

**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS  
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS CRÍTICOS DE UN TALLER DE SERVICIO  
AUTOMOTRIZ BASADO EN EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE LOS MODOS DE  
FALLA, EFECTO Y SU CRITICIDAD (FMECA)**

**JAVIER MENDOZA GÓMEZ  
JORGE GUTIERREZ MONSERRAT**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA  
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA  
2018**

**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS  
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS CRÍTICOS DE UN TALLER DE SERVICIO  
AUTOMOTRIZ BASADO EN EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE LOS MODOS DE  
FALLA, EFECTO Y SU CRITICIDAD (FMECA)**

**JAVIER MENDOZA GÓMEZ  
JORGE GUTIERREZ MONSERRAT**

**Monografía de grado presentada como requisito para optar al título de  
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director: Luis Alberto Mora Gutiérrez  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA  
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

**2018**

*Dedicatoria*

Dedico este proyecto a mi hija Julieta Mendoza quien su llegada llenó de alegría mi vida.

A mi esposa Lady Rincón por su amor incondicional quien su apoyo me permitió realizar este proyecto.

A mis padres Jesús Mendoza y Beatriz Gómez quienes con amor y ejemplo formaron la persona que soy.

Javier Mendoza Gómez

*Dedicatoria*

Este proyecto se realizó por la gracia de Dios Padre a quien dedico todos los triunfos.

Dedico este proyecto a mis hijos Sebastián Andrés Gutiérrez y Camilo Gutiérrez por el ellos mi fuente de inspiración.

A mis padres Jorge Eliécer Gutiérrez y Elizabeth Monserrat por ser una guía en mi vida y llenarme de valores.

Jorge Gutiérrez Monserrat

## TABLA DE CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GENERAL:.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS: .....	16
3. JUSTIFICACIÓN.....	17
4. MARCO TEORICO.....	18
4.1 MODO Y EFECTO DE FALLA.....	18
4.2 DEFINICIONES.....	20
4.2.1 Falla:.....	20
4.2.2 Efectos de falla:.....	20
4.2.3 Modo de falla:.....	20
4.2.4 Criticidad: .....	20
4.3 MODOS DE FALLAS Y ANÁLISIS DE EFECTOS.....	20
4.4 PROPÓSITOS DEL ANÁLISIS FMECA.....	21
4.5 OBJETIVOS DEL ANÁLISIS FMECA.....	21
4.6 PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FMECA.....	22
4.7 PROCEDIMIENTO FMECA.....	22
4.7.1 Presentación Del Análisis.....	23
4.8 APLICACIÓN DENTRO DE UN PROYECTO.....	25
4.9 MÉTODO DE ANÁLISIS CAUSA RAÍZ (RCA) .....	26
4.10. Diagrama de Ishikawa .....	26
5. MÉTODO DE ANÁLISIS DE LOS MODOS DE FALLA, EFECTO Y SU CRITICIDAD (FMECA) .....	28
5.1 ESTADO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA.....	28
5.2 DIAGNOSTICO E INVENTARIO DE EQUIPOS.....	29
5.3 CODIFICACIÓN DE EQUIPOS.....	30
6. ANÁLISIS DE CRITICIDAD (CA, FMECA).....	34

6.1 ANÁLISIS DE CRITICIDAD (CA) DE LOS EQUIPOS DEL TALLER LA ESTRELLA POR FACTORES DE PONDERACIÓN.....	34
6.1.1 Descripción del método.....	35
6.1.1.1 Resultado de análisis: .....	37
6.2 ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA Y SU CRITICIDAD (FMECA)	41
6.2.1. Descripción del método.....	42
6.2.2. Evaluación por componentes de los equipos críticos.....	42
6.3. RESULTADO DEL ANÁLISIS FMEA.....	43
6.3.1 Índice de prioridad de riesgo crítico (IPR) .....	44
7. ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ (RCA). .....	47
7.1 DIAGRAMA DE ISHIKAWA.....	47
7.1.1 Diagrama de Ishikawa del compresor. ....	48
7.1.2 Diagrama de Ishikawa de la cabina de pintura.....	49
7.1.3 Diagrama de Ishikawa de los elevadores.....	50
7.2 IDENTIFICACIÓN DE LA CAUSA O POSIBLES CAUSAS .....	51
7.2.1 Criterios para las fallas del compresor. ....	53
7.2.2 Criterios para las fallas de la cabina de pintura.....	54
7.2.3 Criterios para las fallas de los elevadores.....	55
8. PROGRAMACIÓN DE MANTENIMIENTO. ....	58
8.1. PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO DEL COMPRESOR.....	58
8.2. PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LA CABINA DE PINTURA. ....	58
8.3. PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE ELEVADORES.....	59
9. PRESUPUESTO.....	60
9.1. COSTO INVERSIÓN INICIAL.....	60
9.2. PRESUPUESTO MANTENIMIENTO EQUIPOS CRÍTICOS. ....	61
9.2.1. Presupuesto mantenimiento del compresor. ....	61
9.2.2. Presupuesto mantenimiento de elevadores. ....	61
9.2.3. Presupuesto mantenimiento de la cabina de pintura.....	62
9.3. COSTO DEL MANTENIMIENTO ANUAL.....	62
9.4. COSTOS ACTUALES DEL MANTENIMIENTO ANUAL.....	63
10. CONCLUSIONES .....	65

11. RECOMENDACIONES.....67  
BIBLIOGRAFIA.....68  
Anexos.....69

## LISTA DE FIGURAS

Pag.

Figura 1. Fallas crónicas frente a fallas esporádicas.....	19
Figura 2. Diagrama de Flujo FMCA.....	24
Figura 3. Diagrama de Ishikawa.....	27
Figura 4. Modelo de Codificación de Equipo.....	30
Figura 5. Equipos críticos para el análisis FMECA.....	41
Figura 6. Subsistemas del compresor.....	42
Figura 7. Subsistemas de la cabina de pintura.....	43
Figura 8. Subsistemas de los elevadores.....	43
Figura 9. Diagrama Ishikawa del rodamiento frenado.....	48
Figura 10. Diagrama de Ishikawa de las bobinas quemadas o sulfatadas.....	48
Figura 11. Diagrama de Ishikawa de los ventiladores sucios.....	49
Figura 12. Diagrama de Ishikawa de filtros saturados.....	49
Figura 13. Diagrama de Ishikawa de quemadores obstruidos.....	50
Figura 14. Diagrama de Ishikawa de seguros doblados.....	50
Figura 15. Diagrama de Ishikawa de válvulas pegadas.....	51
Figura 16. Diagrama de Ishikawa de estructuras dobladas.....	51
Figura 17. Gráfica de costo del mantenimiento anual.....	63

## LISTA DE TABLAS

Pag.

Tabla 1. Listado de equipos y herramientas.....	29
Tabla 2. Codificación equipos área de pintura.....	31
Tabla 3. Codificación equipos área de mecánica.....	32
Tabla 4. Codificación equipos área de latonería.....	33
Tabla 5. Parámetros para análisis de criticidad.....	35
Tabla 6. Análisis de criticidad en área de pintura.....	37
Tabla 7. Análisis de criticidad en área de latonería.....	37
Tabla 8. Análisis de criticidad en área de mecánica.....	38
Tabla 9. Categorización del análisis de criticidad general.....	39
Tabla 10. IPR compresor.....	44
Tabla 11. IPR cabina de pintura.....	45
Tabla 12. IPR elevadores.....	46
Tabla 13. Criterios de falla por rodamiento frenado.....	53
Tabla 14. Criterios de falla por bobinas quemadas o sulfatadas.....	53
Tabla 15. Criterios de falla por ventiladores sucios.....	54
Tabla 16. Criterios de falla por filtros saturados.....	54
Tabla 17. Criterios de falla por quemadores obstruidos.....	55
Tabla 18. Criterios de falla por seguros doblados.....	55
Tabla 19. Criterios de falla por válvulas pegadas.....	56
Tabla 20. Criterios de falla por estructura doblada.....	56
Tabla 21. Programación del mantenimiento del compresor.....	58
Tabla 22. Programación del mantenimiento de la cabina de pintura.....	59
Tabla 23. Programación del mantenimiento de elevadores.....	60
Tabla 24. Inversión inicial para la implementación del proyecto.....	61
Tabla 25. Presupuesto mantenimiento del compresor.....	61
Tabla 26. Presupuesto mantenimiento de un elevador.....	62

Tabla 27. Presupuesto mantenimiento de la cabina de pintura.....62  
Tabla 28. Costos del mantenimiento anual.....63

## LISTA DE ANEXOS

Pag.

Anexo A. INVENTARIO DE EQUIPOS.....	70
Anexo B. ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	76
Anexo C. ANÁLISIS FMECA.....	80
Anexo D. COSTO SALARIO TÉCNICO DE MANTENIMIENTO.....	84

## RESUMEN.

TITULO: PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS EQUIPOS Y HERRAMIENTAS CRÍTICOS DE UN TALLER DE SERVICIO AUTOMOTRIZ BASADO EN EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE LOS MODOS DE FALLA, EFECTO Y SU CRITICIDAD (FMECA)

AUTORES: JAVIER MENDOZA GÓMEZ  
JORGE GUTIERREZ MONSERRAT

Palabras claves: Mantenimiento preventivo, plan de mantenimiento, FMECA, criticidad, equipos y herramientas, taller La Estrella, fallas, modo de fallas, RCA.

Descripción: La presente monografía es una propuesta de mantenimiento preventivo para los equipos y herramientas críticos del taller La Estrella basado en la metodología FMECA.

Basado en el problema detectado en la empresa donde no cuenta con un plan de mantenimiento organizado para sus activos, se procede a desarrollar este proyecto iniciando con un inventario y codificación de equipos seccionados por área.

A cada uno de los equipos se le realizó el análisis de criticidad donde a los diagnosticados como críticos se les realizó el análisis FMEA de cada componente y subsistema, obteniendo así una categorización de las fallas más críticas y los componentes más críticos.

A las fallas detectadas se le realizó el análisis RCA para identificar las causas o posibles causas de las fallas.

Con la información recolectada se le realizó un plan de mantenimiento para los equipos críticos con las tareas a realizar y su respectivo cronograma.

Se presenta el análisis de lo que podría costar la implementación del proyecto y su desarrollo mes a mes para finalmente compararlo con lo que actualmente el taller invierte en mantenimiento y así considerar su aplicación.

---

\*Monografía

\*\*Facultad de ingenierías Físico-Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Director: Luis Alberto Mora Gutiérrez. Doctor en Ingeniería Industrial - Ph.D. Gestión Empresarial.

## **ABSTRAD.**

TITLE: PROPOSAL OF A PREVENTIVE MAINTENANCE PLAN FOR THE CRITICAL EQUIPMENT AND TOOLS OF AN AUTOMOTIVE SERVICE WORKSHOP BASED ON THE METHOD OF ANALYSIS OF THE FAILURE, EFFECT AND CRITICITY MODES (FMECA)

AUTHORS: JAVIER MENDOZA GÓMEZ  
JORGE GUTIERREZ MONSERRAT

Keywords: Preventive maintenance, maintenance plan, FMECA, criticality, equipment and tools, La Estrella workshop, failures, failure mode, RCA.

Description: This monograph is a proposal of preventive maintenance for the equipment and critical tools of the La Estrella workshop based on the FMECA methodology.

Based on the problem detected in the company where it does not have a maintenance plan organized for its assets, we proceed to develop this project starting with an inventory and coding of equipment sectioned by area.

The criticality analysis was carried out on each of the teams, where those diagnosed as critical were subjected to the FMEA analysis of each component and subsystem, thus obtaining a categorization of the most critical faults and the most critical components.

To the detected faults, the RCA analysis was performed to identify the causes or possible causes of the faults.

With the information collected, a maintenance plan was made for the teams critical of the tasks to be carried out and their respective schedule.

It presents the analysis of what could cost the implementation of the project and its development month by month to finally compare it with what the workshop currently invests in maintenance and thus consider its application.

---

\*Monograph

\*\*Faculty of Engineering Physics-Mechanical, Maintenance Management Specialization

Director: Luis Alberto Mora Gutiérrez. Doctor in Industrial Engineer- Ph.D. Business Management.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Centro de servicio automotriz La Estrella es una empresa dedicada al mantenimiento y reparación de vehículo livianos y pesados de distintas marcas. Cuenta con sede ubicada en el centro comercial e industrial con acceso a todos sus clientes.

Siendo así, una empresa reconocida en la ciudad cuenta con exclusivos clientes del sector minero, industrial, construcción y aseguradoras.

Para garantizar un buen servicio, el taller necesita de una entera disponibilidad de sus equipos y herramientas para así cumplir a sus clientes con calidad dentro de los tiempos prudentes para dichas operaciones.

Actualmente el taller no cuenta con un plan de mantenimiento preventivo para sus equipos y herramientas, basándose netamente en operaciones de modo correctivo por parte de terceros (contratistas), generando así un alto costo de mantenibilidad, retrasando los procesos, disminuyendo calidad y aumentando la insatisfacción en el servicio al incumplir con las fechas de entrega del vehículo reparado.

Esto se traduce en la pérdida del cliente, quienes luego de culminar el periodo de garantía, no retornan al taller, perdiendo la confianza en el concesionario y en la marca, afectando considerablemente las ventas por los servicios de postventa, golpeando la economía de la empresa.

Este proyecto propone llevar un sistema de información que ayude a determinar qué equipos son críticos y requieren mantenimiento preventivo, el cual aumente su disponibilidad, alargue su vida útil, minimizando tiempos muertos, mejorando así calidad y productividad, buscando de este modo alcanzar las metas y objetivos propuestos por el taller.

## **2. OBJETIVOS.**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL:**

Proponer un plan de mantenimiento mediante la metodología FMECA para los equipos críticos del centro de servicio automotriz La Estrella.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Recopilar información detallada de cada uno de los equipos en las distintas áreas del taller elaborando un inventario que contenga su estado actual y código por ubicación.
- Identificar los equipos críticos mediante un análisis de criticidad utilizando el método de riesgo ponderado.
- Realizar un estudio de los modos de fallas, las causas, sus efectos y criticidad (FMEA, FMECA, RCA) en los equipos diagnosticados como críticos para así lograr una mejora en la disponibilidad de los mismo.
- Diseñar y presentar un plan maestro de mantenimiento preventivo que busque reducir las fallas detectadas, que contenga la información necesaria para realizar las labores de mantenimiento con parámetros de confiabilidad y seguridad operacional.

### **3. JUSTIFICACIÓN.**

La presente monografía pretende poner en práctica los conceptos aprendidos en la Especialización de Gerencia de Mantenimiento, buscando a través de tareas y actividades el mejoramiento de las prácticas de mantenimiento en el centro de servicio automotriz LA ESTRELLA.

Para la ejecución de este estudio se realizaron visitas al taller donde se tomó información importante de equipos, registro fotográfico y de sus procedimientos en torno al mantenimiento que viene realizando.

Con la información recopilada se realiza un análisis de criticidad donde se identifican los equipos más críticos que requieren la aplicación un FMECA y un plan de mantenimiento para cada equipo.

Teniendo los equipos críticos previamente identificados se aplica la metodología FMEA el cual se emplea para analizar la confiabilidad en los equipos con el fin de conocer cuáles son sus fallas y los modos de falla y el control a efectuar, concluyendo así la difusión de la metodología del mantenimiento preventivo que puesta en marcha mejorará las condiciones de los equipos del taller, llegando de este modo a obtener disponibilidad y confiabilidad de los equipos mejorado la productividad y calidad en el servicio y el producto terminado.

## 4. MARCO TEORICO.

### 4.1 MODO Y EFECTO DE FALLA.

Los modos de falla, sus efectos y el análisis de criticidad (FMECA) son métodos utilizados para el análisis de confiabilidad en equipos con el objetivo de identificar las fallas y las consecuencias que éstas puedan causar o afectar el buen funcionamiento de un sistema, su estudio lleva a ejecutar tareas de mejoramiento con base a la criticidad de las fallas.

Generalmente, las fallas o modos de fallas de cualquiera de los elementos del sistema afectan su rendimiento de manera negativa.<sup>1</sup>

La metodología de análisis de fallas se constituye por sí misma en uno de los instrumentos avanzados más útiles y usados en los niveles 2, 3 y 4 de mantenimiento. Tanto el TPM como el RCM lo aplican, aunque es independiente de ellos.<sup>2</sup>

La criticidad es una medida que combina el concepto de gravedad con la consecuencia de la falla y la tasa de ocurrencia o la probabilidad de ocurrencia de falla en un periodo de tiempo determinado. La gravedad de la falla por lo general se mide mediante la valoración en función de sus consecuencias.

---

<sup>1</sup> MERIÑO AMADOR Dairo; CARREÑO FIGUEROA Humberto. Modelo para el mejoramiento del programa de mantenimiento preventivo basado en un análisis de criticidad de los modos de fallo y su efecto (FMECA) del gasoducto Ballenas – Barrancabermeja. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. UIS. Bucaramanga 2011.

<sup>2</sup> MORA GUTIERREZ. Luis Alberto. Mantenimiento, planeación, ejecución y control. Alfa Omena S.A. 2009

La probabilidad o tasa de incidencia también se usa en caso de no contar con datos numéricos.

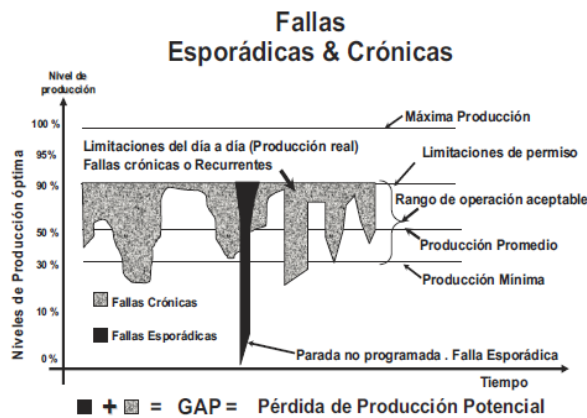
Las fallas se clasifican en crónicas y esporádicas.

Las fallas crónicas son las más importantes ya que los tiempos de no productividad son mucho más largos que las paradas por fallas esporádicas. Las fallas crónicas son eventos frecuentes, pero cuando se logran superar se recupera la funcionalidad del equipo a su punto máximo, mejorando así su desempeño. Son fallas repetitivas, fácil de controlar, pero difíciles de erradicar.

Cada evento de falla crónica tiene un impacto relativamente bajo, pero cuando se totaliza en el transcurso de un periodo de tiempo y se combina con otras fallas crónicas, afecta de forma muy notoria la economía de la empresa.

Las fallas esporádicas son poco frecuentes y no dejan secuelas en la producción o el mantenimiento. Por lo general cuando se supera una falla esporádica el sistema vuelve a su normal funcionamiento, pero no en las mismas condiciones de las que se tenía antes de la ocurrencia.

Figura 1. Fallas crónicas frente a fallas esporádicas.



Fuente: ALBERTO Mora Gutiérrez. MANTENIMIENTO. PLANEACIÓN, EJECUCIÓN Y CONTROL

El área bajo la curva máxima de producción marcada, correspondiente a las fallas crónicas o recurrentes, es mucho mayor que la línea negra debida a paradas no programadas esporádicas. Por ello, entonces, primero se debe intentar eliminar o

controlar las fallas crónicas, pues estas inciden mucho más en la rentabilidad de la empresa.<sup>3</sup>

## **4.2 DEFINICIONES.**

**4.2.1 Falla.** Es la incapacidad de cualquier equipo o instalación (activo) a realizar la función que el usuario definió que hiciera.

**4.2.2 Efectos de falla.** La consecuencia de cualquier falla, en términos de la operación, el funcionamiento o estado de un sistema.

**4.2.3 Modo de falla.** Cualquier evento que pueda causar la falla de un equipo, instalación o activo. Donde dicho evento tiene relación directa con la pérdida de la función.

**4.2.4 Criticidad.** Es el indicador que muestra la magnitud del problema que provoca la falla, relacionando también gravedad del efecto y la probabilidad o frecuencia en la ocurrencia de una falla.

## **4.3 MODOS DE FALLAS Y ANÁLISIS DE EFECTOS.**

La metodología FMECA es de gran importancia para desarrollar programas que garanticen la confiabilidad de los equipos, aplicándose siempre y cuando se conozcan sus fallas funcionales, los distintos modos de falla que pueda tener el equipo y las causas que las produce. Es aquí donde se estudia los modos de falla y sus efectos, sin profundizar tanto en la falla como tal. También se determina la criticidad de un componente basándose en la criticidad de los modos de falla que se puedan presentar.

---

<sup>3</sup> MORA GUTIERREZ. Luis Alberto. Mantenimiento, planeación, ejecución y control. Alfa Omena S.A. 2009

#### **4.4 PROPÓSITOS DEL ANÁLISIS FMECA.**

La metodología del estudio y análisis de los modos de falla y criticidad tiene como propósito:

- Identificar las fallas que han causado algún efecto sobre el funcionamiento del sistema.
- Satisfacer condiciones contractuales.
- Medir y controlar la confiabilidad del sistema.
- Mejorar las condiciones de seguridad del sistema.
- Diagnosticar las fallas.
- Identificar no conformidades del mantenimiento o puntos susceptibles a mejorar.

#### **4.5 OBJETIVOS DEL ANÁLISIS FMECA.**

Identificar y estudiar todos los efectos no deseados dentro los límites definidos del sistema analizado y la sucesión de hechos provocados por cada modo de falla detectado, cualquiera que sea su causa.

Categorizar cada modo de falla con respecto al buen funcionamiento o el rendimiento y el impacto en la confiabilidad y la seguridad del sistema.

Clasificar los modos de falla identificados de acuerdo a las características pertinentes incluidas la capacidad de ser detectadas y diagnosticadas, calidad de prueba, punto de sustituibilidad y disposiciones de funcionamiento.

Estimar en el nivel de importancia la probabilidad al fracaso aplicado solamente al análisis de criticidad.

#### **4.6 PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FMECA.**

Para iniciar el análisis de esta metodología es fundamental tener en cuenta los siguientes conceptos:

- Conocer a profundidad los elementos del sistema.
- Un diagrama del funcionamiento del sistema y la individualización de todos los datos necesarios para el FMECA
- Tener claro el concepto de modo de falla. Un equipo puede tener varios modos de falla o un modo de falla puede involucrar varios equipos.
- Identificación de nuevas características físicas o nuevos requisitos.
- El concepto de criticidad y su valoración.

Es importante resaltar que existen relaciones entre el FMECA y otros métodos de análisis dentro de los estudios de confiabilidad. Por otro lado, muchos diseños de equipos son totalmente nuevos, la mayoría han sido la evolución de las máquinas antiguas, el análisis FMECA deberá siempre utilizar la información existente y elaborar en base a ello las pruebas pertinentes de las nuevas piezas.

#### **4.7 PROCEDIMIENTO FMECA.**

El método procedimental FMECA parte del concepto de que ya se conocen todas las fallas reales y potenciales, se sabe de los modos de fallas en que se pueden presentar y se tiene un perfecto dominio de todas las funciones principales y auxiliares de los elementos o máquinas por evaluar con el procedimiento.

Las etapas de desarrollo del procedimiento FMECA son:

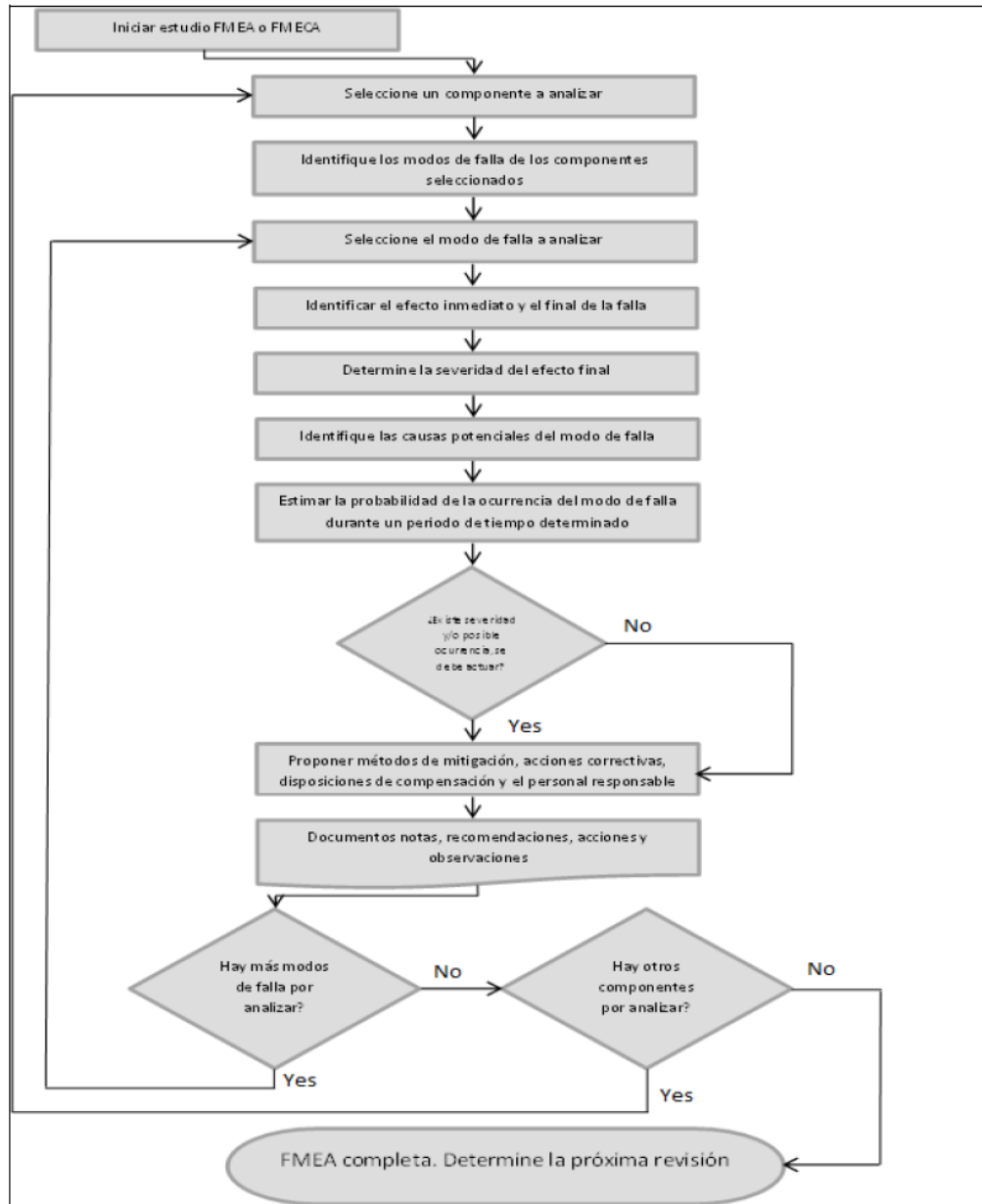
- Describir las funciones primarias y secundarias de los equipos.
- Establecer todas las fallas funcionales reales y potenciales conocidas.

- Evaluar las consecuencias y los efectos de cada modo de falla, con su falla y su función.
- Establecer las acciones correctivas o planeadas.
- Realizar las tareas.
- Realizar informe que incluye el análisis completo, conclusiones y las recomendaciones formuladas.

**4.7.1 Presentación Del Análisis.** Previo al proceso de estudio de la información, se debe ya tener definido los siguientes pasos:

- El analista debe tener la mayor cantidad de información sobre los sistemas a estudiar, debe especificar su funcionamiento.
- El encargado de realizar el estudio debe diseñar bloques funcionales de acuerdo a su jerarquía. El diagrama debe presentar el modo de la falla, sus efectos y cómo influye en el sistema, marcando de forma clara sus límites, las entradas y salidas
- Se debe llevar la trazabilidad, para saber el origen de los problemas y dar recomendaciones precisas para eliminar las fallas frecuentes de raíz.

Figura 2. Diagrama de Flujo FMCA



Fuente: MERIÑO AMADOR Dairo, Carreño Figueroa Humberto. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. UIS. 2011

#### **4.8 APLICACIÓN DENTRO DE UN PROYECTO.**

Es esencial tener claro cómo y para qué se va a emplear el modelo FMECA en una empresa o un área de la misma. Es posible que sea utilizado solo o como complemento de otros modelos de análisis de confiabilidad.

El FMECA se puede implementar en todos los niveles de diseño del sistema, pero es más aplicado para los primeros niveles porque hay una mayor cantidad de elementos involucrados y/o no hay complejidad funcional. Debe existir una gran comunicación entre los que realizan el estudio y los operarios del sistema puesto que aportan grandes ideas para el logro de una acertada evaluación.

El modelo debe ser alimentado constantemente o cada vez que exista alguna modificación en los sistemas o cambio de equipos.

El modelo FMECA brindan información importante para la elaboración de los procedimientos del mantenimiento y diagnósticos de falla en los equipos y que deben ser incluidos en los respectivos manuales de funcionamiento.

Es importante tener claro los objetivos para los cuales el estudio de sus resultados va ser empleado para determinar el grado de importancia y control que debe darse al sistema o equipo sobre los modos de falla y efectos que conllevan estas fallas, este análisis lleva a la planificación del modelo en términos cualitativos en los niveles específicos (sistema, subsistema, componente, elemento).

Para garantizar que sea efectivo el modelo FMEA, es necesario establecer la confiabilidad del programa junto con el tiempo, mano de obra y otros recursos para hacerla efectiva.

Es transcendental que el modelo no se lleve a cabo de una manera ligera por la falta de recursos, de ser así debe ser direccionado a los equipos críticos para la operación por otros métodos de análisis como por ejemplo los arboles de fallas<sup>4</sup>.

#### **4.9 MÉTODO DE ANÁLISIS CAUSA RAÍZ (RCA).**

El método de análisis de causa raíz es una metodología científica, lógica y sistemática para hallar el origen de una falla.

Un sistema o equipo puede tener distintos modos de falla, pero para cada modo de falla existe una causa raíz.

El RCA es una metodología de gran importancia en la búsqueda de la solución más óptima a un problema.

El análisis de causa raíz se puede definir como el proceso de recolección y análisis de datos diseñado para encontrar el por qué, cómo, cuándo y dónde se genera la falla de un sistema o equipo y así evitar que la falla reaparezca y se convierta en una falla crítica.

#### **4.10 DIAGRAMA DE ISHIKAWA.**

El diagrama de Ishikawa, también llamado diagrama de espina de pescado, diagrama de causa-efecto, consiste en una representación gráfica sencilla en la que puede verse de manera relacional una especie de espina central, que es

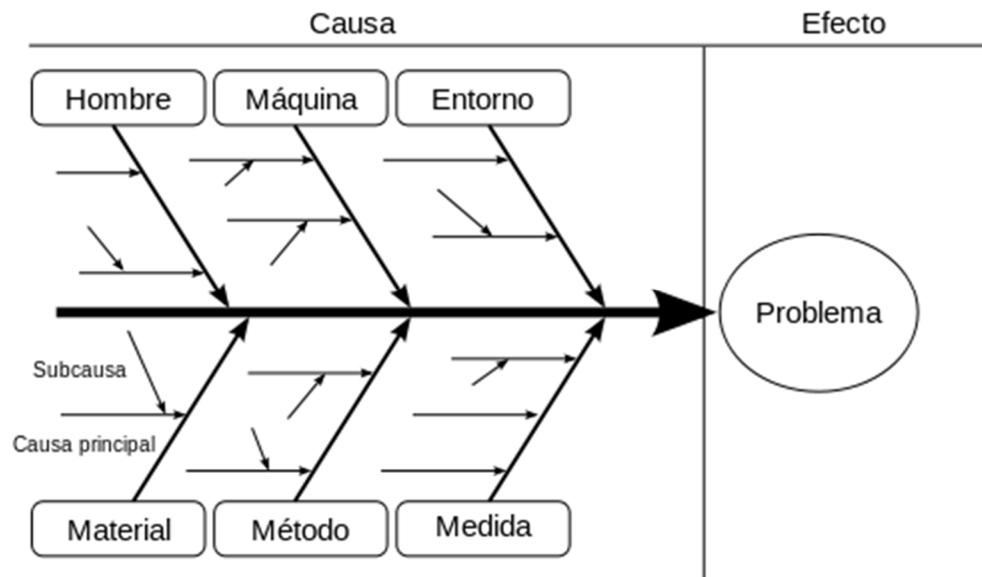
---

<sup>4</sup>MERIÑO AMADOR Dairo; CARREÑO FIGUEROA Humberto. Modelo para el mejoramiento del programa de mantenimiento preventivo basado en un análisis de criticidad de los modos de fallo y su efecto (FMECA) del gasoducto Ballenas – Barrancabermeja. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. UIS. Bucaramanga 2011. De la página 35 a la 45

una línea en el plano horizontal, representando el problema a analizar, que se escribe a su derecha.

Este diagrama causal es la representación gráfica de las relaciones múltiples de causa-efecto entre las diversas variables que intervienen en un proceso.

Figura 3. Diagrama de Ishikawa.



**Fuente:** <https://www.gestiondeoperaciones.net/gestion-de-calidad/que-es-el-diagrama-de-ishikawa-o-diagrama-de-causa-efecto/>

## **5. MÉTODO DE ANÁLISIS DE LOS MODOS DE FALLA, EFECTO Y SU CRITICIDAD (FMECA).**

En el taller La Estrella se puede considerar que el porcentaje de equipos críticos puede existir en un número relativamente pequeño, pero su criticidad los hace vitales dentro de su proceso de producción.

Estos equipos considerados críticos deben recibir un trato especial en sus intervenciones tanto de inspección como de mantenimiento. De allí el objetivo de este capítulo el cual da inicio al análisis metodológico del FMECA y lograr obtener así un proceso claro y ordenado de mantenimiento de acuerdo a la jerarquización de sus equipos y herramientas.

### **5.1 ESTADO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA.**

El taller La Estrella actualmente realiza tareas de mantenimiento netamente correctivos para sus equipos y herramientas en las áreas de servicio, latonería y pintura. Las cuales son realizadas por terceros o contratistas.

El taller no cuenta con un departamento de mantenimiento organizado encargado de la planificación y gestión de las tareas preventivas ni se lleva una trazabilidad de las fallas y paradas, por lo que, sin un programa de mantenimiento establecido, es el jefe de taller quien se encarga de coordinar los trabajos correctivo no planificado, donde las fallas hacen parte del día a día.

Con lo anterior se puede concluir lo siguiente:

- El mantenimiento realizado por el taller es mayormente correctivo.
- No se realiza mantenimiento preventivo.

- No hay capacitación al personal interno de la empresa para enrolarse en labores de mantenimiento.
- Padecen el paradigma de “lo que está bien, se deja quieto”

## 5.2 DIAGNOSTICO E INVENTARIO DE EQUIPOS.

Para una buena planificación del mantenimiento es muy importante tener una base de información, por lo que se hace necesario desarrollar un inventario de los equipos del taller con el fin llevar una buena administración de los mismo, conocer su cantidad, estado, clasificación, y así por analizar las posibles tareas de mantenimiento a aplicar. En la tabla 1 se relaciona el listado de herramientas del taller.

Tabla 1. Listado de equipos y herramientas

EQUIPOS TALLER LA ESTRELLA						
ITEM	EQUIPO	MARCA	ESTADO			CANTIDAD
			BUENO	REGULAR	MALO	
1	ACEITADORA	NN	x			1
2	ALINEADOR DE LUCES	HELLA	x			1
3	ASPIRADOR DE LIJADO	LAGOS	x			3
4	ASPIRADORA	RIDGID	x			1
5	BALANCEADOR	SICAM			x	1
6	BANCO DE COLORIMETRIA	CROMAX	x			1
7	BANCO ENDEREZADO KOREK	BLACKHAWK	x			1
8	BASCULA DE PINTURA	DUPONT	x			1
9	BOMBA DE AGUA	PEDROLLO	x			1
10	BRAZOS DE ASPIRACION	BLACKHAWK		x		2
11	CABINA DE LIJADO	LAGOS	x			1
12	CABINA DE PINTURA	LAGOS	x			1
13	CAMBIADORA DE LLANTAS	SICAM			x	1
14	CARGADOR DE BATERIAS	SCHUMACHER	x			1
15	COMPRESOR DE AIRE TIPO 1	KAESER	x			1
16	COMPRESOR DE AIRE TIPO 2	INGERSOLL RAND		x		1
17	COMPRESOR DE AIRE TIPO 3	BALDOR			x	1
18	ELEVADOR DE DIAGNOSTICO	ROTARY	x			1
19	ELEVADOR DE TNERA	BENDPAK	x			10
20	ELEVADOR KOREK	BLACKHAWK	x			3
21	EQUIPO DE SOLDADURA DE PUNTOS	TECNA	x			1
22	EQUIPO DE SOLDADURA MIC	CEBORA	x			3
23	ESMERIL TIPO 1	NN	x			1
24	ESMERIL TIPO 2	JET	x			1
25	ESMERIL TIPO 3	DEWALT	x			1
26	GATO DE GARAJE	MEGA	x			3
27	GATO PARA FOSA	BLACKHAWK	x			3
28	GRUA HIDRAULICA PARA MOTOR TIPO 1	TECNOINGENIERIA	x			1
29	GRUA HIDRAULICA PARA MOTOR TIPO 2	TECNOINGENIERIA	x			1
30	JUEGO DE COMPAS DE VARAS	BLACKHAWK	x			1
31	LAMPARA INFRAROJA	INFRAQUICK	x			1
32	LIJADORA ROTO-ORBITAL	DYNABRADE	x			3
33	MARTILLO DE INERCIA - SACA TOCO TIPO 1	TECNOINGENIERIA	x			1
34	MARTILLO DE INERCIA - SACA TOCO TIPO 2	TECNA	x			2
35	MEDIDOR DE CHASIS	BLACKHAWK	x			1
36	PISTOLA DE PINTURA	WALCOM	x			8
37	PISTOLA NEUMATICA	INGERSOLL-RAND	x			1
38	PLASMA - CORTADOR DE ALUMINIO	CEBORA	x			1
39	POLICHADORA	MAKITA	x			1
40	POLIPASTO	KITO 2T	x			1
41	PRESA MANUAL	RECORD	x			2
42	PRESA HIDRAULICA	TECNOINGENIERIA	x			1
43	PULIDORA MANUAL	MAKITA	x			3
44	RECICLADOR DE A/A	SPX ROBINAIR		x		1
45	RECOLECTOR DE ACEITE	NN	x			3
46	TALADRO MANUAL	MAKITA	x			3
47	TALADRO PEDESTAL	JET	x			1

84

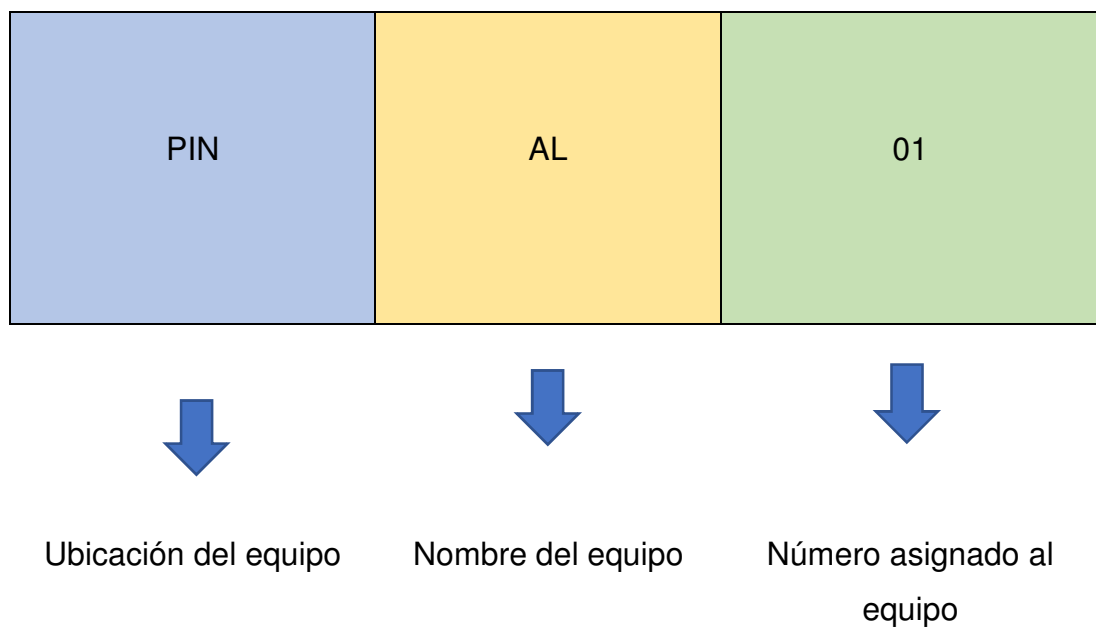
Fuente: Los autores con la información recolectada.

### 5.3 CODIFICACIÓN DE EQUIPOS.

Dentro del proceso de organizar el mantenimiento en el taller se hace necesario la codificación de los equipos para así tenerlos identificados y ordenados.

La figura 4 muestra un modelo alfanumérico formado por tres secciones, la primera identifica el área donde está situado el equipo, mecánica, latonería y pintura, la segunda la conforma las iniciales del nombre del equipo y el tercero es el número asignado a dicho equipo.

Figura 4. Modelo de Codificación de Equipo



Fuente: Los autores con la información recolectada.

Tabla 2. Codificación equipos área de pintura

AREA DE PINTURA		
ITEM	CODIGO	EQUIPO
1	PIN-AL-01	ASPIRADOR DE LIJADO
2	PIN-AL-02	ASPIRADOR DE LIJADO
3	PIN-AL-03	ASPIRADOR DE LIJADO
4	PIN-BA-01	BRAZO DE ASPIRACION
5	PIN-BA-02	BRAZO DE ASPIRACION
6	PIN-BC-01	BANCO DE COLORIMETRIA
7	PIN-BP-01	BASCULA DE PINTURA
8	PIN-CA-01	COMPRESOR DE AIRE TIPO 2
9	PIN-CA-02	COMPRESOR DE AIRE TIPO 3
10	PIN-CB-01	CABINA DE PINTURA
11	PIN-CL-01	CABINA DE LIJADO
12	PIN-LI-01	LAMPARA INFRAROJA
13	PIN-LR-01	LIJADORA ROTO-ORBITAL
14	PIN-LR-02	LIJADORA ROTO-ORBITAL
15	PIN-LR-03	LIJADORA ROTO-ORBITAL
16	PIN-PO-01	POLICHADORA
17	PIN-PP-01	PISTOLA DE PINTURA
18	PIN-PP-02	PISTOLA DE PINTURA
19	PIN-PP-03	PISTOLA DE PINTURA
20	PIN-PP-04	PISTOLA DE PINTURA
21	PIN-PP-05	PISTOLA DE PINTURA
22	PIN-PP-06	PISTOLA DE PINTURA
23	PIN-PP-07	PISTOLA DE PINTURA
24	PIN-PP-08	PISTOLA DE PINTURA

Fuente: Los autores con la información recolectada.

Tabla 3. Codificación equipos área de mecánica

AREA DE MECÁNICA		
ITEM	CODIGO	EQUIPO
1	MEC-AC-01	ACEITADORA
2	MEC-AL-01	ALINEADOR DE LUCES
3	MEC-AS-01	ASPIRADORA
4	MEC-BA-01	BOMBA DE AGUA
5	MEC-BL-01	BALANCEADOR
6	MEC-CA-01	COMPRESOR DE AIRE TIPO 1
7	MEC-CF-01	GATO PARA FOSA
8	MEC-CF-02	GATO PARA FOSA
9	MEC-CF-03	GATO PARA FOSA
10	MEC-CL-01	CAMBIADORA DE LLANTAS
11	MEC-ES-01	ESMERIL TIPO 1
12	MEC-ET-01	ELEVADOR DE TIJERA
13	MEC-ET-02	ELEVADOR DE TIJERA
14	MEC-ET-03	ELEVADOR DE TIJERA
15	MEC-ET-04	ELEVADOR DE TIJERA
16	MEC-ET-05	ELEVADOR DE TIJERA
17	MEC-ET-06	ELEVADOR DE TIJERA
18	MEC-ET-07	ELEVADOR DE TIJERA
19	MEC-ET-08	ELEVADOR DE TIJERA
20	MEC-ET-09	ELEVADOR DE TIJERA
21	MEC-GH-01	GRUA HIDRAULICA PARA MOTOR TIPO 1
22	MEC-PH-01	PRESAN HIDRAULICA
23	MEC-PM-01	PRENSA MANUAL
24	MEC-PN-01	PISTOLA NEUMATICA
25	MEC-RA-01	RECICLADOR DE A/A
26	MEC-RC-01	RECOLECTOR DE ACEITE
27	MEC-RC-02	RECOLECTOR DE ACEITE
28	MEC-RC-03	RECOLECTOR DE ACEITE

Fuente: Los autores con la información recolectada.

Tabla 4. Codificación equipos área de latonería

AREA DE LATONERIA		
ITEM	CODIGO	EQUIPO
1	LAT-CA-01	PLASMA - CORTADOR DE ALUMINIO
2	LAT-CB-01	CARGADOR DE BATERIAS
3	LAT-CV-01	JUEGO DE COMPAS DE VARAS
4	LAT-ED-01	ELEVADOR DE DIAGNOSTICO
5	LAT-EK-01	ELEVADOR KOREK
6	LAT-EK-02	ELEVADOR KOREK
7	LAT-EK-03	ELEVADOR KOREK
8	LAT-ES-01	ESMERIL TIPO 2
9	LAT-ES-02	ESMERIL TIPO 3
10	LAT-ET-01	ELEVADOR DE TIJERA
11	LAT-GG-01	GATO DE GARAJE
12	LAT-GG-02	GATO DE GARAJE
13	LAT-GG-03	GATO DE GARAJE
14	LAT-GH-01	GRUA HIDRAULICA PARA MOTOR TIPO 1
15	LAT-KO-01	KOREK
16	LAT-MC-01	MEDIDOR DE CHASIS
17	LAT-MI-01	MARTILLO DE INERCIA - SACA TOCO TIPO 2
18	LAT-MI-02	MARTILLO DE INERCIA - SACA TOCO TIPO 2
19	LAT-PM-01	PRENSA MANUAL
20	LAT-PM-01	PULIDORA MANUAL
21	LAT-PM-02	PULIDORA MANUAL
22	LAT-PM-03	PULIDORA MANUAL
23	LAT-PP-01	POLIPASTO
24	LAT-SM-01	EQUIPO DE SOLDADURA MIC
25	LAT-SM-02	EQUIPO DE SOLDADURA MIC
26	LAT-SM-03	EQUIPO DE SOLDADURA MIC
27	LAT-SP-01	EQUIPO DE SOLDADURA DE PUNTOS
28	LAT-ST-01	MARTILLO DE INERCIA - SACA TOCO TIPO 1
29	LAT-TM-01	TALADRO MANUAL
30	LAT-TM-02	TALADRO MANUAL
31	LAT-TM-03	TALADRO MANUAL
32	LAT-TP-01	TALADRO PEDESTAL

Fuente: Los autores con la información recolectada.

## **6. ANÁLISIS DE CRITICIDAD (CA, FMECA).**

### **6.1 ANÁLISIS DE CRITICIDAD (CA) DE LOS EQUIPOS DEL TALLER LA ESTRELLA POR FACTORES DE PONDERACIÓN.**

El análisis de riesgo ponderado permite clasificar e identificar los equipos del taller que valen la pena invertir recursos en mantenimiento correctivo.

De todos los equipos y herramientas relacionados con anterioridad le brindan al taller una gran versatilidad para los servicios que prestar a sus clientes, no obstante, se requiere de un estudio de factores de ponderación para determinar sobre qué equipos iría dirigido el plan de mantenimiento acorde a las necesidades de la empresa.

Para realizar dicho estudio se requiere identificar qué criterios se tendrán en cuenta en la evaluación.

Para identificar la criticidad de los equipos se llevará a cabo la metodología de factores ponderados basados en el riesgo el cual da puntajes a un listado de parámetros de medición de la criticidad para realizar la ponderación de dichos parámetros y analizar la criticidad.

Tabla 5. Parámetros para análisis de criticidad.

FACTORES PARA EL CALCULO DE CRITICIDAD		
Parámetros de medición de criticidad	Criterios	Puntaje
Frecuencia de falla FF	No más de 1 por año	1
	Entre 2 y 5 por año	2
	Entre 6 y 10 fallas por año	3
	Entre 11 y 15 fallas por año	4
	Mas de 15 por año	5
Tiempo promedio de reparación TPR	Menos de 4 horas	1
	Entre 4 y 8 horas	2
	Entre 8 y 24 horas	3
	Entre 24 y 48 horas	4
	Mas de 48 horas	5
Impacto sobre la producción ISP	No afecta la producción	0.05
	25% del impacto	0.3
	50% del impacto	0.5
	75% del impacto	0.8
	La afecta totalmente	1
Costo de reparación CR	Menos de 200 mil pesos	3
	Entre 200 y 500 mil pesos	5
	Entre 500 mil y 1 millón de pesos	10
	Más de 1 millón de pesos	25
Impacto en la seguridad, ambiente e higiene SAH	No provoca ningún tipo de daño a personas, instalaciones o ambiente	1
	Provoca daños menores (ambiente y seguridad)	3
	Afecta instalaciones causando daños severos	5
	Afecta ambiente/instalaciones	7
	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	8

Fuente: TERAN QUINTANILLA Sergio Hernando; RUSSI LAITÓN Edwin Jhoan. Diseño, implementación y sistematización de un sistema de mantenimiento preventivo basado en analisis de criticidad (CA) y análisis de modos de falla, efecto y su criticidad (FMECA) para la empresa metalmecánica industrias Theran.

**6.1.1 Descripción del método.** Los resultados del método del riesgo ponderado se clasifican según lo obtenido en cada equipo, un puntaje entre 0 a 10 indica un nivel bajo de criticidad, un puntaje superior a 10 e inferior a 20 indica nivel medio de criticidad, por último, un puntaje superior a 20 indica que el equipo es altamente crítico. Los criterios utilizados para la elaboración de los factores de medición y cálculo se exponen a continuación:

**Frecuencia de Falla:** Indica las veces que falla cualquier componente del equipo que represente la pérdida de su función. Que implique una parada en un determinado periodo de año.

**Tiempo promedio de reparación:** Es el tiempo promedio destinado para reparar las fallas, considerado desde que el equipo pierde su función hasta que se es recuperado nuevamente.

**Impacto sobre la producción:** Representa la producción en porcentaje que deja de percibir por día debido a la falla ocurrida. Se puede definir como la consecuencia económica inmediata que representa un paro total o parcial de los equipos del sistema.

**Costo de reparación:** Se define como el costo promedio para resarcir la falla dejando el equipo en óptimas condiciones de funcionamiento incluyendo mano de obra y repuestos.

**Impacto en la seguridad, ambiente e higiene:** Representa la posibilidad de que suceda un evento que pueda afectar la seguridad e integridad de personas, así como también afectar equipos, instalaciones o violar alguna norma ambiental que pueda repercutir en multas o sanciones.

Culminada la ponderación se aplican los datos en la siguiente formula

**CRITICIDAD = FRECUENCIA DE FALLA X CONSECUENCIA**

Donde consecuencia = A + B

A = costo de la reparación + impacto en la seguridad, ambiente e higiene

B = Impacto sobre la producción x Tiempo promedio de reparación<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> TERAN QUINTANILLA Sergio Hernando; RUSSI LAITÓN Edwin Jhoan. Diseño, implementación y sistematización de un sistema de mantenimiento preventivo basado en analisis de criticidad (CA) y análisis de modos de falla, efecto y su criticidad (FMECA) para la empresa metalmecánica industrias Theran. Página de la 73 a la 77.

**6.1.1.1 Resultado de análisis.** A continuación, se muestra el resultado de lo calculado representado en las distintas áreas del taller.

- **Área de pintura.**

Tabla 6. Análisis de criticidad en área de pintura.

AREA DE PINTRA							
CODIGO	FF	TRP	ISP	CR	SAH	CRITICIDAD	NIVEL DE CRITICIDAD
PIN-CB-01	1	3	0,5	25	1	27,5	C
PIN-CA-01	2	2	0,005	5	1	12,02	MC
PIN-CL-01	1	2	0,005	3	7	10,01	MC
PIN-AL-01	1	2	0,005	5	7	12,01	MC
PIN-AL-02	1	2	0,005	5	7	12,01	MC
PIN-AL-03	1	2	0,005	5	7	12,01	MC
PIN-BA-01	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
PIN-BA-02	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
PIN-PO-01	1	1	0,3	3	1	4,3	NC
PIN-LR-01	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
PIN-LR-02	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
PIN-LR-03	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
PIN-LI-01	1	2	0,3	3	1	4,6	NC
PIN-PP-01	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
PIN-PP-02	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
PIN-PP-03	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
PIN-PP-04	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
PIN-PP-05	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
PIN-PP-06	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
PIN-PP-07	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
PIN-PP-08	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
PIN-BC-01	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
PIN-BP-01	1	1	0,3	3	1	4,3	NC

Fuente: Los autores con la información recolectada.

- **Área de latonería.**

Tabla 7. Análisis de criticidad en área de latonería.

AREA DE LATONERIA								
CODIGO	FF	TRP	ISP	CR	SAH	CRITICIDAD	NIVEL DE CRITICIDAD	
LAT-ET-01	2	3	0,3	10	5	31,8	C	
LAT-ED-01	2	3	0,3	10	5	31,8	C	
LAT-KO-01	2	2	0,5	5	1	14	MC	
LAT-MC-01	2	3	0,005	3	1	8,03	NC	

LAT-GG-01	2	1	0,005	3	1	8,01	NC
LAT-GG-02	2	1	0,005	3	1	8,01	NC
LAT-GG-03	2	1	0,005	3	1	8,01	NC
LAT-PP-01	1	5	0,3	5	1	7,5	NC
LAT-ST-01	1	2	0,3	5	1	6,6	NC
LAT-MI-01	1	2	0,3	5	1	6,6	NC
LAT-MI-02	1	2	0,3	5	1	6,6	NC
LAT-GH-01	1	1	0,005	5	1	6,005	NC
LAT-EK-01	1	3	0,3	3	1	4,9	NC
LAT-EK-02	1	3	0,3	3	1	4,9	NC
LAT-EK-03	1	3	0,3	3	1	4,9	NC
LAT-SM-01	1	1	0,3	3	1	4,3	NC
LAT-SM-02	1	1	0,3	3	1	4,3	NC
LAT-SM-03	1	1	0,3	3	1	4,3	NC
LAT-SP-01	1	1	0,3	3	1	4,3	NC
LAT-TP-01	1	2	0,005	3	1	4,01	NC
LAT-CA-01	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
LAT-CB-01	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
LAT-PM-01	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
LAT-ES-01	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
LAT-ES-02	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
LAT-CV-01	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
LAT-TM-01	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
LAT-TM-02	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
LAT-TM-03	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
LAT-PM-01	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
LAT-PM-02	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
LAT-PM-03	1	1	0,005	3	1	4,005	NC

Fuente: Los autores con la información recolectada.

- **Área de mecánica.**

Tabla 8. Análisis de criticidad en área de mecánica.

AREA DE MECÁNICA							
CODIGO	FF	TRP	ISP	CR	SAH	CRITICIDAD	NIVEL DE CRITICIDAD
MEC-ET-01	2	3	0,005	10	5	30,03	C
MEC-ET-02	2	3	0,005	10	5	30,03	C
MEC-ET-03	2	3	0,005	10	5	30,03	C
MEC-ET-04	2	3	0,005	10	5	30,03	C

MEC-ET-05	2	3	0,005	10	5	30,03	C
MEC-ET-06	2	3	0,005	10	5	30,03	C
MEC-ET-07	2	3	0,005	10	5	30,03	C
MEC-ET-08	2	3	0,005	10	5	30,03	C
MEC-ET-09	2	3	0,005	10	5	30,03	C
MEC-CA-01	1	2	0,3	25	1	26,6	C
MEC-RA-01	1	2	0,005	5	1	6,01	NC
MEC-GH-01	1	1	0,005	5	1	6,005	NC
MEC-AL-01	1	1	0,005	5	1	6,005	NC
MEC-ES-01	1	2	0,005	3	1	4,01	NC
MEC-PN-01	1	2	0,005	3	1	4,01	NC
MEC-AS-01	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
MEC-RC-01	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
MEC-RC-02	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
MEC-RC-03	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
MEC-PH-01	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
MEC-CF-01	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
MEC-CF-02	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
MEC-CF-03	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
MEC-PM-01	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
MEC-AC-01	1	1	0,005	3	1	4,005	NC
MEC-BA-01	1	1	0,005	3	1	4,005	NC

Fuente: Los autores con la información recolectada.

**6.1.1.2 Categorización de los equipos del taller con base al análisis de criticidad.** A continuación, se relacionan los equipos identificados como críticos de acuerdo con el puntaje obtenido.

Tabla 9. Categorización del análisis de criticidad general.

CODIGO	CRITICIDAD	RANGO DE CRITICIDAD
LAT-ET-01	31,8	> 20 ALTA
LAT-ED-01	31,8	
MEC-ET-01	30,03	
MEC-ET-02	30,03	

MEC-ET-03	30,03	
MEC-ET-04	30,03	
MEC-ET-05	30,03	
MEC-ET-06	30,03	
MEC-ET-07	30,03	
MEC-ET-08	30,03	
MEC-ET-09	30,03	
PIN-CB-01	27,5	
MEC-CA-01	26,6	
LAT-KO-01	14	>10 MEDIA <20
PIN-CA-01	12,02	
PIN-AL-01	12,01	
PIN-AL-02	12,01	
PIN-AL-03	12,01	
PIN-CL-01	10,01	
LAT-MC-01	8,03	< 10 BAJA
LAT-GG-01	8,01	
LAT-GG-02	8,01	
LAT-GG-03	8,01	
LAT-PP-01	7,5	
LAT-ST-01	6,6	
LAT-MI-01	6,6	
LAT-MI-02	6,6	
MEC-RA-01	6,01	
MEC-GH-01	6,005	
MEC-AL-01	6,005	
LAT-GH-01	6,005	
LAT-EK-01	4,9	

Fuente: Los autores con la información recolectada.

El listado total de equipos no críticos con calificación inferior a 10 se pueden ver en Anexo B.

Con base al análisis anterior se obtiene como resultado la identificación de trece equipos críticos, de los cuales once de ellos son elevadores con características similares, tomándose entonces como uno solo, quedando así con tres equipos críticos relacionados a continuación.

Figura 5. Equipos críticos para el análisis FMECA.



Fuente: Los autores con la información recolectada.

A estos tres equipos se les realizará el análisis de modo y efecto de falla y su criticidad.

## 6.2 ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA Y SU CRITICIDAD (FMECA).

Elaborado el Análisis de Criticidad (CA) teniendo identificados los equipos críticos del taller, se procede a realizar el análisis de modo y efecto de falla FMEA.

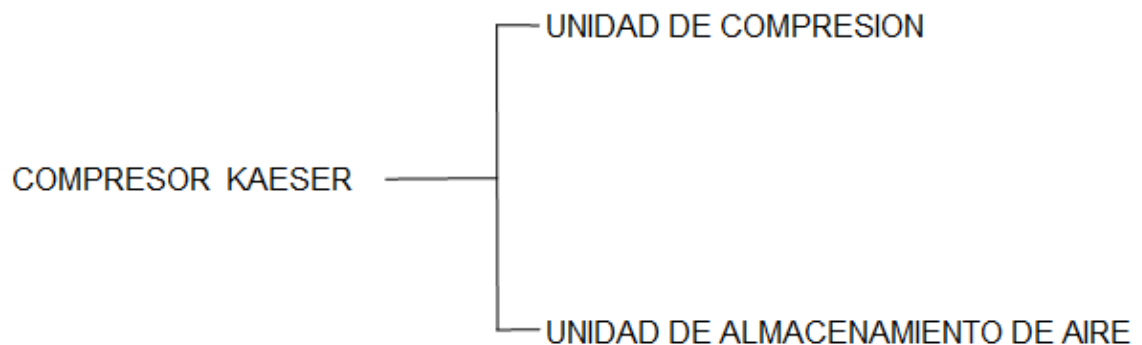
### 6.2.1. Descripción del método.

**6.2.1.1. Proceso de análisis.** En este paso se deben llevar a cabo los diversos pasos ya preestablecidos para el análisis de FMEA en los equipos críticos previamente identificados. De este modo se realizará una división por sistemas para identificar posibles fallas en los componentes o subsistemas del equipo.

**6.2.2. Evaluación por componentes de los equipos críticos.** A cada equipo crítico se le realizó una valoración técnica para determinar sus componentes susceptibles a fallas por mantenimiento.

**6.2.2.1. Compresor de aire KAESER.** Los subsistemas del compresor de aire se relacionan a continuación:

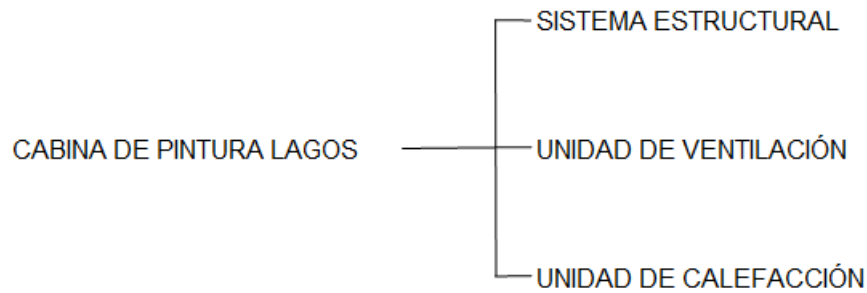
Figura 6. Subsistemas del compresor



Fuente: Los autores con la información recolectada.

**6.2.2.2. Cabina de pintura LAGOS.** Los subsistemas de la cabina de pintura se relacionan a continuación:

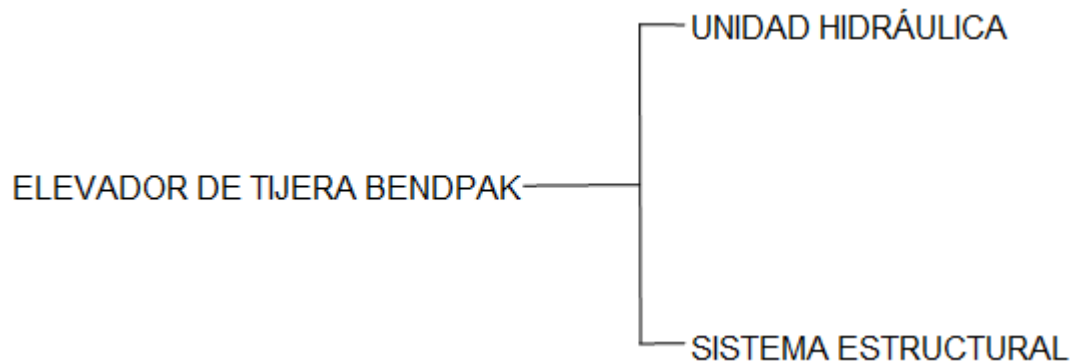
Figura 7. Subsistemas de la cabina de pintura.



Fuente: Los autores con la información recolectada.

**6.2.2.3. Elevador de tijeras BENDPAK.** Los subsistemas de los elevadores se relacionan a continuación:

Figura 8. Subsistemas de los elevadores



Fuente: Los autores con la información recolectada.

### 6.3. RESULTADO DEL ANÁLISIS FMEA.

Los resultados del análisis FMEA se pueden ver en el Anexo C.

**6.3.1 Índice de prioridad de riesgo crítico (IPR).** A modo de resumen del análisis FMEA donde se analizaron las posibles fallas, buscando categorizar también las fallas más críticas. A través de este método, se examinan los modos de fallas, los efectos, sus causas y cómo se pueden evitar.

Para cada falla se analiza la gravedad (G), la probabilidad de ocurrencia (P) y la probabilidad de no detección (D), asignando un valor donde 1 indica poca probabilidad, y 10 efectos muy probables o de difícil detección.

Finalmente se calcula el IPR (índice de prioridad de riesgo) como el producto de los valores  $G \times P \times D$ , donde se establece como altamente probable los IPR con valor mayores a 50.<sup>6</sup>

Tabla 10. IPR compresor.

COMPRESOR KAESER				
COMPONENTES	MODO DE FALLA	IPR	CONTROL A EFECTUAR	RESONSABLE
Motor eléctrico 220V	Bobinas quemadas o sulfatadas	105	Instalar reguladores o estabilizadores de voltaje	Técnico de mantenimiento
Compresor tipo tornillo	Rodamientos frenados	126	Monitoreo de temperaturas de los compresores	Operario
	Filtro roto	84	Cambiar filtro por condición o según recomendación del fabricante	Técnico de mantenimiento
	Tornillo desgastado	72	inspección del filtro cada 250 horas y cambio por condición	Técnico de mantenimiento

Fuente: Los autores con la información recolectada.

<sup>6</sup> TERAN QUINTANILLA Sergio Hernando; RUSSI LAITÓN Edwin Jhoan. Diseño, implementación y sistematización de un sistema de mantenimiento preventivo basado en analisis de criticidad (CA) y análisis de modos de falla, efecto y su criticidad (FMECA) para la empresa metalmeccánica industrias Theran. Pg 68

COMPRESOR KAESER				
COMPONENTE S	MODO DE FALLA	IP R	CONTROL A EFECTUAR	RESONSABLE
Tornillería	Tronillo suelto o partidos	70	Inspección visual de tornillo y bases del compresor	Operario
Tanque deshumidificador	Filtro saturado	60	Cambio de filtros húmedos según condición	Técnico de mantenimiento

Fuente: Los autores con la información recolectada.

Tabla 11. IPR cabina de pintura.

CABINA DE PINTURA LAGOS				
COMPONENTE	MODO DE FALLA	IPR	ACCIONES CORRECTIVAS	RESPONDABLE
Ventiladores	Ventiladores sucios	60	Mantenimiento a los filtros y limpieza de ventilador	Técnico de mantenimiento
Filtros	Filtro Saturado	60	Cambio de filtros por condición	Técnico de mantenimiento
Horno	Quemadores obstruidos	60	Mantenimiento a las boquillas cada 6 meses o por condición	Técnico de mantenimiento

Fuente: Los autores con la información recolectada.

Tabla 12. IPR elevadores

ELEVADORES BENDPAK				
COMPONENTE	MODO DE FALLA	IPR	ACCIONES CORRECTIVAS	RESPONDABLE
Brazos	Seguros doblados	80	Verificar antes de cada uso el estado de los seguros	Operario
Válvulas de retención	Válvula pegada	56	Cambio de filtros de aceite según frecuencia de fabricante	Técnico de mantenimiento
Brazos	Estructura doblada	54	Inspeccionar las distancias de ubicación del vehículo	Operario

Fuente: Los autores con la información recolectada.

## 7. ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ (RCA).

Teniendo relacionadas las fallas con el índice de prioridad de riesgo más alto, es importante identificar cuál es la causa raíz de estas fallas.

Para poder realizar un plan de mantenimiento eficiente, éste debe ir enfocado en evitar que éstas fallas aparezca o si no se pueden eliminar, que sean lo menos notorio posible.

El análisis de causa raíz se hace a través de una reunión celebrada en las instalaciones del taller donde participaron los autores de este proyecto junto con el gerente de servicio y el jefe de taller utilizando el diagrama de Ishikawa.

### 7.1 DIAGRAMA DE ISHIKAWA.

El diagrama de Ishikawa o de espina de pescado se desarrolla con el equipo de trabajo mediante una lluvia de ideas donde cada uno aporta una posible causa que está ocasionando la falla.

Lo primero en realizar es tener definido el problema, en este, caso las fallas detectadas en el FMEA. Luego se sacan las categorías, en este caso se utilizan las 4M, siendo estas las más utilizadas y que harán menos complejo el estudio.

Las 4M se explican a continuación:

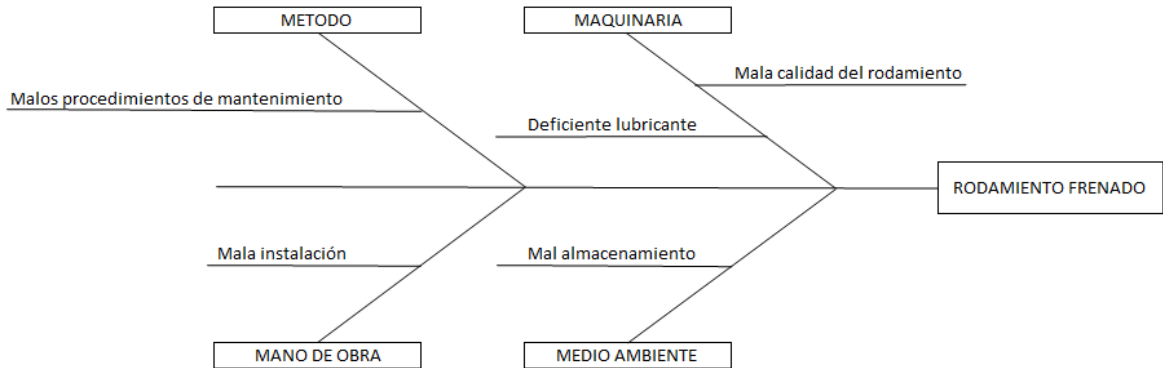
- **Método:** Equivalente a los procesos o procedimientos que se realizan en el taller.
- **Máquina:** Referente al equipo, máquina o herramienta que hacen parte de los procesos.
- **Mano de obra:** Son las personas u operarios que interactúan con el proceso.

- **Medio ambiente:** Concerniente al entorno. Tanto el lugar físico como el medio ambiente de trabajo donde se está desarrollando la actividad.

Como paso final se tiene, para cada una de las categorías, diversas causas que permitirán llegar a un buen análisis de una muy posible causa raíz de las fallas.

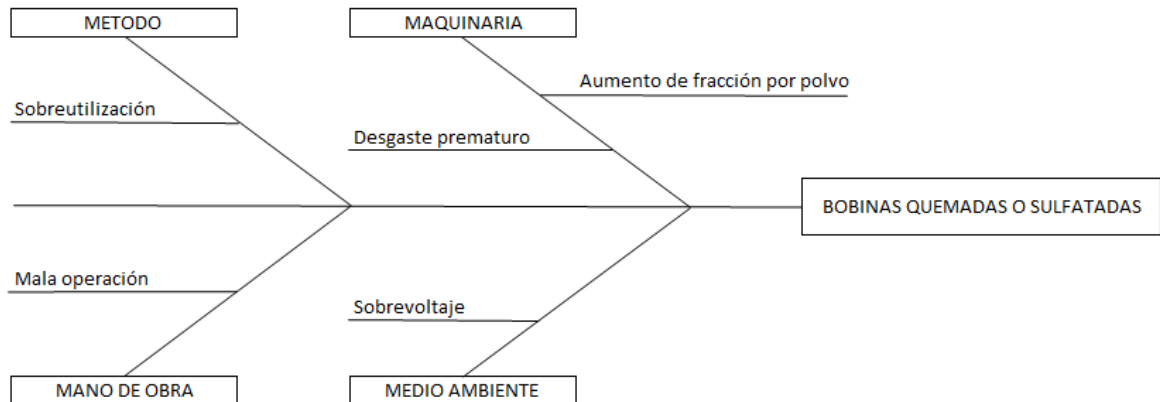
**7.1.1 Diagrama de Ishikawa del compresor.** Se realiza el diagrama de Ishikawa de las fallas detectadas de mayor probabilidad de ocurrencia con mayor IPR del compresor.

Figura 9. Diagrama Ishikawa del rodamiento frenado.



Fuente: Los autores con la información recolectada.

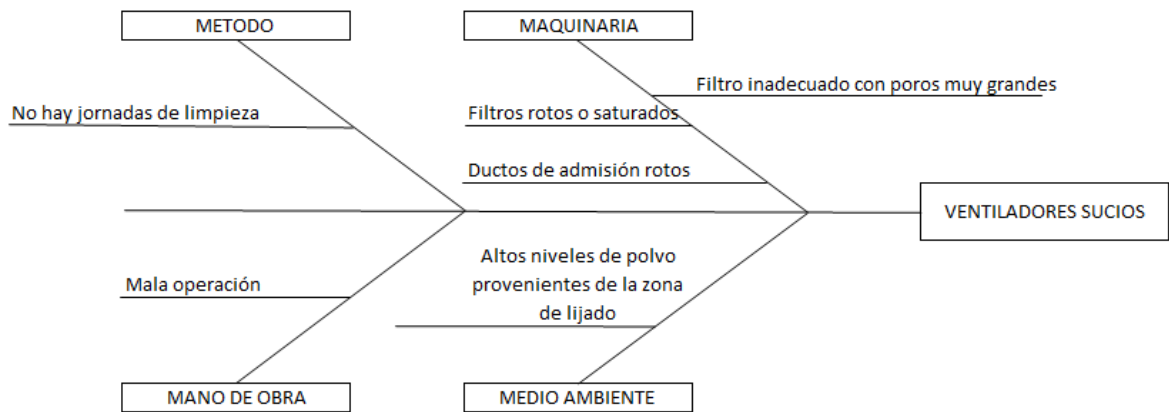
Figura 10. Diagrama de Ishikawa de las bobinas quemadas o sulfatadas.



Fuente: Los autores con la información recolectada.

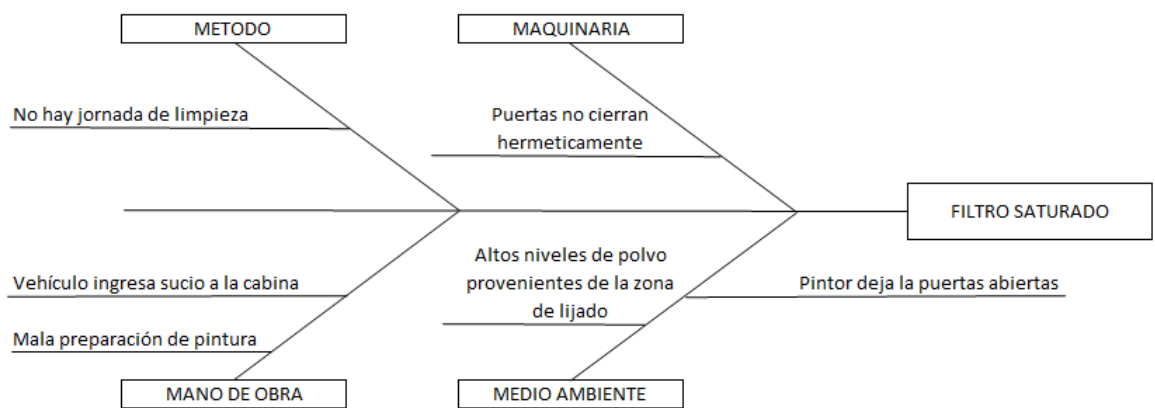
**7.1.2 Diagrama de Ishikawa de la cabina de pintura.** Se realiza el diagrama de Ishikawa de las fallas detectadas en la cabina de pintura.

Figura 11. Diagrama de Ishikawa de los ventiladores sucios.



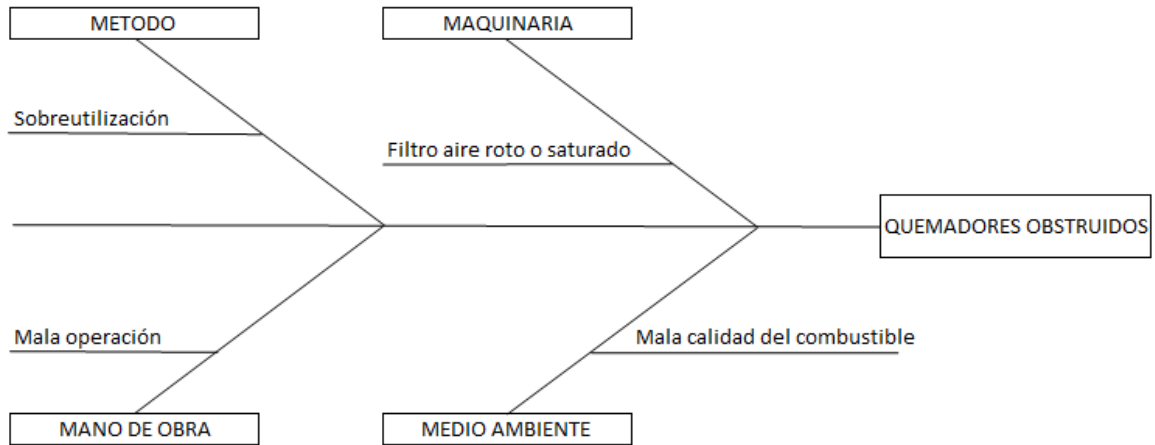
Fuente: Los autores con la información recolectada.

Figura 12. Diagrama de Ishikawa de filtros saturados.



Fuente: Los autores con la información recolectada

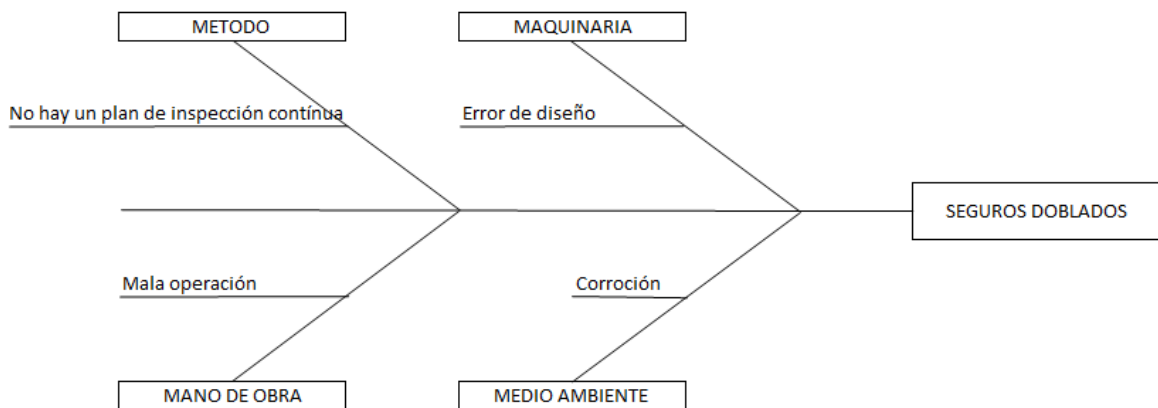
Figura 13. Diagrama de Ishikawa de quemadores obstruidos.



Fuente: Los autores con la información recolectada.

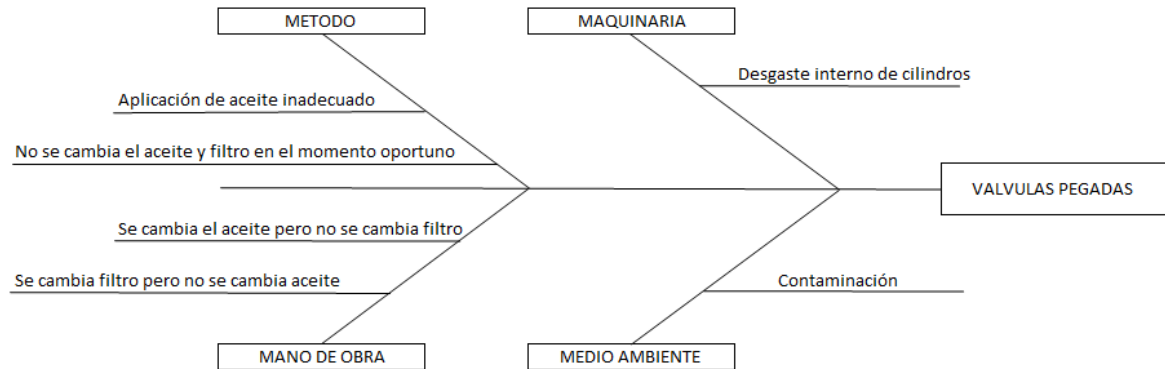
**7.1.3 Diagrama de Ishikawa de los elevadores.** Se realiza el diagrama de Ishikawa de las fallas detectadas en los elevadores.

Figura 14. Diagrama de Ishikawa de seguros doblados.



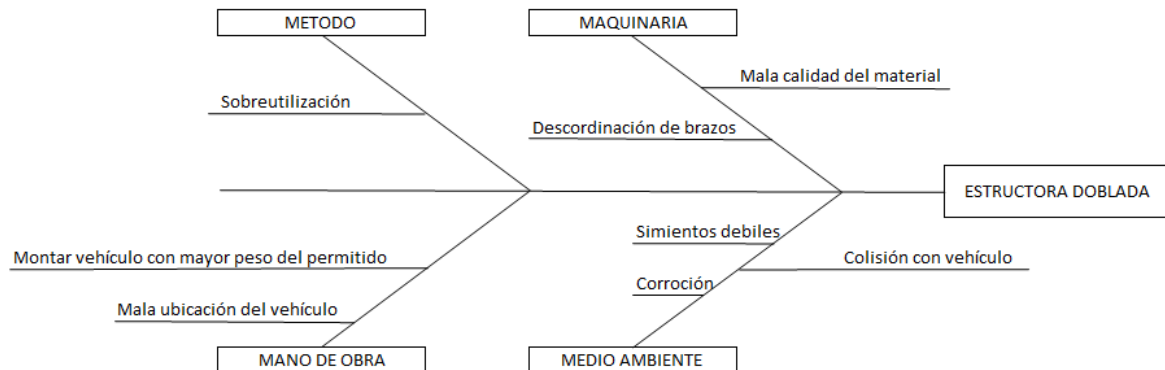
Fuente: Los autores con la información recolectada.

Figura 15. Diagrama de Ishikawa de válvulas pegadas.



Fuente: Los autores con la información recolectada.

Figura 16. Diagrama de Ishikawa de estructuras dobladas.



Fuente: Los autores con la información recolectada.

## 7.2 IDENTIFICACIÓN DE LA CAUSA O POSIBLES CAUSAS.

Teniendo identificado por cada una de las fallas más relevantes o probables un listado de causas basando en las 4M, se procede a identificar de todas las posibles causas detectadas, cuál es la posible causa raíz o por lo menos la que pueda dar la mejor solución a la falla.

Lo primero en hacer es un listado de todas las causas.

Seguidamente se establecen los criterios con los cuales serán evaluadas cada posible causa.

- ¿Es un factor que lleva a la falla? Se debe conocer si esa causa es un factor que lleva a la falla. Es decir, al ocurrir esta causa, ¿esto provoca que en determinado tiempo se genere la falla?
- Esto, ¿ocasiona directamente la falla? A diferencia de la pregunta anterior, esta causa ocasiona de inmediato la falla.
- Si esto es eliminado, ¿se corregirá la falla? Puntualizando en que, al eliminar la causa, se elimine la falla de manera contundente.
- ¿Se puede plantear una solución factible? Es importante que la solución que se plantee sea factible y pueda ser aplicada a la realidad de la empresa.
- ¿Se puede medir si la solución funcionó? Tiene que ver con el retorno de la inversión, basado en que se debe ver de manera medible el resultado.
- ¿La solución es de bajo costo? Este factor sale a relucir cuando se tienen varias soluciones, se puede elegir la que tenga un menor costo.

Por último, se establece la calificación para los criterios, esto para pasar de una medición subjetiva de la opinión de la mesa de trabajo, a un esquema de puntuación.

En este caso se utilizan valores de 1 al 3, siendo 3 el valor que otorga más beneficios y 1 la que menos beneficios trae, de este modo se procede a desarrollar la tabla de criterios de cada una de las fallas de los equipos identificados como críticos.

## 7.2.1 Criterios para las fallas del compresor.

Tabla 13. Criterios de falla por rodamiento frenado.

RODAMIENTO FRENADO								
CAUSAS	SOLUCIONES	CRITERIOS						TOTALES
Método	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Malos procedimientos de mantenimiento	Crear un programa de mantenimiento preventivo	3	1	2	2	3	1	12
Maquinaria	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Deficiente lubricante	Cambiar aceite por condición	3	3	2	2	2	2	14
Mala calidad del rodamiento	Cambiar de marca / proveedor	2	1	1	3	2	1	10
Mano de Oera	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Mala instalación	Capacitación de personal	3	1	1	2	1	1	9
Medo Ambiente	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Mal almacenamiento	Mejorar condiciones de almacenamiento	2	1	2	1	1	1	8

Fuente: Los autores con la información recolectada.

Conclusión: Los puntajes más altos los tienen la deficiente lubricación y los malos procedimientos de mantenimiento, por lo que se concluye que la causa raíz más probable de la falla del compresor por rodamiento frenado es a causa de malos procedimientos o una mala gestión del mantenimiento donde la condición del aceite es crítica y requiere un seguimiento constante.

Tabla 14. Criterios de falla por bobinas quemadas o sulfatadas.

BOBINAS QUEMADAS O SULFATADAS								
CAUSAS	SOLUCIONES	CRITERIOS						TOTALES
Método	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Sobreutilización	Reducir horas de trabajo	2	1	2	1	2	1	9
Maquinaria	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Desgaste prematuro	Cambiar de marca / proveedor	1	2	1	2	2	1	9
Aumento de fracción por polvo	Crear jornadas de limpieza	2	2	2	2	2	2	12
Mano de Oera	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Mala operación	Capacitación al personal	1	1	1	2	2	1	8
Mendo Ambiente	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Sobrevoltaje	Instalación de reguladores de voltaje	3	3	2	2	2	2	14

Fuente: Los autores con la información recolectada.

Observación: Se concluye que la causa raíz más probable de la falla del compresor por bobinas quemadas, lo más probable es que ocurra por sobre voltaje, por lo que

se recomienda la instalación de reguladores, sin descartar el mantenimiento a filtros de aire.

## 7.2.2 Criterios para las fallas de la cabina de pintura.

Tabla 15. Criterios de falla por ventiladores sucios.

VENTILADORES SUCIOS								
CAUSAS	SOLUCIONES	CRITERIOS						TOTALES
Método	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
No hay jornadas de limpieza	Crear jornadas de limpieza	2	2	3	3	3	2	15
Maquinaria	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Filtros rotos o saturados	Cambiar filtros por condición	3	3	3	2	3	1	15
Ductos de admisión rotos	Cambiar ductos por condición	3	1	1	2	1	1	9
Filtro inadecuado con poros muy grandes	Cambiar de marca / proveedor	2	1	1	2	3	1	10
Mano de Obra	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Mala operación	Capacitación de personal	2	1	2	2	2	1	10
Medio Ambiente	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Altos niveles de polvo provenientes de la zona de lijado	Reubicar cabina	3	3	3	1	2	1	13

Fuente: Los autores con la información recolectada

Observación: Se puede concluir que la causa raíz más probable de la falla de la cabina de pintura por ventiladores sucios se debe a la ausencia de jornadas de limpieza de ductos y cambio de filtros por condición. Esta tarea debe estar incluida en el plan de mantenimiento de la cabina.

Tabla 16. Criterios de falla por filtros saturados.

FILTRO SATURADO								
CAUSAS	SOLUCIONES	CRITERIOS						TOTALES
Método	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
No hay jornada de limpieza	Crear jornadas de limpieza	3	2	2	3	3	2	15
Maquinaria	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Puertas no cierran herméticamente	Realizar mantenimiento a las puertas	1	1	1	3	2	2	10
Mano de Obra	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Vehículo ingresa sucio a la cabina	Lavar el vehículo antes de ingresar	2	1	1	2	2	1	9
Pintor deja las puertas abiertas	Capacitación de personal	1	1	1	2	2	1	8
Mala preparación de pintura	Capacitación de personal	1	1	1	2	2	1	8
Medio Ambiente	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Altos niveles de polvo provenientes de la zona de lijado	Reubicar cabina	3	3	3	1	2	1	13

Fuente: Los autores con la información recolectada

Observación: Se puede concluir que la causa raíz más probable de la falla de la cabina de pintura por filtros saturados es por los altos nivel de contaminación, por

lo que deben ser revisados periódicamente por el operario e incluir dentro del plan de mantenimiento las jornadas de limpieza de filtros o sustitución por condición.

Tabla 17. Criterios de falla por quemadores obstruidos

QUEMADORES OBSTRUIDOS								
CAUSAS	SOLUCIONES	CRITERIOS						TOTALES
Método	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Sobreutilización	Reducir horas de trabajo	2	2	2	1	2	1	10
Maquinaria	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Filtro aire roto o saturado	Cambiar filtro por condición	2	3	2	3	2	1	13
Mano de Obra	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Mala operación	Capacitación de personal	1	1	2	2	2	1	9
Medio Ambiente	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Mala calidad del combustible	Cambiar filtro de combustible por condición	2	1	1	2	2	2	10

Fuente: Los autores con la información recolectada

Observación: Se puede concluir que la causa raíz más probable de la falla de la cabina de pintura por quemadores obstruidos es por la saturación o daños en los filtros de aire y combustible. Se incluirá esta revisión dentro del plan de mantenimiento.

### 7.2.3 Criterios para las fallas de los elevadores.

Tabla 18. Criterios de falla por seguros doblados.

SEGUROS DOBLADOS								
CAUSAS	SOLUCIONES	CRITERIOS						TOTALES
Método	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
No hay un plan de inspección continua	Crear un programa de mantenimiento preventivo basado en TPM	3	2	2	2	3	2	14
Maquinaria	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Error de diseño	Rediseñar la pieza	1	1	2	1	2	1	8
Mano de Obra	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Mala operación	Capacitación de personal	3	3	3	2	2	1	14
Medio Ambiente	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Corrosión	Crear un programa de mantenimiento preventivo basado en TPM	2	1	2	2	2	2	11

Fuente: Los autores con la información recolectada

Observaciones: Se puede concluir que la causa raíz más probable de los seguros doblados puede estar relacionado con la corrosión, pero se hace necesario un programa de monitoreo periódico en el cual puede estar involucrado el técnico quien inspeccionará el equipo previa operación, TPM.

Tabla 19. Criterios de falla por válvulas pegadas.

VALVULAS PEGADAS								
CAUSAS	SOLUCIONES	CRITERIOS						TOTALES
Método	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Aplicación de aceite inadecuado	Usar aceite recomendado por el fabricante	2	1	1	2	2	2	10
No se cambia el aceite y filtro en el momento oportuno	Crear un programa de mantenimiento preventivo	3	3	3	3	3	1	16
Maquinaria	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Desgaste interno	Cambiar cilindros	2	1	1	1	2	1	8
Mano de Obra	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Se cambia el aceite pero no se cambia filtro	Capacitación de personal	2	1	2	2	2	1	10
Se cambia filtro pero no se cambia aceite	Capacitación de personal	3	1	3	2	2	1	12
Medio Ambiente	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Contaminación	Cambio de filtro respirador del tanque por condición	2	1	1	2	2	3	11

Fuente: Los autores con la información recolectada

Observaciones: Se puede concluir que la causa raíz más probable de la falla del elevador por válvulas pegadas es a causa de malos procedimientos de mantenimiento donde el aceite es un elemento crítico en el sistema.

Tabla 20. Criterios de falla por estructura doblada.

ESTRUCTURA DOBLADA								
CAUSAS	SOLUCIONES	CRITERIOS						TOTALES
Método	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Sobreutilización	Reducir horas de trabajo	1	1	1	1	2	1	7
Maquinaria	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Mala calidad del material	Rediseñar la pieza	2	1	2	1	2	1	9
Mano de Obra	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Montar vehículo con mayor peso del permitido	Cargar vehículo de acuerdo a especificaciones	3	2	3	3	3	3	17
Mala ubicación del vehículo	Cargar vehículo de acuerdo a especificaciones	3	3	3	3	3	3	18
Medio Ambiente	Solución	Factor	Causa Directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Simientos debiles	Fortalecer los simientos	2	1	1	1	2	1	8
Corrosión	Crear un plan de mantenimiento preventivo	2	1	2	2	2	1	10
Colisión con vehiculo	Delimitar el área	2	2	1	2	2	3	12

Fuente: Los autores con la información recolectada.

Observaciones: Se puede concluir que la causa raíz más probable de la falla de los elevadores por estructura doblada es la mala operación por parte del operario, por lo que se sugiere capacitar al técnico y diseñar un manual de operación gráfico sencillo de entender para el operario.

No se puede dejar a un lado un factor importante con alta puntuación como lo es la corrosión, por lo que se debe incluir dentro del plan de mantenimiento jornadas de inspección visual en busca de focos de corrosión.

## 8. PROGRAMACIÓN DE MANTENIMIENTO.

Dentro del programa de mantenimiento de los equipos críticos se tuvieron en cuenta los sistemas y subsistema los cuales generan un alto impacto en la parada del equipo, en los casos de la cabina y los compresores el impacto es por costo de reparación y afectación de la producción y en el caso de los elevadores el impacto está en la parte de seguridad.

La programación de los mantenimientos de los equipos se realizó basado en los 12 meses del año donde se tomaron los componentes y se aplicaron las tareas relacionadas en el punto 6.3.1 de manera mensual (M) y semanal (X).

### 8.1. PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO DEL COMPRESOR.

Tabla 21. Programación del mantenimiento del compresor.

Fuente: Los autores con la información recolectada

### 8.2. PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LA CABINA DE PINTURA.

Tabla 21. Programación del mantenimiento de la cabina de pintura.

		PROGRAMACIÓN DE MANTENIMIENTO CABINA DE PINTURA																																																			
SISTEMA	ACTIVIDAD	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE							
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Paredes	Inspección visual	M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M			
	Limpieza de pared	M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M			
Compuertas	Lubricar cerradura	M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M			
Lamparas	Limpieza de lamparas	M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M			
Conductos	Inspección visual	M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M			
Ventiladores	Revisar los circuitos eléctricos																																																				
	Cambio de filtros		M																																																		
Filtros	Cambio de filtros		M																																																		
Válvulas de Mezcla de aire	Inspección visual			M																																																	
Horno	Mantenimiento a las boquillas			M																																																	
Sensores de temperatura	Cambio del sensor			M																																																	

Fuente: Los autores con la información recolectada

### 8.3. PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE ELEVADORES.

Tabla 22. Programación del mantenimiento de elevadores.

PROGRAMACIÓN DE MANTENIMIENTO ELEVADORES		ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE			
SISTEMA	ACTIVIDAD	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
		Motor electrico 220V	Instalar reguladores	M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M	
Lubricar el rodamiento	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Bomba Hidráulica	Cambio de aceite periodico		M																M																														
Cilindros hidráulicos	Inspección visual de retenedores	M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M							
	Cambio de filtros de aceite		M												M																																		
Mangueras	Inspección visual de mangueras			M																																													
Palancas	Inspección visual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Valvulas de retención	Pruebas de operatividad	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Bases	Inspección de las bases	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
	Inspección visual de los pernos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Columnas	Inspección visual de las columnas	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Brazos	Inspeccionar las distancias	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
	Inspección visual de los seguros	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				

Fuente: Los autores con la información recolectada

## 9. PRESUPUESTO.

Se presenta el plan de mantenimiento a la gerencia del taller con el costo de su posible implementación.

### 9.1. COSTO INVERSIÓN INICIAL.

Se realiza el análisis del costo de la inversión inicial para la implementación con la siguiente tabla.

Tabla 23. Inversión inicial para la implementación del proyecto

<b>INVERSIÓN INICAL</b>	
<b>DESARROLLO DEL PROYECTO</b>	
<b>GASTOS</b>	<b>VALOR</b>
GASTOS DE PAPELERIA GENERAL	\$ 180.000
HORAS DE ESTUDIO Y ANÁLISIS	\$ 600.000
MANO DE OBRA POR TOMA DE DATOS	\$ 350.000
MATERIAL DE INVESTIGACION (LIBROS, REVISTAS, ETC)	\$ 350.000
GASTOS DE MOVILIZACIÓN (VISITAS AL TALLER)	\$ 900.000
OTROS GASTOS E IMPREVSITOS	\$ 1.000.000
<b>TOTAL COSTO DEL PROYECTO</b>	<b>\$ 3.380.000</b>
<b>IMPLEMENTACIÓN</b>	
<b>GASTOS</b>	<b>VALOR</b>
TECNICO EN MANTENIMIENTO*	\$ 1.581.957
EQUIPOS DE OFICINA	\$ 4.000.000
HERRAMIENTAS	\$ 2.000.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 7.581.957</b>
<b>TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>\$ 10.961.957</b>

Fuente: Los autores con la información recolectada.

En Anexo D se podrá observar de donde proviene el valor del técnico de mantenimiento.

## 9.2. PRESUPUESTO MANTENIMIENTO EQUIPOS CRÍTICOS.

Se realiza el presupuesto del mantenimiento para los equipos críticos contemplando los insumos tanto consumible mes a mes como para los repuestos no probables pero posibles de reemplazar en un año.

**9.2.1. Presupuesto mantenimiento del compresor.** Se realiza el presupuesto para un mantenimiento completo del compresor.

Tabla 24. Presupuesto mantenimiento del compresor.

PRESUPUESTO MANTENIMIENTO COMPRESOR			
INSUMO	CANTIDAD	VALOR UNIDAD	VALOR TOTAL
LIMPIADOR DE CONTACTOS	1	\$ 20.000	\$ 20.000
FILTRO AIRE	1	\$ 50.000	\$ 50.000
FILTRO ACEITE	1	\$ 60.000	\$ 60.000
ACEITE	4	\$ 30.000	\$ 120.000
CORREA	1	\$ 150.000	\$ 150.000
FILTRO SECADOR	1	\$ 250.000	\$ 250.000
TOTAL			\$ 650.000

Fuente: Los autores con la información recolectada.

**9.2.2. Presupuesto mantenimiento de elevadores.** Se realiza el presupuesto para un mantenimiento completo de un elevador.

Tabla 25. Presupuesto mantenimiento de un elevador.

PRESUPUESTO MANTENIMIENTO ELEVADOR			
INSUMO	CANTIDAD	VALOR UNIDAD	VALOR TOTAL
ACEITE HIDRÁULICO	4	\$ 62.500	\$ 250.000
FILTRO	1	\$ 120.000	\$ 120.000
LIMPIADOR DE CONTACTOS	1	\$ 20.000	\$ 20.000
MANGUERAS	1	\$ 200.000	\$ 200.000
VALVULA DE RETENCIÓN	1	\$ 500.000	\$ 500.000
TOTAL			\$ 1.090.000

Fuente: Los autores con la información recolectada.

**9.2.3. Presupuesto mantenimiento de la cabina de pintura.** Se realiza el presupuesto para un mantenimiento completo de la cabina de pintura.

Tabla 26. Presupuesto mantenimiento de la cabina de pintura.

PRESUPUESTO MANTENIMIENTO CABINA			
INSUMO	CANTIDAD	VALOR UNIDAD	VALOR TOTAL
SOLVENTES	2	\$ 15.000	\$ 30.000
LIMPIADOR DE CONTACTOS	1	\$ 20.000	\$ 20.000
FILTRO SUBMICRÓNICO PISO	3	\$ 180.000	\$ 540.000
FILTRO SUBMICRÓNICO TECHO	15	\$ 110.000	\$ 1.650.000
EMPAQUES COMPUERTA	2	\$ 450.000	\$ 900.000
LAMPARAS	3	\$ 10.000	\$ 30.000
FILTRO DE COMBUSTIBLE	1	\$ 80.000	\$ 80.000
SENSOR DE TEMPERATURA	1	\$ 80.000	\$ 80.000

Fuente: Los autores con la información recolectada.

### 9.3. COSTO DEL MANTENIMIENTO ANUAL.

Con base a la información relacionada en el punto 9.2 se realiza el análisis del costo del mantenimiento para los equipos críticos mes a mes y el total anual. El cual se muestra en la siguiente tabla.

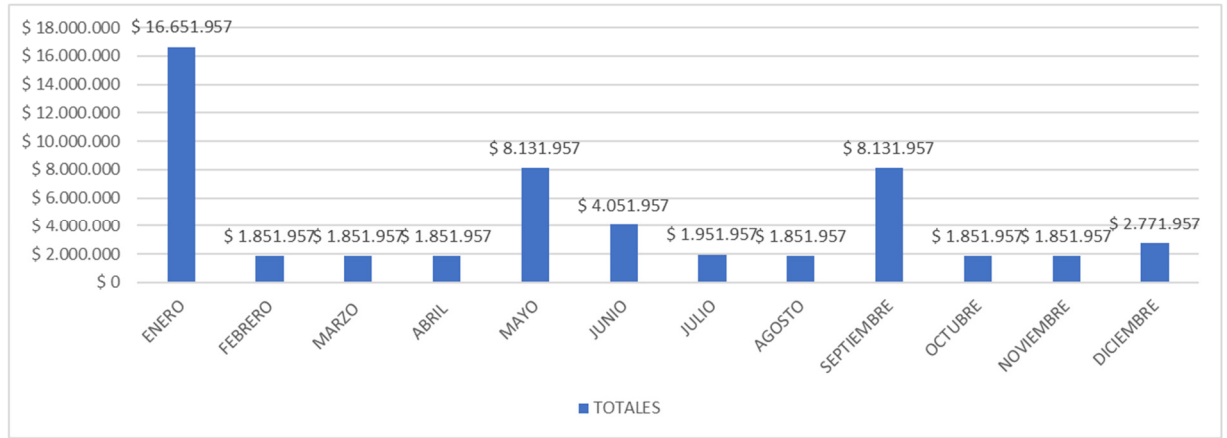
Tabla 27. Costos del mantenimiento anual.

COSTOS DEL MANTENIMIENTO ANUAL													
EQUIPO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL AÑO
CABINA	\$ 2.430.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 2.240.000	\$ 30.000	\$ 130.000	\$ 30.000	\$ 2.240.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 950.000	\$ 8.200.000
ELEVADORES	\$ 11.990.000	\$ 220.000	\$ 220.000	\$ 220.000	\$ 4.290.000	\$ 2.420.000	\$ 220.000	\$ 220.000	\$ 4.290.000	\$ 220.000	\$ 220.000	\$ 220.000	\$ 24.750.000
COMPRESOR	\$ 650.000	\$ 20.000	\$ 20.000	\$ 20.000	\$ 20.000	\$ 20.000	\$ 20.000	\$ 20.000	\$ 20.000	\$ 20.000	\$ 20.000	\$ 20.000	\$ 870.000
TECNICO EN MANTENIMIENTO	\$ 1.581.957	\$ 1.581.957	\$ 1.581.957	\$ 1.581.957	\$ 1.581.957	\$ 1.581.957	\$ 1.581.957	\$ 1.581.957	\$ 1.581.957	\$ 1.581.957	\$ 1.581.957	\$ 1.581.957	\$ 18.983.484
TOTALES	\$ 16.651.957	\$ 1.851.957	\$ 1.851.957	\$ 1.851.957	\$ 8.131.957	\$ 4.051.957	\$ 1.951.957	\$ 1.851.957	\$ 8.131.957	\$ 1.851.957	\$ 1.851.957	\$ 2.771.957	\$ 52.803.484

Fuente: Los autores con la información recolectada

Se muestra su comportamiento mediante la siguiente gráfica.

Figura 17. Gráfica de costo del mantenimiento anual.



Fuente: Los autores con la información recolectada

#### 9.4. COSTOS ACTUALES DEL MANTENIMIENTO ANUAL.

A pesar de que el taller no cuenta con un histórico del mantenimiento, el departamento de contabilidad conserva las facturas de mantenimientos correctivos y preventivos hechos durante los últimos 5 años.

Tabla 28. Facturación de mantenimiento últimos 5 años

FACTURACIÓN DE MANTENIMIENTO	
AÑO	TOTAL FACTURADO
2013	\$ 37.863.999
2014	\$ 33.560.823
2015	\$ 62.995.000
2016	\$ 55.563.298
2017	\$ 49.266.598

Fuente: Los autores con la información recolectada

Lo anterior permite visualizar la tendencia del mantenimiento que se viene desarrollando en el taller donde cada año se van reduciendo costos de manera arbitraria hasta llegar a la falla como la presentada en el 2015 donde varios equipos de soldadura y el compresor presentaron averías dejando fuera de servicio el 60% de las operaciones del taller generando así un duro golpe a la economía de la empresa.

Por lo que se espera que con el desarrollo del presente proyecto se logre estandarizar los costos de mantenimiento, haciendo una alta inversión en preventivos, pero mitigando de manera considerable los correctivos, fallas en el servicio, lucro cesante, mala calidad en la pintura y accidentes.

## 10. CONCLUSIONES.

Se realizó un diagnóstico del estado actual del mantenimiento en el taller y se pudo evidenciar que se basa en tareas correctivas que impactaban desfavorablemente las finanzas de la empresa y en la disponibilidad de equipos.

Se realizó un inventario de 84 activos entre equipos y herramientas los cuales fueron codificados y divididos por áreas donde se destacan 32 equipos del área de latonería, 24 equipos del área de pintura y 28 equipos del área de mecánica.

Se realizó el análisis de criticidad donde se encontraron 13 equipos críticos equivalentes al 15.5% de los equipos del taller.

Los factores que primaron para la identificación de los equipos críticos fueron el costo de la reparación y el impacto sobre la producción que afectan al compresor y la cabina de pintura. Por factor de seguridad surgieron los elevadores.

El análisis FMEA permitió identificar que dichos equipos cuentan con sistemas y subsistemas que los convierten en críticos y requieren un plan de mantenimiento preventivo.

Se realizó el diagrama de Ishikawa por cada falla que representó un mayor índice de prioridad de riesgo el cual permitió identificar la posible causa raíz de dichas fallas y dar una solución.

Se realizó un plan de mantenimiento preventivo para los equipos críticos basado en las condiciones de operación y con miras a mitigar las fallas detectadas enfocado en la causa raíz de las mismas.

Desarrollar el plan de mantenimiento tiene un costo anual de \$52.803.484 donde el mes de Enero es en el que se hace la mayor inversión, \$16.651.957, ya que es el mes de menor volumen de trabajo por las festividades decembrinas y es ideal para hacer el mantenimiento más grande.

Se diseñó un plan de mantenimiento basado de la metodología FMECA para el taller de servicio automotriz La Estrella, se realizó el proyecto siguiendo todos los pasos establecidos en la metodóloga.

## **11. RECOMENDACIONES.**

Implementar el plan de mantenimiento a pesar del alto costo del proyecto, el retorno de la inversión se verá reflejado en la disminución de las paradas, confiabilidad y seguridad de los equipos, disminución de reparaciones correctivas y satisfacción del cliente.

Contratar un personal técnico exclusivo para el mantenimiento de los equipos del taller encargado de la gestión y administración de las tareas de mantenimiento.

Aprovechando el personal técnico mecánico con que cuenta el taller, a futuro se podrá implementar un proyecto de TPM que vincule al personal operativo en las labores de mantenimiento.

En un plazo no mayor a dos años, según las experiencias adquiridas en el desarrollo de este proyecto, se puede llevar a cabo un plan de mantenimiento preventivo para equipos de criticidad media y así abarcar un número mayor de equipos bajo una metodología de mantenimiento.

## **BIBLIOGRAFIA.**

BORRAS PINILLA, Carlos Pinilla. Mantenimiento preventivo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

MERIÑO AMADOR Dairo; CARREÑO FIGUEROA Humberto. Modelo para el mejoramiento del programa de mantenimiento preventivo basado en un análisis de criticidad de los modos de fallo y su efecto (FMECA) del gasoducto Ballenas – Barrancabermeja. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. UIS. Bucaramanga 2011

MORA GUTIERREZ. Luis Alberto. Mantenimiento, planeación, ejecución y control. Alfaomega S.A. 2009


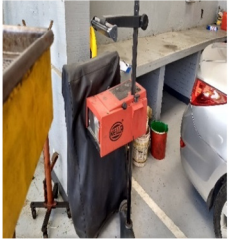




NTC-IEC60812. Sistema de Gestión. Técnicas de Análisis para Confiabilidad de Sistemas. Procedimientos para análisis de modo de falla y efectos (AMFE).








PHD. PARRA MÁRQUEZ Carlos & PhD. Crespo Márquez Adolfo Crespo Márquez. Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicadas en el proceso de Gestión de Activos

TERAN QUINTANILLA Sergio Hernando; RUSSI LAITÓN Edwin Jhoan. Diseño, implementación y sistematización de un sistema de mantenimiento preventivo basado en análisis de criticidad (CA) y análisis de modos de falla, efecto y su criticidad (FMECA) para la empresa metalmecánica industrias Theran. UIS. Bucaramanga 2016.

# Anexos


## Anexo A. Inventario de equipos.

ITEM	EQUIPO	MARCA	IMAGEN
1	ACEITADORA	NN	
2	ALINEADOR DE LUCES	HELLA	
3	ASPIRADOR DE LIJADO	LAGOS	
4	ASPIRADORA	RIDGID	
5	BALANCEADOR	SICAM	
6	BANCO DE COLORIMETRIA	CROMAX	

ITEM	EQUIPO	MARCA	IMAGEN
14	CARGADOR DE BATERIAS	SCHUMACHER	
15	COMPRESOR DE AIRE TIPO 1	KAESER	
16	COMPRESOR DE AIRE TIPO 2	INGERSOLL RAND	
17	COMPRESOR DE AIRE TIPO 3	BALDOR	
18	ELEVADOR DE DIAGNOSTICO	ROTARY	
19	ELEVADOR DE TIJERA	BENDPAK	
20	ELEVADOR KOREK	BLACKHAWK	

ITEM	EQUIPO	MARCA	IMAGEN
21	EQUIPO DE SOLDADURA DE PUNTOS	TECNA	
22	EQUIPO DE SOLDADURA MIC	CEBORA	
23	ESMERIL TIPO 1	NN	
24	ESMERIL TIPO 2	JET	
25	ESMERIL TIPO 3	DEWALT	
26	GATO DE GARAJE	MEGA	
27	GATO PARA FOSA	BLACKHAWK 72	

ITEM	EQUIPO	MARCA	IMAGEN
28	GRUA HIDRAULICA PARA MOTOR TIPO 1	TECNOINGENIERIA	
29	GRUA HIDRAULICA PARA MOTOR TIPO 2	TECNOINGENIERIA	
30	JUEGO DE COMPAS DE VARAS	BLACKHAWK	
31	LAMPARA INFRAROJA	INFRAQUICK	
32	LIJADORA ROTO-ORBITAL	DYNABRADE	
33	MARTILLO DE INERCIA - SACA TOCO TIPO 1	TECNOINGENIERIA	
34	MARTILLO DE INERCIA - SACA TOCO TIPO 2	TECNA	

ITEM	EQUIPO	MARCA	IMAGEN
35	MEDIDOR DE CHASIS	BLACKHAWK	
36	PISTOLA DE PINTURA	WALCOM	
37	PISTOLA NEUMATICA	INGERSOLL-RAND	
38	PLASMA - CORTADOR DE ALUMINIO	CEBORA	
39	POLICHADORA	MAKITA	
40	POLIPASTO	KITO 2T	
41	PRENSA MANUAL	RECORD	
42	PRENSA HIDRAULICA	TECNOINGENIERIA	

ITEM	EQUIPO	MARCA	IMAGEN
43	PULIDORA MANUAL	MAKITA	
44	RECICLADOR DE A/A	SPX ROBINAIR	
45	RECOLECTOR DE ACEITE	NN	
46	TALADRO MANUAL	MAKITA	
47	TALADRO PEDESTAL	JET	

**Anexo B. Análisis de criticidad.**

<b>CODIGO</b>	<b>CRITICIDAD</b>	<b>RANGO DE CRITICIDAD</b>
LAT-ET-01	31,8	> 20 ALTA
LAT-ED-01	31,8	
MEC-ET-01	30,03	
MEC-ET-02	30,03	
MEC-ET-03	30,03	
MEC-ET-04	30,03	
MEC-ET-05	30,03	
MEC-ET-06	30,03	
MEC-ET-07	30,03	
MEC-ET-08	30,03	
MEC-ET-09	30,03	
PIN-CB-01	27,5	
MEC-CA-01	26,6	
LAT-KO-01	14	
PIN-CA-01	12,02	
PIN-AL-01	12,01	
PIN-AL-02	12,01	
PIN-AL-03	12,01	
PIN-CL-01	10,01	
LAT-MC-01	8,03	< 10 BAJA
LAT-GG-01	8,01	
LAT-GG-02	8,01	
LAT-GG-03	8,01	
LAT-PP-01	7,5	
LAT-ST-01	6,6	

LAT-MI-01	6,6	
LAT-MI-02	6,6	
MEC-RA-01	6,01	
MEC-GH-01	6,005	
MEC-AL-01	6,005	
LAT-GH-01	6,005	
LAT-EK-01	4,9	
LAT-EK-02	4,9	
LAT-EK-03	4,9	
PIN-LI-01	4,6	
PIN-PO-01	4,3	
PIN-BP-01	4,3	

CODIGO	CRITICIDAD	RANGO DE CRITICIDAD
LAT-SM-01	4,3	< 10 BAJA
LAT-SM-02	4,3	
LAT-SM-03	4,3	
LAT-SP-01	4,3	
MEC-ES-01	4,01	
MEC-PN-01	4,01	
LAT-TP-01	4,01	
PIN-BA-01	4,005	
PIN-BA-02	4,005	
PIN-LR-01	4,005	
PIN-LR-02	4,005	
PIN-LR-03	4,005	
PIN-PP-01	4,005	
PIN-PP-02	4,005	
PIN-PP-03	4,005	
PIN-PP-04	4,005	
PIN-PP-05	4,005	
PIN-PP-06	4,005	
PIN-PP-07	4,005	
PIN-PP-08	4,005	
PIN-BC-01	4,005	
MEC-AS-01	4,005	
MEC-RC-01	4,005	
MEC-RC-02	4,005	
MEC-RC-03	4,005	
MEC-PH-01	4,005	
MEC-CF-01	4,005	
MEC-CF-02	4,005	
MEC-CF-03	4,005	
MEC-PM-01	4,005	
MEC-AC-01	4,005	

CODIGO	CRITICIDAD	RANGO DE CRITICIDAD
LAT-CA-01	4,005	< 10 BAJA
LAT-CB-01	4,005	
LAT-PM-01	4,005	
LAT-ES-01	4,005	
LAT-ES-02	4,005	
LAT-CV-01	4,005	
TAL-TM-01	4,005	
TAL-TM-02	4,005	
TAL-TM-03	4,005	
TAL-PM-01	4,005	
TAL-PM-02	4,005	
TAL-PM-03	4,005	

## Anexo C. Análisis FMECA.

ANÁLISIS FMECA										
EQUIPO	COMPRESOR DE AIRE									
MARCA	KAESER AIR TOWER 26									
AREA	MECÁNICA									
SUB SISTEMA	COMPONENTE	FUNCION	MODO DE FALLA	CAUSA DE LA FALLA	EFECTO DE LA FALLA	CONTROL A EFECTUAR	PROPABILIDAD DE OCURRENCIA "P"	GRAVEDAD DE FALLA "G"	INDICE DE PROBABILIDAD DE NO DETECCION "D"	INDICE PRIORIDAD DE RIESGO "IRP"
UNIDAD DE COMPRESION	Motor electrico 220V	Transmitir 2 HP de potencia al compresor	Bobinas quemadas o sulfatadas	Sobre voltaje	El motor no entrega la potencia suficiente para el compresor	Instalar reguladores o estabilizadores de voltaje	3	5	7	105
			Rodamientos frenados	Ausencia de lubricantes	Soldaduras en el rodamiento	Lubricar el rodamiento cada 250 Horas de operación	2	3	2	12
	Compresor tipo tornillo	Comprimir el aire a 260 psig.	Tornillo desgastado	Filtro de aire permite ingreso de material abrasivo	El compresor no entrega la presión ideal.	Inspección del filtro cada 250 horas y cambio por condición	3	8	3	72
			Rodamientos frenados	Lubricación deficiente	El compresor presenta alta temperatura	Monitoreo de temperaturas de los compresores	3	7	6	126
			Tuberías con escape	Tuberías rota	El compresor no se apaga por mantener poca presión en el tanque	Inspección visual y pruebas de entrega de presión	2	3	2	12
				Tubería sueltas en las uniones roscadas	El compresor no se apaga por mantener poca presión en el tanque	Inspección visual y pruebas de entrega de presión	2	3	2	12
	Enfriador de aceite	Mantener la temperatura del aceite de motor @ 41 °C	Enfriador Obstruido	Alta contaminación de polvo en el anfriador	Incremento en la temperatura del compresor	Lavado y/o limpieza según condición	4	3	1	12
			Enfriador roto	Ingreso de agente externo	Compresor queda sin aceite por lo que se puede frenar los	Instalacion de mallas de protección	1	6	2	12
	Filtro de admisión	No permitir ingreso de material abrasivo al compresor	Filtro obstruido	Ambiente de polución	Compresor presenta recalentamiento	Cambiar filtro por condición o según recomendación del fabricante	4	1	3	12
			Filtro roto	Mala manipulación del filtro.	Desgaste pretauro de las partes internas del compresor	Cambiar filtro por condición o según recomendación del fabricante	2	6	7	84
	Presoswitch	Encender y apagar el motor electrico del compresor basado en los rangos de 230 psig y 160 psig	Presoswitch descalibrado	Presoswitch con fallas electricas internas	Compresor no enciende y no apaga en sus rangos de calibración, consumo de energia innecesarios	Realizar pruebas de sensores cada 500 horas de operación según fabricante	1	3	4	12
	Bases del compresor	Soportar el compresor y absorber vibraciones	Bases agrietadas	Bases cristalizadas	Ruido y vibraciones en el compresor	Inspeccion visual de las bases	1	2	2	4
	Tornillería	Mantener unidas todas las piezas del compresor	Tronillo suelto o partidos	Altas vibraciones	Fracturas en partes internas del compresor	Inspección visual de tornillo y bases del compresor	2	7	5	70
	Correas y poleas	Transmitir los 60 HP del motor electrico al compresor	Correas partidas	Desalineamiento	Perdida de potencia transmitida	Inspección visual	2	2	1	4
			Correa suelta	Falta de tensión	Perdida de potencia transmitida	Medición de tensión manual	2	2	1	4
	Sensores	Enviar señales electricas al presoswitch	Sensor quemado	Pico de voltaje	Presoswitch no recibe señal, alto conumo de energia innecesaria	Verificación de presiones cada 500 horas de operación	1	4	4	16
Filtro de aceite	Mantener libre de impurezas el aceite del compresor	Filtro obstruido con particulas metalicas	Perdida de material de piezas internas	Desgaste pretauro de las partes internas del compresor	Cambio de aceite y filtro, medición de presiones del compresor	1	5	4	20	

ANALISIS FMECA										
EQUIPO	COMPRESOR DE AIRE									
MARCA	KAESER AIR TOWER 26									
AREA	MECÁNICA									
SUB SISTEMA	COMPONENTE	FUNCION	MODO DE FALLA	CAUSA DE LA FALLA	EFECTO DE LA FALLA	CONTROL A EFECTUAR	PROPABILIDAD DE OCURRENCIA "P"	GRAVEDAD DE FALLA "G"	INDICE DE PROBABILIDAD DE NO DETECCION "D"	INDICE PRIORIDAD DE RIESGO "IRP"
UNIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AIRE	Tanque de compresión	Almacenar el aire a 260 psig	Tanque roto	Grieta en el tanque	Perdida de aire por la fisura	Inspección visual del tanque, medición de presiones en caso de bajar la presión verificar	1	2	4	8
	Tanque deshumidificador	Mantener el aire que se deshumidifica	Filtro saturado	Exceso de aire humedo	Aire con exceso de agua hacia herramientas y pinturas	Cambio de filtros humedos según condición	5	6	2	60
	Valvulas de drenaje	Drenajes del agua condensada presente en los tanques	Valvula pegada	Oxiación dentro de las valvulas	No se logra drenar el agua en los tanques	Prueba de drenado antes de la operación del compresor	3	5	1	15
	Filtro secador	Secar el aire proveniente del compresor	Filtro saturado	Exceso de aire humedo	Aire con exceso de agua hacia herramientas y pinturas	Cambio de filtros humedos según condición	3	5	2	30
	Tuberías	Conducir el aire desde el compresor hacia los tanques.	Tuberí con fuga	Tuberías rota	El compresor no se apaga por mantener poca presión en el tanque	Inspección visual y pruebas de entrega de presión	2	3	2	12
				tubería sueltas en las uniones roscadas	El compresor no se apaga por mantener poca presión en el tanque	Inspección visual y pruebas de entrega de presión	2	3	2	12

ANALISIS FMECA										
EQUIPO	CABINA DE PINTURA									
MARCA	LAGOS									
AREA	PINTURA									
SUB SISTEMA	COMPONENTE	FUNCION	MODO DE FALLA	CAUSA DE LA FALLA	EFECTO DE LA FALLA	CONTROL A EFECTUAR	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA "P"	GRAVEDAD DE FALLA "G"	INDICE DE PROBABILIDAD DE NO DETECCION "D"	INDICE PRIORIDAD DE RIESGO "IRP"
SISTEMA ESTRUCTURAL	Paredes	Contener la pintura dentro de la cabina	Paredes deformadas o con agujeros	Golpes por operación	Se sale la pintura hacia el medio ambiente, daños ambientales	Inspección visual	1	2	2	4
		Con el color blanco ayuda a la iluminación de la cabina	Paredes pintadas	Pintura de pared durante proceso	Disminución de iluminación dentro de la cabina	Limpieza de pared cada 15 días o mensual	1	2	1	2
	Compuertas	Mantener la hermeticidad al interior de la cabina	Empaques desgastados	Calor, perdida de propiedades del material.	Disminución de la presión y temperatura al interior de la cabina	Cambio de empaques por condición.	2	2	1	4
		Permitir acceso y salida a la cabina	Cerradura atascada	Cerradura pegada por falta de lubricación	No se puede acceder a la cabina	Lubricar cerradura mensual	3	4	4	48
	Lamparas	Mantener la iluminación de la cabina de pintura	Lampara pintada por operación	Pintura de lampara durante proceso	Disminución de iluminación dentro de la cabina	Limpieza de lamparas cada 15 días o mensual	1	2	1	2
	Conductos	Conducir el aire de los ventiladores a través del circuito de aire de la cabina	Ductos sueltos	Por vibraciones en los ductos estos se sueltan	Perdida de flujo de aire, escape de pintura a través de las fugas	Inspección visual	2	2	4	16
UNIDAD DE VENTILACIÓN	Ventiladores	Elevar la presión de la cabina	Ventiladores sin potencia	Bajo poder electrico	No hay presión de aire en la cabina	Revisar los circuitos electricos	1	2	2	4
		Mantener un caudal de aire dentro de la cabina	Ventiladores sucios	Filtros rotos o tapados	No permite una circulación de aire ideal	Mantenimiento a los filtros	5	6	2	60
	Filtros	Mantener una atmosfera libre de contaminación dentro de la cabina	Filtro saturado	Ambiente con polución	Pintura con impureza mala calidad de trabajo terminado	Cambio de filtros por condición	3	5	4	60
	Valvulas de Mezcla de aire	Mantener un equilibrio 60% utilizado y 40% limpio	Valvulas atascadas	Polvo en los mecanismos de apertura y cierre	Pobre calidad en el producto terminado	Inspección visual	2	3	4	24
UNIDAD DE CALEFACCIÓN	Horno	Calentar el aire a la temperatura exigida por el fabricante de pintura	Quemadores obstruidos	Demasiado hollin en las boquillas	Mezcla de gas deficiente no genera calor y aumenta el consumo de combustible	Mantenimiento a las boquillas cada 6 meses o por condicion	2	5	6	60
	Sensores de temperatura	Enviar señales para control de temperatura del sistema	Sensor descalibrado	Problemas electricos en el sensor	Consumo inadecuado de combustible	Cambio del sensor	2	5	4	40

ANÁLISIS FMECA											
EQUIPO	ELEVADORES										
MARCA	BENDPAK										
AREA	MECÁNICA										
SUB SISTEMA	COMPONENTE	FUNCION	MODO DE FALLA	CAUSA DE LA FALLA	EFECTO DE LA FALLA	CONTROL A EFECTUAR	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA "P"	GRAVEDAD DE FALLA "G"	INDICE DE PROBABILIDAD DE NO DETECCION "D"	INDICE PRIORIDAD DE RIESGO "IRP"	
UNIDAD HIDRÁULICA	Motor eléctrico 220V	Transmitir 2 HP de potencia al compresor	Bobinas quemadas o sulfatadas	Sobre voltaje	El motor no entrega la potencia suficiente para el compresor	Instalar reguladores o estabilizadores de voltaje	2	3	4	24	
			Rodamientos frenados	Ausencia de lubricantes	Soldaduras en el rodamiento	Lubricar el rodamiento cada 250 Horas de operación	2	3	2	12	
	Bomba Hidráulica	Suministrar aceite a los cilindros para levantar una carga de 4082 KG. Con una presión de 3200 psig.	Desgaste en lobulos de impulso de aceite	Aceite contaminado	No genera la presión suficiente para elevar la carga	Cambio de aceite periodico y filtro de aceite	1	5	4	20	
											Cilindros hidráulicos
	Mangueras	Conducir aceite de la bomba a los cilindros	Manguera Rota	Manguera cristalizada	No sube el sistema, pérdida de aceite al medio ambiente	Cambiar mangueras por condición	2	3	2	12	
											Palancas
	Valvulas de retención	Mantener una presión equilibrada para evitar un descenso acelerado del vehiculo.	Fuga interna de la valvula por desgaste	Vida util cumplida	Vehiculo no desciende	Cambiar el componente por horas de operación según recomendación del fabricante	1	8	6	48	
											Valvulas de retención
	SISTEMA ESTRUCTURAL	Bases	Mantener en equilibrio la estructura del elevador	Suelo agrietado	Mal diseño de la base	Ruptura o caída del vehiculo y la estructura	Inspección visual de las bases	1	8	5	40
				Tornillos sueltos	Desajuste de los pernos	Deformación de la estructura	Inspeccion visual de los pernos	1	6	5	30
Columnas		Guiar los brazos en el proceso de elevado del vehiculo y sostener mínimo 4082 KG.	Estructura doblada	Desalineamiento de los brazos	Deformación de la estructura	Inspección visual de las columnas	1	3	2	6	
											Brazos
Brazos		Aplicar freno a la carga para evitar un descenso inesperado	Seguros doblados	Desgaste y deformación	Caída del vehiculo	Verificar antes de cada uso el estado de los seguros	2	10	4	80	

## Anexo D. Costo salario técnico de mantenimiento.

SALARIO MÍNIMO MENSUAL TECNICO DE MANTENIMIENTO			
CONCEPTO	PORCENTAJE	VALOR PARCIAL	ACUMULADO
Valor Mensual jornada ordinaria diurna		\$ 1.000.000	
Auxilio de Transporte		\$ 83.140	
<i>Salario base para liquidar algunas prestaciones</i>			\$ 1.083.140
<b>PRESTACIONES SOCIALES LEGALES DIRECTAS</b>			
Cesantías (mensual)	8,333%	\$ 90.258	
Interés a la cesantía (mensual)	1%	\$ 10.831	
Prima de servicios (mensual)	8,333%	\$ 90.258	
Dotación (mensual)	7%	\$ 75.820	
Vacaciones (mensual) *	4,165%	\$ 41.650	
<b>TOTAL PRESTACIONES SOCIALES LEGALES DIRECTAS</b>			\$ 308.817
<b>PRESTACIONES SOCIALES INDIRECTAS/PARAFISCALES</b>			
Cajas de Compensacion Familiar */ Subsidio Familiar	4%	\$ 40.000	
<b>TOTAL APORTES PARAFISCALES</b>			\$ 40.000
<b>Acumulado adicional</b>			\$ 348.817
<b>TRANSFERENCIAS</b>			
Fondo de Pensiones *	12%	\$ 120.000	
ARL Estimado *	3%	\$ 30.000	
<b>TOTAL TRANSFERENCIAS</b>			\$ 150.000
<b>Total Acumulado</b>			\$ 498.817
<b>COSTO TOTAL MANO DE OBRA JORNADA DIURNA</b>			\$ 1.581.957