



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

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

Propuesta de aplicación de una técnica de análisis de fallas en un sistema crítico de
la Empresa Chocolada SPA Chile

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

Alumno: Sr. Eduardo Ignacio Melo Velgard.

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



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 aplicación de una técnica de análisis de fallas en un sistema crítico de la Empresa Chocolada SPA Chile

Nombre del candidato(a): Eduardo Ignacio Melo Velgard

Carrera / Grado: Ingeniería En Mantenimiento Industrial

Campus: Viña del mar Departamento: Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Carlos Alberto Parra Márquez, 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: 09-12-2025

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 09-12-2025

Firma:

Dedicatoria.

Dedico en Primer lugar a Dios y en especial a mi familia los cuales siempre están para poder apoyarme ante cualquier situación, también quiero agradecer a la Empresa Chocolada por darme la oportunidad de poder realizar la tesis propuesta, también agradecer a mis amigos que me acompañaron en este camino como son los amigos de la u, CrossFit y colegio.

Resumen

Capítulo 1: En el capítulo 1 se mostrará cuál es la gran problemática que presenta la empresa Chocolada respecto a su línea de producción, mostrando también su contexto operacional y además la descripción de la empresa, en conjunto con la metodología que se presentará la cual es respecto al análisis causa raíz basado en árbol de fallas debido a los estudios determinado fue la óptima en la elección.

Capítulo 2: En el capítulo 2 se mostrará el desarrollo del análisis causa raíz mostrando cuál es el equipo más crítico que se presenta con el fin de realizar el estudio de análisis causa raíz basado en árbol de fallas, mostrando cuáles son las fallas que más frecuentes y lograr eliminar las fallas que se presentan

Capítulo 3: En este capítulo se muestran los costos respecto al mantenimiento del equipo seleccionado con el fin de poder eliminar las fallas y disminuir costos del mantenimiento encontrando cuando es el tiempo óptimo para poder realizar los mantenimientos junto a sus análisis y conclusiones respectivas.

Índice

Contenido

Dedicatoria	2
Índice de ilustraciones.....	7
Índice de tablas.....	7
Siglas y simbología.	8
Introducción.	10
Objetivo.....	10
Objetivo General.	10
Objetivos específicos	11
Capítulo 1: Descripción de la empresa y descripción del problema.	12
1.1 Antecedente general de la empresa.....	13
1.2 Misión y visión.....	13
1.2.1 Visión.	13
1.2.2 Misión.	14
1.3 Propósito.	14
1.4 Ubicación geográfica.	15
1.5 Organización de la empresa.	15
1.6 Proceso productivo.....	16
1.6.1 Área de proceso productivo.	17
1.6.2 Recepción del chocolate y manjar.....	18
1.6.3 Área de llenado del producto y fundición del chocolate.....	18
1.6.4 Área del bañado.	18
1.6.5 Área de cámara de frío.	18
1.6.6 Área de primer control de calidad.....	19
1.6.7 Área de descarte.	19
1.6.8 Área de envasado.	20

1.6.9 Área de segundo control de calidad	20
1.7 Requerimiento de calidad.....	20
1.8 Aspecto general del mantenimiento.	20
1.9 Problemática del proyecto.....	21
Capítulo 2: Desarrollo y aplicación práctica de la metodología RCA (Árbol De Fallas).	23
2.1 Procedimiento de aplicación de la metodología análisis causa raíz (RCA).....	24
2.1.1 Metodología de Análisis Causa Raíz (RCA).....	24
2.1.2 Descripción y desarrollo de las etapas del proceso de aplicación de la técnica de RCA.....	25
2.1.3 Conformación del equipo de trabajo en el modelo RCA.	25
2.1.4 Definición y jerarquización de problemas.	27
2.1.5 Análisis crítico del área de maquinaria de producción.	27
2.1.6 Definición y priorización de los modos de fallos.	32
2.1.8 Definición y validación de las causas raíz.	34
2.1.9 Definición y evaluación de la efectividad de las soluciones propuesta.	35
2.2 Aplicación de la metodología ACR en la empresa: Chocolada SPA.	39
2.2.1 Conformación del equipo de trabajo.....	39
2.2.2 Análisis de criticidad.....	39
2.3 Definición y priorización de los modos de fallos.	41
2.3.1 Definición y validación de hipótesis.....	41
2.3.2 Definición y validación de las causas raíces.....	44
Capítulo 3: Plan de acción del Proceso de RCA.	48
3.1 Plan de acción.	49
3.1.2 Recursos para la aplicación del plan de acción.....	51
3.1.3 Costo solución plan de acción.....	54
3.2 Escenario actual.	54
3.2.1 Mejora de frecuencia en un futuro optimista.	55
3.2.3 Beneficio económico: escenario futuro optimista.....	56
3.2.5 Beneficio económico: escenario futuro pesimista.	56
3.3 Recomendaciones.....	57

Conclusión.	57
Referencias.....	59

Índice de ilustraciones.

Figura:1.0 Mapa de Chocolada.	15
Figura:1.1 Organigrama Chocolada.	16
Figura:1.2 Proceso productivo.	17
Figura.1.2:Cámara de frio y bañadora de Chocolate.	19
Figura:2.0 Modelo del proceso de gestión del mantenimiento (MGM).	24
Figura:2.1 Modelo propuesto de implantación de la técnica de RCA.	25
Figura:2.2 Proceso de validación y auditoría de las soluciones propuestas.	36
Figura: 2.2 hipótesis y modos de fallo.	42
Figura: 2.3 Hipótesis validadas.	44
Figura 2.4 Árbol de Fallas.	47

Índice de tablas.

Tabla: 2.0 Análisis de Criticidad.	28
Tabla:2.1 Factor Frecuencia de fallos.	29
Tabla: 2.1 Impacto en seguridad y medio ambiente.....	29
Tabla: 2.2 Impacto de producción.....	29
Tabla: 2.3 Impacto por baja mantenibilidad.....	30
Tabla: 2.4 Impacto por costo de mantenimiento.	30
Tabla: 2.5 RTA Actual.	37
Tabla: 2.6 RTA futuro.....	37
Tabla: 2.7 Tabla de mejora 100% frecuencia de fallos.	38
Tabla: 2.8 Mejora 40% frecuencia de fallos.....	38

Tabla: 2.9 Equipos de Chocolada más crítico.	39
Tabla: 2.10 RTA Componentes críticos.	41
Tabla: 3.0 Causa raíz identificada (Desalineamiento).....	49
Tabla: 3.1 Causa raíz identificada (Mala Operación).....	50
Tabla: 3.2 Causa raíz identificada (Humedad).....	51
Tabla: 3.3 Causa raíz identificada (sobre Carga de Trabajo).	51
Tabla: 3.4. Recursos económicos.....	52
Tabla: 3.5. Recursos económicos.....	53
Tabla: 3.6. Recursos económicos.....	54
Tabla: 3.7. Costo de solución.	54
Tabla: 3.8. Tasa de Fallos.....	55
Tabla: 3.9 Costos previos a la implantación.	55
Tabla: 3.10 Futuro Optimista.	55
Tabla: 3.11 Futuro Pesimista.....	56

Siglas y simbología.

Siglas.

FF: Frecuencia de Fallas.

C: Consecuencia.

Sha: Seguridad y ambiente.

IC: Impacto en calidad.

IP: Impacto en producción.

BM: Baja Mantenibilidad.

CM: Costo mantenimiento.

Riesgo: $FF * C$.

Unidades de medida.

\$CLP: pesos chilenos.

\$CLP/Año: pesos chilenos Anual.

RCA: Root cause análisis.

ACR: Análisis causa raíz.

CAR: costes anuales de reparación (CLP\$/año).

PAF: penalización anual por fallos (CLP\$/año).

FF: frecuencia de fallos (fallos/año).

CMO: Costes mano obra por fallo (CLP\$/fallo).

CM: Costes materiales por fallo (CLP\$/fallo).

TR: Tiempo de reparación (horas/fallo).

IP: Impacto producción (CLP\$/hora).

PE: Penalización x evento fallo (CLP\$/fallo).

Introducción.

En el año 2015 nace en la Quinta Región de Valparaíso una empresa llamada Chokolada que posteriormente cambió a Chocolada, es una empresa familiar considerada pequeña- mediana, ofrece productos de altísima calidad y frescos para los diferentes compradores del mundo del retail de alimentos, gracias al crecimiento exponencial que formó Chocolada las ventas empezaron a crecer de manera abrupta lo que llevó a la empresa a modernizarse comprando equipos industriales para cumplir con los requisitos que piden los compradores y manteniendo la alta calidad de sus productos.

Debido también a que la empresa es una empresa pequeña-mediana no cuenta con un equipo presente de mantenimiento, sino que se encuentra tercerizado el servicio lo que lleva a que no se mantenga un control de dichos equipos, es por esta razón que muchos equipos presentan fallas de manera inesperada y se deba parar la producción de manera inmediata para poder solucionar el problema y es debido a estas fallas constante que presenta el equipo y no saber de dónde ocurren o simplemente porque ocurren, es por esta razón que se realizará un ACR para aumentar la operación de los equipos.

Al ser varios equipos que fallan constantemente previamente se debe realizar un estudio de criticidad con el fin de dar con el equipo más crítico de la empresa, una vez obtenido este equipo crítico se analizará los diferentes modos de fallos que están presentes con el fin de explicar por qué ocurre estas averías, con el ACR (Análisis Causa raíz), se va a plantear las diferentes hipótesis y causas que originan las fallas presentes, con el fin de poder entregar las recomendaciones correspondientes y lograr disminuir los costos de mantenimiento y poder aumentar la confiabilidad del equipo que se va a seleccionar.

Objetivo.

Objetivo General.

- Desarrollar un proceso de análisis de fallas en el sistema más importante del proceso de fabricación de los productos: cuchufli y alfajores.

Objetivos específicos

- Desarrollar el contexto operativo de la planta de chocolate para determinar la problemática existente.
- Desarrollar el procedimiento de análisis de fallas para obtener las causas raíz del equipo crítico seleccionado.
- Definir los planes de acción, los recursos necesarios y los indicadores técnicos y económicos que permitan evaluar la efectividad de las soluciones propuestas.

Capítulo 1: Descripción de la empresa y descripción del problema.

1.1 Antecedente general de la empresa.

La empresa Chocolada Spa fue fundada en el año 2015 por Leopoldo Torres Navarrete, quien decidió dejar una compañía multinacional para poder cumplir su anhelo de establecer una fábrica de chocolates de alta calidad en la región de Valparaíso. Para poder cumplir este sueño, adquirió diversas maquinarias industriales que le permitieron elaborar diferentes productos como cuchufli, alfajores y otros confites.

Chocolada es una pequeña y mediana empresa (PYME) en proceso de crecimiento, que abastece a diferentes compañías de renombre como Starbucks, Pronto Copec, Jumbo, OXXO, Tottus, Speed, Pan y más, entre otras. Para mantenerse en estas cadenas multinacionales y nacionales, la empresa debe cumplir con altos estándares de calidad, ya que un producto defectuoso puede significar la devolución de toda la mercancía. Estas empresas siguen trabajando con Chocolada debido a la alta calidad de sus productos, los cuales se han consolidado como una opción confiable y diferente dentro del mercado.

1.2 Misión y visión.

1.2.1 Visión.

La visión de Chocolada Spa es poder consolidarse como una empresa reconocida tanto a nivel nacional como a nivel internacional por la calidad de sus productos 'premium'. La empresa busca posicionarse como un referente en la industria chocolatera, destacando su innovación, satisfacción de los clientes y compromiso con la sustentabilidad.

La visión proyecta a Chocolada hacia el futuro, donde no solo se mantendrá en el mercado nacional, sino que también busca expandirse hacia nuevos territorios y aumentar su línea de productos.

1.2.2 Misión.

La misión de Chocolada Spa es producir y comercializar chocolates y confites de alta calidad, los cuales llevan un estricto control de estándares de calidad, con el fin de entregar al consumidor una experiencia única. La empresa se enfoca en realizar continuamente mejoras de sus procesos productivos y en la incorporación de prácticas que lleven a los productos a seguir con el cumplimiento de la normativa vigente en Chile, garantizando la seguridad alimentaria y escuchando al cliente.

Para que Chocolada logre materializar su misión, ha definido las siguientes acciones concretas:

- Producir chocolates y confites de alta calidad.
- Cumplir con los estándares de calidad nacional e internacional de seguridad y calidad alimentaria.
- Analizar los requerimientos que solicite el cliente para mantener el estándar de calidad de los productos.
- Promover prácticas responsables y amigables con el medio ambiente.
- Garantizar la igualdad de oportunidades a los trabajadores, fomentando la inclusión y evitando la discriminación.
- Colaborar con proveedores locales que cumplan con los estándares de calidad.

1.3 Propósito.

El propósito de Chocolada Spa se centra en generar experiencias positivas y momentos especiales para cada consumidor que pruebe sus productos debido a la alta calidad como se indica en su página web “Nuestro propósito es conectar contigo, deseamos vivir las experiencias que tienes con nuestros productos desde muy cerca, por eso puedes encontrarnos en nuestras distintas redes sociales, donde disfrutarás de un contenido que transmite nuestra personalidad y representa nuestra estética y valores, pero que siempre tendrá como objetivo antojarte”[10].

1.4 Ubicación geográfica.

La empresa Chocolada Spa se encuentra ubicada en Camino Internacional N.º 530, en la Región de Valparaíso, Chile. Sus instalaciones corresponden a una bodega acondicionada donde se encuentran las máquinas que son necesarias para el proceso de elaboración de chocolates y confites.

La ubicación de Chocolada Spa resulta estratégica, ya que se sitúa en una zona con acceso a las principales vías de transporte, lo que facilita el envío de productos a lo largo del país de manera cómoda y rápida.



Figura:1.0 Mapa de Chocolada.
Fuente: Google maps.

1.5 Organización de la empresa.

La función administrativa de Chocolada Spa se encuentra orientada a la estructuración y correcto funcionamiento de la empresa. Al tratarse de una pequeña y mediana empresa (PYME), es común que un trabajador realice varias tareas de diferentes áreas:

- **Contabilidad:** Encargada de gestionar las finanzas de la empresa, elaborar los presupuestos de compra y supervisar el pago de los sueldos.
- **Departamento de producción:** Encargado de supervisar los procesos productivos y asegurar el cumplimiento de los objetivos de producción establecidos por los clientes.
- **Departamento de calidad:** Son los encargados de verificar que los productos cumplan con los estándares de calidad requeridos antes de su distribución.
- **Departamento de despacho:** Encargado de gestionar la logística y distribución de los productos hacia los clientes.



Figura:1.1 Organigrama Chocolada.
Fuente: Elaboración propia.

1.6 Proceso productivo.

El proceso productivo de Chocolada Spa contempla diversas etapas que permiten transformar las materias primas en productos terminados de alta calidad. Cada fase que conlleva la creación de los productos tales como Cuchufli y alfajores llega al consumidor, logrando cumplir los estándares de sabor y calidad.

A continuación, se presenta una descripción general del proceso, la cual se presenta en el siguiente diagrama:

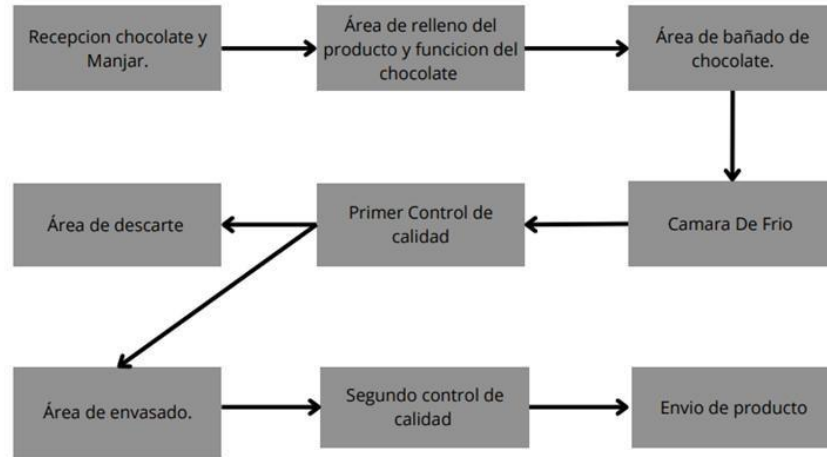


Figura:1.2 Proceso productivo.
Fuente: Elaboración propia.

1.6.1 Área de proceso productivo.

El área de proceso productivo consta de maquinaria y personal capacitado, que en conjunto logran transformar las materias primas en productos de alta calidad para el cliente.

El personal cumple diferentes funciones que van desde el relleno y bañado de los productos, hasta la inspección visual y el envasado. Cada una de las ocho etapas cuenta con diferentes controles específicos que aseguran a la empresa el cumplimiento requerido para garantizar que cumplan con los estándares de calidad establecidos.

Finalmente, antes de ser envasados y despachados, se realizan controles de calidad aleatorios para verificar que los productos cumplan con los estándares requeridos y evitar que alguno llegue al cliente de manera defectuosa. Chocolada Spa mantiene un fuerte compromiso con la satisfacción del consumidor. Por ello, la empresa declara que, en caso de que un producto no cumpla con la calidad esperada, el cliente puede informar de la situación, y se le compensará con productos durante un año.

1.6.2 Recepción del chocolate y manjar.

En esta primera etapa los productos llegan en materias primas, el chocolate viene de manera sólida en bloques, se realiza una inspección visual en la cual se verifica que estén en óptimas condiciones para poder ser utilizados, de no ser así se descarta inmediatamente, mientras tanto el manjar viene en estado semilíquido, las cuales pasan también los controles de calidad visual y con la temperatura acorde, debido a que es un producto de manera artesanal, lo que le otorga un sabor distintivo que diferencia a Chocolada del resto del mercado.

1.6.3 Área de llenado del producto y fundición del chocolate.

En la segunda etapa, uno de los productos de mayor demanda que tiene Chocolada Spa son los cuchufllés, los cuales se rellenan con manjar artesanal previo a ser bañados con chocolate. Para poder bañar los cuchufllés el chocolate previamente se mete en una bañera que está en una temperatura que ronda los 50 °C a 52 °C, lo que garantiza que permanezca en estado líquido y aporte uniformidad al recubrimiento de los cuchufllés.

1.6.4 Área del bañado.

En la tercera etapa, el chocolate previamente derretido a una temperatura entre 50 °C y 52 °C se vierte en la bañadora de chocolate. El personal toma los cuchufllé ya rellenos de manjar y los recubre de manera artesanal utilizando un disco giratorio, que mantiene de forma constante la fluidez del chocolate.

Posteriormente, los productos pasan a una correa transportadora que los baña nuevamente, dejándolos completamente uniforme. Tras el bañado, los cuchufllé son trasladados a la cámara de frío.

1.6.5 Área de cámara de frío.

La cuarta etapa corresponde al enfriamiento de los cuchufllé en la cámara de frío, la cual cumple la función principal de enfriar los productos a una temperatura por debajo de 0 °C. Esto

asegura que el recubrimiento de chocolate quede adherido al barquillo del cuchufli, proporcionando la textura y dureza necesarias antes de pasar a la etapa de envasado



Figura.1.2: Cámara de frío y bañadora de Chocolate.
Fuente: Elaboración Propia.

1.6.6 Área de primer control de calidad.

En la quinta etapa se realiza el primer control de calidad de los cuchufli que salen de la cámara frío. El personal recibe de manera aleatoria que los productos estén correctamente rellenos y cubiertos.

En esta área contempla la inspección visual, así como la destrucción controlada de algunos productos para verificar que cumplan con los estándares de calidad establecidos.

1.6.7 Área de descarte.

En la sexta etapa, los productos que salen defectuosos y que no cumplen con los estándares de calidad, son retirados de la línea de producción. Algunos que sí el encargado verifica que pueden

volver a la línea de producción por defectos menores (por ejemplo, recubrimiento incompleto, falta de frío), mientras los que están con fallas críticas son descartados de manera definitiva.

1.6.8 Área de envasado.

La séptima etapa contempla el envasado del producto una vez pasado el primer control de calidad, donde se van realizando empaques individuales de 3, 5 y 10 cuchufli acorde a lo que el cliente pida, esta es una de las etapas claves debido a que se protege el producto y logra facilitar su distribución.

1.6.9 Área de segundo control de calidad.

En la última etapa se lleva a cabo una última inspección para verificar que los envases no presenten defectos como (Mal pegado, rotura del envase, etiqueta mal pegada, etc.). Solo después de pasar esta revisión, son puestos en cajas y están listos para ser despachados a los diferentes clientes.

1.7 Requerimiento de calidad.

Como se puede inferir los productos de chocolate debe cumplir los estándares de calidad respecto al país que esté en el caso de la empresa Chocolada debe cumplir los estándares de calidad que el gobierno de Chile dictamine que en este caso sería el decreto supremo N.º 977/96 que habla principalmente de los requisitos y normativa que deben cumplir cualquier instalación que fabrique productos alimenticios.

1.8 Aspecto general del mantenimiento.

El mantenimiento es fundamental para Chocolada Spa, que el correcto funcionamiento de sus maquinarias es clave para poder garantizar la continuidad de la producción. Al ser una pequeña y mediana empresa (PYME) y en proceso de crecimiento, la empresa cuenta con un número limitado de equipos y no todos tienen un respaldo en caso de falla, lo que implica que antes un fallo imprevisto la producción se detenga por completo hasta que un equipo pueda intervenir y reparar la máquina que fue afectada.

Actualmente, Chocolada Spa no posee un equipo de mantenimiento interno, sino que este depende de un servicio de mantenimiento tercerizado. Esto significa que los tiempos de reparación de dicho equipo puedan ser variables, ya que las maquinarias deben ser trasladadas a la empresa para que puedan ser intervenidas, lo que puede provocar una parada de producción de horas hasta un día en el mejor de los casos.

En la industria de alimentos esta situación puede afectar la eficiencia productiva y, en casos críticos atrasar los tiempos de entrega para los clientes estratégicos como serían el retail o empresas pequeñas, la falta de un sistema formal de mantenimiento, dificulta la implementación de los planes de mantenimientos preventivos o predictivos, lo que aumenta a la empresa a ser dependiente del mantenimiento correctivo, lo que suele en muchos casos ser más costosos y generar tiempos de paradas mayores.

Por lo mencionado anteriormente se hace necesario que la empresa empiece a desarrollar planes de mantenimiento más formales que logren programar revisiones periódicas para anticiparse a las fallas y lograr reducir el impacto en producción y en el impacto económico debido a las detenciones no planificadas.

1.9 Problemática del proyecto.

La principal problemática que presenta la empresa Chocolada Spa se relaciona directamente con la gestión del mantenimiento. Al ser una pequeña y mediana empresa (PYME), esta no cuenta con un equipo de mantenimiento propio ni con algún software de mantenimiento que permita llevar un control de manera detallada de los mantenimientos.

Esta situación implica que muchas fallas se logren atender de manera correctiva, en vez de poder prevenir dichas fallas con un plan de mantenimiento como preventivo o predictivo. Al tener una ausencia de registros de mantenimiento, esto genera una dificultad para poder identificar algunos patrones de fallas, lo que esto provoca que las mismas fallas estén siendo provocadas de manera repetida y generen fallas constantes en la producción de Chocolada Spa.

También, para la empresa, realizar una implementación de algún software de mantenimiento y tener un equipo propio de mantenimiento de manera permanente puede ser muy elevado para una pequeña y mediana empresa (PYME). Por esta razón, muchas veces para estas empresas es mejor

tener una empresa tercerizada que pueda resolver las fallas de manera inmediata, pero esto también genera un problema debido a que solo arreglan el problema, pero no logran abordar la causa raíz de dicho problema. Esto aumenta la probabilidad de que los equipos vuelvan a fallas en el corto o mediano plazo.

En consecuencia, por no tener un plan de mantenimiento o un equipo de mantenimiento, la empresa enfrenta pérdidas de productividad, lo que genera incumplimiento de los pedidos o atrasos, también aumentan los costos de reparación lo que puede generar que le afecte su competitividad en el mercado debido a que las empresas buscaran otras empresas que puedan satisfacer sus necesidades.

Capítulo 2: Desarrollo y aplicación práctica de la metodología RCA (Árbol De Fallas).

2.1 Procedimiento de aplicación de la metodología análisis causa raíz (RCA).

2.1.1 Metodología de Análisis Causa Raíz (RCA).

El método para considerar en este trabajo está basado en la herramienta FTA(Fault-Tree Analysis, Árbol de fallas), la cual permite identificar la causa principal de la falla de un equipo crítico mediante creación de un diagrama de árbol

El diagrama de árbol funciona para poder identificar un solo tipo de una ocurrencia de falla no deseada; además, se puede utilizar para poder evaluar algún conjunto de componentes, lo cual hace que esta herramienta sea muy útil.

El análisis causa raíz de árbol de fallas se utiliza en la industria, salud, seguridad, servicio, gestión de calidad, etc. Debido a que ayuda a simplificar los tiempos de fallas que se puedan presentar.

Según el procedimiento de análisis, causa raíz corresponde a la fase 3 de equipos críticos de alto impacto dentro de la industria. [1] [2]



Figura:2.0 Modelo del proceso de gestión del mantenimiento (MGM).
Fuente: Ingecon Técnicas de Análisis Causa Raíz (ACR) (RCA: Root Cause Analysis)(1).

2.1.2 Descripción y desarrollo de las etapas del proceso de aplicación de la técnica de RCA.

A continuación, se muestra el proceso a seguir para la implementación del análisis causa raíz (RCA) que se va a utilizar:



Figura:2.1 Modelo propuesto de implantación de la técnica de RCA.
Fuente: Ingecon Técnicas de Análisis Causa Raíz (ACR) (RCA: Root Cause Analysis).[1]

2.1.3 Conformación del equipo de trabajo en el modelo RCA.

En un equipo natural de trabajo de RCA está definido como un grupo de diferentes personas que cumplen diferentes funciones dentro de una organización que trabajarán en conjunto por un periodo de tiempo determinado, para analizar problemas que presentan en los diferentes departamentos para lograr un objetivo común. A continuación, se mostrarán características generales del equipo natural de trabajo. [3][4]

Características generales de los equipos naturales de RCA:

- Alineación: El compromiso que tienen los miembros del equipo de RCA tiene como fin una misión y visión en común, lo que favorece el compromiso dentro del equipo, permitiendo que

si existen desacuerdos se puedan convertir en espacios de diálogo constructivo que se da en soluciones integradas y eficientes.

- **Coordinación:** La coordinación es caracterizada cuando cada integrante tiene roles y responsabilidades claramente definidos, asume los compromisos colectivos como si fueran propios, ya que el trabajo individual se logra alinear con el objetivo del equipo.
- **Comprensión:** La Comprensión representa un compromiso compartido con el equipo de trabajo, lo cual requiere de poder distinguir entre hechos, interpretaciones y puntos de vista, lo que ayuda a comunicar y tener consideraciones en diferentes perspectivas dentro del equipo.
- **Respeto:** El respeto es fundamental en el equipo de trabajo, ya que se deben valorar la empatía con todo el equipo para no perder la objetividad de la realidad operacional que se está desarrollando, ya que se deben considerar varios puntos de vista y poder reflexionar sobre la participación y poder tomar decisiones oportunas con el equipo de trabajo.
- **Confianza:** La confianza está presente en cada integrante, ya que cada integrante cumplirá con sus respectivas responsabilidades con eficacia y buscará la información requerida y necesaria para poder tomar una decisión.

Rol del facilitador.

La función que tiene el Facilitador de RCA consiste en orientar y guiar el proceso de RCA el cual su función será asegurar que el proceso de RCA se realice de manera efectiva y ordenada.

Actividades que debe realizar el facilitador.

- Debe guiar al equipo de trabajo en los modos de fallos, hipótesis, los niveles de causa y las soluciones.
- Tiene que ayudar para poder decidir qué nivel debe ser realizado en el análisis de fallos.
- Tiene que ayudar a identificar los problemas que se presentan y deben ser analizados bajo la metodología de RCA.
- Debe asegurar reuniones con el equipo de trabajo, las cuales deben ser de manera profesional y deben llevarse con fluidez y normalidad.
- Debe motivar al equipo de trabajo.

- Debe asegurar que toda la documentación quede registrada durante el proceso de RCA esté de manera correcta.

Perfil del facilitador y áreas de conocimiento.

- Debe tener una amplia capacidad de análisis.
- Debe tener muy bien desarrolladas las cualidades personales como liderazgo, credibilidad, seguridad y confianza.
- Debe tener buenas facilidades para poder conducir las reuniones de trabajo.
- Debe tener las teorías básicas del RCA.
- Debe tener las técnicas de evaluación de riesgo/ análisis coste riesgo beneficio.

2.1.4 Definición y jerarquización de problemas.

2.1.5 Análisis crítico del área de maquinaria de producción.

Como primera actividad previa a la definición y jerarquización del problema, se debe realizar un análisis crítico con el fin de poder determinar el equipo o componentes que se encuentra en mayor ocurrencia de fallas para poder mitigar las fallas que este tenga. [5]

Nivel de riesgo	Color
Riesgo Bajo	
Riesgo Aceptable	
Riesgo Medio	
Riesgo Alto	
Riesgo muy Alto	

		Consecuencia				
		mínima	menor	moderada	mayor	Máxima
probabilidad		1	2	3	4	5
muy alta	5	5	10	15	20	25
alta	4	4	8	12	16	20
media	3	3	6	9	12	15
baja	2	2	4	6	8	10

muy baja	1	1	2	3	4	5
		(0-5)	(6-10)	(11-15)	(16-20)	(21-25)

Tabla: 2.0 Análisis de Criticidad.
Fuente: Elaboración propia.

Se utiliza un modelo matriz de criticidad semicuantitativo ‘‘MRC’’ (Matriz de criticidad por riesgo) con el fin de poder determinar el equipo que se encuentra en estado más crítico dentro del área de producción de la empresa utilizando la siguiente fórmula [1][5]:

$$C = (SHA * 0,2) + (IC * 0,2) + (IP * 0,2) + (BM * 0,2) + (CM * 0,2)$$

Donde:

FF: Frecuencia de Fallas.

C: Consecuencia.

SHA: Seguridad y Ambiente.

IC: Impacto en calidad.

IP: Impacto en producción.

BM: Baja mantenibilidad.

CM: Costo de mantenimiento.

Riesgo: FFxC.

a) Factor frecuencia de fallos (FF): Representa la cantidad de fallos que se presentan en un tiempo determinado, en este caso dentro de 1 año.

Criterios de evaluación	
$C=(SHA*0,2) +(IC*0,2) +(IP*0,2) +(BM*0,2) +(CM*0,2)$	
Factor de frecuencia de fallos	
1	Menos de 1 evento por año
2	1 evento en 1 año
3	1 evento dentro de 3 meses

4	1 y 2 eventos dentro de un año
5	3 o más eventos dentro de un año

Tabla:2.1 Factor Frecuencia de fallos.

Fuente: ingecon Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos.

b) Impacto en seguridad y medio ambiente (SHA): Son los impactos que tendría en la seguridad del personal y del medio ambiente debido a un evento.

Criterios de evaluación	
$C=(SHA*0,2) +(IC*0,2) +(IP*0,2) +(BM*0,2) +(CM*0,2)$	
Impacto, seguridad y medio ambiente	
1	Bajo impacto, no existe riesgo de salud ni medio ambiente
3	Impacto medio alto, existen daños menores a la salud de personas y medio ambiente
5	Impacto alto riesgo, existen pérdidas humanas y daño mayor al medio ambiente

Tabla: 2.1 Impacto en seguridad y medio ambiente.

Fuente: ingecon Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos.

c) Impacto de producción (IP): Son los impactos debidos a la no producción debido a un evento.

Criterios de evaluación	
$C=(SHA*0,2) +(IC*0,2) +(IP*0,2) +(BM*0,2) +(CM*0,2)$	
Impacto en producción (IP)	
1	Perdidas de producción inferiores al 10%
2	Perdidas de producción entre 10% y 24%
3	Perdidas de producción entre el 25% y 49%
4	Perdida de producción entre el 50% y el 74% (unidades de reserva)
5	Perdida superior al 75% (sin stock de reservas)

Tabla: 2.2 Impacto de producción.

Fuente: ingecon Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos.

d) Impacto por baja mantenibilidad (BM): Impactos que tiene la empresa debido a un evento y los tiempos que puede demorar en ser reparados.

Criterios de evaluación	
$C=(SHA*0,2) +(IC*0,2) +(IP*0,2) +(BM*0,2) +(CM*0,2)$	
Impacto por baja mantenimiento.	
1	Cuenta con unidades de respaldo y reparación en tiempos cortos
3	Unidades de reserva cubren de manera parcial, reparación y logística intermedia
5	No cuenta con unidades de reservas para cubrir la producción y tiempos de reparación y logística grandes tiempos de espera

Tabla: 2.3 Impacto por baja mantenibilidad.

Fuente: Ingecon Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos.

e) Impacto por costo de mantenimiento (CM): Impacto que lleva a la reparación del equipo incluyendo tiempos de reparación, insumos y horas hombres.

Criterios de evaluación	
$C=(SHA*0,2) +(IC*0,2) +(IP*0,2) +(BM*0,2) +(CM*0,2)$	
Impacto en Costo de mantenimiento	
1	Costo de reparación se ubican bajo el 10% del valor del equipo
2	Costos de reparación entre el 10% y 24% del valor del equipo
3	Costos de reparación entre el 25% y 49% del valor del equipo
4	Costos de reposición entre 50% y 74% del valor del equipo
5	Daño irreversible superando el 75% del valor del equipo

Tabla: 2.4 Impacto por costo de mantenimiento.

Fuente: Ingecon Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos.

Previo a la primera actividad se utiliza la matriz de criticidad mencionada anteriormente para poder determinar con qué equipo de trabajo se procederá a trabajar, una vez determinada la máquina que fue seleccionada se procederá a realizar la primera actividad la cual es la jerarquizaron de los problemas que van a ir resolviendo las diferentes preguntas que se mencionaran a continuación:

¿Qué es un problema?

¿Cómo definimos los problemas?

¿Todos Vemos el problema igual?

¿Hemos definido problemas en termino de nuestra realidad?

¿Tenemos experiencias y percepciones distintas?

¿Entendemos nuestra ignorancia y prejuicios?

¿Trabajamos en el problema equivocado?

¿Trabajamos en los síntomas o en las causas?

Para poder definir de manera apropiada la problemática respecto al equipo de trabajo se deberán responder las siguientes preguntas de manera ordenada[1][5]:

- ¿Qué?: ¿Qué fue lo que ocurrió?, esta pregunta responde al nivel de equipos o sistema, por ejemplo: Fallos en sistema de poleas de bañadora de chocolate, fallos en la zona eléctrica de la bañadora.
- ¿Cuándo?: ¿Cuándo ocurrió?, en esta sección se incluyen fechas y la frecuencia de fallas.
- ¿Dónde?: ¿Dónde ocurrió el problema?, En esta sección se agrupan las instalaciones donde se encuentra el equipo.
- ¿Importancia?: El impacto y las consecuencias se escriben en este punto respecto a los eventos de fallo, respecto al ambiente, personas y operaciones lo que deriva en pérdidas monetarias, el cual logra cuantificar el promedio del evento en función del riesgo usando la siguiente formula.

$$R = FF \times TPFSX (CD + PEN)$$

Dónde:

FF = Frecuencia de fallos, fallos/ año.

TPFS =Tiempo promedio fuera de servicio, horas/ fallos.

CD= Costes Promedios directos por fallos por hora, dólares/ hora.

PEN = Costes promedio de penalización por fallos por hora, dólares/hora.

A continuación, se mostrará un ejemplo respecto a la definición de problemas:

- Qué: Fallos de la bañadora de chocolate.
- Cuando: 25/04/2021@ 4:32 (último fallo).
- Frecuencia del evento: FF= 5 Fallos/ año - Dónde: Viña del mar, fabrica Chocolada.
- Impacto:
 - o Seguridad: Sin accidentes, riesgo mínimo. o Ambiental: no genera contaminación ambiental.
 - o producción: TPFS: 24 Horas Penalización Pen: 83.000 CLP/hora
 - o Mantenimiento: costes directos CD: 10.000 CLP/ hora.
 - o estimación del riesgo (R)= CLP/ año
 $R = FF \times TPFS \times (CD + PEN) =$
 $R = 5 \text{ fallos/ año} \times 24 \text{ horas/ fallos} \times (10.000 \text{ CLP/hora} + 83.000 \text{ CLP/hora})$
 $R = 11.160.000 \text{ CLP/ año.}$

2.1.6 Definición y priorización de los modos de fallos.

En la tercera etapa se debe seleccionar los modos de fallos los cuales provocan las fallas dentro del sistema.[1][5]

Se debe tomar en primer lugar los problemas que generan un alto impacto y definir sus modos de fallos correspondiente, los modos de fallos que se provocan dentro del análisis causa raíz se define como los eventos físicos que hacen que se genere una para imprevista del equipo.

Al lograr analizar los modos de fallos el grupo deberá responder la siguiente pregunta ¿Cómo puede(n) ocurrir el(los) paro(s) imprevisto(s)? [1][5]

Una vez obtenido los modos de fallos priorizados que se encontraron se debe obtener el nivel de criticidad calculando el riesgo anualizado con lo que se calcula de la siguiente manera:

1. $RTA = CAR + PAF$
2. $CAR = FF \times (CMO + CM)$
3. $PAF = FF \times PE$
4. $PE = TR \times IP$

Dónde:

RTA: Riesgo Anual Equivalente (CLP\$/año).

CAR: costes anuales de reparación (CLP\$/año).

PAF: penalización anual por fallos (CLP\$/año).

FF: frecuencia de fallos (fallos/año).

CMO: Costes mano obra por fallo (CLP\$/fallo).

CM: Costes materiales por fallo (CLP\$/fallo).

TR: Tiempo de reparación (horas/fallo).

IP: Impacto producción (CLP\$/hora).

PE: Penalización x evento fallo (CLP\$/fallo).

Una vez que se obtiene definido el valor de riesgo anual (Dinero/riesgo) y se jerarquizan cada modo de fallo de mayor ocurrencia a menor ocurrencia se procederá a identificar las diferentes hipótesis de cada modo de fallo que está siendo evaluado, los modos de fallos que puedan tener mayor oportunidad de mejora se procederá a realizar el criterio de Pareto, y generar la definición de la hipótesis correspondiente para cada modo de fallo que presenten el 80% de las fallas.

2.1.7 Definición y validación de hipótesis.

Cuando ya estén definidos los modos de fallos, el equipo seleccionado, se procederá a identificar las diferentes hipótesis que para cada modo de fallo que será evaluado. Al ser verificada

una hipótesis esta pasara normalmente a ser una búsqueda de causa raíz, para poder definir la hipótesis el grupo de trabajo previamente debe responder una pregunta:

¿Por qué ocurren los modos de fallos? [1][2].

El resultado final de la etapa de definición de hipótesis valida las hipótesis con hechos más probables y descarta las que son inconsistentes.

Durante el proceso se deben evaluar los siguientes aspectos (lista de verificación de hipótesis):

- Variables de operación.
- Historiales de mantenimiento.
- Libros diarios de los eventos de cada turno.
- Resultados de inspecciones (visuales, ensayos no destructivos, etc.).
- Resultados de laboratorio (químico y metalúrgico).
- Datos de vibraciones Especificaciones.
- información de compras.
- Procedimientos de mantenimiento.
- Procedimientos operacionales.
- Datos y Modificaciones sobre Diseño.
- Registro de Entrenamiento Personal.

2.1.8 Definición y validación de las causas raíz.

En esta etapa ya se tiene identificadas las hipótesis y descartadas las que no sirvieron con lo cual el equipo de trabajo procederá a definir cuáles son las causas raíz para cada hipótesis que fueron validadas, esta metodología propone identificar y clasificar las causas raíces en 2 categorías diferentes[1][2]:

Causas raíz Física (CRF): Se define al tipo de causas raíz que son de carácter material o tangibles.

Causa raíz Humana (CRH): esta se define como al tipo de causa raíz que se generan fallos debido a la mala operación del ser humano

Causa raíz Latente (CRL): Se define a la causa raíz que están relacionadas por la falta o la deficiencia del sistema de gestión y administración que hacen que algún fallo ocurra.

Para poder definir los 3 tipos de diferente causa raíz se debe responder la siguiente pregunta:

¿Por qué ocurrió la hipótesis planteada? [1][2].

2.1.9 Definición y evaluación de la efectividad de las soluciones propuesta.

Las soluciones a los problemas que se presentan deben estar diseñadas para poder evitar o minimizar el impacto (consecuencia) que trae cada modo de fallo a la seguridad de las personas, ambiente, calidad y a la producción, las soluciones deben aumentar la confiabilidad del equipo, pero también deben justificarse acorde a la función coste riesgo, beneficio riesgo. Las soluciones para proponer deben estar basadas en los siguientes criterios(1)(2):

- Prevenir la ocurrencia.
 - Prevenir o mitigar el problema original.
 - Prevenir problemas similares.
 - No crear problemas adicionales (nuevos modos de fallos).

- Minimizar y controlar.
 - Los efectos y consecuencias que pueden traer nuevos modos de fallos que traen las nuevas soluciones propuestas.

- Satisfacer las metas y objetivos.
 - Se debe maximizar la rentabilidad del negocio una vez que la solución se haya implantado, se propone medir el desempeño de la solución para poder estimar valores exactos y poder cuantificar el beneficio real, se mostrará a continuación un flujograma del modelo a seguir:

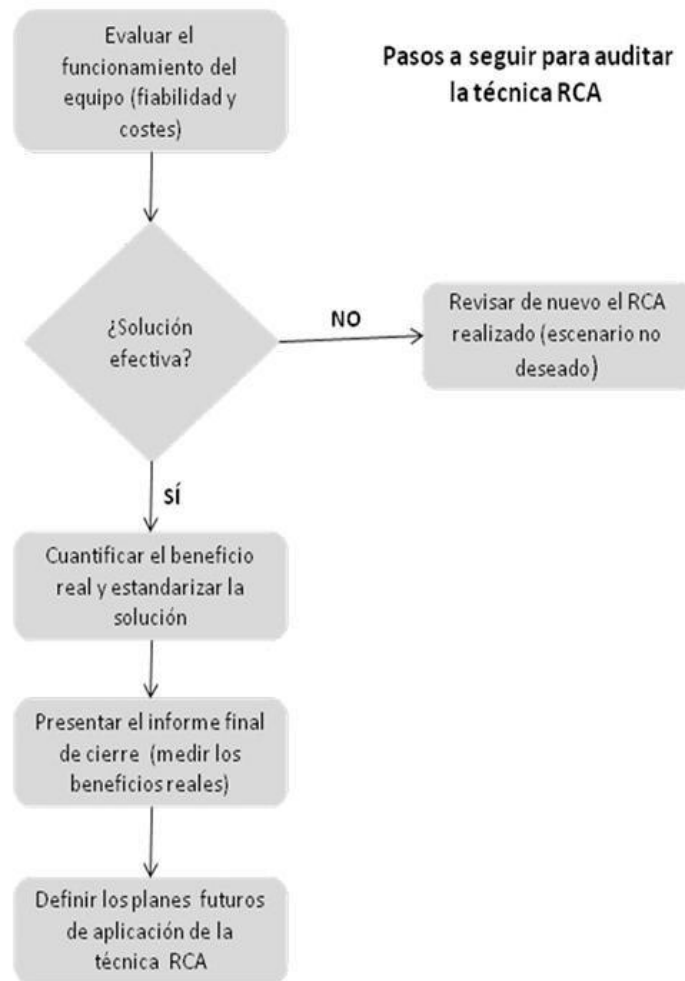


Figura:2.2 Proceso de validación y auditoría de las soluciones propuestas.
Fuente: Ingecon Técnicas de Análisis Causa Raíz (ACR) (RCA: Root Cause Analysis)[1].

Esta etapa consta de establecer los recursos técnicos, humanos y económicos con el fin de poder ejecutar de manera correcta el plan de acción para poder minimizar las consecuencias de las fallas identificadas.

.Recursos Técnicos: Se van a identificar las herramientas necesarias y tecnologías que se requieran para poder implementar las soluciones propuesta para el plan de acción, se debe tener la infraestructura necesaria para poder capacitar al personal y desarrollar las actividades.

Recursos Humanos: Para poder desarrollar los recursos humanos se deberá evaluar los conocimientos y habilidades del equipo de trabajo el cual va a desarrollar la actividad y se definirá al personal con las habilidades necesarias para un buen desarrollo de la actividad.

Recursos Económicos: Se deberá estimar los costos aproximados para la implementación del plan lo que incluiría tecnología, capacitación y contratación externa de ser necesario.

Se mostrará el RTA actual previo a la implementación utilizando la formula:

1. $RTA = CAR + PAF$
2. $CAR = FF \times (CMO + CM)$
3. $PAF = FF \times PE$
4. $PE = TR \times IP$

Las siglas de las ecuaciones 1,2,3 y 4 están explicadas en el punto 2.1.6 de la página 32

Modos de falla bañadora	FF Fallos/año	CMO M\$	CM M\$	CAR M\$/Año	TR Horas	IP M\$/Hora	PE M\$	PAF M\$/Año	RTA M\$/año
Desgaste de componentes	5	\$ 250.000	\$ 90.000	\$ 1.700.000	24	\$ 936	\$22.464	\$ 112.320	\$ 1.812.320
Cables	4	\$ 250.000	\$ 70.000	\$ 1.280.000	24	\$ 936	\$22.464	\$ 89.856	\$ 1.369.856
Daño de rodamiento	5	\$ 250.000	\$ 30.000	\$ 1.400.000	24	\$ 936	\$22.464	\$ 112.320	\$ 1.512.320

Tabla: 2.5 RTA Actual.
Fuente: Elaboración propia.

RTA actual = \$4.694.496

Modos de falla bañadora	FF Fallos/año	CMO M\$	CM M\$	CAR M\$/Año	TR Horas	IP M\$/Hora	PE M\$	PAF M\$/Año	RTA M\$/año
Desgaste de componentes	2,5	\$ 250.000	\$ 90.000	\$ 850.000	24	\$ 936	\$ 22.464	\$ 56.160	\$ 906.160
Cables	2	\$ 250.000	\$ 70.000	\$ 640.000	24	\$ 936	\$ 22.464	\$ 44.928	\$ 684.928
Daño de rodamiento	2,5	\$ 250.000	\$ 30.000	\$ 700.000	24	\$ 936	\$ 22.464	\$ 56.160	\$ 756.160

Tabla: 2.6 RTA futuro.
Fuente: Elaboración propia.

RTA futuro= \$ 2.347.248

Una vez determinado los recursos que se realizará el estudio, se procederá a realizar dos escenarios para realizar una comparativa, escenario óptimo y escenario pesimista como se muestra en el siguiente ejemplo:

Previo a la implementación				Implementado al analisis causa raíz				
Descripción	FF Fallos Anual	Costo por falla	Costo Anual	Implementación Anualizada	FF Fallos Anual	Costo por falla	Costo Anual	Ahorro potencial
Desgaste componente	5	\$1.812.320	\$ 9.061.600	\$ 480.000	2,5	\$ 1.812.320	\$ 4.530.800	\$ 4.530.800
Cables(humedad)	4	\$1.369.856	\$ 5.479.424		2	\$ 1.369.856	\$ 2.739.712	\$ 2.739.712
Rodamientos	5	\$1.512.320	\$ 7.561.600		2,5	\$ 1.512.320	\$ 3.780.800	\$ 3.780.800
Total	14		\$22.102.624	\$ 480.000	7	\$ 4.694.496	\$11.051.312	\$11.051.312
Costo total Anualizado			\$22.102.624	Beneficio Anual				\$11.051.312

Tabla: 2.7 Tabla de mejora 100% frecuencia de fallos.

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se muestra una tasa de fallos previa a la implementación de 14 fallas anuales y posterior a la falla en el mejor de los casos una reducción al 100% de las fallas cada 2 años dando como beneficio económico la siguiente formula.

Beneficio económico=(RTA Actual -(RTA futuro + Costo solución))

Beneficio económico=\$4.694.496 -(\$ 2.347.248 +480.000)= **\$1.867.248 CLP** ahorro potencial.

Y en el caso pesimista se muestra la misma fórmula, pero con una frecuencia de fallas del 40%:

Tabla de mejora 40% frecuencia de fallos								
Previo a la implementación				Implementado al análisis causa raíz				
Descripción	FF Fallos Anual	Costo por falla	Costo Anual	Implementación Anualizada	FF Fallos Anual	Costo por falla	Costo Anual	Ahorro potencial
Desgaste componente	5	\$ 724.928	\$ 3.624.640	\$ 480.000	3	\$ 724.928	\$ 2.174.784	\$ 1.449.856
Cables(humedad)	4	\$ 342.464	\$ 1.369.856		2,4	\$ 342.464	\$ 821.914	\$ 547.942
Rodamientos	5	\$ 604.928	\$ 3.024.640		3	\$ 604.928	\$ 1.814.784	\$ 1.209.856
Total	14	\$ 1.672.320	\$ 8.019.136	\$ 480.000	8,4	\$ 1.672.320	\$ 4.811.482	\$ 3.207.654
Costo total Anualizado			\$ 8.019.136	Beneficio Anual				\$ 3.207.654

Tabla: 2.8 Mejora 40% frecuencia de fallos.

Fuente: Elaboración Propia.

RTA Futuro con los datos mencionados anteriormente nos da como resultado de RTA futuro pesimista = \$2.816.698

Beneficio económico=(RTA Actual-(RTA futuro pesimista+ Costo solución))

Beneficio económico=\$4.694.496 -(2.816.698+480.000)= **\$1.397.798CLP** Ahorro potencial.

Posterior a esto se determinarán las respectivas recomendaciones para la empresa en este caso convendría realizar una mejora del 100% de la tasa de fallos, pero de todas maneras el 40% de reducción de las tasas de fallos generaría una mejora en la empresa.

2.2 Aplicación de la metodología ACR en la empresa: Chocolada SPA.

2.2.1 Conformación del equipo de trabajo.

La conformación del equipo de trabajo para realizar el estudio de RCA no se utilizará un facilitador de RCA debido a que el fabricante de la bañadora será el responsable de guiar al equipo de trabajo debido que es quien más conoce los equipos, también es quien realiza los mantenimientos a todos los equipos de la empresa, también estarán el supervisor y el encargado de la maquinaria debido que son los que más tiempo están trabajando con la maquinaria[1].

2.2.2 Análisis de criticidad.

Como primera actividad se realiza el estudio de análisis de criticidad el cual se pusieron a competir los equipos del área de producción los cuales son los siguientes equipos:

- Bañadora de Chocolate.
- Calentador de Chocolate.
- Re llenador de Cuchufli.
- Cámara De frio.
- Re llenador de alfajor.

Una vez determinado los equipos del área de producción se procede a utilizar la fórmula de variable semi cualitativa la cual se muestra a continuación, dando como resultado la jerarquización del equipo más crítico de la empresa.

$$C = (SHA * 0,2) + (IC * 0,2) + (IP * 0,2) + (BM * 0,2) + (CM * 0,2)$$

Maquinas	Frecuencia	Impac producción	Costo Mant	Imp SHA	Impc Baja Mant	Consecuencia	Riesgo
Bañadora de Chocolate	5	5	5	1	4	4	20
Calentador de Chocolate	2	5	3	1	2	3	5
Re llenadora de Cuchufli	3	5	4	1	3	3	10
Cámara De Frio	1	3	2	1	3	2	2
Re llenadora de Alfajor	2	5	1	1	3	2	5

Tabla: 2.9 Equipos de Chocolada más crítico.

Fuente: Elaboración propia.

El análisis arrojó que la maquinaria que más presenta problemas dentro de la fábrica se encuentra en la bañadora de chocolate. Una vez determinada el equipo más crítico, se realizará la definición de la problemática.

¿Qué fue lo que ocurrió?

Fallas reiteradas en la bañadora, lo que provoca paradas imprevistas y no poder continuar con la producción.

¿Cuándo ocurrió?

Durante el mes de octubre fue la última falla que presentó, pero durante el año 2024 presentó un aumento de las paradas imprevistas en 2 ocasiones más, lo que ocurre es que estas paradas imprevistas significan la parada total de la planta.

¿Dónde ocurrió el problema?

Durante la operación dentro de la empresa, cuando se realizaba el bañado de diferentes productos para la entrega.

¿Importancia?

El impacto sobre las personas y ambiente no se vio afectado, pero si se vio afectado la parte económica debido a que no se pudo producir por un tiempo lo que generó primero perdida de producción y retrasos en las entregas lo cual se presenta con la siguiente fórmula que fue mencionada anteriormente:

○ Seguridad: Sin accidentes, riesgo mínimo.

○ Ambiental: no viola la contaminación ambiental.

- $R = FF \times TPFS \times (CD + PEN)$ ○ producción: TPFS: 24 horas.

Penalización PEN: 83.000 CLP/hora ○ mantenimiento: costes

directos CD: 40.000 CLP/hora.

○ estimación del riesgo (R)= CLP/ año

$$R = FF \times TPFS \times (CD + PEN) =$$

$$R = 5 \text{ fallos/año} \times 24 \text{ horas/fallos} \times (40.000 \text{ CLP/hora} + 83.000 \text{ CLP/hora})$$

R=\$14.796.480 CLP/año.

En resumen la empresa Chocolada del rubro Pyme o más conocida como pequeña-mediana empresa presenta grande problema en sus maquinarias debido a que no tienen los planes de mantenimiento de manera optimizada y normalmente se trabaja con el mantenimiento correctivo, Durante el último año la empresa empezó a crecer y a tener nuevos clientes y es fundamental encontrar las causas raíz de los problemas que tiene la máquina seleccionada(Bañadora de chocolate) para poder prevenir las paradas imprevistas.

2.3 Definición y priorización de los modos de fallos.

Con los siguientes modos de fallas se encontraron los componentes, los cuales el 80% de las fallas lo presentan los primeros 3 componentes.

- Desgaste de componentes.
- Cables quemados.
- Daño de rodamientos.

Modos de falla bañadora	FF Fallos/año	CMO M\$	CM M\$	CAR M\$/Año	TR Horas	IP M\$/Hora	PE M\$	PAF M\$/Año	RTA M\$/año
Desgaste de componentes	2	\$ 250.000	\$ 90.000	\$ 680.000	24	\$ 936	\$ 22.464	\$ 44.928	\$ 724.928
Cables	1	\$ 250.000	\$ 70.000	\$ 320.000	24	\$ 936	\$ 22.464	\$ 22.464	\$ 342.464
Daño de rodamiento	2	\$ 250.000	\$ 30.000	\$ 560.000	24	\$ 936	\$ 22.464	\$ 44.928	\$ 604.928
Desgaste de cadenas	1	\$ 250.000	\$ 50.000	\$ 300.000	24	\$ 936	\$ 22.464	\$ 22.464	\$ 322.464
Desgaste de engranes	1	\$ 250.000	\$ 30.000	\$ 280.000	24	\$ 936	\$ 22.464	\$ 22.464	\$ 302.464

Tabla: 2.10 RTA Componentes críticos.

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos mostrados se determinó cuál son los componentes más críticos de la bañadora de chocolate, lo que representa al 80% de las fallas que llevan al equipo a tener detenciones contantes.

2.3.1 Definición y validación de hipótesis.

A continuación, se mostrarán las hipótesis planteadas de los modos de fallas.

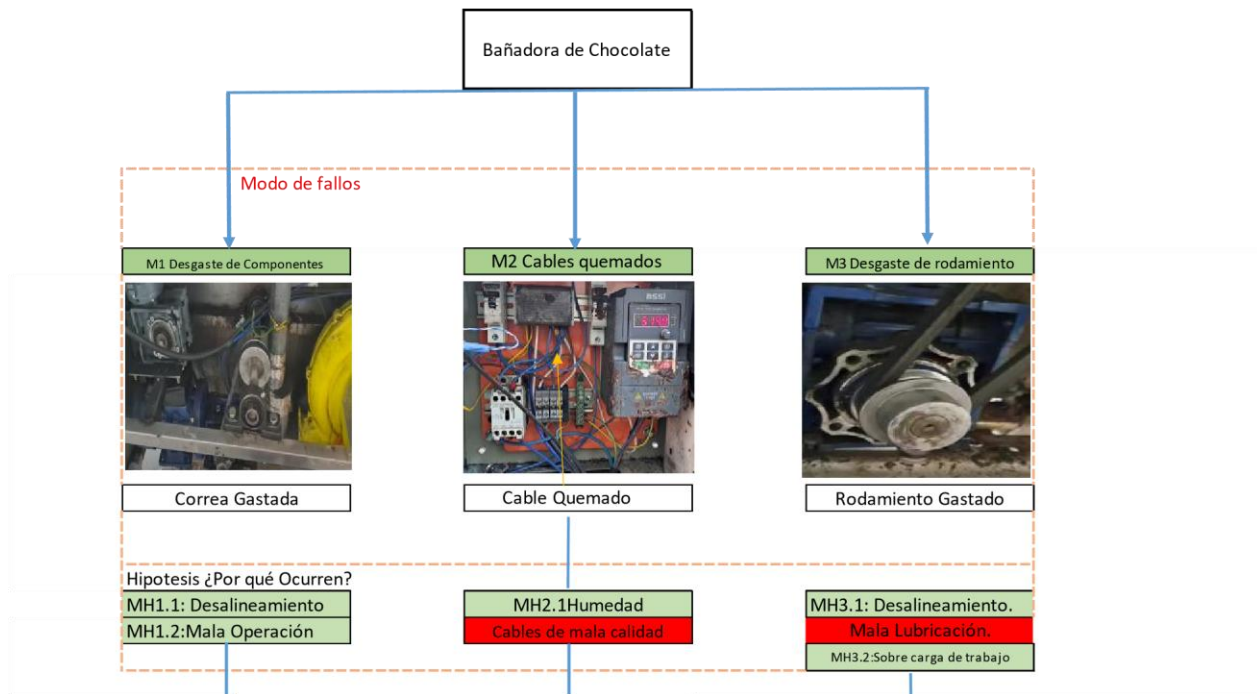


Figura: 2.2 hipótesis y modos de fallo.
Fuente: Elaboración propia.

Para poder realizar el descarte y las correctas validaciones de las hipótesis planteadas anteriormente se revisaron los procesos de mantenimiento del equipo, en conjunto con el equipo de mantenimiento que se encuentra de manera tercerizado y en conjunto con, los operadores de la máquina las hipótesis que fueron válidas quedaron con color verde mientras que las descartadas quedaron con color rojo.

• **Modo de fallo: “Desgaste de componentes”**

Hipótesis 1: Desalineamiento.

Esta hipótesis fue planteada debido a que se observó un movimiento anormal donde se encuentra la caja reductora la cual mueve la correa de distribución para mover la tómbola que hace que el chocolate se mueva, debido a esto se cree que el desalineamiento se puede deber a los componentes o su calidad.

Tras analizar detenidamente la información recopilada, se concluye que la hipótesis planteada es descartada debido a que no es consciente con la problemática debido a que la fallas que se

presentaron no son una causa directa del modo de fallo observado por el equipo, por lo que se descartara esta hipótesis.

Hipótesis 2: mala operación.

Esta hipótesis se debió a que los componentes se descastaban rápidamente debido a lo poco cuidadoso que trataban el equipo, como no cuidarlo y alejar el agua que se salía lo que hacía que empezara a fallar constantemente y se debían comprar componentes más seguidos.

La hipótesis inicial sugiere que si se encuentra relacionado la mala operación con la problemática del equipo por que se tomara en consideración dicha hipótesis.

- **Modo de falla:** Cables quemados.

Hipótesis 1: Humedad.

Esta hipótesis se planteó debido a que cuando se revisó la maquina se encontraron 2 bandejas con agua que escurre de la bañadora, también debido a la manipulación de los empleados para poder utilizar el variador de frecuencia que se utilizaba para poder dar la velocidad del motor estaba cubierta de chocolate con lo cual generaba también cortos en el sistema.

Es por esta razón que la hipótesis planteada se acerca a la problemática por esto se tomara en consideración dicha hipótesis.

Hipótesis 2: Mala calidad de cables.

Esta hipótesis se planteó debido a los cables que se encontraron en la bañadora, pero debido a que se sigue la exigencia correspondiente esta hipótesis se descartó.

Modo De falla: Desgaste de rodamiento.

Hipótesis 1: Esta hipótesis con respecto a los componentes gastados se descartó debido a que no presenta una falla critica en la maquina ya que su frecuencia de fallas es mínima.

Hipótesis 2: Mala Lubricación.

Esta hipótesis se planteó debido a la humedad y agua que se encontró en el equipo, pero una vez analizado el equipo se mostró que no fueron tocados por agua del sistema, por esta razón fue descartada.

Hipótesis 3: Sobre carga de trabajo.

Esta última hipótesis se contempló debido a que en el último tiempo la empresa empezó a presentar un aumento de solicitudes de productos las cuales están exigiendo a la maquinaria más de lo requerido.

Esta hipótesis se va a tomar en consideración debido a que si presenta la problemática del estudio.

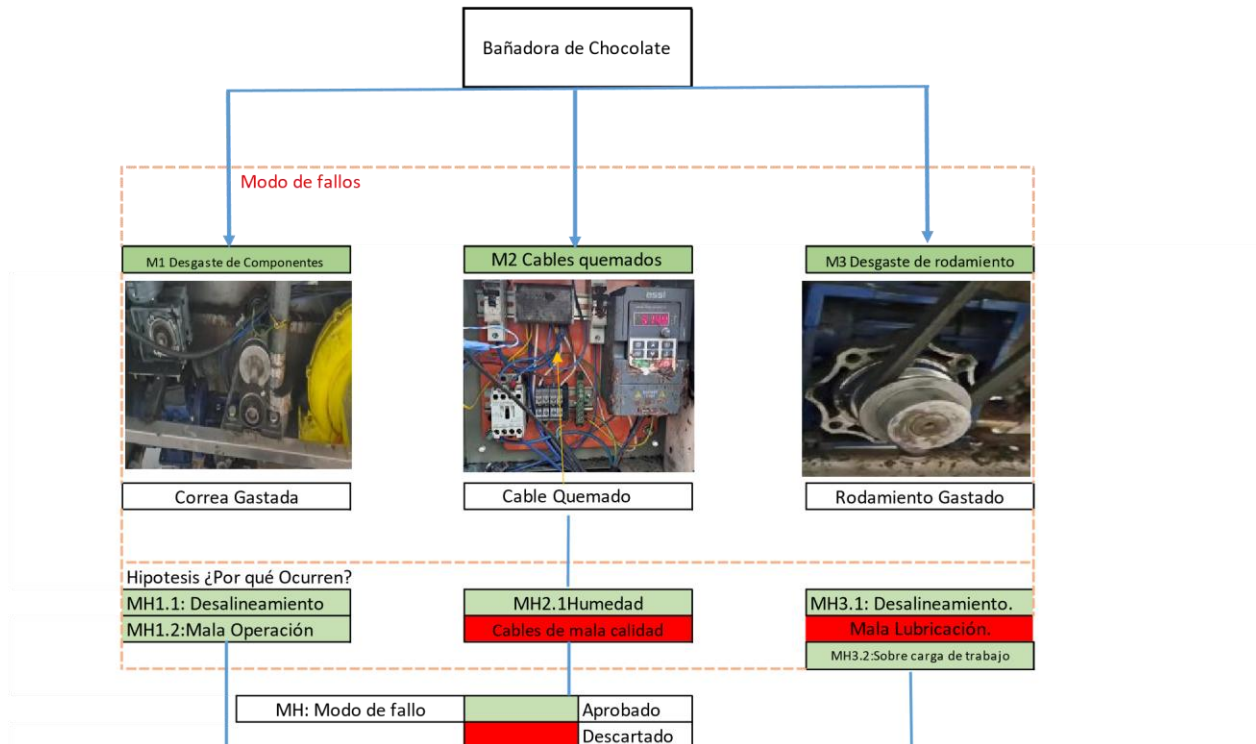


Figura: 2.3 Hipótesis validadas.
Fuente: Elaboración propia.

2.3.2 Definición y validación de las causas raíces.

En la quinta etapa del árbol de fallas previamente se realizó una validación general de las hipótesis para determinar los problemas que se encontraban de manera general para posteriormente poder validar las causas raíces de cada modo de fallo de manera individual.

Gracias al árbol de fallas se pudo apreciar que la hipótesis valida es netamente relacionada con el factor humano como falta de capacitación, mala manipulación. Esta discrepancia no solo afecta a

los componentes que se vieron afectados, sino que al proceso completo de la bañadora que se presentaron a lo largo del tiempo.

Humana: La falta de capacitación y la mala operación del equipo al ser deficiente hacía que se presentaran las fallas constantes debido a que se encontraba componentes externos en la caja de electricidad y en el variador de frecuencia, como sería chocolate y agua que producía que se generara corto circuito y que se quemaran los cables.

Humana: Operadores no cuidan el equipo de trabajo, sin que nadie viera el equipo cuando estuviera operando y dijera que estaba haciendo mal el operador debido a la falta de capacitación.

Latente: La empresa no realiza capacitaciones al equipo de trabajo y mejora la bañadora en los puntos donde se fuga el agua de la maquinaria.

Física: El desgaste continuo de los componentes y los modos de fallos analizados anteriormente.

Estas causas fueron dadas de manera general y se procederá a realizar de manera individual cada causa raíz del problema.

MH1 Desgaste de componentes (Correa de distribución).

MH1.1 Desalineamiento: El desalineamiento se subdivide en 3 áreas que afectaron las cuales son físicas, humanas y latente.

Física: El desgaste acelerado de los componentes de manera constante debido a la mala operación y humedad en el equipo.

Humana: La mala operación y mal cuidado del equipo genera que se presenten fallas constantes.

Latente: La empresa al no realizar las correspondientes capacitaciones y al no contar con equipo de mantenimiento solo se envía al fabricante a reparación.

MH1.2 Mala operación: La mala operación se debió a la falta de capacitación del personal debido a que no se cuenta con una capacitación del equipo que están trabajando solo se capacito para utilizarlo, se puede utilizar la misma solución que se presentó en el recuadro anterior H1.1 debido a que son la misma línea de operación.

MH2 Cables quemados.

H2.1 Humedad: En el área eléctrico de la bañadora de chocolate se encontró un corto circuito debido a la humedad que existía en el ambiente y también restos de chocolate dentro del circuito.

Física: Los cables están quemados y generando un alto riesgo de incendio y corto circuito.

Humana: La mala operación del equipo debido a que se manipulo con chocolate género que esa área entrara humedad y restos de chocolate.

Latente: La empresa no realizó una capacitación al equipo de trabajo de como manipular correctamente el equipo de trabajo.

MH3 Desgaste de Rodamiento.

El desgaste de rodamientos se debió al mal uso del equipo debido a la mala mantenibilidad de dicho equipo dando como resultado estas 2 casusa:

MH3.1 Desalineamiento: En el área mecánica de la bañadora se encontró con el rodamiento funcionando de manera errónea debido a que se encontraba desalineado por una mala manipulación del equipo de trabajo, a su vez de encontrar humedad en dicha zona.

Física: El rodamiento presenta desgaste acelerado debido a la entrada de agua y también a la desalineación por la mala manipulación del equipo debido al MH3

Humana: La mala manipulación del equipo de trabajo y realizar una sobre carga de trabajo llevo a al desalineamiento del equipo.

Latente: La empresa al no realizar una capacitación acorde a como se debe manipular el equipo de trabajo llevo a que los operadores no supieran cuanto peso máximo podría soportar la máquina.

MH 3.2 Sobrecarga de trabajo: La mala manipulación del equipo de trabajo debido a la falta de capacitación origino que ocurriera las fallas a los rodamientos visto en el MH3 lo cual comparten las mismas soluciones.



Figura 2.4 Árbol de Fallas.
Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 3: Plan de acción del Proceso de RCA.

3.1 Plan de acción.

[6] La efectividad obtenida en el proceso de análisis causa raíz (RCA) se traduce en la capacidad de ver los hallazgos que se encontraron con acciones tangibles, atacando correctamente de manera correcta las raíces del problema que se plantearon anteriormente, ya que con el plan de acción se cierra el ciclo del RCA lo cual ahora juega un papel importante, debido a que se pueden realizar mejoras continuas y a prevenir las ocurrencias.

N°	MH1.1 Causa raíz Identificada (Desalineamiento)			
1	física: EL desalineamiento en el equipo de trabajo se presenta de manera constante debido a la mala alineación del equipo respecto al motor			
2	Humana: Operadores no cuidan el equipo de trabajo, sin que nadie viera el equipo cuando estuviera operando y dijera que estaba haciendo mal el operador debido a la falta de capacitación.			
3	Latente: La Empresa no realiza capacitaciones al equipo de trabajo y mejora la bañadora en los puntos donde se fuga el agua de la maquinaria.			
Plan de acción				
N°	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	RESPONSABLE	PLAZO
1	Actualización de la manipulación del equipo	Incluir la actualización del funcionamiento de la maquinaria, las recomendaciones y las mediciones respectivas.	Fabricante	Por Definir
2	Revisión y aprobación al personal respecto a la capacitación	Solicitud de revisión de la actualización del equipo con el fin de realizar una capacitación	Por definir	Por definir
3	Inspecciones	Se realizará inspecciones cada 3 meses para ver cómo sigue operando el equipo y el personal.	Fabricante	Por Definir

Tabla: 3.0 Causa raíz identificada (Desalineamiento).

Fuente: Elaboración propia.

N°	MH 1.2 Causa raíz Identificada (Mala Operación)			
1	física: Desgaste de componentes por el mal uso del equipo.			
2	Humana: La mala operación y mal cuidado del equipo genera que se presenten fallas constantes.			
3	Latente: La empresa al no realizar las correspondientes capacitaciones.			
Plan de acción				
N°	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	RESPONSABLE	PLAZO
1	Actualización de operación del equipo.	Se realizará una actualización de operación de la bañadora para la correcta manipulación. Al igual que el modo de fallos 1	Fabricante	Por Definir
2	Revisión del equipo de trabajo y el personal	Desalineamiento se realizará una revisión para ver cómo opera el personal el equipo de trabajo.	Por definir	Por definir
3	Inspección de manipulación del equipo	Se realizarán inspecciones al operador para ver el correcto funcionamiento de la maquinaria.	Fabricante	Por Definir

Tabla: 3.1 Causa raíz identificada (Mala Operación).

Fuente: Elaboración propia.

N°	MH 2.1 Causa raíz Identificada (Humedad).			
1	física: Los cables están quemados y generando un alto riesgo de incendio y corto circuito			
2	Humana: La mala operación del equipo debido a que se manipulo con chocolate género que esa área entrara humedad y restos de chocolate.			
3	Latente: La empresa no realizo una capacitación al equipo de trabajo de como manipular correctamente el equipo de trabajo.			
Plan de acción				
N°	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	RESPONSABLE	PLAZO
1	Cambio de Cables quemados	Se procederá a cambiar los cables que fueron dañados por el corto circuito	Fabricante	Por Definir

2	Limpieza del área eléctrica	Se limpiará y dejará en óptimas condiciones el área eléctrica sin rasto de humedad y agua.	Fabricante	Por Definir
3	Inspecciones y capacitación	Se procederá a realizar capacitación al personal para la correcta manipulación del equipo y no contaminar el área eléctrica que pueda generar un corto.	Fabricante	Por Definir

Tabla: 3.2 Causa raíz identificada (Humedad).

Fuente: Elaboración propia.

MH 3.2 Causa raíz Identificada (Sobre carga de trabajo).				
1	física: EL desgaste de los Rodamientos de manera acelerada.			
2	Humana: :La mala manipulación del equipo de trabajo y realizar una sobre carga de trabajo llevo a al desalineamiento del equipo.			
3	Latente: La empresa, al no realizar una capacitación acorde a cómo se debe manipular el equipo de trabajo, llevó a que los operadores no supieran cuánto peso máximo podría soportar la máquina.			
Plan de acción				
N°	ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	RESPONSABLE	PLAZO
1	Actualización de operación del equipo.	Se realizará una actualización de operación de la bañadora para la correcta manipulación.	Fabricante	Por Definir
2	Revisión del equipo de trabajo y el personal	Al igual que el modo de fallos 1 Desalineamiento: se realizará una revisión para ver cómo opera el personal y el equipo	Por definir	Por Definir
3	Inspección de manipulación del equipo	Se realizarán inspecciones al operador para ver el correcto funcionamiento de la maquinaria.	Fabricante	Por Definir

Tabla: 3.3 Causa raíz identificada (sobre Carga de Trabajo).

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Recursos para la aplicación del plan de acción.

Esta etapa consta de establecer los recursos técnicos, humanos y económicos con el fin de poder ejecutar de manera correcta el plan de acción para poder minimizar las consecuencias de las fallas identificadas.

Actividad N.º 1:

Esta actividad tiene como principal objetivo una previa visita por parte del fabricante para realizar unas inspecciones del proceso y ver cuáles son las falencias que se encuentran en la manipulación del equipo de trabajo.

- **Recursos Técnicos:**

Herramientas: Computador.

Tecnología: Microsoft Office y registro del fabricante local.

Infraestructura: Taller de reuniones de Chocolate.

- **Recursos Humanos:**

Conocimientos: El fabricante local, quien además realiza los mantenimientos correctivos de la máquina.

- **Recursos Económicos:**

Personal Responsable	Ejecución (Horas)	Horas De	
		Costo Hora (\$CHL/Hora)	Costo MO (\$CHL)
Fabricante de la máquina	5	\$ 40.000	\$ 200.000
		Total	\$ 200.000

Tabla: 3.4. Recursos económicos.
Fuente: Elaboración propia.

Actividad N.º 2:

En la siguiente actividad se aborda la causa raíz humana: “Operadores no cuidan el equipo de trabajo, sin que nadie supervisara al equipo cuando estuviera operando y explicará que procedimiento estaba realizando de manera incorrecta al operador”, se deberá realizar una capacitación del equipo de trabajo.

- **Recursos Técnicos:**

Herramientas: Computador

Tecnología: Microsoft Office y registro del fabricante local.

Infraestructura: Taller de reuniones de Chocolate.

- **Recursos Humanos:**

Conocimientos: El fabricante local que también es el que realiza los mantenimientos correctivos de la máquina, conoce el correcto funcionamiento del equipo.

- **Recursos Económicos:**

Personal Responsable	Horas de ejecución (Horas)	Costo Hora (\$CLP/Hora)	Costo MO (\$CLP)
Fabricante de la maquina	3	\$ 40.000	\$ 120.000
		Total	\$ 120.000

Tabla: 3.5. Recursos económicos.
Fuente: Elaboración propia.

Actividad N.º 3:

En esta tercera actividad se van a implementar los cambios mencionados anteriormente, capacitando al personal para el correcto funcionamiento del equipo.

- **Recursos Técnicos:**

Herramientas: Computador.

Tecnología: Microsoft Office y registro del fabricante local.

Infraestructura: Taller de reuniones de Chocolada.

- **Recursos Humanos:**

Conocimientos: El fabricante local, que también es el que realiza los mantenimientos correctivos de la máquina, conoce el correcto funcionamiento de la máquina y además estará el personal para mostrar la capacitación del equipo.

- **Recursos Económicos:**

Personal Responsable	Ejecución (Horas)	Costo Hora (\$CLP/Hora)	Costo MO (\$CLP)
Fabricante de la maquina	2	\$ 40.000	\$ 80.000
Supervisora	2	\$ 4.167	\$ 8.333
Operario	2	\$ 2.976	\$ 5.952
		Total	\$ 94.286

Tabla: 3.6. Recursos económicos.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3 Costo solución plan de acción.

Al evaluar los costos de cada actividad, se obtiene el costo total de la implementación del plan de acción. La capacitación del personal, el cambio de componentes tendrá una vigencia de 2 años, lo que implica que las actividades se van a repetir cada 2 años.

Vida útil 2 años	Costo total implementación	
Actividad Plan de Acción	Costo Total (\$CLP)	
	Año 1	Año 2
Inspección previa del proceso (5 hrs).	\$ 200.000	\$ 200.000
Capacitación de personal (2 hrs).	\$ 120.000	\$ 120.000
Inspecciones (cada 3 meses).	\$ 94.286	\$ 94.286
Total, costo inversión (\$CLP).	\$ 414.286	\$ 414.286

Tabla: 3.7. Costo de solución.

Fuente: Elaboración propia.

Luego se formarán 2 escenarios futuros: Un escenario optimista y un escenario pesimista, tras la implementación del plan de acción. El fin de realizar esto es la comparación actual para saber cuánto es el estimado que podría disminuir la problemática.

3.2 Escenario actual.

La tasa de fallos registrada hasta fines del 2024, junto a su costo económico, se muestra a continuación previa a la proyección de los escenarios futuros.

Año	FF (Fallos/año)
2022	4
2023	5
2024	5
FF promedio(fallos/ año)	5
Cantidad (componentes)	5

Tabla: 3.8. Tasa de Fallos.
Fuente: Elaboración propia.

Previo a la implementación			
Descripción	FF Fallos Anual	Costo por falla	Costo Anual
Desgaste componente	2	\$ 724.928	\$ 1.449.856
Cables(humedad)	1	\$ 342.464	\$ 342.464
Rodamientos	2	\$ 604.928	\$ 1.209.856
Total	5	\$ 1.672.320	\$ 3.002.176
Costo total Anualizado			\$ 3.002.176

Tabla: 3.9 Costos previos a la implantación.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.1 Mejora de frecuencia en un futuro optimista.

En el mejor de los escenarios, se realizó una proyección de mejora de la frecuencia de fallos del 100% para que las fallas, en lugar de estar ocurriendo cada 6 meses, pasen a representarse cada 12 meses, lo cual mejoraría la operación del equipo.

Tabla de mejora 100% frecuencia de fallos								
Previo a la implementación				Implementado al analisis causa raiz				
Descripción	FF Fallos Anual	Costo por falla	Costo Anual	Implementación Anualizada	F Fallos Anua	Costo por falla	Costo Anual	Ahorro potencial
Desgaste componente	2	\$ 724.928	\$ 1.449.856	\$ 414.286	1	\$ 724.928	\$ 724.928	\$ 724.928
Cables(humedad)	1	\$ 342.464	\$ 342.464		0,5	\$ 342.464	\$ 171.232	\$ 171.232
Rodamientos	2	\$ 604.928	\$ 1.209.856		1	\$ 604.928	\$ 604.928	\$ 604.928
Total	5	\$ 1.672.320	\$ 3.002.176	\$ 414.286	2,5	\$ 1.672.320	\$ 1.501.088	\$ 1.501.088
Costo total Anualizado			\$ 3.002.176	Beneficio Anual			\$ 1.501.088	

Tabla: 3.10 Futuro Optimista.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Beneficio económico: escenario futuro optimista.

Se realizará el cálculo del beneficio económico que se obtendrá con la implantación del plan de acción utilizando la siguiente fórmula.

$$\text{Beneficio económico} = (\text{RTA} - (\text{RTA Futuro} + \text{Costo solución}))$$

$$\text{Beneficio económico} = (\$3.002.176 - (\$1.501.088 + \$414.286)) = \$1.086.802 \text{CLP}$$

Lo que equivaldría a un ahorro del 36% con la inversión.

3.2.4 Mejora de la frecuencia de fallos en escenario futuro pesimista.

En el peor de los escenarios de la empresa, si solo requiere mejorar la frecuencia de fallos en un 40% solo reducirían de 5 fallas anuales a 4 fallas lo que implica que los componentes se tendrían que cambiar cada 9 meses aproximadamente y no cada 6 meses lo que aumentaría en 3 meses la esperanza de vida de los componentes generando un pequeño ahorro a la empresa.

Tabla de mejora 40% frecuencia de fallos								
Previo a la implementación				Implementado al analisis causa raiz				
Descripcion	FF Fallos Anual	Costo por falla	Costo Anual	Implementación Anualizada	FF Fallos Anual	Costo por falla	Costo Anual	Ahorro potencial
Desgaste componente	2	\$ 724.928	\$ 1.449.856	\$ 414.286	1,2	\$ 724.928	\$ 869.914	\$ 579.942
Cables(humedad)	1	\$ 342.464	\$ 342.464		0,6	\$ 342.464	\$ 205.478	\$ 136.986
Rodamientos	2	\$ 604.928	\$ 1.209.856		1,2	\$ 604.928	\$ 725.914	\$ 483.942
Total	5	\$ 1.672.320	\$ 3.002.176	\$ 414.286	3	\$ 1.672.320	\$ 1.801.306	\$ 1.200.870
Costo total anualizado			\$ 3.002.176	Beneficio Anual			\$ 1.200.870	

Tabla: 3.11 Futuro Pesimista.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5 Beneficio económico: escenario futuro pesimista.

Se realizará el cálculo del beneficio económico, al igual como fue en el escenario optimista que se obtendrá con la implantación del plan de acción utilizando la siguiente fórmula.

$$\text{Beneficio económico} = (\text{RTA actual} - (\text{RTA futuro} + \text{Costo solución}))$$

$$\text{Beneficio económico} = \$3.002.176 - (\$1.801.306 + \$414.286) = \$786.584 \text{CLP}$$

Lo que significaría que es un ahorro del 26%, por lo que significaría que mejorar a la frecuencia de fallas en un 40% no sería muy rentable en comparación del 100%.

3.3 Recomendaciones.

A continuación, se van a recomendar las siguientes actividades acordes al plan de mantenimiento y la mejora continua de los procesos.

- En primera instancia, es la capacitación del personal encargado para la correcta función del equipo.
- En segundo lugar, mantener el equipo en condiciones óptimas de limpieza para poder encontrar posibles fallas que estén ocultas debido a la suciedad.
- En tercer lugar, realizar semanalmente el mantenimiento de limpieza del equipo.
- En cuarto lugar, empezar a diseñar un plan de mantenimiento tanto para la bañadora de chocolate, al igual que los demás equipos que se encuentran en la fábrica.
- En quinto lugar, se recomienda utilizar y estandarizar el indicador RTA como medidor de la efectividad de los planes de acción implementados a partir de la aplicaciones de la metodología de análisis causa raíz.

Conclusión.

Luego de una minuciosa investigación sobre la problemática que presenta la empresa Chocolada respecto a una de sus maquinarias y mediante el desarrollo de análisis causa raíz, parecían simples de resolver, pero se deben primero realizar una capacitación al personal para la identificación y solución de los problemas.

El análisis causa raíz nos ayudó a entender donde se encontraban alojadas las fallas más concurridas dentro de la bañadora de chocolate lo que nos dejó en evidencia es claro que se debe mejorar el plan de mantenimiento dentro de la empresa y mantener un recorrido de las fallas con el fin de poder mitigar la mayoría de ellas, debido a que la empresa está viendo la posibilidad de mandar a fabricar otra bañadora de chocolate para poder dar con lo que solicita el consumidor, además es sumamente importante empezar a desarrollar un orden en los mantenimientos debido a que próximamente se estará abriendo una nueva fábrica en Dubái entonces la empresa debe mantener un orden respecto a lo que solicita y que los productos salgan igual que y de la misma calidad que sería acá en Chile.

El plan de acción muestra los beneficios que tendría la empresa respecto a realizar un correcto mantenimiento y una buena capacitación del personal correspondiente.

Tras un exhaustivo análisis en la empresa Chocolada y en específico al equipo seleccionado más crítico hasta la fecha 2024 (Bañadora de Chocolate), se logró identificar gracias al análisis causa raíz que el gran porcentaje de fallas tiene un origen principalmente en el factor humano debido al mal cuidado que tienen los trabajadores con la maquinaria, también es una falta de mantenimiento que sea estructurado.

El análisis causa raíz (RCA) no solo permitió la identificación de las fallas que presenta la bañadora, sino que ayudo a determinar las acciones correctas para disminuir esas fallas en la producción .

Una de las principales propuestas de mejora es la capacitación del personal para en el uso correcto en la manipulación del equipo, el cual ayudaría a disminuir las posibles causas asociadas a posibles errores humanos.

Viendo la proyección de disminución de las tasas de fallas de un equipo (bañadora de chocolate) se proyecta que los fallos disminuirán y logra aumentar la producción y disponibilidad del equipo, lo que lleva a un ahorro en los mantenimientos.

Finalmente se propone que la empresa Chocolada SPA formalice sus planes de mantenimientos y estandarizar sus planes de mantenimientos utilizando procedimientos claros y que estén bien definidos, una vez determinado los planes de mantenimientos se recomienda realizar mantenimiento preventivo que ayude a la empresa anticipar fallas, con esto mejora la disponibilidad del equipo y asegura la continuidad del proceso productivo. De esta manera Chocolada podrá mantener un estándar de producción que los ayude a ser eficiente en la próxima fabrica que se va a abrir en el extranjero.

Referencias.

- [1] Parra, C., y Crespo, A. 2015. “Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos. Desarrollo y aplicación práctica de un Modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM)”. Segunda Edición. Editado por INGEMAN, Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Sevilla, España.
- [2] Latino, R. and Latino, K. “Root Cause Analysis: Improving Performance for Bottom Line Results”, Second Edition, CRC Press, New York, 2002.
- [3] D.B. Fulbright. “A comprehensive guide to root cause and program performance analysis”, Copyright D.B. Fulbright, New York, 1997.
- [4] Dean, L. Gano. “Apollo Root Cause Analysis a new way of thinking”. Apollo Associated services, Texas, USA, 1999.
- [5] Woodhouse, J. “Course of Root Cause Analysis, Section two: Failure Modes and Effects Analysis”, The Woodhouse Partnership, England, 1999.
- [6] C., Parra. “Aplicación piloto de la técnica: Análisis Causa Raíz (RCA) en sistemas de bombeo mecánico, modelo AMERICAN C-456”, Informe técnico Skanska- Petrobas, Informe técnico IngeCon: SN-2008-04-CCS-SK-PTB, Talara, Perú 2008.
- [7] Parra Márquez, C., & Crespo Márquez, A. (2023). *Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos.*(doi:reseguer,editado ingeman españa.
- [8] Delgado, M. E., Ormaza, L., Sosa, B., Tapia, S., & Parra, C. (2022). *Análisis causa raíz de fallas (RCFA – Root Cause Failure Analysis): Caso de estudio: Sector alimenticio de producción de leche (lácteo).*Sevilla,España:Ingeman DOI:[10.13140/RG.2.2.13041.76644](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13041.76644),
- [9] Parra Márquez, C., & Crespo Márquez, A. (2020). *Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos.* Sevilla, España: Ingeman. DOI:[10.13140/RG.2.2.21197.87524](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21197.87524)).
- [10] Chocolada. (s. f.). *Chocolate Infinito*. Recuperado de <https://chocolada.cl/>