATERIAL	PESO (kg)
TÍTULO: CARCASA CUBO 2100 – CHILE VENT. VAX MOTOR 250 WEG Y ABLE					
2023		DATA	NOME	CLIENTE:	
DES.		19.01	RAFAEL	CLIENTE TAG N°:	
VER.		19.01	RAFAEL	P.V. N°:	
APR.		19.01	FELIPE		
ESTE DISEÑO E/OU PROJETO É DE NOSSA PROPRIEDADE, NÃO SENDO PERMITIDA QUALQUER TIPO DE CÓPIA, TOTAL OU PARCIAL, SEM COMO CESSÃO A TERCEIROS, SALVO COM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO, DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA.			1º DIEDRO	ESCALA : 1:15	DOCUMENTO N°: JPP08M0031
				REV 0	FORMATO A2

Figura 1.2.1 Componentes de la carcasa del ventilador
Fuente Howden Chile

Figura 1.1.9 de acuerdo con el plano de fabricación de carcasa JPP08M0031. Los elementos que componen la carcasa son los siguientes: Posición 1: Manto de Carcasa, Posición 2: Disco soporte motor,

Posición 3: Carrete, Posición 4: Direccionales cortadas. Posición 6: Brida, Posición 7 Soportes. Posición 8: Orejas de izaje. Todos estos elementos son solicitados como materia prima para la fabricación.

Rotor del Ventilador: Figura 1.2.2 Según plano de arreglo general las posiciones y elementos que componen el rotor son los siguientes:
Pos 6: Buje. Pos 7. Hub Pos 8 Aspas.

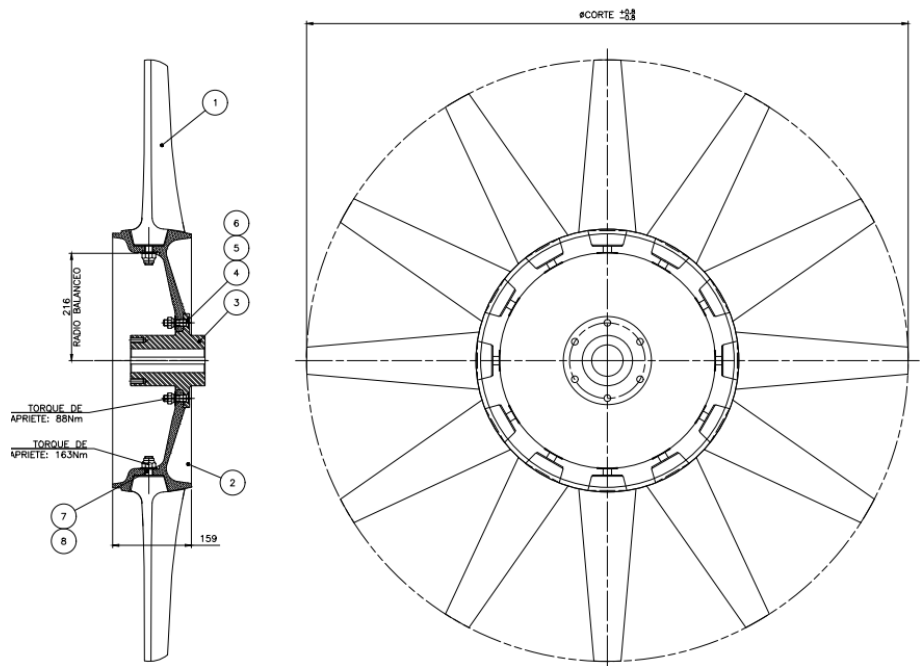


Figura 1.2.2 Rotor del Ventilador
Fuente Howden Chile

Figura 1.2.2 El plano del Rotor de los ventiladores hace referencia a los componentes utilizados para su fabricación según plano JPP02M0005:

					0.0
8	12	GOLILLA PLANA	A16 DIN125 FORMA A	ZINCADO	0.0
7	12	TUERCA PARLOCK	Ø5/8" UNF GR.5	ZINCADO	0.0
6	6	ARANDELA PLANA	A12 DIN125 FORMA A	ZINCADO	0.0
5	6	TUERCA PARLOCK ALTA	Ø1/2"UNC GR.8	ZINCADO	0.0
4	6	PERNO CAB.ESC.C/HEX.INT.	Ø1/2"UNCx2" GR.8	ZINCADO	0.0
3	1	BUJE		SAE 1045	0.0
2	1	HUB	21"	ALUMINIO	0.0
1	12	ASPA	VAX 2700	ALUMINIO	0.0
POS	QTD	DESCRIPCIÓN	DIMENSIÓN / N° DISEÑO	MATERIAL	PESO (kg)
		TÍTULO: RÓTOR – MONTAJE E CORTE VENT. VAX 2100 FB			
		2023	DATA	NOME	CLIENTE:
		DES.	17.02	L.POLI	CLIENTE TAG N°:
		VER.	17.02	MARCEL	—
		APR.	17.02	FELIPE	P.V. N°:
ESTE DISEÑO E/OU PROJETO É DE NOSSA PROPRIEDADE. NÃO SENDO PERMITIDA QUALQUER TIPO DE CÓPIA, TOTAL OU PARCIAL, SEM COMO CESSÃO A TERCEIROS, SALVO COM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO, DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA.		1º DIEDRO	ESCALA : 1:5	DOCUMENTO N°: JPP02M0005	REV 1 FORMATO A2

Figura 1.2.3 Elementos que componen el rotor
Fuente Howden Chile

Un rotor de un ventilador consta de lo siguiente: Posición 1: Aspas, Posición 2: Hub, Posición 3: Buje, Posición 4: Perno Hexagonal ½". Posición 5: tuerca parlock ½" Posición 6: Arandela plana A12 DIN 125, Posición 7: Tuerca parlock 5/8" Posición 8: Golilla plana A16 DIN 125.

A continuación, se representa la Figura 1.2.4 Posición 10: Cono de admisión:

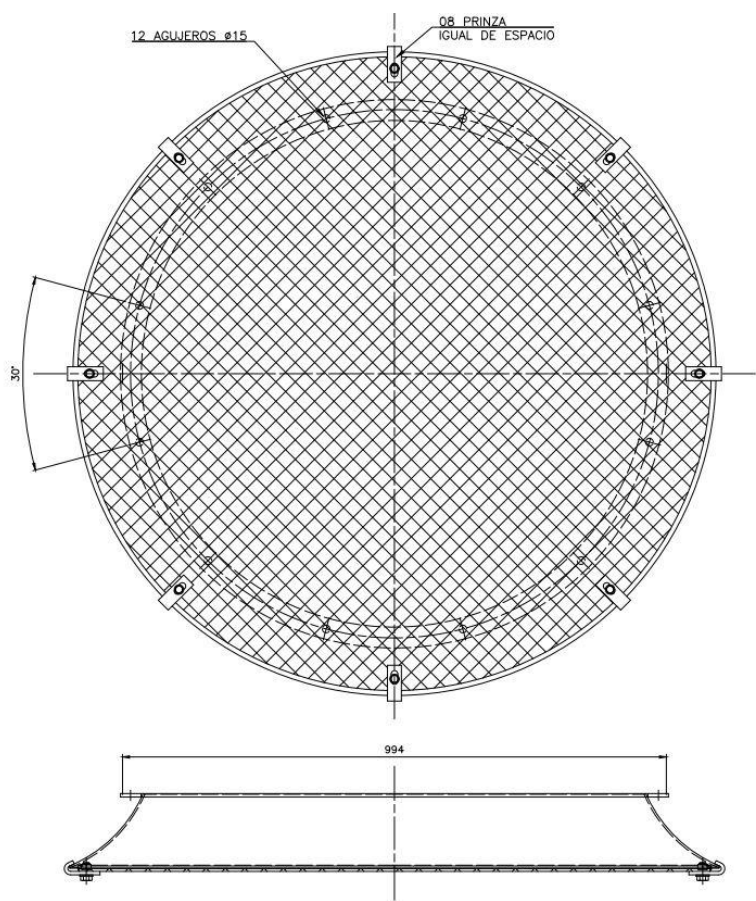


Figura 1.2.4 Cono de admisión de ventilación
Fuente Howden Chile

El cono de admisión de los ventiladores es un componente fundamental ya que cumple el rol de protección del rotor de cualquier material particulado que pueda ingresar al ventilador estando en funcionamiento, también protege a los usuarios del conjunto girante y previene incidentes.

					26.7
6	8	PERNO CAB. HEXAGONAL +TUERCA HEXAGONAL+ GOLILLA PLANA	M12x25 ISO-4017	ZINCADO	0.0
5	8	PRESILHA	BR.#25x6x86	ASTM A-36	0.8
4	1	BARRA.RED.	Ø6x3638	ASTM A-36	0.9
3	1	TELA MALHA 1" FIO 12	Ø1160	ZINCADO	3.7
2	1	BRIDA	PL.#38x6x3029	ASTM A-36	5.8
1	1	CONO	PL.#3x 2877x200	ASTM A-36	15.5
POS	QTD	DESCRIÇÃO	DIMENSÃO / Nº DESENHO	MATERIAL	PESO (kg)
		TÍTULO: CÓNO DE ADMISION CON TELA AXIVANE Y VAX CARÇA 36"			
		2023	DATA	NOME	CLIENTE:
		DES.	20.01	RAFAEL	CLIENTE TAG Nº:
		VER.	20.01	MARCEL	—
		APR.	20.01	FELIPE	P.V. Nº:
ESTE DESENHO E/OU PROJETO E DE NOSSA PROPRIEDADE, NÃO SENDO PERMITIDA QUALQUER TIPO DE CÓPIA, TOTAL OU PARCIAL, SEM COMO CESSÃO A TERCEIROS, SALVO COM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO, DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA.		1º DIEDRO	ESCALA : 1:5	DOCUMENTO Nº: JPP11M0029	REV 0 FORMATO A1

Figura 1.2.5 Elementos que componen el cono de admisión
Fuente Howden Chile

El plano de fabricación y componentes del cono de admisión es el plano JPP11M0029 en el cual contempla los siguientes componentes: Posición 1 Cono, Posición 2 Brida, Posición 3 Malla de protección, Posición 4 Barra trefilada, Posición 5 precintos de fijación, Posición 6 Perno Hexagonal

M12.

Desglosar cada componente de un plano para realizar la compra de la materia prima es un paso crucial en el proceso de planificación y ejecución de un proyecto, especialmente en trabajos de ingeniería o fabricación.

Las razones por las cuales es necesario hacer este desglose, teniendo en cuenta la posición en el plano, la cantidad de componentes y sus dimensiones:

- Precisión en la selección de materiales: Cada componente en el plano tiene características específicas que determinan el tipo de materia prima que se debe adquirir. Desglosar los componentes permite identificar con exactitud qué materiales son necesarios para cada parte del proyecto, ya sea metal, plástico, madera, etc. Este proceso asegura que no se compre material innecesario ni inadecuado.
- Optimización de la compra de materiales: Al conocer la cantidad exacta de cada componente y sus dimensiones, se pueden calcular de manera precisa las cantidades de materia prima requeridas. Esto previene el desperdicio de materiales y reduce los costos, ya que se compran solo las cantidades necesarias para la fabricación de los componentes.
- Evitar errores en la fabricación: Conocer la posición de cada parte en el plano ayuda a garantizar que los materiales se corten o modelen de acuerdo con las dimensiones correctas, evitando errores en la fabricación que puedan generar costos adicionales o retrasos en el proyecto.
- Control del inventario: Esto permite asegurar que siempre haya suficiente materia prima disponible en el momento adecuado.
- Mejor coordinación en el proceso de producción: La información detallada sobre los componentes permite una mejor coordinación entre los equipos de diseño, compras y producción.
- Cumplimiento de estándares y normativas: El desglose de componentes también asegura que todos los materiales adquiridos cumplan con las especificaciones requeridas en el plano, como resistencia, calidad y dimensiones, lo que garantiza el cumplimiento de normativas y estándares del proyecto como por ejemplo la AWS D1.1.

En resumen, desglosar cada componente de un plano es esencial para tener un correcto entendimiento sobre la materia prima que se debe adquirir, optimizando costos, asegurando calidad y precisión en la fabricación, y garantizando la correcta ejecución del proyecto dentro de los plazos establecidos.

1.9 MARCO PARA LA DEFINICIÓN DEL RCA.

Para abordar de manera estructurada el atraso en las entregas de los proyectos, este trabajo de título se enmarca en la metodología del análisis causa raíz, orientado a identificar las causas subyacentes que generan ineficiencias en la cadena de suministro.

El RCA no solo permite descubrir que ocurre, sino por qué ocurre y proporciona una base técnica para diseñar soluciones efectivas.

En este contexto, se analizarán las condiciones actuales de compra incluyendo los tiempos de entrega, procesos de solicitud, gestión de inventario y coordinación con los proveedores, con el fin de determinar cómo estos factores contribuyen al problema. La recopilación de datos se apoyará en registros históricos, entrevistas con personal clave de planificación y abastecimiento además de la observación directa del flujo de compras.

CAPÍTULO II: ANÁLISIS Y DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA RCA.

2.0 METODOLOGIA RCA

El El Análisis de Causa Raíz (RCA, por sus siglas en inglés) es un enfoque estructurado que permite identificar las causas fundamentales de problemas o eventos no deseados, con el fin de abordarlos de manera efectiva y evitar su recurrencia. El RCA busca descomponer el evento hasta llegar a las raíces subyacentes que lo originan.

Para el desarrollo de este trabajo, se utilizaron dos herramientas visuales complementarias: el flujograma del proceso y el Árbol de Fallas (FTA, Fault Tree Analysis). Ambas herramientas permiten representar gráficamente el funcionamiento del sistema y la secuencia lógica de fallos potenciales, facilitando así la identificación de las causas que afectan el proceso de adquisición de materia prima.

Según la norma internacional IEC 61025:2006 existen múltiples herramientas dentro del análisis causa raíz, como el diagrama de Ishikawa, los 5 porqués, el análisis de Pareto o los diagramas de dispersión. Sin embargo, el Árbol de Fallas fue seleccionado por las siguientes razones:

- Permite una descomposición jerárquica del problema, partiendo del evento principal hacia múltiples causas de forma estructurada y lógica.
- Es especialmente útil en sistemas complejos, como en la fabricación de ventiladores industriales, donde intervienen diversas variables técnicas, logísticas y humanas.
- A diferencia de otras herramientas más generales, el FTA visualiza las combinaciones de eventos que pueden generar una falla, utilizando puertas lógicas (AND, OR), lo que permite establecer relaciones causales precisas.
- Facilita la identificación de causas múltiples y simultáneas, lo que es clave en un entorno industrial donde una falla puede tener diversas fuentes interrelacionadas.
- Su enfoque cuantitativo permite combinar el análisis cualitativo con evaluación de riesgos, probabilidades o impactos, lo que resulta ideal para sustentar posteriormente un análisis técnico-económico de las propuestas.

De esta forma, el uso del Árbol de Fallas dentro de la metodología RCA entrega una mayor profundidad en la comprensión del problema y proporciona una base sólida para diseñar acciones correctivas con mayor impacto y viabilidad para la empresa Howden Chile SpA entregando una mayor profundidad en la comprensión del problema en comparación con herramientas más generales como los 5 porques o el diagrama de Ishikawa ya que no solo identifica causas individuales, sino que también permite analizar combinaciones de eventos y relaciones lógicas mediante puertas AND y OR. Esto proporciona una base mas solida para diseñar acciones correctivas de alto impacto y viabilidad.

Para identificar las causas de un evento se aplica el árbol de fallas diferenciando tres niveles causales.

Causas Físicas: Corresponden a fallas tangibles o técnicas que inciden directamente en la ejecución del proceso productivo. Estas son visibles y cuantificables, suelen relacionarse con los materiales, herramientas, equipos, o condiciones ambientales.

Causas Humanas: Se refieren a acciones u omisiones del personal que participan directa o indirectamente en el proceso. Estas causas pueden deberse a falta de conocimientos, errores de juicio, sobrecarga laboral o practicas operativas inadecuadas.

Causas Latentes o sistemáticas: Son factores organizacionales, de gestión o estructurales que

permanecen ocultos y predisponen al sistema a fallar. Estas causas no suelen manifestarse de forma inmediata, pero influyen en la aparición de fallas físicas o humanas.

Esta clasificación permite comprender el problema desde un enfoque técnico integral, reconociendo que una falla no responde únicamente a un error puntual, sino a la interacción de múltiples factores. Aplicar esta metodología proporciona una base sólida para diseñar medidas correctivas según indica la IEC 61025:2019 – Fault Tree Analysis.

2.1 FLUJOGRAMA DE LA METODOLOGÍA RCA BASADO EN ÁRBOL DE FALLAS:

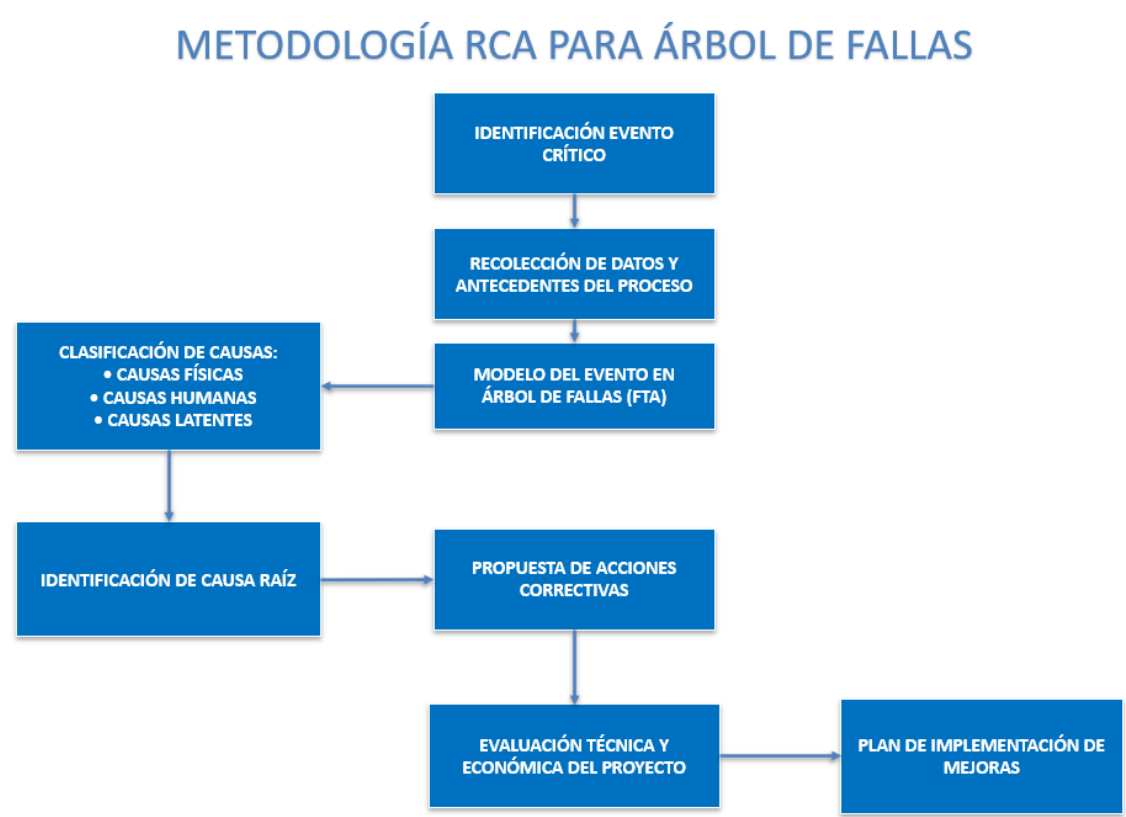


Figura 2.0 Flujoograma de la metodología RCA
Fuente: Elaboración Propia

2.3 ÁRBOL DE FALLAS

2.3.1 ¿Porque utilizar el árbol de fallas?

El árbol de fallas (FTA) es una técnica de análisis deductivo ampliamente utilizada en la ingeniería de sistemas, confiabilidad y gestión de riesgos, que permite modelar de forma estructurada las causas que pueden generar un evento no deseado dentro de un sistema productivo. Según la norma internacional IEC 61025:2019, el FTA se emplea para evaluar tanto la lógica de fallo como las combinaciones de eventos que contribuyen a un colapso del sistema.

El uso del árbol de fallas en contextos industriales ofrece diversas ventajas:

Visualización clara de relaciones causa-efecto: El FTA facilita la representación jerárquica de posibles causas de un problema, permitiendo entender como distintos eventos pueden interactuar para provocar una falla.

Enfoque sistemático y lógico: Esta metodología permite descomponer el problema principal en

subniveles más manejables, lo cual ayuda a evitar enfoques reactivos o parciales.

Prevención de recurrencias: Al centrarse en las causas raíz, el FTA no solo resuelve el problema puntual, sino que genera acciones preventivas sostenibles a largo plazo.

Identificación de fallos no evidentes: Gracias a su estructura jerárquica, es posible descubrir errores ocultos que no serían detectados por métodos superficiales como por ejemplo los 5 porqués el cual no identifica causas múltiples.

Análisis de riesgos y soporte en la toma de decisiones: el FTA permite cuantificar probabilidades y consecuencias, lo que fortalece los criterios para priorizar acciones correctivas o asignar recursos.

Base documentada y replicable: La documentación generada mediante FTA proporciona trazabilidad del análisis, útil para auditorías y la mejora continua.

Estas características hacen del árbol de fallas una herramienta clave en la mejora de procesos industriales, como en el caso de la fabricación de ventiladores axiales, donde interactúan múltiples factores técnicos, logísticos y organizacionales.

Estas ventajas se encuentran ampliamente documentadas en la literatura técnica. Como, por ejemplo:

Visualización clara de causas y efectos “El árbol de fallas es una técnica que muestra la relación lógica entre fallas y eventos contribuyentes, permitiendo modelar estructuras complejas” (Vesely et al. 1981, Fault tree Handbook)

Enfoque sistemático y organizado “La norma IEC 61025:2006 establece que el FTA proporciona un método estructurado para descomponer un evento no deseado en causas básicas.

Prevención de problemas futuros “el FTA no solo explica las fallas pasadas, sino que ayuda a anticipar a prevenir fallos potenciales mediante la identificación de combinaciones de eventos” (Kumar, 2019)

Identificación de fallos no evidentes “El análisis lógico mediante puertas AND/OR permite descubrir relaciones no triviales que no aparecen en herramientas cualitativas simples (ISO 31010:2019)

Análisis de riesgos y soporte de decisiones “según la ISO 31010:2019, el árbol de fallas se clasifica como una técnica cuantitativa de gestión de riesgos, útil para estimar probabilidades y priorizar acciones correctivas.

Documentación clara “El diagrama resultante de FTA constituye un riesgo formal del análisis, que puede reutilizarse en auditorías y procesos de mejora continua” (Vesely et al. 1981)

2.3.2 Características del árbol de fallas (FTA)

El árbol de fallas (FTA) es una metodología estructurada y visual que permite analizar las causas raíz de un evento no deseado, facilitando la toma de decisiones en contextos industriales. Su aplicación se basa en una representación jerárquica del problema, donde el evento principal se sitúa en la parte superior del análisis y a partir de él se descomponen sus causas en diferentes niveles. Este enfoque permite organizar y clasificar las causas en físicas, humanas y organizacionales otorgando una visión integral del sistema.

El FTA estructura el análisis desde el efecto hacia sus posibles causas, permitiendo representar visualmente cómo se desarrolla un fallo. El evento principal se coloca en la parte superior y las causas se despliegan hacia abajo, facilitando la identificación de todos los factores involucrados.

Esta estructura ayuda a comprender cómo las causas físicas (fallos técnicos o materiales), causas humanas (errores o acciones del personal) y causas organizacionales (gestión o comunicación) interactúan para provocar una falla.

Una de las fortalezas del FTA es que permite descomponer el sistema en unidades más pequeñas, abordando cada causa según su naturaleza. También facilita la toma de decisiones ya que además de identificar el fallo, refleja porque ocurrió y donde se origino el problema, esta claridad es clave para priorizar acciones correctivas según el tipo de causa.

Gracias a su enfoque estructurado, el FTA se convierte en una herramienta de referencia documentada que permite analizar eventos pasados y planificar acciones preventivas futuras. Además, su aplicación facilita auditorías, evaluación de riesgos y seguimiento a las medidas correctivas, generando evidencia útil para la gestión de calidad.

2.3.3 Pasos básicos para realizar un análisis causa raíz con árbol de fallas

Como definir un fallo: “término de la capacidad de un ítem para realizar la función requerida” (IEC 60050-191 International Electrotechnical Vocabulary)

- Definir el problema:
 - Inicio del análisis: Determinar claramente cuál es el fallo o el evento que se estará analizando. Este evento debe ser el objetivo principal del árbol de fallas, y suele colocarse en la parte superior del diagrama.

- Identificar los eventos inmediatos que contribuyen al problema:
 - A continuación, se identifican los eventos que directamente contribuyen a que ocurra el fallo principal.
En esta etapa es clave diferenciar si la causa es física, humana u organizacional:
Física: Corte de pieza mal dimensionado, falla en maquinaria.
Humana: Operador sin experiencia, error en interpretación de planos.
Organizacional: Mala planificación, falta de stock de materiales.

- Descomponer las causas en niveles inferiores.
 - Cada evento identificado se sigue desglosando hasta alcanzar un nivel de detalle suficiente para identificar la causa raíz.

- Evaluar la probabilidad e impacto de las causas:
 - Para cada causa identificada se evalúa su probabilidad de ocurrencia y su impacto. Esta etapa es fundamental para priorizar las acciones correctivas.
 - Las causas organizacionales suelen ser más difíciles de detectar, pero su impacto sistémico es elevado.
 - Las causas humanas son frecuentes y pueden ser mitigadas con formación y control.
 - Las causas físicas pueden ser controladas mediante mantenimiento y tecnología.

- Identificar las causas raíz:
 - Una causa raíz es aquella que, si se elimina, previene la ocurrencia del evento principal.
Se identifican según su origen:
 - Causa Física raíz.
 - Causa Humana raíz.
 - Causa Organizacional raíz.

- Desarrollar soluciones correctivas y preventivas:
 - En base al análisis del árbol se diseñan medidas correctivas específicas para cada tipo de causa.
- Documentar el análisis y comunicar los resultados:
 - El árbol de fallas, las causas raíz y las acciones deben ser documentadas en forma clara. Lo cual permite:
 - Seguimiento de mejoras.
 - Retroalimentación al equipo.
 - Uso como material de referencia para auditorías o futuras investigaciones.

2.3.1 Simbología FTA.

El árbol de fallas utiliza un conjunto estandarizado de símbolos gráficos que permiten representar de manera lógica y estructurada las relaciones de causa-efecto entre eventos que pueden provocar una falla en un sistema. Estos símbolos son fundamentales para garantizar que el análisis sea claro, replicable y comprensible.

La simbología empleada en FTA se basa en los principios del álgebra de Boole, lo que permite modelar el comportamiento de los sistemas mediante operadores lógicos. En este contexto:

La compuerta AND representa la ocurrencia conjunta de eventos.

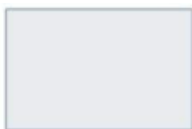
La compuerta OR representa la ocurrencia de uno o varios eventos alternativos.

Los eventos básicos y el evento superior permiten identificar el inicio y los límites del análisis.

1 evento Superior (Top Event)

Símbolo: Rectángulo

Descripción: Representa la falla principal que se desea analizar en el sistema. Es el punto de partida al árbol de fallas. Todo el análisis busca descomponer este evento en causas mas simples.



2 evento Básico (Basic Event)

Símbolo: Circulo

Descripción: Representa una causa primaria o falla que no se descompone mas en el análisis. Se asume como condición de entrada al sistema.



Compuerta AND (Y Lógico)

Símbolo: Triangulo apuntando hacia arriba.

Explicación con álgebra de Boole: El evento superior ocurre si todas las entradas ocurren simultáneamente.



Compuerta OR (O Lógico)

Símbolo: Figura curva (similar a un arco)

Explicación con álgebra de Boole: El evento superior ocurre si al menos una de las entradas ocurre.



Evento inconcluso y/o no desarrollado.

Símbolo: Diamante o rombo.

Explicación con álgebra de Boole: Demanda profundizar más información.



Evento condicionante.

Símbolo: Ovalo.

Explicación con álgebra de Boole: Representa un evento condicionante que da a lugar solo bajo una secuencia de sucesos excluyentes, de tal modo que si falta este componente o se presenta a destiempo la condición no se cumple.



Evento externo condicionante.

Símbolo: Pentágono.

Explicación con álgebra de Boole: Representa un evento externo condicionante, ajeno al ciclo.



2.4 CAUSAS ASOCIADAS A LA PRODUCCIÓN DE VENTILADORES AXIALES:

TOP EVENT:

- Atraso en la entrega de ventiladores axiales al cliente.

En esta etapa, no se asume una causa determinada para el retraso en la entrega de los ventiladores. A través del análisis causa raíz mediante el árbol de fallas, se pretende identificar progresivamente las causas físicas, humanas y organizacionales que explican el evento no deseado.

Causas principales:

- Causas Físicas:

Fallas en la maquinaria de producción: Equipos detenidos por falta de mantenimiento.

Deficiencia en materiales o componentes: Recepción de piezas defectuosas, materiales entregados con propiedades técnicas diferentes a lo solicitado.

Errores en el proceso de fabricación: Tolerancias no cumplidas, defectos de calidad en productos.

- Causas Humanas:

Errores de operarios en fabricación o montaje: Fallos al interpretar planos o especificaciones.

Falta de experiencia o formación técnica.

Falla en el control de calidad: Inspección deficiente que no detecta desviaciones.

Omisiones de procedimientos: No cumplimiento de checklist o secuencias de montaje.

- Causas Organizacionales: Retraso en la llegada de materia prima: Proveedores con problemas de producción.

Mala programación de órdenes de compra.

Inventario desactualizado.

Deficiencia en la planificación de producción: No considerar tiempos de entrega realistas.

Falta de sincronización entre área de compras, producción y logística.

Comunicación inefectiva de áreas: Instrucciones incompletas o contradictorias.

No retroalimentar desviaciones a tiempo.

2.4.1 Desglose de los factores que afectan al retraso en la entrega:

1. Problemas en el diseño del ventilador (puerta OR)

- Errores en los cálculos de rendimiento: Diseño incorrecto de las aspas, el ángulo de las aspas o el diámetro del ventilador.
- Deficiencias en la aerodinámica: Diseño que no optimiza el flujo de aire o crea turbulencias que afectan el rendimiento.
- Inadecuado análisis de vibraciones: Desbalance en el diseño que lleva a una vibración excesiva, causando fallos en el funcionamiento.

2. Problemas en los materiales utilizados (puerta OR)

- Materiales de baja calidad: Utilización de materiales con propiedades mecánicas

inadecuadas, como baja resistencia a la fatiga o corrosión.

- Falta de control en las tolerancias: Desviación de las especificaciones de los materiales, como grosor o resistencia, que afecta la vida útil o el rendimiento.
- Contaminación de materiales: Ingreso de impurezas o defectos en los materiales (por ejemplo, aleaciones incorrectas o contaminación durante el proceso de fabricación).

3. Problemas en el proceso de fabricación (puerta OR)

- Errores en el montaje: Ensamblaje incorrecto de las partes del ventilador, como las palas, el motor, los rodamientos, etc.
- Soldaduras o uniones defectuosas: Falta de soldaduras de calidad o uniones mal realizadas que afectan la resistencia y durabilidad del producto final.
- Desviación en las tolerancias de fabricación: Inexactitudes en las medidas de las piezas, lo que podría llevar a un mal funcionamiento (por ejemplo, ventiladores desbalanceados).
- Defectos en el proceso de balanceo: El ventilador no está balanceado correctamente, lo que genera vibraciones que pueden provocar fallos en los componentes.

4. Fallas en la maquinaria o equipo de producción (puerta OR)

- Mantenimiento insuficiente de maquinaria: La falta de mantenimiento de las máquinas utilizadas en la producción puede generar fallos en el proceso (por ejemplo, herramientas desgastadas o maquinaria desajustada).
- Desajuste en los parámetros de la máquina: La máquina no está calibrada adecuadamente, lo que puede producir piezas defectuosas (por ejemplo, piezas mal cortadas, dobladas o mecanizadas).
- Paradas imprevistas de la maquinaria: Fallos en la maquinaria que interrumpen el proceso de producción, lo que genera demoras y posibles errores en la producción.

5. Errores humanos (puerta OR)

- Falta de capacitación: Los operarios no están adecuadamente capacitados en el proceso de fabricación o en el uso de las máquinas, lo que puede provocar errores en el ensamblaje o en el manejo de la maquinaria.
- Errores en la inspección de calidad: No se detectan fallos de calidad a tiempo durante el proceso de fabricación o inspección final.
- Desviaciones en el proceso debido a falta de seguimiento: La supervisión inadecuada de los procesos o el no seguir las instrucciones establecidas puede llevar a la producción de ventiladores defectuosos.

2.4.2 Retraso o fallo en la entrega de ventiladores axiales:

1. Problemas con los proveedores:

- Retrasos en la producción del proveedor: Los proveedores no entregan a tiempo debido a problemas en su propio proceso productivo.
- Falta de disponibilidad de materiales en el proveedor: Los proveedores no pueden cumplir con el pedido debido a la falta de existencias o escasez de materias primas.
- Errores en la planificación del proveedor: Mala previsión en la programación de entregas,

lo que causa incumplimiento en las fechas acordadas.

- Problemas logísticos del proveedor: Dificultades de transporte o distribución que impiden que los materiales lleguen a tiempo.

2. Problemas logísticos en el transporte:

- Retrasos en el transporte: El transporte utilizado para la entrega de la materia prima tiene demoras debido a problemas en la carretera, accidentes, o mal clima.
- Falta de coordinación en el transporte: El transporte no está adecuadamente coordinado entre el proveedor y la empresa, lo que genera retrasos.
- Problemas en la aduana: En el caso de la materia prima importada, los trámites aduaneros pueden generar retrasos en la llegada de los materiales.

3. Problemas de comunicación:

- Errores en la comunicación de pedidos: Fallos en la transmisión de la orden de compra o en la actualización de cantidades y fechas de entrega entre la empresa y el proveedor.
- Descoordinación entre departamentos internos: El equipo de compras no coordina adecuadamente con el equipo de producción o almacén, causando desajustes en la programación y en las expectativas de entrega.

4. Problemas de planificación interna:

- Errores en la previsión de demanda: La empresa no calcula correctamente la cantidad de materia prima que necesitará, lo que lleva a solicitarla tarde o en cantidades incorrectas.
- Falta de control en el inventario: El control del inventario es inadecuado, lo que genera un pedido tardío o incorrecto de la materia prima.
- Mala programación de órdenes de compra: Las órdenes de compra no se emiten con tiempo suficiente, lo que provoca demoras en la llegada de los materiales necesarios.

5. Factores externos imprevistos:

- Desastres naturales o eventos imprevistos: Eventos como huelgas, desastres naturales (huracanes, terremotos, inundaciones) u otras situaciones inesperadas que interrumpen el flujo normal de la materia prima.
- Crisis económicas o políticas: Cambios en las condiciones económicas o políticas (por ejemplo, guerras, sanciones comerciales) que afectan la cadena de suministro de materiales.

Utilizando el Árbol de Fallas, se puede identificar de manera sistemática y jerárquica las causas fundamentales que pueden estar generando el retraso en la llegada de la materia prima. Este análisis permite implementar soluciones más específicas en cada área: desde la gestión de proveedores y la mejora de la comunicación, hasta optimizar la planificación interna y abordar los problemas logísticos o externos.

2.5 IMPLEMENTACIÓN DE MATRIZ DE RIESGO:

Utilizar una matriz de riesgo en la identificación de problemas es fundamental porque permite priorizar los riesgos de manera estructurada y visual, lo que facilita la toma de decisiones y la asignación de recursos combinándola con el análisis causa raíz. El RCA permite identificar los problemas y las causas raíz, la matriz de riesgo permite evaluar estos problemas identificados asignando una probabilidad de ocurrencia y el impacto potencial, facilitando la priorización de los posibles riesgos. Esta combinación proporciona una visión donde no solo se identifican las causas si no también cual debe abordarse primero de acuerdo con su criticidad según la norma ISO 31010:2019, ISO 31000:2018.

Algunos beneficios de las metodologías utilizadas son:

1. Priorización de los riesgos:

- Identificación de los riesgos más críticos: La matriz de riesgo permite clasificar los problemas según su probabilidad de ocurrencia y gravedad de las consecuencias. Esto ayuda a enfocarse en los riesgos que tienen el mayor impacto potencial, permitiendo una gestión más eficiente.
- Facilita la toma de decisiones: Al colocar los riesgos en una matriz (generalmente en una escala de baja a alta probabilidad y baja a alta severidad), se facilita la identificación de aquellos que requieren atención inmediata y aquellos que pueden manejarse a largo plazo.

2. Visualización clara de los riesgos:

- Representación gráfica: La matriz de riesgo es una herramienta visual que permite ver rápidamente en qué zona se encuentran los diferentes riesgos. Esto ayuda a todos los involucrados a entender la magnitud y la urgencia de los problemas en una sola vista.
- Facilita la comunicación: Al ser visual, la matriz facilita la comunicación entre los miembros del equipo y otros interesados, ya que todos pueden ver de manera clara y comprensible cuáles son los problemas más importantes y las acciones que deben tomarse.

3. Evaluación del riesgo de manera objetiva:

- Sistema estructurado de evaluación: La matriz de riesgo utiliza criterios específicos para evaluar tanto la probabilidad de que ocurra un evento como las consecuencias de ese evento. Esto ayuda a evitar decisiones impulsivas o subjetivas basadas en la intuición, proporcionando una base más objetiva para la gestión de los riesgos.
- Consistencia en la evaluación: Al seguir una estructura definida, se puede aplicar el mismo enfoque a diferentes problemas o situaciones, lo que facilita comparaciones y consistencia en el proceso de toma de decisiones.

4. Identificación de acciones correctivas y preventivas:

- Enfoque en las medidas adecuadas: Al priorizar los riesgos más altos (es decir, los de alta probabilidad y alto impacto), la matriz permite focalizarse en aquellos problemas que requieren intervención inmediata, mientras que los de bajo riesgo pueden recibir atención más tarde o ser monitorizados con menos urgencia.
- Gestión de recursos: Los recursos, como tiempo, dinero y esfuerzo, se pueden asignar de manera más eficiente, concentrándose en los problemas más críticos que representan una amenaza mayor para la organización o el proyecto.

5. Fomenta la proactividad en la gestión de riesgos:

- Prevención antes que corrección: Utilizar una matriz de riesgo ayuda a identificar los problemas antes de que ocurran o en sus primeras etapas. Esto permite implementar medidas preventivas que reducen la probabilidad o el impacto de los riesgos.
- Desarrollo de planes de contingencia: Al identificar los riesgos con más probabilidad de ocurrir o con mayor impacto, la matriz permite desarrollar planes de contingencia adecuados para hacer frente a esos riesgos si se materializan.

6. Mejora la gestión de proyectos y la planificación

- Apoyo en la planificación de proyectos: En proyectos complejos, identificar los riesgos de manera temprana y priorizarlos con una matriz de riesgo ayuda a planificar mejor las actividades y a ajustar las expectativas del proyecto. Esto incluye asignar tiempo, presupuesto y recursos adecuados para abordar los riesgos más graves.
- Seguimiento de riesgos: Una vez que se han identificado y priorizado los riesgos, la matriz facilita el seguimiento continuo de los riesgos a lo largo del proyecto, permitiendo hacer ajustes si los riesgos cambian de prioridad.

7. Facilita la identificación de oportunidades de mejora

- Detección de áreas vulnerables: Al analizar los riesgos de manera detallada, la matriz no solo ayuda a mitigar los problemas, sino que también permite identificar oportunidades para mejorar procesos, sistemas o prácticas dentro de la organización o el proyecto.
- Refuerzo de la cultura de gestión de riesgos: Al incorporar la matriz de riesgo como una herramienta común en la gestión de problemas, se promueve una cultura de conciencia de riesgos dentro de la organización.

La matriz de riesgo proporciona una herramienta efectiva para identificar, evaluar, priorizar y gestionar riesgos de manera clara, estructurada y objetiva. Al hacerlo, permite centrarse en los riesgos más importantes, tomar decisiones informadas, asignar recursos de manera eficiente, y, en última instancia, mejorar la capacidad de la organización para manejar problemas y minimizar los impactos negativos en sus proyectos o actividades.

2.5.1 Matriz de riesgos relacionada al atraso en la entrega de ventiladores axiales:

Paso 1: Identificar el problema o causa raíz:

- En este caso, la causa raíz que se está analizando es la llegada de materia prima para la fabricación de ventiladores axiales. Es fundamental entender qué problemas pueden surgir a partir de este proceso.
- Posibles problemas relacionados con la llegada de materia prima pueden incluir:
 - Retrasos en el suministro de materia prima.
 - Calidad deficiente de la materia prima.
 - Falta de cantidades suficientes de materia prima.
 - Errores en la documentación de pedidos o entregas.
 - Factores externos.

Paso 2: Identificar los riesgos asociados a la causa raíz:

- Para cada posible problema relacionado con la llegada de materia prima, identifica los riesgos que podrían derivarse de ello. Aquí algunos ejemplos de retrasos en la llegada de materia prima:
 - Riesgo: Paradas en la producción por falta de material.
 - Consecuencia: Aumento de tiempos de entrega a los clientes finales.
 - Calidad deficiente de la materia prima:
 - Riesgo: Fallos en los ventiladores producidos.
 - Consecuencia: Necesidad de retrabajo y desperdicio de materiales.
 - Falta de cantidades suficientes de materia prima:
 - Riesgo: Reducción en la capacidad de producción.
 - Consecuencia: Costos adicionales por compras urgentes de última hora.
 - Errores en la documentación de pedidos o entregas:
 - Riesgo: Confusión sobre el tipo de materia prima recibida.
 - Consecuencia: Aumento de costos por devoluciones y errores en el inventario.

Paso 3: Evaluar la probabilidad y el impacto de cada riesgo:

- Para cada riesgo identificado, se evalúan dos factores.
 - Probabilidad de ocurrencia: ¿Qué tan probable es que ocurra este riesgo?
 - Impacto: ¿Qué tan grave sería el efecto de este riesgo en la producción, los costos o la calidad?

Paso 4: Construir la matriz de riesgo:

- Una vez que tengas la evaluación de cada riesgo en términos de probabilidad e impacto, se organizan estos riesgos en una matriz de riesgo. Esta herramienta se utiliza para evaluar, categorizar y priorizar.

2.5.1 Criterios de evaluación para una matriz cualitativa de riesgos:

2.5.1.0 Impacto de seguridad y medio ambiente: Se enfoca principalmente en evaluar los posibles sucesos que puedan causar sobre las personas o al medio ambiente.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
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 2.1 Impacto en seguridad ambiente higiene

Fuente: IngeCon.

2.5.1.1 Flexibilidad Operacional (FO):

Es la posibilidad de realizar un cambio de forma ágil para continuar con la producción sin la necesidad de acudir en costos o perdidas considerables.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
criticidad= FF x (IO X FO) + CM + SHA	
Flexibilidad Operacional (FO)	
No existe opción de servicio y no hay funcion de repuesto	7
Hay opción de repuesto compartido	5
Función de repuesto disponible	3
El repuesto no es aplicable	1

Tabla 2.2 Flexibilidad Operacional

Fuente: IngeCon.

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

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
criticidad= FF x (IO X FO) + CM + SHA	
Coste de Mantenimiento (CM)	
Mayor a \$1.000.000	5
Entre \$500.000 a \$1.000.000	3
Menor a \$ 500.000	2

Tabla 2.3. Coste de mantenimiento

Fuente IngeCon.

2.5.1.3 Frecuencia de fallos (FF): Número de veces que se repite un evento.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
criticidad= FF x (IO X FO) + CM + SHA	
Frecuencia de Fallos (FF)	
Mala: Mayor a 41 a 60 Fallos/año	8
Promedio: Entre 21 y 40 fallos/año	6
Buena: Entre 11 y 20 fallos/año	4
Excelente: Entre 0 a 10 fallo/año	2

Tabla 2.4 Frecuencia de fallos

Fuente IngeCon.

2.5.1.4 Impacto Operacional (IO): Efectos causados en la producción.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
criticidad= FF x (IO X FO) + CM + SHA	
Impacto Operacional (IO)	
Parada inmediata del servicio (taller)	10
Parada del proceso	6
Impacta en niveles de producción o calidad	4
Repercute en costes operacionales asociados a indisponibilidad	2
No genera ningun efecto significativo sobre gastos operacionales	1

Tabla 2.4 Impacto Operacional.

Fuente IngeCon.

2.5.1.5 Matriz de riesgos

FRECUENCIA	10	100	200	300	400	500	600	700	800
	9	90	180	270	360	450	540	630	720
	8	80	160	240	320	400	480	560	640
	7	70	140	210	280	350	420	490	560
	6	60	120	180	240	300	360	420	480
	5	50	100	150	200	250	300	350	400
	4	40	80	120	160	200	240	280	320
	3	30	60	90	120	150	180	210	240
	2	20	40	60	80	100	120	140	160
	1	10	20	30	40	50	60	70	80
		10	20	30	40	50	60	70	80
CONSECUENCIA									

(Matriz de riesgos - Fuente: IngeCon)

	No crítico
	Semi crítico
	Crítico

(Referencia Criticidad Matriz de riesgos

Fuente: IngeCon,)

2.5.1.6 Análisis cuantitativo de riesgos.

MATRIZ DE RIESGO CUANTITATIVA					
	RIESGO	PROBABILIDAD (1-5)	IMPACTO (1- 5)	NIVEL DE RIESGO (PXI)	CATEGORÍA DE RIESGO
1	PARADA DE PRODUCCIÓN POR FALTA DE MATERIAL	5	5	25	CRÍTICO
2	FALLO EN VENTILADORES POR MALA CALIDAD	4	4	16	CRÍTICO
3	REDUCCIÓN DE CAPACIDAD POR CANTIDADES INSUFICIENTES	3	4	12	SEMI CRÍTICO
4	ERRORES DE DOCUMENTACIÓN DE PEDIDOS	2	3	6	NO CRÍTICO
5	DEMORA POR PROBLEMAS LOGISTICOS	4	4	16	CRÍTICO

Tabla 2.5 Matriz de Riesgo Cualitativa.

Fuente IngeCon.

2.6 APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE MEJORA CONTINUA.

En coherencia con los principios de mejora continua (Kaizen y ciclo PHVA), se plantea una revisión sistemática del proceso de abastecimiento, donde cada acción correctiva propuesta será monitoreada y evaluada mediante indicadores clave (KPI). La mejora continua se refleja en la implementación de controles de inventario más precisos, automatización de procesos de compra y retroalimentación contante entre planificación y proveedores.

CAPITULO III: EVALUACIÓN TECNICO-ECONOMICA.

3.0 DESARROLLO DE ARBOL DE FALLAS

3.1 Análisis Causa Raíz utilizando el Método Árbol de Fallas (Fault Tree Analysis - FTA)

El Árbol de Fallas (FTA) evidencia que el evento crítico principal corresponde al atraso en la llegada de la materia prima, considerando tanto una falla física por la ausencia tangible del insumo en el momento requerido como también una falla latente, dado que su origen se encuentra en deficiencias de planificación, gestión de proveedores y problemas logísticos. Este nodo central es el de mayor criticidad, ya que condiciona de manera directa el cumplimiento de los plazos de producción y la entrega de ventiladores axiales.

Dentro de las causas latentes y humanas que originan este evento se identificaron fallas en la previsión de la demanda y materia prima, catalogadas como humanas y latentes por su dependencia de la correcta planificación y control. Asimismo, se reconocieron problemas proveedores y problemas logísticos, ambos calificados como fallas latentes, al ser deficiencias en la cadena de suministro. También se detectó un seguimiento insuficiente al proceso y errores humanos en el control de pedidos, los cuales refuerzan la criticidad de la gestión deficiente en la etapa de abastecimiento. Como consecuencias directas del atraso en la llegada de materia prima la causa raíz de las fallas se identificaron fallas físicas tales como la parada de maquinaria por falta de insumos, la recepción de piezas no conformes y la fabricación de piezas defectuosas, que afectan de manera significativa la calidad y continuidad del proceso productivo. De forma complementaria, también se presentan fallas latentes, como el diseño deficiente de piezas y fallas humanas como errores de montaje o fallas de operarios en la ejecución de tareas.

Este análisis evidencia que si bien existen múltiples causas distribuidas entre factores humanos, físicos y latentes, todas convergen en el evento raíz del sistema el atraso en la llegada de materia prima. Dicho evento debe ser considerado prioritario en la propuesta de plan de mejora ya que su control y mitigación permiten reducir la probabilidad de fallas asociadas, optimizar la planificación y fortalecer la confiabilidad en la cadena de suministros

1. Evento no deseado (Top Event):

- Retrasos en las entregas de ventiladores axiales a los clientes, el cual impacta directamente en el cumplimiento de compromisos con los clientes, generando pérdida de confianza, mayores costos y riesgos para la continuidad operacional.

2. Causas principales (Puerta OR):

- Causa 1: Atrasos en la producción (rama operacional).
- Causa 2: Atrasos en planificación (rama de gestión).

Ambas derivaciones tienen un punto en común: la dependencia del suministro oportuno de materia prima.

3. Causas secundarias (Puerta OR)

- Atrasos en la producción:
 - Subcausa 1: Falla en la maquinaria (Físico).
 - Subcausa 2: Recepción de piezas no conformes (Físico/Latente).
 - Subcausa 3: Pieza mal diseñada (Latente) (Error de Ingeniería).

- Subcausa 4: Errores de montaje (Humano) (Capacitaciones insuficientes o descuidos en el montaje).
- Subcausa 5: Errores de operarios (Humano)

Estas fallas muestran que cuando la materia prima no esta disponible a tiempo o no cumple con las especificaciones técnicas y de calidad correspondientes, la producción se detiene o genera productos defectuosos que se vuelven no conformes durante el proceso.

- Atrasos en la planificación:

- Subcausa 1: Falla en la gestión de abastecimiento y coordinación logística.
- Subcausa 2: Mala previsión de demanda (Humano/Latente).
- Subcausa 3: Mala previsión de materia prima (Humano/Latente).
- Subcausa 4: Problemas con proveedores (Latente) (Externo a la organización, pero recurrente)
- Subcausa 5: Problemas logísticos (Latente) (Transporte, aduanas, almacenamiento).
- Subcausa 6: Seguimiento insuficiente del proceso (Latente)
- Subcausa 7: Error humano.

Todas estas subcausas convergen en el mismo resultado: el atraso de la llegada de materia prima.

Causa raíz: Atraso de la llegada de materia prima. El análisis demuestra que tanto los atrasos en la producción como los atrasos en la planificación se relacionan directamente con esta falla.

Clasificación física y latente al no disponer del insumo y la deficiencia en la gestión de compras.

Criticidad muy alta ya que se repite en ambas ramas del árbol de fallas.

El atraso en la llegada de materia prima constituye la causa raíz critica dentro del sistema de fallas.

Desde el punto de vista del árbol de fallas, este evento es la falla principal donde convergen múltiples causas físicas, humanas y latentes.

Según el enfoque de álgebra de Boole el evento superior (Top evento) se activa si ocurre el atraso en la llegada de materia prima OR cualquiera de las fallas dependientes que lo alimentan. Esto significa que, aunque existan múltiples fallas distribuidas, todas se concentran en este punto lo que convierte en el punto principal de mejora.

FAULT TREE ANALYSIS

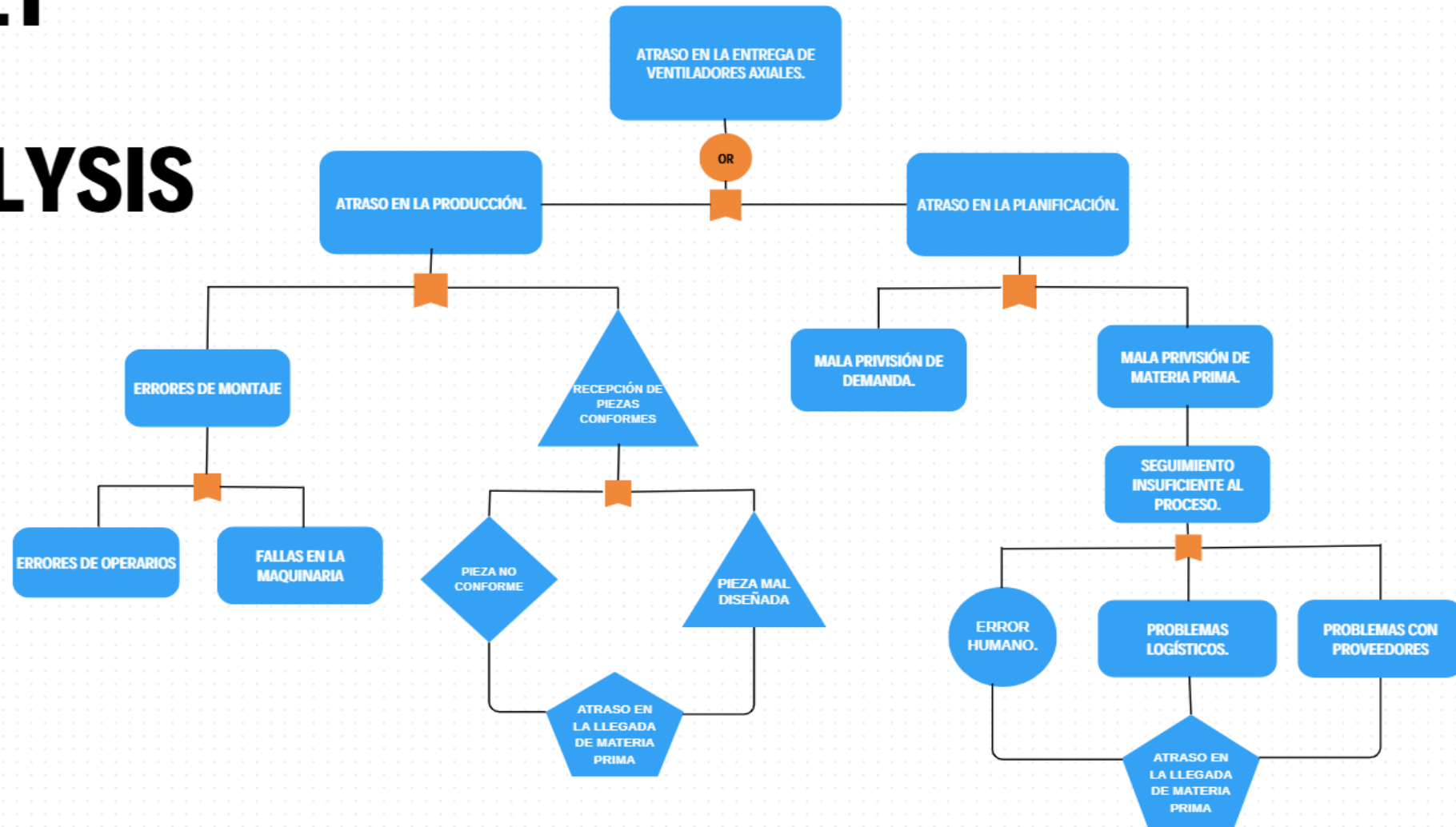


Figura.3.0: árbol de fallas
Fuente: Elaboración propia

3.2 DISEÑO DE PROPUESTAS:

En la industria de fabricación, uno de los retos más comunes es asegurar la disponibilidad oportuna de materia prima para cumplir con los plazos de producción establecidos. Las demoras en la adquisición de materiales y su posterior procesamiento pueden generar retrasos en la entrega de productos, lo que afecta tanto la eficiencia operativa como la satisfacción del cliente. El análisis causa raíz mediante el método del árbol de fallas identificó que los atrasos en la entrega de ventiladores axiales (Top evento) son principalmente consecuencia de fallas en la cadena de suministro, clasificadas causas principales y sub-causas. Para abordar estos desafíos, es crucial explorar soluciones que optimicen tanto el proceso de adquisición de materia prima como su manipulación en la planta de producción.

1. Implementación de una máquina de corte interna:
 - Objetivo: Minimizar los retrasos causados por la falta de materia prima, garantizando que los componentes puedan ser fabricados independientemente de la llegada de los materiales internamente.
 - Impacto esperado: Mitiga directamente la causa crítica reduce la dependencia de la llegada puntual de materiales, optimización de tiempos de fabricación y mayor control sobre los plazos de entrega, mitiga el Top Event evento no deseado solucionando las causas principales como la causa principal, atrasos en la entrega de materiales por parte de los proveedores, esto es una buena solución para la causa crítica.
2. Mejorar la gestión de inventarios:
 - Objetivo: Establecer un sistema de inventarios más preciso y un control más riguroso para evitar quiebres de stock.
 - Impacto esperado: Mitiga sub-causas relacionadas con la falta de control de inventarios, aumentando la previsibilidad y alineado el suministro con las necesidades de producción.
3. Optimizar la planificación de compras (ISO 9001:2015 Clausula de planificación):
 - Objetivo: Asegurar que los materiales críticos sean pedidos con antelación y evitar problemas de suministro de última hora.
 - Impacto esperado: Mitiga la sub causa de errores en la planificación de compras y suministros, disminuyendo incidencias en la línea de producción y mejorando la confiabilidad del proceso.
4. Mejorar la comunicación con los proveedores:
 - Objetivo: Establecer una comunicación más fluida y continua con los proveedores para garantizar la puntualidad de las entregas (ISO 31000 – Gestión de riesgos).
 - Impacto esperado: Mitiga las sub causas facilitando la coordinación y asegurando el cumplimiento de plazos lo que contribuye a un flujo de suministro más estable y reduce riesgos de retrasos adicionales.

El análisis de causa raíz utilizando el método del árbol de fallas muestra que el principal factor detrás de los retrasos en las entregas es la falta de control en la cadena de suministro, particularmente en el departamento de abastecimiento.

La implementación de una máquina de corte interna podría ser una solución efectiva, ya que

reduciría la dependencia de la llegada oportuna de materiales. Sin embargo, también es necesario abordar otros aspectos, como la mejora en la gestión de inventarios, la optimización de la planificación de compras y la comunicación más eficiente con los proveedores, para lograr una mejora integral en el proceso.

3.3 JERARQUIZACIÓN DE LAS CAUSAS DE LAS FALLAS DEL PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN DE MATERIA PRIMA.

En la siguiente tabla se muestran los resultados del estudio realizado en la problemática, donde se evaluó la criticidad de 10 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 adquisición de materia prima	Frecuencia	Imp Ope	Flex Ope	Cost de Mant	Imp SHA	Consecuencia	Riesgo
RMP	RETRASO EN LA LLEGADA DE MATERIA PRIMA	10	10	7	5	0	75	750
FC	FALTA DE CANTIDADES SUFICIENTES	8	8	7	5	0	61	488
CD	CALIDAD DEFICIENTE	4	8	5	5	0	45	180
PF	PROBLEMAS DE FABRICACIÓN	3	10	5	5	2	57	171
PD	PROBLEMAS DE DISEÑO	2	9	5	5	2	52	104
PP	PROBLEMAS DE PLANIFICACIÓN	6	9	1	5	0	14	84
FEI	FACTORES EXTERNOS IMPREVISTOS	1	3	5	3	4	22	22
GP	GESTIÓN CON PROVEEDORES	2	5	1	2	0	7	14
PLT	PROBLEMAS LOGÍSTICOS DE TRANSPORTE	1	3	3	3	2	14	14

Tabla 3.1 – Causas de fallas jerarquizadas
Fuente: Elaboración Propia

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

Para abordar los problemas que pueden surgir durante la adquisición de materia prima para la fabricación de ventiladores axiales, es fundamental categorizar cada causa según su gravedad (crítica, semi crítica y no crítica) y tomar las acciones correctivas correspondientes. A continuación, se presenta un conjunto de acciones correctivas para cada una de las causas mencionadas:

3.3.1.1 Causas críticas

Las causas críticas tienen un impacto directo y significativo en la producción, por lo que requieren acciones inmediatas y de alto impacto.

- Causa crítica 1: Retraso en la llegada de materia prima
 - Acciones correctivas: Implementar una máquina de corte interna en la fábrica para así proceder con la producción de cortes de componentes para la fabricación de ventiladores axiales independiente de los proveedores externos esto evitara cualquier tipo de anomalía en la gestión de la cadena de suministros.
 - Implementar acuerdos de entrega con proveedores con penalizaciones claras por retrasos.
 - Establecer sistemas de monitoreo de los tiempos de entrega en tiempo real.

- Contar con proveedores alternativos o establecer relaciones con proveedores que ofrezcan un mejor tiempo de respuesta.
- Crear un inventario de seguridad para evitar interrupciones graves en la producción.

3.3.1.2 Causas semi críticas

Las causas semi críticas afectan la operación, pero pueden resolverse sin interrumpir completamente la producción.

- Causa semi crítica 1: Falta de cantidades suficientes
- Acciones correctivas: Generar una nueva actividad en el departamento de logística que es la revisión y un check list de la llegada de materia prima identificando la recepción de las cantidades correctas de acuerdo a cada fabricación.
- Realizar un pronóstico más preciso de las necesidades de materia prima, considerando el ciclo de producción y la demanda
- Establecer contratos de compra a largo plazo con proveedores para asegurar la disponibilidad continua de materia prima.
- Evaluar la posibilidad de aumentar la capacidad de almacenamiento o realizar compras anticipadas para evitar faltantes.

3.3.1.3 Causas no críticas:

Las causas no críticas tienen un impacto menor o indirecto en la operación, pero aun así requieren atención para evitar complicaciones futuras.

- Causa no crítica 1: Problemas de diseño.
- Acción Correctiva: Realizar revisiones exhaustivas de los diseños antes de la fabricación, involucrando a los equipos de producción y calidad.
- Colaborar más estrechamente con el departamento de ingeniería para ajustar los diseños según la disponibilidad de materias primas.
- Probar prototipos antes de la producción a gran escala para identificar posibles fallos de diseño.
- Causas no critica 2: Problemas de planificación.
- Acción Correctiva: Mejorar la planificación de la producción mediante el uso de software avanzado de gestión de recursos (ERP).
- Revisar los pronósticos de demanda para ajustarlos de forma más realista a las capacidades de producción.
- Establecer controles regulares de la planificación para verificar que los plazos y las cantidades sean viables.
- Causa crítica 3: Calidad deficiente
- Acciones correctivas: Realizar auditorías periódicas a los proveedores para verificar la calidad de los materiales antes de que lleguen a la planta.
- Implementar un sistema de control de calidad interno más riguroso y establecer

protocolos de aceptación de materia prima.

- Realizar pruebas de calidad de forma aleatoria en lotes recibidos y rechazar aquellos que no cumplan con los estándares.

- Causa no-crítica 4: Factores externos imprevistos.

- Acción Correctiva: Desarrollar un plan de contingencia para factores como desastres naturales, cambios regulatorios o crisis económicas.
- Diversificar los proveedores y las fuentes de materia prima para reducir la vulnerabilidad a factores externos.
- Establecer un sistema de comunicación eficaz para responder rápidamente a estos eventos.

- Causa no-crítica 5: Gestión con proveedores.

- Acción Correctiva: Establecer relaciones a largo plazo con los proveedores para garantizar la estabilidad y la colaboración.
- Realizar reuniones periódicas con los proveedores para asegurar que se cumplan los acuerdos y mejorar la relación.
- Evaluar continuamente el rendimiento de los proveedores mediante KPIs (indicadores clave de rendimiento) y tomar decisiones de cambio si es necesario.

- Causa no-crítica 6: Problemas logísticos de transporte.

- Acción Correctiva: Implementar un sistema de seguimiento y monitoreo en tiempo real de los envíos para anticipar retrasos.
- Diversificar las opciones de transporte y tener acuerdos con múltiples operadores logísticos.
- Establecer relaciones estrechas con las empresas de transporte para garantizar tiempos de entrega más consistentes.

- Causas no-crítica 7: Problemas de fabricación.

- Acción Correctiva: Identificar las causas raíz de los problemas de fabricación, como maquinaria defectuosa o procesos ineficientes.
- Implementar mantenimientos preventivos y capacitar al personal en el uso adecuado de las máquinas.
- Introducir procesos de mejora continua y análisis de fallos (como metodologías Six Sigma o Kaizen) para mejorar la eficiencia de la producción.

- Causa semi-crítica 2: Problemas de diseño.

- Acción Correctiva: Realizar revisiones exhaustivas de los diseños antes de la fabricación, involucrando a los equipos de producción y calidad.
- Colaborar más estrechamente con el departamento de ingeniería para ajustar los diseños según la disponibilidad de materias primas.
- Probar prototipos antes de la producción a gran escala para identificar posibles fallos de diseño.

Cada causa debe ser tratada de acuerdo con su impacto en la operación. Las acciones correctivas deben ser implementadas rápidamente en las causas críticas para evitar paradas de producción, mientras que las causas semi críticas y no críticas deben manejarse con medidas preventivas y de mejora continua para minimizar su impacto a largo plazo.

3.4 EVALUACIÓN ECONOMICA DE ANÁLISIS CAUSA RAIZ

3.4.1 Evaluación económica de la causa critica “Retraso en la llegada de materia prima”

Para evaluar económicamente la implementación primero se definirá el valor asociado a la inversión por año y el valor total al quinto año de operación. Este horizonte de 5 años se justifica porque corresponde al período estimado de vida útil de la inversión principal propuesta (la máquina de corte) y al ciclo operativo estándar para evaluar mejoras en procesos industriales. Además, un análisis a 5 años permite observar con mayor claridad el retorno de la inversión, los beneficios acumulados, y la estabilidad de las mejoras implementadas en el mediano plazo. Es un marco temporal comúnmente utilizado en evaluaciones técnico-económicas dentro del ámbito industrial, ya que equilibra la precisión de los resultados con una proyección realista de sostenibilidad operativa.

COSTOS DE INVERSIÓN CON VIDA UTIL DE 5 AÑOS									
AÑO	MAQUINA DE CORTE PLASMA	TRANSPORTE	ENERGÍA	OPERADOR	MAQUINA CORTE PLASMA (VALOR PRESENTE)	TRANSPORTE (VALOR PRESENTE)	COSTO ENERGETICO (VALOR PRESENTE)	OPERADOR (VALOR PRESENTE)	TOTAL VALOR PRESENTE POR AÑO
1	\$14.599.000	\$200.000	\$683.834	\$12.992.843	\$13.271.818	\$181.818	\$621.667	\$11.811.675	\$25.886.978
2	\$0	\$0	\$683.834	\$12.992.843	\$0	\$0	\$565.152	\$10.737.887	\$11.303.039
3	\$0	\$0	\$683.834	\$12.992.843	\$0	\$0	\$513.775	\$9.761.715	\$10.275.490
4	\$0	\$0	\$683.834	\$12.992.843	\$0	\$0	\$467.068	\$8.874.287	\$9.341.355
5	\$0	\$0	\$683.834	\$12.992.843	\$0	\$0	\$424.607	\$8.067.533	\$8.492.140
TOTALES	\$14.599.000	\$200.000	\$3.419.170	\$64.964.215	\$13.271.818	\$181.818	\$2.592.269	\$49.253.097	\$65.299.002
VALOR ANUALIZADO:	\$13.059.800								

Tabla 3.2 costos de inversión vida útil de 5 años

Fuente Elaboración Propia

Se evidencia que la propuesta de implementación de una máquina de corte calculando los costos de inversión y operación. Estos valores fueron ajustados considerando una tasa de descuento del 10%. Este valor incluye costos fijos como costos variables, incluye los valores presentes para cada ítem por año.

Dándonos como resultado final un VAC de \$65.299.002 CLP y el costo anualizado de \$13.059.800.

- Máquina de corte: Inversión única en el año 1 para la adquisición del equipo.
- Transporte: Costo asociado al traslado inicial del equipo el cual solo ocurre en el año 1.
- Costo energético: Consumo estimado de electricidad durante la operación anual del equipo.
- Operador: Remuneración anual proyectada para el operario encargado de la máquina.

3.4.2 Gastos asociados al retraso de la llegada de materia prima:

GASTOS ASOCIADOS A MULTAS:

REFERENCIA DE GASTOS POR MULTAS ASOCIADAS AL ATRASO DE EQUIPOS	VALOR
MULTAS POR DIA	\$1.500.000
CANTIDAD DE ORDENES DE COMPRAS ATRASADAS	138
TOTAL	\$207.000.000

Tabla 3.3 referencia de gastos por multas asociadas al trazo de equipos
Fuente Howden Chile.

Se puede ver que las multas por día van a partir de \$1.500.000 CLP considerando la cantidad de ordenes de compras atrasadas en el año 2023 en base a las No Conformidades de la empresa se puede estimar un total de \$207.000.000 solamente en multas asociadas a atrasos de entregas.

3.4.3 Gastos por horas hombre improductivas en fabrica:

GASTOS EN FABRICA			
HH IMPRODUCTIVAS	HORAS	VALOR	TOTAL MENSUAL
SOLDADOR	40	\$5.625	\$225.000
CALDERERO	40	\$5.265	\$210.600
CONTROL DE CALIDAD	40	\$6.895	\$275.800
LOGISTICA	40	\$5.985	\$239.400
TOTAL MENSUAL:			\$950.800
COSTO TOTAL ANUALIZADO:			\$11.409.600

Tabla 3.4 Gastos en Fabrica
Fuente: Elaboración Propia

Se considera las horas hombre improductivas por la llegada de materia prima de soldadores, caldereros, control de calidad y logística promediando 40 horas mensuales. Dando un total mensual de \$950.800. Lo que da un total Anualizado de \$11.409.600.

El atraso de la llegada de materia prima provoca un impacto grande en el proceso productivo de Howden causando horas de ocio en el personal interno, el no cumplimiento de la fecha de entrega en la orden de compra y causando multas considerables para la organización, lo que lleva a tener un gasto total anual en el año 2023 de \$218.409.600 en multas y horas improductivas en fabrica por el impacto que causa la gestión de los suministros.

3.5 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DEL ANALISIS CAUSA RAIZ

En la siguiente tabla se ve reflejada la causa critica que se encontró en nuestro RCA en donde podemos dar cuenta la disminución de frecuencia de fallas al año y costos que generan actualmente en las fallas críticas como lo es el retraso en la llegada de materia prima esto genera un impacto en la producción y la multa considerada por día de entrega ósea el costo por fallo es de \$1.500.000. Teniendo un costo anual de \$91.500.000. En la siguiente tabla podemos ver el beneficio anual implementando el ACR de manera efectiva.

ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DE ACR								
ANTES DEL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ				IMPLEMENTANDO EL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ				
CAUSAS DE FALLAS	FRECUENCIA DE FALLAS/AÑO	COSTO POR FALLO	COSTO ANUAL	INVERSIÓN TOTAL ANUAL	FRECUENCIA FALLAS/AÑO	COSTO POR FALLO	COSTO ANUAL	BENEFICIO ANUAL IMPLEMENTANDO ACR
RMP (RETRASO EN LA LLEGADA DE MATERIA PRIMA)	61	\$1.500.000	\$91.500.000	\$13.059.000	11	\$1.500.000	\$16.500.000	\$61.941.000

Tabla 3.5 Análisis costo beneficio de ACR

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que la implementación de una máquina de corte tiene un costo anual de \$16.500.000 considerando los distintos factores para su funcionamiento dando un beneficio anual implementando el ACR de \$61.941.000 generando un ahorro potencial anual de un 68%.

INVERSIÓN + COSTO ANUAL	\$29.559.000
% AHORRO POTENCIAL ANUAL	68%
\$ AHORRO POTENCIAL ANUAL CON INVERSIÓN	\$61.941.000

Tabla 3.6 - Ahorro potencial Anual.

Fuente: Elaboración Propia

3.5.1 Cálculo de causas semi críticas:

Cálculo de Horas improductivas en mano de obra por la llegada de materia prima en relación con la frecuencia de fallas por año considerando \$240.000 costo por fallo considerando las horas improductivas de producción al no poder completar la fabricación debido a la cantidad incorrecta de componentes suministrados. La recepción de componentes es al medio día donde queda media jornada de trabajo, considerando 4 horas improductivas multiplicado por el valor hora hombre \$7.500 y la cantidad de personal que serían 8 da un total de \$240.000 pesos en perdida de horas hombre en fabrica por esta falla semi-critica. Para este caso se dedicará 1 hora de la jornada para la recepción de materiales considerando 1 persona. Considerando la hora hombre de \$7.500 y 20 horas mensuales da un total de \$150.000 el cual anualizado da un valor de \$1.800.000 de pesos en horas por la revisión de componentes recepcionados.

El costo anual antes del ACR es de \$11.520.000 considerando 48 fallas por año y un costo de fallo de \$240.000 de horas improductivas, implementando esta nueva actividad de revisión de componentes se obtiene un beneficio anual de \$9.600.00 si anualizamos al quinto año nos da un beneficio anual con ACR implementado de \$48.000.000 de pesos podemos obtener un ahorro potencial anual de \$7.800.000 lo que nos da un 68%.

ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DE ACR								
ANTES DEL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ				IMPLEMENTANDO EL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ				
CAUSAS DE FALLAS	FRECUENCIA DE FALLAS/AÑO	COSTO POR FALLO	COSTO ANUAL	INVERSIÓN TOTAL ANUAL	FRECUENCIA FALLAS/AÑO	COSTO POR FALLO	COSTO ANUAL	BENEFICIO ANUAL IMPLEMENTANDO ACR
FALTA DE CANTIDADES SUFICIENTES	48	\$240.000	\$11.520.000	\$1.800.000	8	\$240.000	\$1.920.000	\$9.600.000
ANUALIZADO A 5 AÑOS	240	\$240.000	\$57.600.000	\$9.000.000	40	\$240.000	\$9.600.000	\$48.000.000

Tabla 3.7 Análisis costo beneficio de ACR

Fuente: Elaboración Propia

INVERSIÓN + COSTO ANUAL	\$3.720.000
% AHORRO POTENCIAL	68%
\$ AHORRO POTENCIAL	\$7.800.000

Tabla 3.8 Ahorro potencial anual con inversión.

Fuente: Elaboración Propia

Al generar nuevas actividades al personal y brindar las horas correspondientes a las recepciones de suministros se puede mitigar la falta de cantidades suficientes ya que se puede alertar al proveedor antes de ser ingresados a la fábrica debido a la revisión diaria.

3.5.2 Cálculo de causas no críticas:

Al hacer un seguimiento a las fallas no críticas podemos ver que hay 4 áreas vinculadas a las fallas, las cuales son el departamento de planificación, el departamento de suministros el departamento de logística y el departamento de ingeniería. Para mitigar estas anomalías que son en su mayoría de gestión se realizara una reunión semanal para verificar el avance de los proyectos considerando a las 4 áreas involucradas. Cada supervisor de área deberá participar en una reunión de 1 hora para ir dando sus avances por área relacionados a cada proyecto esto permitirá que todos los departamentos tengan la misma visión de avance en cada orden de compra, esto permitirá tener un control total por el departamento de planificación y poder gestionar los avances correspondientes con la fábrica.

Si consideramos el valor de hora hombre de \$9500 pesos por los 4 encargados de area dan un total de \$38.000 en inversión de horas en planificar correctamente los trabajos. Se considerará la reunión 01 vez a la semana lo que nos da un valor mensual en horas de \$152.000 y anualizado nos da un valor de \$1.824.000 en gestión.

CAUSAS DE FALLAS	FRECUENCIA DE FALLAS	COSTO POR FALLO	COSTO ANUAL	INVERSIÓN TOTAL ANUAL	FRECUENCIA FALLAS/ AÑO	COSTO POR FALLO	COSTO ANUAL	BENEFICIO ANUAL IMPLEMENTANDO ACR
CALIDAD DEFICIENTE	10	\$700.000	\$7.000.000	\$1.824.000	2	\$700.000	\$1.400.000	\$5.600.000
PROBLEMAS DE FABRICACIÓN	8	\$400.000	\$3.200.000		2	\$400.000	\$800.000	\$2.400.000
PROBLEMAS DE DISEÑO	4	\$600.000	\$2.400.000		1	\$600.000	\$600.000	\$1.800.000
PROBLEMAS DE PLANIFICACIÓN	2	\$800.000	\$1.600.000		1	\$800.000	\$800.000	\$800.000
FACTORES EXTERNOS IMPREVISTOS	3	\$650.000	\$1.950.000		1	\$650.000	\$650.000	\$1.300.000
GESTIÓN CON PROVEEDORES	2	\$625.000	\$1.250.000		1	\$625.000	\$625.000	\$625.000
TOTALES ANUALES:	29	\$3.775.000	\$17.400.000		8	\$3.775.000	\$4.875.000	\$12.525.000
ANUALIZADO A 5 AÑOS	145	\$18.875.000	\$87.000.000	\$9.120.000	40	\$18.875.000	\$24.375.000	\$62.625.000

Tabla 3.9 Análisis de implementación ACR.

Fuente: Elaboración Propia

INVERSIÓN + COSTO ANUAL	\$6.699.000
% AHORRO POTENCIAL ANUAL	61%
\$ AHORRO POTENCIAL ANUAL CON INVERSIÓN	\$10.701.000

Tabla 3.10 – Ahorro potencial Anual

Fuente: Elaboración Propia

Antes de realizar el ACR hay un costo anual de \$17.400.000 en los distintos factores no críticos. Al implementar las soluciones planteadas que tiene una inversión total anual de \$6.699.000 considerando el costo anual de la implementación más la inversión total anual nos da un beneficio anual implementando el ACR de \$12.525.000 obteniendo un ahorro potencial anual con inversión de \$10.701.000 que da un porcentaje de 61% de ahorro potencial anual siendo efectiva la implementación.

3.6 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO.

ANTES DEL ACR			DESPUES DEL ACR			
CAUSAS	COSTO ANUAL	PROMEDIO FRECUENCIA DE FALLAS/ AÑO	COSTO ANUAL + INVERSIÓN	PROMEDIO FRECUENCIA FALLAS/ AÑO	% AHORRO POTENCIAL ANUAL CON LA INVERSIÓN	\$ AHORRO POTENCIAL ANUAL CON LA INVERSIÓN
CRÍTICAS	\$91.500.000	61	\$29.559.000	11	68%	\$61.941.000
SEMI CRÍTICAS	\$11.520.000	48	\$3.720.000	8	68%	\$7.800.000
NO CRÍTICAS	\$17.400.000	29	\$6.699.000	8	61%	\$10.701.000
TOTAL	\$120.420.000	138	\$39.978.000	27	66%	\$80.442.000

Tabla 3.11 – Análisis y evaluación económica

Fuente: Elaboración Propia

Análisis:

- Reducción en el costo anual:

Antes del ACR, los costos operativos anuales eran significativamente altos, alcanzando los \$120.420.000 pesos chilenos.

Después de la implementación del ACR, el costo anual disminuyó considerablemente a \$39.978.000 pesos chilenos, lo que representa una reducción importante en los gastos operacionales.

- Disminución en el número de fallas:

El promedio de fallas por año antes del ACR era de 138, lo que indica una frecuencia de problemas o interrupciones en el proceso/producto.

Tras la intervención del ACR, el número de fallas anuales se redujo a 27, lo que indica una mejora significativa en la fiabilidad y eficiencia del sistema. Esto no solo mejora la operación, sino que también reduce los costos asociados a las fallas, como reparaciones, tiempo de inactividad y pérdida de producción.

- Porcentaje de ahorro anual:

La reducción de costos del 66% es un indicador claro de la efectividad del ACR. Esto sugiere que el ACR no solo resolvió las causas fundamentales de las fallas, sino que también permitió una optimización general de los recursos y una mejora en la gestión de los costos operacionales.

- Inversión inicial y ahorro potencial:

La inversión realizada en el ACR muestra que la relación entre la inversión y el retorno de esta ha sido favorable.

El ahorro potencial anual con la inversión es de \$80.442.000 pesos chilenos indica que, aunque se realizó una inversión, los beneficios superan ampliamente los costos asociados. Esto hace que la inversión sea rentable a largo plazo, ya que el ahorro generado es superior al costo de implementación.

La evaluación presentada revela una reducción en las eventualidades del proceso de fabricación, esto conlleva a un impacto monetario significativo y positivo para la organización, resultando en un beneficio neto que supera los costos de implementación.

En este trabajo de título a través del análisis causa raíz y método árbol de fallas ha permitido identificar de manera precisa los problemas fundamentales en el proceso de adquisición de materia prima, los cuales afectaban la eficiencia y los plazos de entrega para cumplir con el cliente final. A través de este análisis, se identificó la necesidad de optimizar el proceso y se tomó la decisión de implementar una máquina de corte internamente en la fábrica, lo que permitió reducir la dependencia con los proveedores externos y controlar mejor la calidad y los tiempos de producción.

Esto logra mitigar las causas y sub-causas críticas vistas en el trabajo de título, para las causas semi críticas optimizar los tiempos de trabajo del personal en actividades de revisión y control que queden con trazabilidad es importante para el buen funcionamiento de la organización. Para las causas no críticas es fundamental cuando hay muchas áreas vinculadas en errores de procesos dedicar horas de trabajo a la organización de las distintas áreas a través de la comunicación efectiva es fundamental para una buena gestión.

La implementación de estas soluciones ha generado importantes beneficios tanto en los plazos de entrega como en la reducción de costos ya que se logró una mayor autonomía en la fabricación de piezas y una mejora significativa en los tiempos de respuesta, además la optimización del proceso ha contribuido a la mejora de la competitividad de la empresa al ofrecer productos de mayor calidad en menor tiempo y a un costo más competitivo. Este análisis ha sido fundamental para la mejora continua de los procesos productivos con un impacto positivo en la eficiencia operativa y los resultados económicos de la empresa.

3.6.1 Evaluación económica con VAN:

Para validar la vialidad financiera de la propuesta, se calculó el valor actual neto (VAN) considerando una proyección de 5 años y una tasa de descuento del 10%, estimada a partir del promedio del costo capital en empresas industriales chilenas y la tasa de política monetaria vigente del Banco Central.

Con base en los antecedentes expuestos, los costos evitables asociados a atrasos en la entrega y horas improductivas ascienden a \$218.409.600 CLP anuales. Aplicando la reducción esperada del 68% mediante la implementación de la propuesta, el ahorro proyectado alcanza los \$148.518.528 CLP anuales. Descontando los costos operacionales \$13.059.800, se obtiene un beneficio neto de \$135.458.728 CLP anuales.

El VAN calculado con estos flujos alcanza los \$513.495.154 CLP lo que respalda con claridad la rentabilidad del proyecto propuesto.

EVALUACIÓN ECONOMICA CON VAN				
Año	Ahorro total estimado (CLP)	Costo operación máquina (CLP)	Beneficio neto anual (CLP)	Valor presente del beneficio (CLP)
1	\$148.518.528	\$13.059.800	\$135.458.728	\$123.144.298
2	\$148.518.528	\$13.059.800	\$135.458.728	\$111.949.362
3	\$148.518.528	\$13.059.800	\$135.458.728	\$101.772.147
4	\$148.518.528	\$13.059.800	\$135.458.728	\$92.520.134
5	\$148.518.528	\$13.059.800	\$135.458.728	\$84.109.213
			Total, VAN	\$513.495.154

Tabla 3.12 – Análisis y evaluación económica con VAN.

Fuente: Elaboración Propia

3.6.2 Resumen económico:

Se aplicó una tasa de descuento del 10% para calcular el valor actual de costos que asciende a \$49.506.917 CLP considerando los gastos operativos proyectados para cinco años y ajustados por inflación. El valor actual neto (VAN) obtenido con los beneficios proyectados fue de \$513.495.154 CLP, lo que refleja un entorno financiero positivo y altamente rentable.

Finalmente, la relación CVA (Costo versus aporte) indica que por cada peso invertido, se obtienen más de 10 pesos en beneficios netos. Este resultado confirma la viabilidad económica del proyecto y respalda la implementación de la propuesta de mejora.

INDICADOR	VALOR
Tasa de descuento aplicada	10%
VAC	CLP \$49.506.917
VAN	CLP \$513.495.154
CVA (Beneficio/Costo)	10.37

Tabla 3.13 – CVA (Beneficio versus Costo).

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

El análisis realizado en este trabajo, utilizando las herramientas del Análisis Causa Raíz (RCA) y el Árbol de Fallas (FTA), permitió identificar que la principal causa de los retrasos en las entregas de ventiladores axiales en Howden Chile SpA se relaciona directamente con la dependencia de proveedores externos para la adquisición de materia prima. Esta situación generaba tiempos de espera prolongados, afectando el flujo productivo y provocando multas por incumplimiento de plazos contractuales con los clientes.

Como solución estratégica, se propuso la implementación de una máquina de corte interna en la fábrica, con el fin de disminuir la dependencia de terceros. Esta medida permitió avanzar hacia una producción más autónoma, mejorando la disponibilidad de materiales críticos, optimizando el control de calidad y reduciendo significativamente los plazos de fabricación.

Desde una perspectiva económica, el análisis demostró que la inversión inicial en la máquina de corte se compensa a corto plazo mediante ahorros sustanciales. Estos se reflejan en la disminución de multas, la reducción de horas hombre improductivas, y una mejora general en la rentabilidad del proceso de fabricación. Asimismo, se evidenció una mayor capacidad de respuesta operativa y una mejora en el cumplimiento de los plazos de entrega, fortaleciendo la competitividad de la empresa.

Con relación al cumplimiento de los objetivos del proyecto, se puede afirmar que, se cumplió el objetivo general, al desarrollar una propuesta de mejora en la fabricación de ventiladores axiales mediante un análisis causa raíz que permitió identificar las fallas clave del proceso, proponer acciones correctivas concretas, y validar su impacto mediante un análisis técnico-económico.

El primer objetivo específico fue alcanzado, al analizar el contexto organizacional, operativo y productivo de Howden Chile SpA, identificando las principales deficiencias en el proceso de adquisición de materia prima que afectan el cumplimiento de las fechas de entrega, con base en antecedentes técnicos, datos históricos y observación directa del flujo de trabajo.

El segundo objetivo específico fue logrado, al diseñar una metodología de mejora continua basada en el uso del Árbol de Fallas, la matriz de riesgo y acciones correctivas enfocadas a cada tipo de causa (crítica, semi crítica y no crítica).

El tercer objetivo específico fue cumplido, al evaluar económicamente las propuestas a través de indicadores claros como ahorro anual, costo-beneficio y retorno de inversión, utilizando datos reales del año 2023.

En conclusión, la propuesta desarrollada no solo permitió resolver el problema técnico de los retrasos en la entrega, sino que también generó un impacto positivo en la eficiencia económica, operativa y organizacional de la empresa, validando la utilidad de aplicar herramientas de mejora continua en entornos industriales complejos.

Recomendaciones

- **Monitoreo continuo de la cadena de suministro:** Aunque la implementación de la máquina de corte interna ha resuelto el problema de los retrasos, es crucial mantener un monitoreo constante de la cadena de suministro para asegurar que no surjan nuevos cuellos de botella. La gestión de inventarios debe ser optimizada para evitar futuras interrupciones en la producción debido a falta de materia prima, lo que podría generar nuevos retrasos.
- **Automatización y mejora de procesos:** Se recomienda seguir invirtiendo en la automatización de otras etapas del proceso productivo. Además de la máquina de corte, otras áreas como el ensamblaje o el control de calidad pueden beneficiarse de la automatización, lo que incrementaría aún más la eficiencia y reduciría posibles errores humanos, mejorando los tiempos de entrega y la calidad del producto final.
- **Optimización del mantenimiento preventivo:** Para maximizar el rendimiento de la máquina de corte y evitar paradas no programadas que afecten la producción, se recomienda implementar un plan de mantenimiento preventivo regular. Este plan debe incluir inspecciones periódicas y ajustes a la maquinaria, asegurando su correcto funcionamiento a largo plazo.
- **Diversificación de proveedores y negociación de acuerdos más flexibles:** Aunque la solución de producir internamente ha reducido los tiempos de espera, se sugiere explorar acuerdos con proveedores alternativos y diversificar las fuentes de materia prima. Esto puede mitigar riesgos relacionados con fluctuaciones en los precios o problemas en la cadena de suministro externa. Asimismo, negociar acuerdos con plazos más flexibles podría mejorar aún más la capacidad de respuesta ante demandas inesperadas.
- **Capacitación continua del personal:** Para maximizar el aprovechamiento de la nueva máquina de corte y cualquier otra tecnología futura, es fundamental capacitar al personal de manera continua en el uso de las nuevas herramientas y equipos. Esto no solo garantizará el funcionamiento óptimo de las máquinas, sino que también fomentará una cultura de mejora continua y eficiencia dentro de la organización.

BIBLIOGRAFÍA

- adriano-juniordynamox-net. (2023, diciembre 29). *Análisis del Árbol de Fallas: cómo aplicarlo en tu industria*. Dynamox.net. <https://dynamox.net/es/blog/analisis-del-arbol-de-fallas-como-aplicarlo-en-tu-industria>
- *Análisis de causa raíz: Definición y ejemplos*. (2022, mayo 9). SafetyCulture. <https://safetyculture.com/es/temas/analisis-de-causa-raiz/>
- *Aplicaciones de corte con productos Hypertherm*. (s/f). Hypertherm.com. https://www.hypertherm.com/es/solutions/applications/?utm_campaign=CMP-01269-Y4N0&utm_source=google&utm_medium=paid+search&gad_source=5
- Csam, J. C. W. C. (s/f). *Árbol de Fallas Simplificado Para Analizar la Causa Raíz de un Evento de Falla Menor*. Cmc-latam.com. https://cmc-latam.com/wp-content/uploads/2023/11/Julio-Wagner_Arbol-de-Fallas-Simplificado-para-analizar-la-causa-raiz-de-un-evento-de-falla-menor.pdf
- *EQUIPOS DE CORTE CNC archivos*. (s/f). Cimex. https://cimex.cl/categoria-producto/equipos-de-corte-cnc/?srsltid=AfmBOorGBbR-hy2DJbrgdMO17Ps4sOCOr0qWAmgsH_7AY3C8PhhdSufu
- González, C. (2021, julio 9). *Análisis árbol de fallas (FTA), qué es y cómo se utiliza – Software GMAO*. Aeromarine.es. <https://software.aeromarine.es/analisis-arbol-de-fallas-fta-que-es-y-como-se-utiliza/>
- *Plantilla de análisis de árbol de fallas gratuita*. (s/f). <https://miro.com/>
<https://miro.com/es/plantillas/analisis-arbol-fallas/>
- (S/f). Canva.com. <https://www.canva.com/>