

**MODELO DE ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS Y EFECTOS EN EL PUENTE  
GRÚA DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA**

**ALFREDO AMANCIO RIVAS GARCÍA  
RUFFO ALBERTO DÍAZ YÁÑEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

**2013**

**MODELO DE ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS Y EFECTOS EN EL PUENTE  
GRÚA DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA**

**ALFREDO AMANCIO RIVAS GARCÍA  
RUFFO ALBERTO DÍAZ YÁÑEZ**

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

**Director  
Juan Carlos Orrego  
Ingeniero Mecánico - Esp. Gerencia de Proyectos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

**2013**

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por permitirnos desarrollar con éxito este trabajo para nuestro grado.

A mi Madre por tu gran Amor y devoción que tienes a tus hijos, por haberme apoyado en todo momento, por sus tus consejos, valores y principios, por la motivación que inspiras con tu ejemplo de superación y perseverancias.

También le doy gracias a mis profesores, a mis asesores en este proyecto y especial a mi familia, la que siempre estuvo ahí acompañándome en este proceso. A Juan Carlos Orrego, nuestro asesor por su orientación y apoyo incondicional. Sé que celebras sinceramente este logro.

A la Universidad Industrial de Santander, por brindarme la oportunidad del conocimiento en las cátedras que resultan necesarias para la formación.

A Empresas Palmas del Cesar S.A., por habernos permitido realizar esta experiencia de aprendizaje y a los señores del área de mantenimiento por su colaboración.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	28
1. CAPÍTULO I	30
1.1 INTRODUCCIÓN	30
1.1.1 Generalidades	30
1.2 RESEÑA HISTÓRICA	30
1.3 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA EMPRESA	31
1.4 POLÍTICA DE CALIDAD	32
1.5 OBJETIVOS DE CALIDAD DE LA COMPAÑÍA	32
1.6 PROCESOS PRODUCTIVOS	34
1.6.1 Descripción	34
1.6.2 Tronco o estipe	35
1.6.3 Hojas	35
1.6.4 Inflorescencia	35
1.6.5 Fruto	35
1.6.6 Dura	35
1.6.7 Pinífera	35
1.6.8 Ténera	36
1.6.9 Origen y Localización	36
1.6.10 Composición Nutricional	36
1.6.11 Uso Agro Industrial	37
1.6.12 Usos Comestibles	37
1.6.13 El aceite de palma y su salud	38
1.6.14 La palma y el medio ambiente	39
1.7 POST – COSECHA	39
1.7.1 Recepción del fruto	39

1.7.2 Esterilización	39
1.7.3 Desfrutamiento	40
1.7.4 Digestión prensado	40
1.7.5 Clarificación	40
1.7.6 Secado	41
1.7.7 Almacenamiento	41
1.7.8 Deslodado	41
1.7.9 Desfibración y Trituración	41
1.7.10 Palmistería	41
1.8 TRANSFORMACIÓN	42
1.9 SUBPRODUCTOS SÓLIDOS.	43
2. MISIÓN	45
3. VISIÓN	46
4. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA COMPAÑÍA	47
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	48
6. OBJETIVOS	50
6.1 OBJETIVO GENERAL	50
6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	50
7. ILUSTRACIÓN DEL EQUIPO	51
8. CAPITULO II	54
8.1 MARCO TEÓRICO	54
8.1.1 Antecedentes	54
8.1.2 Conceptos y principios básicos	55

8.1.2.1 Mantenimiento	55
8.1.2.2 Mantenimiento preventivo	55
8.1.2.3 Mantenimiento predictivo	55
8.1.2.4 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)	55
8.1.2.5 Mantenimiento planificado (TPM)	56
8.1.2.6 Mantenimiento correctivo no planificado	56
8.1.2.7 Gestión del mantenimiento	56
8.1.3 Indicadores de Mantenimiento	58
9. ANÁLISIS DE CRITICIDAD	62
9.1 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)	63
9.1.1 4 Tipos de AMFE-	64
9.1.2 Aspectos generales del AMEF	64
9.1.2.1. Función del Activo	64
9.1.2.2 Funciones Primarias	65
9.1.2.3 Funciones Secundarias	65
9.1.2.4 Falla Funcional	65
9.1.2.5 Modos de falla	65
9.1.2.6 Efecto de la falla	65
9.1.2.7 Falla	65
9.1.2.8 Análisis de Fallas	66
9.1.3 Técnicas para Determinar las Fallas y Sus Causas	66
9.1.3.1 Tipos de Falla	66
9.1.4 Equipo	67
9.1.5 Sistema	67
9.1.6 Efectividad Operacional	67
9.1.7 Confiabilidad	68
9.1.8 Disponibilidad	68
9.1.9 Mantenibilidad	68
9.1.10 Horas Calendario	69

9.1.11 Horas disponibles	69
9.1.12 Horas de parada programada	69
9.1.13 Horas de demora	69
9.1.14 Horas efectivas	69
9.2 ALGUNOS PASOS PARA IMPLEMENTAR UN EFECTIVO AMFE	70
9.2.1 Proceso de Gestión del Mantenimiento Aplicando el análisis de Modos de Fallas y sus efectos y criticidad FMECA	72
9.2.2 Algunos Pasos Para Implementar Un Efectivo PMBC	72
9.2.2.1 Recopilar las especificaciones técnicas de los activos	72
9.2.2.2 Identificar los activos a incluir en el programa	73
9.2.3 Análisis de Criticidad	73
9.2.3.1 Determinar el modo y efecto de falla de los equipos seleccionados	73
9.2.4 Principio de Pareto	73
9.2.5 Análisis Causa-Efecto (Espina de pescado / Diagrama de ishikawa)	75
10. CAPÍTULO III	77
10.1 MARCO METODOLÓGICO	77
10.1.1 Nivel de Investigación del Proyecto	77
10.1.2 Diseño de Investigación del Proyecto	77
10.1.2.1 Población	78
10.1.2.2 Muestra	78
10.1.3 Técnicas Análisis del Proyecto	78
10.1.4 Técnicas de Recolección de Datos	79
10.1.4.1 Observación directa	79
10.1.4.2 Entrevistas	79
10.1.4.3 Técnicas de Análisis de Datos	79
10.2 DESARROLLO DEL TRABAJO	80
10.2.1 Revisión Bibliográfica	81
10.2.2 Diagnostico físico de los componentes de Puente Grúa	81

10.2.3	Inventario de los componentes del puente grúa, con sus características técnicas y operativas	81
10.2.4	Condiciones Operativas del Puente Grúa	82
10.2.5	Determinar cuál es el equipo más crítico, utilizando una matriz de criticidad	82
10.2.6	Clasificación de la Falla más constante halladas en el puente Grúa, por el Principio de Pareto	82
10.2.7	Determinación de las Causas de Fallas Y Modos de Fallas del Puente Grúa Aplicando el Software IRCM's	83
10.2.8	IRCM's Software	84
10.2.9	Hacer un análisis de las posibles causas de las paradas no programadas del equipo	91
10.2.10	Proponer un plan de mantenimiento que contrarreste las fallas	91
10.2.11	Obtener criterios objetivos que permitan identificar plenamente las fallas potenciales y ocultas del puente grúa	92
11.	CAPITULO IV	93
11.1	ANÁLISIS Y RESULTADOS	93
11.1.1	Diagnostico físico de los componentes de Puente Grúa	93
11.1.2	Inventario de los componentes del puente grúa, con sus características técnicas y operativas	95
11.2	DETERMINAR CUÁL ES EL EQUIPO MÁS CRÍTICO, UTILIZANDO UNA MATRIZ DE CRITICIDAD	96
11.3	CLASIFICACIÓN DE LA FALLA MÁS CONSTANTE HALLADAS EN EL PUENTE GRÚA, POR EL PRINCIPIO DE PARETO.	97
11.4	DETERMINACIÓN DE LAS CAUSAS DE FALLAS Y MODOS DE FALLAS DEL PUENTE GRÚA APLICANDO EL SOFTWARE IRCM'S	99
11.5	HACER UN ANÁLISIS DE LAS POSIBLES CAUSAS DE LAS PARADAS NO PROGRAMADAS DEL EQUIPO	113

11.6	PROPONER UN PLAN DE MANTENIMIENTO QUE CONTRARRESTE LAS FALLAS	115
11.7	RESULTADO ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO ANÁLISIS DE FALLAS, CONFIABILIDAD Y ESTADO ACTUAL DEL EQUIPO	122
11.8	ESTADO ACTUAL DEL DONDE SE ENCUENTRA EL PUENTE GRÚA	124
11.9	RESULTADO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PARA EL PUENTE GRÚA	125
11.10	OBTENER CRITERIOS OBJETIVOS QUE PERMITAN IDENTIFICAR PLENAMENTE LAS FALLAS POTENCIALES Y OCULTAS DEL PUENTE GRÚA	127
12.	CONCLUSIONES	134
13.	RECOMENDACIONES	135
	BIBLIOGRAFÍA	137
	ANEXOS	139

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Proceso Productivo Palma del Cesar	34
Figura 2. Proceso de Transformación	43
Figura 3. Subprocesos Sólidos	44
Figura 4. Ilustración gestión del mantenimiento	57
Figura 5. Esquema general Análisis de Criticidad	63
Figura 6. Tiempos para disponibilidad y efectividad operacional Causas fallas Operativas	70
Figura 7. Esquema de implementación para un Efectivo AMFE	71
Figura 8. Proceso de Gestión AMFE y RCM	72
Figura 9. Representación del esquema del Diagrama de Pareto	75
Figura 10. Representación del esquema del Diagrama causa-efecto	76
Figura 11. Representación del esquema del Diagrama de Pareto	83
Figura 12. Esquema general FMCA	83
Figura 13. Diagrama Causa Efecto	128

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Composición Nutricional de la Palma	36
Tabla 2. Esquema General Planteamiento Estrategia de mantenimiento	92
Tabla 5. Análisis de los modos de falla del Sistema de control Puente Grúa	100
Tabla 6. Análisis de los modos de falla del Puente Principal Puente Grúa	101
Tabla 7. Análisis de los modos de falla del Ruedas Puente Grúa	102
Tabla 8. Análisis de los modos de falla del Motor 25 hp Puente Grúa	103
Tabla 9. Análisis de los modos de falla de la Transmisión Puente Grúa	104
Tabla 10. Análisis de los modos de falla del polipasto Puente Grúa	105
Tabla 11. Análisis de los modos de falla del Motor 4hp Puente Grúa	106
Tabla 12. Análisis de los modos de falla de la unidad neumática Puente Grúa	107
Tabla 13. Análisis de los modos de falla del freno electromagnético	108
Tabla 14. Análisis de los modos de falla válvulas manuales Puente Grúa	109
Tabla 15. Análisis de los modos de falla motor de elevación Puente Grúa	110
Tabla 16. Análisis de los modos de falla de la transmisión Puente Grúa	111
Tabla 17. Análisis de los modos de falla de la Guaya Puente Grúa	112
Tabla 18. Dimensiones de diseño para un puente grúa	130

## LISTA DE IMAGENES

	<b>Pág.</b>
Imagen 1. Ubicación Geográfica de la Planta Palmas del Cesar	47
Imagen 2. Puente Grúa	51
Imagen 3. Puente Grúa	52

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>Pág.</b>
Grafica 1. Diagrama de Pareto de paradas no Programada de la planta	48
Grafica 2. Diagrama de Pareto Para equipo Crítico en la planta	96
Grafica 3. Clasificación de la Falla en el Puente grúa	97
Grafica 4. Diagrama de Pareto Para Identificar la falla más critica	98
Grafica 5. Causas fallas Eléctricas	113
Grafica 6. Causas fallas Mecánicas	114
Grafica 7. Causas fallas Operativas	115
Grafica 8. Causas fallas General	122
Grafica 9. Confiabilidad Puente Grúa	123
Grafica 10. Estado Actual del puente grúa	124
Grafica 11. Causas fallas Eléctricas	126
Grafica 12. Causas fallas Mecánicas	126
Grafica 13. Causas fallas Operativas	127

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Indicadores	139
Anexo B. Reporte de fallas	140

## RESUMEN

**TITULO:** MODELO DE ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS Y EFECTOS EN EL PUENTE GRÚA DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA.<sup>1</sup>

**AUTORES:** ALFREDO AMANCIO RIVAS GARCIA, RUFFO ALBERTO DIAZ YAÑEZ<sup>2</sup>

**PALABRAS CLAVES:** MANTENIMIENTO, CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD, PREDICTIVO, IRCM's, FMECA.

### DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:

Esta monografía desarrolla la implementación de un modelo de análisis de fallas y causas de las fallas, para así crear una gestión de mantenimiento con una aplicación más alta de mantenimiento predictivo y correctivo planeado, y así mantener los preventivos controlados.

También con este trabajo se busca determinar las causas de las fallas de puente grúa, las cuales fueron mala operación, manejo inapropiado de los componentes del puente grúa, ajuste y rutas de lubricación no estandarizadas, por lo cual después de identificar estas fallas se logra garantizar la productividad la eficiencia y la disponibilidad del equipo en todo momento de la operación para así obtener resultados financieros positivos en el mediano plazo.

Este modelo propone implementar estrategias modernas de mantenimiento, la cual con ayuda del software IRCM's de la metodología RCM(Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) nos ayuda a proponer tareas de mantenimiento tales como monitoreo por condición, análisis de fallas y causa raíz, medición por indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, involucrando los factores que impactan administrativamente la gestión del mantenimiento como son la administración de repuestos, gestión de operación de los equipos, recursos humanos, manejo de contratistas.

Los resultados arrojados por el modelo y la estrategia generaron un impacto positivo en los indicadores como disponibilidad, confiabilidad y costos, como también tiempo perdido de operación, disminución de fallas tanto mecánicas, eléctricas, lo que ayudo a mejorar los niveles de producción ya que este equipo es fundamental para el proceso de transformación de la palma de aceite.

---

\* Monografía.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director: Juan Carlos Orrego, Ingeniero Mecánico.

## ABSTRACT

**TITLE:** ANALYSIS MODEL OF FAILURE MODE AND EFFECTS ON THE BRIDGE CRANE IN AN EXTRACTION PLANT OF AFRICAN PALM OIL.<sup>3</sup>

**AUTHORS:** ALFREDO RIVAS, RUFFO DIAZ<sup>4</sup>

**KEYWORDS:** MAINTENANCE, RELIABILITY, MAINTAINABILITY, PREDICTIVE, IRCM's, FMECA.

### **SUBJECT OR DESCRIPTION:**

This paper develops the implementation of an analysis model of failures and causes of the failures, this to create a maintenance management with a higher application of predictive and corrective planned maintenance, so the preventives could be controlled.

This work also attempts to determine the causes of crane bridge failures, in which cases happened due improper operation, improper handling of crane bridge components, non-standardized adjustment and lubrication routes, so after identifying these failures it is possible to guarantee the productivity, efficiency and availability of equipment at all times of operation and obtain positive financial results in the medium term.

This model proposes to implement modern maintenance strategies, Strategies altogether with IRMC's software of RCM's methodology ( Reliability Centered Maintenance ) helps us to propose maintenance activities such as monitoring per condition, failures analysis and root causes measurement per reliability indicators, maintainability and availability, involving factors impacting administratively maintenance management such as spare parts management, equipment operation management, human resources , contractors management .

The results thrown for the model and the strategy, generated a positive impact on indicators such as availability, reliability and costs as well as in operating downtime, decreased both mechanical and electrical failures, which helped to improve production given that this equipment is fundamental in the transforming process of palm oil.

---

<sup>3</sup> Monografía

<sup>4</sup> Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director: Juan Carlos Orrego, Ingeniero Mecánico.

## GLOSARIO

**ANÁLISIS DE FALLAS:** El análisis de falla es un examen sistemático de la pieza dañada para determinar la causa raíz de la falla y usar esta información para mejorar la confiabilidad del producto.

El análisis de falla está diseñado para:

- a) Identificar los modos de falla (la forma de fallar del producto o pieza)
- b) Identificar el mecanismo de falla (el fenómeno físico involucrado en la falla)
- c) Determinar la causa raíz (el diseño, defecto, o cargas que llevaron a la falla)
- d) Recomendar métodos de prevención de la falla.

**ACEITE:** La base fluida, usualmente un producto refinado del petróleo o material sintético, en el que los aditivos son mezclados para producir lubricantes terminados.

**ACEITE MINERAL:** Aceite derivado del petróleo o de una fuente mineral, a diferencia de algunos aceites que tienen origen en plantas y animales.

**ACEITE MONOGRADO:** Aceites cuyos índices de viscosidad varían considerablemente en función de la temperatura. Estos aceites deben ser cambiados si las condiciones de temperatura presentan variaciones importantes.

**ACEITE MULTIGRADO:** Aceites que mantienen su índice de viscosidad aunque se produzcan grandes variaciones en su temperatura de funcionamiento.

**ACERO:** Metal formado a base de hierro y aleado con carbono en una proporción entre el 0,03% y el 2%. El acero dulce se caracteriza por ser muy maleable (con gran capacidad de deformación) y tener una concentración de carbono inferior al

0,2%. Por encima de esta proporción de carbono, el acero se vuelve más duro, pero más frágil.

**ACERO INOXIDABLE:** Acero que presenta una gran resistencia a la acción de la oxidación, característica que se consigue aleándolo con el cromo y el níquel.

**ADITIVOS:** Elementos naturales o químicos que se añaden a un producto para añadir o potenciar alguna de sus características. Se utilizan en los lubricantes, combustibles, líquidos refrigerantes, etc.

**ALEACIÓN:** Sustancia con propiedades metálicas compuesta por dos o más elementos químicos de los cuales al menos uno es un metal.

**ALTERNADOR:** Dispositivo accionado por un motor que convierte la energía mecánica en corriente eléctrica alterna. El alternador suministra energía para hacer funcionar todos los componentes eléctricos del vehículo cuando el motor está funcionando, y para la carga del acumulador o batería.

**AMORTIGUADOR:** Sistema que absorbe la energía cinética del vehículo cuando se produce un desplazamiento vertical de las ruedas. Para realizar su función utilizan la resistencia que ofrece el aceite al pasar por pequeños conductos. Los amortiguadores trabajan junto a los resortes (muelles, ballestas, barras de torsión) y evitan sus oscilaciones que generan durante su proceso de deformación y recuperación.

**ANTIOXIDANTES:** Productos que prolongan el periodo de inducción del aceite básico en la presencia de condiciones oxidantes y metales catalizadores a elevadas temperaturas, evitando o retardando la oxidación de los elementos lubricados

**BUJE:** Cojinete de suspensión que acomoda el movimiento giratorio limitado y que está generalmente compuesto por dos tubos de acero coaxiales unidos por un manguito de goma.

**CARRERA:** La distancia máxima recorrida por un pistón entre el centro estático inferior y el centro estático superior. Cuanto mayor sea la carrera, mayor será el desplazamiento.

**CHUMACERA:** Un tipo de cojinete deslizante teniendo movimiento ya sea oscilatorio o rotatorio en conjunto con el muñón con el que opera.

**CILINDRADA:** La cilindrada del motor es la medida del volumen total cilíndrico a través del cual los pistones de un motor se mueven de un extremo de la carrera al otro, multiplicado por el nº de cilindros.

**CORONA:** Engrane, elemento del diferencial que recibe el movimiento del piñón de ataque y lo transmite a la caja de satélites.

**CORROSIÓN:** Ataque químico y electroquímico gradual sobre un metal producido por la atmósfera, la humedad y otros agentes.

**DEGASIFICADO:** Remoción de aire de un líquido, generalmente por métodos de vacío o ultrasonido.

**DENSIDAD:** Es la relación entre el peso de un elemento y el volumen que ocupa.

**DESGASTE:** La pérdida de material de la superficie como resultado de una acción mecánica.

**EMBRAGUE:** Sistema que permite controlar el acoplamiento mecánico entre el motor y la caja de cambios. El embrague permite que se puedan insertar las diferentes marchas o interrumpir la transmisión entre el motor y las ruedas.

**FILTRACIÓN:** El proceso físico o mecánico de separar materiales insolubles de un fluido, tal como aire o líquido, mediante la circulación del fluido a través de una media filtrante que no permite a las partículas pasar por ella.

**FILTRO:** Un dispositivo o sustancia porosa usada como un colador para la limpieza de fluidos mediante la remoción de material en suspensión.

**GRASA:** Un lubricante compuesto de un aceite o aceites, espesados con un jabón, jabones u otros espesantes a una consistencia sólida o semisólida.

**JUEGO:** Espacio que necesitan para su correcto funcionamiento elementos de sistemas mecánicos que trabajan entre sí. El juego debe dejarse en elementos que aumentan su volumen, - dilatación -, al estar sometidos a determinadas condiciones de trabajo.

**JUNTA:** Componente que hace estanca la unión entre dos piezas evitando el escape, goteo o caída, del líquido o gas contenido en su interior.

**LUBRICANTE:** Cualquier sustancia que se interpone entre dos superficies en movimiento relativo con el propósito de reducir la fricción y el desgaste entre ellas.

**LUBRICAR:** Acción de reducir el rozamiento entre dos superficies con movimiento relativo al interponer entre ellas una sustancia lubricante.

**MANTENIMIENTO:** Tareas necesarias para que un equipo sea conservado o restaurado de manera que pueda permanecer de acuerdo con una condición especificada.

**MANTENIMIENTO CORRECTIVO:** Tareas de reparación de equipos o componentes averiados.

**MANTENIMIENTO PREDICTIVO:** Tareas de seguimiento del estado y desgaste de una o más piezas o componente de equipos prioritarios a través de análisis de síntomas, o análisis por evaluación estadística, que determinen el punto exacto de su sustitución.

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO:** Tareas de inspección, control y conservación de un equipo/componente con la finalidad de prevenir, detectar o corregir defectos, tratando de evitar averías en el mismo.

**MANTENIMIENTO SELECTIVO:** Servicios de cambio de una o más piezas o componentes de equipos prioritarios, de acuerdo con recomendaciones de fabricantes o entidades de investigación.

**NEUMÁTICA:** Ciencia de la ingeniería perteneciente a la presión de los gases y su flujo.

**OXIDACIÓN:** Degeneración por el ataque del oxígeno a un material o lubricante. El proceso es acelerado por calor, luz, catalizadores metálicos y la presencia de agua, ácidos o contaminantes sólidos.

**PUENTE GRÚA:** Un puente-grúa, es un tipo de grúa que se utiliza en fábricas e industrias, para izar y desplazar cargas pesadas, permitiendo que se puedan movilizar piezas de gran porte en forma horizontal y vertical. Un puente-grúa se

compone de un par de rieles paralelos ubicados a gran altura sobre los laterales del edificio con un puente metálico (viga) desplazable que cubre el espacio entre ellas. El guinche, el dispositivo de izaje de la grúa, se desplaza junto con el puente sobre el cual se encuentra; el guinche a su vez se encuentra alojado sobre otro riel que le permite moverse para ubicarse en posiciones entre los dos rieles principales.

**POTENCIA:** Cantidad de trabajo realizada en una unidad de tiempo. La potencia de un motor se mide en caballos de vapor (CV) o en kilovatios (KW) en el sistema internacional.

**PREVENCIÓN:** El conjunto de actividades o medidas adoptadas o previstas en todas las fases de actividad de la empresa con el fin de evitar o disminuir los riesgos derivados del trabajo.

**PIÑÓN:** El más pequeño de dos engranes en contacto. Puede ser el impulsor o el impulsado.

**REDUCTOR:** Un conector que tiene un tamaño menor de línea en un lado que en el otro.

**RESORTE:** Elemento elástico, muelle para automatismos mecánicos.

**RELACIÓN DE COMPRESIÓN:** En un motor de combustión interna, la relación del volumen del espacio de combustión entre el punto con el pistón en su punto más bajo en relación con el espacio con el pistón en su punto más bajo.

**RODAMIENTO:** Elemento antifricción que contiene elementos rodantes en la forma de bolas o rodillos, Un soporte o guía en la que una flecha o eje es posicionado, con respecto a las otras partes de un mecanismo.

**ROZAMIENTO:** Es la fuerza que aparece entre dos superficies con movimiento relativo entre ellas. Está en función del coeficiente de rozamiento, de la superficie en contacto y de la fuerza que presiona ambas superficies entre ellas.

**TERMOPEGADO:** Unión entre tubos y racores con pegamento y posterior horneado.

**VÁLVULA:** Un dispositivo que controla la dirección del fluido o la tasa de flujo.

**VISCOSIDAD:** Medida de la resistencia de un líquido a fluir. La medida común métrica de la viscosidad absoluta es el Poise, que es definido como la fuerza necesaria para mover un centímetro cuadrado de área sobre una superficie paralela a la velocidad de 1 cm. por segundo, con las superficies separadas por una película lubricante de 1 cm. de espesor. Otros métodos para la determinación de la viscosidad, son: viscosidad Saybolt, Furol, Engler y Redwood.

**ZAPATAS:** Piezas formadas por un soporte, que se acopla a la leva de un freno, y un compuesto especial que fricciona con el elemento a frenar.

## INTRODUCCIÓN

El Mantenimiento es un proceso mediante el cual se asegura que un activo (equipo) continúe desempeñando las funciones deseadas con la finalidad de tener un mayor tiempo de vida para el beneficio del propietario; debido a esta definición corta, el mantenimiento se ha visto en la necesidad de continuos cambios, desde su aparición en el escenario industrial. En los años 40, surge lo que es llamado la primera generación del mantenimiento en la industria, cuya única técnica empleada era la reparación posterior a la falla (mantenimiento correctivo). A partir de la década del 50, nace una segunda generación, enfocada en aumentar la disponibilidad y aprovechar al máximo, la vida útil de los activos físicos, todo esto al más bajo costo posible. Para lograrlo, se desarrollaron actividades de mantenimiento preventivo, sistemas de planificación y control.

Esta evolución continuó avanzando progresivamente, dando origen a una tercera generación, que surge a partir de los años 80, cuyos esfuerzos están dirigidos a mejorar la calidad de los productos, aumentar la confiabilidad y efectividad de los activos físicos, mejorar la seguridad y cuidar el ambiente, es decir, hacer el proceso productivo más eficiente, empleando técnicas y procedimientos como, estudios de riesgos, análisis de confiabilidad, disponibilidad, efectividad y mantenimiento basado en condición, análisis de modos de fallas y efectos de falla FMECA, que permitieran alcanzar las metas propuestas. A todo esto, se han ido añadiendo nuevas tendencias y filosofías de mantenimiento, de tal forma que actualmente podemos hablar de una cuarta generación. El nuevo enfoque se centra en técnicas proactivas a fin de encontrar la causa raíz del fallo, para minimizar su ocurrencia.

El análisis de modos de fallas y efectos de falla es una metodología sistemática que permite identificar los problemas antes que estos ocurran y puedan afectar o

impactar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado. Con la realización del AMEF, se obtiene la información necesaria para poder prevenir las consecuencias o efectos de las posibles fallas, a partir de la selección adecuada de actividades de mantenimiento, las cuales actuarán sobre cada modo de falla y sus posibles consecuencias.

La gerencia de mantenimiento de la planta PALMAS DEL CESAR S.A., se ha propuesto implementar un programa de mantenimiento, en sus equipos críticos, con el propósito de lograr una disminución en los costos de mantenimiento, reducción de fallas inesperadas, disminuir el inventario de repuestos así como las actividades de mantenimiento preventivo rutinario, incrementar el tiempo entre falla, y por ende la efectividad de los activos rotativos. El trabajo de grado que se presenta a continuación, consta de cuatro capítulos, los cuales se refieren a continuación.

En el capítulo I, se mencionan algunos aspectos generales de la empresa, se describe el problema por el cual atraviesa y en función a este, se establece el objetivo general que se persigue, junto a los objetivos específicos. En el capítulo II se presentan los antecedentes de este trabajo así como conceptos y principios básicos que permiten una mejor comprensión del tema. El capítulo III constituye la metodología a seguir para alcanzar los objetivos propuestos. En el capítulo IV se desarrolla el trabajo y se muestran los resultados obtenidos. Por último, se generan las conclusiones y recomendaciones del trabajo propuesto.

## 1. CAPÍTULO I

### 1.1 INTRODUCCIÓN

**1.1.1 Generalidades.** El presente capítulo advertirá las generalidades y conceptos relacionados con el proyecto de los modos de fallas y efectos de fallas en el Puente Grúa utilizado en el proceso de elaboración de Aceite de Palma en la empresa Palmas del Cesar S.A. Se hará una breve reseña histórica de la empresa; se abordará el planteamiento del problema y finalidad del estudio; y los objetivos trazados para alcanzar la solución del mismo.

### 1.2 RESEÑA HISTÓRICA

PALMAS DEL CESAR S.A. nació como una empresa en el año de 1960 su creación fue el producto del sentido visionario de empresarios santandereanos que creyeron en la palma africana como un cultivo promisorio con capacidad de generar progreso y desarrollo en la región.

Conocida anteriormente como Hipilandia, la plantación comenzó con 500 hectáreas, fue a su vez, una de las primeras siembras comerciales de palma africana en el país, por lo cual la empresa es pionera en esta importante actividad agrícola.

El apoyo de entidades gubernamentales sumado al empuje y tesón de sus fundadores, permitieron vencer las enormes limitaciones tecnológicas y de infraestructura existentes en esa época

Hacia mediados de la década del 70, comenzó una nueva etapa en la empresa, que la llevo a triplicar sus siembras hasta 1500 hectáreas, mejorar sus instalaciones y reorganizarse administrativamente.

Palmas del Cesar es una sociedad anónima, en la cual la Junta Directiva traza las directrices que rigen los destinos de la empresa interpretando el mandato de sus accionistas.

Esta organización ha creado las condiciones para adaptarse a los cambios y a los nuevos desarrollos gracias a una filosofía administrativa adecuada a las exigencias que se imponen en el moderno mundo empresarial. Directivos, asesores, ingenieros, tecnólogos en diferentes especialidades, personal calificado y trabajador de campo, planta extractora y servicios generales conforman una gran familia que día a día enfrenta el desafío de un mejor mañana, sembrando el presente con su fuerza laboral y su compromiso indeclinable de cumplir cabalmente con las responsabilidades.

Palmas del Cesar S.A. se encuentra comprometida en mejorar continuamente la competitividad, basada en el talento de su personal y en la calidad de los procesos que desarrolla.

### **1.3 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA EMPRESA**

La filosofía Empresarial de Palmas del Cesar S.A. está basada en los siguientes principios:

- ✓ **Desarrollo del Talento Humano:** Propiciamos espacios para el aprendizaje y entretenimiento con el propósito de formar personas con alta capacidad de adaptación al cambio, facilitando así su desarrollo integral.

- ✓ **Trabajo en Equipo:** Estimulamos el trabajo en equipo como una estrategia para mejorar y mantener una cultura organizacional orientada hacia la búsqueda permanente de objetivos comunes.
- ✓ **Conservación del Medio Ambiente:** Promovemos y desarrollamos políticas orientadas a la protección y preservación del medio ambiente con énfasis en el respeto por la naturaleza.
- ✓ **Mejoramiento de la Competitividad:** Concentramos nuestros esfuerzos en alcanzar niveles óptimos de productividad y calidad en todas las actividades que ejecutamos.

#### **1.4 POLÍTICA DE CALIDAD**

“Nuestra organización asume la Calidad como la conjugación de esfuerzos y recursos tendientes a optimizar el sistema de gestión de la calidad y los procesos de producción de racimos de fruta fresca, extracción de aceite crudo de palma, de Palmiste y asistencia técnica a proveedores de racimos de fruta fresca, dirigidos a satisfacer los requisitos de nuestros clientes y los compromisos de servicios con los proveedores de racimos de fruta fresca, así como al cumplimiento de las disposiciones legales y reglamentarias generando beneficios para su entorno”.<sup>5</sup>

#### **1.5 OBJETIVOS DE CALIDAD DE LA COMPAÑÍA**

- a) Lograr las siguientes especificaciones técnicas en los racimos de fruta fresca producidos por Palmas del Cesar y sus proveedores entregados en la Planta de Beneficio:
  - ✓ Porcentaje de racimos verdes inferior al 1,0%. Para cultivos mayores de cuatro años, se considera como racimo verde, todo aquel que haya desprendido en

---

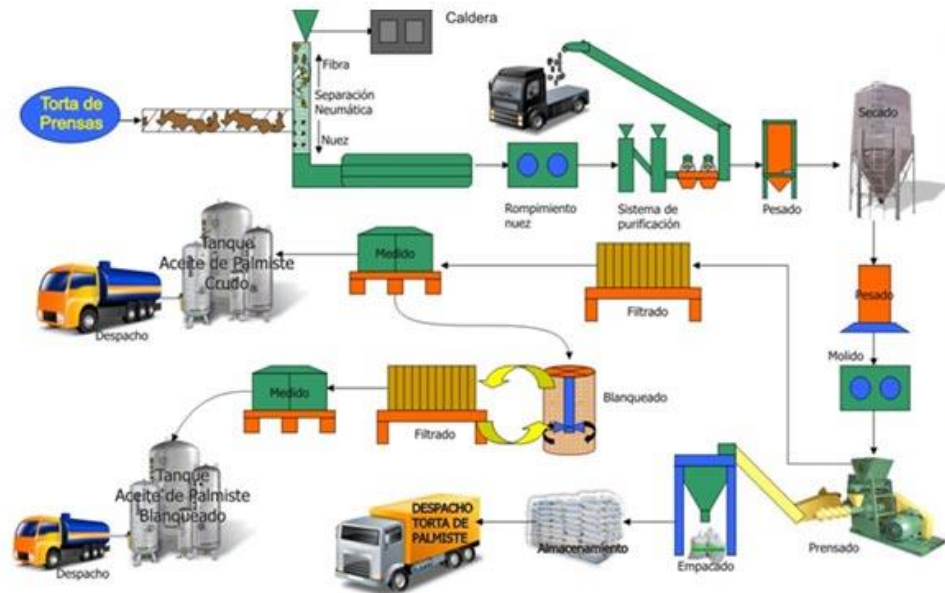
<sup>5</sup> Política de calidad de la empresa palmas del cesar.

forma espontánea menos de tres (3) frutos de su parte media o basal. Para cultivos menores de cuatro años, se considera como racimo verde, todo aquel que no haya desprendido frutos en forma espontánea.

- ✓ Porcentaje de racimos sobremaduros inferior al 5%. Se considera como racimo sobremaduro todo aquel que ha desprendido más del 50% de los frutos existentes.
  - ✓ Porcentaje de racimos con pedúnculo largo inferior al 3%.
  - ✓ Porcentaje de Impurezas en el fruto suelto inferior al 2%.
- b) Lograr el cumplimiento de los presupuestos de producción de RFF.
- c) Despachar aceites que cumplan los parámetros de calidad (Acidez, humedad, impurezas) exigidos por nuestros Clientes.
- d) Asegurar al cliente el cumplimiento de las ventas anunciadas.
- e) Asegurar la satisfacción de los clientes mediante el cumplimiento de sus necesidades y expectativas.
- f) asegurar el mantenimiento y mejora del SGC, mediante la revisión periódica del mismo, la eliminación de las causas de las no conformidades y la implementación efectiva de oportunidades de mejora.
- g) Brindar asistencia técnica en la producción de fruta a los proveedores de RFF generando confianza, lealtad y satisfacción de sus necesidades.

## 1.6 PROCESOS PRODUCTIVOS

Figura 1. Proceso Productivo Palma del Cesar



Fuente: Grupo Dávila & Dávila

**1.6.1 Descripción.** La palma de aceite es una planta tropical propia de climas cálidos, se desarrolla hasta los 500 metros sobre el nivel del mar. Dentro de los cultivos de semillas oleaginosas es el que produce mayor cantidad de aceite por hectárea.

La palma de aceite es una monocotiledónea. Su cultivo tarda, entre 2 y 3 años para empezar a producir frutos y puede hacerlo durante 25 años o más. La palma se clasifica en variedades que se caracterizan principalmente por la forma, el color, la composición del fruto, y la forma de la hoja.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> <http://web.fedepalma.org/>

Las raíces se originan del bulbo radical de la base del tronco. En su mayor parte son horizontales. Se concentran en los primeros 50 m del suelo. Sólo las raíces de anclaje se profundizan.

**1.6.2 Tronco o estipe.** Con un solo punto terminal de crecimiento con hojas jóvenes, denominado palmito. Puede alcanzar hasta 30 m de longitud.

**1.6.3 Hojas.** Hojas de 5 a 7 m de longitud, con 200 a 300 folíolos en dos planos diferentes. El pecíolo es de aproximadamente 1,5 m de largo y se ensancha en la base. La cara superior es plana y la inferior redondeada. Sus bordes son espinosos, con fibras. Las hojas permanecen adheridas al tronco por 12 años o más.

**1.6.4 Inflorescencia.** Produce flores de ambos sexos. La inflorescencia es un espádice formada por un pedúnculo y un raquis central ramificado. Antes de la abertura, la flor está cubierta por dos espatas.

**1.6.5 Fruto.** Drupa ovoide, de 3 a 5 cm de largo. Los estigmas persisten en su extremo, en forma de tres pequeños apéndices arqueados. Las partes del fruto son: estigma, exocarpo, mesocarpo o pulpa, endocarpo o cuesco, endospermo o almendra y embrión.

Es difícil diferenciar formas definidas en la palma de aceite. Sin embargo, se distinguen las siguientes variedades:

**1.6.6 Dura.** Su fruto tiene un endocarpo de más de 2 mm de espesor. El mesocarpo o pulpa contiene fibras dispersas, y es generalmente delgado.

**1.6.7 Pinífera.** No tiene endocarpo. La almendra es desnuda. El mesocarpo no contiene fibras y ocupa gran porción del fruto. Esta variedad produce pocos frutos

en el racimo. Por eso se emplea sólo para mejorar la variedad dura, mediante cruces con otras variedades.

**1.6.8 Ténera.** Es el híbrido del cruce entre Dura y Pisífera. Tiene un endocarpo delgado de menos de 2 mm de espesor. En el mesocarpo se encuentra un anillo con fibras.

**1.6.9 Origen y Localización.** Es originaria del Golfo de Guinea (África occidental), de ahí su nombre científico, *Elaeisguineensis* Jacq, y su denominación popular: palma africana de aceite, se cultiva hasta 15° de latitud norte o sur. Su introducción en América tropical se atribuye a los colonizadores y comerciantes portugueses, que la usaban como parte de la dieta alimentaria de los esclavos en el Brasil.

La producción mundial de aceite de palma se calcula en más de 3.000 millones de toneladas métricas. Los principales países productores son: Malasia, Nigeria, Indonesia, Zaire, Costa de Marfil, y otros países africanos y sudamericanos.

**1.6.10 Composición Nutricional.** Los datos de la composición nutricional del aceite de palma deben interpretarse por 100 g de la porción comestible.

Tabla 1. Composición Nutricional de la Palma

COMPUESTO	CANTIDAD
Calorías	884 Kcal
Agua	0.00 g
Proteína	0.00 g
Grasa	100.00 g
Cenizas	0.00 g

COMPUESTO	CANTIDAD
Carbohidratos	0.00 g
Fibra	0.0 g
Calcio	0 mg
Hierro	0.01 mg
Fósforo	0 mg
Vitamina E	15.94 mg

Fuente: Fedepalma

**1.6.11 Uso Agro Industrial.** La palma de aceite genera una gran variedad de productos, los cuales se utilizan en la alimentación y la industria. Tanto el aceite de pulpa como el de almendra se emplean para producir margarina, manteca, aceite de mesa y de cocina y también jabones. El aceite de pulpa se usa en la fabricación de acero inoxidable, concentrados minerales, aditivos para lubricantes, crema para zapatos, tinta de imprenta, velas, entre otros. Se usa también en la industria textil y de cuero, en la laminación de acero y aluminio, y en la producción de ácidos grasos y vitamina A.

Del fruto de la palma se extrae el aceite crudo y la nuez o almendra mediante procesos mecánicos y térmicos. Estos productos se incorporan luego a otros procesos para su fraccionamiento o la obtención de otros productos finales.

El aceite de palma es una materia prima que se utiliza en la fabricación de jabones y detergentes, grasas lubricantes y secadores metálicos, destinados a la producción de pintura, barnices y tintas.

**1.6.12 Usos Comestibles.** Actualmente, el aceite de palma es el segundo aceite más consumido en el mundo, se emplea como aceite de cocina, para elaborar productos de panadería, pastelería, confitería, heladería, sopas instantáneas, salsas, diversos platos congelados, deshidratados y cremas no lácteas para

mezclar con el café. El contenido de sólidos grasos del aceite de palma le da a algunos productos como margarinas de consistencia sólida /semisólida que no tienen necesidad de hidrogenación.

**1.6.13 El aceite de palma y su salud.** Las características del ácido palmítico (compuesto del aceite de palma) reducen el colesterol total y las lipoproteínas de baja densidad. En ratas de laboratorio se comprobó que disminuyen la incidencia de tumores cancerígenos.

El aceite de palma contiene una relación 1:1 entre ácidos grasos saturados e insaturados, además contiene antioxidantes naturales como los tocoferoles. Se han realizado múltiples estudios sobre los efectos del consumo de aceite de palma en la salud humana, principalmente relacionados con el perfil lipídico, la trombosis arterial y el cáncer.

De estos estudios se determinó que el aceite de palma:

- Tiene una alta concentración de grasa no monosaturada, en forma de ácido Oléico.
- Las dietas ricas en ácidos grasos no monosaturados que ayudan a reducir el colesterol, disminuyendo uno de los principales factores de riesgo en enfermedades coronarias.
- El ácido graso palmítico en comparación con otros ácidos grasos saturados no es hipercolesterolémico.
- El consumo de aceite de palma eleva el colesterol "bueno" (HDL) y disminuye el colesterol "malo" (LDL).
- Es fuente natural de vitamina E, de tocoferoles y tocotrienoles. Estos últimos actúan como protectores contra el envejecimiento de las células, la arteriosclerosis y el cáncer.

- Sin refinar, el aceite de palma es fuente muy rica de beta-caroteno (Vitamina A).

**1.6.14 La palma y el medio ambiente.** Todas las partes de la palma se utilizan, por lo tanto no hay desperdicios que contaminen. Para evitar el uso de plaguicidas químicos, se han implementado diversas técnicas de control biológico. Dentro de los cultivos de semillas oleaginosas, la palma de aceite es la más eficiente en la conversión de energía. Además, los cultivos de palma de aceite son bosques protectores de los ecosistemas.

## **1.7 POST – COSECHA**

**1.7.1 Recepción del fruto.** Los racimos que llegan a las instalaciones de la planta de beneficio son pesados y según los criterios de la empresa se establece el tipo de control para evaluar la calidad del fruto. Los racimos generalmente se descargan en una plataforma de recibo y, mediante un sistema de tolvas se alimentan las vagonetas. Una vez cargadas, estas se trasladan por medio de rieles a la zona de esterilización. En lo posible se deben mejorar los controles para eliminar las impurezas (arena, piedra) porque causan desgaste y daños en los equipos de extracción de aceite.

**1.7.2 Esterilización.** La esterilización se realiza en autoclaves de diferente capacidad por medio de vapor de agua saturada a presiones relativamente bajas, durante más o menos 90 minutos, aumentando y disminuyendo la presión. Este proceso acelera el ablandamiento de la unión de los frutos, lo cual facilita la separación, la extracción del aceite y el desprendimiento de la almendra. Mediante este proceso de esterilización se inactiva la enzima lipasa para controlar los ácidos grasos libres. Así como las autoclaves disponen de líneas de entrada de vapor también los dispositivos de salida para los condensados. Estos son los primeros efluentes y contienen aceite, impurezas de diferentes formas y materias orgánicas.

Generalmente son conducidos por los canales de los tanques, donde se hace una recuperación significativa de aceite. En algunas plantas, el proceso de esterilización es automático.

**1.7.3 Desfrutamiento.** Este proceso se realiza en el tambor desfrutador para separar, mediante un proceso mecánico, el fruto de la tusa o raquis. El fruto es transportado mediante sinfines de elevadores a los digestores. Las tusas o raquis son conducidos por medio de bandas transportadoras y se recolectan para disponerlas en los cultivos, donde se inicia su descomposición y la incorporación de sus elementos en el suelo, para luego ser absorbidos como nutrientes por las palmas.

**1.7.4 Digestión prensado.** Los frutos son macerados hasta formar una masa homogénea blanda para extraer el aceite mediante prensa que separan la torta (compuesto de fibra, cuesco y nueces) y el aceite crudo. El compuesto aceitoso pasa por bombeo al proceso de decantación y clarificación. La torta o parte sólida pasa a desfibración para separar las nueces que van a un proceso de secado en un silo y se lleva a palmistería. La fibra se usa como combustible de las calderas que generan vapor de agua que necesita la planta.

**1.7.5 Clarificación.** Se realiza mediante una separación estática o dinámica de fases por diferencia de densidades.

La clarificación puede hacerse por sistemas estáticos en tanques circulares verticales, en tanques cuadrangulares horizontales o también puede hacerse por sistemas dinámicos, tales como centrífugas o “decanter”. El aceite clarificado pasa a los tanques sedimentados donde las partículas pesadas se van decantando por reposo, Así se separa de la mezcla lodosa restante que pasa a las centrífugas desoladoras.

**1.7.6 Secado.** El aceite pasa a secado para disminuir la humedad bien sea por calentamiento en un tanque o por sistema de secamiento atmosférico o al vacío.

**1.7.7 Almacenamiento.** Una vez realizados los controles de calidad en el laboratorio, el aceite es llevado a los tanques de almacenamiento para ser despachado a las industrias procesadoras.

**1.7.8 Deslodado.** Las aguas aceitosas se tamizan y pasan por centrífugas deslodadoras para recuperar el aceite y separar las aguas efluentes. Esta agua ya no tiene ningún contenido de aceite recuperable, por lo tanto pasan a las piscinas de desaceitado para continuar con el sistema de tratamiento de aguas residuales.

**1.7.9 Desfibración y Trituración.** La mezcla compuesta por fibra y nueces, que se seca a una humedad requerida es conducida mediante sinfines para la separación. La separación es un proceso neumático, donde se utiliza una columna vertical a través de la cual pasa un flujo de aire ascendente a una velocidad determinada que toda la fibra sube y las nueces caen al fondo de la columna de separación. Las nueces pasan al tambor pulidor para separarlas de impurezas y de este van al silo de almacenamiento, donde se secan para facilitar el rompimiento de la cáscara y poder recuperar la almendra contenida en ella.

La fibra recogida sirve como combustible de las calderas y como abono natural en las plantaciones.

**1.7.10 Palmistería.** Las nueces secas provenientes de los silos de almacenamiento van a un tambor provisto de mallas, en donde se realiza su clasificación por tamaños antes de enviarlas a las rompedoras. Mediante un proceso de separación neumática y de fuerzas centrífugas se separa la almendra de la cáscara.

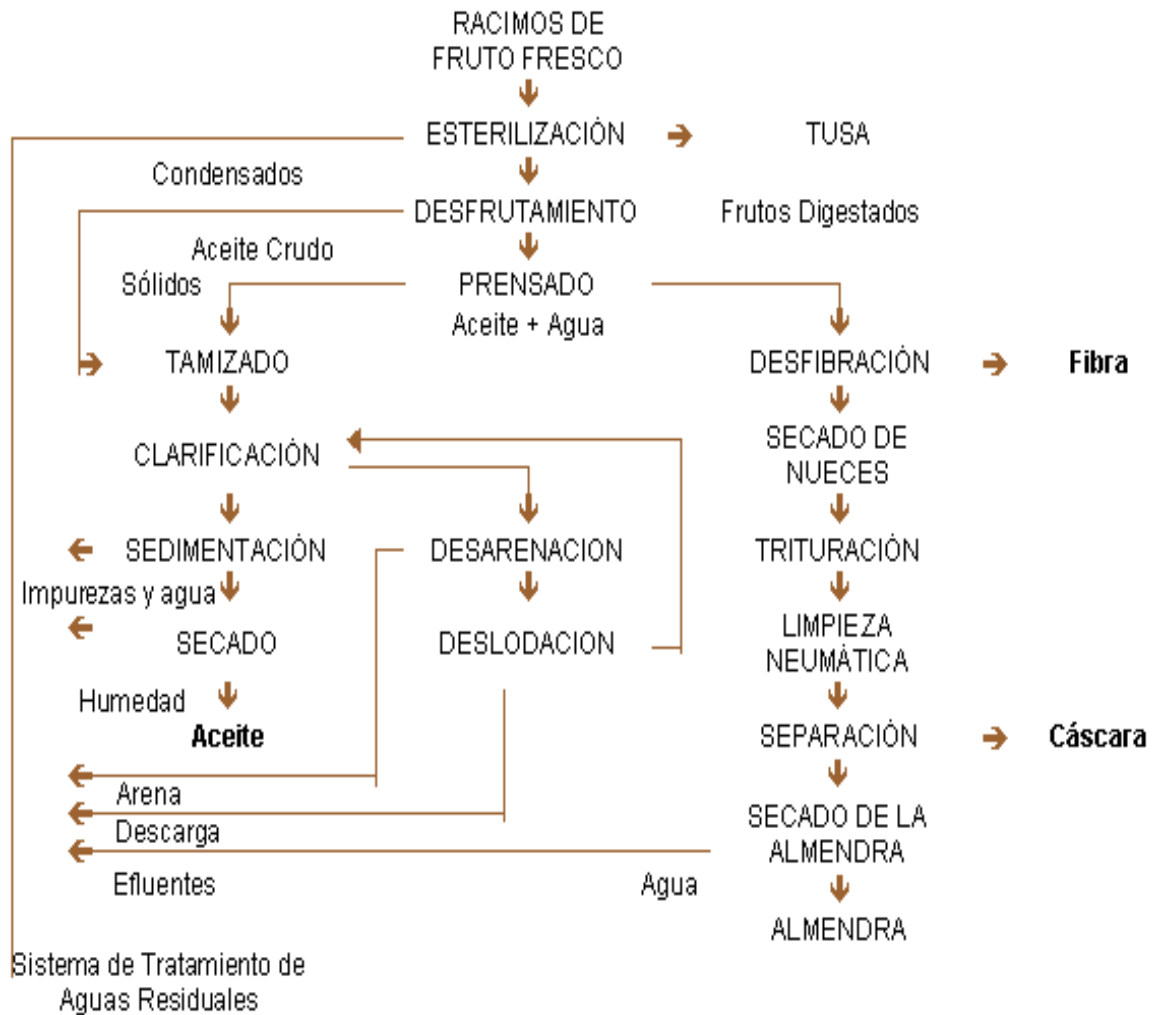
La almendra pasa silo de secado y empaque. De esta manera se obtiene el aceite de palmiste que se utiliza en la industria para confitería, helados, jabones finos, cremas humectantes etc. La torta que queda se usa para preparar concentrados para alimento del ganado vacuno.

La cáscara o cuesco se puede usar como combustible en las calderas o para adecuación y mantenimiento de las vías internas en las plantaciones.

## **1.8 TRANSFORMACIÓN**

En la siguiente figura se presenta el diagrama del flujo del proceso de extracción de aceite de palma, donde se destacan los principales productos y subproductos.

Figura 2. Proceso de Transformación

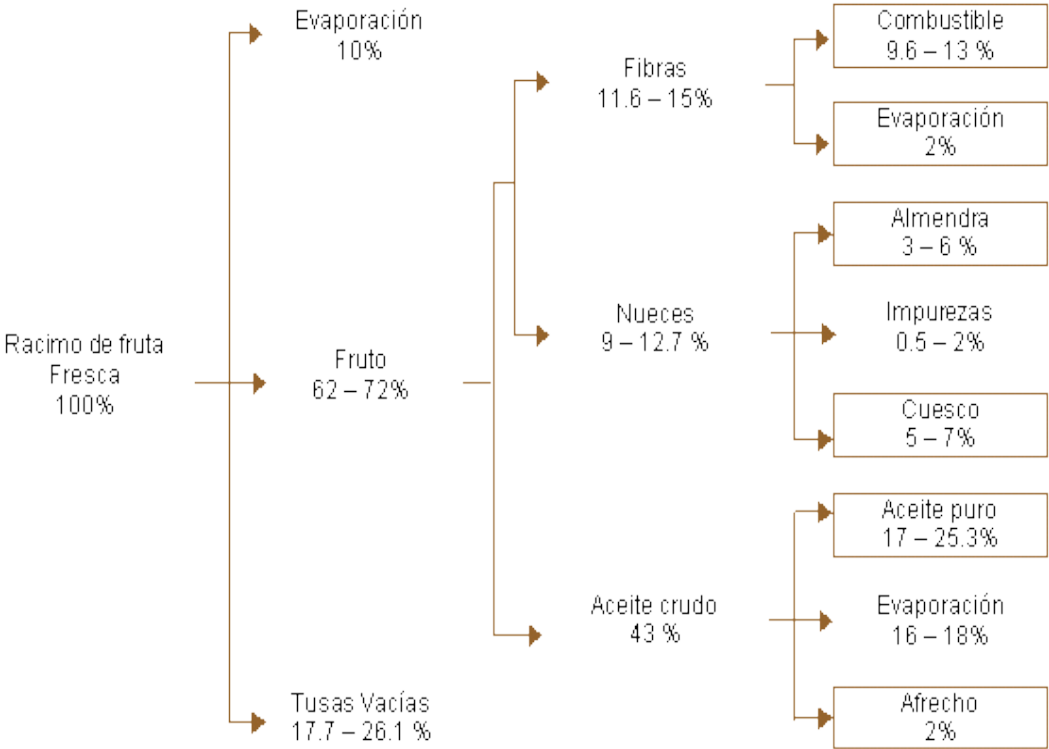


Fuente: Fedepalma

### 1.9 SUBPRODUCTOS SÓLIDOS.

Los subproductos sólidos generados por el proceso de extracción son de gran importancia por su composición, para ser utilizados en su totalidad como bioabonos y como combustibles principalmente. La porción equivalente en porcentajes, sus características y valores se presentan en la siguiente figura.

Figura 3. Subprocesos Sólidos



Fuente: Fedepalma

## **2. MISIÓN**

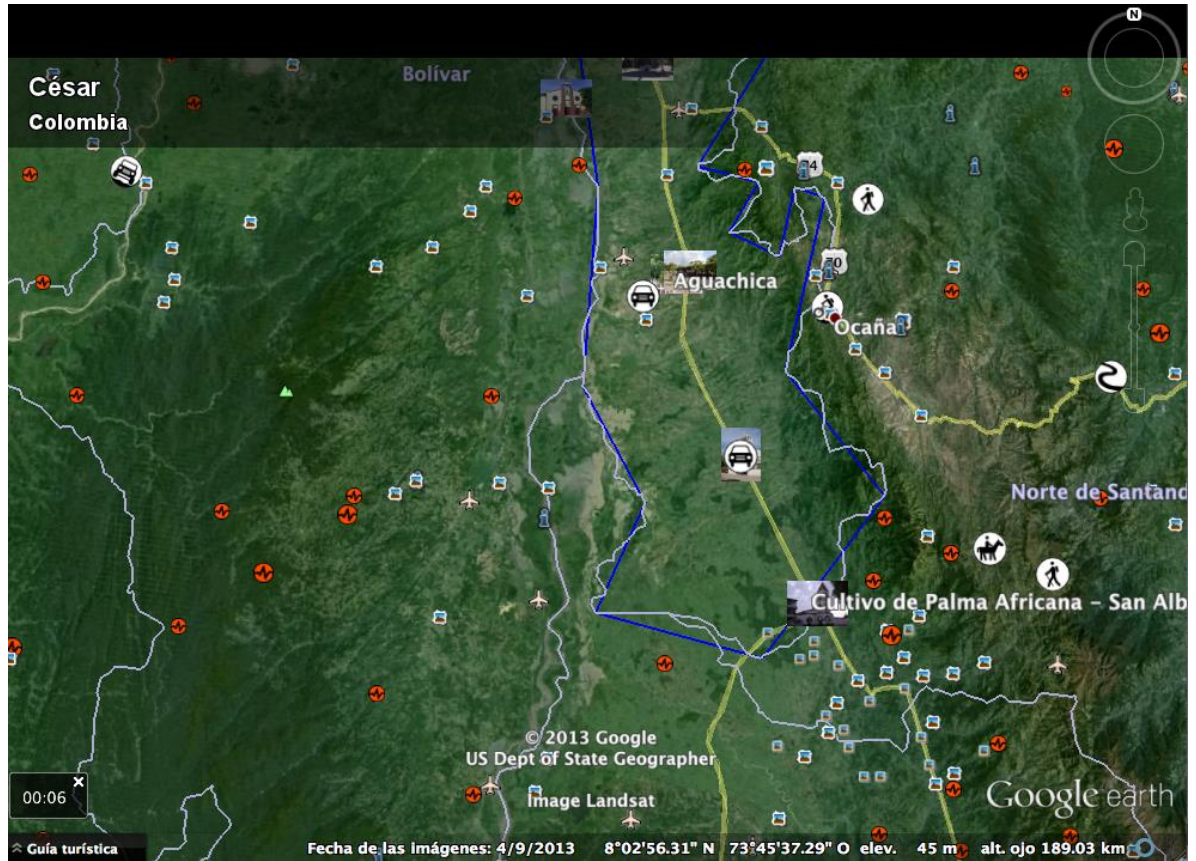
Nuestra empresa es una Organización Agroindustrial dedicada al cultivo de la Palma Africana y al procesamiento de su fruto, con el propósito de obtener a un costo razonable la cantidad de aceite y de todos los sub-productos de la mejor calidad, buscando siempre el uso y la conservación adecuada de los recursos naturales y el bienestar de nuestros trabajadores y de la región.

### **3. VISIÓN**

Ser la Organización Agroindustrial dedicada al manejo del cultivo de la Palma Africana, líder en calidad, eficiencia, rendimiento, competitividad y tecnología; mostrándola como una empresa financieramente sólida, socialmente vigorosa que se orienta siempre a la calidad total y se proyecta al desarrollo de la región donde operamos.

#### 4. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA COMPAÑÍA

Imagen 1. Ubicación Geográfica de la Planta Palmas del Cesar

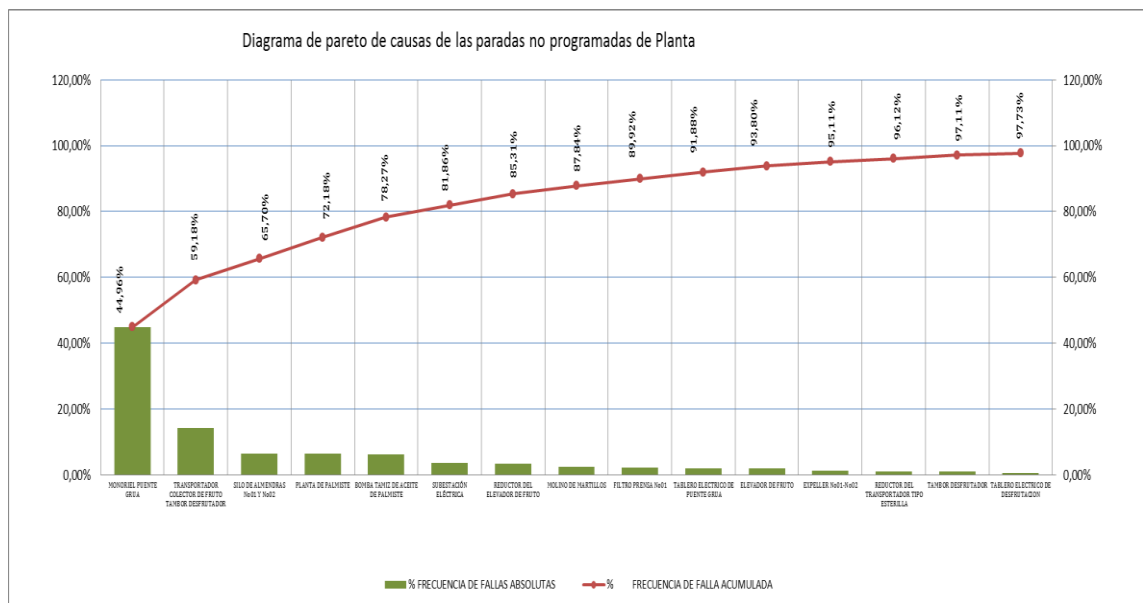


Fuente: Google Earth

## 5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actividad de extracción de aceite de Palma Africana en la Planta de Beneficio de Palmas del Cesar S.A. se necesitan equipos para soportar elevadas cargas de trabajo continuo, uno de estos equipos es el caso del puente grúa, este equipo se encarga del transportar una vagoneta cargada con fruta esterilizada, desde el nivel de piso hasta una tolva que está a una altura de 10 metros, con desplazamientos verticales, horizontales y de rotación. Este equipo por su gran cantidad de componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos y neumáticos se constituye en un equipo muy complejo para el mantenimiento.

Grafica 1. Diagrama de Pareto de paradas no Programada de la planta



Fuente: Propia

En la gráfica 1 podemos observar que el 44,96% de las paradas no programadas de proceso de la Planta son causadas por el puente grúa, y de este porcentajes de paradas no programadas el 34,67% son por fallas mecánicas, el 45,88% por fallas eléctricas y el 19,45 por fallas operativas. La falta de disponibilidad del equipo

causa una parada de toda la producción incurriendo en altos costos de mantenimiento, incremento en las horas de proceso.

En la actualidad el puente grúa cuenta con planes de mantenimiento preventivo, elaborados en recomendaciones de los fabricantes, al igual que por los técnicos mecánicos, eléctricos y en datos recopilados en las hojas de vida del equipo. Esta información ha permitido crear rutinas de limpieza, inspecciones, aplicación y cambio de lubricantes y cambio de repuestos con unas frecuencias fijas. Sin embargo, no se garantiza que los esfuerzos del mantenimiento estén bien enfocados. Como lo demuestran los resultados, por este motivo se propone realizar un Modelo de Análisis de modo Falla y sus Efectos enfocado en aumentar los índices de confiabilidad, disponibilidad y seguridad de los componentes del puente grúa, con este proyecto se busca que el departamento de mantenimiento tenga todos los argumentos necesarios para que puedan planificar y programar de manera oportuna las intervenciones a los equipos favoreciendo a la reducción de costos por inventarios del almacén, los costos por mano de obra y por producción, implementar mejores prácticas para la identificación y eliminación temprana de problemas potenciales.

Para el desarrollo del proyecto se realizara un inventario y revisión de los componentes del puente grúa para evaluar su estado actual, hacer un listado de las características técnicas y operacionales y aplicar un análisis de criticidad, con el objetivo de aplicar técnicas predictivas a los equipos que más lo requieran. Estas actividades predictivas estarán fundamentadas en la detección temprana de fallos potenciales y sus posibles ocurrencias.

## **6. OBJETIVOS**

### **6.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar un modelo de análisis de fallos y efectos para el puente grúa de la Planta de Palmas del Cesar S.A.

### **6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Revisar las referencias bibliográficas y documentación que esté relacionada con el Análisis de Criticidad y Análisis Modal de Fallos y Efectos.
- ✓ Realizar un diagnóstico físico de los componentes del puente grúa.
- ✓ Realizar un inventario de los componentes del puente grúa, con sus características técnicas y operativas.
- ✓ Determinar cuál es el componente más crítico, utilizando una matriz de criticidad.
- ✓ Hacer un análisis de las posibles causas de las paradas no programadas del equipo.
- ✓ Proponer un plan de mantenimiento que contrarreste las fallas.
- ✓ Obtener criterios objetivos que permitan identificar plenamente las fallas potenciales y ocultas del puente grúa.

## 7. ILUSTRACIÓN DEL EQUIPO

Imagen 2. Puente Grúa



Fuente: Propia

Imagen 3. Puente Grúa



Fuente: Propia

Imagen 4. Puente Grúa



Fuente: Propia

## 8. CAPITULO II

### 8.1 MARCO TEÓRICO

**8.1.1 Antecedentes.** A continuación se presenta un breve resumen de las investigaciones realizadas ante la Universidad de Oriente, que sirvieron de base, bien sea por su contenido o su metodología, para el desarrollo del trabajo de grado:

- En Julio de 2005, **MALAVE J.**, [1] realizó un trabajo titulado “**Análisis de las causas que ocasionan las fallas en un motocompessorreciprocante**” como Trabajo de Grado en la Universidad de Oriente. Mediante la aplicación de un Diagrama de Causa-Efecto concluye que la causa primordial para que fallen los cilindros compresores, radica en la diferencia de temperatura considerable que existe entre la camisa y el cilindro compresor. La alta temperatura a la que se encuentran sometidos los cilindros compresores, además del desgaste de los asientos es la principal causa del desgaste severo y continuo en las válvulas de succión y descarga; provocando filtraciones en éstas, que conllevan inclusive a la rotura de las mismas. El análisis precedente fue realizado mediante un diagrama Causa-Efecto. Tenemos pues, que la similitud del presente trabajo de grado se expresa en cuanto a la metodología empleada y la confiabilidad que este proporciona en la búsqueda de las fallas. Existe sin embargo, la diferencia en cuanto al sistema mecánico analizado entre los dos trabajos: sellos mecánicos y motocompessorreciprocante.

## **8.1.2 Conceptos y principios básicos**

**8.1.2.1 Mantenimiento.** El Mantenimiento es un proceso mediante el cual se asegura que un activo (equipo) continúe desempeñando las funciones deseadas con la finalidad de tener un mayor tiempo de vida para el beneficio del propietario<sup>7</sup>

Existen varios tipos y metodologías de mantenimientos que ayudan al proceso de crecimiento de las empresas o entidades en las cuales se practique este sistema.

**8.1.2.2 Mantenimiento preventivo.** Inspección periódica de máquinas y equipos, para evaluar su estado de funcionamiento e identificar fallas, es la ejecución de acciones programadas que tienden a prevenir disfunciones y averías, para asegurar el rendimiento óptimo de los equipos y garantizar la seguridad y proteger el medio ambiente<sup>5</sup>.

**8.1.2.3 Mantenimiento predictivo.** Mantenimiento basado fundamentalmente en detectar la posibilidad de falla antes de que suceda, para dar tiempo a corregirla sin perjuicios al servicio, ni detención de la producción, etc. Las acciones para esta detección, generalmente se pueden realizar programándola durante el proceso de Mantenimiento.

**8.1.2.4 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).** Es el proceso que permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico. El RCM ha sido utilizado en miles de empresas de todo el mundo: desde grandes empresas petroquímicas hasta las principales fuerzas

---

<sup>7</sup> MALAVE J., "Análisis de las causas que ocasionan las fallas en un motocompresor recíprocante", Informe de Pasantía, Universidad de Oriente (2005).

armadas del mundo utilizan RCM para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos<sup>8</sup>

**8.1.2.5 Mantenimiento planificado (TPM).** Es el involucramiento total de los empleados, enfoque de Calidad (World Class) y técnicas óptimas de Mantenimiento para aumentar la eficiencia de los equipos y por lo tanto mejorar la Calidad del producto.

**8.1.2.6 Mantenimiento correctivo no planificado.** Es el mantenimiento correctivo de emergencia que debe llevarse a cabo con la mayor celeridad para evitar que se incrementen costos e impedir daños materiales y/o humanos. Si se presenta una avería imprevista, se procederá a repararla en el menor tiempo posible para que el sistema, equipo o instalación siga funcionando normalmente sin generar perjuicios; o, se reparará aquello que por una condición imperativa requiera su arreglo (en caso que involucre la seguridad, o por peligro de contaminación, o por la aplicación de normas, etc.)<sup>9</sup>

**8.1.2.7 Gestión del mantenimiento.** La gestión de mantenimiento juega un papel fundamental en el desarrollo de las actividades diarias que se presentan en la industria, ya sea desde un simple cambio de aceite la implementación de un mantenimiento a un sistema complejo, lo cual permite garantizar la confiabilidad de los equipos en las diferentes industrias. Los sistemas de gestión de mantenimiento (operativo y administrativo) son un componente esencial para lograr el continuo mejoramiento de las condiciones de productividad en las compañías.

---

<sup>8</sup> González, Fernández. Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión. Primera edición. Fundación Confemetal. 2004.

<sup>9</sup> HUERTA, Rosendo. "EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD, UNA METODOLOGÍA PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL" Artículo publicado en la revista Mantenimiento Mundial no6. (2001).

Figura 4. Ilustración gestión del mantenimiento



Fuente: es.123rf.com

Cuando se analiza la evolución del mantenimiento, se observa que el desarrollo de este tema se basa en la mejora de sistemas en los cuales se presenta una mayor demanda de producción y por lo tanto el incremento en la utilización de los activos; pero también se puede concluir que la gestión de mantenimiento ha sido y será el principal mecanismo implementado para mejorar la ejecución de los sistemas productivos de una compañía que a su vez le permite una posición más favorable ante las demás.

La importancia de la Gestión de Mantenimiento se basa principalmente en el deterioro de los equipos industriales y las consecuencias que este le atrae a la empresa. Debido al alto costo que supone las fallas para las empresas, es necesario aumentar la confiabilidad de los equipos, y la seguridad tanto de equipos como de personas y el medioambiente. La gestión del mantenimiento en una empresa se realiza dependiendo de la importancia que tenga un paro en un

equipo, que consecuencias para las personas, el sistema productivo y dependiendo de la ruta crítica del proceso<sup>10</sup>

Actualmente, el entendimiento del mantenimiento (Administrativo y operativo) continúa creciendo y mejorando continuamente, sin embargo, encierra conceptos, que representa un reto para su implementación. Adicional a ello, el desarrollo de nuevas formas de ejecución lo hace cada vez más riguroso imponiendo nuevos retos para los ingenieros obligándolos a ir cada día más allá para así seguir con el estudio de este.

**8.1.3 Indicadores de Mantenimiento.** Existe mucha preocupación de la gente de mantenimiento sobre cuáles indicadores de gestión medir pero en primer lugar debe esclarecerse para qué sirve llevar un Sistema de Indicadores.

Cuando pensamos en qué se debe medir en mantenimiento, debemos responder algunas preguntas básicas: ¿Deben ser los mismos los Indicadores del sector, que los de los jefes, planificadores o supervisores? La respuesta es no. Cada responsable debe tener indicadores que estén incluidos en un sistema interdependiente, formando una estructura piramidal que alineada con la estructura de la empresa y del sector al que pertenece Mantenimiento.

De esta manera, satisfaciendo los parámetros de mantenimiento cumplimos con los de producción (por ejemplo). Dentro del área de mantenimiento, un supervisor con varias personas a cargo podría ver indicadores de productividad de su personal.

El planificador podrá medir indicadores de cumplimiento en término de las OT y de eficacia en las horas de trabajo planificadas. Por su lado, el jefe de mantenimiento

---

<sup>10</sup> Adaptado de la conferencia “La Gerencia de Mantenimiento para países subdesarrollados” por: Ing. Msc. Hugo Granela.

puede estar preocupado por los indicadores de costos (costo unitario del mantenimiento = U\$\$ / Tonelada producida) y por el OEE (*Overall Equipment Effectiveness* o *Eficiencia General de los Equipos*) que nos relaciona la Disponibilidad con las pérdidas de calidad y de rendimiento debidas a mantenimiento. Pero justamente para que estos indicadores den buenos valores deben dar también bien los de los supervisores y de los

$$CMRP = \frac{\sum CTMN}{VLRP} \times 100 \text{ planificadores.}$$

¿Cuáles son los indicadores considerados WorldClass\*?

Son muy útiles para hacer benchmarking con otras empresas y globalmente reconocidos. Estos son: TMEF: Tiempo medio entre fallas: Relación entre el producto del número de ítems por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado.

**TMPR:** Tiempo medio para la reparación. Relación entre el tiempo total de intervención correctiva en un conjunto de ítems con falla y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado.

**TMPE:** Tiempo medio para la falla. Relación entre el tiempo total de operación de un conjunto de ítems no reparables y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado.

**CMPT:** Costo de Mantenimiento por Facturación. Relación entre el costo total de mantenimiento y la facturación de la empresa en el período considerado.

**CMRP:** Costo de Mantenimiento por Valor de Reposición. Relación entre el costo total de mantenimiento acumulado de un determinado equipo y el valor de compra de un equipo nuevo (valor de reposición).

$$\text{TMEF} = \text{NOIT} \times \text{HROP} \sum \text{NTMC}$$

$$\text{TMPR} = \sum \text{HTMCNTMC}$$

$$\text{TMPF} = \sum \text{HROPNTMC}$$

$$\text{CMFT} = \text{CTMN} \times 100 \text{ FTEP}$$

- \* Indicadores WC Basados en el libro "Administración Moderna del Mantenimiento" del Ing. Lourival Augusto Tavares

*¿Para qué sirve llevar indicadores?*

Los indicadores sirven para distintos fines. Uno de ellos es motivar al personal. Otro muy importante es saber cómo estamos respecto de los objetivos.

*¿Qué es un benchmarking?*

El benchmark es una técnica utilizada para medir el rendimiento de un sistema o componente del mismo, frecuentemente en comparación con el que se refiere específicamente a la acción de ejecutar un benchmark. También es el resultado de la ejecución de un programa informático o un conjunto de programas en una máquina, con el objetivo de estimar el rendimiento de un elemento concreto, y poder comparar los resultados con máquinas similares.

“La tarea de ejecutar un benchmark originalmente se reducía a estimar el tiempo de proceso que lleva la ejecución de un programa (medida por lo general en miles o millones de operaciones por segundo). Con el correr del tiempo, la mejora en los compiladores y la gran variedad de arquitecturas y situaciones existentes convirtieron a esta técnica en toda una especialidad. La elección de las

condiciones bajo la cual dos sistemas distintos pueden compararse entre sí es especialmente ardua, y la publicación de los resultados suele ser objeto de candentes debates cuando éstos se abren a la comunidad”<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Benchmark>

## 9. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual. El análisis de criticidad genera una lista desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado, diferenciando tres zonas de clasificación: alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad. Una vez identificadas estas zonas, es mucho más fácil diseñar una estrategia, para realizar estudios o proyectos que mejoren la confiabilidad operacional, iniciando las aplicaciones en el conjunto de procesos o elementos que formen parte de la zona de alta criticidad<sup>12</sup>

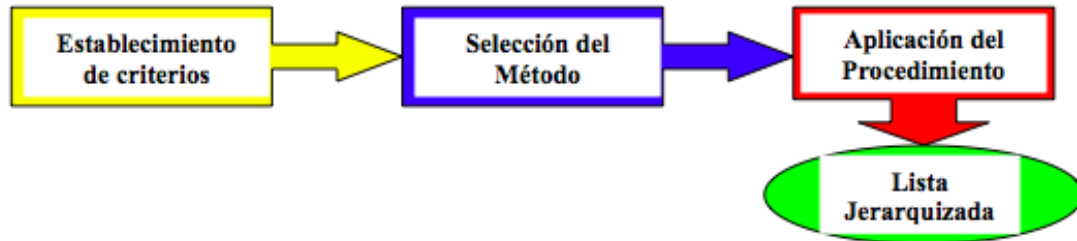
El ing. Rosendo Huerta Mendoza en su artículo titulado “EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD, UNA METODOLOGÍA PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL” (2001) plantea que: “El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.”<sup>11</sup>

Un esquema general para la elaboración del análisis de criticidad es equivalente al mostrado en la figura 5. Se establecen como criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad los siguientes aspectos:

---

<sup>12</sup> Ciclo sobre Ingeniería de Calidad Seminario: FIABILIDAD y AMFE en el ciclo de vida de productos y procesos. LABEIN 1996

Figura 5. Esquema general Análisis de Criticidad



Fuente: Ingeniero Huertas (2001)

- Seguridad
- Ambiente

Producción Costos (operacionales y de mantenimiento) Tiempo promedio para reparar Frecuencia de falla.

Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. La aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado.

Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis.<sup>11</sup>

### 9.1 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

(Alandón, 1991) define el AMEF como una metodología sistemática que permite identificar los problemas antes que estos ocurran y puedan afectar o impactar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado. Con la realización del AMEF, se obtiene la información necesaria para poder prevenir las consecuencias o efectos de las posibles fallas, a partir de la selección

adecuada de actividades de mantenimiento, las cuales actuarán sobre cada modo de falla y sus posibles consecuencias.

- Aplicación del Procedimiento
- Establecimiento de criterios
- Selección del Método
- Lista Jerarquizada

#### **9.1.1 4 Tipos de AMFE-**

**AMFE de Diseño:** en el AMFE de diseño el objeto del estudio es el producto y todo lo relacionado con su definición. Se analiza por tanto la elección de los materiales, su configuración física, las dimensiones, los tipos de tratamientos a aplicar y los posibles problemas de realización<sup>13</sup>

**AMFE de Proceso:** en el AMFE de proceso se analizan los fallos del producto derivados de los posibles fallos del proceso hasta su entrega al cliente. Se analizan, por tanto, los posibles fallos que pueden ocurrir en los diferentes elementos del proceso (materiales, equipo, mano de obra, métodos y entorno) y cómo éstos influyen en el producto resultante<sup>13</sup>

#### **9.1.2 Aspectos generales del AMEF**

**9.1.2.1. Función del Activo.** Se define como el desempeño esperado de un equipo o herramienta para cumplir con un propósito específico<sup>14</sup>.

---

<sup>13</sup> HUERTA, Rosendo. "EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD UNA METODOLOGÍA PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL" Artículo publicado en la revista Mantenimiento Mundial no6. (2001)

<sup>14</sup> "Mantenimiento Centrado en Confiabilidad", ISC Gerencia de Activos C.A., PDVSA CIED, Venezuela (2005).

**9.1.2.2 Funciones Primarias.** Es el propósito fundamental del activo, para lo que fue concebido, es decir, para lo que se necesita y de lo que es capaz<sup>14</sup>.

**9.1.2.3 Funciones Secundarias.** Son las que soportan el cumplimiento de las funciones primarias, entre ellas, integridad ambiental y estructural, seguridad, control, confort, apariencia y dispositivos de protección<sup>14</sup>.

**9.1.2.4 Falla Funcional.** Se define como el incumplimiento de una función, esta puede ser parcial o total. La falla funcional total es aquella en la que se evidencia una imposibilidad absoluta de cumplir la función principal del activo mientras que en la falla funcional parcial la función se cumple pero no de forma total<sup>14</sup>.

**9.1.2.5 Modos de falla.** Son las distintas formas, modos y maneras en las que puede fallar un equipo o componente de un equipo capaz de generar una pérdida parcial o total de su función. Los modos de falla pueden ser definidos para cualquier tipo de activo, desde un nivel muy general, hasta uno muy particular<sup>14</sup>.

**9.1.2.6 Efecto de la falla.** Es la evidencia o los hechos de que la falla ha ocurrido, e indica la secuencia de eventos desde que se inicia hasta que culmina la falla, y donde es recomendable establecer las consecuencias de la misma, esto incluye impacto en la seguridad, higiene, económico y operacional de la falla..

**9.1.2.7 Falla.** El término de falla se plantea cuando un componente o equipo ha perdido la capacidad de satisfacer un criterio de funcionamiento deseado, ya sea en cantidad o calidad<sup>14</sup>

Las fallas son la razón de ser del mantenimiento, debido a que a éste le corresponde prevenirlas y corregirlas para aumentar la disponibilidad del equipo.

**9.1.2.8 Análisis de Fallas.** Es un procedimiento mediante el cual, utilizando una serie de técnicas, ensayos, medidas y observaciones, se determina el origen y las causas de la falla de una pieza, parte o componente de un equipo, máquina o estructura<sup>14</sup>

**9.1.3 Técnicas para Determinar las Fallas y Sus Causas.** Debido a la cantidad de fallas que ocurren en los diferentes equipos se hace necesaria la aplicación de un criterio selectivo para atacar, en primer lugar las fallas que impactan negativamente en los resultados de mantenimiento y luego se aplican otras metodologías para analizar en detalle las causas y sus fallas.<sup>15</sup>

#### **9.1.3.1 Tipos de Falla**

**Falla Evidente:** Situación en la que la persona encargada de operar un equipo puede detectar una condición anormal utilizando únicamente sus sentidos, por ejemplo cuando observa un incremento en la presión diferencial de un filtro, puede advertir que este se está taponando, o cuando observa que una bomba no descarga la presión requerida por posible excesivo desgaste del impulsor, o cuando nota una alta temperatura de un rodamiento como consecuencia de deficiencias en la lubricación.<sup>16</sup>

**Falla Oculta:** No se puede detectar durante la operación normal del equipo, estas fallas ocurren cuando se activa un evento secundario, por ejemplo una válvula de seguridad se mantiene stand by hasta que cierta presión es alcanzada por el recipiente que esta protege, en ese momento es cuando sabemos si trabaja correctamente o no<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> TROCEL, David. "Mantenimiento y Confiabilidad Industrial" Taller dictado para trabajadores de mantenimiento de la empresa Supermetanol, C.A. y abalado por TECNOTEST. (2007)

<sup>16</sup> TORRES, Ronald. "Estrategias Basadas en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Mcc) para el Mejoramiento del Plan de Mantenimiento de Las Bombas de Doble Tornillo del Terminal Orimulsión® José" Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Mecánica, UDO, Puerto La Cruz, Venezuela (2007).

**Falla Incipiente:** En la mayoría de los casos las fallas son producto de un proceso de deterioro progresivo y cuantificable permitiéndose la predicción del tiempo para la falla. Incipiente es el momento en el que la falla se hace detectable. Vigilando los parámetros apropiados y definiendo valores permisibles esto resulta una tarea relativamente sencilla, la falla incipiente desde el punto de vista de la Confiabilidad es una falla funcional, es decir una de las funciones del sistema ha caído a límites inaceptables y deben planificarse las acciones proactivas, preventivas y/o correctivas oportunas para evitar la falla de la función principal del sistema<sup>15</sup>

**9.1.4 Equipo.** Está constituido por un grupo de partes ubicadas dentro de un paquete identificable, el cual cumple al menos una función de relevancia en forma independiente. Además se considera como un bien económico y técnico sujeto a mantenimiento. (Ej. Motores, bombas, intercambiador de calor, compresores de turbinas, cajas reductoras, etc.)<sup>17</sup>

**9.1.5 Sistema.** Es un nivel de detalle constituido por un grupo de equipos que cumplen una función en específico. La mayoría están configurados en función a los procesos. (Ej. Sistema de Bombeo, Sistema de Tratamiento de Agua, Sistema de Generación Eléctrica, etc.)<sup>16</sup>

**9.1.6 Efectividad Operacional.** Puede definirse como la capacidad, que posee un equipo o sistema, de cumplir con sus funciones específicas y producir el efecto esperado. La efectividad relaciona las horas que el equipo está produciendo y las horas que dispone para hacerlo. Esta relación se evidencia en la ecuación para el cálculo de la efectividad, mostrada a continuación:

---

<sup>17</sup> TROCEL, David. “Implementando un efectivo Programa de Mantenimiento Basado en Condición”. Artículo publicado en la revista MECANÁLISIS en su edición aniversario. Abril – mayo del 2007.

$$\text{Efectividad} = \frac{\text{Horas Efectivas}}{\text{Horas Disponibles}} \times 100$$

Ec. 2.1

La efectividad operacional está estrechamente relacionada con las siguientes variables:

**9.1.7 Confiabilidad.** Es la probabilidad de que un equipo cumpla una función específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado. El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente. Si se tiene un equipo sin falla, se dice que el equipo es ciento por ciento confiable o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno.<sup>16</sup>

Si la efectividad de un equipo disminuye, es posible de que este se haga menos confiable debido a la reducción del tiempo entre fallas.

$$\text{Efectividad} = \frac{\text{Horas Efectivas}}{\text{Horas Disponibles}} \times 100$$

**9.1.8 Disponibilidad.** La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado.<sup>16</sup> Si la disponibilidad disminuye, es probable que también lo hagan las horas en que el equipo produce, y por ende, se hace menos efectivo. Esta relación se puede observar en la figura 6.

**9.1.9 Mantenibilidad.** Está definida como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos, es una función del diseño del equipo (factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el

mantenimiento).<sup>16</sup> La mantenibilidad aumenta a medida que el tiempo fuera de servicio (TFS) disminuye. Un aumento del TFS trae como consecuencia elevación de las horas de parada y por ende reducción en la efectividad.

**9.1.10 Horas Calendario.** Corresponden a las horas que un equipo está presto a cumplir la función para la cual fue diseñado, durante un tiempo determinado por la organización de mantenimiento.

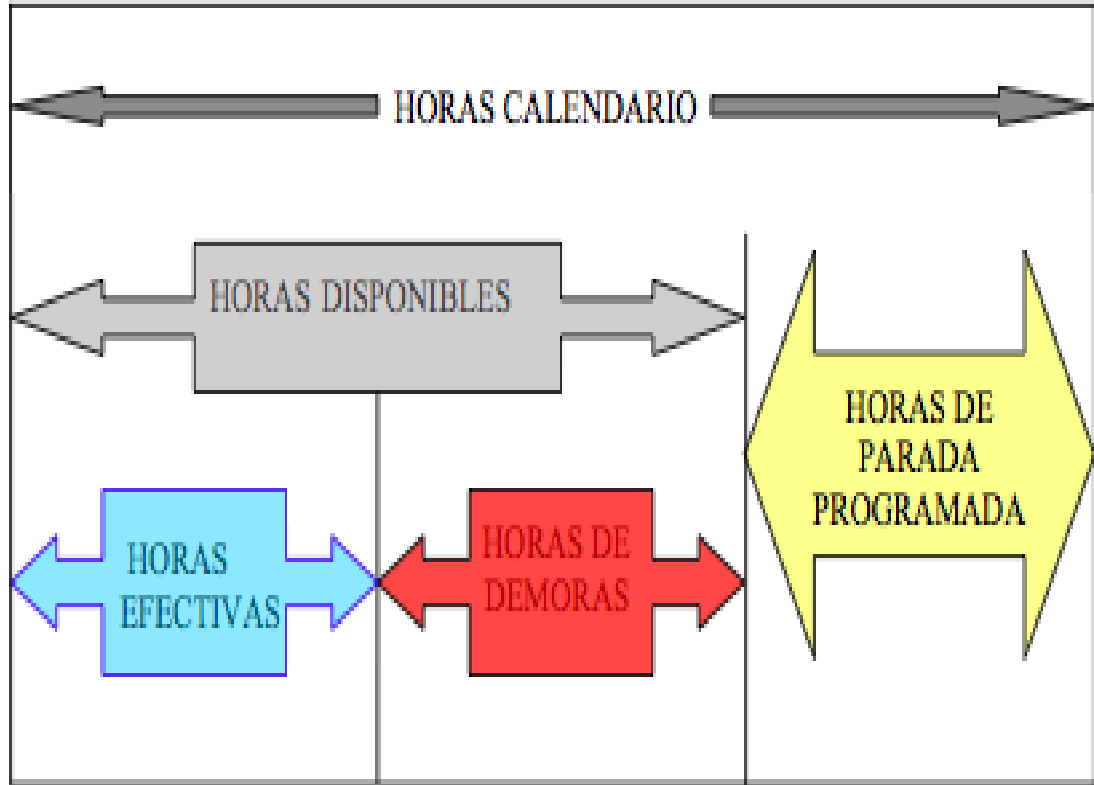
**9.1.11 Horas disponibles.** Son las horas en que el equipo o sistema se encuentra disponible para operar y para ejecutar reparaciones de fallas imprevistas, sean estas de mantenimiento, de operación o externas.

**9.1.12 Horas de parada programada.** Son las horas en que el equipo o sistema se encuentra paralizado por ejecución de actividades incluidas en los programas de mantenimiento.

**9.1.13 Horas de demora.** Son las horas en que el equipo o sistema no produce por causas imprevistas, las cuales pueden ser de tipo operacional, de mantenimiento o demoras externas.

**9.1.14 Horas efectivas.** Comprenden las horas en que el equipo o sistema está apto para operar.

Figura 6. Tiempos para disponibilidad y efectividad operacional Causas fallas Operativas

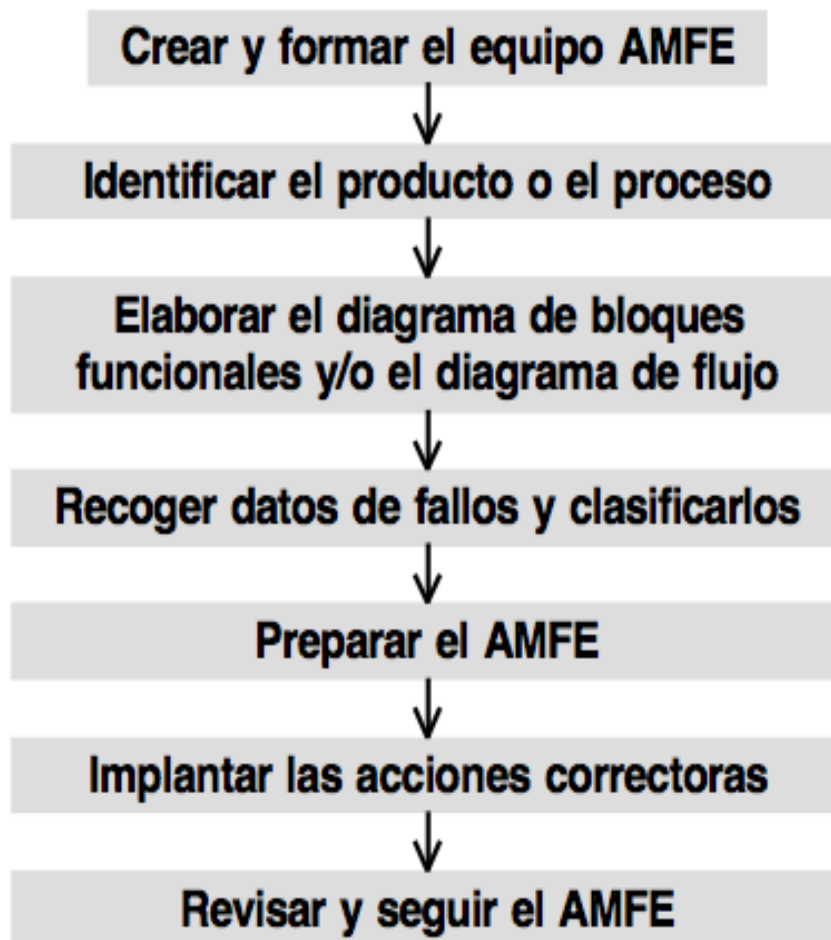


Fuente: Diógenes Suárez (2006)

## 9.2 ALGUNOS PASOS PARA IMPLEMENTAR UN EFECTIVO AMFE

Figura 7. Esquema de implementación para un Efectivo AMFE

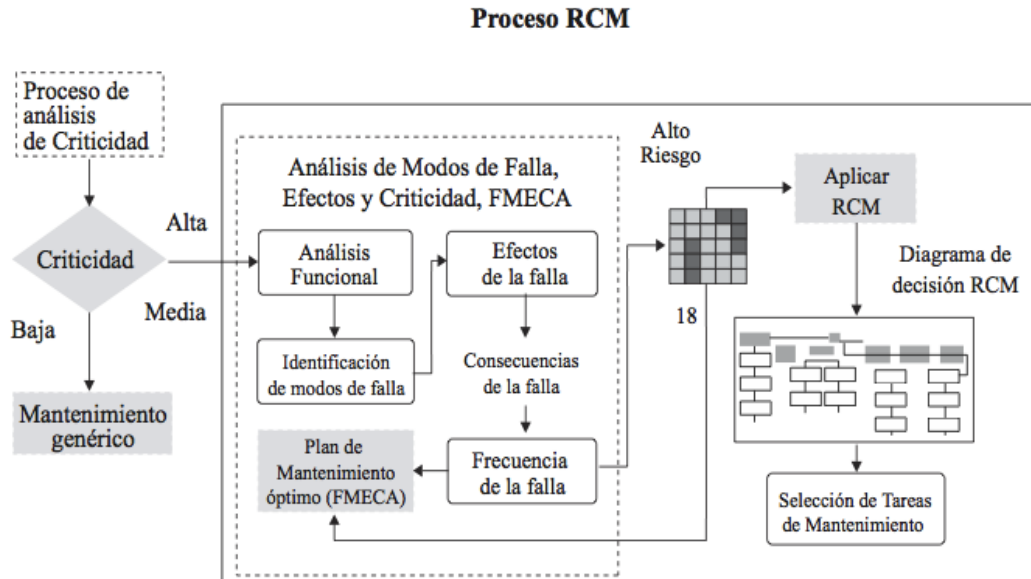
Las etapas para la implantación sistemática del AMFE en la empresa son las siguientes:



Fuente: Librería HorDago: análisis modal de fallo y efecto

## 9.2.1 Proceso de Gestión del Mantenimiento Aplicando el análisis de Modos de Fallas y sus efectos y criticidad FMECA

Figura 8. Proceso de Gestión AMFE y RCM



Fuente: Corporación Mexicana de Investigación 2010

## 9.2.2 Algunos Pasos Para Implementar Un Efectivo PMBC

**9.2.2.1 Recopilar las especificaciones técnicas de los activos.** Es un paso crítico en la cadena del PMBC, el proceso de análisis de los datos y diagnóstico de las fallas depende en gran medida de la información técnica de los activos a monitorear, se deben conocer las características mecánicas, eléctricas y operacionales de estos activos. ¿Qué tipo y modelo de rodamientos usa?, ¿se trata de una compresor centrífugo o de uno de tornillo?, ¿cuál es el producto manejado?, ¿velocidad, presión y temperatura de trabajo?<sup>16</sup>

**9.2.2.2 Identificar los activos a incluir en el programa.** Se trata de listar la maquinaria que será monitoreada, esta selección principalmente se basa en la criticidad de los equipos. ¿Qué tan sensibles son los activos para el proceso productivo?, ¿Cuál es su impacto a la seguridad y al ambiente en caso de fallas?, ¿Cuál es el costo o complejidad de su mantenimiento?, ¿Cuáles equipos tienen fallas recurrentes o con mayor frecuencia? Las respuestas a estas preguntas nos indican el estatus de criticidad de estos equipos y son la primera referencia para seleccionar los activos que integrarán el PMBC. Comenzar con los más críticos es una buena práctica y luego progresivamente incluir los de menor criticidad. Este paso se apoya en el denominado.<sup>16</sup>

### **9.2.3 Análisis de Criticidad**

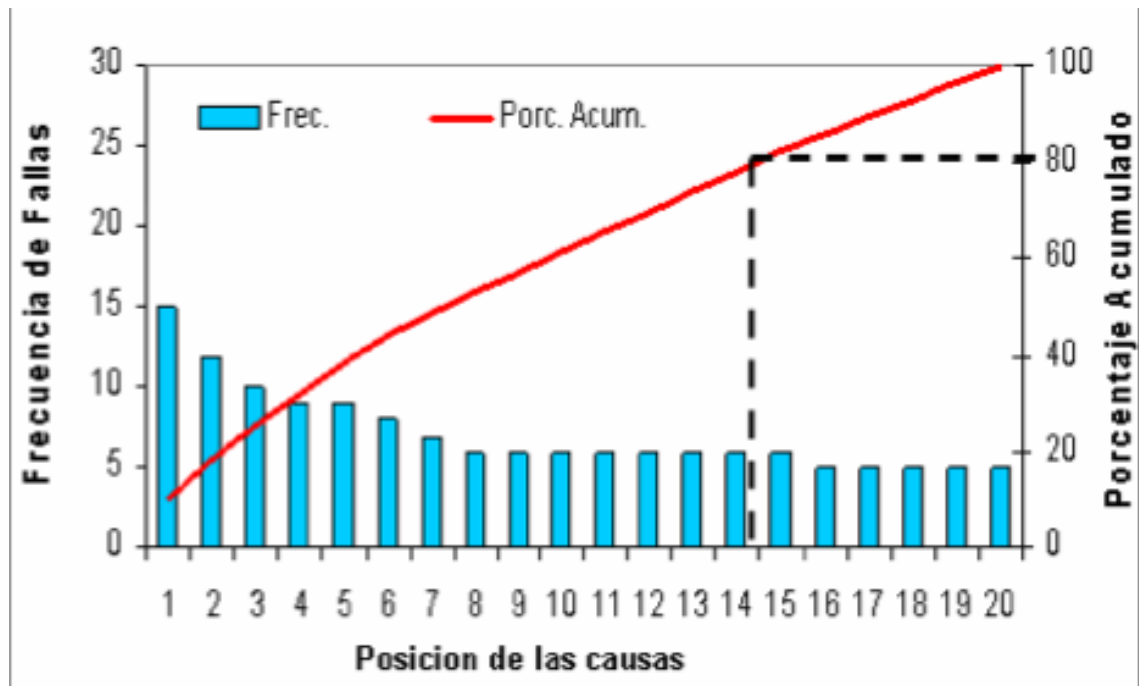
**9.2.3.1 Determinar el modo y efecto de falla de los equipos seleccionados.** Se debe conocer cuáles son los mecanismos que pueden desencadenar en una falla y las consecuencias de esto. Esta información es importante a fin de seleccionar la tecnología y los procedimientos de inspección. Esto requiere del conocimiento de la maquinaria desde el punto de vista mecánico, eléctrico y operacional. Saber cómo la máquina está conformada y como trabaja nos indica los modos en que puede fallar, así se definirá la mejor forma de captar los síntomas de estas fallas en su estado prematuro. Este proceso se conoce como **Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)**.<sup>16</sup>

**9.2.4 Principio de Pareto.** Es un método que permite solucionar por orden de importancia y magnitud, la causa de un problema que se debe investigar, hasta llegar a conclusiones que permitan eliminarlos de raíz. Este método proviene de los trabajos del economista italiano Wilfredo Pareto, quien comprobó que aproximadamente el 20 % de las causas originan el 80 % de las fallas.

A continuación se mencionan los pasos que se deben seguir para aplicar este principio:

- a. Identificar el efecto que deseamos analizar y el objeto por alcanzar.
- b. Hacer una lista de las fallas, definiendo la cantidad de veces que ocurrió la falla en el período de tiempo considerado en estudio.
- c. Ordenar las fallas de manera descendente, es decir a la falla con mayor ocurrencia le corresponde el primer lugar y de esta forma se ordena de manera decreciente las demás fallas.
- d. Construir un sistema de ejes coordenadas, como se muestra en la Figura 2.7, en el cual el eje horizontal (abscisas) le corresponde a las fallas ordenadas de manera decreciente en lo que respecta a la ocurrencia, en el eje vertical izquierdo (ordenada izquierda) le corresponde la frecuencia de falla y en el eje vertical derecho (ordenada derecha) le corresponde el porcentaje acumulado de falla.
- e. Se construye la curva de fallas con respecto a la frecuencia de falla.
- f. Trazar una línea horizontal por el punto correspondiente al 80 % del porcentaje acumulado y bajar una vertical por el punto que toca la curva, el punto así obtenido indica que las fallas cuyas posiciones estén a la izquierda causan el 80 % de las fallas.<sup>16</sup>

Figura 9. Representación del esquema del Diagrama de Pareto



Fuente: Ronald Thorres (2007)

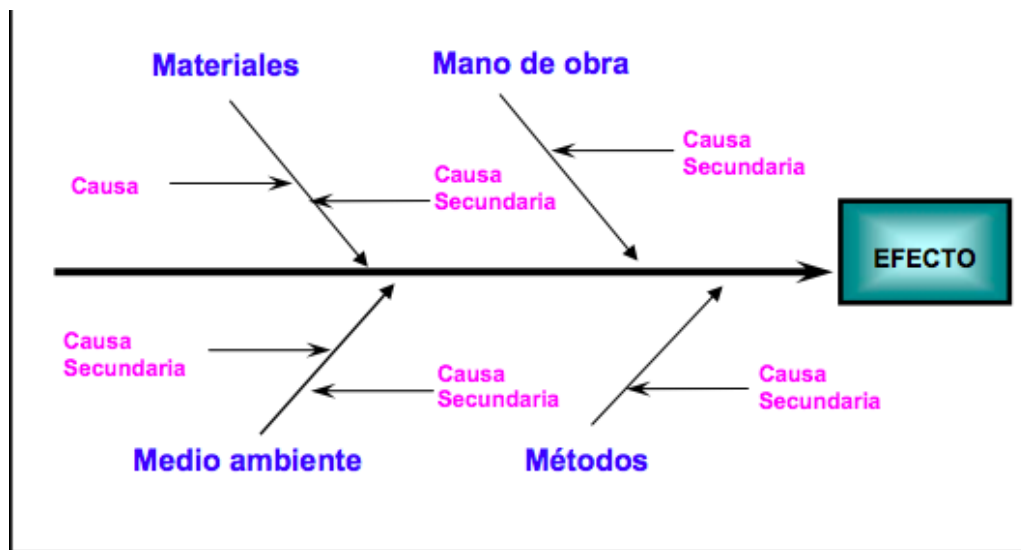
**9.2.5 Análisis Causa-Efecto (Espina de pescado / Diagrama de ishikawa).** Es una técnica gráfica que permite apreciar con claridad las relaciones entre un problema y las posibles causas que pueden estar contribuyendo para que esto ocurra. El efecto se considera como la característica de calidad que necesita mejora, las causas son los factores de influencia.

El diagrama Causa-Efecto puede utilizarse para: visualizar, en equipos, las causas principales y secundarias de un problema, la ampliación de la visión de las posibles causas de un problema, enriqueciendo su análisis y la identificación de soluciones, analizar procesos en búsqueda de mejoras, conducir a modificar procedimientos, métodos, costumbres con soluciones, muchas veces, más sencillas, mostrar el nivel de conocimientos técnicos que existen en la empresa sobre un determinado problema, etc.

Los pasos para construir el diagrama Causa-Efecto son los siguientes

1. Definir con precisión el fenómeno o falla (efecto).
2. Elaborar un listado de todos los aspectos que tienen o podrían tener influencia sobre la aparición de los fenómenos (causas).
3. Ordenar las causas del punto anterior, teniendo presente que algunas son causas principales y otras secundarias; que son las que provocan las causas principales.
4. Dibujar una flecha amplia de izquierda a derecha y escribir el efecto al final de la flecha, como se muestra en la figura 10
5. Esquematizar las causas principales que pudieran estar provocan las fallas, dirigiendo una rama en forma de flecha a la flecha principal (figura 2.8). Esquematizar sobre las ramas de las causas principales, las causas secundarias que influyen en ellas.<sup>16</sup>

Figura 10. Representación del esquema del Diagrama causa-efecto



Fuente: Ishinkawa

## 10. CAPÍTULO III

### 10.1 MARCO METODOLÓGICO

**10.1.1 Nivel de Investigación del Proyecto.** El nivel de investigación del proyecto se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno o problema planteado. El siguiente trabajo se sustentó en un proyecto de carácter descriptivo, debido a que comprende la descripción, registros, análisis e interpretación de la naturaleza actual y la composición o proceso de un fenómeno. Según Tamayo y Tamayo (1998), la investigación descriptiva trabaja sobre realidades de hecho y su característica fundamental es la de presentarnos una interpretación correcta.

**10.1.2 Diseño de Investigación del Proyecto.** El diseño del proyecto es la estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado. Este corresponde a la estructura del proyecto, a la forma como esta va a ser desarrollada, a la manera como la indagación es concebida a fin de obtener respuestas a las interrogantes.

En virtud de la realización del proyecto, la cual se realizó en su ambiente natural y su fuente fue de primera mano, se considera de Campo. Tal y como lo define Fideas Arias (1999), “La investigación de campo, consiste en la recolección de datos de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar las variables”.

Por otra parte, para el desarrollo de este trabajo, se obtuvieron y analizaron datos provenientes de materiales impresos u otros tipos de documentos.

**10.1.2.1 Población.** Este proyecto posee dos tipos de poblaciones, una población humana representada por el personal de las áreas de mantenimiento, planificación, operaciones y sala de control, los cuales fueron entrevistados con el objeto de recolectar información técnica necesaria para el estudio.

#### **10.1.2.2 Muestra**

- **Muestra humana**

La muestra humana se consideró igual a la población analizada, ya que esta es relativamente pequeña y representativa del estudio. Por tal motivo se considera una muestra intencional no probabilística.

- **Muestra de equipos**

Representada por el equipo a tratar en el área de la planta que resulto con nivel de criticidad crítico, dentro de las asignadas para el diseño del programa de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM.

**10.1.3 Técnicas Análisis del Proyecto** A continuación se mencionan y describen brevemente un conjunto de técnicas que fueron empleadas para la recolección y análisis de los datos operacionales y de diseño, del activo (Puente Grúa) que se incluyeron en el FMCA.

#### **10.1.4 Técnicas de Recolección de Datos**

**10.1.4.1 Observación directa.** A través de esta técnica se diagnosticó la situación actual del activo, en su entorno operacional, es decir, directamente en las áreas específicas de la planta de producción.

**10.1.4.2 Entrevistas.** Mediante este trabajo fue posible recopilar información técnica, de gran importancia para el desarrollo de este trabajo, por medio de conversaciones con el personal técnico, operadores de planta, personal de mantenimiento, entre otros.

#### **10.1.4.3 Técnicas de Análisis de Datos**

- **Análisis de Criticidad**

Este análisis, permitió la jerarquización de los componentes más críticos del puente grúa de la planta, según el impacto que producen a nivel de operaciones, seguridad y medio ambiente, logrando establecer una clasificación de las mismas, con el objeto de determinar los componentes más críticos del sistema.

- **Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF)**

Mediante este análisis se realizó un estudio exhaustivo de las causas más probables que generan una falla a los equipos pertenecientes a las áreas con criticidad, así como los efectos que dicho evento puede causar a la organización. El FMCA sirvió de base para la selección de las herramientas predictivas empleadas en la estrategia de mantenimiento.

## 10.2 DESARROLLO DEL TRABAJO

Este capítulo contiene la metodología empleada para determinar las causas de las fallas y modos de falla del puente Grúa de la Planta Palmas del Cesar S.A. Se realizó un análisis de falla del Puente grúa que se registra en un documento en Excel desde el años 2012, en el cual se ilustran parte que falla, tiempo de paro, tipo de falla, causa de la falla, entre otras variables, para así determinar la frecuencia de las fallas y la criticidad de las misma, al mismo tiempo se realizó un análisis del estado en el que se encuentra el puente grúa desde el año 2012 que se tienen datos hasta el momento de la ejecución del FMCA.

Por medio de Análisis de fallas en equipos se determinó el activo con más falla en la planta de aceite de Palma del Cesar S.A., el cual arrojó en primera instancia las Prensas, ya que estas presentan el número más alto de paros en la planta, esto se debe a que estas prensas están diseñadas para un capacidad en toneladas de 30 toneladas por horas, esta capacidad es la de prensado. Pero la capacidad de esterilización debe ser 1.5% la capacidad de prensado y actualmente se encuentra con una capacidad de 0,95% mucho menor de la que fue diseñada. La capacidad de esterilización se puede mejorar pero hay que hacer un rediseño de la planta, lo cual representan unos costos muy altos y que la empresa no está dispuesta a hacerlo, por este motivo en la actualidad se está trabajando en el montaje de una nueva Planta de Beneficio en la que estos inconvenientes de diseño están solucionados.

Como método la empresa tomó la decisión de ampliar las instalación, ya que su producción aumentó actualmente. Como segundo equipo que presenta mayor número de paros es el Puente Grúa, el cual es el objetivo principal de este documento.

Con la aplicación del Principio de Pareto se determinó en el puente grúa las fallas y se analizaron en detalle las posibles causas de las fallas del mismo. En relación a esto se plantearon propuestas para disminuir estas fallas y se elaboró un manual de instrucción e inspección para ser utilizado durante el mantenimiento de los sellos mecánicos.

**10.2.1 Revisión Bibliográfica.** Esta es la primera etapa en la elaboración del trabajo de grado, contempla la búsqueda, revisión y recopilación de información de diferentes bibliografías como son: antecedentes de trabajos similares, manuales de Puente Grúa, información de la red de la empresa (intranet), tesis y textos; así como, entrevistas hechas al personal de inspección y mantenimiento que aportó información necesaria debido a su experiencia laboral. Las entrevistas se realizaron de forma personal, informal y estructurada al personal de la planta encargada del mantenimiento: ingenieros mecánicos, técnicos en mantenimiento mecánico, supervisores y técnicos instrumentistas.

**10.2.2 Diagnostico físico de los componentes de Puente Grúa.** En esta etapa se hizo una reseña general del proceso en el cual interviene el activo escogido para este estudio propuesto, unido a la descripción de la circunstancia actual, a nivel físico, mecánico y operacional, en la que se encuentra dicho equipo. Para lograr esto, se emplearon técnicas como la observación directa de los activos en su entorno operacional, entrevistas con el personal técnico, operadores y mantenedores de los activos, revisión de variables de proceso, entre otros.

**10.2.3 Inventario de los componentes del puente grúa, con sus características técnicas y operativas.** Mediante la revisión de archivos, planos, información y recomendación de algunos proveedores, entre otros, se recolectó una serie de datos técnicos, detalles de diseño y documentos como data sheet de cada uno de los componentes del activo en estudio. Toda esta información fue de gran ayuda al momento de monitorear y analizar todas las variables estudiadas

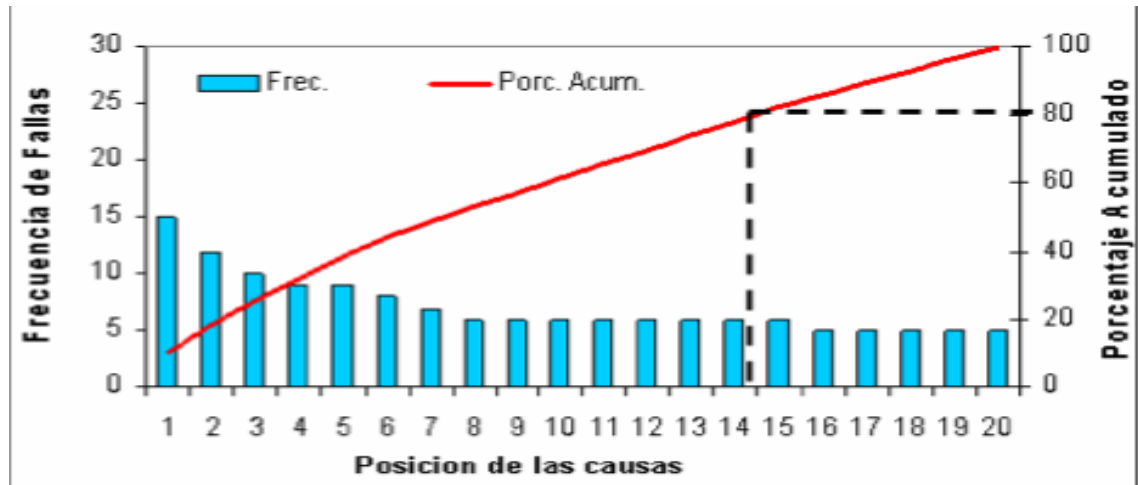
para determinar la condición de los activos, debido a que representan uno de los aspectos claves al momento de dar un diagnóstico acertado. Estos datos fueron registrados en gráficos y tablas para facilitar su manejo y posterior análisis.

**10.2.4 Condiciones Operativas del Puente Grúa.** En esta sección se estudiaron las condiciones en las que se encontraba operando el Puente Grúa, como son: fruto esterilizado, temperatura del Producto, Forma como el operador manipula el equipo, tiempo descargue del fruto de la vagoneta, para esto tiene que realizar tres movimientos un desplazamiento horizontal, vertical y de rotación. También se comprobaron algunas de las condiciones establecidas por el manual de operación del Puente Grúa para su uso.

**10.2.5 Determinar cuál es el equipo más crítico, utilizando una matriz de criticidad.** Para la determinación de los elementos más críticos del puente grúa se tomaron los datos de experiencia de los operadores y del jefe de mantenimiento el cual en base a su experiencia informo que el tiempo en el cual el equipo puede estar fuera de funcionamiento y con ayuda del software IRCM's identificamos claramente la criticidad de cada uno de los componentes.

**10.2.6 Clasificación de la Falla más constante halladas en el puente Grúa, por el Principio de Pareto.** Para determinar las Falla más críticas en el puente grúa durante todo el proceso, se procedió analizar en el documento de Excel que tipo de falla era y a ordenar de manera descendente cuál de esos tipos de fallas era el más frecuente. Finalmente para construir el diagrama de Pareto se obtuvo la frecuencia de falla y porcentaje acumulado de fallas del Puente Grúa.

Figura 11. Representación del esquema del Diagrama de Pareto



Fuente: Ronald Thorres (2007)

**10.2.7 Determinación de las Causas de Fallas Y Modos de Fallas del Puesto Grúa Aplicando el Software IRCM's.** Luego de clasificar y desarrollar en el software, se procedió a determinar cuáles son las causas que provocan las fallas en el Puesto Grúa, para ello se aplicó la técnica del diagrama causa-efecto al puesto Grúa.

Figura 12. Esquema general FMCA

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	 <b>MODELO DE ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS Y EFECTOS EN EL PUESTO GRÚA DE UNA PLANTA</b> <b>EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA.</b> <b>MODOS DE FALLA, EFECTOS Y ANÁLISIS DE CRITICIDAD - FMECA</b> 													
2														
3														
4	EQUIPO													
5														
6														
7	<b>COMPONENTE</b>		<b>FUNCIÓN</b>		<b>FALLA FUNCIONAL</b>		<b>MODO DE FALLA</b>		<b>EFECTOS DE FALLA</b>			<b>DETECCION DE LA FALLA</b>	<b>SEVERIDAD</b>	<b>FRECUENCIA</b>
8	Descripción		Descripción		Descripción		Descripción		Local	Siguiete	Final	DE LA FALLA		
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														

Fuente: Software IRCM's

**10.2.8 IRCM's Software.** Para la realización de este punto del proyecto se utilizó la herramienta o Software IRCM's el cual describimos a continuación, el cual nos arroja los informes de FMECA.

➤ FMI-Failure Mode Indicator, “Indicador de Modo de Falla”: Un FMI consta de tres elementos:

- Un número de la función, o sea la función asociada a este modo de falla.
- Una letra de falla funcional, es decir la falla funcional asociada a esta función.
- Un número de 2 dígitos.

Por ejemplo: 06-A-01, donde 06 identifica la función del equipo en particular, A significa que es la primera falla funcional del anterior y 01 primer modo de falla identificado

Se debe ser cuidadoso a la hora de ingresar estos datos ya que la aplicación tiene la capacidad de asignar automáticamente los 2 últimos dígitos del FMI, sin embargo el usuario puede modificarlo a su gusto, por lo que se podrían presentar duplicaciones.

- Failure Mode Description, “Descripción del Modo de Falla”: Es una condición física específica que puede resultar en una falla funcional. La declaración del Modo de Falla debe incluir una descripción del mecanismo de fallo (por ejemplo, fatiga), siempre que esto sea posible.
- Local Effects, “Efectos locales”: La mayoría de los FMECA identifica 3 niveles de efectos de falla: local, próximo, elemento final. Estos tres niveles son suficientes para la mayoría de los análisis, pero se deben agregar o suprimir niveles cuando se necesite.

El efecto de falla es descrito como el impacto que una falla funcional tiene en un equipo bajo análisis, los elementos que actúan en la función y la capacidad del equipo. Un efecto de falla debe ser descrito en términos de daño físico, incluyendo los primarios y los secundarios que pueden ocurrir.

*Ej:* Descripción de un efecto de falla.

*Local Effect* - Efecto local: fuga de bomba de fluido hidráulico

*Next Higher Effect* - efecto próximo superior: El sistema hidráulico de presión baja debajo de 1000psi, degradando los controles de vuelo.

*End Effects*-Efecto Final: Misión Abortada.

- Detection Method, “Método de detección”: La detección de la falla es el medio por el cual las fallas funcionales llegan a ser evidentes y como sus modos de falla son identificados.

Los métodos de detección de falla caen en 2 categorías:

1. Los que son usados por el operador para detectar fallas funcionales o efectos de las fallas funcionales.
2. Los que son empleados por el técnico de mantenimiento para determinar qué tipo de avería se produjo a causa de la falla funcional.

Los métodos utilizados por el operador para detectar fallas funcionales variaran de modo de fallo a modo de fallo debido a los diferentes daños secundarios que pueden ser causados por cada modo de fallo.

Los métodos de detección de modos de falla usados por el operador incluyen señales de precaución visuales (luces, medidores, etc.), auditivas (bocinas, timbres) y efectos operativos (Vibraciones, humo, ruido, pérdida de control). Esta información es usada en el proceso de Análisis RCM para determinar si el operador puede detectar la falla funcional mientras el equipo está en el desempeño normal de sus funciones.

- Severity class, “Clases de severidad”: Se trató en un numeral del setup.
- MTBF, Mean Time Between Failures, “Promedio de tiempo entre fallas”: Es una medida básica de confiabilidad. Para el propósito de RCM, MTBF puede ser definido como el inverso de la tasa de falla de un modo de falla en particular durante un periodo específico.

Los valores MTBF listados en el FMECA deben ser claramente definidos para identificar sus fuentes y periodos de ejecución, con fines como:

- Análisis para anticipar modos de fallo.
  - Determinar intervalos de tareas de búsqueda de fallas.
  - Evaluar opciones costo/efectivas para enfrentar los modos de falla.
- Part Number of failed item. Número de pieza del elemento con falla.
- Operating Phase, “Fase de Operación”: Es posible que algunas funciones, fallas o efectos, solo se producen, o se producen de una manera diferente en cierto escenario de operación. El FMECA debe especificar claramente cuando las funciones, los modos de falla o los efectos son dependientes de circunstancias específicas, ambientes o fases de operación.

Las diferentes fases de operación se deben ingresar previamente o en el transcurso del estudio en el Setup, ya que para este ítem se muestra un menú desplegable.

- Historical Revisions of Failures Modes, “Revisión Histórica de los Modos de Fallas”: El IRCMS proporciona la capacidad de editar y una forma de guardar información histórica cuando las revisiones deben ser hechas para el MCC. Si el análisis ha sido aprobado, y una revisión es innecesaria, la herramienta permite marcar el análisis actual como Histórico y crear el análisis revisado así:
- Se selecciona el modo de falla deseado
  - Se le da click izquierdo y se escoge “Mark As Historical”

La información antigua es guardada por el IRCMS y su estado es cambiado a “Historical”, inmediatamente aparece una copia de la información anterior y se abre para revisión.

El último segmento del FM debe ser modificado para indicar la revisión así:

Si el modo de modo de falla 06-A-01 es marcado histórico, el que queda en revisión actual debe ser 06-A-01A.

- Locking and Unlocking Failure Modes, “Bloquear y Desbloquear Modos de Falla”: Los modos de falla pueden ser bloqueados por usuarios con algunos derechos, pero solo el usuario que practicó la acción o el “Signoff” los pueden desbloquear.
- Renumbering Failure Modes, “Renumerar los Modos de Falla”; Se puede renumerar los modos de fallo en la ventana FMECA, escogiendo la falla funcional, y con click derecho se elige “Renumber Failure Modes”.

#### 1. *Opciones en la ventana del Modo de Falla.*

##### a. *Failure Consequences.*

- Evident, “Evidente”: Las fallas funcionales se pueden enmarcar en 2 categorías: las que son evidentes para el personal o el operador, y las que son ocultas. Para que una falla funcional sea clasificada como evidente, esta debe ser notable para el operador.
- Hidden, “Oculta”: Algunas funciones son normalmente inactivas, y solo llegan a activarse con la ocurrencia de petición de una acción.

- Safety/Environmental, Seguridad/Ambiental:

Es cuando la pérdida de la función o el daño secundario de un modo de fallo en particular tienen un efecto adverso en la seguridad de la operación o produce una serie violación a las condiciones ambientales.

- Operational/Economic; Operacional/Económico:

Cuando la pérdida de la función o el daño secundario afectan estos campos.

- a. Service/Lubrication task, “Servicio de tareas de lubricación” :

- Task ID, “Identificación de tarea”: Es un único identificador de tarea, útil cuando un modo de fallo tiene más de una opción de tarea efectiva.
- Task Description, “Descripción de la tarea”: Descripción de la tarea, identificar en esta opción el equipo al cual se le realiza el mantenimiento, que es lo que se está haciendo, condiciones específicas de búsqueda y medida.
- Preliminary Task Interval, “Intervalo de tarea preliminar”: Es el intervalo que viene del análisis de los datos del modo de fallo.
- Preliminary LOM: Es el nivel más bajo de mantenimiento que es requerido para desempeñar la tarea.
- Packaged Task Interval, “Intervalo de tareas de empaquetado”: Es el intervalo que resulta de considerar todos los mantenimientos preventivos requeridos por un equipo, y escogiendo el mejor intervalo en el cual empaquetar y ejecutar las tareas.

- Packaged LOM: Es el nivel de mantenimiento preventivo que desarrollaran en el intervalo de tareas de empaquetado requerido.
- Task Man Hours: Es la cantidad de horas que una persona requiere para desarrollar una tarea preventiva. En la mayoría de los casos estas no incluyen tiempos de reparación.
- Task Material Cost, “Costo del Material para la Tarea.”: Es el costo de los materiales necesitados para desarrollar una tarea preventiva. En la mayoría de los casos esto no incluye materiales requeridos para reparaciones.
- Non-Recurring Cost, “Costos no recurrentes”: Cuando se realiza una tarea de mantenimiento, esta conlleva gastos de equipos de prueba, capacitación de personal, cambios en la documentación, etc.

El costo de estos factores son los que se ingresan en este campo.

- Elapsed Maintenance Time, “Tiempo de Mantenimiento Transcurrido”: Es el tiempo requerido para completar la tarea asumiendo todo el soporte necesario para hacerla posible. NO incluye tiempos de espera debido a factores alternos.
- Cost of one SLTask, “Costo de una Tarea de Servicio de Lubricación”: Costo de ejecutar una tarea de servicio o lubricación. IRCMS Proporciona el costo de las tareas basado en los datos entrados en esta pestaña y en la de setup.
- Task Accepted, “Tarea Aceptada”: Indica si esta tarea fue seleccionada o se empezó su proceso. Esta decisión es hecha en Package/Summary o en Cost Analysis e indica si todas las opciones han sido consideradas. Si se acepta la tarea, en Project/Summary aparece un marcador abajo en la pantalla de la tarea individual.

b. On-Conditions Task, “Tarea por Condición”.



- Potencial Failure Condition, “Condición de Falla potencial”: Es un nivel de degradación, específico y detectable. Un modo de falla puede presentar muchas características de degradación diferentes que pueden ser usadas para revelar una potencial condición de falla.

Por ejemplo hay varios indicadores para el modo de falla desgaste, la cantidad de material perdido por el desgaste, intensidad de color asociada con el uso, etc.

**10.2.9 Hacer un análisis de las posibles causas de las paradas no programadas del equipo.** Se estudiara el documento de registro de fallas obtenido en la empresa Palmas del Cesar S.A. para determinar cuáles son las posibles causas de falla, en este punto se ilustraran gráficamente las fallas.

**10.2.10 Proponer un plan de mantenimiento que contrarreste las fallas.** En este punto del trabajo se propondrá una estrategia de mantenimiento que arrojará el programa después de haber ingresado la información obtenida tanto por el personal de mantenimiento como el personal de operación, el cual estará expresado en frecuencia, descripción de la actividad, equipo y responsable de ejecutar la actividad

Tabla 2. Esquema General Planteamiento Estrategia de mantenimiento

1			<b>MODELO DE ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS Y EFECTOS EN EL PUENTE GRÚA DE UNA PLANTA</b>							
2			<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO</b>							
3										
4	EQ									
5										
6										
7	CO	COGIDO		ACTIVIDAD	INTER	UNIDA	HORA	ESPE	EXPERTICIA	TIPO DE
8	Des	Modo falla	Tarea	Descripción	VALO	D	S-	CIALI		TAREA
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										

Fuente: Propia

**10.2.11 Obtener criterios objetivos que permitan identificar plenamente las fallas potenciales y ocultas del puente grúa.** Luego de clasificar todas las fallas del Puente Grúa, se procedió a determinar cuáles son las causas que provocan las fallas en el mismo se aplicó la técnica del diagrama causa-efecto.

La Figura 3.2 mostrada a continuación plantea el diagrama Causa-Efecto con las hipótesis que se analizaron para determinar las causas de falla en el puente grúa. Este diagrama comprende seis estudios: Métodos, Equipos, Materiales, Mediciones, Medio de operación y Mano de Obra.

## 11. CAPITULO IV

### 11.1 ANÁLISIS Y RESULTADOS

**11.1.1 Diagnostico físico de los componentes de Puente Grúa.** A continuación se presentan, describen y analizan los principales hallazgos identificados durante la intervención de diagnóstico llevada a cabo en el puente grúa, tomando como base el estado de los componentes.

- **Estrategia de Mantenimiento:** no existe un Software para gestionar el mantenimiento en toda la empresa PALMAS DEL CESAR S.A.

La estrategia principal de mantenimiento se basa en acciones correctivas, Preventivas, Paradas mensuales de Planta para intervenir la totalidad de los equipos y componentes.

- **Administración y Organización:** la función de mantener el puente grúa en las instalaciones de la PLANTA PALMAS DEL CESAR S.A. actualmente se lleva a cabo a través de personal calificado y experimentado en cada una de las diferentes especialidades, el nivel de integración entre las especialidades es susceptible de mejorarse.

Las políticas para intervenir los equipos, deben determinarse claramente para cada especialidad, así mismo, se deben definir los criterios y procedimientos para ello.

- **Equipo Humano:** la Coordinación de mantenimiento de la Planta de Beneficio PALMAS DEL CESAR S.A., cuenta con un equipo de personal maduro con alto

grado de identidad, adecuada disposición frente al cambio, actitud positiva y conocimiento aceptable de su rol y responsabilidad, deseo de transformar la organización para hacerla más eficiente y efectiva, expectativas por un uso más eficiente de la tecnología y de las herramientas modernas de gestión y ejecución del mantenimiento.

Existe entendimiento acerca del significado y la importancia de soportarse en un sistema computarizado de gerencia de mantenimiento (CMMS), para la gestión de mantenimiento, se documenta la información en el sistema actual parcialmente.

- **Planes Operativos y de Mantenimiento:** los planes operativos de mediano y largo plazo, son desconocidos por el personal de mantenimiento, no son el insumo básico para la elaboración de los planes de mantenimiento, por ende no están integrados con estos y no existen esquemas formalmente establecidos de negociación con operaciones, ya sean estos anuales, mensuales, semanales o diarios que permitan integrar de la mejor forma las actividades de operar y mantener.
- **Plan de Acción:** la administración y organización establecida para mantener las facilidades operativas de la PLANTA PALMAS DEL CESAR S.A., centrará su gestión en formular y ejecutar de manera inmediata la estrategia de mantenimiento basado en ANÁLISIS DE MODOS DE FALLAS Y EFECTOS con ayuda del software IRCM's el cual nos ayudó a mejorar la confiabilidad y disponibilidad del equipo.
- **Técnicas de Mantenimiento:** la inspección periódica de equipos y el monitoreo de condiciones de los mismos como técnicas institucionalizadas de mantenimiento, solo se producen de manera aleatoria en algunas áreas y para algunos equipos, igual sucede con los ensayos no destructivos (NDT).

- **Plan de Acción:** a partir de la estrategia de mantenimiento, la cual se definió y la cual fue comunicada a todo el personal como punto de partida del Plan estratégico de mantenimiento para el 2013, se determinaron las técnicas de mantenimiento a utilizar y se establecieron los planes que permita, de manera gradual, su implementación.

**11.1.2 Inventario de los componentes del puente grúa, con sus características técnicas y operativas.** La empresa no cuenta con un programa de mantenimiento que manéjela información de repuestos entre otras actividades de mantenimiento.

En esta etapa se realizó un inventario de los componentes del puente grúa con la ayuda del personal de mantenimiento, personal operativo, también se tomó como base los elementos analizados en el FMCA para así ayudar a plantear un stop mínimo de repuestos en bodega y así garantizar la permanencia en bodega.

- **Especificaciones Técnicas:** la obtención de las especificaciones técnicas del puente grúa, se realizó con la ayuda del personal de mantenimiento y de los datos de placas de alguno de sus componentes y catálogos de los fabricantes. Se elaboró una tabla donde se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:
  - Ubicación en el proceso.
  - Marca y modelo.
  - Tipo de Motor eléctrico.
  - Tipo de guaya.
  - Tipo de válvulas neumáticas.
  - Tipos de mangueras.
  - Tipo de reductores.
  - Tipos de engranajes.
  - Tipo de uniones.

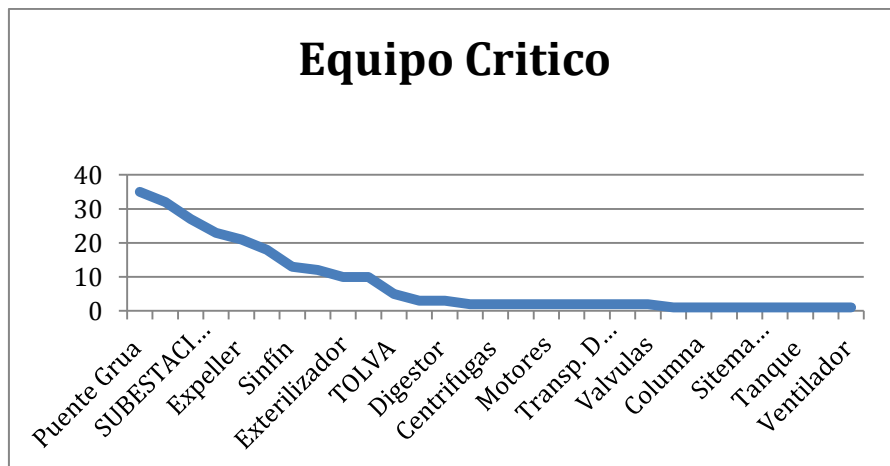
- Tipo de acoples.

## 11.2 DETERMINAR CUÁL ES EL EQUIPO MÁS CRÍTICO, UTILIZANDO UNA MATRIZ DE CRITICIDAD

Debido a la cantidad de equipos presentes en el área de elaboración y a la poca información registrada en el reporte de fallas de la planta sobre la descripción del tipo de falla presente en los equipos y el tiempo que tiene cada equipos para salir de operación y no afectar el proceso de la planta, se le aplicó el diagrama de Pareto para así determinar el equipo más crítico, en función de la frecuencia de las fallas, también se obtuvo que el puente grúa solo puede dejar de funcionar en la planta por un lapso de 20 minutos, ya que las tolvas de almacenamiento y distribución solo demoran ese lapso de tiempo para vaciar todo el producto y quedar la planta se materia prima para seguir su proceso.

En el siguiente grafico se muestra lo anterior

Grafica 2. Diagrama de Pareto Para equipo Crítico en la planta



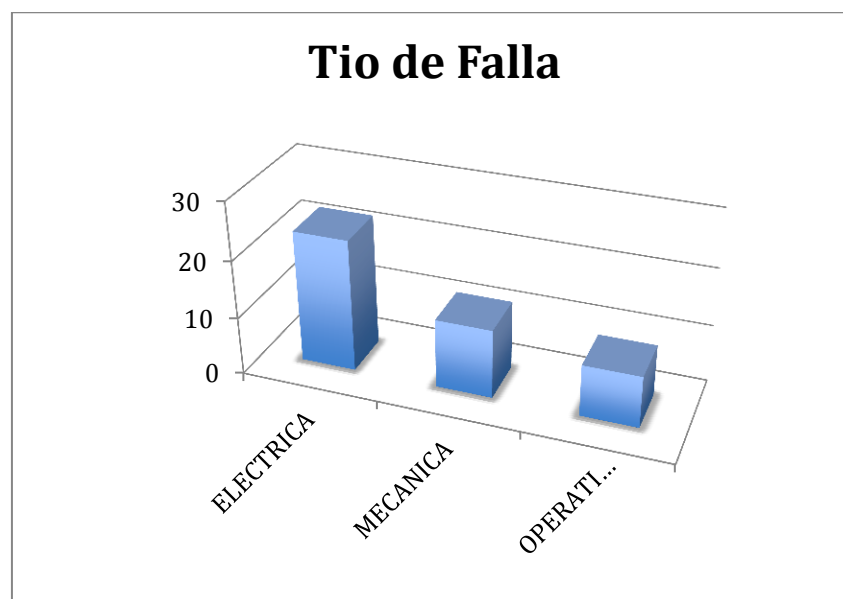
Fuente: Propia

Con base a la gráfica anterior se toma la decisión de hacer un análisis minucioso de los componentes más críticos del puente grúa, con esto se pudo identificar la criticidad y la prioridad en la ejecución de la orden de trabajo para el mismo y para analizar más a fondo los modos de fallos para así intervenirlos.

### 11.3 CLASIFICACIÓN DE LA FALLA MÁS CONSTANTE HALLADAS EN EL PUENTE GRÚA, POR EL PRINCIPIO DE PARETO.

Para determinar las Falla más críticas en el puente grúa durante todo el proceso, se procedió analizar en el documento de Excel que tipo de falla era y a ordenar de manera descendente cuál de esos tipos de fallas era el más frecuente. Finalmente para construir el diagrama de Pareto se obtuvo la frecuencia de falla y porcentaje acumulado de fallas del Puente Grúa.

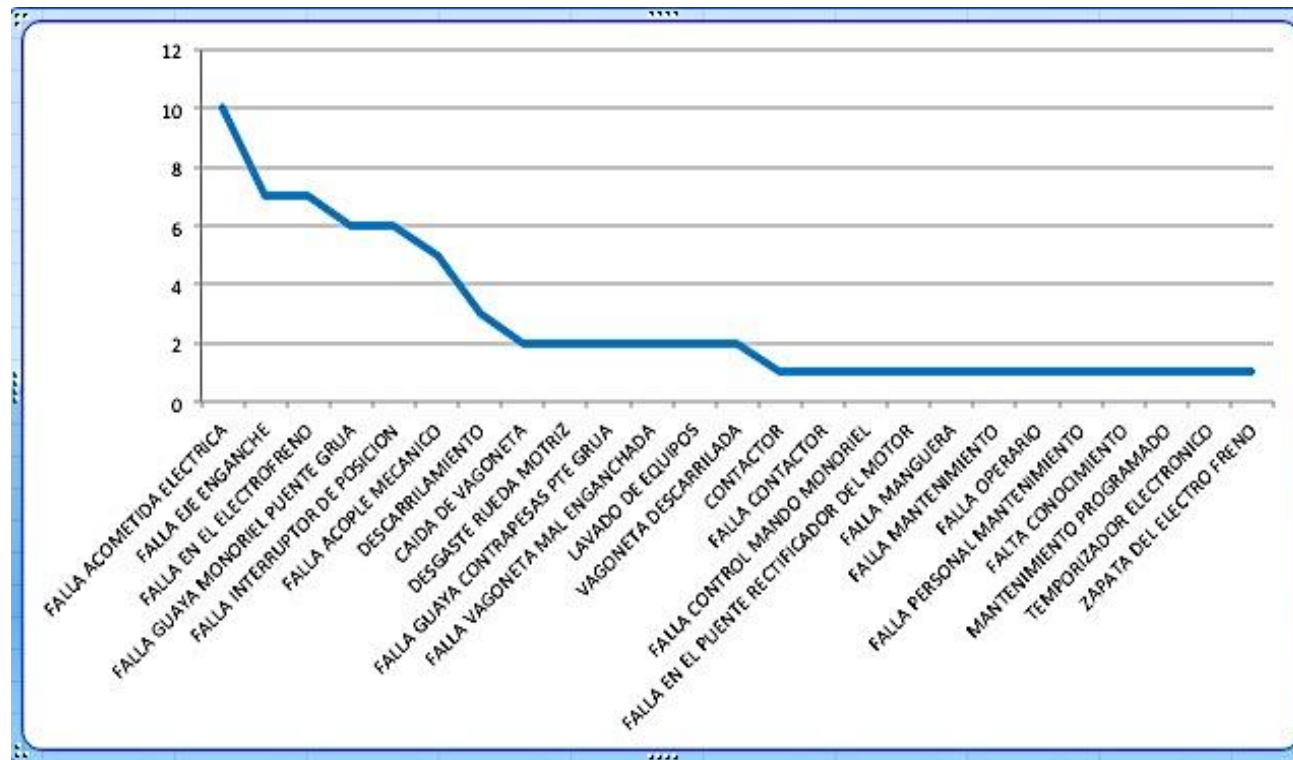
Grafica 3. Clasificación de la Falla en el Puente grúa



Fuente: Propia

## TIPO DE FALLA EN EL PUENTE GRÚA

Grafica 4. Diagrama de Pareto Para Identificar la falla más critica





Fuente: Propia

#### **11.4 DETERMINACIÓN DE LAS CAUSAS DE FALLAS Y MODOS DE FALLAS DEL PUENTE GRÚA APLICANDO EL SOFTWARE IRCM'S**

Luego de clasificar y desarrollar en el software, se procedió a determinar cuáles son las causas que provocan las fallas en el Puente Grúa, para ello se aplicó la técnica del diagrama causa-efecto.

FMCA

Tabla 5. Análisis de los modos de falla del Sistema de control Puente Grúa

 <b>MODELO DE ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS Y EFECTOS EN EL PUENTE GRÚA DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA.</b> 															
<b>MODOS DE FALLA, EFECTOS Y ANALISIS DE CRITICIDAD - FMECA</b>															
EQUII															
7	COMPONENTE		FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA			EFECTOS DE FALLA			DETECCION DE LA FALLA	SEVERIDAD	FRECUENCIA
	8	Descripción		Nº	Descripción		Nº	Descripción			Local	Siguiente			
9	1	Sistema de Control	01	Controlar las funciones de agarre, levante y desplazamiento del Puente Grúa	A	Que no controle la funciones	01	Switch de inicio Atascado	No arranca Puente Grúa			Paro Planta	5-N/a	3- Mayor	240,00/A
10	1	Sistema de Control	01	Controlar las funciones de agarre, levante y desplazamiento del Puente Grúa	A	Que no controle la funciones	02	Cables zulfatados	Corto circuito en el sistema	Paro del Puente Grúa	Para Planta	3- Visual	3- Mayor	240,00/A	
11	1	Sistema de Control	01	Controlar las funciones de agarre, levante y desplazamiento del Puente Grúa	A	Que no controle la funciones	03	Contaminacion Caja Principal de mando	corto circuito en la caja de mando	Paro Puente Grúa	Paro Planta	5-N/A	2- Critica	480,00/A	
12	1	Sistema de Control	01	Controlar las funciones de agarre, levante y desplazamiento del Puente Grúa	A	Que no controle la funciones	04	Dano en el Extractor de aire de la caja de mando	Contaminacion de la caja de mando	sobrecalentamiento	Paro Puente Grúa	5-N/A	3- Mayor	480,00/A	


Fuente: Propia

Tabla 6. Análisis de los modos de falla del Puente Principal Puente Grúa

MODELO DE ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS Y EFECTOS EN EL PUEBTE GRÚA DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA.												
MODOS DE FALLA, EFECTOS Y ANÁLISIS DE CRITICIDAD - FMECA												
EQUIP												
COMPONENTE	Nº	FUNCIÓN	Nº	FALLA FUNCIONAL	Nº	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA			DETECCION DE LA FALLA	SEVERIDAD	FRECUENCIA
Descripción		Descripción		Descripción			Local	Siguiente	Final			
2	Puente Principal	01 Permitir el deslizamiento de 4 mts en direccion horizontal	A	Que no permita el deslizamiento horizontal	01	Desgaste de las vigas			Paro Puente Grúa	3-Visula, presenta juego en el desplazamient	2- Critica	2.880,00/A

Fuente: Propia

Tabla 7. Análisis de los modos de falla del Ruedas Puente Grúa

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
 <b>MODELO DE ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS Y EFECTOS EN EL PUENTE GRÚA DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA.</b> 													
<b>MODOS DE FALLA, EFECTOS Y ANALISIS DE CRITICIDAD - FMECA</b>													
EQUII													
COMPONENTE	Nº	FUNCIÓN	Nº	FALLA FUNCIONAL	Nº	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA			DETECCION DE LA FALLA	SEVERIDAD	FRECUENCIA	
							Local	Siguiente	Final				
Descripción		Descripción		Descripción									
2.2	Sistema Motriz	01	Transferir la portencia de 7 hp al sistema										/
2.2.1	Ruedas	01	Permitir el facil deslizamiento por las vigas del puente grua	A	Que no permita el facil deslizamiento	01	Desgaste de las ruedas	No desliza el puente grua	Sore esfuerzo del motor	paro Puente Grua	3- Visual	3- Mayor	5.600,00/A
2.2.2	Transmisión	01	Transmitir la potencia del motor a las ruedas para el desplazamiento	A	Que no trasmita la potencia a las ruedas	01	Engranages Desajustados	Sobre esfurmo en el motor		Paro Puente Grua	3-Auditivo, se escucha un golpe	2- Critica	2.880,00/A
2.2.2	Transmisión	01	Transmitir la potencia del motor a las ruedas para el desplazamiento	A	Que no trasmita la potencia a las ruedas	05	Fractura de rodamientos por sobrecarga	Excecco movimiento	Mal arrastre	Paro motor	3- Auditiva, Visual	2- Critica	5.000,00/A


Fuente: Propia

Tabla 8. Análisis de los modos de falla del Motor 25 hp Puente Grúa

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	MODELO DE ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS Y EFECTOS EN EL PUENTE GRÚA DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA.													
2	DE PALMA AFRICANA.													
3	MODOS DE FALLA, EFECTOS Y ANALISIS DE CRITICIDAD - FMECA													
4	EQUIP													
5	EQUIP													
6	EQUIP													
7	COMPONENTE	Nº	FUNCION	Nº	FALLA FUNCIONAL	Nº	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA			DETECCION DE LA FALLA	SEVERIDAD	FRECUENCIA	
8	Descripción		Descripción		Descripción			Local	Siguiente	Final				
9	2.1	Motor de Translacion	01	Generar 25 Hp para mover la carga a una velocidad constante	A	Que no genere 2.5 Hp para mover la carga	01	Rotura Acople	paro motor		paro motor	Inspeccion visual	2- Critica	8.000,00/A
10	2.1	Motor de Translacion	01	Generar 25 Hp para mover la carga a una velocidad constante	A	Que no genere 2.5 Hp para mover la carga	02	Cortocircuito en la caja de bornera por sulfatacion	No enciende motor		Paro motor	Medir las variaciones de voltaje a la entrada y	2- Critica	4.880,00/A
11	2.1	Motor de Translacion	01	Generar 25 Hp para mover la carga a una velocidad constante	A	Que no genere 2.5 Hp para mover la carga	03	Rotura del devanado del motor	No hay movimiento		Paro compresor	Medir el aislamiento	2- Critica	17.520,00/A
12	2.1	Motor de Translacion	01	Generar 25 Hp para mover la carga a una velocidad constante	A	Que no genere 2.5 Hp para mover la carga	04	Rotura del eje	No hay movimeinto		Paro motor	3-Visual, Gira solo el motor	2- Critica	2.500,00/A
13	2.1	Motor de Translacion	01	Generar 25 Hp para mover la carga a una velocidad constante	A	Que no genere 2.5 Hp para mover la carga	05	Fractura de rodamientos por sobrecarga	Excecivo movimiento	Mal arrastre	Paro motor	3- Auditiva, Visual	2- Critica	5.000,00/A
14	2.1	Motor de Translacion	01	Generar 25 Hp para mover la carga a una velocidad constante	A	Que no genere 2.5 Hp para mover la carga	06	Fusible del cable alimentacion fundido	No hay encendido	Paro motor	Paro Puente Grua	5-N/A	3- Mayor	50.000,00/A
15	2.1	Motor de Translacion	01	Generar 25 Hp para mover la carga a una velocidad constante	A	Que no genere 2.5 Hp para mover la carga	07	Sobre calenetamiento del motor	Paro del Motor		Paro Puente Grua	5-N/A	2- Critica	5.000,00/A

Fuente: Propia

Tabla 9. Análisis de los modos de falla de la Transmisión Puente Grúa

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
 <b>MODELO DE ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS Y EFECTOS EN EL PUENTE GRÚA DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA.</b> 													
<b>MODOS DE FALLA, EFECTOS Y ANALISIS DE CRITICIDAD - FMECA</b>													
EQUII													
COMPONENTE	Nº	FUNCIÓN	Nº	FALLA FUNCIONAL	Nº	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA			DETECCION DE LA FALLA	SEVERIDAD	FRECUENCIA	
							Local	Siguiente	Final				
2.2	Sistema Motriz	01	Transferir la portencia de 7 hp al sistema										/
2.2.1	Ruedas	01	Permitir el facil deslizamiento por las vigas del puente grua	A	Que no permita el facil deslizamiento	01	Desgaste de las ruedas	No desliza el puente grua	Sore esfuerzo del motor	paro Puente Grua	3- Visual	3- Mayor	5.600,00/A
2.2.2	Transmisión	01	Transmitir la potencia del motor a las ruedas para el desplazamiento	A	Que no trasmita la potencia a las ruedas	01	Engranages Desajustados	Sobre esfurmo en el motor		Paro Puente Grua	3-Auditivo, se escucha un golpe	2- Critica	2.880,00/A
2.2.2	Transmisión	01	Transmitir la potencia del motor a las ruedas para el desplazamiento	A	Que no trasmita la potencia a las ruedas	05	Fractura de rodamientos por sobrecarga	Excecvio movimiento	Mal arrastre	Paro motor	3- Auditiva, Visual	2- Critica	5.000,00/A

Fuente: Propia

Tabla 10. Análisis de los modos de falla del polipasto Puente Grúa

 <b>MODELO DE ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS Y EFECTOS EN EL PUENTE GRÚA DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA.</b> 													
<b>MODOS DE FALLA, EFECTOS Y ANALISIS DE CRITICIDAD - FMECA</b>													
EQUI													
Nº	COMPONENTE		FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA			DETECCION DE LA FALLA	SEVERIDAD	FRECUENCIA
	Descripción	Nº	Descripción	Nº	Descripción	Nº		Local	Siguiente	Final			
3	Polipasto	01	facilitar el izaje de la cuchara	A	que no facilite el izaje de la cuchara	01	Desgaste de polea			Paro Puente Grúa		0,00/	
3	Polipasto	01	facilitar el izaje de la cuchara	A	que no facilite el izaje de la cuchara	02	rotura de la guaya			Paro Puente Grúa	3-Visual	1- Catastrofica	10.000,00/A



Fuente: Propia

Tabla 11. Análisis de los modos de falla del Motor 4hp Puente Grúa

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	MODELO DE ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS Y EFECTOS EN EL PUENTE GRÚA DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE													
2	DE PALMA AFRICANA.													
3	MODOS DE FALLA, EFECTOS Y ANALISIS DE CRITICIDAD - FMECA													
5	EQUII													
7	COMPONENTE	Nº	FUNCIÓN	Nº	FALLA FUNCIONAL	Nº	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA			DETECCION DE LA FALLA	SEVERIDAD	FRECUENCIA	
8	Descripción		Descripción		Descripción			Local	Siguiente	Final				
9	2.2.3	Motor reductor	01	Generar 4 Hp para mover la carga a una velocidad constante	A	Que no genere 4 Hp para mover la carga	01	Rotura Acople	No hay Transferencia de Potencia	Paro Motor	Paro Puente Grúa	Inspeccion visual	2- Critica	8.000,00/A
10	2.2.3	Motor reductor	01	Generar 4 Hp para mover la carga a una velocidad constante	A	Que no genere 4 Hp para mover la carga	02	Cortocircuito en la caja de bornera por sulfatacion	No enciende motor	Paro Motor	Paro Puente Grúa	Medir las variaciones de voltaje a la entrada y	2- Critica	4.880,00/A
11	2.2.3	Motor reductor	01	Generar 4 Hp para mover la carga a una velocidad constante	A	Que no genere 4 Hp para mover la carga	03	Rotura del devanado del motor	No hay movimiento	Paro Motor	Paro Puente Grúa	Medir el aislamiento	2- Critica	17.520,00/A
12	2.2.3	Motor reductor	01	Generar 4 Hp para mover la carga a una velocidad constante	A	Que no genere 4 Hp para mover la carga	04	Rotura del eje	No hay movimeinto	Paro motor	Paro Puente Grúa	3-Visual, Gira solo el motor	2- Critica	2.500,00/A
13	2.2.3	Motor reductor	01	Generar 4 Hp para mover la carga a una velocidad constante	A	Que no genere 4 Hp para mover la carga	05	Fractura de rodamientos por sobrecarga	Excecivo movimiento	Mal arrastre	Paro Puente Grúa	3- Auditiva, Visual	2- Critica	5.000,00/A

Fuente: Propia

Tabla 12. Análisis de los modos de falla de la unidad neumática Puente Grúa

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N																																																																									
 <b>MODELO DE ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS Y EFECTOS EN EL PUENTE GRÚA DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA.</b> 																																																																																						
<b>MODOS DE FALLA, EFECTOS Y ANALISIS DE CRITICIDAD - FMECA</b>																																																																																						
EQUIP																																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>7</th> <th>COMPONENTE</th> <th>Nº</th> <th>FUNCIÓN</th> <th>Nº</th> <th>FALLA FUNCIONAL</th> <th>Nº</th> <th>MODO DE FALLA</th> <th colspan="3">EFECTOS DE FALLA</th> <th>DETECCION DE LA FALLA</th> <th>SEVERIDAD</th> <th>FRECUENCIA</th> </tr> <tr> <th>8</th> <th>Descripción</th> <th></th> <th>Descripción</th> <th></th> <th>Descripción</th> <th></th> <th></th> <th>Local</th> <th>Siguiente</th> <th>Final</th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9</td> <td>3.1.2</td> <td>Unidad Neumática</td> <td>01</td> <td>Controlar la presión de aire de 12 Psi en el sistema</td> <td>A</td> <td>Que no controle la presión de 12 Psi</td> <td>01</td> <td>Mangueras de aire rotas</td> <td>Escape de aire</td> <td></td> <td>Paro Puente Grúa</td> <td>3-Auditiva</td> <td>3- Mayor</td> <td>4.880,00/A</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>3.1.2</td> <td>Unidad Neumática</td> <td>01</td> <td>Controlar la presión de aire de 12 Psi en el sistema</td> <td>A</td> <td>Que no controle la presión de 12 Psi</td> <td>02</td> <td>Unidad de Mantenimiento de aire obstruida</td> <td>No pasa aire</td> <td></td> <td>Paro Puente Grúa</td> <td>3- Auditiva</td> <td>3- Mayor</td> <td>5.660,00/A</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>3.1.2</td> <td>Unidad Neumática</td> <td>01</td> <td>Controlar la presión de aire de 12 Psi en el sistema</td> <td>A</td> <td>Que no controle la presión de 12 Psi</td> <td>03</td> <td>Actuadores Atascados</td> <td>paso inapropiado de aire</td> <td>Mal funcionamiento</td> <td>Paro Puente Grúa</td> <td>3-Auditiva escape de aire</td> <td>3- Mayor</td> <td>2.880,00/A</td> </tr> </tbody> </table>														7	COMPONENTE	Nº	FUNCIÓN	Nº	FALLA FUNCIONAL	Nº	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA			DETECCION DE LA FALLA	SEVERIDAD	FRECUENCIA	8	Descripción		Descripción		Descripción			Local	Siguiente	Final				9	3.1.2	Unidad Neumática	01	Controlar la presión de aire de 12 Psi en el sistema	A	Que no controle la presión de 12 Psi	01	Mangueras de aire rotas	Escape de aire		Paro Puente Grúa	3-Auditiva	3- Mayor	4.880,00/A	10	3.1.2	Unidad Neumática	01	Controlar la presión de aire de 12 Psi en el sistema	A	Que no controle la presión de 12 Psi	02	Unidad de Mantenimiento de aire obstruida	No pasa aire		Paro Puente Grúa	3- Auditiva	3- Mayor	5.660,00/A	11	3.1.2	Unidad Neumática	01	Controlar la presión de aire de 12 Psi en el sistema	A	Que no controle la presión de 12 Psi	03	Actuadores Atascados	paso inapropiado de aire	Mal funcionamiento	Paro Puente Grúa	3-Auditiva escape de aire	3- Mayor	2.880,00/A
7	COMPONENTE	Nº	FUNCIÓN	Nº	FALLA FUNCIONAL	Nº	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA			DETECCION DE LA FALLA	SEVERIDAD	FRECUENCIA																																																																									
8	Descripción		Descripción		Descripción			Local	Siguiente	Final																																																																												
9	3.1.2	Unidad Neumática	01	Controlar la presión de aire de 12 Psi en el sistema	A	Que no controle la presión de 12 Psi	01	Mangueras de aire rotas	Escape de aire		Paro Puente Grúa	3-Auditiva	3- Mayor	4.880,00/A																																																																								
10	3.1.2	Unidad Neumática	01	Controlar la presión de aire de 12 Psi en el sistema	A	Que no controle la presión de 12 Psi	02	Unidad de Mantenimiento de aire obstruida	No pasa aire		Paro Puente Grúa	3- Auditiva	3- Mayor	5.660,00/A																																																																								
11	3.1.2	Unidad Neumática	01	Controlar la presión de aire de 12 Psi en el sistema	A	Que no controle la presión de 12 Psi	03	Actuadores Atascados	paso inapropiado de aire	Mal funcionamiento	Paro Puente Grúa	3-Auditiva escape de aire	3- Mayor	2.880,00/A																																																																								


Fuente: Propia

Tabla 13. Análisis de los modos de falla del freno electromagnético

MODELO DE ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS Y EFECTOS EN EL PUENTE GRÚA DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA.												
MODOS DE FALLA, EFECTOS Y ANALISIS DE CRITICIDAD - FMECA												
EQUIP												
COMONENTE	Nº	FUNCIÓN	Nº	FALLA FUNCIONAL	Nº	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA			DETECCION DE LA FALLA	SEVERIDAD	FRECUENCIA
							Local	Siguiente	Final			
Descripción		Descripción		Descripción								
3.3.1.1 Frenos electromagnetico	01	Detener el desplazamiento del puente Grúa	A	Que no Frene el desplazamiento	01	Falla de tension en la unidad de control	No frena	Paro Puente Grúa	Paro Planta	5-N/A		2.000,00/A
3.3.1.1 Frenos electromagnetico	01	Detener el desplazamiento del puente Grúa	A	Que no Frene el desplazamiento	02	Retraso en el frenado	No Frena	Paro freno	Paro Puente Grúa			4.884- Probable

Fuente: Propia

Tabla 14. Análisis de los modos de falla válvulas manuales Puente Grúa

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N																																																																																														
1	MODELO DE ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS Y EFECTOS EN EL PUENTE GRÚA DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE																																																																																																											
2	DE PALMA AFRICANA.																																																																																																											
3	MODOS DE FALLA, EFECTOS Y ANALISIS DE CRITICIDAD - FMECA																																																																																																											
5	EQUII																																																																																																											
7	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">COMONENTE</th> <th rowspan="2">Nº</th> <th rowspan="2">FUNCIÓN</th> <th rowspan="2">Nº</th> <th rowspan="2">FALLA FUNCIONAL</th> <th rowspan="2">Nº</th> <th rowspan="2">MODO DE FALLA</th> <th colspan="3">EFECTOS DE FALLA</th> <th rowspan="2">DETECCION DE LA FALLA</th> <th rowspan="2">SEVERIDAD</th> <th rowspan="2">FRECUENCIA</th> </tr> <tr> <th>Local</th> <th>Siguiente</th> <th>Final</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3.1.2.1</td> <td>01</td> <td>Aislar el flujo</td> <td>A</td> <td>Falla al abrir</td> <td>01</td> <td>Dano mecanico de la valvula actuador o del volante</td> <td>No abre</td> <td></td> <td>Afectacion a la operacion</td> <td>4-Visual - Lectura de presiones</td> <td></td> <td>1,00/H</td> </tr> <tr> <td>3.1.2.1</td> <td>01</td> <td>Aislar el flujo</td> <td>B</td> <td>Falla al cerrar</td> <td>01</td> <td>Dano mecanico de la valvula actuador o del volante</td> <td>No abre</td> <td></td> <td>Afectacion a la operacion</td> <td>4-Visual</td> <td></td> <td>2,00/H</td> </tr> <tr> <td>3.1.2.1</td> <td>01</td> <td>Aislar el flujo</td> <td>B</td> <td>Falla al cerrar</td> <td>02</td> <td>Obstruccion en la compuerta</td> <td>No cierra la valvula</td> <td></td> <td>Afectacion a la operacion</td> <td>5-N/A</td> <td></td> <td>2,00/H</td> </tr> <tr> <td>3.1.2.1</td> <td>02</td> <td>Contener el flujo que pasa por ella</td> <td>A</td> <td>Fuga de gas al exterior</td> <td>01</td> <td>Rotura del empaque de cualquiera de las bridas</td> <td>Escape de gas al exterior</td> <td></td> <td>Alteracion de las condiciones operativas</td> <td>5-N/A</td> <td>4- Menor</td> <td>2,00/H</td> </tr> <tr> <td>3.1.2.1</td> <td>02</td> <td>Contener el flujo que pasa por ella</td> <td>A</td> <td>Fuga de gas al exterior</td> <td>02</td> <td>Rotura carcaza de la valvula</td> <td>Escape de gas al exterior</td> <td></td> <td>Alteracion de las condiciones de operacion</td> <td>4-Inspeccion visual por corrosion,</td> <td>4- Menor</td> <td>2,00/H</td> </tr> <tr> <td>3.1.2.1</td> <td>02</td> <td>Contener el flujo que pasa por ella</td> <td>A</td> <td>Fuga de gas al exterior</td> <td>03</td> <td>Rotura o desgaste del prensaestopa del vastago</td> <td>Escape de gas al exterior</td> <td></td> <td>Alteracion de las condiciones operativas</td> <td>4-Inspeccion visual por rayaduras en vastago,</td> <td>4- Menor</td> <td>2,00/H</td> </tr> </tbody> </table>														COMONENTE	Nº	FUNCIÓN	Nº	FALLA FUNCIONAL	Nº	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA			DETECCION DE LA FALLA	SEVERIDAD	FRECUENCIA	Local	Siguiente	Final	3.1.2.1	01	Aislar el flujo	A	Falla al abrir	01	Dano mecanico de la valvula actuador o del volante	No abre		Afectacion a la operacion	4-Visual - Lectura de presiones		1,00/H	3.1.2.1	01	Aislar el flujo	B	Falla al cerrar	01	Dano mecanico de la valvula actuador o del volante	No abre		Afectacion a la operacion	4-Visual		2,00/H	3.1.2.1	01	Aislar el flujo	B	Falla al cerrar	02	Obstruccion en la compuerta	No cierra la valvula		Afectacion a la operacion	5-N/A		2,00/H	3.1.2.1	02	Contener el flujo que pasa por ella	A	Fuga de gas al exterior	01	Rotura del empaque de cualquiera de las bridas	Escape de gas al exterior		Alteracion de las condiciones operativas	5-N/A	4- Menor	2,00/H	3.1.2.1	02	Contener el flujo que pasa por ella	A	Fuga de gas al exterior	02	Rotura carcaza de la valvula	Escape de gas al exterior		Alteracion de las condiciones de operacion	4-Inspeccion visual por corrosion,	4- Menor	2,00/H	3.1.2.1	02	Contener el flujo que pasa por ella	A	Fuga de gas al exterior	03	Rotura o desgaste del prensaestopa del vastago	Escape de gas al exterior		Alteracion de las condiciones operativas	4-Inspeccion visual por rayaduras en vastago,	4- Menor	2,00/H
COMONENTE	Nº	FUNCIÓN	Nº	FALLA FUNCIONAL	Nº	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA			DETECCION DE LA FALLA	SEVERIDAD	FRECUENCIA																																																																																																
							Local	Siguiente	Final																																																																																																			
3.1.2.1	01	Aislar el flujo	A	Falla al abrir	01	Dano mecanico de la valvula actuador o del volante	No abre		Afectacion a la operacion	4-Visual - Lectura de presiones		1,00/H																																																																																																
3.1.2.1	01	Aislar el flujo	B	Falla al cerrar	01	Dano mecanico de la valvula actuador o del volante	No abre		Afectacion a la operacion	4-Visual		2,00/H																																																																																																
3.1.2.1	01	Aislar el flujo	B	Falla al cerrar	02	Obstruccion en la compuerta	No cierra la valvula		Afectacion a la operacion	5-N/A		2,00/H																																																																																																
3.1.2.1	02	Contener el flujo que pasa por ella	A	Fuga de gas al exterior	01	Rotura del empaque de cualquiera de las bridas	Escape de gas al exterior		Alteracion de las condiciones operativas	5-N/A	4- Menor	2,00/H																																																																																																
3.1.2.1	02	Contener el flujo que pasa por ella	A	Fuga de gas al exterior	02	Rotura carcaza de la valvula	Escape de gas al exterior		Alteracion de las condiciones de operacion	4-Inspeccion visual por corrosion,	4- Menor	2,00/H																																																																																																
3.1.2.1	02	Contener el flujo que pasa por ella	A	Fuga de gas al exterior	03	Rotura o desgaste del prensaestopa del vastago	Escape de gas al exterior		Alteracion de las condiciones operativas	4-Inspeccion visual por rayaduras en vastago,	4- Menor	2,00/H																																																																																																


Fuente: Propia

Tabla 15. Análisis de los modos de falla motor de elevación Puente Grúa

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N				
1	MODELO DE ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS Y EFECTOS EN EL PUENTE GRÚA DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE																	
2	DE PALMA AFRICANA.																	
3	MODOS DE FALLA, EFECTOS Y ANALISIS DE CRITICIDAD - FMECA																	
5	EQUII																	
7	COMPONENTE		Nº	FUNCIÓN		Nº	FALLA FUNCIONAL		Nº	MODO DE FALLA			EFECTOS DE FALLA			DETECCION DE LA FALLA	SEVERIDAD	FRECUENCIA
8	Descripción			Descripción			Descripción			Local	Siguiente	Final						
9	3.2	Motor de Translación	01	Generar 0.55kv-0.75kw para mover la carga a una velocidad constante		A	Que no genere 0.55kv-0.75kw para mover la carga		01	Rotura Acople			paro motor		paro motor	Inspeccion visual	2- Critica	8.000,00/A
10	3.2	Motor de Translación	01	Generar 0.55kv-0.75kw para mover la carga a una velocidad constante		A	Que no genere 0.55kv-0.75kw para mover la carga		02	Cortocircuito en la caja de bornera por sulfatacion			No enciende motor		Paro motor	Medir las variaciones de voltaje a la entrada y	2- Critica	4.880,00/A
11	3.2	Motor de Translación	01	Generar 0.55kv-0.75kw para mover la carga a una velocidad constante		A	Que no genere 0.55kv-0.75kw para mover la carga		03	Rotura del devanado del motor			No hay movimiento		Paro compresor	Medir el aislamiento	2- Critica	17.520,00/A
12	3.2	Motor de Translación	01	Generar 0.55kv-0.75kw para mover la carga a una velocidad constante		A	Que no genere 0.55kv-0.75kw para mover la carga		04	Rotura del eje			No hay movimeinto		Paro motor	Gira solo el motor	2- Critica	2.500,00/A
13	3.2	Motor de Translación	01	Generar 0.55kv-0.75kw para mover la carga a una velocidad constante		A	Que no genere 0.55kv-0.75kw para mover la carga		05	Fractura de rodamientos por sobrecarga			Excecivo movimiento	Mal arrastre	Paro motor	Visual	2- Critica	5.000,00/A
14	3.2	Motor de Translación	01	Generar 0.55kv-0.75kw para mover la carga a una velocidad constante		B	Que genere menos de la carga		01	Variador de velocidad danado			No hay moviemiiento		Paro motor	NO hay	2- Critica	15.000,00/A



Fuente: Propia

Tabla 16. Análisis de los modos de falla de la transmisión Puente Grúa

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	MODELO DE ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS Y EFECTOS EN EL PUENTE GRÚA DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE													
2	DE PALMA AFRICANA.													
3	MODOS DE FALLA, EFECTOS Y ANALISIS DE CRITICIDAD - FMECA													
5	EQUII													
6														
7	COMPONENTE	Nº	FUNCIÓN	Nº	FALLA FUNCIONAL	Nº	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA			DETECCION DE LA FALLA	SEVERIDAD	FRECUENCIA	
8	Descripción		Descripción		Descripción			Local	Siguiente	Final				
9	3.3.3	Transmisión	01	Transmitir la potencia del motor a las ruedas para el desplazamiento	A	Que no transmita la potencia a las ruedas	01	Engranajes Desajustados	Sobre esfuerzo en el motor		Paro Puente Grúa	3-Auditivo, se escucha un golpe	2- Crítica	2.880,00/A
10	3.3.3	Transmisión	01	Transmitir la potencia del motor a las ruedas para el desplazamiento	A	Que no transmita la potencia a las ruedas	05	Fractura de rodamientos por sobrecarga	Excesivo movimiento	Mal arrastre	Paro motor	3- Auditiva, Visual	2- Crítica	5.000,00/A

Fuente: Propia

Tabla 17. Análisis de los modos de falla de la Guaya Puente Grúa

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	 <b>MODELO DE ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS Y EFECTOS EN EL PUENTE GRÚA DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE</b>													
2	<b>DE PALMA AFRICANA.</b>													
3	<b>MODOS DE FALLA, EFECTOS Y ANALISIS DE CRITICIDAD - FMECA</b>													
5	EQUII													
7	<b>COMPONENTE</b>	<b>Nº</b>	<b>FUNCIÓN</b>	<b>Nº</b>	<b>FALLA FUNCIONAL</b>	<b>Nº</b>	<b>MODO DE FALLA</b>	<b>EFECTOS DE FALLA</b>			<b>DETECCION DE LA FALLA</b>	<b>SEVERIDAD</b>	<b>FRECUENCIA</b>	
8	Descripción		Descripción		Descripción			Local	Siguiente	Final				
9	3.3.4	Guaya	01 Permitir el sostenimiento de la cuchara	A	Que no Permita el sostenimiento	01	Rotura de la guaya			Paro del puente Grúa	5-N/A	1- Catastrofica	10.000,00/A	
10	3.4	Sistema Motriz											/	

Fuente: Propia

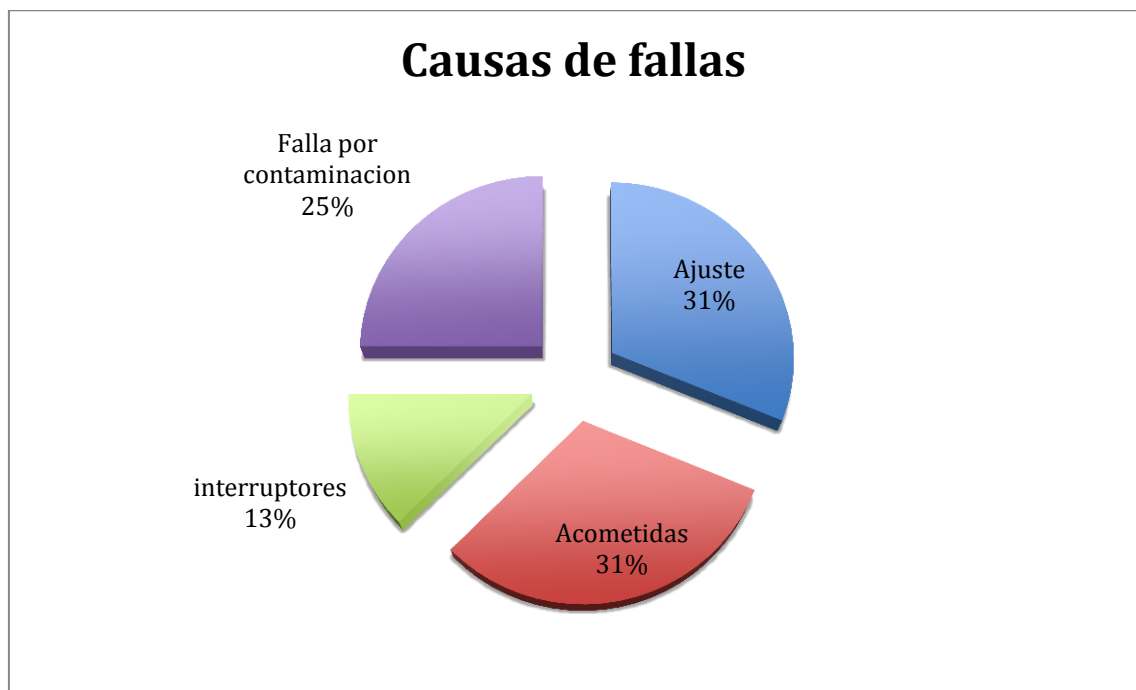
## 11.5 HACER UN ANÁLISIS DE LAS POSIBLES CAUSAS DE LAS PARADAS NO PROGRAMADAS DEL EQUIPO

Se estudiara el documento de registro de fallas obtenido en la empresa Palmas del Cesar S.A. para determinar cuáles son las posibles causas de falla, en este punto se ilustraran gráficamente las fallas, como se muestra a continuación.

### Eléctricas

Como se observa en la gráfica el 31% de las causas de fallas eléctricas registradas en el documento corresponde a desajustes y daños en las acometidas eléctricas, el 25 % de las fallas corresponden a suciedades o contaminación debido a las filtraciones de aire húmedo en las uniones eléctricas

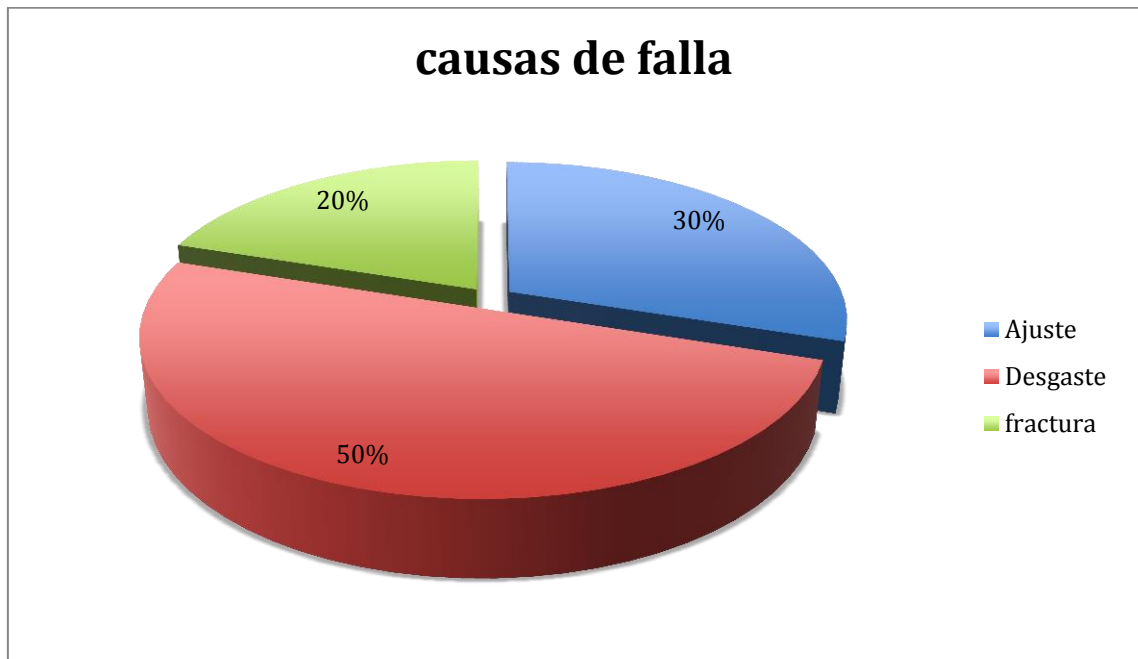
Grafica 5. Causas fallas Eléctricas



Fuente: Propia

## Mecánicas

Grafica 6. Causas fallas Mecánicas

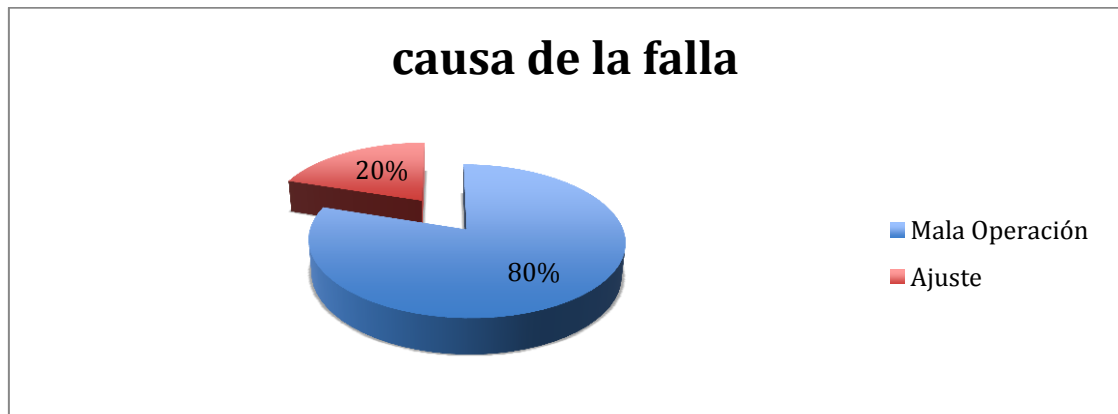


Fuente: Propia

para el análisis de las causas de fallas mecánicas en la gráfica se ilustra que el 50 % de las fallas mecánicas presentadas en el puente grúa corresponde a desgaste de elementos cuyo diseño o uso no ha sido los adecuados para el trabajo al que se está sometiendo, 30% de las causas de fallas mecánicas presentadas en el puente grúa registradas en el documento corresponde a desajustes y daños en las acometidas eléctricas, el 25 % de las fallas corresponden a suciedades o contaminación debido a las filtraciones de aire húmedo en las uniones eléctricas.

## Operativa

Grafica 7. Causas fallas Operativas



Fuente: Propia

Analizando las causas operativas se evidencia deforma latente y preocupante que los operadores no cuentan con el suficiente entrenamiento para la manipulación del equipo

### **11.6 PROPONER UN PLAN DE MANTENIMIENTO QUE CONTRARRESTE LAS FALLAS**

A continuación se establece el plan de mantenimiento que arrojo el IRCM's, el cual se ha ejecutado en el equipo durante el proceso con frecuencia de tiempo en horas y responsable de la actividad, la frecuencia mostrada equivale a dos turnos de operación ya que cada uno es de 8 horas y por tal manera la frecuencia de tiempo equivale a 16 horas.

Tares de Mantenimiento para el Puente Grúa Cada turno de Operación.

<b>Frec/ Hrs</b>	<b>Actividad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Responsable</b>
<b>8</b>	Asegurar que la caja de mando este herméticamente sellada, inspección visual en cada turno de operación		Mantenimiento
<b>8</b>	Limpieza de caja de mando con desplazador de humedad		Operador
<b>8</b>	Inspección visual de Mangueras de aire		Operador
<b>16</b>	Lubricación de puntos del puente grúa		Mantenimiento y operador
<b>16</b>	Verificar que no haya obstáculos en el viga de desplazamiento		Operador

Tares de Mantenimiento para el Puente Grúa Semanales.

<b>Frec/ Hrs</b>	<b>Actividad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Responsable</b>
<b>120</b>	Inspección visual de la caja de mando, Verificar que no haya desajuste		Mantenimiento /Operador
<b>120</b>	Lubricar la caja de mando con desplazador de humedad		Operador
<b>120</b>	Limpieza de la uniones de los cables a la caja de control con desplazador de humedad,		Mantenimiento
<b>120</b>	Inspección visual de estado del cables eléctricos verificar que no esté cortado		Operador /Mantenimiento

Tares de Mantenimiento para el Puente Grúa Quincenales

<b>Frec/ Hrs</b>	<b>Actividad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Responsable</b>
240	Limpiar el extractor con desplazador de humedad		
240	Lubricar con grasa los rieles del puente grúa	Rieles	Mantenimiento
240	Inspección visual para verificar que no haya desalineamiento	Rieles	Mantenimiento
240	Engrasar guaya de Anclaje	Guaya	Mantenimiento
240	Realice la medición de la potencia, compruebe la planificación y si fuera necesario, monte un motor mayor o reduzca la carga, Compruebe el suministro de aire de ventilación o limpie los conductos de ventilación.	Motor 25 hp	Mantenimiento

Tares de Mantenimiento para el Puente Grúa Cada meses de operación.

<b>Frec/ Hrs</b>	<b>Actividad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Responsable</b>
480	Verificar que no haya juego axial y que la tolerancia de acople sea la adecuada	Motor 25 hp	Mantenimiento
480	Engrasar las ruedas con grasa roja	Rueda	Mantenimiento
480	Verificar que no haya juego axial y que la tolerancia de acople sea la adecuada	Motor 4 hp	Mantenimiento
480	Verificar que no haya juego axial y que la tolerancia de acople sea la adecuada	Motor 4 hp	Mantenimiento
480	Verificar que no haya juego axial y que la tolerancia de acople sea la adecuada	Motor 25 hp	Mantenimiento
480	Verificar que no haya juego axial y que la tolerancia de acople sea la adecuada	Motor 25 hp	Mantenimiento

<b>Frec/ Hrs</b>	<b>Actividad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Responsable</b>
<b>480</b>	Ajuste de componentes de transmisión (Juego de engranes superior)	Motor 4 hp	Mantenimiento
<b>480</b>	Ajuste de componentes de transmisión (Juego de engranes cuchara)	Motor 4 hp	Mantenimiento

Tares de Mantenimiento para el Puente Grúa Cada 2 meses de operación.

<b>Frec/ Hrs</b>	<b>Actividad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Responsable</b>
<b>800</b>	Limpiar acople del motor con cepillo, estopa	Motor 4 hp	Mantenimiento
<b>800</b>	Asegurar la hermeticidad de la caja de la bornera	Motor 4 hp	Mantenimiento
<b>800</b>	Limpiar acople del motor con cepillo, estopa	Motor 4 hp	Mantenimiento
<b>800</b>	Asegurar la hermeticidad de la caja de la bornera	Motor 4 hp	Mantenimiento

Tares de Mantenimiento para el Puente Grúa Cada 24.5 meses de operación.

<b>Frec/ Hrs</b>	<b>Actividad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Responsable</b>
<b>900</b>	Cambiar extractor por condición.	Motor 25 hp	Mantenimiento
<b>900</b>	Lubricar rodamientos Mono riel con grasa dieléctrica	Mono riel	Mantenimiento
<b>900</b>	Inspección visual, verificar ajuste manualmente del rodamiento Mono riel	Mono riel	Mantenimiento
<b>900</b>	Inspección visual del estado de las mangueras de aire del sistema		Mantenimiento
<b>900</b>	Cambio de mangueras por condición, Roturas		Mantenimiento

<b>Frec/ Hrs</b>	<b>Actividad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Responsable</b>
<b>900</b>	Lubricar rodamientos con grasa dieléctrica	Motor	Mantenimiento
<b>900</b>	Inspección visual, verificar ajuste manualmente del rodamiento	Motor	Mantenimiento
<b>900</b>	Lubricar rodamientos con grasa dieléctrica	Motor	Mantenimiento
<b>900</b>	Inspección visual, verificar ajuste manualmente del rodamiento	Motor	Mantenimiento

Tares de Mantenimiento para el Puente Grúa Cada 3 meses de operación.

<b>Frec/ Hrs</b>	<b>Actividad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Responsable</b>
<b>1440</b>	Ajuste de la distancia de las ruedas y la viga, la cual no debe ser mayor a 5mm	Mono riel	Mantenimiento
<b>1440</b>	Lubricar con grasa roja los engranes del puente principal	Mono riel	Mantenimiento
<b>1440</b>	Lubricar con grasa roja los engranes del puente principal	Cuchara	Mantenimiento
<b>1440</b>	Lubricar con grasa roja los engranes del puente principal	Cuchara	Mantenimiento
<b>1440</b>	Cambio de mangueras por condición, rotura		Mantenimiento

Tares de Mantenimiento para el Puente Grúa Cada 6 meses de operación.

<b>Frec/ Hrs</b>	<b>Actividad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Responsable</b>
<b>2400</b>	Lubricar rodamientos del Mono riel con grasa dieléctrica		Mantenimiento
<b>2400</b>	Lubricar rodamientos de los Motores con grasa dieléctrica		Mantenimiento

<b>Frec/ Hrs</b>	<b>Actividad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Responsable</b>
<b>2400</b>	Lubricar rodamientos de la cuchara con grasa dieléctrica		Mantenimiento
<b>2400</b>	Lubricar rodamientos con grasa dieléctrica		Mantenimiento
<b>2400</b>	Inspección visual, verificar ajuste manualmente del rodamiento		Mantenimiento
<b>2440</b>	Instale un nuevo sistema de control de freno, compruebe las resistencias y el aislamiento de las bobinas de freno (para los valores de resistencia, véase capítulo "Resistencias") Compruebe el interruptor y cámbielo si es necesario	Freno electro mecánico	Mantenimiento
<b>2440</b>	Compruebe el ajuste de la protección		Mantenimiento

Tares de Mantenimiento para el Puente Grúa Cada 6 meses de operación.

<b>Frec/ Hrs</b>	<b>Actividad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Responsable</b>
<b>2880</b>	Ajustar e Inspeccionar visualmente los engranajes de transmisión superior en el puente principal,		Mantenimiento
<b>2880</b>	Limpieza de los actuadores con desplazador de humedad		Mantenimiento
<b>2880</b>	Ajustar e Inspeccionar visualmente los engranajes de transmisión Inferior en el puente principal		Mantenimiento

Tares de Mantenimiento para el Puente Grúa al año de operación.

<b>Frec/ Hrs</b>	<b>Actividad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Responsable</b>
<b>4000</b>	Medición de aislamiento con el megger entre de bobinas	Motor	Mantenimiento
<b>4000</b>	Medición de aislamiento con el megger entre de bobinas y llevar la estadística	Motor	Mantenimiento
<b>4000</b>	Verificar que no haya juego axial entre el eje y el acople	Motor	Mantenimiento
<b>4000</b>	Cambiar el fusible	Motor	

Tares de Mantenimiento para el Puente Grúa al año de operación.

<b>Frec/ Hrs</b>	<b>Actividad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Responsable</b>
<b>5600</b>	Cambio de actuadores por condición,		
<b>5600</b>	Cambio de válvulas de aire		Mantenimiento

Tares de Mantenimiento para el Puente Grúa a los 2 años de operación.

<b>Frec/ Hrs</b>	<b>Actividad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Responsable</b>
<b>10000</b>	Inspección visual, verificar ajuste manualmente del rodamiento	Motor	Mantenimiento
<b>10000</b>	Cambiar guaya	Elevación	Mantenimiento
<b>10000</b>	Limpiar acople del motor con desengrasante	Motor	Mantenimiento
<b>10000</b>	Asegurar la hermeticidad de la caja de la bornera	Motor	Mantenimiento

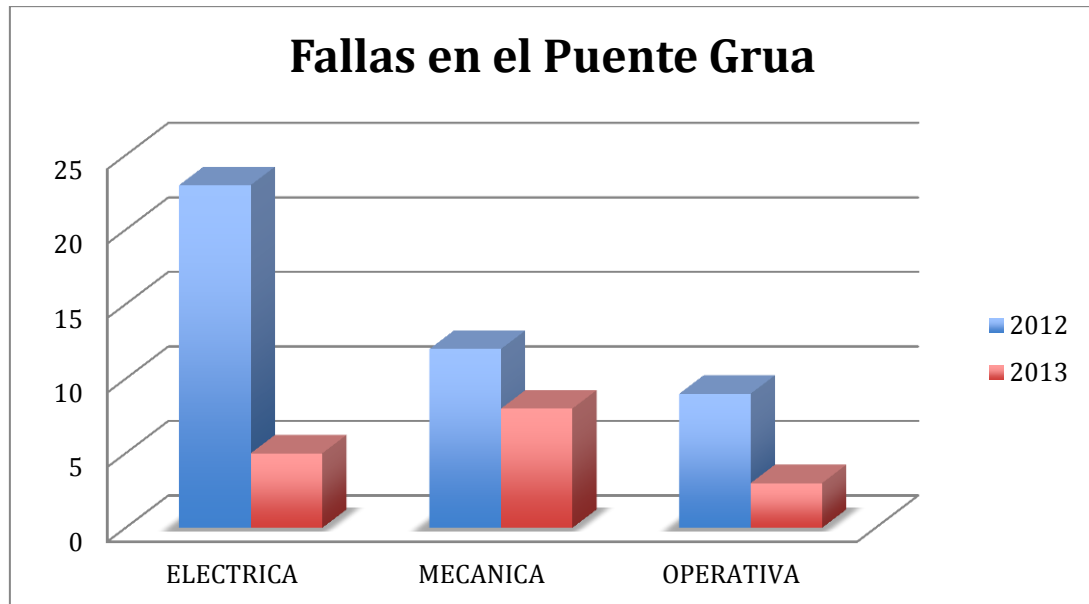
Frec/ Hrs	Actividad	Equipo	Responsable
10000	limpiar y verificar que no hallan filtraciones de humedad, verificar hermeticidad del componente		Mantenimiento

### 11.7 RESULTADO ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO ANÁLISIS DE FALLAS, CONFIABILIDAD Y ESTADO ACTUAL DEL EQUIPO

Con base a la estrategia propuesta y mencionada anteriormente se obtuvo una disminución en las fallas mecánica, eléctricas y operativas, también se logró aumentar la disponibilidad y la confiabilidad del equipo en la operación.

A continuación se muestran las gráficas donde se ilustra lo anterior

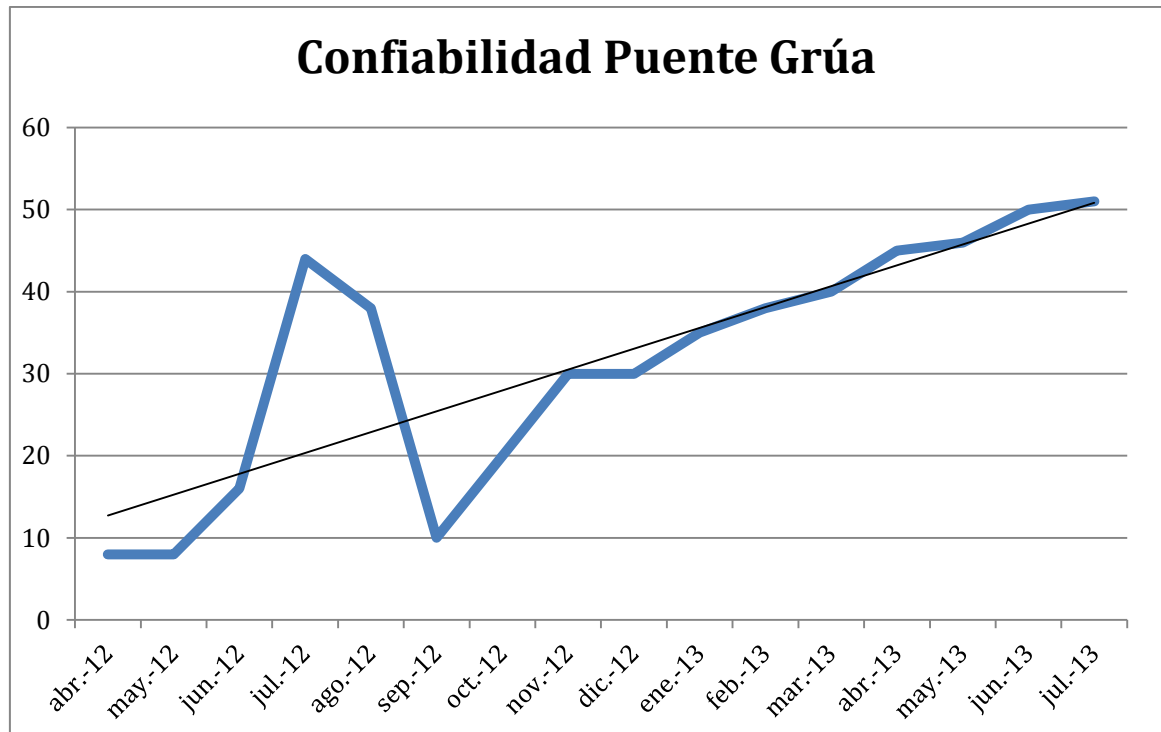
Grafica 8. Causas fallas General



Fuente: Propia

Reducción de fallas en el puente grúa ha sido de una reducción del 70% con respecto al año pasado.

Grafica 9. Confiabilidad Puente Grúa



Fuente: propia

Para medir la confiabilidad del puente grúa se ha utilizado con referencia el documento de registro de fallas el cual tiene como datos tiempo de paro, hora de arranque tipo de falla entre otros, la confiabilidad del puente grúa se a medido con una base de datos corta por ellos no se garantiza la curva de tendencia ya que hasta el momento se está registrado como debe ser

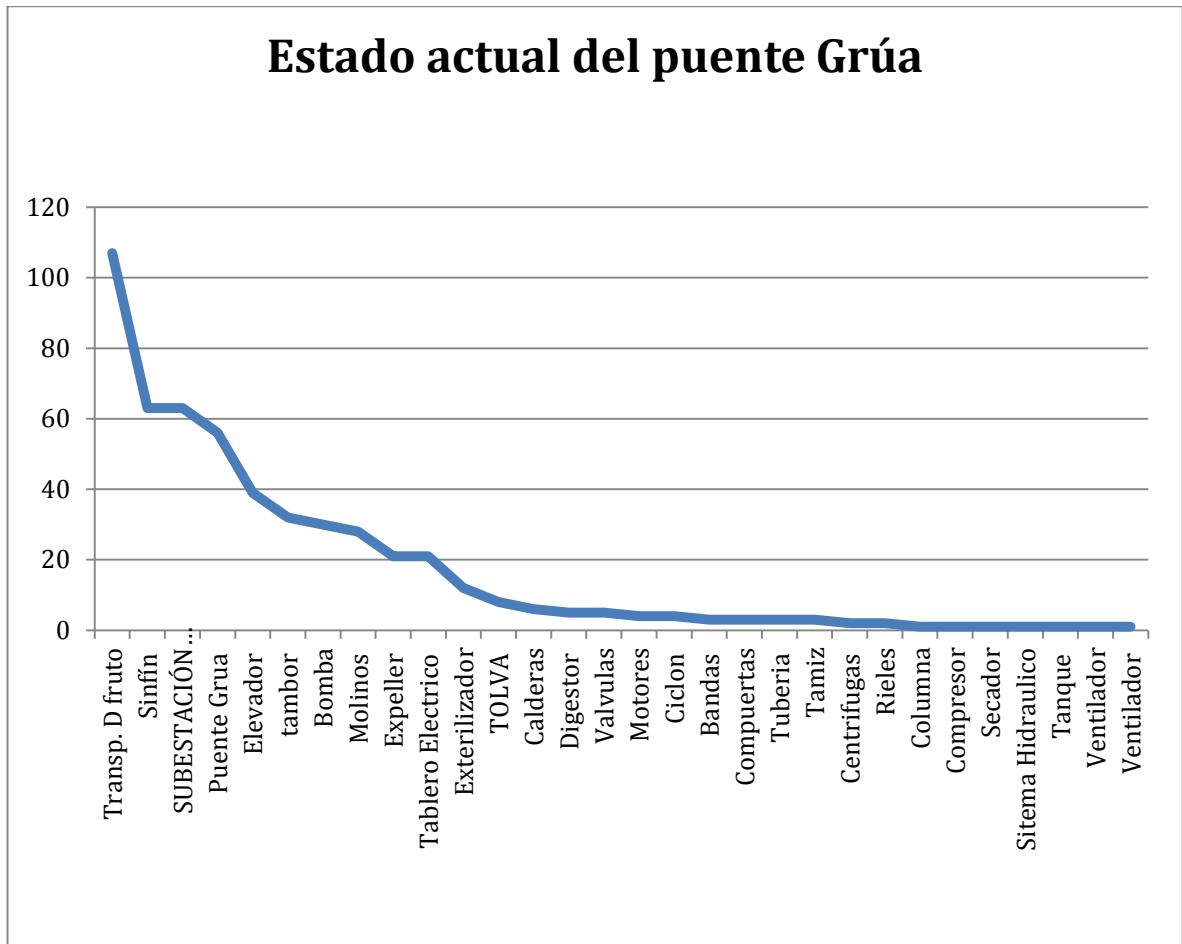
$$\text{Confiabilidad} = e^{-\gamma t}$$

Ecuación Confiabilidad

## 11.8 ESTADO ACTUAL DEL DONDE SE ENCUENTRA EL PUENTE GRÚA

En el diagnóstico que se hizo inicialmente, y el cual nos llevó al desarrollo de este trabajo de grado arrojo que el puente grúa era el equipo que más presentaba fallas y paros de planta, por tal motivo después de un tiempo de aplicación de la estrategia de mantenimiento arroja en la siguiente grafica la cual muestra que el puente grúa pasa de un primer puesto a un cuarto puesto, mejorando así sustancialmente la disponibilidad y la confiabilidad del equipo.

Grafica 10. Estado Actual del puente grúa



Fuente: propia

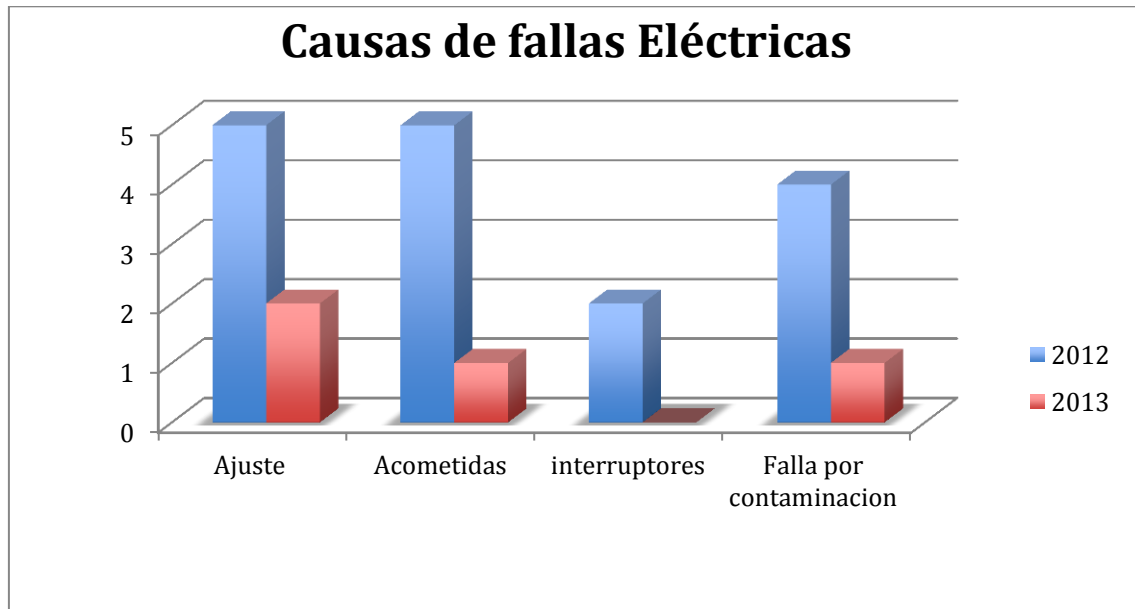
## **11.9 RESULTADO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PARA EL PUENTE GRÚA**

Para el análisis de paradas no programadas se toma como guía el documento en Excel como registro de fallas, en el cual se muestra que el 70 por ciento de las fallas corresponden a desgaste en ciertos elementos mecánicos en lo que va transcurrido en el año 2013, como medida preventiva se han hechos cambios de diseño de esos elementos para mejorar la disponibilidad y la confiabilidad del equipo.

Por otro lado el 30 por ciento restante equivale a fallas operativas las cuales son desajuste, baja inspección por parte de los operarios antes de comenzar a trabajar con el activo. Como medida para este tema se ha dispuesto unas secciones de entrenamiento y capacitación en el manejo del equipo para así eliminar estas paradas.

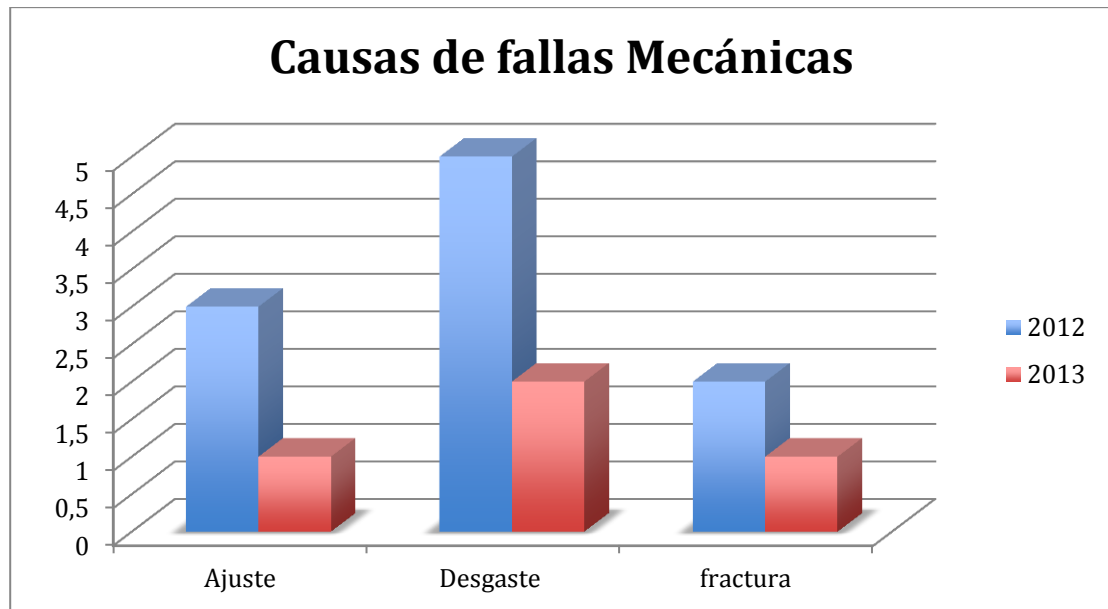
Lo anterior se evidencia gráficamente en cada una de las áreas.

Grafica 11. Causas fallas Eléctricas



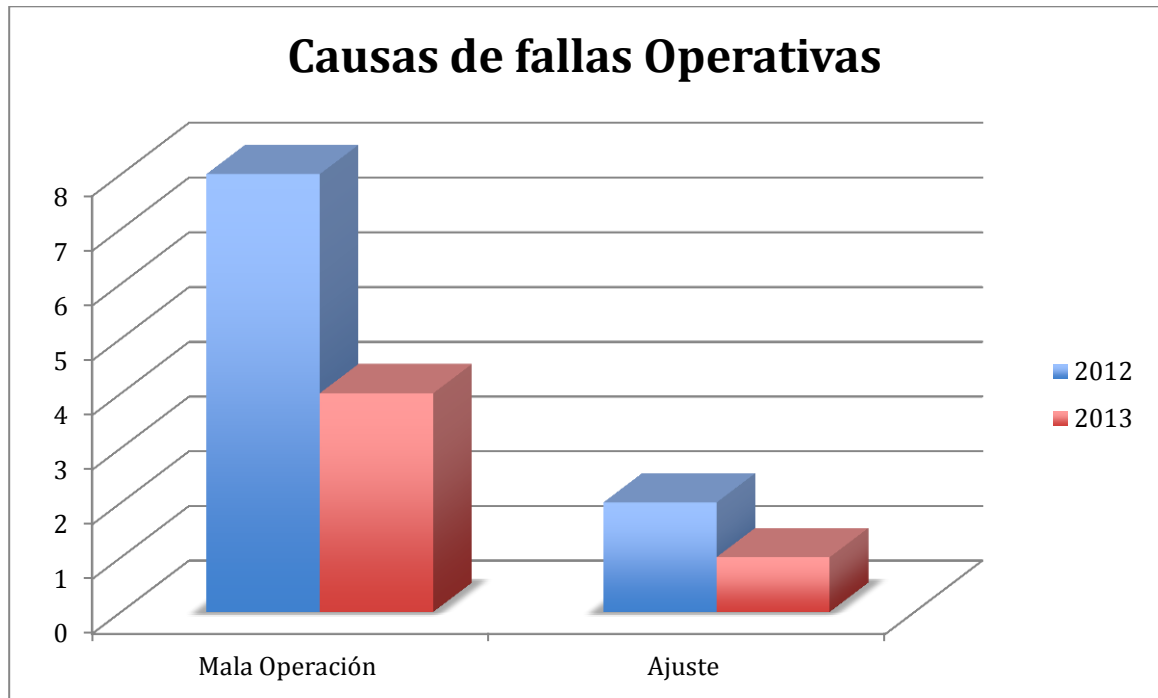
Fuente: Propia

Grafica 12. Causas fallas Mecánicas



Fuente: Propia

Grafica 13. Causas fallas Operativas



Fuente: Propia

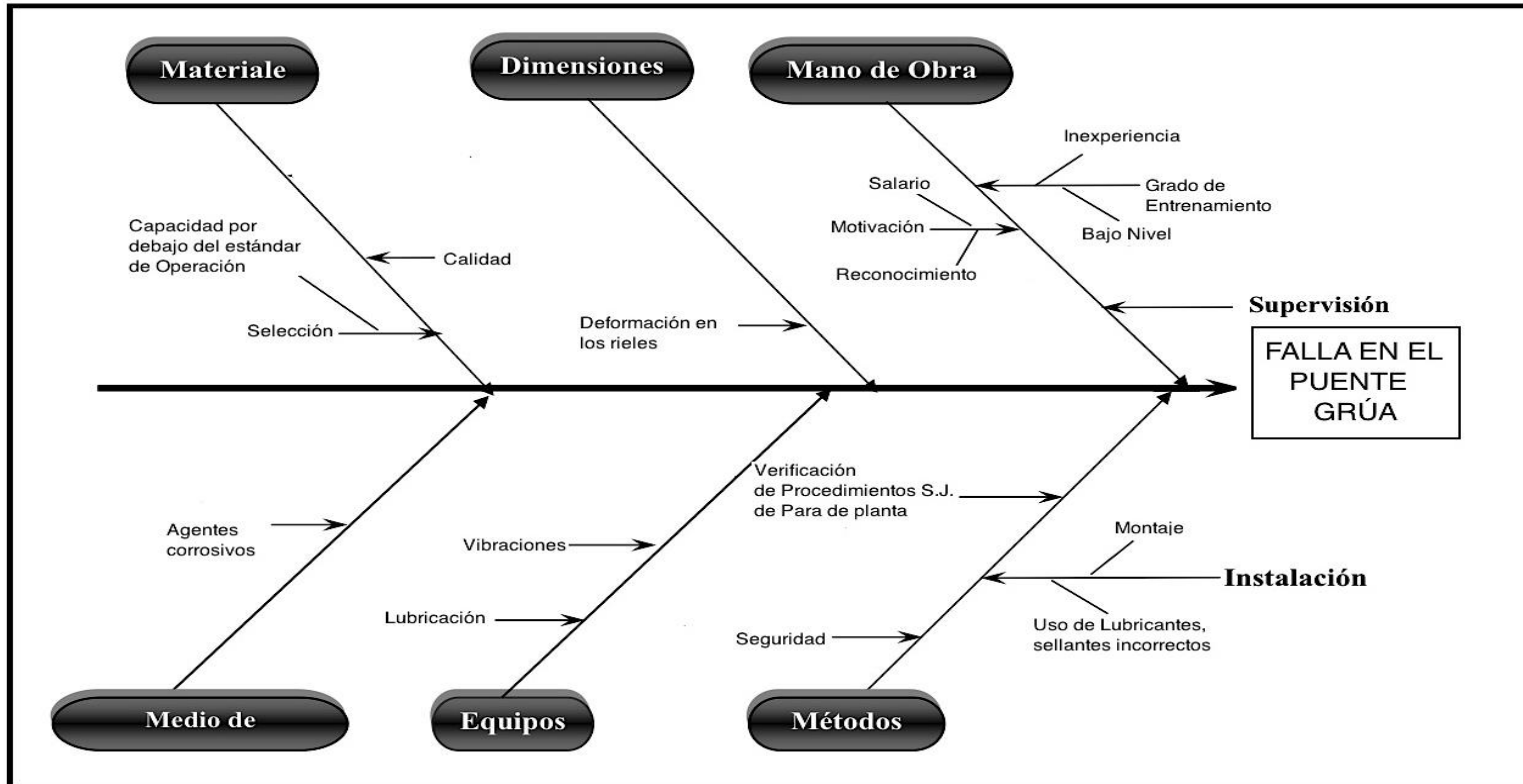
#### **11.10 OBTENER CRITERIOS OBJETIVOS QUE PERMITAN IDENTIFICAR PLENAMENTE LAS FALLAS POTENCIALES Y OCULTAS DEL PUENTE GRÚA**

Luego de clasificar todas las fallas del Puente Grúa, se procedió a determinar cuáles son las causas que provocan las fallas en el cual se aplicó la técnica del diagrama causa-efecto.

La Figura 11 mostrada a continuación plantea el diagrama Causa-Efecto con las hipótesis que se analizaron para determinar las causas de falla en el Puente Grúa.

Este diagrama comprende seis estudios: Métodos, Equipos, Materiales, Mediciones, Medio de operación y Mano de Obra.

Figura 13. Diagrama Causa Efecto



## **Resultados de la Verificación de las Hipótesis como Causas de las Fallas**

Para determinar cuáles son las causas que provocan las fallas en el puente grúa, se aplicó la técnica del diagrama causa-efecto. A continuación se describen los resultados de las evaluaciones y estudios correspondientes al tipo de falla encontrada.

### **Falla de Fractura en los elementos**

Este tipo de falla se presentó en los en algunos de los componentes como los son vigas ejes acoples entre otros.

A continuación se describen los resultados de las evaluaciones y estudios expuestos anteriormente.

### **Material**

#### **a) Verificación de la selección apropiada del material constitutivo del Puente Grúa para las condiciones de operación**

Por limitaciones de información para este puente grúa, el catalogo no se pudo obtener pero si se hicieron algunas aproximaciones de otros catalogo que muestran las dimensiones para la capacidad de peso en desplazamiento e izaje según el medio de operación.

Tabla 18. Dimensiones de diseño para un puente grúa

Carga, Polipasto <sup>1)</sup>	S <sup>1)</sup> m	A1 mm	K1 mm	C1 mm	L1 mm	L2 mm	Z min mm	Hmax <sup>2)</sup> mm	R mm	LK mm	Carga rueda kN R max	R min	
5000 kg Polipasto de cable GM 1050 H6 FEM 2m  Polipasto V = 0.8/5 m/min	10	200	770	-50	660	660	150	9000	2700	1605	30.6	6.9	
	14	300	770	-50	660	660	150	9000	2700	1605	33.5	8.7	
	16	300	770	-50	660	660	150	9000	2700	1630	35.5	10.4	
	18	400	770	-50	660	660	150	9000	2700	1630	37.5	12.1	
	20	500	770	-50	660	660	150	9000	2900	1730	39.6	14.0	
	22	460	810	-90	660	660	170	9000	3200	1895	42.7	17.0	
	24	560	810	-90	660	660	170	9000	3800	2230	45.7	19.7	
	26	500	870	-150	660	660	180	9000	4600	2650	50.7	24.4	
	28	700	870	-150	660	660	180	9000	4600	2650	53.2	26.8	
	30	700	870	-150	660	660	180	9000	4600	2650	57.2	30.7	
	32	650	920	-200	660	660	180	9000	5100	2965	66.3	39.5	
	34	660	920	-200	660	660	180	9000	5100	2965	71.7	44.9	
	6300 kg Polipasto de cable GM 2063 H6 FEM 1Am  Polipasto V = 0.8/5 m/min	10	200	770	-30	660	660	150	9000	2700	1605	36.9	7.4
		14	300	770	-30	660	660	150	9000	2700	1630	40.5	9.7
16		400	770	-30	660	660	150	9000	2900	1730	42.6	11.4	
18		500	770	-30	660	660	150	9000	2900	1730	44.7	13.3	
20		500	770	-30	660	660	150	9000	2900	1730	46.0	14.3	
22		560	810	-70	660	660	170	9000	3200	1895	49.0	17.0	
24		500	870	-130	660	660	180	9000	3800	2250	55.0	22.7	
26		500	870	-130	660	660	180	9000	3800	2250	58.7	26.3	
28		700	870	-130	660	660	180	9000	4600	2650	61.9	29.3	
30		700	870	-130	660	660	180	9000	4600	2650	66.1	33.3	
32		660	920	-180	660	660	180	9000	5100	2965	76.0	42.9	
34		900	920	-180	660	660	180	9000	5100	2965	78.7	45.6	

Fuente: Catalogo

Comparando las recomendaciones del fabricante, se evidencia que la selección del material de construcción del eje no es el apropiado, por lo tanto se puede apreciar que no se cumple con las condiciones de selección, por lo tanto se hizo el cambio de material del eje.

## **Dimensiones**

### **a) Deformación de las vigas.**

Debido a que no se podía modificar la viga. Se considera una hipótesis de falta de alineación de las ruedas guías del tren superior,

**Problema:** Alineación operación incorrecta.

**Recomendación:** Se le recomienda alinear el sistema cada mes de operación.

### **Mano de Obra.**

En este se muestran los resultados de la encuesta informal sobre el clima organizacional realizado al personal de mantenimiento y a los operadores del equipo, de los cuales se analizaron tres aspectos importantes como posibles causas de falla, éstos fueron los siguientes puntos:

#### **a) Motivación**

El resultado muestra que los operadores no cuentan con motivación y poseen falta de sentido de pertenencia por la empresa.

#### **c) Grado de entrenamiento**

Los resultados de la encuesta arrojaron que el nivel educativo del personal que realiza el mantenimiento del puente grúa es Técnico y estudios profesionales y estudios secundarios.

El personal asegura poseer habilidades y conocimientos certificados sobre mantenimiento del equipo. Pero a pesar de esto el personal no cuenta con un

entrenamiento constante en los tipos de mantenimiento que se le hacen al equipo, lo cual expresa insatisfacción ya que no pueden para adquirir y reforzar sus competencias, así como los conocimientos sobre instalación de los mismos.

## **Métodos**

### **a) Verificación de los procedimientos de parada y arranque de la bomba**

Durante el mantenimiento realizado a los elementos del puente grúa se constató que el personal encargado de dicho mantenimiento cumple con los procedimientos de parada y arranque.

### **c) Seguridad**

La empresa cuenta con normas e implementos de seguridad establecidos para todos sus trabajadores y es obligatorio el uso de éstos, al realizar cualquier trabajo. No se permite que ningún trabajador, bajo ninguna circunstancia incumpla la mínima norma de seguridad, los supervisores de seguridad están muy pendientes de verificar, cumplir y hacer cumplir todas las normas de seguridad. Durante este proceso se verificó el cumplimiento de estas normas, a través de inspecciones visuales tanto al supervisor como a los trabajadores.

También se constató que la empresa cuenta con un análisis de riesgo por puesto de trabajo.

## **Equipo**

### **a) Lubricación**

Los rodamientos son cerrados en su mayoría. Adicionalmente por medio de las rutas de mantenimiento establecidas, se verifica que al arrancar la Frecuencia de lubricación de los elementos que lo necesitan, este registro se lleva en un registro de inspección y lubricación de los componentes.

## **Medio de Operación**

### **a) Agentes corrosivos**

El medio en el que se encuentra operando presenta agentes corrosivos que dañan los componentes del mismo. Los materiales constitutivos de algunos elementos del equipo fueron diseñados para soportar estos agentes como se comprobó en la verificación de la selección del material, por la tanto se considera descartado este aspecto como posible causa de falla.

## 12. CONCLUSIONES

- Es importante considerar que la PRODUCTIVIDAD del puente grúa aumentará en la medida que las fallas en las máquinas disminuyan de una forma sustentable en el tiempo. Para lograr lo anterior, resulta indispensable contar con la estrategia de mantenimiento más apropiada y con personal capacitado.
- Con la implementación de la metodología del FMCA se replanteo la estrategia de mantenimiento de tal forma que se incremente la confiabilidad de la planta y se reduzcan los costos de mantenimiento.
- Se identificaron las fallas de diseño estructural con ayuda de las inspecciones, y con esto se pudo corregir y así evitar una falla mayor.
- Se determinaron los elementos más críticos del puente, mediante la matriz de criticidad del IRCM's.
- Durante el proceso del Análisis de Modos y Efectos de Falla al equipo del Puente Grúa, fue de gran ayuda los años de experiencia del personal que operativo y el personal de mantenimiento ya que la mayor parte de la información sobre aspectos técnicos, operación y fallas que se presentaba en el equipo fue recopilada de las experiencias del personal.

### **13. RECOMENDACIONES**

Seguir Implementando todas las propuestas y/o lineamientos planteados en el capítulo cuatro (4), para la disminución de la frecuencia de fallas en el puente grúa.

Proponer a los directivos la compra de un software de mantenimiento, ya que este es principio fundamental para llevar una buena base de datos, y así mantener la confiabilidad y así mismo controlar los gastos de mantenimiento

Adiestrar al personal con cursos sobre manipulación y operación del puente grúa y otras formas de capacitación técnica apropiadas para el correcto desenvolvimiento de los mismos en la empresa, así como proporcionar material de apoyo al personal y que este se encuentre escrito en español apto para el nivel de los empleados.

Publicar y hacer uso del manual de instrucciones para el manejo, instalación e inspección necesaria durante el mantenimiento del puente grúa.

Registrar la información más detallada de las fallas detectadas, por medio de la utilización de la hoja de registro de fallas para tener una visión más clara de lo que le ocurre al equipo.

Verificar las longitudes operacionales de cada elemento de izaje, según el modelo.

Implementar el uso de análisis de vibraciones para los motores que conforman a los equipos, para así garantizar la funcionalidad del equipo en todo momento

Implementar sistemas de indicadores de mantenimiento en la planta.

Estandarizar los procesos de tareas de mantenimiento, se recomienda elaborar los estándar Jobs de cada uno de elementos.

- Disminuir el mantenimiento preventivo
- Aumentar el mantenimiento predictivo (Monitoreo de condiciones e inspecciones)
- Hacer análisis de RCM a equipos malos actores

Analizar la lista de partes de materiales por equipo acorde con la criticidad de equipos.

Establecer la criticidad de los materiales y repuestos

Obtener la información relacionada a los consumos de los materiales en un período mínimo de 24 meses.

Realizar el análisis de parámetros de reposición acorde con la información.

## BIBLIOGRAFÍA

“Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”. ISC Gerencia de Activos C.A., PDVSA CIED, Venezuela (2005).

Ciclo sobre Ingeniería de Calidad Seminario: FIABILIDAD y AMFE en el ciclo de vida de productos y procesos. LABEIN 1996.

GONZÁLEZ, Francisco.(s.f.). Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión. 1 ed. España. Fundación Confemetal. 2004

GRANELA, Hugo. (s.f.). Adaptado de la conferencia “La Gerencia de Mantenimiento para países subdesarrollados. Recuperado de:  
[http://www.aloj.us.es/notas\\_tecnicas/Gestion\\_Mantenimiento.pdf](http://www.aloj.us.es/notas_tecnicas/Gestion_Mantenimiento.pdf)

HUERTA, Rosendo. (Abril, 2010). “El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional”. En: La cultural de confiabilidad. Revista Mantenimiento Mundial. 6. Recuperado de: <http://confiabilidad.net/articulos/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope/>

MALAVE, J. (2005). Análisis de las causas que ocasionan las fallas en un motocompresor recíprocante.

ORREGO, Juan C. (s.f.).Revista Mantenimiento en Latinoamérica, 1 (6). William Orozco Murillo.

TORRES, Ronald. (2007) “Estrategias Basadas en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Mcc) para el Mejoramiento del Plan de Mantenimiento de Las Bombas de Doble Tornillo del Terminal Orimulsión® José”. Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Mecánica, UDO, Puerto La Cruz, Venezuela (2007).

TROCEL, David. (2007). Mantenimiento y Confiabilidad Industrial. Taller dictado para trabajadores de mantenimiento de la empresa Supermetanol, C.A. y abalado por TECNOTEST.

TROCEL, David. "Implementando un efectivo Programa de Mantenimiento Basado en Condición". Revista MECANÁLISIS. en su edición aniversaria. Abril – mayo del 2007.

ANEXO A

<b>INDICADORES</b>						
<b>Disponibilidad y Confiabilidad en mantenimiento</b>						
	Semana anterior					
	# Paradas	Tdown	MTTR	MTBF	Confiabilidad	Disponibilidad
PLANTA	0	0	0,00	112000000	99,9999125000%	100,00%
<b>Disponibilidad y Confiabilidad por Operaciones</b>						
	Semana anterior					
	# Paradas	Tdown	MTTR	MTBF	Confiabilidad	Disponibilidad
PLANTA	0	0	0,00	9800000000	100%	100,00%

**ANEXO B**

<b>REPORTE DE FALLAS</b>											
<b>DÍA</b>	<b>TURNO</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>TIPO FALLA</b>	<b>DESC</b>	<b>T-P MIN</b>	<b>PARO PRODUCCIÓN</b>	<b>ACCIÓN</b>	<b>TIPO</b>	<b>TIPO DE CAUSA</b>	<b>CAUSA</b>	<b>PARTE QUE FALLO</b>