

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN ANÁLISIS RCM DE LAS FALLAS DEL MALACATE DE UNA TORRE DE PERFORACIÓN

JAIMES PÉREZ ARIDES



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2019

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN ANÁLISIS RCM DE LAS FALLAS DEL MALACATE DE UNA TORRE DE PERFORACIÓN

JAIMES PÉREZ ARIDES

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

Director

FRANCISCO JOSÉ SALDIVIA SALDIVIA

Magister En Mantenimiento Industrial



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

2019

DEDICATORIA

A mi Señor Dios Todopoderoso por haberme permitido un logro más en mi vida, a Mi Esposa Ethna Sofia Ariza Duarte por estar siempre a mi lado y brindandome su Amor y su comprensión a mis dos Hijas Angie Katherinne y Nicole Nathalia Jaimes Ariza por su Amor y apoyo incondicional, a Mi madre Rosa Elvia Pérez Moreno por sus Oraciones y Bendiciones y a mi querido Padre Pedro Jaimes Galvis que en paz descanse, por haberme enseñado su Perseverancia, Tenacidad y Valor.

TABLA DE CONTENIDO

	PÁG
INTRODUCCION.....	13
1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.2.1 Objetivo general.....	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO.....	16
1.4 LA EMPRESA.....	16
2 ANÁLISIS DE LA LITERATURA RECOPIADA.....	18
2.1 MARCO TEÓRICO.....	18
2.1.2 Mantenimiento.....	18
2.1.2.1 Tipos de mantenimiento. Correctivo. Preventivo. Predictivo.....	18
2.1.2.1.1 Mantenimiento. Correctivo.	18
2.1.2.1.2 Mantenimiento Preventivo.....	18
2.1.2.1.3 Mantenimiento. Predictivo.....	18
2.1.2.1.4 Parada.....	20
2.1.2.1.5 Fallas y sus causas.....	20
2.1.2.1.6 Falla.	20
2.1.2.1.7 Mantenimiento. Reactivo.....	21
2.1.3 Ingeniería de mantenimiento.....	22
2.1.3.1 Confiabilidad. Disponibilidad. Mantenibilidad.....	22
	PÁG

2.1.3.2 Confiabilidad.....	22
2.1.3.3 Disponibilidad.....	22
2.1.3.4 Mantenibilidad.....	22
2.1.4 Gestión de Activos.....	22
2.1.5 Análisis Causa Raíz.....	23
2.1.6 Inspección Basada en Riesgo.....	23
2.1.7 Análisis Costo – Riesgo Beneficio.....	23
2.1.8 Análisis Costo del Ciclo de vida.....	23
2.1.9 Análisis de Criticidad.....	23
2.1.10 Análisis de Modos y Efectos de Falla.....	26
2.2 MARCO CONCEPTUAL.....	27
2.2.1 Contexto Operacional.....	27
2.2.1.1 Cuales son las funciones deseadas del equipo que se está analizando...	27
2.2.1.2 Cuales son los estados de Falla asociadas con estas funciones.....	27
2.2.1.3 Cuales son las posibles causas de cada uno de estos estadios de falla...	28
2.2.1.4 Cuales son los efectos de cada una de estas fallas.....	28
2.2.1.5Cuál es la Consecuencia de cada Falla.....	29
2.2.1.6 Que puede hacerse para predecir o prevenir la Falla.....	29
2.3 MARCO LEGAL.....	30
2.4 Estrategias de Mantenimiento.....	30
2.5 Torre de Perforación Petrolera.....	31
2.6 Sistema de Generación y Transmisión de Potencia.....	32
2.6.1 Motor de Combustión Interna.....	32
2.6.2 Generador.....	32

2.7 Sistema de elevación y soporte estructural.....	32
2.7.1 Malacate.....	32
2.8 Sistema Rotatorio.....	33
2.8.1 Top Drive.....	33
2.9 Sistema de Circulación.....	34
2.9.1 Bomba de Lodos.....	34
2.10 Sistema de Prevención.....	34
2.10.1 Preventoras.....	34
3. DEFINICION DE TERMINOS.....	35
4. METODOLOGIA.....	36
4.1 Identificación de los sistemas y componentes críticos.....	36
5. APLICACIÓN DEL ANALISIS DEL MODO Y EFECTOS DE LAS FALLAS....	39
5.1 Definición de los modos de fallas de los componentes críticos.....	39
5.2 Motores de Tracción A y B.....	40
5.3 Mecanismos de Transmisión.....	40
5.4 Tambor.....	41
5.5 Cable de acero o guaya.....	41
5.6 Embrague.....	42
5.7 Freno.....	43
6. ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO.....	51
7. CONCLUSIONES.....	56
BIBLIOGRAFIA.....	57

LISTA DE FIGURAS

	PÁG
Figura 1. Estructura organizativa TUSCANY – Colombia.....	17
Figura 2. Matriz de criticidad.....	26
Figura 3. Torre de perforación – Tuscany.....	31
Figura 4. Malacate.....	33
Figura 5. Top drive.....	34
Figura 6. Matriz de criticidad.....	38
Figura 7. Elementos del malacate.....	40
Figura 8. Motores de tracción.....	40
Figura 9. Mecanismo de transmisión.....	41
Figura 10. Tambor.....	41
Figura 11. Cable de acero o guaya.....	42
Figura 12. Freno.....	43

LISTA DE TABLAS

	PÁG
Tabla 1. Factor de frecuencia de fallas (FF).....	24
Tabla 2. Factores de consecuencias.....	25
Tabla 3. Asignación de valores criticidad.....	37
Tabla 4. Frecuencia de fallas (FF) vs. Consecuencias.....	37
Tabla 5. Jerarquización de sistemas mecánicos.....	39
Tabla 6. Análisis modal y sus efectos Motor de tracción A-B.....	44
Tabla 7. Análisis modal y sus efectos Mecanismo de transmisión.....	45
Tabla 8. Análisis modal y sus efectos Tambor y guaya o cable metálico... ..	46
Tabla 9. Análisis modal y sus efectos Freno principal.....	47
Tabla 10. Análisis modal y sus efectos Freno auxiliar – Baylor.....	48
Tabla 11. Análisis modal y sus efectos Embrague.....	49

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN ANÁLISIS RCM DE LAS FALLAS DEL MALACATE DE UNA TORRE DE PERFORACIÓN

AUTOR: JAIMES PÉREZ ARIDES

PALABRAS CLAVES: MANTENIMIENTO. MANTENIMIENTO PREVENTIVO. MANTENIMIENTO PREDICTIVO. EQUIPOS CRÍTICOS. ANÁLISIS RCM. ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO.

DESCRIPCION O CONTENIDO:

Al proponer estrategias de optimización se está hablando de la adopción de niveles de mejores prácticas en la realización de procesos de actividades de mantenimiento en los equipos que conforman una torre de perforación de petróleo con el objetivo de reducir costos, mejorar los niveles de servicio, productividad de la empresa y aumentar la satisfacción de los clientes. El objetivo general de esta investigación, era diseñar un plan de mantenimiento basado en el análisis RCM de los equipos que conforman una torre de perforación de petróleo, la metodología propuesta integra dos herramientas reconocidas: una la jerarquización de los equipos a través del análisis de la criticidad con la finalidad de identificar los principales equipos en la torre de perforación, unida a una herramienta de mejoramiento continuo como es el análisis del modo y efecto de las fallas. Además de lo anterior y como resultado de la aplicación del modelo de criticidad y el análisis del AMEF, se proponen estrategias de mantenimiento para extender la vida útil del malacate

1 Monografía.

2 Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Francisco José Saldivia Saldivia, MSc. En Mecánica Industrial

SUMMARY

TITLE: DESIGN OF A MAINTENANCE PLAN BASED ON RCM ANALYSIS OF THE DRAWWORKS FAILURES OF A DRILLING TOWER

AUTHOR: JAIMES PÉREZ ARIDES

KEYWORDS: MAINTENANCE. PREVENTIVE MAINTENANCE. PREDICTIVE MAINTENANCE. CRITICAL EQUIPMENT. ANALISYS RCM. MAINTENANCE STRATEGIES.

DESCRIPTION OR CONTENTS:

When proposing optimization strategies we are talking about the adoption of levels of best practices in the performance of maintenance activities processes in the equipment that make up an oil derrick with the objective of reducing costs, improving service levels, productivity of the company and increase customer satisfaction. The general objective of this research was to design a maintenance plan based on the RCM analysis of the equipment that makes up an oil derrick, the proposed methodology integrates two recognized tools: one the ranking of the equipment through the analysis of the criticality in order to identify the main equipment in the drilling tower, together with a continuous improvement tool such as the analysis of the mode and effect of failures. In addition to the above and as a result of the application of the criticality model and the analysis of the AMEF, maintenance strategies are proposed to extend the useful life of the Drawworks.

3 Monograph.

4 Faculty of Engineering Physics and Mechanics. Mechanical Engineering School. Specialization in Maintenance Management. Director: Francisco José Saldivia Saldivia, MSc. Mechanical Industrial.

INTRODUCCIÓN

La industria petrolera en estos momentos se encuentra atravesando por un momento de bastante movimiento en perforación lo que lleva a las empresas prestadoras de servicios de replantear la estrategia de dar servicio mediante la reducción de costos, con el fin mantenerlos en el mercado, es así que la empresa Tuscany Drilling America Sucursal Colombia replantea su estrategia mediante la implementación de un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM, justificado en los altos costos de mantenimiento.

Con esta Monografía busco desarrollar mediante el proceso de RCM al equipo del Malacate, resolviendo cada una de las estrategias planteadas en la metodología con la finalidad de identificar las fallas más potenciales para poder intervenir en ellas por medio de la asignación de tareas y recursos, de esta manera dicho plan de mantenimiento influirá significativamente para reducir los sobrecostos de mantenimiento.

1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Tuscany South America Ltda. Sucursal Colombia es una empresa principalmente dedicada a la prestación de servicios petroleros, que comprenden los servicios de perforación, mantenimiento, reparación y completamiento de pozos para la industria del petróleo y gas natural. Así mismo, junto con el alquiler de equipos de perforación para la industria de petróleo. Actualmente, la empresa cuenta con 12 taladros de perforación en Colombia.

Un equipo de perforación está formado por un sistema mecánico o electromecánico, compuesto por una torre, de entre veinte y treinta metros de altura que soporta un aparejo diferencial: juntos conforman un instrumento que permite el movimiento de tuberías con sus respectivas herramientas accionado por una transmisión energizada por motores a explosión o eléctricos.

El mantenimiento de las torres de perforación es de vital importancia debido a que es uno de los elementos en que se fundamenta la explotación del crudo, que se traduce en mejoras en la eficiencia de la operación y en las condiciones de trabajo para las personas.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad está definido como el proceso usado para determinar los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operacional. Sin duda, la importancia de la función mantenimiento indica que “el mantenimiento actualmente es considerado como un sistema integrado que puede ofrecer una ventaja considerable en la capacidad de una organización para ser competitiva y proporcionar productos o servicios de calidad...”. Es preciso que cuando un equipo trabaja al 100% de su capacidad existe una mayor rentabilidad. Es por esto que Tavares (2000) señala que un mal mantenimiento y baja confiabilidad significan; bajos ingresos, mas costos y clientes insatisfechos.

La empresa Tuscany, continuamente se replantea la estrategia de disminuir sus costos con la finalidad de mantenerse y ser más competitivo en el mercado, y entre sus acciones está la implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad – RCM el cual tiene como finalidad alcanzar la mejor relación costo/riesgo/beneficio en las acciones emprendidas para conservar o restablecer la función de los activos, lo cual se logra con un adecuado análisis de los patrones de falla de los principales elementos que componen el equipo y del impacto de su función en la operación.

La presente propuesta de trabajo es una monografía del tipo Análisis de experiencias a través de una herramienta de análisis RCM basada en las fallas que presenta el sistema de levantamiento, malacate, como uno de los componentes más importantes que forman parte de una torre de perforación de petróleo y cuya función es elevar, bajar y mantener en suspensión todos los componentes que permiten ejecutar la perforación del pozo. Con esta metodología se espera que permita considerar la confiabilidad de un activo con la finalidad de identificar fallas y riesgos potenciales que, de acuerdo a su severidad y probabilidad de ocurrencia, deban ser tratadas a través de estrategias adecuadas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General:

Diseñar un plan de mantenimiento basado en el análisis RCM de las fallas del malacate de una torre de perforación.

1.2.2 Objetivos Específicos:

1. Describir la situación actual en cuanto a las fallas del malacate en estudio.
2. Desarrollar el procedimiento de análisis de los modos de falla y sus efectos que inciden en la disponibilidad de los sistemas que conforman el malacate.

3. Determinar las estrategias de mantenimiento del malacate utilizando un criterio de priorización.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO

La Empresa Tuscany requiere alargar la vida útil de las unidades y optimizar el rendimiento de las mismas por aumento de su disponibilidad. A partir de las estimaciones sobre la fiabilidad de la vida útil de los activos, se establece dar prioridad a los trabajos de mantenimiento buscando maximizar el beneficio económico, el permanente monitoreo de las condiciones y así como conocer la vida útil de sus equipos, de aquí la importancia del presente estudio.

La metodología planteada del RCM aporta una serie de resultados, como son: mejora de la comprensión del funcionamiento de los equipos, analizar todas las posibilidades de falla de un sistema, y desarrollar mecanismos de prevención de fallas, así como determinar acciones que permitan garantizar una alta disponibilidad del malacate.

La relevancia del plan de mantenimiento conlleva a proponer un análisis RCM para la evaluación de fallas del malacate a través de la documentación de la base de información, que lleve a mejorar la incidencia del plan de mantenimiento en la productividad y en el incremento de la vida útil de los activos con la finalidad de disminuir la incidencia económica de las paradas debidas a fallas, haciéndolo viable financieramente, de ahí la importancia de esta monografía.

1.4 LA EMPRESA

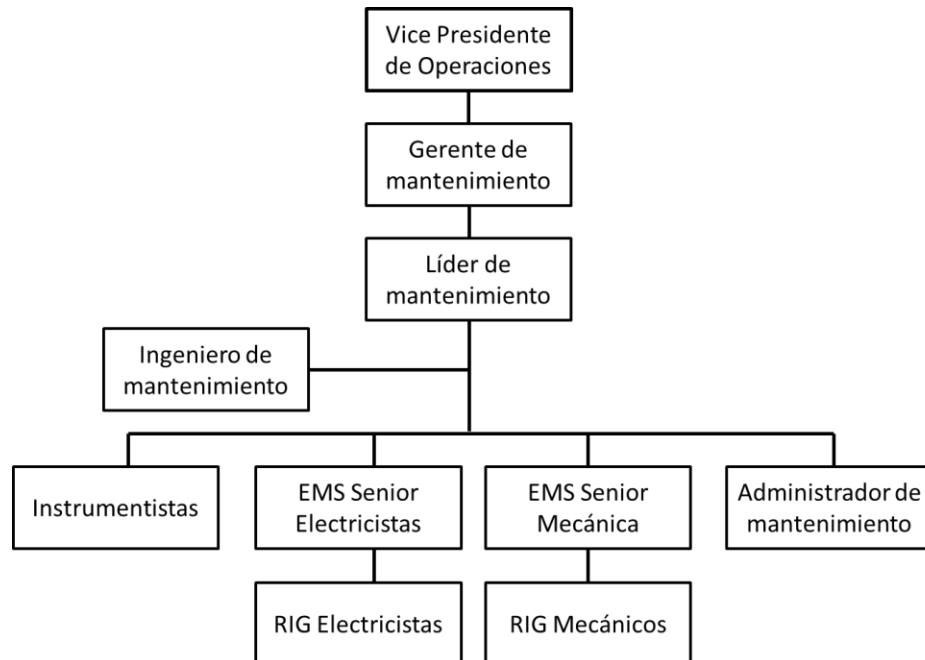
Tuscany es una compañía canadiense, cuya casa matriz operacional está ubicada en Bogotá, está dedicada a la prestación de servicios de perforación, workover y completamiento de pozos para la industria del petróleo y gas natural. Está respaldada por un grupo de inversionistas especializados en desarrollo de negocios con base en los Estados Unidos, que, confiando en el capital humano y

los recursos disponibles, hicieron una gran apuesta para contribuir con el desarrollo de la industria en América Latina.

Actualmente cuenta con 17 taladros de perforación en Colombia y Ecuador, operados por personal completamente idóneo bajo la dirección de un grupo gerencial de amplia experiencia en la industria alrededor del mundo.

El proyecto sobre el que se desarrolla esta monografía está ubicado en Yopal, Departamento del Casanare y la estructura organizativa de TUSCANY Colombia se observa en la figura 1.

Figura 1. Estructura organizativa TUSCANY – Colombia.



2. ANÁLISIS DE LA LITERATURA RECOPIADA

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.2 Mantenimiento. El mantenimiento es un conjunto de actividades a ejecutar sobre instalaciones y equipos con el fin de corregir o prevenir fallas, y continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados.

La gestión de mantenimiento es un proceso sistemático donde a través de una serie de medidas organizativas se pueden planear las acciones de mantenimiento, de acuerdo a procedimientos que lleven un orden o secuencia lógica a fin de lograr alta confiabilidad y disponibilidad de los objetos a mantener.

2.1.2.1 Tipos de mantenimiento. Correctivo. Preventivo. Predictivo

2.1.2.1.1 Mantenimiento correctivo Se llama mantenimiento correctivo a las tareas que restauran un activo a su condición disponible para la producción. Estas tareas se realizan desde los talleres de mantenimiento mecánico, eléctrico y de instrumentación o desde servicios externos.

2.1.2.1.2 Mantenimiento preventivo. Consiste en programar las intervenciones o cambios de algunos componentes o piezas según intervalos predeterminados (estadísticamente) o según eventos regulares (horas de servicio, número de piezas producidas, kilómetros recorridos, vacaciones del personal, entre otros). Su objetivo es reducir la probabilidad de avería o pérdida de rendimiento de una máquina o instalación tratando de planificar unas intervenciones que se ajusten al máximo a la vida útil del elemento intervenido.

2.1.2.1.3 Mantenimiento predictivo. Es el mantenimiento planificado y programado basándose en análisis técnicos y en la condición del equipo antes de ocurrir una falla, sin detener su funcionamiento normal, para determinar la expectativa de vida de los componentes y reemplazarlos en tiempo óptimo minimizando costos.

El mantenimiento predictivo es beneficioso por las siguientes razones:

- a. Incrementa la vida útil del equipo,

- b. Disminuye el número de paradas imprevistas,
- c. Disminuye el re trabajo,
- d. Permite la intervención oportuna de los equipos, y
- e. Disminuye el tiempo ocioso del recurso humano de mantenimiento con la finalidad de redistribuirlo en otra actividad.

Las técnicas que regularmente se utilizan como parte del mantenimiento predictivo, son:

- Análisis de vibraciones. Técnica utilizada en la supervisión y diagnóstico de fallas mecánicas en máquinas rotativas que utiliza diversos parámetros vibratorios específicos para diagnosticar con precisión problemas de desequilibrio, desalineación, holguras, roces, ejes doblados, poleas excéntricas, rodamientos, engranajes y fallas de origen eléctrico.
- Termografía. Análisis de cualquier instalación o máquina donde la transferencia de calor y la temperatura superficial de los elementos que la constituyen desempeñen un papel importante.
- Análisis de aceite lubricante. Determinación de las propiedades físico-químicas de un aceite lubricante con la finalidad de establecer su deterioro a través de la degradación, contaminación y presencia de partículas de desgaste.
- Ultrasonido. Técnica utilizada en la detección de fallas acompañada de emisiones acústicas a través de sensores que hacen posible la detección de fugas de fluidos, verificación de purgadores de vapor, inspección mecánica de rodamientos y reductores de velocidad, comprobaciones de alineación, control de la correcta lubricación, inspección de válvulas e impactos en componentes acoplados, inspecciones eléctricas en armarios eléctricos, transformadores, subestaciones, aisladores, líneas de alta

tensión, etc. ensayos de estanqueidad, verificación del funcionamiento de válvulas hidráulicas y neumáticas y comprobación del fenómeno de la cavitación.

2.1.2.1.4 Parada. Es un evento que impide que un activo cumpla su misión.

Tipos de paradas:

- Paradas operacionales: porque se cumplió la cuota de producción o un cambio de producto.
- Paradas por mantenimiento preventivo o inspección.
- Paradas por causa externa.
- Parada por falla.

2.1.2.1.5 Fallas y sus causas.

2.1.2.1.6 Falla. Es un evento no previsible inherente al equipo, que impide que cumpla su misión.

Las fallas pueden ser:

- Súbita y completa, o
- Progresiva y parcial.

Principales causas de fallas

- Malos diseños
- Selección inadecuada de materiales
- Defectos microestructurales de los materiales
- Procesos de fabricación deficientes
- Transporte, montaje e instalación mal ejecutados
- Condiciones ambientales agresivas

- Operaciones fuera de especificaciones
- Mantenimiento inapropiado (baja fiabilidad)

2.1.2.1.7 Mantenimiento reactivo. Consiste en no programar ninguna tarea hasta que la máquina falla. Se limita a actuar para atender a cualquier imprevisto dentro de las plantas industriales. Como la aparición de la avería es absolutamente imprevisible, es necesario disponer de un equipo humano libre de obligaciones aparte de la propia de actuar en caso de una emergencia. La estrategia reactiva en el mantenimiento ofrece las siguientes ventajas:

Consiste en no programar ninguna tarea hasta que la máquina falla. Se limita a actuar para atender a cualquier imprevisto dentro de las plantas industriales. Como la aparición de la avería es absolutamente imprevisible, es necesario disponer de un equipo humano libre de obligaciones aparte de la propia de actuar en caso de una emergencia. La estrategia reactiva en el mantenimiento ofrece las siguientes ventajas:

- Para muchos componentes es la estrategia más eficiente ya que sólo se actúa sobre ellos cuando se ha producido una avería, luego la duración útil del componente es mayor que si se aplicase, por ejemplo, una estrategia preventiva con sustituciones de la pieza a intervalos fijos.
- Ahorros en planificación, puesto que las órdenes de trabajo se generan conforme van apareciendo la averías y no se necesita apenas planificación.

El mantenimiento reactivo es adecuado para aquellos activos no críticos donde una avería no afecta a la seguridad, no provoca emisiones o vertidos contaminantes, no interrumpe o reduce la producción, no provoca daños irreversibles en la máquina o costosas reparaciones, y donde no afecta a la calidad del producto fabricado ni a la reputación de la compañía.

2.1.3 Ingeniería de mantenimiento

2.1.3.1 Confiabilidad. Disponibilidad. Mantenibilidad

2.1.3.2 Confiabilidad. Es la probabilidad de que un sistema productivo no falle en un momento dado bajo condiciones establecidas.

2.1.3.3 Disponibilidad. Es la probabilidad de que el equipo esté operando a un tiempo “t”. Para estimar la disponibilidad se requiere analizar estadísticamente los tiempos entre falla y los tiempos en reparación.

2.1.3.4 Mantenibilidad. Es la medición de la capacidad que tiene el Sistema de Gestión de Mantenimiento de una organización para restituir o reponer las funciones perdidas en un equipo por la ocurrencia de una falla o por la ejecución de un mantenimiento planificado (Estándar UNE IEC 63300-3-10).

Un activo con una alta mantenibilidad es aquel que es fácil de mantener y reparar o también aquel que requiere el mínimo mantenimiento posible para operar de manera confiable.

2.1.4 Gestión de activos. La Gestión de Activos se define como el juego de disciplinas, procedimientos y herramientas esenciales para optimizar el impacto total de los costos, exposición al riesgo y desempeño Humano en la Vida del Negocio, asociado con la Confiabilidad, Disponibilidad, Usabilidad, Mantenibilidad, Longevidad, Eficiencia y regulaciones de cumplimiento de la Seguridad y el Medio Ambiente, de los activos totales de la compañía.

Dentro de la optimización de los activos físicos de la empresa se debe considerar lo siguiente: definir las máquinas y las herramientas, adquirir repuestos y materiales esenciales, determinar criticidad, accesibilidad, usabilidad, tiempo de reposición, costo y demanda, repuestos Centrados en Confiabilidad (RCS), índices de rotación de repuestos estratégicos y aprovisionamiento Económico Óptimo.

Las herramientas que usa la Gestión de Activos para alcanzar la excelencia son:

2.1.5 Análisis Causa Raíz (RCFA). Procedimiento sistemático que se aplica con el objetivo de precisar las causas que originan las fallas, sus impactos y sus frecuencias de aparición, para poder mitigarlas o eliminarlas.

2.1.6 Inspección Basada en Riesgos (RBI). Técnica que permite definir la probabilidad de falla de un sistema, y las consecuencias que las fallas pueden generar sobre la gente, el proceso y el entorno.

2.1.7 Análisis Costo - Riesgo - Beneficio (BRCA). Metodología que permite establecer una combinación óptima entre los costos de realizar una actividad y los beneficios generados, con base en el valor del riesgo que involucra la realización, o no, de tal acción.

2.1.8 Análisis del Costo del Ciclo de Vida (LCC). Técnica que permite elegir entre opciones de inversión o acciones de mejora de la confiabilidad con base en su efecto en el costo total del ciclo de vida de un activo nuevo o en servicio.

2.1.9 Análisis de Criticidad (CA). Técnica que permite jerarquizar instalaciones, sistemas y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. El proceso de análisis de criticidad ayuda a determinar la importancia y las consecuencias de los eventos potenciales de falla de los sistemas de producción dentro del contexto operacional en el cual se desempeñan. Algunos de los criterios que se utilizan dentro del proceso de jerarquización son: Flexibilidad operacional, efecto en la continuidad operacional, efecto en la calidad del producto, efecto en la seguridad, ambiente e higiene, costos de paradas y del mantenimiento, frecuencia de fallas / confiabilidad, condiciones de operación (temperatura, presión, flujo, caudal, velocidad), flexibilidad/accesibilidad para inspección y mantenimiento, requerimientos / disponibilidad de recursos para inspección y mantenimiento, y disponibilidad de repuestos. El Modelo de criticidad que será aplicado es el semicuantitativo. A través del cálculo de $CTR = FF \times C$, donde: CTR es la criticidad total por riesgo, FF es la Frecuencia de fallas y C son las consecuencias de los eventos de fallas

- $C = (IO \times FO) + CM + SHA$

Donde: IO es el factor de impacto en la producción, FO es el factor de flexibilidad operacional, CM es el factor de costos de mantenimiento y SHA es el Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente.

Tabla 1. Factor de frecuencia de fallas (FF)

4	Frecuente: mayor a 2 eventos al año
3	Promedio: 1 y 2 eventos al año
2	Bueno: entre 0,5 y 1 evento al año
1	Excelente: menos de 0,5 eventos al año

Fuente: Parra, C, Crespo, A. Gestión de Activos

Tabla 2. Factores de consecuencias

Impacto operacional (IO) 10: Pérdidas de producción superiores al 75% 7: Pérdidas de producción entre el 50% y el 74% 5: Pérdidas de producción entre el 25% y el 49% 3: Pérdidas de producción entre el 10% y el 24% 1: Pérdidas de producción menor al 10%
Impacto por flexibilidad operacional (FO) 4: No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes 2: Se cuenta con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios 1: Se cuenta con unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeños
Impacto en costos de mantenimiento (CM)

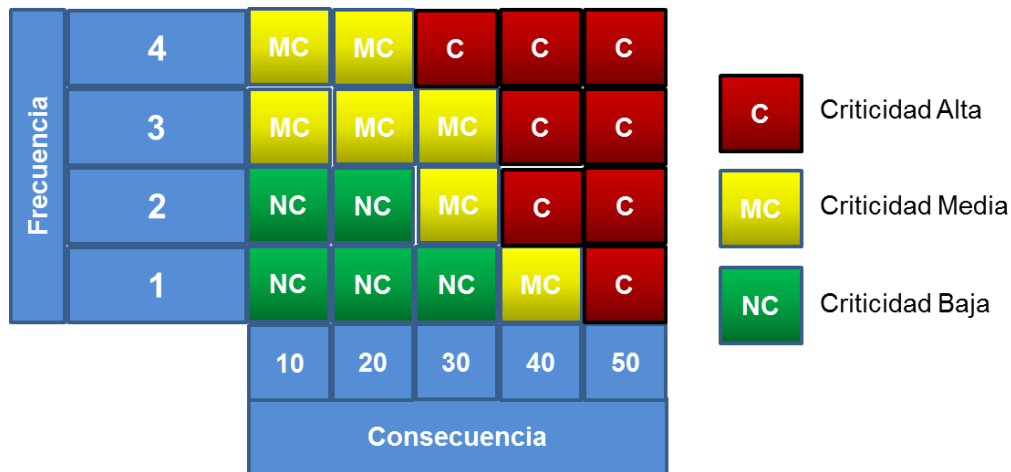
2: Costos de reparación, materiales y mano de obra superiores a 20.000 dólares
1: Costos de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 20.000 dólares
Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA)
8: Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catastrófico) que exceden los límites permitidos
6: Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud, y/o incidente ambiental de difícil restauración
3: Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable), derrames fáciles de contener y fugas repetitivas
1: No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales

Fuente: Parra, C, Crespo, A. Gestión de Activos

Para obtener el nivel de criticidad de cada equipo/sistema, se toman los valores totales de cada uno de los factores principales: frecuencia y consecuencias de las fallas, y se ubican en la matriz de criticidad. El valor de la frecuencia de fallas se ubica en el eje vertical y el valor de las consecuencias se ubica en el eje horizontal. La matriz de criticidad permite jerarquizar los sistemas en tres áreas:

- Área de sistemas No Críticos (NC)
- Área de sistemas de Media Criticidad (MC)
- Área de sistemas Críticos (C)

Figura 2. Matriz de criticidad



Fuente: Parra, C, Crespo, A. Gestión de Activos

2.1.10 Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA). Metodología que permite determinar los modos de falla de los componentes de un sistema, el impacto y la frecuencia con que se presentan.

De acuerdo a la Norma SAE JA1012 “A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard” (2002), el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) inicialmente publicado para desarrollar programas de mantenimiento para aviones comerciales ha sido ampliamente utilizado por otras industrias, y desarrollado y mejorado ampliamente. Estas mejoras se han incorporado en numerosos documentos de aplicación, publicados por una variedad de organizaciones alrededor del mundo. Muchos de estos documentos permanecen fieles a los principios básicos del MCC expuestos por Nowlan y Heap.

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad según Zambrano y Leal (2005) “es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, que puede ser aplicado a cualquier tipo de instalación industrial, útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento” Según Bunny Snellok el MCC es “El mantenimiento que debes hacer para que las instalaciones hagan lo que la

empresa desea que hagan”, en otras palabras es la alineación del mantenimiento con la misión de la empresa.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Contexto Operacional. Breve descripción donde se debe indicar: régimen de operación del equipo, disponibilidad de mano de obra y repuestos, consecuencias de indisponibilidad del equipo (producción perdida o reducida, recuperación de producción en horas extra, tercerización, objetivos de calidad, otros).

Los objetivos fundamentales de RCM son mantener la funcionalidad del sistema al garantizar que todas las acciones de mantenimiento estén diseñadas para maximizar la confiabilidad del sistema a un costo mínimo. Para lograr esto, el proceso de RCM es un enfoque estructurado que requiere que el analista justifique los requisitos de mantenimiento respondiendo una serie de preguntas.

2.2.1.1 ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando? El objetivo del proceso RCM es desarrollar una serie de políticas que preserven las funciones del activo o sistema en consideración, a los estándares de desempeño que son aceptables para el dueño/usuario. Las funciones pueden ser primarias y secundarias, las primarias son la razón por la que cualquier organización adquiere algún activo o sistema es para cumplir con una función o funciones específicas. Las funciones secundarias normalmente son menos obvias que las funciones primarias, pero la pérdida de una función secundaria también puede tener serias consecuencias en ocasiones más serias que la pérdida de la función primaria.

2.2.1.2 ¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones? Identificar cómo puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones. Esto lleva al concepto de una falla funcional, que se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado. Un proceso MCC que sea conforme a la norma SAE JA1011 responde la pregunta: “¿De qué maneras puede fallar al

cumplir sus funciones (fallas funcionales)?”. Se deben definir todos los estados de falla (posibilidad de fallar) asociados con cada función y un activo puede sufrir una variedad de estados de falla.

2.2.1.3¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla? Un proceso RCM que cumple con la norma SAE JA1011 responde la pregunta, “¿Qué causa cada falla funcional (modos de falla)?” ¿En qué formas puede fallar la máquina? Esta sección discute los cinco conceptos claves siguientes concernientes a los modos de falla que están listados en la Sección 5.3 de SAE JA1011:

- a. Identificar los modos de falla.
- b. Establecer que se entiende por “probable”.
- c. Niveles de causalidad.
- d. Fuentes de información.
- e. Tipos de modos de falla.

“Se deben identificar los modos de falla probables que puedan causar cada falla funcional”. (SAE JA1011, sección 5.3) La Sección 7 de esta guía menciona que el MCC distingue entre el estado de falla del activo (falla funcional) y los eventos que causan los estados de falla (modos de falla). Debido a que es imposible definir las causas de una falla hasta que se haya establecido exactamente qué se entiende por “falla”, el proceso MCC identifica las fallas funcionales antes de definir los modos de falla.

2.2.1.4¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas? Permite decidir la importancia de cada falla, y qué nivel de mantenimiento (si lo hubiera) sería necesario. Deben describir lo que puede pasar si no se realiza ninguna tarea específica para anticipar, prevenir o detectar la falla.

2.2.1.5 ¿Cuál es la consecuencia de cada falla? Las consecuencias de cada falla dicen si se necesita tratar de prevenirlos. Si la respuesta es positiva, también sugieren con qué esfuerzo se debe tratar de encontrar las fallas. RCM clasifica las consecuencias de las fallas en cuatro grupos: consecuencias de las fallas no evidentes, consecuencias en la seguridad y el medio ambiente, consecuencias operacionales y consecuencias no operacionales.

2.2.1.6 ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla? ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva adecuada?

- Tareas programadas. Se realizan siguiendo un programa establecido, según el tiempo de trabajo, la cantidad producida, los kilómetros recorridos, de acuerdo con una periodicidad fija o siguiendo algún otro tipo de ciclo que se repite de forma periódica.
- Tareas basadas en la condición. Se construyen reglas de diagnóstico y se establecen niveles de alarma a través del seguimiento de variables deseadas a partir de la utilización del resultado de inspecciones, resultados de históricos de pruebas, diagnósticos de fallas, información del comportamiento de los equipos ante eventos del sistema, datos de diseño y funcionamiento nominal. Pueden ser: medición de temperatura, análisis de vibración, análisis de aceite, ultrasonido y pruebas eléctricas.
- Tareas de desincorporación programada. Vincula la toma de acciones periódicas para restaurar la capacidad de un elemento a (o antes de) un intervalo especificado (límite de longevidad), indiferentemente de su condición en el momento, a un nivel que provea una probabilidad tolerable de supervivencia hasta el final o hasta otro intervalo especificado (el cual no tiene que ser necesariamente igual al intervalo inicial).
- Tareas de restauración programada. Significa desincorporar un elemento o componente a (o antes de) un límite de longevidad especificado, indiferentemente

de su condición en el momento. Esto se hace en el supuesto de que al reemplazar un viejo componente con uno nuevo se restaurará la resistencia original a fallar.

- Tareas de detección de fallas.

2.3 MARCO LEGAL

La presente Monografía se encuentra direccionado bajo lineamientos establecidos en normas internacionales relacionadas al mantenimiento centrado en confiabilidad como lo son:

SAE JA1011, Evaluation Criteria for Reliability-centered Maintenance (RCM) Processes, Society of Automotive Engineering, 1999.

SAE JA1012, A guide to the Reliability-centered Maintenance (RCM) Standard. Society of Automotive Engineering, 2002.

IEC 60300-3-11, Application guide – Reliability centred maintenance, International Electro technical Commission, 1999.

ISO 14224, Petroleum and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment, International Organization for Standardization, 2004.

2.4 Estrategias de mantenimiento

López (2007) establece que la estrategia de mantenimiento de una industria identifica cómo la industria se enfrenta a la necesidad de mantenimiento inevitablemente asociada a la actividad productiva ya que al minimizar el riesgo de fallas, a través de una mayor inversión en equipos de mantenimiento y en formación de personal, se favorece la producción. De igual forma, las clasifica en estrategias básicas (involucran exclusivamente operaciones de mantenimiento

correctivo), estrategias moderadamente intensivas (basadas en operaciones de mantenimiento correctivo y preventivo, poco sistematizado y poco elaborado), estrategias intensivas (incluyen todo tipo de operaciones de mantenimiento, en los equipos críticos suele realizarse un seguimiento de la condición de funcionamiento mediante técnicas de mantenimiento predictivo) y estrategias integrales (basadas en la filosofía de producción y mantenimiento denominada mantenimiento total productivo).

En el marco de la presente investigación, se considera que una estrategia es un conjunto de acciones planificadas sistemáticamente en el tiempo que se llevan a cabo para lograr un determinado fin. De allí, puede decirse que las estrategias de mantenimiento son un compendio de tareas y planes específicos para prevenir las fallas y mitigar su impacto.

2.5 Torre de perforación petrolera

La torre de perforación de petróleo es una estructura utilizada para soportar todos los elementos que intervienen en la perforación de un pozo. Generalmente tienen forma piramidal y ofrecen una buena relación resistencia-peso. Figura 3.

Figura 3. Torre de perforación – Tuscany



Los equipos que conforman una torre de perforación petrolera y que permiten la ejecución de todas las actividades son:

2.6 Sistema de generación y transmisión de potencia.

2.6.1 Motor de combustión interna.

2.6.2 Generador. La potencia del sistema de generación debe ser suficiente para satisfacer las exigencias del sistema de izaje, del sistema rotatorio y del sistema de circulación del fluido de perforación, es decir, si el sistema de izaje requiere toda la potencia disponible, ésta puede utilizarse plenamente. De igual manera durante la perforación, la potencia puede distribuirse entre el sistema rotatorio y el de circulación del fluido de perforación.

2.7 Sistema de elevación y soporte estructural

2.7.1 Malacate. Es un conjunto de componentes de propulsión mecánica que proporciona la potencia necesaria para levantar cargas de tuberías de perforación y de revestimientos con las unidades motrices del equipo (motor de tracción y mecanismo de transmisión), a través de un cable o guaya que se enrolla o desenrolla dependiendo de la actividad a realizar, El cable de perforación se enrolla sobre el bloque de corona y el bloque viajero (aparejo móvil) para crear ventaja mecánica en un modo de tipo "aparejo de roldana" o "polea". Esta acción de desenrollado y enrollado del cable de perforación hace que se baje o se suba en el pozo el bloque viajero (aparejo móvil) y cualquier elemento que se encuentre suspendido debajo de éste. La acción de desenrollado del cable de perforación responde a la gravedad y el enrollado es accionado con un motor eléctrico o un motor diésel. Ver figura 4.

Figura 4. Malacate



2.8 Sistema rotatorio

2.8.1 Top drive. Es un dispositivo giratorio de potencia ubicado debajo del bloque móvil que impulsa la sarta de perforación. Es un gran motor eléctrico o hidráulico que genera más de 1000 caballos de fuerza. Se cuelga del gancho en el bloque de desplazamiento y gira un eje en el que se atornilla la sarta de perforación. Esta herramienta se encarga de hacer rotar la sarta de perforación y el trépano. Este sistema reemplaza las funciones de una mesa rotaria, permitiendo rotar la sarta de perforación desde el tope, usando una cabeza de inyección propia, en lugar de la cabeza de inyección, vástago y mesa rotaria convencionales. Además el sistema se maneja a control remoto desde la consola del perforador.

Figura 5. Top drive.



2.9 Sistema de circulación

2.9.1 Bombas de lodo. Mientras se va perforando el pozo, el lodo se inyecta hacia abajo por el interior de los tubos hasta salir por unos agujeros y vuelve a la superficie a través del espacio libre que queda entre las paredes del pozo y las tuberías arrastrando consigo partículas trituradas del fondo de la perforación. El lodo sirve para evacuar los cutting o detritus, lubricar y enfriar el trépano, sostener las paredes de los pozos y equilibrar la presión de la formación.

2.10 Sistema de prevención.

2.10.1 Preventoras. Válvulas que se utilizan para sellar, controlar y monitorear los pozos de petróleo y gas para evitar explosiones, la liberación descontrolada de petróleo crudo y / o gas natural de un pozo. Por lo general, se instalan con otras válvulas. También están diseñados para evitar que la tubería (perforación y revestimiento del pozo), las herramientas y el fluido de perforación salgan del pozo cuando existe la amenaza de una explosión

3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Confiabilidad. Es la probabilidad de que un sistema productivo no falle en un momento dado bajo condiciones establecidas.

Efectividad. Este concepto involucra la eficiencia y la eficacia, es decir, el logro de los resultados programados en el tiempo y con los costos más razonables posibles. Supone hacer lo correcto con gran exactitud y sin ningún desperdicio de tiempo o dinero.

Disponibilidad. Es la probabilidad de que el equipo esté operando a un tiempo “t”. Para estimar la disponibilidad se requiere analizar estadísticamente los tiempos entre falla y los tiempos en reparación.

Equipo crítico. Es aquel cuya falla o parada puede afectar significativamente el sistema por razones de producción, calidad o seguridad.

Gestión de mantenimiento. Es la utilización efectiva y eficiente de los recursos para alcanzar los objetivos de mantenimiento.

Mantenibilidad. Es la medición de la capacidad que tiene el Sistema de Gestión de Mantenimiento de una organización para restituir o reponer las funciones perdidas en un equipo por la ocurrencia de una falla o por la ejecución de un mantenimiento planificado (Estándar UNE IEC 63300-3-10).

Mantenimiento. Es el conjunto de acciones que permiten conservar o restablecer un sistema productivo a un estado específico, para que pueda cumplir un servicio determinado.

4. METODOLOGIA

4.1 Identificación de los sistemas y componentes críticos

Según la información contenida en los registros que reposan en los archivos de la empresa Tuscany South America Ltda. Sucursal Colombia y la documentación de trabajos realizados en equipos mecánicos de torres de perforación de petróleo, se pueden identificar los siguientes sistemas y componentes:

1. Sistema de generación y transmisión de potencia.
 - a. Motor de combustión interna
 - b. Generador
2. Sistema de elevación y soporte estructural
 - a. Torre de perforación
 - b. Malacate
3. Sistema rotatorio
 - a. Top drive
4. Sistema de circulación
 - a. Bombas de lodo
 - b. Cedazo o zaranda vibratoria
 - c. Depósitos o tanques de lodo
5. Sistema de prevención. Preventoras
 - a. Válvulas impide-reventones

El análisis de criticidad permite identificar y jerarquizar la importancia de los activos con la finalidad de orientar recursos económicos, humanos y tecnológicos, dentro del contexto operacional en el que se desenvuelven. Para ello se plantea un análisis semicuantitativo que representa un modelo multicriterio (tanto cualitativo como cuantitativo) para determinar la jerarquía de un equipo o sistema siguiendo los factores ponderados basados en el concepto de riesgo:

- Frecuencia de fallas (FF)
- Impacto operacional (IO)
- Flexibilidad operacional (FO)
- Costo de mantenimiento (CM)

- Impacto en seguridad, higiene y ambiente (SHA)

Se ponderan los valores de cada subsistema en cada uno de estos aspectos siguiendo los parámetros suministrados en la tabla de ponderados.

Tabla 3. Asignación de valores criticidad

N°	Elemento	FF	IO	FO	CM	SHA
1	Sistema de generación y transmisión de potencia	4	7	2	1	3
2	Sistema de elevación y soporte estructural	2	10	4	2	8
3	Sistema rotatorio	2	5	4	2	3
4	Sistema de circulación	3	7	1	1	1
5	Sistema de prevención. Preventoras	1	7	2	1	8

Fuente: El autor

Obtención de la criticidad total por riesgo

$$CTR = FF \times C$$

Donde:

CTR: Criticidad total por riesgo

C: Consecuencias de los eventos de fallas

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA$$

Aplicando las ecuaciones se obtiene la tabla Frecuencia de fallas (FF) vs. Consecuencias.

Tabla 4. Frecuencia de fallas (FF) vs. Consecuencias

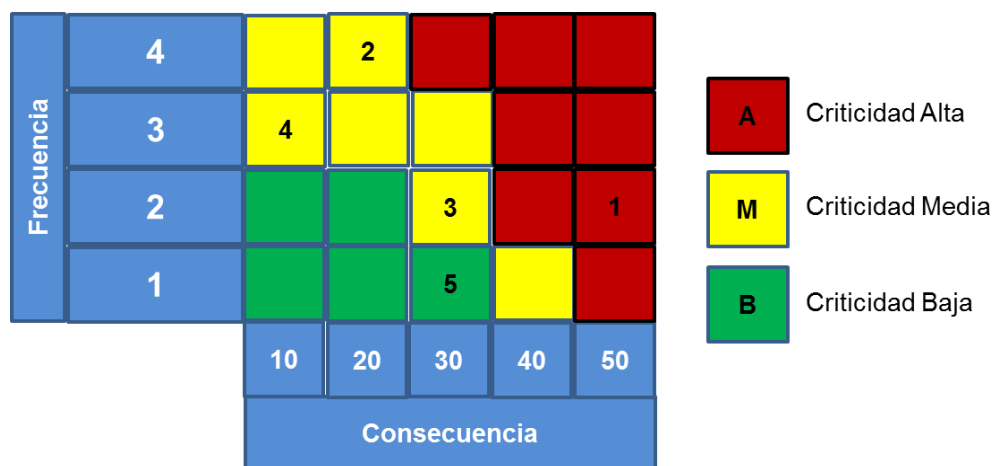
N°	Elemento	FF	C	CTR
1	Sistema de generación y transmisión de potencia. Motor de combustión interna. Generador	4	18	72
2	Sistema de elevación y soporte estructural. Torre	2	50	100

	de perforación. Malacate			
3	Sistema rotatorio. Top drive	2	25	50
4	Sistema de circulación. Bombas de lodo. Cedazo o zaranda vibratoria. Depósitos	3	9	27
5	Sistema de prevención. Preventoras. Válvulas impide-reventones	1	23	23

Fuente: El autor.

Con estos valores se ubica cada sistema mecánico en la matriz de criticidad:

Figura 6. Matriz de criticidad



Fuente: El autor

Con la información de la matriz de criticidad se obtiene la jerarquización de los sistemas que forman parte de la torre de perforación de petróleo en estudio, de acuerdo a la tabla 5.

Tabla 5. Jerarquización de sistemas mecánicos.

N°	Elemento	
1	Sistema de elevación y soporte estructural. Torre de perforación. Malacate	
2	Sistema de generación y transmisión de potencia. Motor de combustión interna. Generador	
3	Sistema rotatorio. Top drive	
4	Sistema de circulación. Bombas de lodo. Cedazo o zaranda vibratoria. Depósitos	
5	Sistema de prevención. Preventoras. Válvulas impide-reventones	

Fuente: El autor.

Con el análisis semicuantitativo de criticidad, se ha determinado que el malacate es el equipo que presenta la mayor jerarquía en cuanto a requerimiento de atención de mantenimiento, basándose en diferentes factores: frecuencia de fallas, impacto operacional, flexibilidad operacional, costo de mantenimiento e impacto en seguridad, higiene y ambiente.

5. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE LAS FALLAS

5.1 Definición de los modos de fallas de los componentes críticos

Según la documentación de trabajos realizados sobre las fallas comunes en equipos mecánicos de torres de perforación de petróleo, se pueden identificar algunas de las fallas más críticas que en el caso de ocurrir representarían un riesgo inminente en la continuidad del proceso productivo.

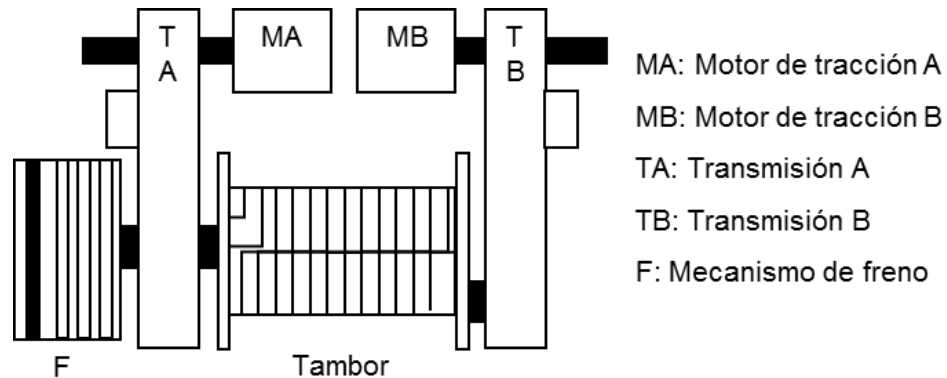
Sistema de elevación y soporte estructural

- a. Torre de perforación
- b. Malacate

El conjunto malacate, Gardner Denver 1500 Drawworks, sirve de centro de distribución de potencia para el sistema de izaje y el sistema rotatorio y es accionado por dos motores eléctricos con una potencia de 1000 hp.

En la figura 7 se observan los componentes del malacate.

Figura 7. Elementos del malacate



5.2 Motores de tracción A y B (GE 1000 hp, DC)

Son motores eléctricos que se encargan de transmitir la potencia necesaria.

Figura 8. Motores de tracción



5.3 Mecanismo de transmisión

Esta transmisión utiliza una combinación de ruedas dentadas y cadena de rodillos para lograr el cambio de velocidades y torque de los motores principales. Provee un sistema de cambios de velocidad que el perforador puede utilizar para levantar la tubería.

Figura 9. Mecanismo de transmisión



5.4 Tambor

El tambor de elevación (generalmente ranurado) es probablemente el componente más importante del malacate ya que a través de él se transmite la potencia para levantar la sarta de perforación con la línea de perforación (cable de acero o guaya) enrollada en el tambor.

Figura 10. Tambor



5.5 Cable de acero o guaya

Es un cable metálico compuesto por diversos cordones metálicos dispuestos helicoidalmente alrededor de un alma metálica y la resistencia a la rotura a tracción está determinada por la calidad del acero utilizado para la fabricación de

los distintos alambres, el número y sección de los mismos y su estado de conservación. Esta disposición es de tal forma que su trabajo se comporta como una sola unidad. Los cables, al ser doblados, pasar por una polea o ser arrollados, sufren unos esfuerzos inversamente proporcionales al diámetro del arrollamiento y en función de la rigidez constructiva del cable, y dependiendo de la interacción de estos elementos se tiene el comportamiento del desgaste.

Figura 11. Cable de acero o guaya



5.6 Embrague

Los embragues utilizados en la transmisión de la potencia del motor principal son del tipo de mandíbula y embragues de tipo fricción. Operan neumáticamente desde la consola del perforador y también controla el cambio de marchas. Los embragues utilizados en la transmisión de la potencia del motor primario a los trabajos de tracción son embragues positivos de tipo mandíbula y embragues de tipo fricción, donde el accionamiento es neumático. Los elementos que conforman el sistema neumático son: Accionamiento, compresor de aire, secador de aire, tanques de almacenamiento de aire, accesorios.

5.7 Freno

El sistema de frenos del malacate se utiliza para reducir la velocidad y detener el movimiento del sistema de izaje. El mecanismo del freno principal es de tipo fricción y el mecanismo de freno auxiliar es electromagnético, utiliza dos campos magnéticos opuestos suministrados por corriente eléctrica externa para controlar la velocidad del tambor de elevación. Debido a que el mecanismo del freno principal es de tipo fricción, esto trae como consecuencia el desgaste de las superficies en movimiento en la medida en que sea exigido, afectando la vida útil de los componentes.

Figura 12. Freno



A continuación, en las tablas 6, 7, 8, 9, 10 y 11, se presenta el análisis modal de las fallas y sus efectos de los subsistemas anteriormente indicados. Con los Modos de control (Tarea propuesta) obtenidos, se definirán las estrategias que pueden soportarse a través actividades preventivas basadas en frecuencias de inspección y sustituciones programadas en base a una frecuencia y de técnicas predictivas con el fin de predecir la falla. Este tipo de fallas son periódicas y pueden presentar riesgo en la continuidad operativa del malacate.

Tabla 6. Análisis modal y sus efectos Motor de tracción A-B

Sistema	Función	Modo de falla	Causas	Efecto	Modo de control
Motor de tracción A-B	Generar la potencia requerida para el accionamiento del sistema de izaje	Bobina cortocircuitada	Contaminación Falla del esmalte de aislamiento del hilo Falla del barniz de impregnación Oscilaciones rápidas en la tensión de alimentación	El motor no arranca	Programa preventivo de medición de variables eléctricas (programa de inspección) Programa de inspección rutinaria mantener los motores limpios y verificar la temperatura adecuada con una ventilación constante
		Rodamientos del motor deteriorados	Contaminación Lubricación inadecuada	Desgaste de las pistas y elementos rodantes Rotura del rodamiento	Programa preventivo de lubricación Inspección de rodamientos con ultrasonido
		Agotamiento del rebobinado de bobinas	Daños físicos del estator: Contaminación, corrosión, alta temperatura, desequilibrio de voltaje, soportes rotos y procedimientos de rebobinado	El motor no arranca	Programa preventivo de medición de variables eléctricas (programa de inspección) Inspección con termografía infrarroja y ultrasonido
		Pérdida de aislamiento del motor y bobinados	Alta temperatura Contaminación Humedad	Cortocircuitos en los bobinados. El motor no arranca	Inspección con termografía infrarroja Programa de inspección rutinaria mantener los motores limpios y verificar la temperatura adecuada con una ventilación constante.

Tabla 7. Análisis modal y sus efectos Mecanismo de transmisión

Sistema	Función	Modo de falla	Causas	Efecto	Modo de control
Mecanismo de transmisión	Transmitir al tambor la potencia requerida para el accionamiento del sistema de izaje	Desgaste de piñones Desgaste de cadena de transmisión Estiramiento de cadena de transmisión	Contaminación Lubricación inadecuada Sobrecargas	Rotura de cadena de transmisión Desgaste de los piñones Funcionamiento irregular. Parada del equipo	Programa preventivo de lubricación Inspección con análisis de aceite
		Acelerado desgaste de elementos de maquina por déficit de lubricante desde la bomba	Juego de engranes de la bomba Sellos deteriorados	Bajo caudal y/o baja presión de aceite lubricante	Verificar presión y caudal de la bomba de lubricante Programa preventivo en bomba de lubricación
		Rodamientos deteriorados	Contaminación Lubricación inadecuada	Rotura de rodamientos. Parada del equipo	Programa preventivo de lubricación Inspección de rodamientos con ultrasonido

Tabla 8. Análisis modal y sus efectos Tambor y guaya o cable metálico

Sistema	Función	Modo de falla	Causas	Efecto	Modo de control
Tambor y guaya o cable metálico	Permitir el enrollado y desenrollado de la guaya que hace que se eleve o descienda el bloque viajero en el pozo	El movimiento entre el cable y el tambor genera un nivel de desgaste en las superficies de trabajo. Estiramiento de los alambres de la guaya al estar sometido a tracción Rotura de los alambres de la guaya	Contaminación Lubricación inadecuada Sobrecarga	Rotura de alambres del cable o guaya de acero Movimiento irregular del cable o guaya de acero	Programa de inspección del cable o guaya de acero
		Rodamientos deteriorados	Contaminación Lubricación inadecuada	Rotura de rodamientos	Programa preventivo de lubricación Inspección de rodamientos con ultrasonido
		El movimiento entre el cable y la polea genera un nivel de desgaste en las superficies de trabajo.	Contaminación Lubricación inadecuada Sobrecarga	Movimiento irregular del cable o guaya de acero	Programa de inspección del cable o guaya de acero

Tabla 9. Análisis modal y sus efectos Freno principal

Sistema	Función	Modo de falla	Causas	Efecto	Modo de control
Freno principal	Reducir la velocidad y detener el movimiento del sistema de izaje	Cuando el freno principal está en uso continuo, se genera una gran cantidad de calor por la fricción que trae como consecuencia la reducción de su vida útil.	Alta fricción al aplicar el freno	Las superficies se desgastan de forma acelerada	Ajustar el programa preventivo de recambio de bandas de freno. Ajustes del freno. Frecuencia. Ajustar el programa preventivo de inspección de bandas de freno: limpieza de polvo, herrumbre, aceite, grasa.
		Brazos articulados del mecanismo de accionamiento del freno	Contaminación Lubricación insdecuada	No permite la movilidad de los brazos	Programa preventivo de lubricación

Tabla 10. Análisis modal y sus efectos Freno auxiliar - Baylor

Sistema	Función	Modo de falla	Causas	Efecto	Modo de control
Freno auxiliar - Baylor	Reducir la velocidad y detener el movimiento del sistema de izaje	Bobina cortocircuitada	Contaminación Falla del esmalte de aislamiento del hilo Falla del barniz de impregnación Oscilaciones rápidas en la tensión de alimentación	El freno no se acciona	Programa preventivo de medición de variables eléctricas (programa de inspección) Programa de inspección rutinaria mantener los motores limpios y verificar la temperatura adecuada con una ventilación constante
		Agotamiento del rebobinado de bobinas	Daños físicos del estator: Contaminación, corrosión, alta temperatura, desequilibrio de voltaje, soportes rotos y procedimientos de rebobinado	El freno no se acciona	Programa preventivo de medición de variables eléctricas (programa de inspección) Inspección con termografía infrarroja y ultrasonido
		Rodamientos del freno deteriorados	Contaminación Lubricación inadecuada	Desgaste de las pistas y elementos rodantes Rotura del rodamiento	Programa preventivo de lubricación Inspección de rodamientos con ultrasonido

Tabla 11. Análisis modal y sus efectos Embrague

Sistema	Función	Modo de falla	Causas	Efecto	Modo de control
Embrague	Transmitir o interrumpir el movimiento que proviene del motor al tambor la potencia requerida para el accionamiento del sistema de izaje. Cambios de velocidad	Accionamiento irregular del embrague	Baja presión de aire del compresor Humedad en el aire comprimido	Falla de embrague	Programa preventivo de inspección de variables de operación del compresor Programa preventivo de inspección de condiciones del secador de aire
		Accionamiento irregular del embrague	Atascamiento de la palanca accionadora Alta-baja	No acciona el embrague	Programa preventivo de inspección de los accionamientos mecánicos

Como resultado del análisis modal y sus efectos, se obtienen en el modo de control (tareas propuestas), las variables que inciden directamente sobre las propiedades físico-químicas de los aceites lubricantes las cuales reflejarán la degradación y el deterioro de los componentes del malacate de tal manera de preveer las actividades de mantenimiento.

El análisis estratégico es considerado el punto inicial del proceso en el cual se analizan los propósitos de la organización, que consisten en acciones que se llevan a cabo para lograr el objetivo principal de la empresa Tuscany. el cual es formular estrategias de mantenimiento preventivo y de mantenimiento predictivo en los equipos críticos de la torre de perforación.

Como resultado de la aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad, se recomienda el desarrollo de un programa de inspección de las variables eléctricas debido a que se deben considerar como instrumentos para intervenir una organización, transformando la cultura, creencias y formas de actuar, en esta empresa que posee diversos procesos de mantenimiento y de esta manera eliminar las pérdidas de los equipos con la participación del personal, mejora de las habilidades y capacidades personales, así mismo se recomienda la implementación del análisis de aceite como herramientas del mantenimiento predictivo debido a que en su mayoría no afectan la disponibilidad del sistema; el mantenimiento basado en la condición, monitorización del estado del equipo y como su nombre lo indica, se utiliza precisamente para anticiparse a las fallas que se dan en los equipos de las organizaciones, consiste en inspeccionar los equipos regularmente, pero sin desmontarlos, y prevenir, o bien detectar, las fallas para evitar las consecuencias de las mismas, según sea su condición.

Para resumir las estrategias de mantenimiento, quedan estructuradas de la siguiente manera:

Estrategia No. 1: Desarrollar un programa de inspección de variables eléctricas en los motores de tracción A-B.

Estrategia No. 2: Desarrollar el estudio de las propiedades del aceite lubricante como parte del plan de mantenimiento del Malacate.

6. ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

Las estrategias de mantenimiento establecidas para proceder con la metodología planteada en este trabajo, son:

Acción estratégica (1) para la estrategia de “Desarrollar un programa de inspección de variables eléctricas en los motores de tracción A-B”

Definición de la acción: Desarrollar el programa de inspección de variables eléctricas en los motores de tracción A-B.

Objetivos	Actividades específicas	Recursos	
- Comprometer a la alta gerencia con la aplicación de un plan de mantenimiento basado en pruebas eléctricas a los motores - Capacitar al personal técnico sobre el objeto y procedimientos a realizar en cada prueba eléctrica - Establecer los límites de control de las variables en estudio	- Talleres en el área supervisoria y de ejecución referentes a actividades de pruebas eléctricas a los motores de tracción - Intercambios de experiencias gerenciales con empresas del ramo	Humano: - Gerentes. - Personal supervisorio. - Personal técnico. Económico: Inversión en el plan de mantenimiento Costo de personal asesor para la capacitación del personal Materiales: - Documentos internos de la organización - Bibliografía sobre las características del comportamiento de los transformadores y pruebas eléctricas a ejecutar	
Responsables		Cronograma	
- Líder: Gerente de Operaciones o de Mantenimiento - Corresponsables: Personal gerencial y administrativo de la empresa		Se desarrollará como mínimo las charlas semanalmente.	
Indicador	Definición	Fórmula matemática	Observaciones
Desarrollo de las pruebas eléctricas	Mide la efectividad en el desarrollo de las pruebas a ejecutar	$\frac{\text{Pruebas desarrolladas (\#)}}{\text{Pruebas programadas (\#)}}$	- Se medirá Anualmente - Para ser positivo, el indicador tiene que oscilar entre 0,75 y 1

Acción estratégica (2) para la estrategia de “Implementar el análisis de aceite como herramienta de mantenimiento predictivo en la lubricación de elementos del Malacate”

Definición de la acción: Desarrollar el estudio de las propiedades del aceite lubricante como parte del plan de mantenimiento del Malacate

Objetivos		Actividades específicas	Recursos
- Comprometer a la alta gerencia con la aplicación del plan de mantenimiento predictivo basado en la condición del aceite lubricante. - Establecer los límites de control de las variables en estudio. - Detectar fallas antes de que sucedan, y dar tiempo a corregirla sin perjuicios al servicio, ni detención de la producción.		- Talleres en el área supervisoria y de ejecución referentes a actividades de muestreo y evolución histórica de los resultados de las propiedades del aceite lubricante - Intercambios de experiencias con empresas del ramo	Humano: - Personal supervisorio. - Personal técnico. Económico: Inversión en el plan de mantenimiento predictivo Costo de personal asesor para la capacitación del personal Materiales: - Documentos internos de la organización - Bibliografía sobre el mantenimiento basado en análisis de aceite
Responsables		Cronograma	
- Líder: Gerente de Operaciones o de Mantenimiento - Corresponsables: Personal gerencial y administrativo de la empresa		Se desarrollará como mínimo las charlas semanalmente.	
Indicador	Definición	Fórmula matemática	Observaciones
Desarrollo de los muestreos de aceite lubricante	Mide la efectividad en el desarrollo de los muestreos a efectuar	$\frac{\text{Muestreos efectuados (\#)}}{\text{Muestreos programados (\#)}}$	- Se medirá Anualmente - Para ser positivo, el indicador tiene que oscilar entre 0,75 y 1

Para llevar a cabo las actividades específicas de la estrategia No. 1, se plantea dictar talleres teórico-prácticos al personal que opera y al personal que ejecuta las labores de mantenimiento, referentes a los elementos que conforman el malacate y profundizar en la descripción y en las funciones de cada uno de los elementos que los conforman. De igual manera, talleres referentes a las pruebas eléctricas en los motores que están establecidas en el programa y concientizar acerca del impacto que reflejan los resultados, análisis de tendencias y su influencia en la vida útil de los componentes. Los talleres los dictará el mismo personal de planta nivel Ingeniero, que posea la capacidad y el conocimiento suficiente para ello.

Las variables eléctricas que serán sometidas a estudio serán: Resistencia de aislamiento, corriente de excitación, factor de potencia, capacitancia, temperatura (infrarrojo), continuidad de contacto e inspección visual. La Gerencia de Mantenimiento se encargará del procesamiento de la información para que a través de gráficos de tendencia sirva de base para la toma de decisiones. Se deben establecer límites de control y parámetros de referencia de acuerdo a la variable a estudiar tomando en cuenta la recomendación de los fabricantes de los motores eléctricos. La frecuencia será semestral y la definirá la persona encargada de la planificación del mantenimiento de acuerdo a las actividades previstas.

Para llevar a cabo las actividades específicas de la estrategia No. 2, se plantea dictar talleres teórico-prácticos al personal que opera y al que ejecuta las labores de mantenimiento, referentes al seguimiento de las propiedades del aceite lubricante, su impacto en la vida útil de los componentes mecánicos y profundizar en la descripción y en las funciones de cada uno de los elementos que los conforman. De igual manera, talleres referentes a las pruebas físico-químicas que están establecidas en el programa y concientizar acerca del impacto que reflejan los resultados, análisis de tendencias y su influencia en la vida útil de los componentes. Se deben establecer límites de control de acuerdo a los recomendados por los fabricantes de los equipos o elementos de máquina en estudio y por los fabricantes del lubricante. Los talleres los dictará el mismo

personal de planta nivel Ingeniero, que posea la capacidad y el conocimiento suficiente para ello.

Las variables que serán sometidas a estudio serán: viscosidad, contaminación con agua, número ácido TAN y metales de desgaste, contaminación y de aditivos. Para la ejecución de las pruebas será contratada una empresa de servicios, la cual entregará los resultados a la Gerencia de Mantenimiento para encargarse del procesamiento de la información para que a través de gráficos de tendencia sirva de base para la toma de decisiones. La frecuencia será trimestral y la definirá la persona encargada de la planificación del mantenimiento de acuerdo a las actividades previstas.

Hay algunos elementos importantes a considerar como parte de la ejecución del plan propuesto, entre las que están:

- Hay un compromiso que hay que establecer a nivel de la Gerencia y es el apoyo que se le debe dar al plan para su ejecución, y para ello se requiere de inversión en tecnología, de continuidad en la realización de las pruebas eléctricas a los motores y pruebas físico-químicas al lubricante, así como en el entrenamiento del personal que tendrá la responsabilidad de lograr la ejecución del plan.
- Si los resultados tanto de las pruebas eléctricas como de las pruebas de aceite lubricante están fuera de los límites establecidos, se debe proceder a las reparaciones respectivas de los componentes fallados.

7. CONCLUSIONES

- A través de la aplicación del Análisis Modal de Fallas y Efectos a los elementos del malacate se establece un procedimiento para establecer la variabilidad de las variables eléctricas en el caso del motor de tracción y de las propiedades físico-químicas del aceite lubricante como una función del efecto de la falla.
- Para alargar la vida del malacate es necesario conocer la complejidad del sistema total, considerando todos los componentes como críticos en la operación del equipo, a saber: motores de tracción, mecanismo de transmisión, tambor, guaya o cable de acero, embrague y freno. Esto incide directamente en la disminución de la frecuencia de fallas y de los costos de mantenimiento
- La implantación del modelo a través del estudio de la criticidad y el análisis del modo y efecto de las fallas del malacate, permite la planificación, ejecución, verificación y control de las diferentes actividades permitiendo a la empresa una mejora integral de la competitividad, de los productos y servicios, mejorando continuamente la calidad, reduciendo los costos, optimizando la productividad, racionalizando los precios, incrementando la participación del mercado y aumentando la rentabilidad de la empres

BIBLIOGRAFÍA

- AMENDOLA, Luis José. Modelos Mixtos de confiabilidad. Publicado por Datastream. Disponible en: www.mantenimientomundial.com. 2002
- CABANAS, M. (1998). Técnicas para el mantenimiento diagnóstico de máquinas eléctricas rotativas. ABB Service, Marcombo. Barcelona.
- DUARTE, J. Fundamentos para la gestión de mantenimiento predictivo. Seminario ACIEM. 2006
- DUFFUAA, S, RAOUF, A, y CAMPBELL J. Sistemas de mantenimiento planeación y control. Limusa. 2000
- ELLMANN, S. S. A. www.ellmann.net. Disponible en: www.confiabilidad.net.
- FERNÁNDEZ, M. y MELERO, M. (2000). Técnicas para el mantenimiento y diagnóstico de máquinas eléctricas rotativas.. Marcombo, S.A. España.
- GARDNER – DENVER Dallas División. 1500 Drawworks
- GÓMEZ, F. Tecnología del mantenimiento industrial, Servicio de publicaciones Universidad de Murcia – España.
- GONZÁLEZ, F. Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado. 2da. Edición. FC Editorial. Madrid, España. 2005.
- HELMAN, H. y PEREIRA, P. Análisis De Fallas. Escuela de Ing. De UFMG. Brasil. 1995.
- MILANO, T. Planificación y gestión del mantenimiento industrial. Editorial Panapo. Venezuela. 2005.
- MOUBRAY, John. Reliability Centred Maintenance, Industrial Press. NY 1997.
- NAVA, J. Teoría de Mantenimiento. Definiciones y Organización. ULA. 2006
- PARRA, C, CRESPO, A. (2012). Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos. INGEMAN. Sevilla, España.
- SAE. Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. SAE JA1011. Norma para vehículos aeroespaciales y de superficie. 1999.
- SOTUYO, S. (2001). "OIM: Optimización integral de Mantenimiento". United States Navy. (2007). Reliability-Centered Maintenance (RCM) Handbook. Direction of Commander, Naval sea Systems command.

TROFFÉ, M. (2009). Base de datos de confiabilidad, dirigido a la gestión del conocimiento y mitigación de riesgos.

WEG. Daños en los bobinados de motores trifásicos. Disponible en www.weg.net.

ZAMBRANO, S. y LEAL, S. (2005). Fundamentos básicos de mantenimiento. Fondo editorial UNET. Táchira, Venezuela.

ZAMBRANO, S. y LEAL S. (2006). Manual práctico de gestión de mantenimiento. (1era ed). Editorial FEUNET. Venezuela.