

MODELO DE MANTENIMIENTO PARA LA MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD DE  
EQUIPOS DE SCHRADER CAMARGO INGENIEROS ASOCIADOS S.A

EDDER RODRÍGUEZ ARENAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOS-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA

2014

MODELO DE MANTENIMIENTO PARA LA MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD DE  
EQUIPOS DE SCHRADER CAMARGO INGENIEROS ASOCIADOS S.A

EDDER RODRÍGUEZ ARENAS

Monografía de Grado

Presentada como requisito para optar el título de  
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

Director

MSc. SONIA ESPERANZA RUÍZ BALAGUERA

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

2014

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios quien bendice mis acciones, mi hogar y mi familia, permitiéndome disfrutar la vida con salud y amor.

A Schrader Camargo Ingenieros Asociados S.A quien me brinda la oportunidad de crecimiento personal y profesional de manera incondicional en cabeza del Gerente general Dr. Jorge Alberto Díaz Bohorquez y Gerente administrativo y Financiero Lic. Alberto Candanosa Sosa.

A la Universidad Industrial de Santander por brindar el medio de aprendizaje para enriquecer mi vida profesional.

A mi familia quien es el motor que brinda la potencia a mi vida.

## **DEDICATORIA**

A mi hijo Tomas Rodríguez Ruíz y a mi esposa Sonia Ruiz Balaguera quienes inyectan amor y hermosas emociones alimentando mi perseverancia y tesón para mejorar día a día en todos los aspectos de mi vida.

A mi padre Wilson Rodriguez Molina y mi madre Maria Smith Arenas Velandia quienes han brindado el amor y educación necesaria para llegar a culminar este proceso.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. MARCO CONTEXTUAL	16
1.1 LA EMPRESA	16
1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PROYECTOS DE LA EMPRESA	17
1.3 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	19
1.4 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA	20
1.4.1 Gerencia de Operaciones	20
1.4.2 Director de proyecto	20
1.4.3 Gerencia Administrativa y Financiera	21
1.4.4 Equipos y Almacén	21
1.5 EQUIPO PROPIO	23
1.6 DIAGNÓSTICO	26
1.7 INDICADORES ACTUALES DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	28
1.8 OBJETIVOS	30
1.8.1 Objetivo general	30
1.8.2 Objetivos específicos	30
2. MARCO TEÓRICO	31
2.1 GESTIÓN DE EQUIPOS EN LA COMPAÑÍA	31
2.2 DISPONIBILIDAD	32
2.3 CONFIABILIDAD	37
2.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	39
2.5 ANÁLISIS CAUSA RAÍZ	42
2.6 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)	47
2.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA FALLA	53
2.7.1 Distribución de Weibull	54
2.7.2 Distribución Exponencial	55
2.7.3 Distribución Normal	56

2.7.4 Distribución Log Normal	56
2.8 MANTENIBILIDAD	57
3. PLANTEAMIENTO DEL MODELO DE MANTENIMIENTO	59
3.1 ANÁLISIS DE DATOS	60
3.2 PROCESO DE MEJORA	62
3.2.1 Análisis de Criticidad	62
3.2.2 Análisis Causa Raíz (RCA)	67
3.2.3 Análisis de Modos y Efectos de Falla	73
3.2.4 Interacción organizacional para el modelo planteado	80
4. CONCLUSIONES	82
5. RECOMENDACIONES	83
Bibliografía	85
ANEXOS	87

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación proyecto SCIA	16
Figura 2. Listado de proyectos actuales	17
Figura 3. Localización geográfica proyectos en desarrollo	18
Figura 4. Estructura organizacional empresa SCIA	19
Figura 5. Estructura organizacional departamento de Equipos y Almacén	19
Figura 6. Portada herramienta en Excel para la gestión de mantenimiento	22
Figura 7. Listado de Equipos	24
Figura 8. Imágenes equipos	25
Figura 9. Confiabilidad equipos de izaje	28
Figura 10. Pérdida en facturación mensual por stand by por falla de equipo	28
Figura 11. Pérdida en facturación acumulado por stand by causada por falla de equipos	29
Figura 12. Factores que afectan la funcionalidad de los equipos y las disponibilidades que los consideran	33
Figura 13. Disponibilidad genérica (cálculos puntuales sin distribuciones) - $D_G$	35
Figura 14. Matriz de criticidad	40
Figura 15. Árbol lógico de fallas	46
Figura 16. Estructura general del modelo planteado	60
Figura 17. Formato de reporte de mantenimiento SCIA	61
Figura 18. Proceso de recolección de datos	62
Figura 19. Listado de equipos - Análisis de Criticidad	64
Figura 20. Matriz de criticidad	65
Figura 21. Criticidad de equipos SCIA	66
Figura 22. Grúa Link Belt RTC 8065	69
Figura 23. Dimensiones generales del equipo	70
Figura 24. Formato desarrollado de análisis causa raíz SCIA (RCA)	72
Figura 25. Grúa Link Belt sujeta al estudio AMEF	74
Figura 26. Formato de análisis de modos y efectos de fallas SCIA	78
Figura 27. Interacción organizacional para el modelo planteado	81

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valoración análisis de criticidad	42
Tabla 2. Criterios de severidad, de ocurrencia y detección	52
Tabla 3. Tabla resumen de criticidad	65

## **ANEXOS**

Anexo A. Tabla para aplicación del análisis de criticidad SCIA	87
Anexo B. Formato de Análisis Causa Raíz SCIA	88
Anexo C. Formato de Análisis de Modo y Efectos de Fallas	89
Anexo D. Repuestos resultado del análisis AMEF	90
Anexo E. Análisis de criticidad equipos SCIA	91

## RESUMEN

TITULO: MODELO DE MANTENIMIENTO PARA LA MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS DE SHCRADER CAMARGO INGENIEROS ASOCIADOS S.A

AUTOR: EDDER RODRÍGUEZ ARENAS

PALABRAS CLAVES: DISPONIBILIDAD, CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD, CRITICIDAD, MODELO DE MANTENIMIENTO

DESCRIPCIÓN: Esta monografía se desarrolla motivada por la orientación a mejores prácticas de mantenimiento en la compañía. Se plantea un modelo de mantenimiento el cual relaciona un proceso para el análisis de fallas que apuntan a la mejora de la disponibilidad. La gestión se desarrolla en el departamento de equipos y almacén liderado por la gerencia administrativa y financiera de la compañía Schrader Camargo Ingenieros Asociados S.A. El modelo tiene como objeto mejorar los indicadores de mantenibilidad y confiabilidad de los procesos con el propósito de mejorar la disponibilidad, garantizando de esta manera los tiempos de operación requeridos por los proyectos y a su vez contribuir al éxito en el desarrollo de los proyectos y por ende en el éxito financiero de la compañía.

El modelo de mantenimiento se realiza teniendo como base el uso de técnicas con sus respectivas metodologías para optimizar los procesos y procedimientos utilizados actualmente. Las herramientas de análisis de fallas utilizadas son el análisis de criticidad, análisis causa raíz y análisis de modo y efecto de fallas.

El modelo relaciona la interacción entre los involucrados en el departamento de mantenimiento y el tratamiento y análisis de datos con objeto de generar planes de acción que contribuyan a la mitigación y eliminación de fallas enfocadas en la mejora continua.

\*Monografía

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Director: Msc. Sonia Esperanza Ruiz Balaguera

## **SUMMARY**

**TITLE:** MAINTENANCE MODEL FOR IMPROVING THE AVAILABILITY OF EQUIPMENT, SCHRADER CAMARGO ENGINEERS ASSOCIATES SA.

**AUTHOR:** EDDER RODRÍGUEZ ARENAS

**KEYWORDS:** AVAILABILITY, RELIABILITY, MAINTAINABILITY, CRITICALITY, MAINTENANCE MODEL

**DESCRIPTION:** This monograph was carried out trying to get a better practice for maintenance in the company. A maintenance model is posed which takes into account a process of fault analysis improving the availability and it is focused on the department and warehouse teams led by financial and administrative management of the company Schrader Camargo Engineers associates S.A. The model aim is to improve the maintainability and reliability indicators of the processes in order to improve the availability, thereby ensuring operation times required for the projects and in turn contribute to the successful development of the projects and thus in the financial success of the company.

The maintenance model is made on the basis of the use of techniques with their respective methodologies to optimize the processes and procedures used today. The failure analysis tools used are the criticality analysis, root cause analysis, and analysis of failure modes and effects.

The model relates the interaction between those involved in the maintenance department and the processing and analysis of data to generate action plans that contribute to the mitigation and elimination of failures focused on continual improvement.

\*Monograph

\*\* School of Physics and Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization

Director: Msc. Sonia Esperanza Ruiz Balaguera

## INTRODUCCIÓN

La importancia del mantenimiento cada vez es más relevante en la organización de una compañía ya que la competitividad en la industria es cada día más alta, es aquí donde la gestión de mantenimiento es estratégica en el éxito de la compañía logrando el mejoramiento de sus procesos y optimización de sus recursos.

“Schrader Camargo Ingenieros Asociados S.A. fue fundada el 28 de Febrero de 1963 con el propósito de prestar servicios de ingeniería específicamente en instalaciones eléctricas industriales, comerciales y residenciales en Colombia. Muy pronto, debido al compromiso con los clientes y al buen desarrollo de los proyectos, el portafolio de los servicios se amplió a los montajes electromecánicos.

Proyectos de gran envergadura comenzaron a ser el fuerte de la compañía. Su dedicación para asimilar tecnologías de punta y especificaciones internacionales le permiten participar como contratista y socia de empresas multinacionales, aportando el conocimiento nacional. La seriedad y cumplimiento le permitieron iniciar la exportación de sus servicios a varios países latinoamericanos y del caribe. En los años 80 se decide incorporar obras civiles e ingeniería de diseño como aporte a los requerimientos de los clientes. Obras complejas que involucran todas las ramas de la ingeniería se volvieron cada vez más frecuentes.”<sup>1</sup>

Schrader Camargo Ingenieros Asociados S.A tiene una historia de 50 años en la cual ha desarrollado 339 proyectos en Colombia y 48 proyectos en el extranjero. SCIA<sup>2</sup> desarrolla proyectos de montajes electromecánicos de gran tamaño en el territorio Colombiano, Centro América y el Caribe. Los proyectos que ejecuta en el País están ubicados en diferentes departamentos, entre los clientes principales en

---

<sup>1</sup> [http://www.schradercamargo.com.co/portal/company.asp?content\\_type\\_id=c](http://www.schradercamargo.com.co/portal/company.asp?content_type_id=c)

<sup>2</sup> SCIA: Schrader Camargo Ingenieros Asociados S.A.

Colombia están Ecopetrol, Pacific Rubiales Energy, Prodeco, Chevron, Emgesa, Cerro Matoso, entre otros.

|

La importancia en la disponibilidad de los equipos propios de SCIA es indispensable para cumplir con los avances programados de cada proyecto, garantizando que cada equipo cumpla su función operacional bajo condiciones seguras, es necesario definir las condiciones operacionales y determinar los tipos de falla y su criticidad asociada al proceso las cuales generan consecuencias negativas importantes en el desarrollo de las actividades diaria en los proyectos.

El modelo presentado ha sido estructurado de tal manera que permite observar el mantenimiento desde una óptica organizada y sistémica. Un modelo estratégico enfocado en el departamento de equipos y almacén así como en la administración de los proyectos. Un enfoque que permite estructurar un sistema de mantenimiento que contribuya en el éxito financiero de la compañía.

## 1. MARCO CONTEXTUAL

### 1.1 LA EMPRESA

Schrader Camargo Ingenieros Asociados S.A inicio operaciones en 1963, desde su fundación hasta la actualidad su ámbito de acción abarca todas las ramas de la ingeniería y una multiplicidad de sectores: energía eléctrica, de producción y refinación de petróleo, de las industrias químicas, petroquímicas, cemento, papel, acero y a la minería en general. Alcanzando un alto grado de especialización en el montaje mecánico y electromecánico de plantas industriales y centrales eléctricas.

Figura 1. Representación proyecto SCIA



Fuente: Schrader Camargo Ingenieros Asociados S.A. Obtenido de: [www.schradercamargo.com.co](http://www.schradercamargo.com.co)

Schrader Camargo Ingenieros Asociados S.A es una empresa de origen colombiano con capital 100% mexicano, genera más de 900 empleos directos en Colombia, cuyos dueños son el grupo “Xignux el cual es un consorcio industrial mexicano con base en Monterrey, Nuevo León, que cuenta con más de 20 mil

colaboradores. Está integrado por cuatro divisiones: cables, transformadores, infraestructura y alimentos, sus operaciones se ubican en México, Estados Unidos, India, Brasil y Colombia, actualmente exporta arriba del 60% a más de 40 países en el mundo”<sup>3</sup>. SCIA se ha distinguido por la seriedad en el cumplimiento de sus contratos, de ahí su excelente trayectoria y buen nombre contribuyendo en el desarrollo social y económico del país.

## 1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PROYECTOS DE LA EMPRESA

Actualmente la compañía desarrolla siete proyectos en el sector de oil & gas, uno en el sector minero, uno en el sector energético y uno en gerencia de proyectos. A continuación se detalla los proyectos con sus respectivos clientes:

Figura 2. Listado de proyectos actuales

Colombia				
	No.	Nombre	Ciudad / Municipio	Cliente
1	317	Sistema de Agua	Barrancabermeja	Ecopetrol
2	323	Isla VI	Puerto Wilches	Ecopetrol
3	324	El Quimbo	Gigante	EMGESA
4	330	Reficar - Cuarto Control	Cartagena	CB&I
5	331	Montaje Puerto Nuevo	Santa Marta	Sandvik
1	332	Turbogenerador	Barrancabermeja	Ecopetrol
1	333	Energía y Vapor	Barrancabermeja	Ecopetrol
1	334	Revamp Unidad 250	Barrancabermeja	Ecopetrol
6	335	Cruces de Ríos	Puerto Parra	Ecopetrol
5	336	Trabajos Eléc. Sandvik	Santa Marta	Sandvik

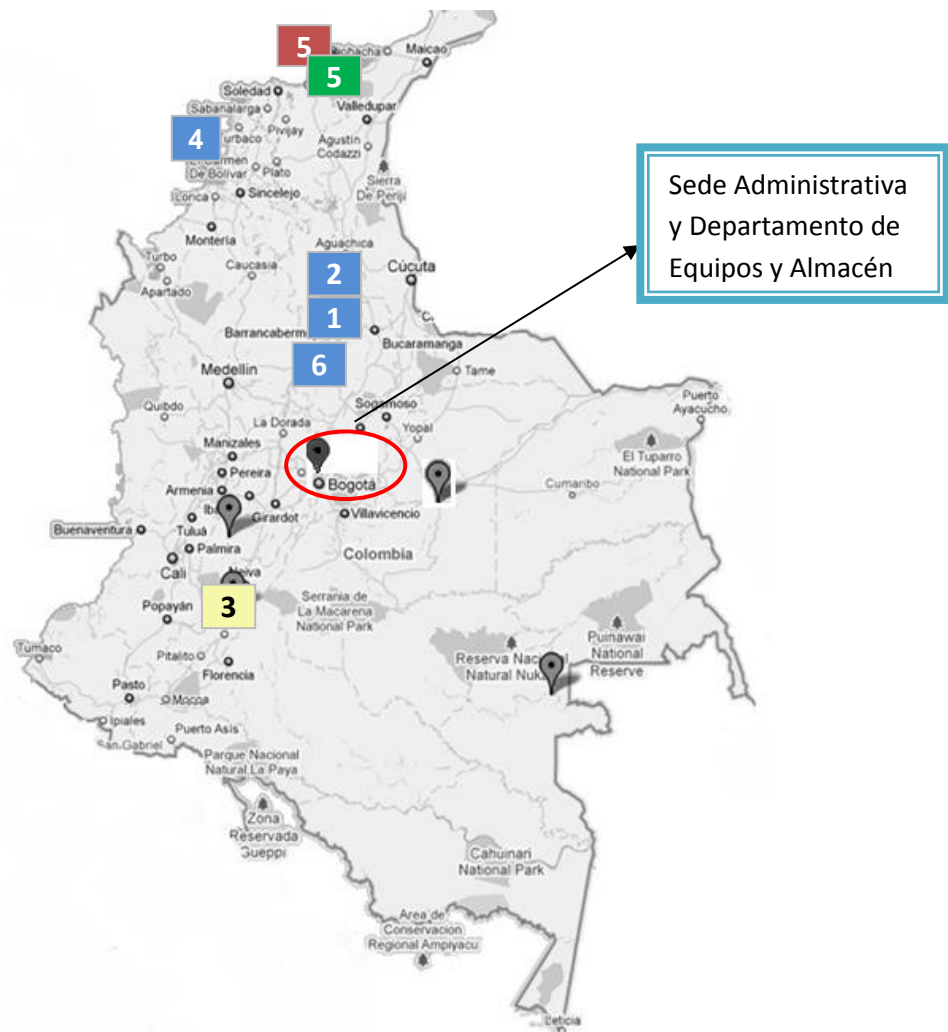
- Oil & Gas
- Gerencia de Proyecto
- Generación
- Otros
- Minería

Fuente: Presentación comité de operaciones SCIA

<sup>3</sup> <http://www.xignux.com/Site/ES/wp-content/uploads/2013/05/Responsabilidad-Social-y-Desarrollo-Sustentable-Xignux-Primer-Informe.pdf>

El mapa de Colombia mostrado a continuación tiene localizado los proyectos actuales descritos en la tabla anterior.

Figura 3. Localización geográfica proyectos en desarrollo

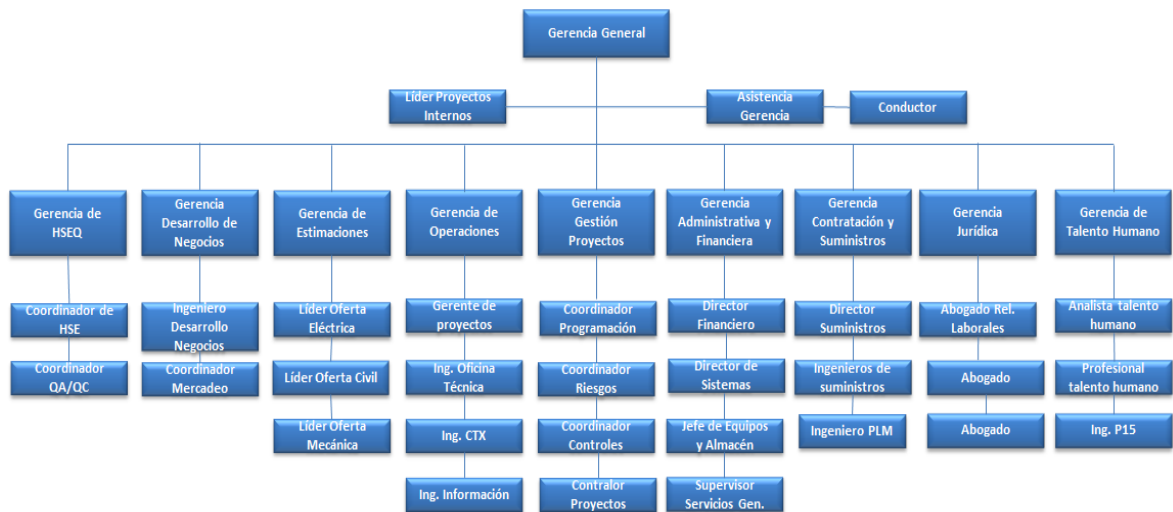


Fuente: Presentación comité de operaciones SCIA

### 1.3 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

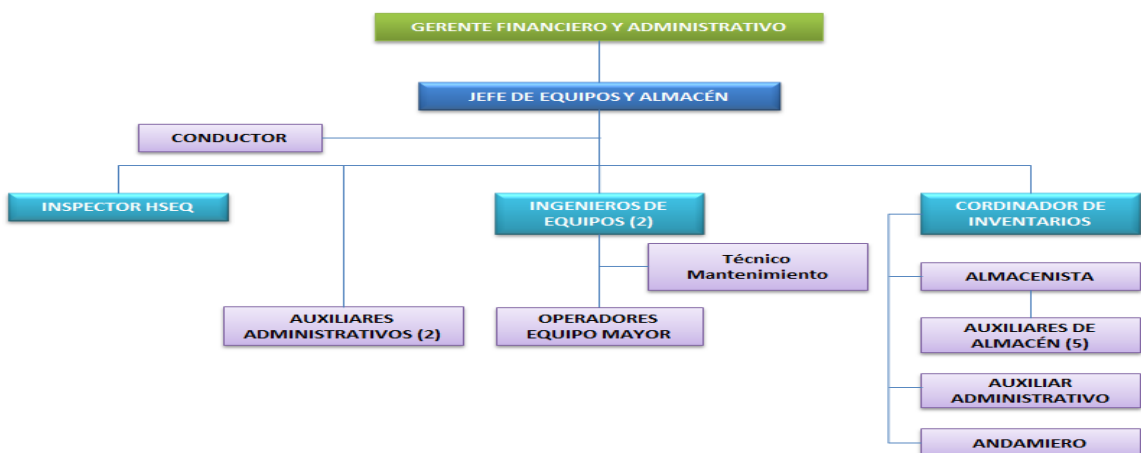
Las siguientes figuras muestran la estructura organizacional de la empresa en general y la estructura del departamento de equipos y almacén en el cual se realiza la gestión de mantenimiento de la compañía.

Figura 4. Estructura organizacional empresa SCIA



Fuente: El autor

Figura 5. Estructura organizacional departamento de Equipos y Almacén



Fuente: El autor

## 1.4 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA

En la gestión de mantenimiento participan los siguientes departamentos y/o áreas:

- Gerencia de Operaciones
- Director de proyecto
- Gerencia Administrativa y Financiera
- Departamento de equipos y almacén

**1.4.1 Gerencia de Operaciones.** Garantiza el éxito en la ejecución de los proyectos con objeto de alcanzar los márgenes de utilidad esperados en la oferta y de esta manera satisfacer las necesidades de los inversionistas.

Es la unidad encargada de realizar la reunión de apertura de cada proyecto dictando las directrices y programación de actividades y/o tareas con el propósito de garantizar el buen desarrollo del proyecto, presenta el plan y cronograma de utilización de equipos con objeto de garantizar la disponibilidad de los equipos en las fechas requeridas.

La gerencia de operaciones representa a la compañía ante los clientes en lo referente al desarrollo del proyecto, reclamaciones y/o eventos de HSEQ.

**1.4.2 Director de proyecto.** Responsable del desarrollo de las actividades de los diferentes frentes de trabajo con objeto de cumplir con el plan diario de trabajo y de esta manera ejecutar el proyecto con los recursos y tiempos estimados en la oferta.

El director del proyecto asigna responsable para la administración, custodia, preservación y mantenimiento de los equipos asignados al proyecto ya sean propios y/o rentados a terceros. El jefe de equipos y almacén coordina con el encargado en el proyecto la ejecución de las actividades de mantenimiento asociadas a cada equipo, garantizando de esta manera los medios físicos y

humanos para la realización de las tareas con el propósito de garantizar la disponibilidad y confiabilidad para los equipos utilizados en el proyecto.

Es el responsable de hacer cumplir los procedimientos de equipos y almacén en el proyecto.

**1.4.3 Gerencia Administrativa y Financiera.** Responsable de facilitar los recursos humanos, técnicos y económicos al departamento de equipos y almacén.

**1.4.4 Equipos y Almacén.** El departamento de equipos y almacén pertenece al proceso operativo y está fundado sobre la base de brindar soporte y servicio a los proyectos internos de la Compañía. Nuestras actividades están dirigidas a agregar valor y aportar beneficios en la ejecución de los proyectos, mediante el suministro de equipos y herramientas de manera eficiente, manteniendo y preservando el estado físico y operacional de los equipos garantizando alta disponibilidad, confiabilidad y seguridad operacional.

Responsable de la planeación y ejecución de las actividades de mantenimiento con objeto de mantener disponibles y confiables los equipos en el momento requerido.

El departamento de equipos y almacén es el área encargada de controlar y administrar los activos de la compañía, así como de sus inspecciones, reparaciones y restauraciones de acuerdo con el plan de mantenimiento y presupuesto del área. Coordina el suministro de materiales, equipos, herramientas y recurso humano requerido para la ejecución del mantenimiento correctivo y preventivo tanto en la sede en el municipio de Sopo como en el sitio de ejecución de los proyectos en el territorio nacional.

Equipos y almacén es el área responsable del inventario de equipos, herramientas y andamio de la compañía para lo cual cuenta con una coordinación de inventarios

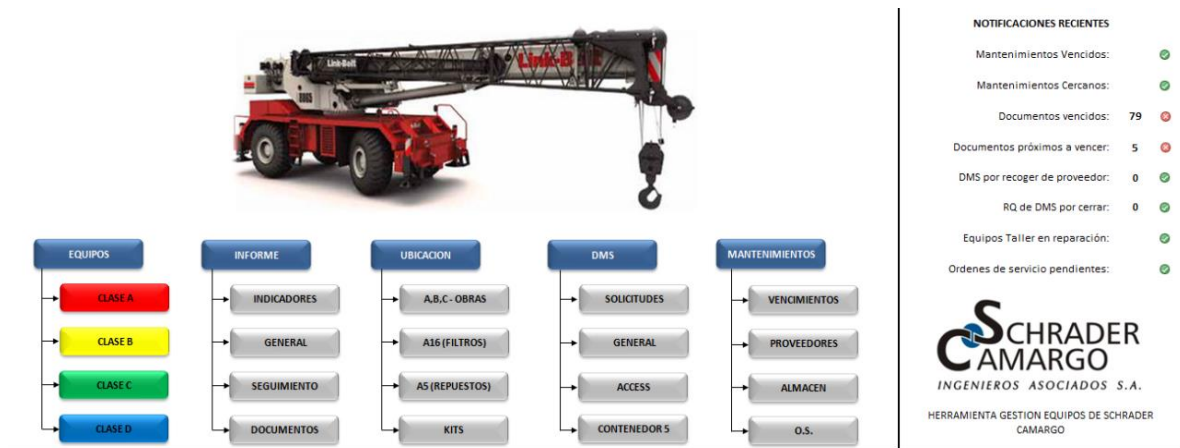
quien lidera el control y estrategias para mantener la confiabilidad del inventario en el sistema de información interno de la compañía SICO<sup>4</sup>.

El SICO es un sistema de información interno en el cual se lleva el control de los diferentes departamentos: tesorería, contabilidad, nomina, talento humano, control proyectos, inventario, compras, entre otros módulos.

El control y programación de mantenimiento para cada equipo propiedad de SCIA se realiza por medio de un programa realizado en la herramienta Excel, allí controlamos el CMD<sup>5</sup> para cada equipo. Es esta la herramienta principal de trabajo para que el departamento de equipos pueda cumplir con su misión en la compañía ya que con este se administra la gestión del mantenimiento de cada equipo.

En la herramienta informática se realiza el control de mantenimiento de los equipos y los indicadores asociados a la gestión de mantenimiento, hojas de vida, fichas técnicas, históricos de eventos y/o fallas, ubicación de los equipos, generación de informes respecto a vencimiento de documentación para cada equipo.

Figura 6. Portada herramienta en Excel para la gestión de mantenimiento



Fuente: El Autor

<sup>4</sup> SICO: Sistema de Información de Control de Obra

<sup>5</sup> CMD: Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad

## 1.5 EQUIPO PROPIO

Actualmente contamos con 149 equipos mayores entre los cuales tenemos de la siguiente naturaleza:

- Hidráulicos: Grúas hidráulicas terreno áspero, manlift y/o brazos articulados, camiones grúa, telehandler y montacargas.
- Soldadura: electrosoldadores, motosoldadores, equipos de soldadura especial semiautomáticos y automáticos.
- Aire: compresores portátiles.
- Generación eléctrica: plantas de generación.
- Iluminación: torres de iluminación.
- Transporte: Camionetas, micro buses.

Figura 7. Listado de Equipos

Descripción	Cantidad
Grúa Hidráulica Link Belt RTC 8065	3
Grúa Hidráulica Link Belt RTC 8050	3
Grúa Hidráulica Terex RT 160	3
Grúa Hidráulica Terex RT 335	1
Grúa Hidráulica Terex RT 230	1
Camión Grúas	6
Manlift JLG 600AJ	7
Montacargas	2
Telehandler 3000 kg	1
Retrocargadora Caterpillar 420F	5
Mini cargador	3
Mini retroexcavadora	1
Plantas de generación de 60KVA a 500 KVA	18
Torres de iluminación	8
Compresores de 250 CFM	5
Camión NPR	4
Camionetas 4x4 doble cabina	30
Equipos de tratamiento térmico	2
Orbital para soldadura	1
Equipo para soldadura de tanques-Koike	2
Equipos semiautomáticos de soldadura	14
Motosoldadores	30

Fuente: El Autor

Figura 8. Imágenes equipos





Fuente: El Autor

## 1.6 DIAGNÓSTICO

La alta competitividad del sector de montajes electromecánicos conlleva a las empresas a la ejecución perfecta en el desarrollo de los proyectos, esto requiere la optimización de cada uno de sus departamentos y/o procesos con objeto de garantizar los márgenes de rentabilidad esperados para cada proyecto.

El proceso de suministro de equipos a los proyectos es crítico dado que hoy en día los indicadores de falla y mantenimientos correctivos no son los mejores, por consiguiente siendo consecuencia de una baja disponibilidad y es por esto que los proyectos presentan atrasos en sus PDT<sup>6</sup> afectando directamente el presupuesto del proyecto y significando en muchos casos mayores tiempo de permanencia y/o de ejecución reduciendo de esta manera los márgenes esperados por los proyectos.

El aspecto económico es sin duda alguna el más relevante a la hora de hablar de disponibilidad de los equipos de SCIA, mejorar el indicador de recaudo mensual por concepto de renta de equipos a los clientes internos (Proyectos), a nivel macro contribuye en el éxito de la compañía en la ejecución de los proyectos y en una buena imagen corporativa ante sus clientes.

Actualmente los equipos hidráulicos presentan alta tasa de fallas y/o eventos que llevan a tener atrasos en los PDT siendo estos equipos los más críticos en las actividades diarias de los proyectos tanto por la utilización como por la dificultad en la consecución, alistamiento, transporte de otro equipo que cumpla con lo requerido y finalmente aprobación por parte del cliente. El proceso de gestión de mantenimiento actualmente practicado no muestra un enfoque estructurado que permita realizar la ejecución de mantenimiento de manera organizada y planeada. No se tiene identificado la criticidad de las fallas con objeto de identificar a cuales se debe atacar de raíz con el objetivo de poder gestionar estrategias para la mitigación de las mismas.

El problema entonces radica en la estrategia para realizar la gestión de mantenimiento y por esto que se pretende identificar la mejor metodología para la interacción de técnicas en el análisis de fallas y especificar la estructura organizacional donde interactúen los diferentes procesos y responsables de las

---

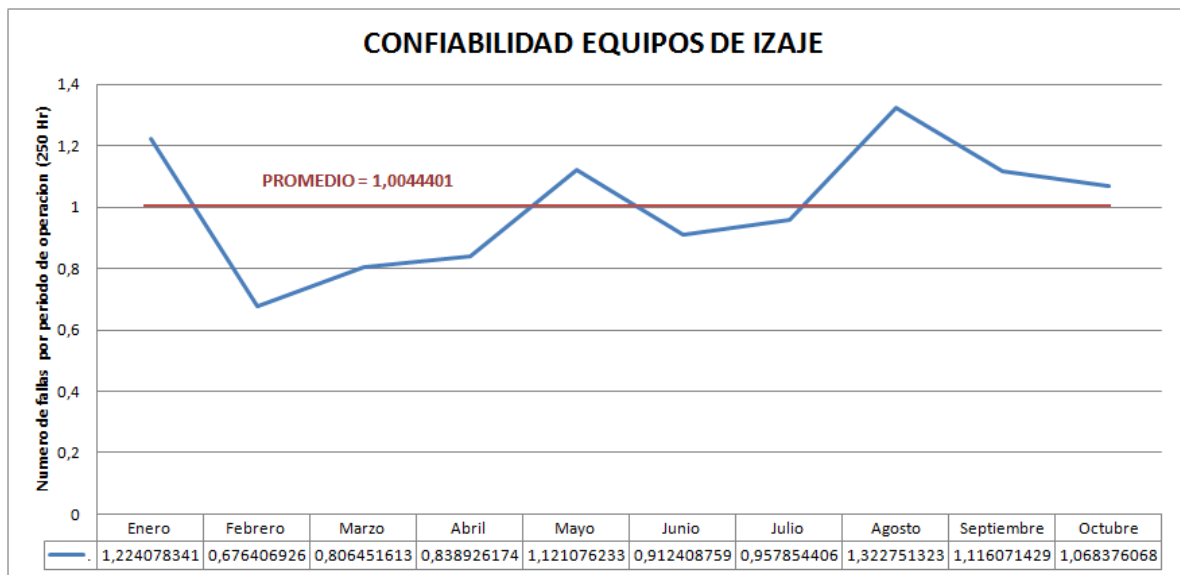
<sup>6</sup> PDT: Plan Diario de Trabajo

actividades proponiendo un modelo de mantenimiento el cual mejore el índice de disponibilidad atacando y/o mejorando la confiabilidad de los equipos.

## 1.7 INDICADORES ACTUALES DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

Confiabilidad operacional. A continuación se muestra una gráfica donde se evidencia la estadística de fallas y/o paradas del equipo hidráulico y/o de izaje (fallas del equipo por horas de operación).

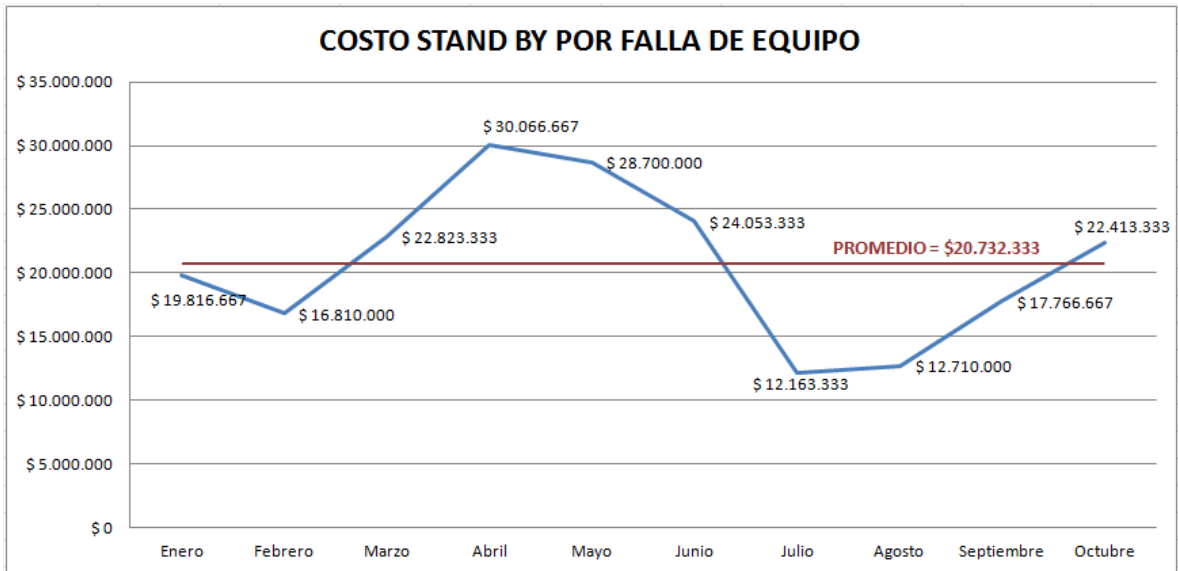
Figura 9. Confiabilidad equipos de izaje



Fuente: El autor

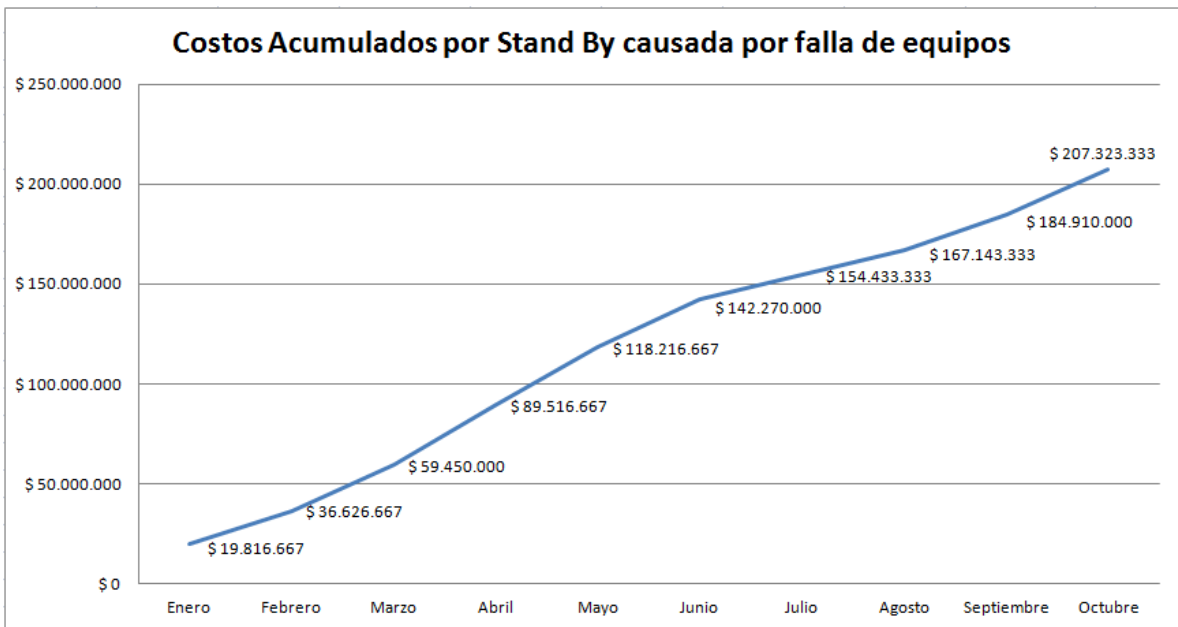
El dinero que deja de recibir el departamento de equipos y almacén por stand by generado por las fallas en equipo de izaje se evidencia en la siguiente figura (figura 10) de forma mensual y de forma acumulada (figura 11).

Figura 10. Perdida en facturación mensual por stand by por falla de equipo



Fuente: El autor

Figura 11. Perdida en facturación acumulado por stand by causada por falla de equipos



Fuente: El autor

## **1.8 OBJETIVOS**

### **1.8.1 Objetivo general**

Proponer un modelo de mantenimiento que garantice un alto índice de disponibilidad en los equipos de Schrader Camargo Ingenieros Asociados S.A

### **1.8.2 Objetivos específicos**

- Seleccionar herramientas aplicables de confiabilidad para el análisis de fallas
- Identificar la mejor metodología para la interacción de técnicas en el análisis de fallas
- Especificar la estructura organizacional e interacción de procesos para el modelo planteado
- Diagnosticar y desarrollar la metodología propuesta

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 GESTIÓN DE EQUIPOS EN LA COMPAÑÍA**

Schrader Camargo Ingenieros Asociados S.A. cuenta con aproximadamente 150 equipos mayores los cuales son suministrados a los proyectos que desarrolla la compañía a lo largo de la geografía Colombiana, de esta manera se dispone de equipos en diferentes regiones del país (costa atlántica, llanos orientales, sur del país, magdalena medio, Huila, entre otros lugares). Dada la alta rotación de equipos debido a la consecución constante de nuevos proyectos es necesario contar con la mayor disponibilidad posible de sus equipos ya que con esto se tiene una reacción inmediata para una movilización de un nuevo proyecto, y con esto aumentando la utilización de equipos propios generando ingresos por servicio de suministro al proyecto interno y por otra parte generando ahorro ya que los equipos no se deben rentar a un proveedor externo de esta manera permitiendo que el dinero no quede en manos de la compañía misma.

El plan de mantenimiento para los equipos se basa en las recomendaciones de los fabricantes y en la mayoría de los casos van de periodos de frecuencia entre las 200 y 250 horas de operación donde las principales actividades son inspección, limpieza, lubricación, calibración de variables, ajuste y sustitución de piezas de desgaste. Este mantenimiento preventivo en la mayoría de los casos se realiza con frecuencia mensual ya que los equipos operan alrededor de 8 horas al día. Se realizan mantenimientos mayores con una frecuencia anual y/o cada 2000 horas de operación en especial para los equipos hidráulicos los cuales se deben certificar estructuralmente y certificar su sistema indicador de carga.

Actualmente el departamento realiza el mantenimiento preventivo y correctivo a los equipos que se tienen en la sede y en los proyectos con una combinación de mano obra interna y contratada con proveedores locales. La mayoría de las

órdenes de trabajo se realizan con terceros y/o contratistas de acuerdo a la programación de mantenimientos preventivos y las solicitudes de mantenimientos correctivos que presentan los proyectos respecto a la funcionalidad de sus equipos y que a su vez retrasan los PDT de los proyectos. Se debe contar con alta confiabilidad de los equipos y con esto minimizar las tasas de fallas ya que la consecución de mano de obra especializada es difícil en Colombia y más aún si el trabajo no es planeado y/o repentino. El costo mantenimiento preventivo y correctivo mensual para los equipos está en aproximadamente 80 millones de pesos.

## **2.2 DISPONIBILIDAD**

Existen diversas definiciones para tratar la disponibilidad, en este trabajo se define disponibilidad de acuerdo a la definición de Alberto Mora Gutiérrez en su libro Mantenimiento planeación, ejecución y control “Disponibilidad es la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables y seguras”.

Según lo describe AMG<sup>7</sup> en su libro Mantenimiento planeación, ejecución y control se presenta disponibilidad genérica, inherente (o intrínseca), alcanzada, operacional y operacional generalizada. Se utilizan de acuerdo a información y/o datos con los que se cuente, con el objeto que sea compatible al momento de desarrollar los métodos puntuales y de distribuciones. Las definiciones de disponibilidad se pueden poner en práctica para compañías con poca información y/o datos de mantenimiento como es el caso de la disponibilidad genérica la cual

---

<sup>7</sup> MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento planeación, ejecución y control; 8 ed. Alfaomega Grupo Editor. S.A de C.V., México. 2009.

solo requiere los tiempos útiles y los tiempos de no funcionalidad ideal para iniciar pruebas piloto, hasta el concepto de disponibilidad más completo y complejo el cual lo presenta la disponibilidad operacional y disponibilidad operacional generalizada las cuales se utilizan para empresas maduras en el tema de mantenimiento y es necesario información como tiempos de reparación, tiempos de mantenimiento, tiempos logísticos, tiempos de consecución de recursos humanos y tiempos administrativos entre otros.

La siguiente tabla presenta un resumen de los factores que intervienen en cada una de las disponibilidades. (pág. 92 AMG-Mantenimiento, planeación ejecución y control)

Figura 12. Factores que afectan la funcionalidad de los equipos y las disponibilidades que los consideran

		Factores que disminuyen la funcionalidad del dispositivo, equipo o sistema						
		Down time	Reparación correctiva	Mtos. preventivos o predictivos	Tiempos administrativos	Retrasos logísticos insumos, repuestos, recursos humanos	Tiempos logísticos-indisponibilidad suma de ADT+LDT	Ready time, equipo disponible pero no produce
	Término	DT	TTR	PM	ADT	LDT'	LDT	RT
Disponibilidad	Genérico Ag	X						
	Inherente Ai		X					
	Alcanzada Aa		X	X				
	Operacional Ao		X	X	X	X	X	
	Operacional Alcanzada Ago		X	X	X	X	X	X

Fuente: Alberto Mora Gutierrez

Para este trabajo se considera aplicar la disponibilidad genérica ya que los tiempos que se manejan son los tiempos útiles y los tiempos de no funcionalidad adicional a que no se tiene el histórico de datos para pensar en aplicar otro concepto.

La disponibilidad genérica sin mantenimientos preventivos la podemos expresar como se indica en la siguiente ecuación:

$$A_G = \frac{\text{Media de los tiempos con funcionamiento}}{\text{Media de tiempos útiles} + \text{Media de tiempos de no funcionalidad}} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$A_G = \frac{\frac{\sum_{i=1}^m UT_i}{m}}{\frac{\sum_{i=1}^m UT_i + \sum_{j=1}^n DT_j}{m}} \quad \text{Ecuación 2}$$

*UT*: tiempos útiles o *Up time*

*DT*: tiempos en que la máquina ni funciona ni produce, o *Down Time*

*m*: número de eventos de *UT*

*n*: número de no funcionalidades *DT*

Además se asume que no hay acciones planeadas  $M_p$  dentro de los tiempos de *DT*.

La disponibilidad genérica en este caso se mide en porcentaje, mientras que *UT*, *DT*, *MUT* y *MDT* se miden en unidades de tiempo: horas, minutos entre otros.

Disponibilidad genérica -  $D_G$

Es muy útil cuando se tienen los tiempos totales de funcionamiento y de no funcionalidad, los cuales se miden en forma global (no discrimina los tiempos correctivos, preventivos, predictivos, las demoras o los *Ready Time*), los *DT* se miden al bulto; en este caso no se poseen los tiempos exactos de demoras logísticas, suministros, retrasos, acciones correctivas ni modificativas, tiempos planeados, etc. Es muy útil para empresas principiantes en el tema de predicción del CMD.

Los *MUT* en la  $A_G$  sólo consideran los tiempos en que el equipo funciona correctamente; como a su vez los *MDT* contemplan todo lo que genere no disponibilidad o no funcionalidad; los tiempos de paradas previstas o planeadas por mantenimiento (u otra causa) deben descontarse del tiempo en que el equipo puede operar. Por ejemplo, en el evento en que se tuviera un equipo que tiene tiempo útil *UT*, otro tiempo *DT* por fallas que generan reparaciones y además de lo anterior se tiene tiempo invertido en PM mantenimiento preventivo, con un tiempo total *TT*, se calcula así la disponibilidad:

Disponibilidad genérica con mantenimientos preventivos:

$$A_G = \frac{\text{Tiempo funcionamiento}}{\text{Tiempo en que puede operar}}$$

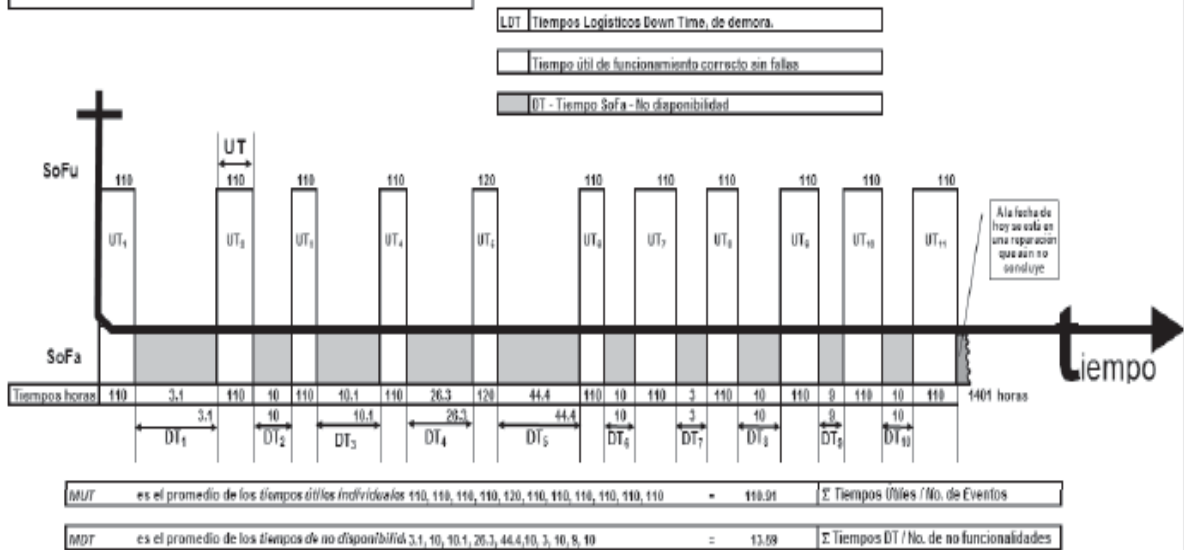
$$A_G = \frac{\pi - \sum PM - \sum DT}{\pi - \sum PM}$$

**Ecuación 3**

Si durante los tiempos de mantenimiento preventivo aparece una falla se consideran como hechos independientes el PM y la reparación, y se trata como eventos diferentes.

Figura 13. Disponibilidad genérica (cálculos puntuales sin distribuciones) -  $D_G$

En la Disponibilidad Genérica no se tienen desglosados ninguno de los conceptos que generan indisponibilidad, el Ready Time se conoce y existe, pero no se toma en cuenta



Fuente: Alberto Mora Gutierrez; Mantenimiento planeación, ejecución y control; Alfaomega

De esta manera se tiene la siguiente disponibilidad genérica:  $A_G$

$$AG = \frac{MUT}{MUT + MDT} = \frac{110,91}{110,91 + 13,56} = 89,08\%$$

En la disponibilidad genérica se cumple que:

$$MTBF = UT + DT, \text{ pero si } UT \gg \gg \gg DT, \text{ entonces queda que } MTBF = UT$$

$$DT = LDT + MTTR, \text{ con } LDT \text{ despreciable o igual a cero, de donde } DT = MTTR$$

Si ambos resultados se reemplazan en la disponibilidad genérica, esta se transforma en:

$$AG = \frac{MUT}{MUT+MDT}$$

**Ecuación 4**

Donde se tiene la siguiente:

MTBF = tiempo medio entre fallas

LDT = tiempo de demora por logística

### **2.3 CONFIABILIDAD**

La medición de la confiabilidad se da respecto de la frecuencia con la cual ocurren las fallas, la confiabilidad se definirá como “probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseña durante un periodo de tiempo específico y bajo condiciones normales de operación, ambientales y del entorno”<sup>8</sup>

De esta manera se puede decir que la confiabilidad es una medida de la calidad de un equipo y por lo tanto entre más alta sea la confiabilidad mayor calidad tendrá el equipo. Los factores que intervienen en la confiabilidad y por ende debemos conocer son:

- Probabilidad
- Desempeño
- Periodo
- Condiciones de operación

---

<sup>8</sup> MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento planeación, ejecución y control; 8 ed. Alfaomega Grupo Editor. S.A de C.V., México. 2009.

La ecuación matemática para la confiabilidad la tomamos del artículo *La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento*<sup>9</sup>.

$$R(t) = e^{-\gamma t}$$

**Ecuación 5**

Dónde:

$R(t)$ : Confiabilidad de un equipo en un tiempo  $t$  dado

$e$ : constante Neperiana ( $e=2.303\dots$ )

$\gamma$ : Tasa de fallas (número total de fallas por período de operación)

$t$ : tiempo

La confiabilidad es la probabilidad de que no ocurra una falla de determinado tipo, para una misión definida y con un nivel de confianza dado.

Es decir que para obtener una confiabilidad alta para un equipo es necesario trabajar y/o realizar planes de mantenimiento con objeto de reducir el número total de fallas por periodo de operación y/o lo que es igual aumentar el tiempo medio entre fallas. Para esto es necesario utilizar metodologías de análisis de fallas con el objetivo de identificar fallas y realizar su respectivo análisis con el fin de obtener las causas raíces relevantes para causar las fallas y de esta manera atacarlas por medio de planes y/o acciones que conlleven a mitigarlas o desaparecerlas.

Para este trabajo se desarrollara las siguientes metodologías después de realizar un análisis de criticidad:

- Análisis causa raíz

---

<sup>9</sup> SCIENTIA ET TECHINICA. año XII, No 30, Mayo de 2006. U.T.P.

- Análisis de modos y efectos de fallas

## 2.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades para un proceso, sistema y/o equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, dirigiendo el esfuerzo y los recursos a áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual<sup>10</sup>.

La criticidad se puede expresar como:

$$\text{Criticidad} = \text{Probabilidad de falla} * \text{Consecuencia de la falla}$$

Donde la probabilidad de falla está asociada al número de fallas que presenta el sistema y la consecuencia de la falla que está referida como: el impacto, flexibilidad de operación, los costos de reparación, los impactos en seguridad, ambiente e imagen corporativa.

Los siguientes son los beneficios de aplicar un análisis de criticidad<sup>11</sup>:

- Priorizar ordenes de trabajo de operación y mantenimiento
- Priorizar proyectos de inversión
- Diseñar políticas de mantenimiento
- Seleccionar una política de manejo de repuestos y materiales

---

<sup>10</sup> UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Metodologías para análisis de fallas. 2009.

<sup>11</sup> MONTAÑA, Leonardo. Diseño de un sistema de mantenimiento con base en análisis de criticidad y análisis de modos y efectos de falla en la planta de coque de fabricación primaria en la empresa Acerías paz del río S.A. UPTC. 2006.

- Dirigir las políticas de mantenimiento a las áreas o sistemas más críticos
- Utilización óptima de los recursos humanos y económicos dirigidos hacia sistemas claves de alto impacto
- Potencializar adiestramiento y desarrollo de habilidades en el personal, basados en la criticidad de sus procesos y sistemas

En la siguiente grafica se muestra a modo de ejemplo una matriz de criticidad donde el color rojo indica los equipos críticos, el amarillo los medianamente críticos y el blanco los equipos no críticos.

Figura 14. Matriz de criticidad

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Fuente: El autor

Es importante para el mantenimiento determinar cuáles de sus sistemas y/o equipos son los más críticos para de esta manera identificar prioridades respecto de los programas de mantenimiento y sus actividades asociadas, el estudio también direcciona la frecuencias de inspección y ayuda en la identificación de aquellos repuestos los cuales deben estar disponibles para la solución de una falla asociada al equipo y/o sistema.

Se aclara que el grado de criticidad es esencialmente una función específica de cada proceso o equipo dentro de un tipo de industria, no se puede darle el mismo valor a un equipo similar, ya sea en la misma planta o en una similar, ya que la criticidad se ve afectada principalmente por los criterios propios de cada estudio.

Los criterios principales para un análisis de criticidad están definidos por ambiente, producción, seguridad, costos de operación y mantenimiento, probabilidad de falla y tiempo de reparación.

Es importante definir el equipo, sistema, subsistema y/o elementos a estudiar, definir el objetivo y alcance para el estudio, selección del equipo de trabajo e información al personal sobre la importancia del estudio, realizar la recolección de datos, verificación y análisis de datos y retroalimentación.

Para el modelo de criticidad de factores ponderados basados en la teoría de riesgo cualitativo es necesario definir cualitativamente el riesgo para así establecer el nivel de criticidad del componente o del sistema que se está tratando, una manera de expresar este valor la provee Carlos Parra en una de sus ponencias en el congreso internacional de mantenimiento celebrado entre el 12 y 13 de Mayo de 2005 en la ciudad de Bogotá.

Riesgo = Frecuencia x Consecuencia

Frecuencia = # de fallas (en un tiempo determinado)

Consecuencia = ((impacto operacional x flexibilidad) + costos de mantenimiento + impacto SHA)

Los valores asignados para cada una de las expresiones puede ser tomado de la siguiente tabla, pero también puede ser modificados para uso personalizado del estudio y de acuerdo a políticas de la empresa, esto mediante un estudio previo con el grupo multidisciplinario que evalué las consecuencias y su respectivo impacto; debido a que no todas las industrias operan y consideran los riesgos de la misma manera.

Tabla 1. Valoración análisis de criticidad

Frecuencia de fallas		Costo de Mtto	
Pobre mayor a 2 fallas/año	4	Mayor o igual a 20000 \$	2
Promedio 1 a 2 fallas/año	3	Inferior a 20000 \$	1
Buena 0,5 a 1 falla/año	2		
Excelente menos de 0,5 falla/año	1		
<b>Impacto Operacional</b>		<b>Impacto en Seguridad, Impacto Higiene (SAH)</b>	
Pérdida de todo el despacho	10	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	8
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas	7	Afecta el ambiente/Instalaciones	7
Impactan en niveles de inventario o capacidad	4	Afecta las instalaciones causando daños severos	5
No genera ningún impacto significativo sobre operación y producción	1	Provoca daños menores (ambiente/seguridad)	3
		No provoca ningún tipo de daños a personas instalaciones o al ambiente	1
<b>Flexibilidad Operacional</b>			
No existe opción de producción y no hay función de repuesto	4		
Hay función de repuesto compartido/a	2		
Función de repuesto disponible	1		

Fuente: Alberto Mora Gutierrez; Mantenimiento planeación, ejecución y control; Alfaomega

Para este trabajo se realizara el análisis de criticidad basado en la tabla indicada en el anexo A.

## 2.5 ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

El análisis causa raíz (RCA) es una metodología disciplinada que permite identificar las causas físicas, humanas y latentes de cualquier tipo de falla que ocurre una o varias veces permitiendo adoptar las acciones correctivas que minimizan los impactos negativos operacionales, mejora la seguridad y la confiabilidad del proceso.

El RCA se basa en el árbol lógico de fallas, la deducción y verificación de los hechos para encontrar el origen real de una falla, dado que la metodología para desarrollar el RCA consume tiempo se debe determinar a qué fallas se les debe realizar este tipo de análisis basado en sus consecuencias.

Para realizar un buen análisis se debe ir más allá de los componentes físicos o raíces físicas y analizar las raíces humanas que desataron la cadena causa-efecto que llevo a la falla física. Se presentan dos tipos de problemas a analizar en un RCA: problema esporádico y problema crónico.

Problema esporádico: desviación del estándar operacional causando una cantidad considerable de traumatismo cuando aparece. Por ejemplo incendios, explosiones, huelgas, etc.

Problema crónico: desviaciones del estándar operacional frecuentes, difíciles de controlar y eliminar.

El equipo de trabajo para desarrollar un análisis RCA se basa en personas expertas las cuales tienen conocimientos directamente relacionados con el problema a analizar y debe ser dirigido por un experto en RCA, el resto del equipo lo componen operarios, mantenedores, ingenieros entre otros a considerar.

Beneficios del RCA<sup>12</sup>:

- Determinar cuáles son las verdaderas causas raíces de falla
- Se puede predecir la ocurrencia de eventos no deseados, e identificar acciones concretas para minimizar su ocurrencia
- Facilita la capacidad para examinar un modelo de fallas e impide la repetición de las mismas
- Una vez aplicada la gestión sugerida aumenta la confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad de los equipos
- Disminuye el número de fallas o incidentes, reduce los impactos operacionales y los accidentes manifestándose en una disminución de los costos de mantenimiento
- Motiva la sinergia del personal de mantenimiento y operaciones

---

<sup>12</sup> UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Metodologías para análisis de fallas. 2009.

- Optimiza los costos aumentando la eficiencia y productividad

Las causas raíces que resultan del árbol lógico de fallas en el RCA son de 3 tipos:

- Causa raíz física: es la causa tangible de por qué ocurre la falla, generalmente proviene de causa raíz humana o latente, son las más fáciles de determinar y siempre requieren verificación.
- Causa raíz humana: es el resultado de errores humanos ocasionados por actuaciones incorrectas. Usualmente producto de distracciones o imprudencias en el desempeño de las funciones que tienen asignadas las personas.
- Causa raíz latente: son resultado de deficiencias en los sistemas administrativos o de información o también vistas como debilidades organizacionales

La metodología del RCA consta de 6 pasos, el cual inicia con la preparación para la investigación y termina con un reporte de hallazgos, los pasos son los siguientes<sup>13</sup> :

- Paso 1: Identificar los eventos más significativos
- Paso 2: Preservar las evidencias de falla
- Paso 3: Ordenar el análisis
- Paso 4: Construir el árbol lógico de fallas
- Paso 5: Comunicar resultados y las recomendaciones
- Paso 6: Hacer seguimiento a los resultados

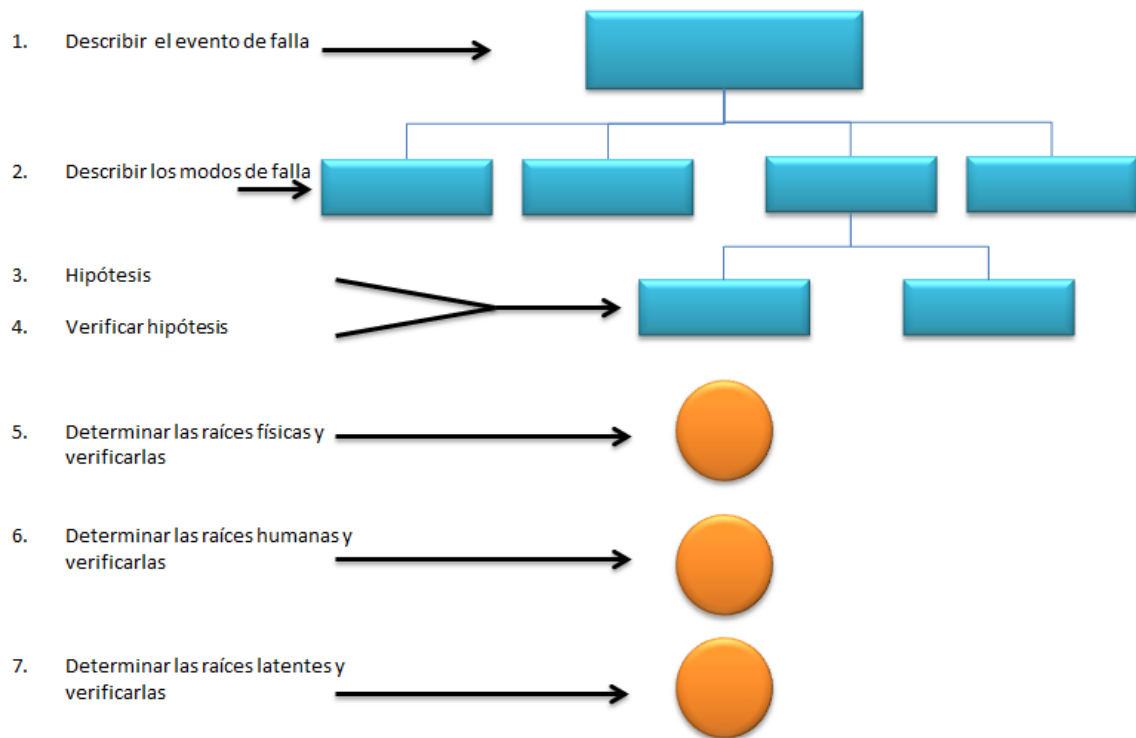
El paso más importante del proceso es el cuarto donde se debe realizar el análisis de fallas como tal, el siguiente grafico muestra seis actividades claramente delimitadas que se deben realizar en el orden establecido y que son:

---

<sup>13</sup> MURILLO, William M. "Modelo de confiabilidad basado en el Análisis de Fallas" ACIEM-ECOPETROL. V congreso internacional de mantenimiento industrial. Bogotá. 2003.

- Describir la falla funcional
- Determinar los modos de falla por cada falla funcional
- Hacer una lista de las causas potenciales de falla y verificarlas
- Determinar y verificar las causas raíz físicas
- Determinar y verificar las causas raíz humanas
- Determinar y verificar las causas raíz latentes

Figura 15. Árbol lógico de fallas



Fuente: Murillo, 2003

La preservación de la información de la falla es vital en el proceso y se da en la recolección de datos para el desarrollo del Análisis de Causa Raíz (RCA). Sin los datos, es virtualmente imposible descubrir las causas raíz.

El análisis de la falla se debe realizar de forma convencional mediante la asignación de un grupo de personas expertas que tienen conocimiento relacionado directamente con la falla que se está analizando.

Para analizar la falla hasta sus causas raíz más profundas “ocultas”, se necesita utilizar una metodología disciplinada. Si no se utiliza una metodología disciplinada, se está destinado a revelar las causas raíces incorrectas y por lo tanto implementar las soluciones incorrectas a lo que en realidad está causando el problema.

- Causas raíz y recomendaciones

Cuando el análisis ha sido completado y se han determinado las soluciones a las causas raíces físicas y humanas. Se deben argumentar muy bien con objeto que la gerencia de la compañía apoye financieramente para la solución de las causas encontradas, una de las metas principales es incorporar el RCA como una parte de la cultura organizacional. El RCA es una actividad sin valor agregado si no se actúa sobre las recomendaciones y las soluciones no son implementadas en el tiempo establecido.

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

AMEF es una herramienta que permite establecer los modos de falla de los componentes de un equipo, o sistema, el impacto y frecuencia con que se presentan. De esta manera se pueden priorizar las fallas de acuerdo a su importancia, consiguiendo de esta manera identificar las actividades críticas a las cuales se deben intervenir con el propósito de mitigarlas o eliminarlas completamente<sup>14</sup>. También identifica características de diseño o de proceso críticas o importantes que requieren controles especiales para prevenir o detectar los modos de falla, esta es una herramienta para prevenir los problemas antes que ocurran.

**Antecedentes:** AMEF, fue una de las primeras técnicas sistemáticas para análisis de fallas. Desarrollada por el ejército de U.S.A durante la segunda guerra mundial para evaluar la confiabilidad y para determinar el efecto de los modos de falla de los sistemas y/o equipos en el éxito de la misión y la operación segura para el personal y los equipos. La primera pauta fue el procedimiento militar MIL-P-1629.

---

<sup>14</sup> PÉREZ JARAMILLO, Carlos Mario. "Gestión y control de mantenimiento industrial". Seminario INCOLDA-EAFIT, Medellín, Julio 1987.

Con fecha del 9 de Noviembre de 1949 titulado “Procedimiento para la ejecución de un modo de falla, efectos y análisis de criticidad”<sup>15</sup>

El objetivo general al momento de aplicar AMEF es evitar, reducir, eliminar y/o controlar las consecuencias de los diferentes modos de falla, para lograr preservar un equipo en un estado tal que pueda realizar una función requerida en un tiempo determinado bajo unas condiciones establecidas, lográndose de esta manera economía en la gestión de mantenimiento.

AMEF es un método de modelación de confiabilidad, basado en una aproximación cualitativa que realiza además una aproximación cuantitativa y asigna criticidad y probabilidad de ocurrencia para cada modo de fallo dado, clasificándolos de acuerdo a su probabilidad y la severidad de sus consecuencias.

El trabajo con AMEF requiere los siguientes pasos<sup>16</sup>:

- 1. Definir los equipos a evaluar: los equipos a evaluar se determinan con base en la clasificación previa de las áreas piloto, o en el análisis de criticidad.
- 2. Identificar las funciones de cada equipo: todo activo físico de una organización tiene más de una función, con frecuencia tiene varias. Si el objetivo del mantenimiento es asegurar que continúe desarrollando sus funciones, entonces todas deben ser identificadas claramente, junto con los parámetros de funcionamiento deseados.

*Funciones primarias:* son la razón por la cual es adquirido el activo físico. Para la mayoría de los equipos los parámetros de funcionamiento son

---

<sup>15</sup> HIDALGO MASCORRO, Armando: Manual de AMEF.

<sup>16</sup> MURILLO, William M. “Modelo de confiabilidad basado en el Análisis de Fallas” ACIEM-ECOPETROL. V congreso internacional de mantenimiento industrial. Bogotá. 2003.

asociados a las funciones primarias, como la capacidad de producción, velocidad, volumen de almacenamiento entre otras.

*Funciones secundarias:* se aspira que la gran mayoría de los activos físicos cumplan una o más funciones adicionales a la primaria, estas se conocen como funciones secundarias.

- 3. Determinar las fallas funcionales: las personas y las corporaciones adquieren sus activos físicos para que realicen una función específica, y esperan que se mantengan operando dentro de ciertos parámetros de funcionamiento aceptables. Sin embargo, si por alguna razón el equipo es incapaz de realizar lo que el usuario desea que haga, se considera en falla funcional; es decir un activo falla cuando no hace lo que el usuario quiere que haga, o no se mantiene operando dentro de los parámetros de diseño con los que fue adquirido.
- 4. Determinar los modos de falla: se entiende el modo de falla como un evento cualquiera que causa una falla funcional. Se puede decir que el modo de falla es lo que el operario, o el mantenedor, ve que causa las fallas, las cuales pueden originarse por múltiples factores.
- 5. Determinar los efectos de falla: el siguiente paso consiste en hacer una lista de qué sucede al producirse cada modo de falla. A esto se llama efectos de falla. El efecto de falla no es lo mismo que la consecuencia de la falla; un efecto de los modos de falla responde a la pregunta ¿Qué ocurre?, mientras que una consecuencia del modo de falla responde a la pregunta ¿Qué importancia tiene?

Se requiere entonces utilizar las herramientas adecuadas que permitan descubrir los diferentes modos de falla que deterioran los equipos y por ende los sistemas productivos.

Para realizar una adecuada evaluación de los modos de falla se utiliza el número de prioridad de riesgo (RPN) el cual está dado por la siguiente expresión<sup>17</sup>:

RPN = Severidad x Posibilidad de ocurrencia x Probabilidad de detección

$$RPN = S \times O \times D$$

**Ecuación 6**

El cálculo de la severidad se realiza en dos partes, una de las cuales asigna unos valores probabilísticos a cada criterio, y en la segunda parte se obtiene por análisis del grupo de especialistas utilizando como base las tablas internacionales de valores de los distintos criterios de severidad.

La calificación de la severidad se realiza mediante el concurso de cinco criterios:

FO: Fallas ocultas

SF: Impacto en seguridad física

MA: Impacto medio ambiente

IC: Impacto en imagen corporativa

OR: Costos de reparaciones o mantenimientos

OC: Efectos en clientes

La siguiente ecuación muestra la estimación para la severidad.

$$\text{Severidad} = FO \times K_{FO} + SF \times K_{SF} + MA \times K_{MA} + IC \times K_{IC} + OR \times K_{OR} = S1$$

**Ecuación 7**

Donde los coeficientes de los factores son constantes (su suma es de 1.0 o del 100%) así:

---

<sup>17</sup> MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento planeación, ejecución y control; 8 ed. Alfaomega Grupo Editor. S.A de C.V., México. 2009.

$K_{FO} = 0,05$  o 5%;  $K_{SF} = 0,02$  o 20%;  $K_{MA} = 0,10$  o 10%

$K_{IC} = 0,30$  o 30%;  $K_{OR} = 0,30$  o 30%;  $K_{OC} = 0,05$  O 5%

Los valores de los criterios de severidad se discuten entre los miembros, de acuerdo con el caso específico y con las circunstancias, mediante la obtención de los valores a partir de las siguientes opciones:

Tablas de los criterios de severidad, de ocurrencia y detección (tabla 2)

Tabla 2. Criterios de severidad, de ocurrencia y detección

<b>FO - Fallos Ocultos</b>	
No existen fallas ocultas que puedan generar fallas múltiples posteriores	0
Existe una baja posibilidad de que la falla NO sea detectada y ocasione fallas múltiples posteriores	1
En condiciones normales la falla siempre será oculta y generará fallas múltiples posteriores	2
Existe una baja posibilidad de que la falla SI sea detectada y ocasione fallas múltiples posteriores	3
La falla siempre es oculta y ocasionará fallas múltiples graves en el sistema	4
<b>FS - Seguridad Física</b>	
No afecta a personas ni equipos	0
Afecta a una persona y es posible que genere incapacidad temporal	1
Afecta de dos a cinco personas y puede generar incapacidad temporal	2
Afecta a más de cinco personas y puede generar incapacidad temporal o permanente	3
Genera incapacidad permanente o la muerte, a una o más personas	4
<b>MA – Medio Ambiente</b>	
No afecta el medio ambiente	0
Afecta el MA pero se puede controlar, no daña el ecosistema	1
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en menos de 6 meses con un valor inferior a 5.000 dólares	2
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y ecosistema. Es reversible en menos de tres años con un valor inferior a 50.000 dólares	3
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en más de tres años o es irreversible. Su impacto social y ecológico es superior a los 50.000 dólares	4
<b>IC – Imagen Corporativa</b>	
No es relevante	0
Afecta la credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos	1
Afecta la credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos e inversión inferior a 1.000 dólares	2
Afecta la credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos e inversión entre 1.000 y 10.000 dólares	3
Afecta la credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos e inversión superior a 10.000 dólares	4
<b>OR – Costos de Reparación</b>	
Entre 1 y 50 dólares	0
Entre 51 y 500 dólares	1
Entre 501 y 5.000 dólares	2
Entre 5.001 y 50.000 dólares	3
Mayor a 50.001 dólares	4
<b>OC - Efectos en Clientes</b>	
Entre 1 y 50 dólares	0
Entre 51 y 500 dólares	1
Entre 501 y 5.000 dólares	2
Entre 5.001 y 50.000 dólares	3
Mayor a 50.001 dólares	4
<b>Ocurrencia</b>	
Frecuencia – 1 falla en 1 mes	4
Ocasional – 1 falla en 1 año	3
Remota – 1 falla en 5 años	2
Poco probable – 1 falla en 20 años	1
<b>Detección</b>	
Nula-No se puede detectar una causa potencial/mecanismo y modo de falla subsecuente	4
Baja-Baja probabilidad para detectar causas potenciales mecanismos y modos de fallas subsecuentes	3
Media-Mediana probabilidad para detectar causas potenciales/mecanismos y modos de fallas subsecuentes	2
Seguro-Mediana probabilidad para detectar causas potenciales/mecanismos y modos de fallas subsecuentes	1

Fuente: Alberto Mora Gutierrez; Mantenimiento planeación, ejecución y control; Alfaomega

Los valores de posibilidad de ocurrencia y probabilidad de detección se logran por análisis del grupo de especialistas, de acuerdo con las circunstancias propias de la falla y el equipo en cuestión; y se determinan a partir de las tablas descritas en el cuadro anterior.

Después de la evaluación de cada uno de los modos de falla se procede con su jerarquización para determinar la prioridad de ejecución de las tareas correctivas y/o proactivas de mantenimiento.

## **2.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA FALLA**

En un análisis de fallas los datos se analizan por medio de distribuciones, las cuales responden a diferentes características de acuerdo con el tipo y el evento de estudio, por ejemplo el tiempo de funcionamiento del equipo (MTTF), el tiempo de operación del sistema (MTBF), tiempo que tarda en repararse un equipo después de fallar (MTTR), estos tiempos de vida pueden medirse en horas, millas, ciclos de fracaso, ciclos de tensión, o cualquier otra medida con que se puedan evaluar la vida o la exposición del ítem<sup>18</sup>. Con esto se logra identificar la frecuencia óptima de intervención de mantenimiento en los equipos y/o sistemas considerados en el estudio.

La función exponencial, normal logarítmica y Weibull se emplean extensamente en el modelado de datos de fallas. Las distribuciones exponencial y uniforme son útiles para modelar el tiempo para completar una tarea de mantenimiento. La distribución de Poisson es útil para representar el número de fallas en un periodo determinado. Las distribuciones normal, t, chi-cuadrada y F son necesarias para

---

<sup>18</sup> O'CONNOR, Patric D.T. Practical Reliability Engineering. Stevenage: Wiley-John Wiley and Son. Cuarta edición. 2002. 540 p.

estimar y probar varias hipótesis estadísticas<sup>19</sup>. A continuación se presenta una breve descripción de las utilizadas en los análisis de fallas.

Los métodos que permiten realizar la estimación de los parámetros de una distribución, varían entre simples a sofisticados; algunos de los más comunes para realizar esta tarea son el método gráfico, el método de mínimos cuadrados (o de regresión) y el método de la máxima verosimilitud (MLE)<sup>20</sup>

Para cualquiera de los métodos a utilizar se requiere con antelación la función de mantenibilidad.

### **2.7.1 Distribución de Weibull**

La distribución de Weibull complementa a la distribución exponencial y a la normal, que son casos particulares de la primera. A causa de su mayor complejidad solo se usa cuando se sabe previamente que una de ellas es la que mejor describe la distribución de fallos o cuando se ha producido muchos fallos (al menos 10) y los tiempos correspondientes no se ajustan a una distribución más simple. La distribución de Weibull permite estudiar cual es la distribución de las fallas que varían a lo largo del tiempo y dentro de lo que se considera tiempo normal de uso. El método no determina cuales son las variables que influyen en la tasa de fallas, tarea que quedara en manos del analista. Pero al menos la distribución de Weibull facilita la identificación de las fallas y permite disponer de una herramienta de predicción de comportamientos. La distribución de Weibull se adapta a las tres zonas (infancia, vida útil y envejecimiento) de la curva de la bañera (Davies), la distribución de Weibull posee tres parámetros<sup>21</sup>:

---

<sup>19</sup> DUFFUAA, Raouf Dixon. LIMUSA, Wiley. Sistemas de mantenimiento, planeación y control

<sup>20</sup> RELIASOFT. [http://www. Reliasoft.com](http://www.Reliasoft.com).

<sup>21</sup> PÉREZ JARAMILLO, Carlos Mario. "Gestión y control de mantenimiento industrial". Seminario INCOLDA-EAFIT, Medellín, Julio 1987.

- Gamma ( $\gamma$ ): parámetro de posición y el más difícil de estimar, por lo que frecuentemente se asume como cero.
- Eta ( $\eta$ ): parámetro de escala o de vida útil. Cuanto más elevado, las maquinas pueden ser más robustas o de mayor duración.
- Beta ( $\beta$ ): es un parámetro de forma y representa la pendiente de la recta que refleja la dispersión de los datos y la forma de la distribución. Cuando  $\beta < 1$  la distribución toma la forma de la fase de mortalidad infantil; cuando  $\beta = 1$  describe la fase de vida útil y si  $\beta > 1$  se conoce como la fase de envejecimiento.

Las curvas de Weibull expresan en primer lugar la cantidad de averías o de reparaciones durante el tiempo en que se analiza un elemento (tasa de fallas  $\lambda(t)$ ). También permite encontrar la función acumulativa de fallas ( $F(t)$ ) y la función de densidad de probabilidad de fallas ( $f(t)$ ), así:

$$F(t) = 1 - \exp[-(t - t_0)]$$

**Ecuación 8**

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t - t_0}{\eta}\right)^\beta\right]$$

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - t_0}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t - t_0}{\eta}\right)^\beta\right]$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - t_0}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

### 2.7.2 Distribución Exponencial

La distribución exponencial es útil cuando el Beta de Weibull alcanza el valor de 1 +/- 0,005 y su tasa de fallas tiende a ser constante (fase de vida útil). La

distribución exponencial es la más común entre las distribuciones de fallas. Su importancia está en el hecho de que casi todos los componentes tienen, durante su periodo de operación normal, una intensidad de falla constante<sup>22</sup>

La distribución exponencial es la única que posee una intensidad constante de fallas y es muy usada para modelar el tiempo de vida de componentes electrónicos.

### **2.7.3 Distribución Normal**

Es una distribución discreta que se presenta con frecuencia, cuando la vida útil de los componentes se ve afectada desde el comienzo por el desgaste. Sirve para describir muy bien los fenómenos de envejecimiento de equipos, modelos de fatiga y fenómenos naturales. En esta distribución las fallas tienden a distribuirse de una forma simétrica alrededor de la vida media.

### **2.7.4 Distribución Log Normal**

La distribución Log Normal puede tomar varias formas pero siempre con tendencia o cola hacia su derecha (sesgo positivo). La razón para ser menos conocida que la distribución de Weibull consiste en que su función de supervivencia no tiene forma cerrada, lo cual es importante para la estimación de sus parámetros que siempre tienen la tendencia de ser muy altos. Los tiempos de reparación de componentes se ajustan bien a este modelo de distribución, también el estudio de mecanismos de falla revela que frecuentemente se puede observar que la fatiga de materiales sigue una distribución Log Normal.

---

<sup>22</sup> MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento planeación, ejecución y control; 8 ed. Alfaomega Grupo Editor. S.A de C.V., México. 2009.

## 2.8 MANTENIBILIDAD

Se denomina mantenibilidad a la probabilidad de que un elemento, maquina o dispositivo, puedan regresar nuevamente a su estado de funcionamiento normal después de una avería, falla o interrupción productiva (funcional o de servicio), mediante una reparación que implica realizar unas tareas de mantenimiento, para eliminar las causas inmediatas que generan la interrupción. La normalidad del sistema al restaurarse su funcionalidad se refiere a su cuerpo y a su función<sup>23</sup>.

Es importante indicar que la reparación se realiza con personal calificado, con especificaciones y/o insumos adecuados para el equipo en condiciones ambientales óptimas para la tarea de mantenimiento.

La mantenibilidad asocia los acontecimientos anteriores relacionados con el estado de normalidad: montaje, diseño, operador, operación, condiciones del entorno, refracciones y/o modificaciones, entre otras. La mejor manera de medir la mantenibilidad es en términos de los tiempos empleados en las diferentes reparaciones y/o actividades que conllevan a recuperar la funcionalidad del equipo, de esta forma la mantenibilidad indica la capacidad con que un equipo se deja mantener para regresarlo a su estado de funcionalidad. Por lo tanto el mantenimiento consiste en las acciones que se realizan para mejorar la mantenibilidad, y esta la calificación de cómo se está realizando el mantenimiento.

La representación matemática de la función de mantenibilidad se da por  $M(t)$  e indica la probabilidad de que la función del sistema se recupere y el equipo se repare dentro de un tiempo definido  $t$  antes de un tiempo especificado total  $T$ .

$$M(T) = P[T \leq t]$$

**Ecuación 9**

---

<sup>23</sup> MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento planeación, ejecución y control; 8 ed. Alfaomega Grupo Editor. S.A de C.V., México. 2009.

Dónde:

$M(t)$ : función de mantenibilidad o de reparación, la cual aumenta a medida que se aumenta el tiempo  $t$ .

$M(0) = 0$  indica que siempre la probabilidad de realizar un mantenimiento en un tiempo cero es cero. A medida que se aumenta el tiempo de realización la curva de mantenibilidad aumenta para volverse máxima en un tiempo mayor o infinito, lo cual deduce que en la medida en que se asigne un tiempo más grande y máximo  $T$  para realizar un mantenimiento, la probabilidad de éxito para realizar el mantenimiento en un tiempo  $t$  crece.

$M(t) = 1$  indica que cualquier elemento y/o sistema tiene una probabilidad tendiente al 100% de ser bien reparado, así sea en un tiempo infinito<sup>24</sup>.

---

<sup>24</sup> LEEMIS, Lawrence M. Introduction to Reliability Engineering. Editorial John Wiley and Sons, segunda edición. 1995.

### 3. PLANTEAMIENTO DEL MODELO DE MANTENIMIENTO

Para desarrollar el modelo de mantenimiento es importante partir de la misión del departamento de equipos y almacén:

*Equipos y almacén es un departamento fundado sobre la base de brindar soporte y servicio a los proyectos internos de la Compañía. Nuestras actividades están dirigidas a agregar valor y aportar beneficios en la ejecución de los proyectos, mediante el suministro de equipos, andamio y herramientas de manera eficiente, manteniendo y preservando el estado físico y operacional de los equipos garantizando alta disponibilidad, confiabilidad y seguridad operacional.*

*Mediante un marco de conocimiento, compromiso, profesionalismo, mejoramiento continuo de nuestros procesos y la plena satisfacción de nuestros clientes y empleados, manteniendo una solidez y rentabilidad financiera.*

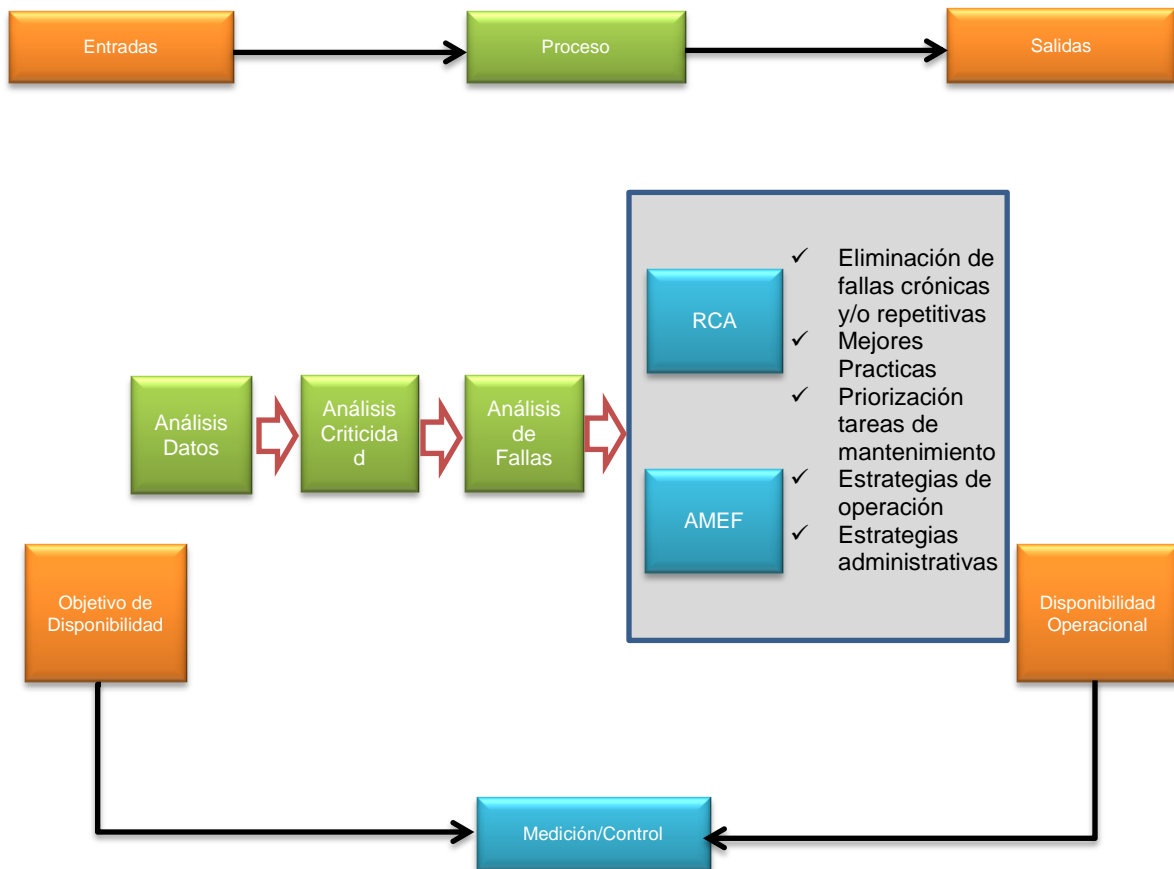
En Schrader Camargo Ingenieros Asociados S.A se tiene definido el proceso de mantenimiento pero no se cuenta con una herramienta para el análisis de criticidad y análisis de fallas las cuales son necesarias para identificar las prioridades en nuestras tareas y con esto mejorar la disponibilidad en nuestros equipos. A continuación presentare cada uno de los pasos que interviene en el modelo planteado.

La meta para la disponibilidad en la compañía está definida en el 85% en la cual se busca optimizar la disponibilidad de los equipos en los proyectos internos, a continuación se describe el modelo de mantenimiento planteado y se indica el proceso de medición y control con objeto de realizar seguimiento y de esta manera alcanzar la disponibilidad operacional alcanzada en base a resultados medibles y tangibles, la siguiente figura representa el proceso con sus respectivas:

- Entradas de Proceso

- Proceso
- Salidas de proceso

Figura 16. Estructura general del modelo planteado



Fuente: El autor


### 3.1 ANÁLISIS DE DATOS

De gran importancia para el proceso ya que se debe garantizar la calidad y veracidad de los datos con objeto de obtener análisis confiables y asertivos en lo

referente a la gestión de mantenimiento y específicamente al análisis de fallas, con base en esto se realizara un análisis de criticidad el cual priorizara y/o jerarquizara los equipos para con esto aplicar metodologías de análisis de fallas que faciliten la búsqueda de las causas raíces a los problemas recurrentes y/o crónicos.

Los datos los arroja el programa en Excel donde el ingeniero de equipos registra las fallas a los equipos bajo el siguiente formato:

Figura 17. Formato de reporte de mantenimiento SCIA

		<b>PROCEDIMIENTO DE TRABAJO PARA EL MANTENIMIENTO EQUIPOS MAYORES REPORTE DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS</b>				<b>FORMATO</b> PC-EQ-02/F01 Rev. 1 Fecha: Agosto 2013	
<b>PROYECTO:</b>					<b>FECHA:</b>		
DESCRIPCION DEL EQUIPO	No IDENTIF DEL EQUIPO	NOMBRE DEL MECANICO	H-H EMPLEADAS	HOROMETRO Y/O KILOMETRAJE	DESCRIPCION DEL MTTTO	OBSERVACIONES	
ELABORO RESP. EQUIPOS		REGISTRADO EN BITACORAS POR				APROBO	

Fuente: SCIA

En el cual se registra la información relevante al evento de falla del equipo informado por los proyectos y/o por la sede validados y registrados por el ingeniero de equipos quien asegurara la veracidad de los datos:

- Ubicación del equipo: Proyecto
- Fecha en la cual se presentó el evento de falla
- Identificación interna del equipo
- Horometro y/o kilometraje
- Descripción de la falla
- Observaciones
- Responsables

Estos son los datos mínimos requeridos para generar el reporte de falla, dar gestión y alimentar el histórico por equipo.

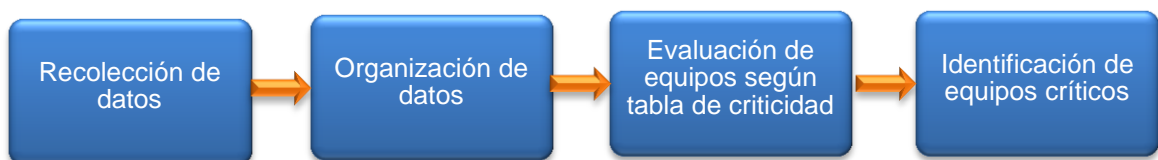
## 3.2 PROCESO DE MEJORA

### 3.2.1 Análisis de Criticidad

El análisis de criticidad involucra todos los equipos mayores y revela entonces cuales equipos requieren atención especial y que por lo tanto son los que más afectación causan a la ejecución de los proyectos de la compañía, a continuación se describen factores que son determinantes para la calificación de la criticidad de equipos:

- Stand by (Dejar de recibir dinero por concepto de renta)
- Frecuencia de fallas
- Consecución de un equipo reemplazo
- Personal improductivo
- Atrasos en el plan de trabajo diario del proyecto
- Afectación al medio ambiente
- Costos de reparación
- Afectación a la seguridad
- Flexibilidad operacional

Figura 18. Proceso de recolección de datos



Fuente: El autor

Para evaluar la criticidad de los equipos se utilizara la tabla que se indica en el anexo A.

De acuerdo al listado de equipos de la compañía señalados en la figura 17, se observa que se tienen equipos de diferente naturaleza como por ejemplo hidráulicos y/o de izaje de cargas, soldadura, aire, generación eléctrica y transporte.

Figura 19. Listado de equipos - Análisis de Criticidad

Descripción	Cantidad
Grúa Hidráulica Link Belt RTC 8065	3
Grúa Hidráulica Link Belt RTC 8050	3
Grúa Hidráulica Terex RT 160	3
Grúa Hidráulica Terex RT 335	1
Grúa Hidráulica Terex RT 230	1
Camión Grúas	6
Manlift JLG 600AJ	7
Montacargas	2
Telehandler 3000 kg	1
Retrocargadora Caterpillar 420F	5
Mini cargador	3
Mini retroexcavadora	1
Plantas de generación de 60KVA a 500 KVA	18
Torres de iluminación	8
Compresores de 250 CFM	5
Camión NPR	4
Camionetas 4x4 doble cabina	30
Equipos de tratamiento térmico	2
Orbital para soldadura	1
Equipo para soldadura de tanques-Koike	2
Equipos semiautomáticos de soldadura	14
Motosoldadores	30

De la tabla indicada en el Anexo A para el análisis de criticidad tenemos la siguiente tabla resumen:

Tabla 3. Tabla resumen de criticidad

<b>Criterio</b>	<b>Calificación</b>
Frecuencia de Fallas	
Impacto Operacional	
Flexibilidad Operacional	
Costos de Mantenimiento	
Impacto en SAH	
<b>CONSECUENCIA</b>	
<b>CRITICIDAD = Frecuencia X Consecuencia</b>	

Fuente: El autor

El anexo E. muestra la calificación de criticidad que se realizó para los equipos de SCIA. Se evaluó de acuerdo a la tabla para los equipos de SCIA mostrada en el anexo A y la calificación que arroja de acuerdo a la matriz indicada a continuación.

Figura 20. Matriz de criticidad

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Fuente: El autor

De acuerdo al análisis de criticidad desarrollado se detectó que los equipos que presentan mayor calificación son los siguientes:

Figura 21. Criticidad de equipos SCIA

Equipo	Código	CRITICIDAD
Grúa Hidráulica Link Belt RTC 8065	1019001008	150
Grúa Hidráulica Link Belt RTC 8065	1019001010	150
Grúa Hidráulica Link Belt RTC 8050	1019001007	100
Grúa Hidráulica Terex RT 160	1019001001	200
Grúa Hidráulica Terex RT 335	1019001004	150
Camión Grúas Ford Cargo	1019002002	72
Camión Grúas Ford Cargo	1019002003	72
Camión Grúas Sterling	1019002001	96
Manlift JLG 600AJ	1010105006	46
Manlift Grove AMZ 68XT	1010105001	46
Montacargas Nissan 15500 Lb	1010104001	96
Mini cargador Bobcat S185	1010501002	33

Fuente: El autor

Se observa que los equipos más críticos son principalmente los equipos para izaje de cargas dado que presentan alta tasa de fallas y su calificación respecto al impacto y flexibilidad operacional son altos, se debe tener en cuenta que presentan alto componente electrohidráulico.

El análisis de criticidad es de gran ayuda para el objetivo de la presente monografía respecto a la mejora en la disponibilidad de equipos puesto que identifica a que equipos se debe concentrar esfuerzos de mantenimiento priorizando actividades y/o tareas, vale la pena indicar que sin dejar de lado la importancia de los demás equipos para la ejecución de los proyectos como por ejemplo equipos de soldadura y/o de transporte.

De acuerdo a la naturaleza de los equipos hidráulicos y en base a un estudio detallado de los tipos y modos de fallas de los equipos es consecuente para mejorar la disponibilidad de los equipos implementar herramientas avanzadas para

el análisis de fallas con objeto de mitigarlas y/o eliminarlas y con esto mejorar la confiabilidad y por ende la disponibilidad de los equipos.

De aquí que el presente trabajo implementara los métodos de análisis causa raíz y modo y efecto de fallas para el equipo más crítico del presente estudio que según análisis de criticidad es la grúa Link Belt RTC 8065 de código interno 1019001008 la cual se muestra en la figura 20. Es de resaltar que este proceso debe realizarse de manera sistemática para este equipo así como también para todos los equipos que el grupo de mantenimiento considere y evalúe como críticos con objeto de identificar las causas e ir atacando y mitigando aquellas fallas recurrentes en los equipos generando planes, acciones y/o contramedidas que ayuden en el objetivo de mejorar la disponibilidad de los equipos de la compañía.

### **3.2.2 Análisis Causa Raíz (RCA)**

Como se describe en el marco teórico el análisis causa raíz (RCA) es una metodología disciplinada que permite identificar las causas físicas, humanas y latentes de cualquier tipo de falla que ocurre una o varias veces permitiendo adoptar las acciones correctivas que minimizan los impactos negativos operacionales, mejora la seguridad y la confiabilidad del proceso.

De esta manera se presenta a modo de desarrollo de la metodología un ejemplo de análisis causa raíz de acuerdo al formato desarrollado para la compañía que se encuentra en el anexo B. Se realizó el análisis para la grúa más crítica y para la cual se ilustra de manera general en las figuras 22 y 23.

Para el análisis se cuenta con la siguiente información:

**Equipo:** Grúa Link Belt RTC 8065 J9J91260 / 1019001008

**Ubicación/Proyecto:** 323 – Yarigui / Puerto Wilches

**Falla:** la grúa no reacciona al mando de giro del tornamesa

**Operario:** Zótico Peña (15 años de experiencia en la operación de grúas móviles)

**Condiciones ambientales de operación:**

- Polvo de tierra excesivo
- Alta humedad dado que opera a orilla del río Magdalena (75% HR)
- Alta temperatura (Ambiente: 32°C promedio)

**Evidencia:**

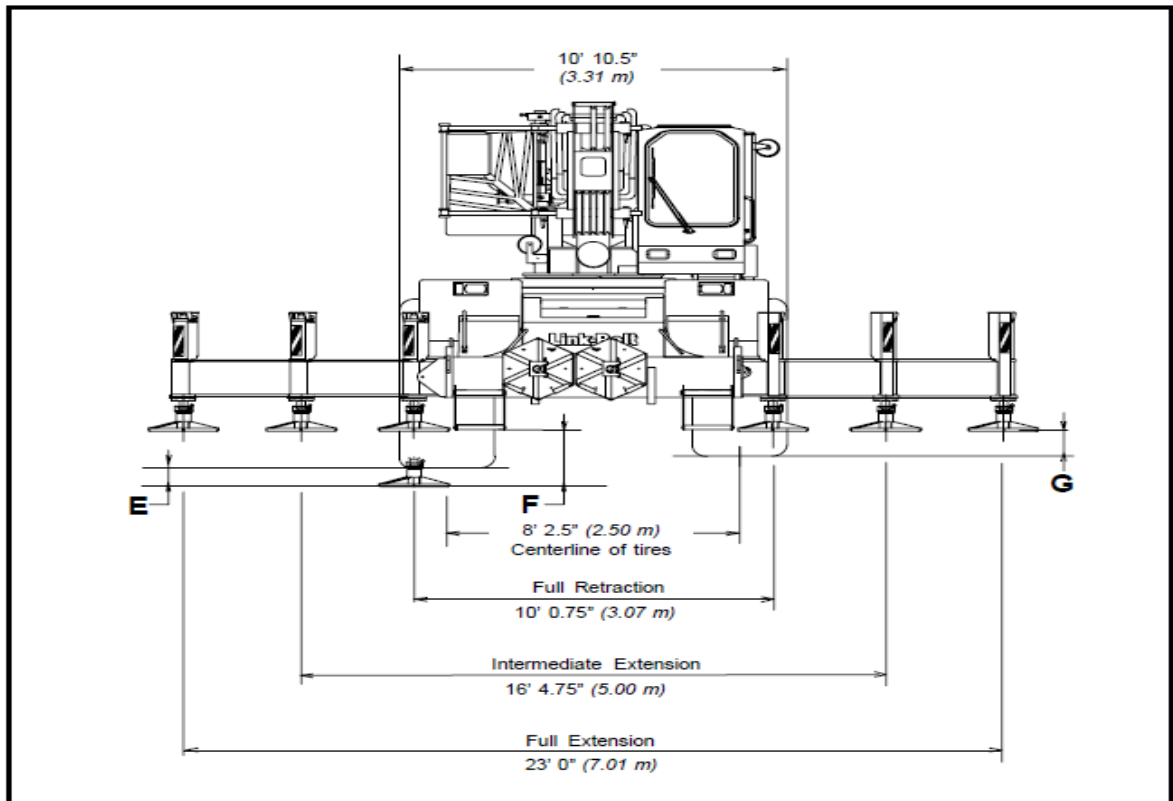
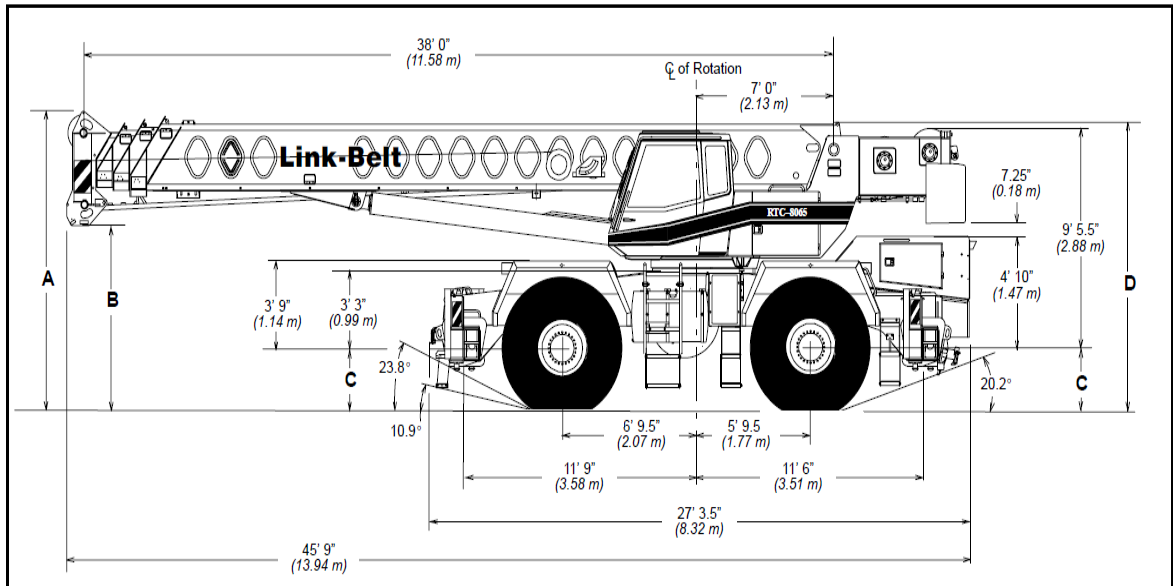
- Reporte de falla dado por el responsable de equipos del proyecto y el operador del equipo
- Planos eléctricos, hidráulicos y mecánicos del equipo
- Histórico de mantenimiento (mantenimiento preventivo realizado previo al evento de falla)
- Pre operacionales realizados al equipo, lista de chequeo
- Reportes de utilización del equipo
- Entrevistas con el responsable de los equipos en el proyecto y el operador del equipo

Figura 22. Grúa Link Belt RTC 8065



Fuente: El autor



Figura 23. Dimensiones generales del equipo



Fuente: El autor

Para analizar las causas probables de falla se aplicó la metodología RCA obteniendo el resultado mostrado en la figura 24:

Figura 24. Formato desarrollado de análisis causa raíz SCIA (RCA)

		<b>Formato Análisis Causa Raiz SCIA</b>			
<b>Análisis del Problema</b>					
Grupo de trabajo (humano): Mantenimiento SCIA: ER, JG, FC y OD					
Fecha: 13/08/2013		Equipo: Link Belt RTC 8065		Ubicación: 323	
Problema/Falla: La grúa no gira					
Sistema/Componente:					
Caracterización del Problema/Falla: Falla en el giro de la grúa link belt RTC 8065					
Especificación técnica que se tenga (datos, planos, fotografías, evidencias reales y verbales): Se cuentan con planos electricos, hidraulicos y entrevistas con el operador					
<b>Lista de causas posibles de la falla</b>					
Causa Probable 1: Falta de conocimiento operacional por parte del operador					
Causa Probable 2: Obstrucción de líneas hidráulicas (Aceite contaminado)					
Causa Probable 3: Electrovalvulas no funcionan					
Causa Probable 4: Contaminación ambiental					
<b>Validar y verificar las causas posibles de la falla</b>					
Validación causa Probable 1:				Si	No
Validación causa Probable 2:				Si	No
Validación causa Probable 3:				Si	No
Validación causa Probable 4:				Si	No
<b>Selección de la causa probada y planteada</b>					
Contaminación ambiental severa que ocasiona que las electrovalvulas no magnetizen					
<b>Bitacora de calculos/Sintesis</b>					
Debido a las condiciones ambientales se detecto que las electrovalvulas en poco tiempo se encuentran corroidas y por lo tanto no magnetizan para obedecer al mando del operador					
<b>Acciones a realizar (politica de control) que garantice la eliminación de la falla</b>					
Se realizan rutinas de limpieza en las bobinas de las electrovalvulas con objeto de limpiar y remover la contaminación con una periodicidad mas baja a la establecida					
Control 1 a realizar: Inspección en sitio y físico al estado de las electrovalvulas una vez cumplido el periodo mensual					
Fecha implementación del control: 15/08/2013		Fecha seguimiento: 15/09/13			
Control 2 a realizar: Evaluar las condiciones ambientales mensualmente, con objeto de reevaluar la periodicidad de las limpiezas y/o mantenimiento a las					
Fecha implementación del control: 15/08/2013		Fecha seguimiento: 15/09/2013			
<b>Beneficios económicos y técnicos logrados</b>					
Reducción en las solicitudes de asistencia técnica, reduciendo de manera significativa los costos de mantenimiento dado que cada vez que se reportaba la falla se debía enviar un tecnico especializado dado que no se conocia la causa de la falla, lo cual implica costos de respuestos, mano de obra y viaticos					
<b>Divulgación de resultados / estrategias</b>					
Divulgación a toda la organización y estandarización de la limpieza de electrovalvulas					

Fuente: El autor

Se observa que es una metodología práctica y asertiva para el análisis de fallas puntuales y con alta frecuencia de aparición.

### **3.2.3 Análisis de Modos y Efectos de Falla**

Se toma la definición que se describe en el marco teórico de la presente monografía la cual define que AMEF es una herramienta que permite establecer los modos de falla de los componentes de un equipo, o sistema, el impacto y frecuencia con que se presentan. De esta manera se pueden priorizar las fallas de acuerdo a su importancia, consiguiendo de esta manera identificar las actividades críticas a las cuales se deben intervenir con el propósito de mitigarlas o eliminarlas completamente<sup>25</sup>.

El estudio de análisis y modos de falla se realizó para los mecanismos el cual según históricos de fallas presenta mayor frecuencia de ocurrencia y su manifestación causa traumatismos en el proceso, algunos se pueden observar en la figura 25.

---

<sup>25</sup> Pérez Jaramillo, Carlos Mario. "Gestión y control de mantenimiento industrial". Seminario INCOLDA-EAFIT, Medellín, Julio 1987

Figura 25. Grúa Link Belt sujeta al estudio AMEF



**INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD**

Para prevenir lesiones personales, no subirse a la pluma ni a los accesorios.

**Figura 3-12**  
Ajuste e Inspección de las Zapatas de Desgaste de la Pluma

1. Barra de Desgaste del Cable (3 Posiciones)
2. Zapata de Desgaste Diámetra Inferior (18 Posiciones)
3. Zapata de Desgaste Diámetra Superior (5 Posiciones)
4. Cubierta de Acceso
5. Zapata de Desgaste Trasera Superior (12 Posiciones)
6. Zapata de Desgaste Trasera Inferior (2 Posiciones)
7. Anclajes del Cable de Extensión
8. Anclajes del Cable de Retración (Ambos Lados)

**PASADOR DE BLOQUEO INSTALADO**

**ADVERTENCIA**

LA PLUMA PRINCIPAL NO DEBE UTILIZARSE CUANDO EL PASADOR DE BLOQUEO ESTÉ EN EL AGUJERO PARA OPERAR LA PLUMA. ANTES, AGUJE EL PASADOR AL AGUJERO EN EL AGUJERO DE LA MONTAJE DENTRO DEL INTERRUPTOR. FALLAS EN TENER EL BOTÓN A TÍO COMPLETAMENTE OPERATIVO PUEDEN CAUSAR OTRAS LESIONES O MUERTE.

**AGUJERO DEL PASADOR DE BLOQUEO**

1. Cabecero de la Pluma Principal
2. Conector
3. Botón de empujón
4. Conector de la Polea Auxiliar de Elevación
5. Guarda Cable de la Polea Auxiliar de Elevación
6. Peso del Anti Doble Bloqueo
7. Conector del Peso del Anti Doble Bloqueo de la Polea Auxiliar de Elevación
8. Tornillo, Contranosa y Arandela
9. Polea Auxiliar de Elevación
10. Interruptor del Anti Doble Bloqueo de la Pluma Principal
11. Pasador de Bloqueo y Banderín (instalado)
12. Agujero de Anclamiento del Pasador de Bloqueo

**Figura 4.2**  
Sistema Anti Doble Bloqueo de la Polea Auxiliar de Elevación

Fuente: El autor

A continuación en la figura 26 se presenta el desarrollo de la metodología análisis de modos de fallas y sus efectos para el equipo más crítico en la organización según la matriz de criticidad estudiada con anterioridad, la cual indica que el equipo más crítico es la grúa Link Belt RTC 8065 J9J91260 / 1019001008.

Para realizar una adecuada evaluación de los modos de falla se utiliza el número de prioridad de riesgo (RPN) el cual está dado por la siguiente expresión<sup>26</sup>, de acuerdo como se trató en el marco teórico del presente trabajo:

RPN = Severidad x Posibilidad de ocurrencia x Probabilidad de detección

RPN = S x O x D

**Ecuación 10**

El cálculo de la severidad se realiza en dos partes, una de las cuales asigna unos valores probabilísticos a cada criterio, y en la segunda parte se obtiene por análisis del grupo de especialistas utilizando como base las tablas internacionales de valores de los distintos criterios de severidad.

La calificación de la severidad se realiza mediante el concurso de cinco criterios:

FO: Fallas ocultas

SF: Impacto en seguridad física

MA: Impacto medio ambiente

IC: Impacto en imagen corporativa

OR: Costos de reparaciones o mantenimientos

---

<sup>26</sup> MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento planeación, ejecución y control; 8 ed. Alfaomega Grupo Editor. S.A de C.V., México. 2009.

OC: Efectos en clientes

La siguiente ecuación muestra la estimación para la severidad

$$\text{Severidad} = FO \times K_{FO} + FS \times K_{SF} + MA \times K_{MA} + IC \times K_{IC} + OR \times K_{OR} = S1$$

Donde los coeficientes de los factores son constantes (su suma es de 1.0 o del 100%) así:

$$K_{FO} = 0,05 \text{ o } 5\%; K_{SF} = 0,02 \text{ o } 20\%; K_{MA} = 0,10 \text{ o } 10\%$$

$$K_{IC} = 0,30 \text{ o } 30\%; K_{OR} = 0,30 \text{ o } 30\%; K_{OC} = 0,05 \text{ O } 5\%$$

Los valores de los criterios de severidad se discuten entre los miembros del grupo de mantenimiento (lluvia de ideas), de acuerdo con el caso específico y con las circunstancias, mediante la obtención de los valores a partir de las siguientes opciones:

Tablas de los criterios de severidad, de ocurrencia y detección (tabla 2)

<b>FO - Fallos Ocultos</b>	
No existen fallas ocultas que puedan generar fallas múltiples posteriores	0
Existe una baja posibilidad de que la falla NO sea detectada y ocasione fallas múltiples posteriores	1
En condiciones normales la falla siempre será oculta y generará fallas múltiples posteriores	2
Existe una baja posibilidad de que la falla SI sea detectada y ocasione fallas múltiples posteriores	3
La falla siempre es oculta y ocasionará fallas múltiples graves en el sistema	4
<b>FS - Seguridad Física</b>	
No afecta a personas ni equipos	0
Afecta a una persona y es posible que genere incapacidad temporal	1
Afecta de dos a cinco personas y puede generar incapacidad temporal	2
Afecta a más de cinco personas y puede generar incapacidad temporal o permanente	3
Genera incapacidad permanente o la muerte, a una o más personas	4
<b>MA – Medio Ambiente</b>	
No afecta el medio ambiente	0
Afecta el MA pero se puede controlar, no daña el ecosistema	1
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en menos de 6 meses con un valor inferior a 5.000 dólares	2
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y ecosistema. Es reversible en menos de tres años con un valor inferior a 50.000 dólares	3
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en más de tres años o es irreversible. Su impacto social y ecológico es superior a los 50.000 dólares	4
<b>IC – Imagen Corporativa</b>	
No es relevante	0
Afecta la credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos	1
Afecta la credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos e inversión inferior a 1.000 dólares	2
Afecta la credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos e inversión entre 1.000 y 10.000 dólares	3
Afecta la credibilidad de clientes pero se maneja con argumentos e inversión superior a 10.000 dólares	4
<b>OR – Costos de Reparación</b>	
Entre 1 y 50 dólares	0
Entre 51 y 500 dólares	1
Entre 501 y 5.000 dólares	2
Entre 5.001 y 50.000 dólares	3
Mayor a 50.001 dólares	4
<b>OC - Efectos en Clientes</b>	
Entre 1 y 50 dólares	0
Entre 51 y 500 dólares	1
Entre 501 y 5.000 dólares	2
Entre 5.001 y 50.000 dólares	3
Mayor a 50.001 dólares	4
<b>Ocurrencia</b>	
Frecuencia – 1 falla en 1 mes	4
Ocasional – 1 falla en 1 año	3
Remota – 1 falla en 5 años	2
Poco probable – 1 falla en 20 años	1
<b>Detección</b>	
Nula-No se puede detectar una causa potencial/mecanismo y modo de falla subsecuente	4
Baja-Baja probabilidad para detectar causas potenciales mecanismos y modos de fallas subsecuentes	3
Media-Mediana probabilidad para detectar causas potenciales/mecanismos y modos de fallas subsecuentes	2
Seguro-Mediana probabilidad para detectar causas potenciales/mecanismos y modos de fallas subsecuentes	1

Los valores de posibilidad de ocurrencia y probabilidad de detección se logran por análisis del grupo de mantenimiento, de acuerdo con las circunstancias propias de la falla y el equipo en cuestión; y se determinan a partir de las tablas descritas en el cuadro anterior.

En base a la investigación y experiencia del equipo de trabajo se identifican las funciones principales y críticas para garantizar la funcionalidad del equipo, de esta manera se indica el modo de falla y los efectos de la falla. Con la tabla anterior se define la severidad de la falla y se identifican las posibles causas de falla, se asigna la probabilidad de ocurrencia y la probabilidad de detección. Con la definición de estos valores se halla el número de prioridad de riesgo, se establece acciones correctivas y se asigna responsables de ejecutar las tareas de mantenimiento preventivo.

Figura 26. Formato de análisis de modos y efectos de fallas SCIA

Análisis

Grupo de trabajo (humano): ER, JG, OD, FC

Fecha: 12-08-13

Equipo: 1019001008

Ubicación: 333

Sistema/Componente: Grúa Link Belt RTC 8065 J9J1041

Rango de criticidad: C

Función	Modo de falla	Efectos de falla	Severidad de la falla	Causa de la falla	Prob de ocurrencia	Prob de detección	NFR	Acción correctiva	Responsable
Anclar cilindros estabilizadores y de vigas	La grúa no ancla sus cilindros estabilizadores	Estabilizadores no mantienen la presión hidráulica Fuga de hidráulica interna y/o externa Ruido Alta temperatura en válvulas No se consigue anclar la grúa	0,75	Abolladuras en cilindros Obstrucción en válvulas y electroválvulas Electroválvulas no funcionan, corroidas (no magnetizan) Obturacion de líneas Cuplimiento de vida de los empaques Pulsadores de la cabina no hacen contacto	3	2	4,5	Rutinas de limpieza y mantenimiento a válvulas y electroválvulas Cambio de empaquetaduras cada 2000 horas de operación Inspección de cilindros y pulsadores Análisis de aceite hidráulico y limpieza de tanque Mantenimiento eléctrico pulsadores cabina	Ing. de Equipos/Encargado de equipos en obra/Operador
Mantener la suspensión de la grúa	Grúa desbalanceada	Desniveleación Fuga hidráulica interna y/o externa Ruido en el movimiento	0,75	Desbalanceo en la válvula de control de flujo de suspensión (oring internos rotos ) Abolladuras en cilindros Aceite hidráulico contaminado (tanque) Cumplimiento de vida de los empaques Suciedad y falta de mantenimiento válvulas y electroválvulas siche eléctrico defectuoso	3	1	2,3	Rutinas de limpieza y mantenimiento a válvulas y electroválvulas Cambio de empaquetaduras cada 2000 horas de operación Inspección de cilindros (abolladuras) Análisis de aceite hidráulico y limpieza de tanque	Ing. de Equipos/Encargado de equipos en obra/Operador
Accionar cilindro de levante de boom	Cilindro de levante no funciona.	No responde al accionamiento del joystick Fuga hidráulica interna y/o externa Alta temperatura en válvulas Ruido al accionar joystick	1,27	Suciedad y falta de mantenimiento válvulas y electroválvulas Cumplimiento de vida de los empaques Aceite hidráulico contaminado (tanque), obturacion de líneas Inadecuado contacto rotulas del joystick para accionamiento Descalibración LMI	3	2	7,6	Rutinas de limpieza y mantenimiento a válvulas y electroválvulas Cambio de empaquetaduras cada 2000 horas de operación Inspección de cilindros y joystick Análisis de aceite hidráulico y limpieza de tanque	Ing. de Equipos/Encargado de equipos en obra/Operador
Extender y retraer boom	Los cilindros internos del boom no responden al accionamiento	No responde al accionamiento del pedal Fuga hidráulica interna y/o externa Alta temperatura en válvulas Ruido al accionar el pedal	1,27	Suciedad y falta de mantenimiento a válvulas y electroválvulas (corrosión) Cumplimiento de vida de los empaques Aceite hidráulico contaminado (tanque), obturacion de líneas Mal contacto rotulas del joystick para accionamiento Rompimiento de guaya por deterioro Falta de lubricación el boom	3	2	7,6	Rutinas de limpieza y mantenimiento a válvulas y electroválvulas Cambio de empaquetaduras cada 2000 horas de operación Inspección de cilindros Mantenimiento eléctrico Análisis de aceite hidráulico y limpieza de tanque	Ing. de Equipos/Encargado de equipos en obra/Operador
Sistema de mandos finales	No funciona los mandos finales	No responde al accionamiento Fuga hidráulica externa Ruido Dificultad en el movimiento	0,7	Falta de lubricación Cumplimiento de vida de los empaques Falla en rodamientos	1	1	0,7	Rutinas de lubricación Cambio de empaquetaduras cada 3000 horas de operación	Ing. de Equipos/Encargado de equipos en obra/Operador
Enrollar/Desenrollar cable-motores hidráulicos (winche)	Winche no funciona	No responde al accionamiento Fuga hidráulica externa Ruido Alta temperatura en válvulas Ruido al accionar el joystick	1,27	Falta de lubricación Cumplimiento de vida de los empaques de los motores Inadecuado contacto rotulas del joystick para accionamiento Aceite hidráulico contaminado (tanque), obturacion de líneas Falla en rodamientos aprox 4000 horas	1	2	2,5	Rutinas de lubricación Cambio de empaquetaduras cada 4000 horas de operación Cambio de rodamientos cada 4000 horas de operación	Ing. de Equipos/Encargado de equipos en obra/Operador
Sistema de dirección	Sistema de dirección no funciona	No responde al accionamiento Fuga hidráulica interna y/o externa Alta temperatura en válvulas Dirección dura	0,75	Aceite contaminado Válvulas y electroválvulas obturadas, falta de mantenimiento Falla en el sw iche Falla eléctrica	1	2	1,5	Rutinas de limpieza y mantenimiento a válvulas y electroválvulas Cambio de empaquetaduras cada 2000 horas de operación Inspección de cilindros (abolladuras) Análisis de aceite hidráulico y limpieza de tanque Mantenimiento eléctrico cada 6 mese	Ing. de Equipos/Encargado de equipos en obra/Operador
Sistema de giro-motor de giro-swivel	Sistema de giro no funciona.	No responde al accionamiento joystick Fuga hidráulica interna y/o externa Alta temperatura en válvulas	1,27	Aceite contaminado obturacion Falla en el sw ivel eléctrico, las escobillas se aíslan Suciedad y falta de mantenimiento a válvulas y electroválvulas (corrosión) Cumplimiento de vida de los empaque Mal contacto rotulas del joystick para accionamiento	1	2	2,5	Rutinas de limpieza y mantenimiento a válvulas y electroválvulas Cambio de empaquetaduras cada 4000 horas de operación Inspección de cilindros (abolladuras) Análisis de aceite hidráulico y limpieza de tanque Mantenimiento eléctrico cada 6 mese	Ing. de Equipos/Encargado de equipos en obra/Operador
Sistema indicador de carga	LMI no funciona	Muestra datos errados en el display Bloqueo de grúa	1,27	No funciona el LMI, Falla en conectores en tarjetas, en monitor, en anti two block, en yoyo Falla en sensores	3	1	3,8	Recalibrar LMI cada 6 meses Mantenimiento eléctrico y electrónico	Ing. de Equipos/Encargado de equipos en obra
Encendido Motor	Motor no enciende	Equipo no funciona	0,7	Batería descargada Falla en el arranque Obturacion en línea de combustible Aireación	2	1	1,4	Dependiendo condiciones ambientales cambiar filtro de aire cada 120 horas y refrigerante cada 500 Hr. Cambio de filtros y aceites en general según corresponda. Revisión del arnes eléctrico	Ing. de Equipos/Encargado de equipos en obra/Operador

Fuente: El autor

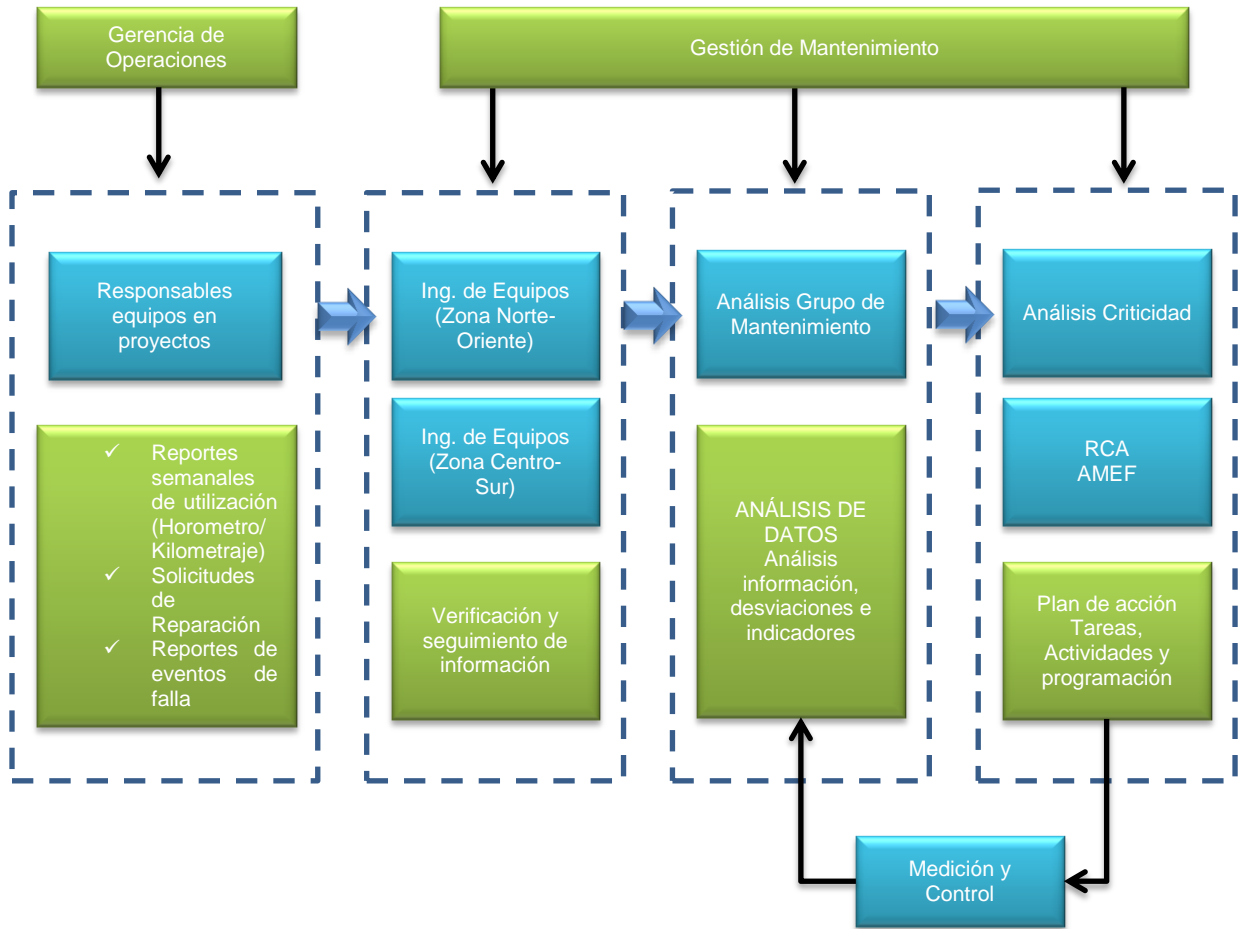
Para esta aplicación en particular se detectó subsistemas claves a intervenir con periodicidad determinada y de esta manera se identifican los repuestos que debemos tener en stock con objeto de realizar el mantenimiento preventivo mayor una vez cumpla su periodo de tiempo establecido, con esto se logra reducir la tasa de falla impactando en la confiabilidad del equipo y por ende en su disponibilidad. Los repuestos que fueron identificados en base al desarrollo de este ejercicio se muestran en el anexo D de la presente monografía.

#### **3.2.4 Interacción organizacional para el modelo planteado**

A continuación se plantea el modelo de interacción para desarrollar el modelo en la compañía para el análisis de fallas, es importante dado que debe estar definida y divulgada en la organización, la cual permite la asignación expresa de responsabilidades y proceso de interacción entre los involucrados.

En la figura 27 se observa el tratamiento que se debe realizar a la información relevante para la gestión de mantenimiento así como las tareas fundamentales en cada una de las fases para el modelo planteado, es importante resaltar la importancia de la medición en la efectividad de las contramedidas que se tomen para cada uno de los casos dado que lo que no se mide no se controla y por lo tanto no se mejora.

Figura 27. Interacción organizacional para el modelo planteado



Fuente: El autor

Se concluye que es recomendable utilizar cada metodología como se indica a continuación para los equipos de izaje con los que cuenta la compañía:

- Análisis Causa Raíz: Fallas repetitivas en cortos periodos de tiempo y/o detección de sintomatología recurrente en la presencia de las fallas.
- Análisis de Modos y Efectos de Falla: Análisis general de modos de fallas a un sistema, subsistema y/o equipo.

#### **4. CONCLUSIONES**

- Se propuso un modelo de mantenimiento aplicable a los equipos de Schrader Camargo Ingenieros Asociados S.A.
- Se planteó la metodología para realizar el análisis de criticidad de los equipos.
- Se identificaron y desarrollaron metodologías de análisis de fallas aplicables a los equipos de la compañía.
- Se determinó que la disponibilidad de los equipos está directamente relacionada con la confiabilidad de los equipos.
- Se determinó la interacción organizacional de los involucrados en la gestión de mantenimiento.
- Se fortaleció la gestión de mantenimiento preventivo de SCIA.

## 5. RECOMENDACIONES

- Es vital concientizar a la gerencia y organización general de la compañía en la importancia de la gestión de mantenimiento y con esto lograr el recurso técnico y financiero necesario para desarrollar las contramedidas requeridas para mejorar la disponibilidad de los equipos.
- La gerencia de operaciones debe garantizar el recurso logístico y humano en lo que refiere al encargado de equipos en cada proyecto con el fin de integrar la interacción “proyecto-sede” y con esto llevar a cabo la gestión de mantenimiento de forma constante y disciplinada.
- Para garantizar resultados a mediano y largo plazo en la mejora del índice de la disponibilidad de equipos de la compañía se debe realizar de forma sistémica los análisis de fallas y aplicar de forma disciplinada las contramedidas.
- Es importante realizar mediciones de manera frecuente con objeto de evaluar la efectividad de las contramedidas encontradas en los análisis de fallas y con esto evidenciar realmente el impacto en la mejora de la disponibilidad de equipos.
- Es importante dar continuidad laboral al personal de mantenimiento con objeto de mantener un grupo en constante aprendizaje en la ciencia del

mantenimiento industrial así como en la identificación y aplicación de las metodologías de análisis de fallas expuestas en esta monografía.

- Se debe garantizar un riguroso control, veracidad y análisis a los datos reportados y obtenidos por eventos de falla de los responsables de equipos en los proyectos y en la sede con objeto de tener datos confiables que constituyan la realidad del estado funcional actual de los equipos.
- La aplicación de metodologías para análisis de fallas contribuyen a mejorar la confiabilidad de los equipos y a su vez la disponibilidad de los equipos, por lo tanto es de resaltar que documentando y ejecutando las contramedidas encontradas en los análisis podemos mejorar el mantenimiento preventivo y reducir y/o mitigar las fallas imprevistas.

## Bibliografía

DUFFUAA, Raouf Dixon. LIMUSA, Wiley. Sistemas de mantenimiento, planeación y control.

HIDALGO MASCORRO, Armando: Manual de AMEF.

JARAMILLO, Julian. Filosofía, gestión tecnológica y teoría de la predicción. 2012.

LEEMIS, Lawrence M. Introduction to Reliability Engineering. Editorial John Wiley and Sons, segunda edición. 1995.

MONTAÑA, Leonardo. Diseño de un sistema de mantenimiento con base en análisis de criticidad y análisis de modos y efectos de falla en la planta de coque de fabricación primaria en la empresa Acerías paz del rio S.A. UPTC. 2006.

MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento planeación, ejecución y control; 8 ed. Alfaomega Grupo Editor. S.A de C.V., México. 2009.

MURILLO, William M. "Modelo de confiabilidad basado en el Análisis de Fallas" ACIEM-ECOPETROL. V congreso internacional de mantenimiento industrial. Bogotá. 2003.

O'CONNOR, Patric D.T. Practical Reliability Engineering. Stevenage: Wiley-John Wiley and Son. Cuarta edición. 2002. 540 p.

PÉREZ JARAMILLO, Carlos Mario. "Gestión y control de mantenimiento industrial". Seminario INCOLDA-EAFIT, Medellín, Julio 1987.

SCIENTIA ET TECHINICA. año XII, No 30, Mayo de 2006. U.T.P.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Metodologías para análisis de fallas. 2009.

[www.reliasoft.com](http://www.reliasoft.com)

[www.schradercamargo.com.co](http://www.schradercamargo.com.co)

[www.xignux.com](http://www.xignux.com)



[www.mantenimientomundial.com](http://www.mantenimientomundial.com)

## ANEXOS



### ANEXO A. Tabla para aplicación del análisis de criticidad SCIA

<b>Frecuencia de fallas</b>		<b>Costo de Mtto</b>	
Pobre mayor a 3 fallas/mes	4	Mayor o igual a USD\$5.000	2
Promedio 1 a 2 fallas/mes	3	Inferior a USD\$5.000	1
Buena 3 a 5 fallas/año	2		
	1		
Excelente menos de 2 fallas/año		<b>Impacto en Seguridad, Impacto Higiene (SAH)</b>	8
		Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	
<b>Impacto Operacional</b>			
Retraso de más de 1 semana PDT	10		
Parada del sistema o subsistema y tiene	7	Afecta el ambiente/Instalaciones	7
repercusión en otros sistemas		Afecta las instalaciones causando daños severos	5
Impactan en niveles de inventario o calidad	4	Provoca daños menores (ambiente/seguridad)	3
No genera ningún impacto significativo sobre operación y producción	1	No provoca ningún tipo de daños a personas instalaciones o al ambiente	1
<b>Flexibilidad Operacional</b>			
Es necesario conseguir un equipo reemplazo y no hay función de repuesto	4		
Hay función de repuesto compartido/almacén	2		
Función de repuesto disponible	1		

## ANEXO B. Formato de Análisis Causa Raíz SCIA

	<b>Formato Análisis Causa Raíz SCIA</b>	
<b>Análisis del Problema</b>		
Grupo de trabajo (humano):		
Fecha:	Equipo:	Ubicación:
Problema/Falla:		
Sistema/Componente:		
Caracterización del Problema/Falla:		
Especificación técnica que se tenga (datos, planos, fotografías, evidencias reales y verbales):		
<b>Lista de causas posibles de la falla</b>		
Causa Probable 1:		
Causa Probable 2:		
Causa Probable 3:		
Causa Probable 4:		
<b>Validar y verificar las causas posibles de la falla</b>		
Validación causa Probable 1:	Si	No
Validación causa Probable 2:	Si	No
Validación causa Probable 3:	Si	No
Validación causa Probable 4:	Si	No
<b>Selección de la causa probada y planteada</b>		
<b>Bitacora de calculos/Sintesis</b>		
<b>Acciones a realizar (politica de control) que garantice la eliminación de la falla</b>		
Control 1 a realizar:		
Fecha implementación del control:	Fecha seguimiento:	
Control 2 a realizar:		
Fecha implementación del control:	Fecha seguimiento:	
<b>Beneficios económicos y técnicos logrados</b>		
<b>Divulgación de resultados / estrategias</b>		

## ANEXO C. Formato de Análisis de Modo y Efectos de Fallas

	<b>Formato Análisis de modos y efectos de fallas SCIA</b>								
<b>Análisis</b>									
Grupo de trabajo (humano):									
Fecha:	Equipo:	Ubicación:							
Sistema/Componente:									
Rango de criticidad:									
Función	Modo de falla	Efectos de falla	Severidad de la falla	Causa de la falla	Prob de ocurrencia	Prob de NO detección	NPR	Acción correctiva	Responsable
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

- 1 Describa la función completa del activo o sistema  
El modo de fallo es la negación de la función (no funciona de acuerdo a la función primaria)
- 2
- 3 Describa los efectos de la falla (síntoma)
- 4 Severidad o impacto de la falla, ya sea operacional o económica (**S**)
- 5 Pueden ser las causas potenciales de la falla
- 6 Probabilidad con la que ocurre la falla (**O**)
- 7 El valor de NO detección de la falla podría ser la asignación de la falla oculta (**D**)
- 8 Esta formulado el numero prioritario de riesgo
- 9 Se marcan las acciones correctivas para mitigar los modos de fallas
- 10 Se asignan responsables para las acciones indicadas en la casilla anterior

ANEXO D. Repuestos resultado del análisis AMEF

PART NUMBER	QTY	DESCRIPTION
3A25120 (Front Axle assy)	8	Seal, oil
3A25119 (Front Axle assy)	2	Bushing
3A12178 (Front Axle assy)	8	Oring
3A25120 (Front Axle assy)	8	Seal, oil
3A22928 (Front Axle assy)	16	Seal, greace
3A25126 (Front Axle assy)	8	Seal, oil
3A22268 (Front Axle assy)	32	Oring
3A22265	32	Oring
3A24427	4	seal
3A24431	4	Excluder, rod
3A19587	16	Brake shoe & lining Assy
J9P0039 (Upper cab assy )	1	Label, transmision shift
N4R0004 (Upper cab assy )	2	Switch rotary
3A12178 (Upper cab assy )	4	Cover, shift
3N0652 (Top hatch window assy)	4	Latch, lh
3N1295 (Top hatch window assy)	4	Shock, gas
F1J0079 (2 way valve strack assy)	1	2 way valve strack assy
L8J0196 (Controller valve assy)	1	Controller valve assy
J6J0152 (Boom telescope foot pedal assy)	1	Boom telescope foot pedal assy
3J17390	12	Kit seal, all items marked KA
3J17342 (Beam cylinder)	12	Kit seal-all items
3J17161 (Outtriger)	12	Kit seal-all items
3J17343 (lift cylinder)	3	Kit seal-all items
3J17397	3	Kit seal-all items
3J17343	3	Kit seal-all ítems
3J15728 (rotating joint & center section)	1	Kit seal-items marked ka
3F0893 (swing reduction unit assy)	6	Gasket
3D1586 (winch assy)	6	Ring, retaining
3D1591 (wimch assy)	4	Seal
3J14754 (lockout cylinder assy)	12	Kit seal
3J14638 (3 ways solienoid valve assy)	6	Coil
3F0897 (swing reduction unit assy)	6	o-ring
F7J0192 (Jack cylinder assy)	2	Valve check
F7J0193 (Jack cylinder assy)	2	Valve check
3J15177(selectable flow divider valve assembly)	4	Coil
3N1295 (top hatch window assy)	6	Shock, gas
3F0896(swing reduction unit assy)	6	o-ring

