

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



“ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA
FILOSOFÍA ACTUAL QUE MÁS SE ADAPTE AL TALADRO DE
SERVICIOS
A POZOS H-643”
CASO: PDVSA, DISTRITO SAN TOMÉ

Realizado por:

Edithmar Nataly Tilleró Rojas
C.I. V-17.090.279

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO ANTE LA UNIVERSIDAD DE
ORIENTE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

BARCELONA, MAYO DE 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



“ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA
FILOSOFÍA ACTUAL QUE MÁS SE ADAPTE AL TALADRO DE
SERVICIOS
A POZOS H-643”
CASO: PDVSA, DISTRITO SAN TOMÉ

Asesores:

Prof. Darwin Bravo
Asesor Académico

Ing. Rafael Avís
Asesor Industrial

BARCELONA, MAYO DE 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



“ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA
FILOSOFÍA ACTUAL QUE MÁS SE ADAPTE AL TALADRO DE
SERVICIOS
A POZOS H-643”
CASO: PDVSA, DISTRITO SAN TOMÉ

TRABAJO DE GRADO
APROBADO POR EL DEPARTAMENTO DE MECÁNICA

Prof. Diógenes Suárez

JURADO

Prof. Edgar Rodríguez

JURADO

Prof. Darwin Bravo

ASESOR ACADÉMICO

BARCELONA, MAYO DE 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



“ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA
FILOSOFÍA ACTUAL QUE MÁS SE ADAPTE AL TALADRO DE
SERVICIOS
A POZOS H-643”
CASO: PDVSA, DISTRITO SAN TOMÉ

JURADO:

El jurado hace constar que asignó a esta Tesis la calificación de:

EXCELENTE

Prof. Diógenes Suárez

JURADO

Prof. Edgar Rodriguez

JURADO

Prof. Darwin Bravo

ASESOR ACADÉMICO

BARCELONA, MAYO DE 2009

RESOLUCIÓN

De acuerdo con el artículo 44 del reglamento de trabajo de grado de la universidad de oriente:

“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la universidad y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo quién lo participará al consejo universitario”.

DEDICATORIA

A mi **Dios**, quien es mi mejor amigo y más fiel compañero. Todas mis palabras no alcanzan para describir tu grandeza y belleza. Eres mi torre fuerte, estandarte, mi salvación y mi luz. Tu has guiado cada paso de mi camino y se que sin tu dulce amor por mi, nada hubiese sido posible. Te Amo con todas mis fuerzas.

A mi papá, **Armando Tiller**, por siempre esforzarse y esmerarse por mi. No he podido imaginar ni desear un mejor ejemplo, apoyo, un mejor papá (en todo el sentido de la palabra) que tu. Haz hecho un trabajo fenomenal. Te Amo, Admiro y Respeto con todo mi corazón.

A mi mamá, **Yajaira Rojas de Tiller**, por su tierno amor y entrega para conmigo, por ser mi mejor amiga, eres mi apoyo, consejera y confidente. Para mí, siempre serás la mejor. Todo mi amor para ti.

A mi hermano, **Edithxon Tiller**, un regalo maravilloso de Dios, un compañero de vida a todo dar, es un placer compartir mis días, mis sueños y mis experiencias contigo. Te Amaré por siempre.

Edithmar Nataly Tiller Rojas

AGRADECIMIENTO

A mi Dios, por la inteligencia y la luz para emprender este camino y llegar con éxito a la meta. Y también por rodearme de personas maravillosas y con mucho valor a quien me honra agradecer:

A mis Padres, por impulsarme y apoyarme con mucho amor y dedicación durante toda mi vida y por darme la dicha de crecer en un hogar feliz. A mi negrito por siempre alentarme, brindándome cuantiosos momentos de alegría.

A mi Familia materna y paterna, abuelas, tías, tíos y primos por tantos momentos especiales que me han obsequiado y por sus oraciones.

A la Universidad de Oriente por la oportunidad de cumplir uno de mis sueños y por todo el conocimiento académico que tuve el privilegio de adquirir en sus instalaciones.

A mi asesor académico Ing. Darwin Bravo, gracias por orientarme y guiarme a lo largo de mi trabajo de grado con sus muy valiosas ideas y experiencia. Me dio las herramientas necesarias para que este trabajo culminara de manera satisfactoria. Deseo que Dios le Bendiga Grandemente.

A todos los profesores del Departamento de Mecánica. Su innegable gestión diaria para formar nuevos profesionales es digna de aplaudir. Dios los Bendiga a todos.

A Saúl, Any, Catalina y Arturo por darme una muy valiosa amistad y siempre estar dispuestos a ayudarme. Por todos los momentos compartidos.

A mis Compañeros en el Departamento de Mecánica que me brindaron su ayuda y amistad.

Al Ing. Keiber Arias, muchas gracias por tu apoyo en la realización de este trabajo y por esmerarte a responder mis preguntas. Dios te bendiga.

Al Ing. Rafael Avís, por asesorarme con sus conocimientos técnicos e igualmente a todos en la Superintendencia de Mantenimiento y Logística de Taladros ya que permitieron la consecución exitosa de este trabajo de grado.

A Todos Muchas Gracias!!

RESUMEN

El objetivo primordial de este trabajo es elaborar un plan de mantenimiento basado en la filosofía actual que más se adapte al Taladro de Servicios a Pozos H-643, perteneciente a PDVSA en el Distrito San Tomé, a fin de aportar una solución eficaz ante su problemática actual. Para alcanzar este objetivo propuesto, primeramente se identificó el contexto operacional del taladro, recopilando información referente a sus características y funcionamiento. Continuadamente se uso la Matriz de Criticidad ABC para identificar a los equipos críticos. Seguidamente, se procedió a seleccionar la filosofía de mantenimiento que más se ajustara al contexto situacional de la Superintendencia de Mantenimiento y Logística de Taladros, evaluándose las siguientes: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), Mantenimiento Productivo Total (TPM) y Mantenimiento de Clase Mundial (MCM); resultando seleccionada la filosofía de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), cuya aplicación permitió elaborar un plan estratégico de mantenimiento para los equipos críticos del Taladro H-643; en función a éste plan, se realizó un estudio económico a fin de constatar la rentabilidad y factibilidad de las actividades propuestas. Los resultados obtenidos, arrojaron una serie de conclusiones, entre las cuales destacan: La propuesta de una herramienta para seleccionar de manera objetiva la filosofía de mantenimiento que más se adapta a una organización en función de su contexto situacional y el diseño de un plan de mantenimiento para los equipos con Criticidad A, el cual consta de ciento veinticinco (125) tareas, presentando un 78.4% de actividades preventivas y 21.6% de actividades correctivas.

CONTENIDO

RESOLUCIÓN	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN	ix
RESUMEN	ix
CONTENIDO	x
LISTA DE TABLAS	xv
LISTA DE FIGURAS	xvii
INTRODUCCIÓN	xix
CAPITULO I	23
EL PROBLEMA	23
1.1 Generalidades de la empresa	23
1.1.1 Visión de PDVSA en el Área de Mantenimiento	24
1.1.2 Misión de PDVSA en el Área de Mantenimiento	24
1.2 Ubicación geográfica del distrito san tomé	24
1.3 Gerencia de mantenimiento y construcción de pozos	25
1.4 Superintendencia de mantenimiento y logística de taladros	26
1.5 Planteamiento del problema	27
1.6 Objetivos	29
1.6.1 Objetivo General	29
1.6.2 Objetivos Específicos	29
1.7 Justificación	30
CAPÍTULO II	31
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	31
2.1 Antecedentes	31
2.2 Mantenimiento	32
2.3 Evolución del mantenimiento	32
2.3.1 Primera Generación	32
2.3.2 Segunda Generación	32

2.3.3 Tercera Generación	33
2.3.4 Cuarta Generación	34
2.4 Tipos de mantenimiento	35
2.4.1 Mantenimiento correctivo	35
2.4.2 Mantenimiento Preventivo	36
2.4.3 Mantenimiento Sistemático	36
2.4.4 Mantenimiento Predictivo	36
2.4.5 Mantenimiento Condicional	36
2.5 Planes de mantenimiento	37
2.6 Patrones de fallas	37
2.7 Filosofías actuales de mantenimiento	39
2.7.1 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)	39
2.7.1.1 Equipo Natural de Trabajo (ENT)	41
2.7.1.2 Contexto Operacional	42
2.7.1.3 Análisis de los Modos y Efectos de Fallas (AMEF)	42
2.7.1.4 Árbol Lógico de Decisión (ALD)	45
2.7.1.5 Tareas de Mantenimiento	46
2.7.1.6 Tareas “a Condición”	46
2.7.1.7 Reacondicionamiento Cíclico	49
2.7.1.8 Sustitución Cíclica	49
2.7.1.9 Tareas de Búsqueda de Fallas	49
2.7.1.10 Ningún Mantenimiento Preventivo	50
2.7.1.11 Rediseño	50
2.7.1.12 Frecuencias de Mantenimiento	50
2.7.1.13 Hoja de Información	50
2.7.1.14 Hoja de Decisión	51
2.7.2 Mantenimiento Productivo Total (TPM)	52
2.7.2.1 Estructura Moderna del TPM	54
2.7.2.2 Implementación de la Filosofía TPM	57
2.7.3 Mantenimiento de Clase Mundial (MCM)	61
2.7.3.1 Las Diez Mejores Prácticas del Mantenimiento de Clase Mundial	61

2.7.3.2 Procesos de Administración de Trabajo	63
2.8 Análisis de criticidad	66
2.8.1 Matriz de Criticidad ABC	67
2.8.2 Criticidad Basado en La Metodología D.S.	67
2.9 Técnicas de valoración económica	68
2.9.1 Valor Actual Neto (VAN)	68
2.9.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)	69
2.10 Indicadores de la gestión de mantenimiento	69
2.11 Análisis del contexto situacional	70
2.12 Taladro de servicios a pozos	71
2.12.1 Componentes del Taladro de Servicios a Pozos	71
CAPÍTULO III	73
METODOLOGÍA	73
3.1 Tipos de investigación	73
3.1.1 Según la estrategia	73
3.1.2 Según su propósito	73
3.1.3 Según el nivel de conocimiento	73
3.2 Población y muestra	74
3.2.1 Población	74
3.2.2 Muestra	74
3.3 Técnicas de investigación y análisis	75
3.3.1 Documentación	75
3.3.2 Visitas al Campo	76
3.3.3 Metodología de Análisis de Criticidad	76
3.3.4 Análisis del Contexto Situacional	76
3.3.5 Valor Actual Neto (VAN)	76
3.3.6 Tasa Interna de Retorno (TIR)	76
3.3.7 Gráficas	77
3.3.8 Manejo de Programas de Computación	77
3.4 Instrumentos de recolección de información	77
3.4.1 Encuesta	77

3.4.2 Entrevista	77
3.5 Etapas de la investigación	78
3.5.1 Revisión bibliográfica	78
3.5.2 Identificación del contexto operacional	78
3.5.3 Realización del análisis de criticidad	79
3.5.4 Selección de la Filosofía de Mantenimiento a Utilizar	83
3.5.5 Aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	87
3.5.6 Definición de las Actividades de Mantenimiento y sus Frecuencias de Aplicación	92
3.5.7 Elaboración del Estudio Económico	93
CAPÍTULO IV	99
DESARROLLO DEL TRABAJO	99
4.1 Contexto operacional del taladro h-643	99
4.1.1 Sistema de Izamiento	100
4.1.2 Sistema Hidráulico	103
4.1.3 Sistema de Potencia Eléctrica	105
4.1.4 Sistema de Seguridad y Circulación	107
4.1.5 Sistema Neumático	111
4.1.6 Sistema de Gasoil	113
4.2 Análisis de criticidad de los equipos del taladro h-643	116
4.3 Selección de la filosofía de mantenimiento a utilizar	121
4.3.1 Análisis del Contexto Situacional	121
4.3.2 Selección de la Metodología a Aplicar	125
4.4 Aplicación de la filosofía de mantenimiento centrado en confiabilidad	127
4.4.1 Elaboración del Análisis de los Modos y Efectos de Falla (AMEF)	127
4.4.2 Aplicación del Árbol Lógico de Decisión (ALD)	129
4.5 Documentación del plan de mantenimiento basado en la metodología mcc	133
4.6 Indicadores de la gestión de mantenimiento	135

4.7 Elaboración del estudio económico	138
4.7.1 Cálculo del Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno	139
CONCLUSIONES	143
RECOMENDACIONES	144
BIBLIOGRAFÍA	144
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO	148

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1: Clasificación de las Funciones	43
Tabla 2.2: Categorización de las Consecuencias	45
Tabla 2.3: Tareas de Mantenimiento Clasificadas	46
Tabla 2.4: Categorización de las Técnicas “a Condición”	48
Tabla 2.5: Principios Fundamentales del TPM	53
Tabla 2.6: Definición de las “5 S’s” Japonesas	55
Tabla 2.7: FASE I del TPM. Preparación	58
Tabla 2.8: FASE II del TPM. Introducción	59
Tabla 2.9: FASE III del TPM. Implantación	59
Tabla 2.10: FASE IV del TPM. Consolidación	60
Tabla 2.11: Las Diez Mejores Prácticas del MCM	62
Tabla 2.12: Fases necesarias en los Procesos de Administración de Trabajo	65
Tabla 2.13: Componentes del Taladro de Servicios a Pozos	72
Tabla 3.1: Ponderación de los Factores Utilizados en la Matriz de Criticidad ABC	80
Tabla 3.2: Criterios para la Evaluación de Criticidad	80
Tabla 3.3: Criterios de Evaluación para Selección de la Filosofía a Utilizar	84
Figura 3.4: Tabla para el Registro de los Resultados de la Evaluación Aplicada	85
Tabla 3.4: Porcentajes de las Categorías del Análisis del Contexto Situacional	87
Tabla 3.5: Proceso de Evaluación de Consecuencias según Metodología MCC	90
Tabla 3.6: Tipos de Tareas de Mantenimiento a Realizar según ALD	91
Tabla 3.7: Tareas de Mantenimiento y sus Frecuencias según ALD	92
Tabla 3.8: Registro de Datos de la Regresión Lineal	95
Tabla 3.9: Criterios de Aceptación del Plan Propuesto en función del VAN	

	97
Tabla 4.2: Descripción del Sistema Hidráulico	103
Tabla 4.3: Descripción del Sistema de Potencia Eléctrica	106
Tabla 4.4: Descripción del Sistema de Seguridad y Circulación	108
Tabla 4.5: Descripción del Sistema Neumático	112
Tabla 4.6: Descripción del Sistema de Gasoil	113
Tabla 4.7: Ponderación de los Factores de Evaluación de Criticidad y sus Categorías	117
Tabla 4.9: Fortalezas del Contexto Situacional	121
Tabla 4.10: Debilidades del Contexto Situacional	122
Tabla 4.11: Oportunidades del Contexto Situacional	124
Tabla 4.12: Amenazas del Contexto Situacional	125
Tabla 4.13: Criterios de Selección de Frecuencias Utilizados	129
Tabla 4.14: Cantidad de Funciones, Tipos y Modos de Falla	132
Tabla 4.16: Cantidad de Tareas de Mantenimiento Propuestas	133
Tabla 4.17: Indicadores de Mantenimiento Propuestos	135
Tabla 4.18: Costos de Mantenimiento del Taladro H-643	138
Tabla 4.19: Costos del Plan de Mantenimiento Propuesto	139
Tabla 4.20: Inflaciones Registradas, Base: 2007	139
Tabla 4.21: Matriz de Cálculo de Regresión Lineal	140
Tabla 4.22: Inflaciones Estimadas para el Período 2008 – 2013	140
Tabla 4.23: Flujo Actual Neto	141
Tabla 4.24: Flujo Actual Neto Proyectado al Período 2009-2013	141

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Ubicación Geográfica del Distrito San Tomé	25
Figura 1.1: Ubicación Geográfica del Distrito San Tomé	26
Figura 1.2: Organigrama de la Gerencia de Mantenimiento y Construcción de Pozos	27
Figura 2.1: Primera Generación del Mantenimiento	32
Figura 2.2: Segunda Generación del Mantenimiento	33
Figura 2.3: Tercera Generación del Mantenimiento	34
Figura 2.4: Cuarta Generación del Mantenimiento	35
Figura 2.5: Patrones de Fallas	38
Figura 2.6: Las Siete (7) Preguntas Claves del MCC	40
Figura 2.7: Flujograma de Aplicación de la Metodología MCC	40
Figura 2.8: Integrantes del Equipo Natural de Trabajo	41
Figura 2.9: Aspectos del Contexto Operacional	42
Figura 2.10: Secuencia a Seguir para Desarrollar el AMEF	43
Figura 2.11: Arbol Lógico de Decisión del MCC	47
Figura 2.12: Hoja de Información del MCC	51
Figura 2.13: Hoja de Decisión del MCC	52
Figura 2.14: Metas y Objetivos del TPM	52
Figura 2.15: Estructura Moderna del TPM	55
Figura 2.16: Bases del Mantenimiento de Clase Mundial	64
Figura 2.17: Esquema del Modelo Básico del Análisis de Criticidad	67
Figura 2.18: Factores Considerados en la Matriz D.S.	68
Figura 3.1: Formato de Encuesta Aplicado para Evaluar la Criticidad	81
Figura 3.2: Formato para el Registro de los Resultados del Análisis de Criticidad	82
Figura 3.3: Sistema de Evaluación para Seleccionar la Metodología a Utilizar	84
Figura 3.5: Hoja de Información MCC	88
Figura 3.6: Hoja de Decisión MCC	89

Figura 3.7: Formato Utilizado en la Presentación del Programa de Mantenimiento	93
Figura 4.1: Taladro de Servicios a Pozos H-643	99
Figura 4.3: Flujograma del Sistema Hidráulico del Taladro H-643	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 4.4: Flujograma del sistema de Potencia Eléctrica del taladro H-643	108
Figura 4.5: Flujograma del Sistema de Seguridad y Circulación	111
Figura 4.6: Flujograma del sistema neumático del taladro H-643	113
Figura 4.7: flujograma del sistema de gasoil del taladro H-643	114
Figura 4.8: Flujograma del Taladro H-643	115
Figura 4.9: Interacción de los sistemas del taladro H-643	115
Figura 4.12: Evaluación de la Metodología MCC en función del Contexto Situacional	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4.14: Evaluación de la metodología MCM en función del contenido	126
Figura 4.15: Hoja de Información N°1 de 4 del Malacate Cooper	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 4.16: Hoja de Información N°2 de 4 del Malacate Cooper	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 4.17: Hoja de Información N°3 de 4 del Malacate Cooper	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 4.18: Hoja de Información N°4 de 4 del Malacate Cooper	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 4.19: Hoja de Decisión N°1 de 2 del Malacate Cooper	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 4.20 Hoja de Decisión N°2 de 2 del Malacate Cooper	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 4.21: Gráfica de la Distribución Porcentual de Fallas Evidentes y Ocultas	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4.22: Gráfica de la Distribución Porcentual de Modos de Fallas	

Clasificados

¡Error! Marcador no definido.

Figura 4.2.3: grafica de la distribución porcentual de tipos de tareas ¡Error!

Marcador no definido.

Figura 4.26: Programa de Mantenimiento de Bomba de Lodo. Taladro H-643

¡Error! Marcador no definido.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento al igual que otras ciencias de la ingeniería, ha evolucionado a gran escala con el paso del tiempo, este cambio ha traído nuevas filosofías y técnicas que han marcado pauta en las empresas, por lo que es innegable que las filosofías de mantenimiento cada día adquieren una posición más relevante en el plano internacional. Esta posición matiza los esfuerzos en la búsqueda de mecanismos capaces de sortear las actuales contingencias económicas. Por ello, a pesar del tiempo y de lo que para algunos resulta una vuelta a esfuerzos anteriores que nunca debieron eludirse, el uso de nuevas técnicas de mantenimiento, como herramienta indispensable de la disciplina tecnológica, ha obtenido un lugar importante en el qué hacer económico.

Entre las técnicas de mantenimiento de avanzada, con filosofías de punta, se encuentra el Mantenimiento Productivo Total (TPM), el cual, es un método proactivo soportado por un buen número de técnicas de gestión, que adopta el principio de mejora continua desde el punto de vista del mantenimiento y gestión de equipos, estableciendo así estrategias adecuadas para el aumento continuo de la productividad. También se considera una política de última generación, el Mantenimiento de Clase Mundial (MCM); constituido por un conjunto de las mejores prácticas operacionales y de mantenimiento, que reúne elementos de

distintos enfoques organizacionales con visión de negocio, para crear un todo armónico de alto valor práctico, las cuales aplicadas en forma coherente generan ahorros sustanciales a las empresas. Otra metodología de última generación de amplia aplicación esta representada por el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), el cual, constituye una política de mantenimiento basada en la confiabilidad de las funciones proactivas, de la planta o equipo que, recurriendo a un programa de mantenimiento preventivo, busca mejorar la confiabilidad funcional de los sistemas aseguradores de la seguridad y disponibilidad, pero a la vez minimizando el costo de mantenimiento implicado.

El MCC tuvo sus inicios en los años sesenta (60) en la industria de la aviación civil norteamericana. A mediados de 1970 el gobierno de los Estados Unidos de América quiso saber más acerca de esta filosofía de mantenimiento y solicitó un reporte a la industria aérea, el cual fue escrito por Stanley Nowlan y Howard Heap de United Airlines. Ellos lo titularon Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, fue publicado en 1978 y fundo las bases para la planeación de programas de mantenimiento. Desde entonces, el reporte Nowlan y Heap ha sido usado para varios modelos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad difundiéndose en diferentes procesos de manufactura y servicios entre los que se incluyen la industria petrolera y sus dependencias. La corporación petrolera estatal venezolana (PDVSA), en su búsqueda permanente de estrategias que permitan asegurar la integridad de los procesos y los activos de la corporación, ha adoptado al MCC como herramienta importante para lograr su cometido.

Continuando con este orden de ideas, la Superintendencia de Mantenimiento y Logística de Taladros del Distrito San Tomé, encargada del mantenimiento del Taladro de Servicios a Pozos H-643, con el objeto de estar actualizada con las filosofías y técnicas que marcan pauta a nivel

mundial, por ser las que permiten mejoras en la productividad junto con disminución de los costos, ha propuesto este trabajo de grado que consta de cinco (4) capítulos, que engranados han permitido elaborar un plan de mantenimiento basado en la filosofía actual que más se adapte al Taladro de Servicios a Pozos H-643. A continuación se presenta la descripción de cada capítulo.

En el Capítulo I se dan a conocer las generalidades de la empresa, como lo son una reseña histórica, ubicación geográfica del Distrito San Tomé y organigramas de la Gerencia y Superintendencia involucradas. Se presenta el planteamiento del problema, los objetivos generales y específicos así como una justificación de la realización de este trabajo.

Por su parte, en el Capítulo II se despliegan algunos antecedentes al presente trabajo de grado. Además, se explica la manera en que ha evolucionado el mantenimiento desde sus comienzos hasta el presente, con la intención de brindar herramientas para comprender con mayor facilidad las filosofías de mantenimiento actuales: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Mantenimiento Productivo Total y Mantenimiento de Clase Mundial. Igualmente se presentan los conceptos básicos de las técnicas y herramientas utilizadas para llevar a cabo esta investigación. Al final se hace una breve descripción del Taladro de Servicios a Pozos y sus principales componentes.

Seguidamente, el Capítulo III describe la metodología aplicada en la realización de este trabajo con el fin de conseguir los resultados presentados en el Capítulo IV.

En el Capítulo IV se dan a conocer los resultados obtenidos en esta investigación, iniciando con la descripción del contexto operacional estudiado, el análisis de criticidad aplicado, la selección y ejecución de la

filosofía de mantenimiento a utilizar, la elaboración del estudio económico, entre otros.

Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas del trabajo efectuado.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1 Generalidades de la empresa

La Corporación petrolera estatal venezolana, PDVSA, es la encargada de la exploración, producción, almacenamiento, manufactura, transporte y mercadeo de los hidrocarburos presentes en el suelo patrio, por ende, es el motor fundamental del desarrollo económico y social del país. En el ámbito mundial ocupa la tercera posición entre las cincuenta (50) empresas más importantes del mundo, esta jerarquización, está fundamentada en criterios técnicos como volúmenes de reservas, producción de crudos y gas, capacidad de refinación, cantidad de ventas e ingresos netos, entre otros.

Esta corporación fue creada en 1975, luego de la promulgación de la Ley Orgánica que Reserva al Estado la Industria y Comercio de los Hidrocarburos. En la actualidad, PDVSA está estructurada en tres (3) grandes divisiones, dedicadas a las actividades principales del negocio. A continuación, una breve descripción de cada una:

- ◆ **PDVSA Exploración y Producción:** Constituye el eslabón fundamental del negocio petrolero, es responsable del desarrollo del petróleo, gas, carbón y la manufactura de Orimulsión®.
- ◆ **PDVSA Manufactura y Mercadeo:** Está a cargo de las actividades de refinación de crudo, así como de la manufactura de productos, su comercialización y suministro para el mercado nacional e internacional.
- ◆ **PDVSA Servicios:** Su área de gestión incluye una amplia gama de

especialidades: Servicios técnicos, consultoría e ingeniería, entre otras.

1.1.1 Visión de PDVSA en el Área de Mantenimiento

La Gerencia Corporativa de PDVSA promueve una Estrategia Integrada por todos los Departamentos para asegurar la Integridad de los Procesos y de los Activos de la Corporación a través de la implantación de un proceso gerencial proactivo. Con ello se mejorará la Confiabilidad y Disponibilidad de los Activos, satisfaciendo sus necesidades de Mantenimiento a través de la aplicación de Metodologías de Gerencias probadas para minimizar el costo y maximizar la utilización de los recursos.

1.1.2 Misión de PDVSA en el Área de Mantenimiento

Se emplea el valor más alto de efectividad y eficiencia en las actividades a fin de asegurar la Disponibilidad y Confiabilidad de los Activos en función de los objetivos del Negocio. El empleo de un Plan de Gerencia de Activos por cada Instalación asegura la integridad del proceso y de los activos, minimizando la reprogramación de reparaciones de equipos y desviaciones en los costos y programas de trabajo.

1.2 Ubicación geográfica del distrito san tomé

El Distrito San Tomé está situado en el Estado Anzoátegui, región Centro - Sur, (Ver Figura 1.1) ubicado geográficamente en el Municipio Pedro María Freytes. Posee un área aproximada de 24000 km², 135 km en dirección Norte – Sur y 1780 Km en dirección Este – Oeste. Actualmente en este distrito operan noventa y cuatro (94) campos, los cuales se encuentran agrupados en trescientos cuarenta y tres (343) cuadrángulos. Está conformado en función de las características de los

hidrocarburos que se producen, por lo cual se estructura en cuatro (4) Unidades de Explotación: Liviano, Mediano, Pesado y Extra Pesado, además esta organización se encarga del manejo, tratamiento, recolección, transporte y distribución de los hidrocarburos producidos. A este Distrito, está adscrita la Gerencia de Mantenimiento y Construcción de Pozos.

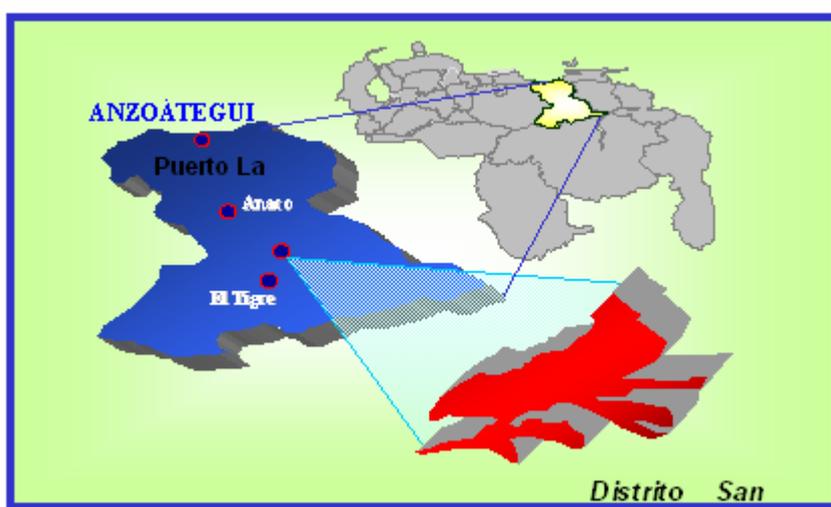


Figura 1.1: Ubicación Geográfica del Distrito San Tomé

1.3 Gerencia de mantenimiento y construcción de pozos

Lleva a cabo las operaciones de sub-suelo, pues, coordina y planifica las actividades de perforación de pozos, además realiza servicios de rehabilitación a las formaciones y a los equipos de fondo. Igualmente, abarca el mantenimiento de los equipos que conforman los taladros propios. Está integrada por cuatro (4) Superintendencias (Ver Figura 1.2) las cuales ejercen funciones que impulsan la consecución de las metas establecidas por la gerencia.



Figura 1.1: Ubicación Geográfica del Distrito San Tomé

Fuente: Planificación y Gestión, PDVSA

1.4 Superintendencia de mantenimiento y logística de taladros

Tiene como funciones; coordinar, planificar y ejecutar proyectos y procesos alineados con las directrices expuestas por la Gerencia a la que pertenece, los cuales garantizan la continuidad operativa de los taladros (perforación, rehabilitación y servicio a pozos) en el Distrito San Tomé, mediante el análisis de los requerimientos de mantenimiento de los equipos y el desarrollo de las estrategias para cubrir con las expectativas en cuanto a disponibilidad y confiabilidad operativa, al menor costo.

Está conformada de un Superintendente, encargado de dirigir al personal que integra a la organización, que ha sido agrupado en tres (3) áreas específicas de trabajo listadas a continuación: Suministro y Logística, Mantenimiento y Programación. Cada una de éstas dispone de un Líder y su respectivo equipo de trabajo. En la Figura 1.3 se muestra el organigrama que rige la organización de este equipo.



Figura 1.2: Organigrama de la Gerencia de Mantenimiento y Construcción de Pozos

1.5 Planteamiento del problema

La Superintendencia de Mantenimiento y Logística de Taladros cumple la función de planificar y coordinar la aplicación del mantenimiento preventivo y correctivo que asegure la integridad mecánica de los equipos y sistemas de los taladros propios (Perforación, Rehabilitación y de Servicios a pozos), que operan en toda la extensión del Distrito San Tomé.

Los taladros de Servicios a Pozos, son equipos portátiles habilitados para efectuar trabajos en pozos: productivos, de inyección de vapor, de inyección de agua salada y pozos inactivos; con el fin de mantener o restaurar las condiciones productivas de los mismos. También se utilizan en la instalación de la completación original de aquellos pozos que han sido perforados sin completar. Debido a la naturaleza de los procesos de explotación a los que están involucrados, estos taladros juegan un importante papel dentro de la industria, ya que, al desempeñarse en sus funciones, garantizan el cumplimiento de las metas de producción establecidas por la empresa para los pozos a los que efectúan servicios. Por tanto, constituyen un eslabón primordial en la premisa adoptada por

PDVSA de incrementar la producción de crudo, a fin de, satisfacer la creciente demanda mundial. Por las razones antes expuestas, resulta indispensable para estos equipos, la aplicación de un mantenimiento que garantice el mejor desempeño de sus funciones en los diferentes campos estratégicos.

Entre los equipos administrados por la Superintendencia antes mencionada, se encuentra el Taladro de Servicios a Pozos H-643, el cual presenta altas frecuencias de fallas en sus sistemas, esto ha generado una elevada tasa de mantenimiento correctivo. En contraste, el mantenimiento preventivo aplicado es rutinario y carece de la aplicación de alguna técnica predictiva. Esta situación ha propiciado la disminución de la confiabilidad y rentabilidad operativa del taladro y por ende atrasos en la planificación de producción, lo que acarrea grandes pérdidas económicas. Aunado a esto, la organización no maneja un histórico de fallas del taladro en cuestión.

Ante tal problemática, resulta necesaria, la aplicación de alguna filosofía de mantenimiento actual, que permita un mejor uso de los recursos disponibles y además aporte soluciones eficaces. Para tal efecto, se escogerá, en base al contexto situacional de la organización, una de las siguientes metodologías: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), Mantenimiento Productivo Total (TPM) y Mantenimiento de Clase Mundial (MCM), por ser, en la actualidad, las herramientas más efectivas a fin de crear valor en el área de mantenimiento en las organizaciones.

La aplicación de la herramienta que más se adapte al escenario a analizar, busca alcanzar una mayor confiabilidad operativa, minimizar los costos y disponer de una amplia base de datos de mantenimiento, del Taladro H-643, mediante la elaboración de un plan de mantenimiento

adecuado y rentable, enmarcado en lo que ya se denomina la cuarta generación del mantenimiento, en donde se propondrán aquellas actividades realmente requeridas por los equipos en su contexto operacional. Adicionalmente se elaborará un estudio económico que permita comprobar la viabilidad del plan de mantenimiento propuesto.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Elaborar un plan de mantenimiento basado en la filosofía actual que más se adapte al Taladro de Servicios a Pozos H-643, perteneciente a PDVSA en el Distrito San Tomé.

1.6.2 Objetivos Específicos

1. Identificar el contexto operacional del Taladro H-643.
2. Realizar el análisis de criticidad a los equipos pertenecientes al Taladro de Servicios a Pozos H-643.
3. Escoger la filosofía de mantenimiento actual que más se adapte al contexto situacional de la Superintendencia de Mantenimiento y Logística de Taladros.
4. Aplicar la filosofía de mantenimiento seleccionada, a los equipos que resulten críticos.
5. Definir las actividades de mantenimiento y sus frecuencias de aplicación para los equipos críticos del Taladro H-643.
6. Elaborar un estudio económico para la implantación del plan de mantenimiento propuesto.

1.7 Justificación

Con el desarrollo de esta investigación se dispone de un plan de mantenimiento veraz y viable, elaborado basándose en técnicas de mantenimiento de avanzada, para así dar paso a una planificación adaptada a las nuevas realidades y tecnologías, de tal forma que las acciones a ejecutar realmente representen una solución a la problemática en estudio. Lo antes expuesto, repercutirá en los siguientes aspectos:

- ◆ **Técnico:** Permite implementar las acciones de mantenimiento más adecuadas, es decir, aquellas que con su aplicación predictiva y preventiva garanticen una disminución apreciable de las frecuencias de las fallas. Además, se creó una base de datos de mantenimiento accesible al personal involucrado, que le permitirá una mayor comprensión de los equipos del Taladro H-643.
- ◆ **Económico:** Ya que, representa una disminución de los costos de mantenimiento, gracias al aumento de la rentabilidad operativa del Taladro H-643, además con la introducción de las técnicas de mantenimiento a condición, se alcanza un mayor aprovechamiento de la vida útil de los componentes de los equipos.
- ◆ **Académico:** En este trabajo se presenta una estrategia para llevar a cabo la selección de la filosofía de mantenimiento adecuada en función del contexto situacional en estudio, la cual representa una base y/o referencia novedosa a otros proyectos que aborden problemáticas similares.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Antecedentes

A continuación se presenta un breve resumen de las investigaciones que sirvieron como base, ya sea por su contenido o metodología, para el desarrollo de este trabajo de grado:

Torres R., en el año 2007, usó una técnica de análisis de criticidad que permitió determinar las bombas más críticas. Aplicó la filosofía de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad junto con el análisis FODA, para crear un plan estratégico de mantenimiento aplicable a las bombas críticas y expandible al resto de las bombas. El análisis de los resultados obtenidos arrojó las siguientes conclusiones: “El sistema de lubricación de las bombas es el mayor causante de fallas en las mismas y acumula el 52% de las fallas totales en el período de estudio” y “El programa de mantenimiento propuesto presenta un 68% de actividades preventivas y 32% de actividades correctivas, permitiendo una disminución de las actividades de mantenimiento preventivo con respecto al plan anterior de mantenimiento y eliminando las actividades preventivas innecesarias”. [1]

Arias K., en el año 2004, aplicó un análisis de criticidad, en base al cual se jerarquizaron los equipos pertenecientes al taladro bajo estudio; a partir de los resultados arrojados por el análisis, se desarrolló la técnica de Análisis de Modo y Efecto de Falla, que permitió definir 42 funciones, teniendo asociadas 241 modos de fallas que causan 44 fallas funcionales. Posteriormente, se evaluaron los efectos de cada falla y categorizaron las consecuencias de su ocurrencia. A partir de ese punto, se procedió a estructurar un plan de mantenimiento, en el cual el 66% de las tareas a

realizar fueron “a condición”. El plan realizado constituyó una solución efectiva ante la problemática presentada en el Taladro Corpoven 10. [2]

2.2 Mantenimiento

Conjunto de actividades que permiten mantener un equipo, sistema o instalación en condición operativa, de tal forma que cumplan las funciones para las cuales fueron diseñados y asignados o reestablecer dicha condición cuando ésta se pierde. [3]

2.3 Evolución del mantenimiento

2.3.1 Primera Generación

Abarca desde 1930 hasta la Segunda Guerra Mundial. Se caracterizó por una industria poco mecanizada, en la que los tiempos fuera de servicio no eran críticos, por lo que no se efectuaban revisiones salvo las rutinarias de limpieza y lubricación. (Ver Figura 2.1). [4]

<p style="text-align: center;">OBJETIVOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reparar cuando se produce la falla 	<p style="text-align: center;">TECNICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento correctivo
<p style="text-align: center;">PUNTOS FUERTES</p> <ul style="list-style-type: none"> • No hay sobre-mantenimiento de la maquinaria • Comparado con el mantenimiento preventivo o predictivo, no genera costos de implementación 	<p style="text-align: center;">DEBILIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de producción por paradas generadas por fallos imprevistos • Costos elevados • Fallos catastróficos

Figura 2.1: Primera Generación del Mantenimiento

Fuente: GONZÁLEZ QUIJANO, J. [4]

2.3.2 Segunda Generación

La Segunda Guerra Mundial impulsó el proceso de mecanización de la industria, por lo que ésta dependía de manera crítica del buen funcionamiento de la maquinaria. Esto provocó que el mantenimiento buscara formas de prevenir las fallas y reducir los tiempos de parada forzada de las máquinas, así apareció el concepto de mantenimiento preventivo, que consistía en realizar revisiones a los equipos a intervalos fijos. (Ver Figura 2.2). [4]

<p style="text-align: center;">OBJETIVOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mayor disponibilidad de los equipos • Mayor vida de operación de los equipos • Reducción de costos 	<p style="text-align: center;">TECNICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento planificado • Sistemas de control • Utilización de grandes ordenadores
<p style="text-align: center;">PUNTOS FUERTES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reducción del correctivo, lo que representa una reducción de costo de producción y un aumento de la disponibilidad • Posibilita una planificación de los trabajos del departamento de mantenimiento • Se concreta de mutuo acuerdo el mejor momento para realizar el paro de las instalaciones de producción 	<p style="text-align: center;">DEBILIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inversión inicial en infraestructura y mano de obra • Al exceder el mantenimiento preventivo, se incrementa el costo de mantenimiento sin mejoras sustanciales en la disponibilidad • Los trabajos rutinarios prolongados en el tiempo desmotivan al personal

Figura 2.2: Segunda Generación del Mantenimiento

Fuente: GONZÁLEZ QUIJANO, J. [4]

2.3.3 Tercera Generación

Inició en la década de los setenta (70). La mecanización y automatización aumentaron, se operaba con volúmenes de producción muy elevados, cobró mucha importancia los tiempos de parada debido a los costos por pérdidas de producción. Se consolidó el desarrollo del mantenimiento preventivo. La Figura 2.3, amplía este concepto. [4]

OBJETIVOS	TECNICAS
<ul style="list-style-type: none"> • Mayor disponibilidad, fiabilidad y seguridad • Mayor calidad del producto • Respeto al medio ambiente • Mayor vida útil de los equipos • Eficiencia en los costos 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo de condición • Diseño basado en fiabilidad y mantenibilidad • Estudios de riesgo • Utilización de ordenadores rápidos • Modos y causas de falla • Polivalencia y trabajo en equipo
PUNTOS FUERTES	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> ■ Uso de herramientas de ayuda en la toma de decisiones ■ Empleo de nuevas técnicas de mantto. ■ Formación de equipos de diseño, dando mucha relevancia a la fiabilidad y mantenibilidad ■ Se genera un cambio en el pensamiento hacia la participación, el trabajo en equipo y la fiabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Alta inversión inicial en adiestramiento de personal y equipos ■ Empleo de nuevas técnicas requiere personal técnico calificado y con experiencia ■ El mantenimiento visto como un departamento

Figura 2.3: Tercera Generación del Mantenimiento

Fuente: GONZÁLEZ QUIJANO, J. [4]

2.3.4 Cuarta Generación

En los últimos años ha habido un crecimiento importante de nuevos conceptos de mantenimiento y de las metodologías aplicadas en su gestión. El nuevo enfoque se centra en la eliminación de fallas utilizando técnicas proactivas. Ya no basta con eliminar las consecuencias de las fallas, sino que se deben encontrar sus causas para solucionarlas y evitar así que se repitan. Asimismo, existe una preocupación creciente en la importancia de la mantenibilidad y fiabilidad de los equipos, de manera que se toman en cuenta estos valores desde la fase de diseño del proyecto. También prevalece la tendencia a implantar sistemas de mejora continua de los planes de mantenimiento. En la Figura 2.4, se resumen los aspectos más interesantes de esta generación. [4]

OBJETIVOS	TECNICAS
<ul style="list-style-type: none"> ■ Mayor disponibilidad, mantenibilidad y fiabilidad ■ Mayor seguridad ■ Mayor calidad del producto ■ Respeto al medio ambiente ■ Mayor vida útil de los equipos ■ Reducción en los costos ■ Patrones de fallo/eliminación de los fallos 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Monitoreo de condición ■ Utilización de ordenadores rápidos ■ Gestión del riesgo ■ Modos de fallos y causas de fallo ■ Sistemas expertos ■ Polivalencia y trabajo en equipo/mantenimiento autónomo ■ Sistemas de mejora continua ■ Mantenimiento preventivo ■ Mantenimiento correctivo ■ Mantenimiento proactivo/eliminación del fallo ■ Grupos de mejora y seguimiento de acciones
PUNTOS FUERTES	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> ■ Estimula un ambiente de trabajo participativo y proactivo ■ Aumento de la productividad y rentabilidad ■ Toma de decisiones con pocos/muchos datos por la relación de costos-riesgos ■ Mejora a los intervalos de mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Requiere de la implementación en el personal de nuevos esquemas de pensamiento y acción, lo que puede tardar varios años ■ Alta inversión inicial en adiestramiento de personal y equipos ■ Empleo de nuevas técnicas requiere personal técnico calificado

Figura 2.4: Cuarta Generación del Mantenimiento

Fuente: GONZÁLEZ QUIJANO, J. [4]

2.4 Tipos de mantenimiento

2.4.1 Mantenimiento correctivo

Es aquel trabajo que involucra una cantidad determinada de tareas de reparación no programadas con el objetivo de restaurar la función de un activo una vez producido un paro imprevisto. Se clasifica en:

No planificado: Es el mantenimiento de emergencia (reparación de roturas). Debe efectuarse con urgencia ya sea por una avería imprevista o por una condición imperativa que hay que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, de aplicación de normas legales, entre otros).

Planificado: Se sabe con antelación qué es lo que debe hacerse, de modo que cuando se pare el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal, repuestos y documentos técnicos necesarios para realizarla correctamente.

2.4.2 Mantenimiento Preventivo

Consiste en un grupo de tareas planificadas que se ejecutan periódicamente, con el objetivo de garantizar que los activos cumplan con las funciones requeridas durante su ciclo de vida útil dentro del contexto operacional donde se ubican, y así mejorar la eficiencia de los procesos.

[4] Existen varias clases:

2.4.3 Mantenimiento Sistemático

Son actividades establecidas en función del uso del equipo (horas, kilómetros, etc.).

2.4.4 Mantenimiento Predictivo

Se caracteriza por detectar las fallas antes de que se desarrollen en una rotura u otras interferencias en producción. Se basa en inspecciones, medidas y control del nivel de condición de los equipos.

2.4.5 Mantenimiento Condicional

Actividades basadas en seguimiento del equipo mediante diagnóstico de sus condiciones.

Mantenimiento de Ronda: Vigilancia regular a frecuencias cortas.

[5]

2.5 Planes de mantenimiento

Es el conjunto de tareas de mantenimiento seleccionadas y dirigidas a proteger la función de un activo físico, estableciendo una frecuencia de ejecución de las mismas y el personal destinado a realizarlas. Se pueden establecer dos (2) enfoques, a saber:

Plan Estratégico: Es el plan corporativo que consolida las instalaciones y/o equipos que serán sometidos a mantenimiento mayor en un período determinado y que establece el nivel de inversión y recursos que se requiere para ejecutar dicho plan.

Plan Operativo: Se emplea para definir y establecer todos los parámetros de cómo hacer el trabajo, es decir, se relaciona con la formulación de objetivos específicos, medibles y alcanzables, que los departamentos dentro de una organización deben lograr comúnmente a corto plazo. [4]

Pueden prepararse en tres (3) niveles, dependiendo de su horizonte; el primero es a largo plazo o plan maestro, que abarca un período de tres (3) meses a un (1) año, el segundo es un plan semanal y por último el plan diario que cubre el trabajo que debe realizarse de forma rutinaria.

2.6 Patrones de fallas

Se pueden definir seis (6) patrones diferentes de tasa de fallas, según el tipo de máquina que se esté utilizando. La Figura 2.5 muestra la probabilidad condicional de falla contra la vida útil para una gran variedad de elementos eléctricos y mecánicos.

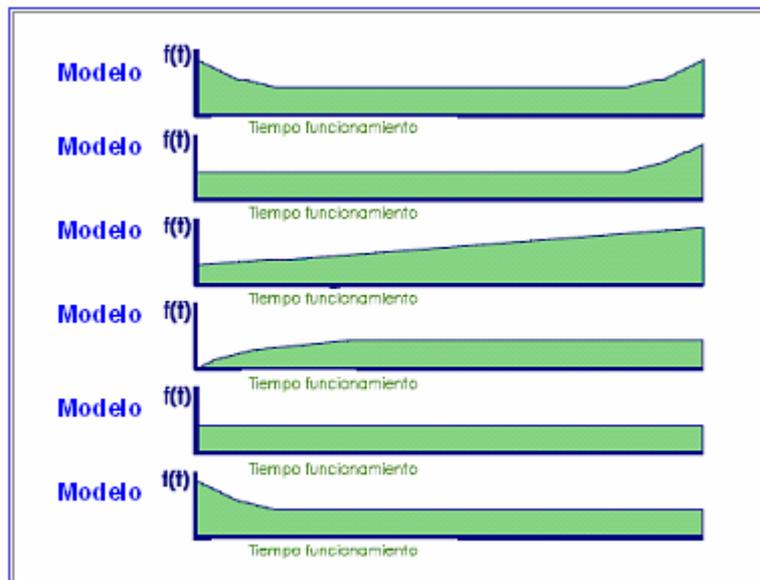


Figura 2.5: Patrones de Fallas

Fuente: GONZÁLEZ QUIJANO, J. [4]

Para los Modelos “A”, “B” y “C”, (Figura 2.5) la probabilidad de falla aumenta con la edad hasta alcanzar un punto en el que es conveniente reemplazar el componente antes de que falle y así reducir su probabilidad de falla. El “Modelo D” muestra una baja tasa de falla que crece rápidamente y se mantiene a un nivel constante.

En el caso del “Modelo E”, (Figura 2.5) reemplazar el componente no mejorará en ningún caso su fiabilidad, ya que el nuevo elemento tendrá la misma probabilidad de falla que el antiguo.

Si el patrón de falla al que se ajusta el componente es el “F” (Figura 2.5), reemplazar el elemento a intervalos fijos por un componente nuevo, no sólo no mejorará la fiabilidad, sino que aumentará la probabilidad de falla, ya que en la “infancia” presenta más mortalidad que en la vejez. Cabe destacar que más del 50% de los componentes presentan fallas en la “infancia”. Por tanto, cada vez que se repara o reemplaza un equipo,

las posibilidades de falla prematura son muy elevadas.

Por lo visto anteriormente, está claro que el mantenimiento actual debe centrarse en reducir las acciones de mantenimiento provocadas por fallas que se ajustan al “Modelo F”, el cual es el más común. Por este motivo se ha generado la tendencia a “mantener lo mínimo posible”. [4]

2.7 Filosofías actuales de mantenimiento

En los últimos años se ha contemplado un crecimiento muy importante en las filosofías aplicadas a la gestión de mantenimiento, debido a que se han ido añadiendo nuevas técnicas y enfoques que han marcado tendencia de tal forma que actualmente se agrupan todos éstos cambios en lo que se denomina “la cuarta generación del mantenimiento”. Las siguientes son las filosofías más utilizadas:

2.7.1 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)

Es un proceso de análisis sistemático que se realiza para determinar que se debe hacer para asegurar que un equipo o un sistema continúe ejecutando su función específica o deseada dentro de un proceso en su propio contexto operacional, útil para el desarrollo de un plan eficiente de mantenimiento. Se basa en siete (7) preguntas claves, que pueden agruparse en dos (2) etapas: registro de información y toma de decisiones. (Ver Figura 2.6).

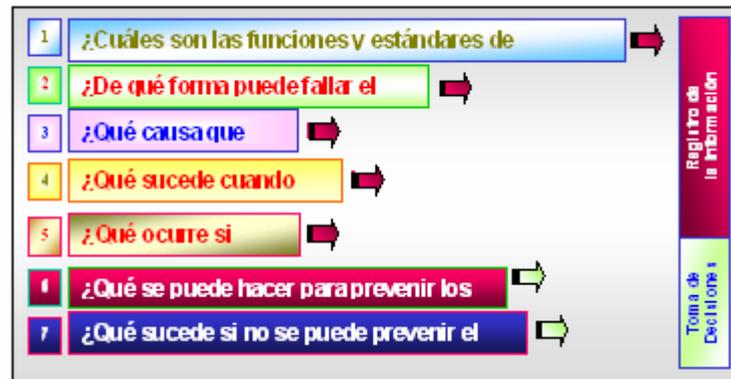


Figura 2.6: Las Siete (7) Preguntas Claves del MCC

Fuente: MOUBRAY, J. [6]

La mejor forma de dar respuesta verdadera a cada una de las preguntas formuladas en esta metodología, es a través del procedimiento sistemático del flujograma mostrado en la Figura 2.7.

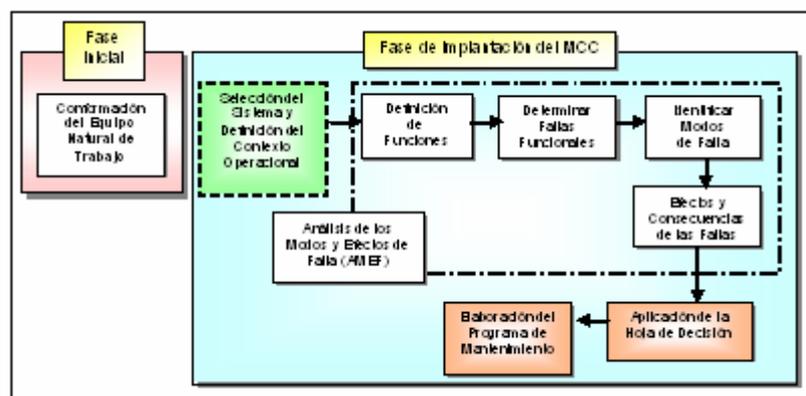


Figura 2.7: Flujograma de Aplicación de la Metodología MCC

Fuente: SUÁREZ, D. [3]

A continuación se definen cada uno de los elementos indispensables en el desarrollo de la filosofía MCC:

2.7.1.1 Equipo Natural de Trabajo (ENT)

Grupo multidisciplinario que pertenece a una organización y trabajan en conjunto, durante un período de tiempo, a fin de solucionar problemas específicos, con ayuda del valor agregado que suministra cada miembro, a fin de mejorar la gestión a largo plazo. En la Figura 2.8, se muestran los integrantes necesarios para la conformación de este equipo. El rol de cada integrante se desglosa a continuación:

Operador y/o Supervisor de Producción: Aportan conocimientos sobre el efecto y consecuencias de las fallas.

Especialista en Procesos: Participan para resolver las controversias en las reuniones de trabajo.

Técnicos y/o Supervisor de Mantenimiento (mecánicos, electricistas e instrumentistas): Aportan el conocimiento de las causas de las fallas y maneras de evitarlas.

SIAHO: Informan sobre el impacto en seguridad industrial, ambiente e higiene ocupacional.

Planificador: Incorpora las actividades que minimizan la ocurrencia de las fallas en el programa de mantenimiento y su frecuencia correspondiente.

Facilitador General: Su labor consiste en fijar reuniones, coordinarlas y verificar que el trabajo del equipo se adapte a la metodología MCC. [3]



Figura 2.8: Integrantes del Equipo Natural de Trabajo

2.7.1.2 Contexto Operacional

De acuerdo a la norma SAE JA-1011 el contexto operacional representa *las circunstancias en las cuales se espera que opere un activo físico o sistema*. Éste afecta todo el proceso de formulación de estrategias de mantenimiento: La definición de funciones, la naturaleza de los patrones de fallas que pueden ocurrir, sus efectos, consecuencias, periodicidad y que debe hacerse manejarlos. En la Figura 2.9 se presentan los aspectos más importantes a tomar en cuenta en la descripción del contexto operacional. [6]



Figura 2.9: Aspectos del Contexto Operacional

Fuente: MOUBRAY, J. [6]

2.7.1.3 Análisis de los Modos y Efectos de Fallas (AMEF)

Constituye la herramienta principal del MCC para mejorar la gestión de mantenimiento en una organización determinada. Es un método sistemático que permite identificar los problemas antes que estos ocurran y puedan afectar los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado.

El objetivo básico del AMEF, es encontrar todos los modos en los cuales puede fallar un activo dentro de un proceso, e identificar las posibles consecuencias o efectos de las fallas en función de tres (3)

criterios básicos para el MCC: Seguridad humana, ambiente y operaciones. Para cumplir con este objetivo, el equipo de trabajo MCC debe guiarse por la secuencia que se muestra en la Figura 2.10. [6]



Figura 2.10: Secuencia a Seguir para Desarrollar el AMEF

Fuente: MOUBRAY, J. [6]

Consecutivamente, se define cada aspecto que abarca su realización:

Funciones: Se refiere a lo que el usuario del equipo o sistema, desea que realice, ya que, cada elemento ha sido diseñado para un propósito determinado. La clasificación de las funciones se presenta en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Clasificación de las Funciones

Fuente: MOUBRAY, J. [6]

FUNCIONES	ASPECTOS RESALTANTES
Primarias	Son las razones por las que el equipo existe, de modo que normalmente es una tarea sencilla identificarlas y describirlas

Secundarias	Suelen ser menos obvias que las primarias. Las funciones secundarias típicas incluyen: Contención, soporte, aspecto, higiene, calibración, entre otros
Dispositivos de Seguridad	Estos dispositivos son diseñados para alertar al operador de que existe un estado anormal o para detener el equipo en caso de avería, y así reducir las consecuencias de la ocurrencia de alguna falla
Superfluas	Se aplican en aquellos elementos, cuyas funciones primarias, secundarias o de seguridad, ya han sido desplazadas dentro del sistema debido a modificaciones realizadas respecto al diseño original

Fallas Funcionales: Se presentan como la incapacidad de cualquier elemento físico de satisfacer un parámetro de operación requerido.

Modos de Fallas: Son definidos como la causa de cada falla funcional, o sea, son los que provocan la pérdida de la función total o parcial de un activo en su contexto operacional (cada falla funcional puede tener más de un modo de falla).

Efectos de las Fallas: Es la evidencia o los hechos que pueden observarse si se presenta un modo de falla en particular. En su descripción se debe hacer constar: Evidencia del fallo, riesgo en la seguridad y medio ambiente, daños secundarios y su efecto sobre el entorno.

Consecuencias de las Fallas: Son los impactos que produce cada modo de falla sobre el activo que se analiza o el sistema productivo del cual forma parte. Al momento de evaluar las consecuencias, éstas se agrupan en cuatro (4) categorías (Tabla 2.2).

Tabla 2.2: Categorización de las Consecuencias

CONSECUENCIA	ASPECTOS RESALTANTES
Fallos Ocultos	<p>Ocurren de tal forma que nadie sabe que el equipo se ha averiado, a menos que se produzca otra falla</p> <p>No ejercen efecto directo, pero exponen al sistema a fallas más graves</p> <p>Comúnmente se asocian con dispositivos de seguridad</p>
Seguridad y el Entorno	<p>Causan una pérdida de función u otros daños que pueden lesionar o matar a alguien</p> <p>Causan una pérdida de función u otros daños que pudieran conducir a la infracción de cualquier normativa relativa al ambiente</p>
Operacionales	<p>Afectan a la producción (capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costo operacional, además del costo directo de la reparación)</p> <p>En general las fallas afectan a las operaciones de tres (3) maneras: El rendimiento total, la calidad del producto y el servicio al cliente</p>
No Operacionales	<p>Las únicas consecuencias derivadas de estas fallas son el costo directo de la reparación</p>

2.7.1.4 Árbol Lógico de Decisión (ALD)

Permite seleccionar la tarea de mantenimiento más adecuada para evitar o disminuir los efectos de la ocurrencia de cada modo de falla. Consiste en un flujograma de preguntas como el que se muestra en la Figura 2.11. Cabe destacar que el primer paso para seleccionar las tareas de mantenimiento es identificar las consecuencias que generan los modos de fallas, lo que realiza el ENT a partir del AMEF. [6]

2.7.1.5 Tareas de Mantenimiento

Las acciones que pueden ejecutarse para tratar las fallas, se presentan esquematizadas en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3: Tareas de Mantenimiento Clasificadas

Fuente: MOUBRAY, J. [6]

TAREA	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN
Proactivas	Son realizadas antes de que ocurra una falla con el objeto de prevenir que el componente llegue a un estado de falla	Tareas “a condición” Reacondicionamiento cíclico Sustitución cíclica
Acciones “a Falta de”	Éstas tratan con el estado de falla y son elegidas cuando no es posible identificar una tarea preventiva efectiva	Tareas de búsqueda de fallas Ningún mantenimiento preventivo Rediseño

2.7.1.6 Tareas “a Condición”

Se llaman así porque los elementos que se inspeccionan se dejan en funcionamiento a condición de que continúen desempeñando satisfactoriamente sus estándares de operación. Consisten en chequear los equipos y sistemas, para tomar medidas dirigidas a prevenir la falla funcional o para evitar sus consecuencias. Las tareas a condición programadas son técnicamente factibles sí:

Es posible definir una condición clara de falla potencial

Es práctico monitorear el elemento a intervalos menores al intervalo entre

la falla potencial – funcional

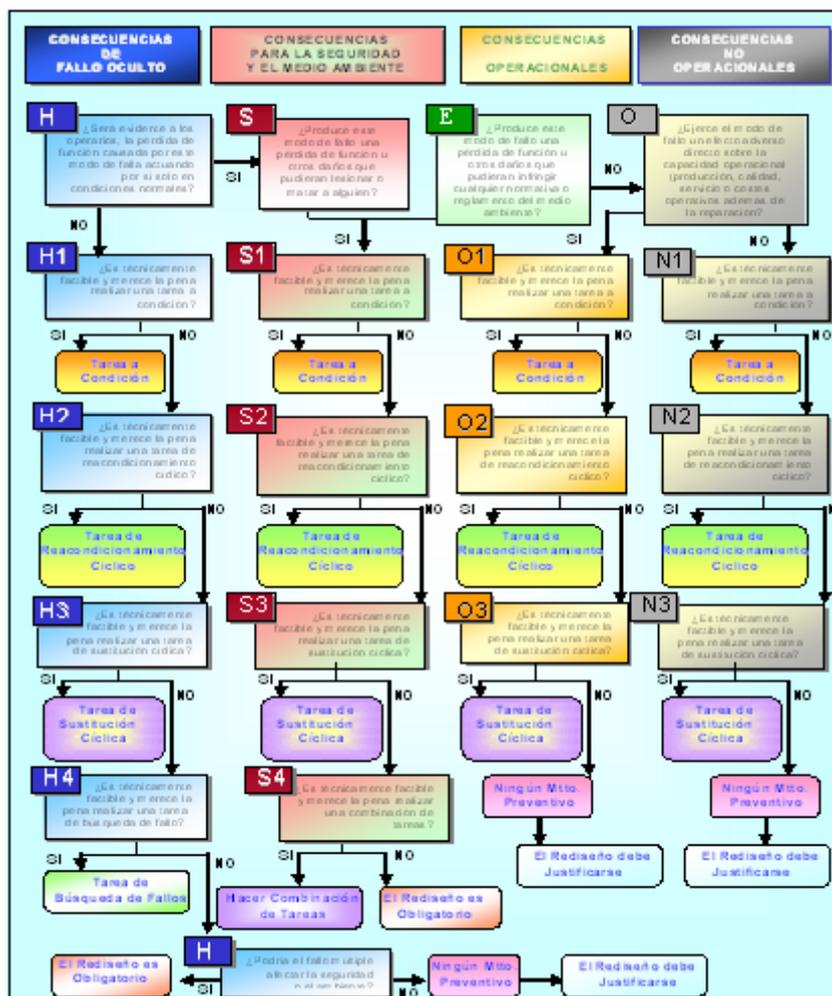


Figura 2.11: Arbol Lógico de Decisión del MCC

Fuente: MOUBRAY, J. [6]

El intervalo entre la falla potencial – funcional neto es lo suficientemente extenso como para actuar a fin de reducir o eliminar las consecuencias de la falla funcional y además es razonablemente consistente [6]

Las cuatro (4) categorías principales de técnicas a condición, se presentan en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4: Categorización de las Técnicas “a Condición”

Fuente: MOUBRAY, J. [6]

TÉCNICAS	DESCRIPCIÓN
Monitoreo de condición (condition monitoring)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Implican el seguimiento de las condiciones de operación, usando equipos que generalmente constituyen versiones altamente perceptivas de los sentidos humanos ◆ Se monitorean: Efectos dinámicos, de partícula, químicos, físicos, de temperatura, eléctricos y de corrosión
En función de la variación de la calidad del producto	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Se basa en el hecho de que la desmejora en la calidad puede considerarse una falla potencial
Monitoreo de los efectos primarios	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Implican el registro de las condiciones de operación y su comparación con datos referenciales, tales como: velocidad, caudal, presión y temperatura
Inspección basada en los sentidos primarios	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Se basan en la observación mediante la vista, el olfato, el tacto y el oído. Son técnicas poco precisas pero eficaces en ciertas situaciones

2.7.1.7 Reacondicionamiento Cíclico

Consiste en reparar los componentes a frecuencias determinadas, independientemente de su estado en ese momento a fin de lograr su restauración. Estas tareas son técnicamente factibles si:

- ◆ Hay una edad identificable en la que el componente muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de la falla.
- ◆ La mayoría de las piezas sobreviven a esta edad (todas las piezas si la falla tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente).
- ◆ Se restaura la resistencia original de la pieza a la falla. **[6]**

2.7.1.8 Sustitución Cíclica

Implica reemplazar un elemento o componente por uno nuevo a intervalos prefijados, independientemente de su estado en ese momento, a fin de renovarlo a sus condiciones originales. Son factibles técnicamente si:

- ◆ Hay una edad identificable en la que la pieza muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de la falla.
- ◆ La mayoría de las piezas sobreviven a esta edad. **[6]**

2.7.1.9 Tareas de Búsqueda de Fallas

Consisten en chequear una función oculta a intervalos regulares para ver si ha fallado. En realidad, estas tareas no son preventivas porque se trata de buscar fallas después que se han producido. Son factibles técnicamente sí:

- ◆ Es posible realizarla sin aumentar el riesgo de un fallo múltiple.
- ◆ Es práctico realizarla a la frecuencia deseada. **[6]**

2.7.1.10 Ningún Mantenimiento Preventivo

Cuando las consecuencias se clasifican como operacionales o no operacionales, la tarea de mantenimiento preventivo debe ser justificada económicamente, de no serlo, la decisión normal es de no realizar ningún mantenimiento preventivo y dejar en servicio los elementos hasta que se produzca un fallo funcional.

2.7.1.11 Rediseño

Se refiere a cualquier cambio en la especificación de cualquier equipo. Se realiza cuando la prestación deseada excede la confiabilidad inherente del equipo, implica acciones tales como: Modificar el equipo, cambiar procedimientos operativos, entre otros.

2.7.1.12 Frecuencias de Mantenimiento

Es el tiempo que transcurre entre dos (2) inspecciones y/o ejecuciones de mantenimiento del mismo componente de un equipo. Las fuentes de información para establecer la frecuencia son las siguientes:

- ◆ Récord histórico del equipo
- ◆ Recomendaciones del fabricante
- ◆ Experiencia del personal
- ◆ Comportamiento de equipos en empresas similares **[3]**

2.7.1.13 Hoja de Información

Es la hoja donde es asentada la información recopilada en los primeros cuatro (4) pasos del MCC, es decir las funciones, fallas funcionales, modos de fallas y los efectos de las fallas. En la parte superior de la hoja aparece la identificación del sistema, equipo, por quién

fue realizada y revisada, igualmente se registra el número de la hoja y las fechas de su realización y revisión. Un ejemplo se muestra en la Figura 2.12.

HOJA DE INFORMACIÓN RCE II 1999 ALADON LTD	SISTEMA/ACTIVO	SISTEMA	Recibido por:	Fecha:	Hoja
	SUB-SISTEMA/COMPONENTE	REF.	Revisado por:	Fecha:	De
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA		

Figura 2.12: Hoja de Información del MCC

Fuente: MOUBRAY, J. [6]

2.7.1.14 Hoja de Decisión

Se elabora a partir del ALD (Figura 2.11), con la información procesada en los tres (3) últimos pasos del MCC, de acuerdo a la referencia de la hoja de información. La parte superior de la hoja muestra la identificación del sistema, equipo, por quien fue realizada y revisada y el número de la hoja. Consecutivamente, en esta hoja, se clasifican el tipo de consecuencia que tiene la falla (ocultas, para la seguridad y el medio ambiente, operacionales y no operacionales); también se determina el tipo de tarea y la acción asociada a ésta que se va a realizar, su frecuencia de aplicación y el personal encargado de realizarla. (Ver Figura 2.13).

HOJA DE INFORMACION FORM II 1999 ALADONLTD	ACTIVO	SISTEMA	Recopilado por:	Fecha:	Hoja	
	COMPONENTE	REF.	Revisado por:	Fecha:	De	
Planificación Reformador	Evaluación de las Consecuencias	H1 H2 H3 S1 S2 S3 O1 O2 O3	Tareas trabaja do	TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	A REALIZAR POR
F FF RM H S E O	M1 M2 M3	H4 H5 H6				

Figura 2.13: Hoja de Decisión del MCC

Fuente: MOUBRAY, J. [6]

2.7.2 Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Es un método proactivo, que adopta como filosofía el principio de mejora continua desde el punto de vista del mantenimiento y gestión de equipos. Su metodología, soportada por un buen número de técnicas de gestión, establece las estrategias adecuadas para el aumento continuo de la productividad, con miras a afrontar con éxito y competitividad, el proceso de internacionalización y apertura de la economía. Requiere de una profunda cultura de trabajo en equipo y sentido de propiedad de los bienes por parte de los trabajadores. De no poseer éstos se requiere de un fuerte trabajo en el cambio cultural. La Figura 2.14 exhibe, las metas y objetivos fundamentales del TPM. [7]



Figura 2.14: Metas y Objetivos del TPM

Los principios fundamentales del TPM, se presentan en la Tabla 2.5:

Tabla 2.5: Principios Fundamentales del TPM

Fuente: LEFCOVICH, M. [7]

PRINCIPIO	DESCRIPCIÓN
Cero Defectos	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Implica eliminar las seis (6) grandes causas de pérdida que son: Averías, preparación y ajuste, paradas menores y tiempos vacíos, velocidad reducida, defectos de calidad, reducción en rendimiento ◆ Se alcanza por medio de equipos de diagnóstico adecuados, órganos de control y automatización, con énfasis en los logros de la Gestión Total de la Calidad
Inventarios Cero	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Se basa en la producción “Justo a Tiempo”, y el aseguramiento de las compras y ventas ◆ Busca eliminar sistemas de almacenamiento
Rentabilidad Total	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Requiere el desarrollo de sistemas de mantenimiento preventivo, predictivo y proactivo ◆ Introduce el concepto de prevención de mantenimiento, acompañado de actividades de pequeños grupos
Productividad	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Está dada por la relación de salidas con respecto a las entradas ◆ Las salidas están reflejadas en: producción, calidad, bajo costo, entregas, seguridad, entorno moral y costo de vida útil económica ◆ Las entradas son representadas por los recursos físicos y humanos, ingeniería y mantenimiento de planta y control de inventario
Participación Total	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Es necesaria la colaboración de todos y cada uno de los empleados de la empresa en forma

	<p>consciente</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Combina la fijación de metas “arriba-abajo” por parte de la alta dirección, con actividades de mejora y mantenimiento de los pequeños grupos TPM
Mejora de la Eficacia	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Propone que los equipos estén libres de mantenimiento ◆ El costo del ciclo de la vida útil de los equipos debe ser económico
Logística y Terotecología	<ul style="list-style-type: none"> ◆ La logística es la ciencia que se encarga de los productos, las materias primas, los sistemas, los programas y los equipos ◆ La terotecología es la ingeniería de mantenimiento y se encarga del diseño, ingeniería, montaje y mantenimiento de equipos
Mejoramiento de los Lugares de Trabajo	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Se logra mediante la aplicación del sistema de administración japonés de las 5 Eses

2.7.2.1 Estructura Moderna del TPM

La moderna teoría plantea que el Mantenimiento Productivo Total se basa en el desarrollo de siete (7) pilares (Figura 2.15), que son fundamentales para mejorar la productividad de la organización, con acciones puramente prácticas, a continuación se definen cada uno de éstos.



Figura 2.15: Estructura Moderna del TPM

Fuente: LEFCOVICH, M. [7]

Filosofía de las “5 S’s”: Están basadas en los principios de administración japonesa y permiten la organización y control del área de trabajo, son definidas en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6: Definición de las “5 S’s” Japonesas

Fuente: LEFCOVICH, M. [7]

ESES	DESCRIPCIÓN
SEIRI (CLASIFICAR)	♦ Eliminación de todo lo innecesario en el lugar de trabajo
SEITON (ORDENAR)	♦ Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar. Es un principio de funcionalidad ♦ Todo objeto que se utiliza en alguna labor, debe volver luego a su sitio
SEISO (LIMPIAR)	♦ Limpieza completa del sitio de trabajo y de las máquinas que se emplean en el proceso de producción

	◆ Debe hacerse al final de la jornada y en tiempo laboral
SEIKETSU (ESTANDARIZA R)	◆ Mantener altos niveles de organización y limpieza ◆ Es una labor constante que no debe practicarse solo cuando hay visitas ilustres o cuando a los directivos se les ocurre darse una pasada por la fábrica o las oficinas
SHITSUKE (DISCIPLINA)	◆ Capacitar al personal para que de manera autónoma realice con disciplina sus tareas

Educación, Capacitación y Entrenamiento: Las habilidades de los operadores y del personal de mantenimiento deben mejorarse mediante formación y adiestramiento si se quiere tener éxito con el mantenimiento autónomo, preventivo, predictivo y la mantenibilidad.

Mantenimiento Autónomo por Operadores: Representa una característica innovadora del TPM. Se tarda de uno (1) a tres (3) años en cambiar la cultura corporativa. Los operadores que están acostumbrados a pensar "yo opero, tu arreglas" tendrán dificultades para aprender "yo soy responsable de mi propio equipo". Los operarios de producción están encargados del mantenimiento de su equipo, para esto, deben ser adiestrados según las exigencias del programa de mantenimiento autónomo.

Prevención del Mantenimiento y Aumento de la Efectividad del Equipo: Mediante el desarrollo de ingeniería de los equipos se busca mejorar la gestión del mantenimiento de los mismos desde la concepción y diseño, el objetivo es lograr un equipo de fácil operación y mantenimiento. Por otra parte, se busca maximizar la efectividad del equipo eliminando las averías y fallas, o sea, aumentando la disponibilidad total del equipo en un período determinado de tiempo.

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad: En relación con el MCC el libro de Tokutaru Suzuki: “TPM in Process Industries”, publicado por el JIPM (Japan Institute of Plant Maintenance) en el año 2000, menciona en forma muy clara que para hacer correctamente el TPM se requiere aplicar técnicas de MCC como metodología para definir de manera precisa las estrategias de mantenimiento.

Mantenimiento Planeado Proactivo: Debe incluir la planeación y programación eficaz de las actividades de mantenimiento para toda la vida útil de los equipos, debe funcionar al unísono con el mantenimiento autónomo. La responsabilidad del departamento es eliminar el deterioro que resulta de una lubricación y limpieza inadecuada además debe analizar cada avería para descubrir los puntos débiles en el equipo y modificarlo para mejorar su mantenimiento.

Mantenimiento Preventivo y Predictivo: Busca aumentar al máximo la disponibilidad y confiabilidad de los equipos llevando a cabo un programa de mantenimiento eficaz. Puede estar basado en las condiciones reales del equipo, o en los datos históricos de fallas del mismo; el primer caso se conoce como Mantenimiento Basado en Condición, y el segundo sistema ha dado origen a una nueva tecnología de mantenimiento denominada PMO, que es la sigla en inglés de Optimización de Mantenimiento Preventivo, el cual, con base en el uso, toma como parámetro principal los datos históricos de fallas de los equipos para determinar la distribución estadística que más se ajuste a su comportamiento real. [7]

2.7.2.2 Implementación de la Filosofía TPM

Esta metodología busca efectuar mejoras substanciales dentro de la

empresa transformando el enfoque de utilización de su capital humano y recursos físicos, para esto, Seiichi Nakajima, en su libro, Introducción al TPM desglosa doce (12) pasos de implementación que han sido divididos en cuatro (4) fases, las cuales son: Preparación, Introducción, Implantación y Consolidación, éstas son expuestas en las Tablas 2.7, 2.8, 2.9 y 2.10 respectivamente.

Tabla 2.7: FASE I del TPM. Preparación

Fuente: LEFCOVICH, M. [7]

PASOS	ACTIVIDADES	PUNTOS CLAVES
1	Anuncio de la alta dirección de la introducción del TPM	<ul style="list-style-type: none"> ◆ La alta gerencia anuncia a sus empleados el inicio del TPM y busca mecanismos a fin de motivarlos ◆ Se publica en carteleras
2	Lanzamiento de una campaña educacional	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Entrenamiento para grupos de gerentes ◆ Realización de conferencias para empleados a fin de promover al TPM
3	Crear organizaciones para promover el TPM	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Crear equipo director del TPM ◆ Formar grupos horizontales de coordinadores por área
4	Establecer políticas y metas para el TPM	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Diagnóstico de la situación actual ◆ Proponer metas claras, cuantitativas y precisas que vayan acorde con la situación real ◆ Presupuestar recursos
5	Formular un plan maestro para desarrollo del TPM	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Definir las actividades que se van a realizar, basados en: Mejoramiento de la efectividad del equipo, establecimiento del mantto. autónomo, aseguramiento de la calidad de los productos y un programa

		de mantenimiento planificado
--	--	------------------------------

Tabla 2.8: FASE II del TPM. Introducción

Fuente: LEFCOVICH, M. [7]

PASOS	ACTIVIDADES	PUNTOS CLAVES
6	Despegue del TPM	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Lanzamiento del TPM, a partir de este punto, los trabajadores deben cambiar sus rutinas diarias de trabajo tradicionales ◆ Organización de actos de iniciación ◆ Participación de gerentes, supervisores y trabajadores en general ◆ Mejora a los sitios de trabajo

Tabla 2.9: FASE III del TPM. Implantación

Fuente: LEFCOVICH, M. [7]

PASOS	ACTIVIDADES	PUNTOS CLAVES
7	Mejorar la efectividad del equipo	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Elaborar proyectos con metas claras e interacción definida, mediante pequeños grupos cuyo propósito sea la implementación de mejoras para eliminar las pérdidas ◆ Determinación de la efectividad total de los equipos ◆ Análisis de las causas de baja efectividad y propuesta de las estrategias para su mejoramiento
8	Establecer el programa de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Los operadores deben ser responsables de sus propios equipos ◆ Es recomendable utilizar una herramienta

	autónomo	sistemática que permita el establecimiento de las rutinas de inspección, limpieza, lubricación y ajustes
9	Establecer un programa de auto-mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> ◆ El volumen de trabajo de mantto. disminuye porque la inspección general pasa a ser la rutina diaria de los operarios ◆ El departamento de mantto. debe centrarse en su propia organización y establecer un programa de auto-mantenimiento
10	Conducir el entrenamiento para mejorar habilidades	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Se debe invertir en entrenamiento para impulsar a los trabajadores a gestionar apropiadamente sus equipos y afirmar sus habilidades en operación normal
11	Desarrollo temprano de un programa de gestión de equipos	<ul style="list-style-type: none"> ◆ La gestión temprana de equipos se debe realizar por el personal de mantenimiento y producción como parte de un enfoque de diseño libre de mantenimiento

Tabla 2.10: FASE IV del TPM. Consolidación

Fuente: LEFCOVICH, M. [7]

PASOS	ACTIVIDADES	PUNTOS CLAVES
12	Implantación plena del TPM	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Es una etapa de perfeccionamiento de la implementación ◆ Se fijan metas futuras más elevadas ◆ Comienzo real del programa de mejoramiento continuo empresarial

2.7.3 Mantenimiento de Clase Mundial (MCM)

Se refiere al conjunto de las mejores prácticas que reúne elementos de distintos enfoques organizacionales (con visión de negocio, para crear un todo armónico de alto valor práctico), las cuales aplicadas en forma coherente generan ahorros sustanciales a las empresas. Algunas de las características de este concepto del mantenimiento son: **[8]**

- ◆ Promueve constantemente, la revisión y/o actualización de las mejores prácticas en el ámbito mundial
- ◆ Alinea las prácticas en función de la gente, los procesos y las tecnologías
- ◆ Enfatiza en el desarrollo de estrategias para facultar a las personas en su desempeño
- ◆ Establece estrategias orientadas a la integración de los diferentes entes que participan en la cadena de valor de los procesos
- ◆ Considera fundamental la tecnología de información como habilitadora esencial para la integración de los procesos
- ◆ Asigna un peso específico a la planificación disciplinada, como función del proceso gerencial
- ◆ Fomenta la identificación de oportunidades de mejoras, generando cambios de paradigmas en el negocio
- ◆ Orienta y gerencia el cambio planificado, como objetivo estratégico a través del desarrollo y educación permanente del personal

2.7.3.1 Las Diez Mejores Prácticas del Mantenimiento de Clase Mundial

Esta filosofía está cimentada en diez (10) mejores prácticas divididas en tres (3) grupos: Personal, procesos y tecnología, (Ver Tabla 2.11).

Tabla 2.11: Las Diez Mejores Prácticas del MCM

Fuente: CHOURIO, J. [8]

PRÁCTICA	ACTIVIDADES	PUNTOS CLAVES
EN FUNCIÓN DEL PERSONAL		
1	Organización centrada en equipos de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Se refiere al análisis de procesos y solución de problemas a través de equipos de trabajo
2	Procesos orientados al mejoramiento continuo	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Una búsqueda continua por mejorar las actividades y procesos ◆ Las mejoras obtenidas son reconocidas públicamente por la gerencia
3	Compromiso gerencial	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Participación activa y visible de la alta gerencia en equipos de trabajo para el mejoramiento continuo ◆ Programa de incentivos y reconocimiento por parte de la gerencia a sus trabajadores ◆ Evaluación de empleados ◆ Procesos definidos de selección y empleo
EN FUNCIÓN DE LOS PROCESOS		
4	Integración con proveedores de materiales y servicios	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Los inventarios de materiales son gerenciados por los proveedores ◆ Los proveedores aseguran las cantidades requeridas en el momento apropiado y a un costo total aceptable ◆ Debe existir una base consolidada de proveedores confiables e integrados con los procesos
5	Planificación y programación proactiva	<ul style="list-style-type: none"> ◆ El objetivo es maximizar la efectividad – eficacia de la capacidad instalada, incrementando el tiempo de permanencia en operación de los equipos, y los niveles de calidad que permitan operar al más bajo costo por unidad producida ◆ El proceso de gestión de mantenimiento y confiabilidad debe ser metódico y sistemático, de ciclo cerrado y retroalimentación

		<ul style="list-style-type: none"> ◆ Se planifican actividades a corto, mediano y largo plazo, maximizando la productividad y confiabilidad de las instalaciones
6	Contratistas orientados a la productividad	<ul style="list-style-type: none"> ◆ El contratista es un socio estratégico ◆ Se establecen pagos vinculados con el aumento de los niveles de producción y optimización de costos
7	Gestión disciplinada de procura de materiales	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Procedimientos de procura de materiales homologados y unificados en toda la corporación ◆ Se garantiza el servicio de los mejores proveedores, balanceando costos – calidad ◆ Los convenios y tiempos de entrega deben facilitar la captura y registro de datos para análisis
8	Gerencia disciplinada de parada de plantas	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Parada de plantas con visión de gerencia de proyectos con una gestión rígida y disciplinada, liderizada por profesionales ◆ La planificación de las paradas de las plantas debe realizarse con 12 a 18 meses de anticipación al inicio de la ejecución física incluyendo a todos los involucrados ◆ Se debe realizar adiestramiento intensivo en paradas a todos los participantes
EN FUNCIÓN DE LA TECNOLOGÍA		
9	Integración de sistemas	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Uso de sistemas estándares en la organización, alineados con los procesos a los que apoyan y que faciliten la captura y registro de datos de análisis
0	Producción basada en confiabilidad	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Equipos de confiabilidad deben aplicar las más avanzadas metodologías existentes de mantto. ◆ Aplicación de procesos: ACR y otras herramientas de confiabilidad tales como: MCC, AC, ACRB, IBR, TPM, entre otros

2.7.3.2 Procesos de Administración de Trabajo

La implantación del MCM requiere un plan sistemático capaz de producir resultados sustentables y consistentes, un modelo que permite

llevar eso a cabo es el de Procesos de Administración de Trabajo, éste se presenta gráficamente en la Figura 2.16.

Los pilares esenciales que sustentan este modelo son; Liderazgo, Disciplina y Métricas de Desempeño, los cuales, entregan respectivamente la motivación, sustentabilidad y dirección. La ausencia de cualquiera de ellos se transformara en el obstáculo que impide el éxito de la iniciativa de cambio.



Figura 2.16: Bases del Mantenimiento de Clase Mundial

Fuente: CHOURIO, J. [8]

En la Tabla 2.12 se presentan las fases necesarias en el desarrollo de los procesos de administración de trabajo.

Tabla 2.12: Fases necesarias en los Procesos de Administración de Trabajo

Fuente: CHOURIO, J. [8]

FASE	PUNTOS CLAVES
1	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Engloba todo lo relativo a la asignación de los recursos correctos, en la cantidad necesaria y en el momento apropiado ◆ Se establece una base sólida que crea la cultura de disciplina, control y sustentabilidad ◆ La información y rigurosa administración creadas por las actividades que genera se constituyen en el fundamento de las actividades predictivas y pro – activas a implementar
2	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Son las piezas y herramientas que establecen la confiabilidad ◆ Las técnicas de monitoreo de condición, el análisis de fallas, el historial de los equipos, entre otros, son los elementos que alimentan los procesos de las fases siguientes
3	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Teniendo como plataforma la información recopilada en la fase previa incorpora procesos de eliminación de defectos y análisis con una completa integración entre el personal de mantenimiento y producción enfocados en asegurar capacidad productiva
4	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Requiere de los esfuerzos integrados de los equipos de trabajo creados en Fase 3 que operan con las tácticas cimentadas en la Fase 2 ◆ Las herramientas utilizadas y la nueva forma de relacionarse permiten a los trabajadores actuar pro – activamente, desarrollando capacidades y métricas de clase mundial

Por último, es necesario destacar que las conductas instauradas en cada fase sucesiva son absolutamente esenciales para cualquier intento

de moverse hacia arriba en la pirámide de la Figura 2.16.

2.8 Análisis de criticidad

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto en el ámbito en estudio, con el fin de facilitar la toma de decisiones. En el ámbito de mantenimiento, esta herramienta permite establecer de una manera más eficiente la priorización de los programas y planes de mantenimiento de tipo: preventivo y correctivo. Emprender un análisis de criticidad tiene su máxima aplicabilidad cuando se han identificado al menos una de las siguientes necesidades: [9]

- ◆ Fijar prioridades en sistemas complejos
- ◆ Administrar recursos escasos
- ◆ Crear valor
- ◆ Determinar impacto en el negocio
- ◆ Aplicar metodologías de confiabilidad operacional

Un modelo básico de análisis de criticidad, es equivalente al mostrado en la Figura 2.17. El **establecimiento de criterios** se basa en seis (6) parámetros fundamentales a saber: Frecuencia de falla, producción, costos operacionales y de mantenimiento, tiempo promedio fuera de servicio, seguridad y ambiente. Para la **selección del método** de evaluación se toman en cuenta criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. La **aplicación del procedimiento** definido abarca el cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. El producto que se obtiene del análisis es la **lista jerarquizada**.

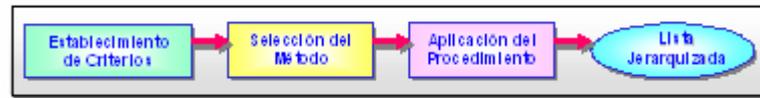


Figura 2.17: Esquema del Modelo Básico del Análisis de Criticidad

Fuente: HUERTA, R. [9]

2.8.1 Matriz de Criticidad ABC

Basada en factores ponderados, permite evaluar el impacto que produce el elemento de estudio sobre su entorno, lo que es conocido como *Consecuencias*, las cuales representan una medida o magnitud del impacto causado por elemento de estudio y son evaluadas bajo diversos criterios, a los cuales se le asigna una ponderación o valor numérico de acuerdo a su importancia. El valor total de *Consecuencias* será la suma de cada uno de los criterios. La forma de obtener la criticidad del elemento de estudio es asociando un rango de valores de consecuencias con una determinada clasificación de criticidad. De esta forma, para cada valor de consecuencia existirá una respectiva clasificación de criticidad.

2.8.2 Criticidad Basado en La Metodología D.S.

Esta metodología determina criticidad de equipos cuantitativamente, tomando en consideración seis (6) factores para evaluar el área de mantenimiento y tres (3) para el operacional; los cuales se muestran en la Figura 2.18.

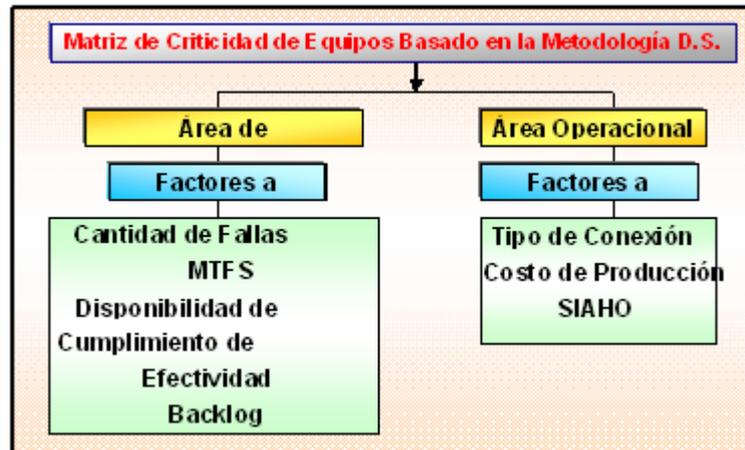


Figura 2.18: Factores Considerados en la Matriz D.S.

Fuente: Confima & Consultores, 2007

2.9 Técnicas de valoración económica

La selección de un proyecto industrial no puede realizarse arbitrariamente, sino que debe ser el resultado de una decisión cuidadosa, basada sobre consideraciones objetivas. Las técnicas de valoración económica miden las ventajas y desventajas de un proyecto y lo compara con otros, con el propósito de que los recursos disponibles sean asignados a aquellos proyectos que sean más factibles, de esta forma, guían la selección de un curso particular de acción de entre varias alternativas por métodos cuantificados. Algunas de estas técnicas son:

[10]

2.9.1 Valor Actual Neto (VAN)

Es la diferencia entre los flujos anuales netos (expresados en moneda actual) y la inversión inicial en el año 0 del periodo de evaluación. En otras palabras, el Valor Actual Neto es equivalente al valor actualizado al año cero de los flujos de caja netos actuales del proyecto. El VAN se

expresa mediante la siguiente fórmula:

$$VAN = \frac{\sum FAN}{(1 + TMAR)^N} - IO \quad (2.1)$$

Donde:

VAN = Valor Actual Neto

N = Número de Período de Evaluación

FAN = Flujo Actual Neto

IO = Inversión Inicial

TMAR = Tasa Mínima Atractiva de Retorno

2.9.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Utiliza el concepto del valor presente, pero intenta evitar la elección arbitraria de una tasa de interés al evaluar una inversión propuesta, es decir, es aquella tasa de interés que hace nulo el valor presente neto del proyecto en estudio. Se expresa mediante el despeje de la siguiente fórmula: [10]

$$IO = \frac{\sum FAN}{(1 + TIR)^N} \quad (2.2)$$

Donde:

TIR = Tasa Interna de Retorno

N = Número de Período de Evaluación

FAN = Flujo Actual Neto

IO = Inversión Inicial

2.10 Indicadores de la gestión de mantenimiento

Son valores que permiten medir y evaluar los resultados de la gestión de mantenimiento de manera objetiva mediante patrones establecidos para verificar el cumplimiento de los objetivos prefijados y facilitar la toma de decisiones técnicas y gerenciales del mantenimiento sean éstas correctivas y/o preventivas, para así obtener mejoras consistentes y una gestión proactiva. **[5]** Se sugiere el uso de indicadores para:

- ◆ Control de equipos
- ◆ Control de trabajos (planificación y personal de mantenimiento)
- ◆ Control de materiales y repuestos

2.11 Análisis del contexto situacional

Es un análisis de los factores internos y externos que influyen en una organización, bajo el marco de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas. Permite una mayor comprensión de la situación actual de la empresa, la cual proporciona una base para la toma de decisiones preventivas y/o correctivas.

Las oportunidades y amenazas externas se refieren a tendencias y hechos económicos, sociales, culturales, demográficos, ambientales, políticos, jurídicos, tecnológicos y competitivos que podrían beneficiar o perjudicar significativamente a la organización en el futuro.

Las fortalezas y debilidades son factores internos a la empresa, que crean o destruyen valor, y por tanto están bajo su control. Incluyen los recursos, activos, capital humano, entre otros. **[1]**

2.12 Taladro de servicios a pozos

Son equipos portátiles habilitados para efectuar trabajos en pozos productivos; inactivos, de inyección de vapor y de inyección de agua salada, a fin de mantener o restaurar las condiciones productivas de los mismos, también son utilizados en la instalación de la completación original en aquellos pozos que han sido perforados sin completar [11]. Su actividad, puede abarcar una amplia variedad de trabajos, tales como:

- ◆ Extraer e introducir las cabillas o tuberías de producción, (reemplazo de tuberías rotas, con fisuras, etc.)
- ◆ Reemplazo del equipo subterráneo (bombas de fondo)
- ◆ Cambio de empacaduras
- ◆ Limpieza de pozos (remover ceras, efecto scale, problemas de arena)
- ◆ Pruebas de presión
- ◆ Estimulación de pozos (swabbing)

2.12.1 Componentes del Taladro de Servicios a Pozos

A continuación en la Tabla 2.13 se presentan los elementos indispensables en estos taladros junto con su fotografía.

Tabla 2.13: Componentes del Taladro de Servicios a Pozos

Fuente: MARAVEN [11]

FOTOGRAFÍA	COMPONENTE
	<p>Guaya: Es un cable metálico conformado por seis (6) cordones de acero mejorado, unidos cuidadosamente entre sí, por rotación. Permite la conexión de todo el sistema de aparejos</p>
	<p>Bloque Corona: Es un ensamblaje de poleas fijas situado en el tope del mástil, en el cual se guarnea la guaya a fin de conectarse con el bloque viajero, esto se logra pasando la guaya de forma alternada arriba y abajo para que el sistema de levantamiento sea operacional</p>
	<p>Bloque Viajero: Es un mecanismo de poleas móviles donde se guarnea la guaya, la cual permite que el bloque se desplace suspendiendo la sarta de producción.</p>
	<p>Bomba Triplex de Lodo: Esta conformada por tres (3) pistones, su función principal es movilizar los grandes volúmenes de fluidos requeridos a altas presiones desde el tanque hasta el pozo</p>
	<p>Múltiple de Distribución de Fluido: Es un conjunto de válvulas reguladoras que dirigen el flujo de alta presión generado por las bombas hasta el pozo, e igualmente, permite direccionar el influjo proveniente del pozo hasta los tanques</p>

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Tipos de investigación

3.1.1 Según la estrategia

Se realizó una *Investigación Mixta* ya que se combinaron dos (2) tipos de diseño, en función de los datos a ser recolectados:

La *Investigación Documental*, ya que estuvo sujeto a la consulta de documentos bibliográficos, manuales de información, procedimientos, así como la consulta de criterios y metodologías de mantenimiento.

La *Investigación de Campo*, porque se obtuvieron datos primarios, es decir, la información necesaria se extrajo directamente del área de estudio, donde se pudo observar las necesidades físicas reales de las actividades que se plantearon.

3.1.2 Según su propósito

En función a los resultados obtenidos, la investigación se clasifica como *Aplicada*, ya que se usaron los conocimientos teóricos relacionados con el área de mantenimiento para ajustarlos al contexto de las actividades que se realizan en el Taladro H-643 y así proponer mejoras sustanciales.

3.1.3 Según el nivel de conocimiento

Se identificaron las funciones, fallas, los modos de fallas y sus

efectos asociados, de los equipos estudiados, para así, abordar la problemática por medio de una **Investigación Descriptiva**, ya que comprendió la descripción, registro e interpretación de las características fundamentales del problema actual. Además requirió de ciertas técnicas como: Encuestas, entrevistas, documentación, etc.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

En esta investigación se definen dos (2) tipos de poblaciones, las cuales son:

La población de activos, estuvo representada por los equipos que integran a los sistemas del Taladro de Servicios a Pozos H-643: Izamiento (11), hidráulico (10), potencia eléctrica (4), seguridad – circulación (8), neumático (2) y sistema de gasoil (3), integrando treinta y ocho (38) equipos.

La población humana comprende a todo el personal que labora en la Superintendencia de Mantenimiento y Logística de Taladros, que totaliza veinte (20) personas.

3.2.2 Muestra

Se clasifica de la manera siguiente:

La muestra de activos, vino dada por aquellos equipos que resultaron clasificados con Criticidad A, éstos fueron: Malacate, Bomba de Lodo, Motor Diesel N°1, Motor Diesel N°2, Motor Diesel N°3, Bloque Viajero, Bloque Corona y Generador, a los cuales, se les aplicó la

metodología de mantenimiento seleccionada.

La muestra humana, fue constituida por el personal de la Superintendencia de Mantenimiento y Logística de Taladros vinculada de forma directa con el mantenimiento y operación del Taladro H-643, por tal motivo se considera una muestra intencional no probabilística, la cual fue conformada por cinco (5) personas, estructuradas de la manera siguiente:

- Ingeniero de Mantenimiento (1)
- Supervisores de Mantenimiento (2)
- Mecánico del Taladro (1)
- Operador del Taladro (1)

3.3 Técnicas de investigación y análisis

Para elaborar el presente trabajo se recolectó una serie de datos primarios concernientes a las actividades de planificación y ejecución del mantenimiento, igualmente se realizó una investigación bibliográfica, así se construyó la base necesaria para proponer mejoras ante la problemática en estudio. Para llevar a cabo lo antes expuesto, se aplicaron las siguientes técnicas:

3.3.1 Documentación

Consistió en efectuar la revisión de registros y documentos de la empresa relacionados con el funcionamiento y la inspección de los elementos en estudio, para así extraer la información que se constituyó el punto de partida y sirvió además para dar apoyo técnico en la elaboración del trabajo.

3.3.2 Visitas al Campo

Las visitas al sitio permitieron visualizar el sistema y aportaron nueva información. Se tomaron fotografías que facilitaron la realización de diagramas de flujo de los procesos del sistema y corroborar la información obtenida mediante las entrevistas al personal.

3.3.3 Metodología de Análisis de Criticidad

Se usó la Matriz de Criticidad ABC basada en factores ponderados, se denomina así, ya que, establece la siguiente escala: Criticidad A, Criticidad B, Criticidad C, para definir el impacto general de los equipos sobre los factores estudiados en el análisis.

3.3.4 Análisis del Contexto Situacional

Permitió establecer los factores internos y externos que influyen y determinan la dinámica organizacional de la Superintendencia de Mantto. y Log. de Taladros. Dicho análisis permitió obtener la información necesaria para la selección de la metodología que debía aplicarse ante la problemática en estudio.

3.3.5 Valor Actual Neto (VAN)

Permitió estimar el valor presente de todas las actividades que competen al plan de mantenimiento propuesto, para un período de cinco (5) años, aportando así un criterio para aceptar o rechazar el proyecto.

3.3.6 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Esta técnica brindó soporte a los resultados estimados con la

aplicación del VAN, indicando la rentabilidad económica del plan de mantenimiento propuesto para justificar la inversión inicial estimada.

3.3.7 Gráficas

Se utilizaron distintos tipos de gráficas para representar la información obtenida, lo que, facilitó la explicación y análisis de los resultados. Se utilizaron flujogramas, gráficas de barras, circulares, etc.

3.3.8 Manejo de Programas de Computación

Estos elementos además de agilizar el procesamiento de la información fueron útiles a la hora de presentar los resultados en forma más ordenada.

3.4 Instrumentos de recolección de información

3.4.1 Encuesta

Debido a la inexistencia de un historial de fallas del taladro resultó necesario aplicar esta técnica para recolectar la información referente a los siguientes criterios establecidos para ponderar la criticidad: Frecuencia de Fallas, Tiempo Fuera de Servicio e Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente. Cabe destacar, que dichas encuestas se realizaron al personal que integra la muestra humana. (Ver 3.2.2).

3.4.2 Entrevista

Gracias a esta técnica se obtuvo gran parte de la información necesaria para el desarrollo del trabajo. El conocimiento aportado por el personal de mantenimiento y operaciones permitió una mayor

comprensión del funcionamiento del sistema, las prestaciones deseadas de los equipos, entre otros.

Además, la aplicación de éste instrumento al personal que labora en la Superintendencia de Logística de Taladros fue indispensable para desarrollar el análisis del contexto situacional de la organización.

3.5 Etapas de la investigación

Este trabajo requirió el desarrollo sistemático de las etapas descritas a continuación:

3.5.1 Revisión bibliográfica

Abarcó la investigación y recolección de información en fuentes bibliográficas como; trabajos de grado, textos, manuales del fabricante y publicaciones en Internet referentes a las características técnicas de los equipos estudiados. Igualmente fue necesaria la documentación referente a las filosofías MCC, TPM y MCM.

3.5.2 Identificación del contexto operacional

Con el objeto de realizar un diagnóstico de la situación del Taladro H-643, primeramente, se realizaron visitas al campo con el objeto de constatar las circunstancias bajo las cuales operan los equipos, y así observar su desempeño durante el cumplimiento de sus funciones. Aprovechando la experiencia del personal de mantenimiento y operaciones, se tomaron notas de los detalles más resaltantes de estas visitas.

Seguidamente, se procedió a describir cada sistema que constituye

al taladro (Izamiento, Seguridad y Circulación, Potencia Eléctrica, Hidráulico, Neumático y Gasoil), tomando en cuenta los siguientes factores: Equipos que los integran, parámetros de operación, elementos de seguridad y cualquier otro dato específico de cada sistema que aportara un mayor entendimiento de su contexto operativo.

Para aportar valor a las descripciones realizadas, se elaboraron los flujogramas correspondientes para cada sistema, ilustrándolos con fotografías tomadas en campo.

3.5.3 Realización del análisis de criticidad

Se jerarquizaron los equipos que integran los sistemas del Taladro H-643 en función de los factores de mayor incidencia en su situación presente, estos son:

- ◆ Frecuencia de Fallas
- ◆ Tiempo Fuera de Servicio
- ◆ Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente
- ◆ Costos de Mantenimiento
- ◆ Impacto en el Negocio

La aplicación del análisis se basó en la **Matriz de Criticidad ABC**, que hace uso de factores ponderados, en donde la evaluación de las *Consecuencias* (representadas por los factores enunciados anteriormente) son el medio para la obtención de la criticidad. Las ponderaciones asignadas a cada factor se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Ponderación de los Factores Utilizados en la Matriz de Criticidad ABC

FACTOR	PONDERACIÓN
Frecuencia de Fallas	20
Tiempo Fuera de Servicio	20
Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente	30
Costos de Mantenimiento	20
Impacto en el Negocio	10

El valor de *Consecuencias* a usar está representado por la suma de la ponderación de cada factor, estableciéndose para este estudio un valor máximo de *Consecuencias* de cien (100) puntos, luego de obtenido dicho valor se asigna la criticidad. (Ver Tabla 3.2).

Tabla 3.2: Criterios para la Evaluación de Criticidad

Fuente: Norma Técnica de PDVSA N° MR-02-15-03

PUNTUACIÓN TOTAL	CRITICIDAD
$0 < \text{Consecuencias} \leq 30$	<p align="center">Criticidad C</p> <p align="center">Se asigna a los activos con modos de fallas que no producen un impacto serio en Seguridad, Higiene y Ambiente, provocan pérdidas mínimas de tiempo y generan costos aceptables</p>
$31 \leq \text{Consecuencias} \leq 69$	<p align="center">Criticidad B</p> <p align="center">Se asigna a los activos con modos de falla, con altas posibilidades de ocurrencia, que pueden dar lugar a un impacto serio en Seguridad, Higiene y Ambiente y propiciar costos de mantenimiento y pérdidas de tiempo moderadas</p>
$\text{Consecuencias} \geq 70$ (Esto equivale al 70%)	<p align="center">Criticidad A</p> <p align="center">Se asigna a los activos con modos de fallas, con muy</p>

	altas probabilidades de ocurrencia y que pueden dar lugar a un impacto serio en Seguridad, Higiene y Ambiente, altos costos de mantenimiento, y pérdidas de tiempo considerables
--	---

La encuesta aplicada (Ver Figura 3.1) se divide en tres (3) áreas, con el fin de obtener la información necesaria de los siguientes factores: Frecuencia de falla, Tiempo para reparar, Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente.

En la parte superior del formato (Figura 3.1) se solicitan los siguientes datos: Fecha de realización, equipo y sistema del cual se solicita la información, y por último, el cargo del encuestado.

Consecutivamente se presentan los tres (3) factores, cada uno con cuatro (4) opciones, cabe destacar que al aplicar este procedimiento, se explicó a los encuestados que debían marcar con una (X) a una (1) de las opciones. El espacio en blanco destinado para ello se ubica al lado izquierdo de cada opción.

 PDVSA SUPERINTENDENCIA DE MANTTO. Y LOG. DE TALADROS ENCUESTA PARA ANÁLISIS DE CRITICIDAD			
Fecha:	Equipo:	Sistema:	Cargo:
1	Frecuencia de Falla (Todo tipo de falla)		
	Ninguna por año	1 por año	
	2 por año	Otro (Indique)	
2	Tiempo Fuera de Servicio		
	Menor o igual a 8 horas	Entre 9 y 12 horas	
	Entre 13 y 36 horas	Otro (Indique)	
3	Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente		
	No genera ningún efecto sobre las instalaciones y/o		
	Afecta las instalaciones de manera leve y/o causa daños que no		
	Afecta las instalaciones de manera grave y/o causa daño reversibles		
Afecta la seguridad del personal y/o causa daños irreversibles			

Figura 3.1: Formato de Encuesta Aplicado para Evaluar la Criticidad

Una vez realizadas las encuestas, los resultados de cada ítem se sumaron y promediaron para cada equipo por separado. Con el valor

promedio, se asignó la categoría correspondiente la cual determina la ponderación de cada factor estudiado (Tabla 3.1).

Para evaluar los **Costos de mantenimiento**, se utilizó la información aportada por la empresa PDVSA, respecto a los costos de mantenimiento correctivo y preventivo aplicado a los equipos pertenecientes al taladro en el lapso de un (1) año.

El factor restante, **Impacto en el negocio**, se estableció en función de la tasa diaria asignada al Taladro, la cual es una medida de los costos de operación diarios generados por este activo para la empresa PDVSA.

A fin de obtener el resultado total, toda esta información fue vaciada en el formato de la Figura 3.2.

SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO Y LOGÍSTICA DE TALADROS		REGISTRO DE ENCUESTA DE EVALUACIÓN DE CRITICIDAD										SISTEMA DE EMALMIENTO		TALADRO H 643					
Listado de Equipos a Evaluar		N° Fallas/Año					TFS (hrs)					ISHA		Impacto Negocio		Costos Manm.		PUNTAJE	
Categoría		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1 al 4		1 al 4		1 al 4		Cl. A: 70	
Personas Encuestadas		Promedio					Promedio					Categoría		Prom. TFS * Tasa/hora		Categoría		Cl. B: 60	
		Prom. Categ.					Prom. Categ.					Categoría				Cl. C: 30			
		Prom. Categ.					Prom. Categ.					Categoría							
		Prom. Categ.					Prom. Categ.					Categoría							

LEYENDA
 Escala 1: Bajo
 Escala 2: Medio
 Escala 3: Alto
 Escala 4: Muy Alto

Catg: Categoría
 TFS (hrs): Tiempo Fuera de Servicio (horas)
 Costos Manm.: Costos de Mantenimiento

Cl.A: Criticidad A
 Cl.B: Criticidad B
 Cl.C: Criticidad C

Figura 3.2: Formato para el Registro de los Resultados del Análisis de Criticidad

Como se aprecia en la segunda fila se dispone de unas casillas con los números (1,2,3,4,5) las cuales son una guía para el registro de los resultados en función de las personas encuestadas. En la primera columna se presenta el listado de los equipos bajo evaluación, en las siguientes tres (3) columnas se vacían los resultados derivados de la encuesta aplicada, disponiendo de una casilla para colocar el promedio obtenido y la categoría correspondiente. Seguidamente, las columnas de

Impacto/Negocio y Costos Mantto. tienen un espacio para colocar la categoría resultante. Por último la columna Puntaje tiene como fin registrar la ponderación que determina que criticidad tiene el activo. (Ver Tabla 3.2).

3.5.4 Selección de la Filosofía de Mantenimiento a Utilizar

Las metodologías consideradas fueron: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), Mantenimiento Productivo Total (TPM) y Mantenimiento de Clase Mundial (MCM), ya que, actualmente son consideradas las filosofías más efectivas a fin de crear valor en el área de mantenimiento en las organizaciones. Para seleccionar entre éstas el mejor enfoque para el Taladro H-643 fue necesario obtener una descripción completa del contexto situacional de la organización responsable de su mantenimiento. Realizar esta tarea de manera eficaz conlleva plantear un análisis desde dos (2) enfoques:

Contexto Interno: Se realizó con el propósito de identificar las fortalezas y debilidades de la organización, las cuales son variables endógenas que difieren de acuerdo al fin que persiga la organización.

Contexto Externo: Implicó la recolección y evaluación de información económica, social, tecnológica y competitiva del entorno, con el objeto de identificar las oportunidades y amenazas claves que impactan en la gestión del mantenimiento.

Para aportar objetividad al proceso de selección, se estructuró el sistema de evaluación mostrado en la Figura 3.3.



Figura 3.3: Sistema de Evaluación para Seleccionar la Metodología a Utilizar

Como se aprecia en la figura anterior, al lado izquierdo de cada aspecto considerado, se colocó una casilla en blanco, con el fin de marcarla con los colores: Verde o rojo, para así establecer, en función de ser una fortaleza, oportunidad, debilidad y amenaza, lo siguiente (Tabla 3.3):

Tabla 3.3: Criterios de Evaluación para Selección de la Filosofía a Utilizar

COLOR	SIGNIFICADO
	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Fortaleza: El aspecto considerado potencia o impulsa la aplicación de la metodología evaluada ♦ Debilidad: Establece que el aspecto considerado, es mitigado y/o solucionado por la aplicación de la metodología evaluada ♦ Oportunidad: La metodología evaluada impulsa acciones que permiten a la organización el aprovechamiento de las oportunidades ♦ Amenaza: La metodología en consideración permite, mediante su aplicación, minimizar el efecto de las amenazas de la

	organización
	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Fortaleza: El aspecto considerado resta valor en la aplicación de la metodología evaluada ◆ Debilidad: El aspecto bajo consideración representa una limitación para la aplicación de la filosofía analizada ◆ Oportunidad: Establece que la metodología evaluada impide su mejor aprovechamiento ◆ Amenaza: El aspecto en consideración representa una limitante para la correcta implementación de la metodología evaluada
	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Indica una posición neutral, es decir, la metodología evaluada, no mejora el aspecto considerado y a su vez éste no representa un obstáculo para su implementación

Luego de definir estos aspectos, se evaluaron las metodologías: MCC, TPM, MCM, asignándose un color a cada casilla. Al culminar, los resultados se colocaron en la tabla de la Figura 3.4.

	N° Items	Marcados		Total	% Obtenido
					
Fortalezas					
Debilidades					
Oportunidades					
Amenazas					

Figura 3.4: Tabla para el Registro de los Resultados de la Evaluación Aplicada

En la primera columna se establecen los enfoques abarcados: Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas. En la primera fila, se consideran los siguientes factores: N° Items, Marcados y % Obtenido.

En **N° Items**, se coloca el número de factores considerados, para las Fortalezas son cinco (5), en el caso de las Debilidades son nueve (9), para las Oportunidades son cuatro (4) y por último dos (2) Amenazas.

En **Marcados** se coloca el número de factores marcados de forma, positiva, negativa y neutral (verde, rojo y blanco) e igualmente el **Total**. Por último en **% Obtenido** se coloca el valor alcanzado por la metodología evaluada para cada enfoque.

Cabe destacar que la escala de evaluación es en base al 100%, distribuido de la siguiente manera:

80% para el Contexto Interno, por ser los factores que están bajo control directo de la Superintendencia de Mantenimiento y Logística de Taladros y por tanto pueden tomar acciones de forma inmediata.

20% para el Contexto Externo

La valoración de cada metodología se calculó de la forma siguiente:

1. En la columna de **Marcados**, para cada factor, se toma el valor alcanzado por los puntos verdes, al cual se resta la cantidad total de puntos rojos. Los aspectos marcados en blanco (neutrales), ni suman ni restan puntos. Como se muestra en la Ecuación 3.1.

$$\text{Marcados Verdes} - \text{Marcados rojos} = \text{Total} \quad (3.1)$$

2. El valor resultante de la Ecuación 3.1 se coloca en la columna **Total**
3. A continuación, se calcula el **% Obtenido** por cada metodología evaluada aplicando la Ecuación 3.2 para el caso de las Fortalezas y Debilidades y la Ecuación 3.3 para las Oportunidades y Amenazas.

$$\% \text{ Obtenido (CI)} = \frac{\text{Total} * (\% \text{ Contexto Interno})}{N^{\circ} \text{ Items}} \quad (3.2)$$

$$\% \text{ Obtenido (CE)} = \frac{\text{Total} * (\% \text{ Contexto Externo})}{N^{\circ} \text{ Items}} \quad (3.3)$$

Cabe destacar que el porcentaje máximo para cada categoría de acuerdo al porcentaje previamente asignado, se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4: Porcentajes de las Categorías del Análisis del Contexto Situacional

Categoría	%	Categoría	%
Fortalezas	40	Oportunidades	10
Debilidades	40	Amenazas	10

4. El resultado del cálculo del numeral 3, se registra en la columna % **Obtenido**.

Por último, en la Figura 3.3, en la esquina inferior derecha se presenta un cuadro en el que se registra el porcentaje total alcanzado por la metodología, resultando seleccionada aquella con más alto valor por ser la que mejor se adaptó al contexto situacional presente, ésta fue, la filosofía de **Mantenimiento Centrado en Confiabilidad**.

3.5.5 Aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

A fin de hacer efectiva esta metodología fue necesario llevar a cabo las etapas descritas a continuación:

Formación del Equipo Natural de Trabajo: Se conformó para llevar a cabo la realización del AMEF y la elaboración de las hojas de

registro, tal como lo exige el análisis de MCC. El equipo fue estructurado por personas relacionadas directamente con la operación y el mantenimiento del Taladro H-643.

Elaboración del Análisis de Modos y Efectos de Falla: Con el objeto de sentar las bases para la realización del AMEF se fijó el nivel de detalle a utilizar, el equipo de trabajo tomó la decisión de aplicar el AMEF a cada equipo del taladro con Criticidad A. Seguidamente se presentan los pasos llevados a cabo en esta etapa:

- ◆ Se establecieron las **funciones** primarias y de los dispositivos de seguridad de los equipos.
- ◆ Se plantearon cuales eran las **fallas funcionales**. El equipo de trabajo se encargó de recopilar y analizar esta información.
- ◆ Se definieron cuáles son los **modos de falla**. Con el objeto de lograr un análisis efectivo se establecieron criterios para la escogencia de los modos de fallas, por lo que se estudiaron aquellos que se han presentado con anterioridad en el equipo o en equipos similares, igualmente aquellos que son objetos de tareas de mantenimiento, por último se estudiaron los modos de fallas que no han ocurrido con anterioridad en el equipo o en equipos similares, pero existe la probabilidad de ocurrencia del mismo.
- ◆ Se procedió a describir los **efectos de cada falla**.
- ◆ Toda la información recopilada en esta etapa es vaciada en la *hoja de información*. Un ejemplo de esta hoja se muestra en la Figura 3.5.

POVSA		SMP EN TIENE EN CARGA MANTENIMIENTO Y LOGÍSTICA DE TALADROS		Sistema	Equipo	Modelo	Hoja	De
HOJA DE INFORMACIÓN AMEF <td colspan="2">TALADRO H-643 <td>Recopilado por</td> <td>Fecha</td> <td>Revisado por</td> <td>Fecha</td> <td></td> </td>		TALADRO H-643 <td>Recopilado por</td> <td>Fecha</td> <td>Revisado por</td> <td>Fecha</td> <td></td>		Recopilado por	Fecha	Revisado por	Fecha	
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA	EFECTO DE LOS FALLOS					

Figura 3.5: Hoja de Información MCC

A las funciones y modos de falla se les asigna un número. En cambio, a las fallas funcionales se les asignan letras. Esto sirve para establecer una referencia en la *hoja de decisión*.

Aplicación del Árbol Lógico de Decisión (ALD): El seguimiento del flujograma del ALD propuesto por Aladon LTD (Ver 2.7.1.5), propone cuatro (4) formas de evaluación de las consecuencias de un modo de fallo en específico:

- ◆ Consecuencias de fallo oculto
- ◆ Consecuencias para la seguridad o el medio ambiente
- ◆ Consecuencias operacionales
- ◆ Consecuencias no operacionales

Los resultados de esta evaluación fueron presentados al equipo de trabajo para su respectivo análisis con el objeto de establecer las actividades de mantenimiento más idóneas para los modos de falla estudiados, toda la información generada en este proceso fue registrada en la *hoja de decisión*. La Figura 3.6 muestra un ejemplo de esta hoja.

REFERENCIA DE INFORMACIÓN		CLASIFICACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS			TAREAS DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS		FRECUENCIA DE EJECUCIÓN RECOM.		TAREAS A REALIZAR POR	
F	FF	FM	H	S	E	O				

Figura 3.6: Hoja de Decisión MCC

Fuente: MOUBRAY, J. [6]

Esta hoja se divide en las siguientes secciones:

Referencia de Información: La primera columna (**F**) indica la función a estudiar, la segunda (**FF**) indica la falla funcional, la tercera (**FM**)

indica el modo de fallo a estudiar.

Clasificación de las Consecuencias: Registran la evaluación de las consecuencias siguiendo el flujograma del ALD propuesto. La forma de evaluar estas cuatro (4) columnas (4, 5, 6 y 7) depende de cómo se responda la primera pregunta de cada evaluación de consecuencia (oculta, seguridad y ambiente, operacional y no operacional). A continuación en la Tabla 3.5 se presentan las preguntas en su orden respectivo y que procedimiento seguir en caso que la respuesta sea negativa o positiva.

Tipo de Tarea de Mantenimiento a Realizar: Las siguientes columnas (8, 9, 10, 11, 12 y 13) muestran las actividades a realizar de acuerdo al resto de preguntas planteadas en el ALD siguiendo el orden definido. (Ver Tabla 3.6).

Tabla 3.5: Proceso de Evaluación de Consecuencias según Metodología
MCC

Fuente: MOUBRAY, J. [6]

Letra	Pregunta para Evaluar la Consecuencia	Respuesta Negativa (NO)	Respuesta Positiva (SI)
H (Hide) Oculto	<i>¿Será evidente a los operarios bajo circunstancias normales la pérdida de funciones producidas por este modo de fallo actuando por sí solo en condiciones normales?</i>	Se marca a la columna identificada con la letra H con la letra N , y finaliza la evaluación de consecuencias y se pasa a la columna 8	La columna identificada con la letra H se marca con la letra S y se continúa la evaluación de consecuencias
S (Security) Seguridad	<i>¿Produce este modo de fallo una pérdida de función u otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien?</i>	Se marca la columna identificada con la letra S con la letra N y finaliza el proceso de evaluación de consecuencias y se pasa a la columna 8	Se marca la columna identificada con la letra S con la letra S y se continúa el proceso
E (Environment) Ambiente	<i>¿Produce este modo de fallo una pérdida de función u otros daños que pudieran infringir cualquier normativa o reglamento del medio ambiente?</i>	Se marca a la columna identificada con la letra E con la letra N , y finaliza la evaluación de consecuencias y se pasa a la columna 8	La columna identificada con la letra E se marca con la letra S y se continúa la evaluación de consecuencias
O (Operational) Operacional	<i>¿Ejerce el modo de fallo un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad, servicio o costos operativos además de los de reparación)?</i>	Se marca la columna identificada con la letra O con la letra N y finaliza el proceso de evaluación de consecuencias y se pasa a la columna 8	Se marca la columna identificada con la letra O con la letra S y finaliza el proceso de evaluación

Tabla 3.6: Tipos de Tareas de Mantenimiento a Realizar según ALD

Fuente: MOUBRAY, J. [6]

COLUMNA	IDENTIFICACIÓN ALD	DESCRIPCIÓN
8	TAC H1, S1, O1, N1	♦ Al ser marcada de forma positiva (S) indica que se realizará una tarea a condición
9	TRC H2, S2, O2, N2	♦ Al marcarse positivamente (S) muestra que se efectuará una tarea de reacondicionamiento cíclico
10	TRC H3, S3, O3, N3	♦ Al ser marcada de forma positiva (S) indica que se llevara a cabo una tarea de sustitución cíclica
11	TAREAS "A FALTA DE" H4	♦ Al marcarse positivamente (S) muestra que se realizará una tarea de búsqueda de fallos
12	TAREAS "A FALTA DE"	♦ Define si la falla oculta afecta el medio ambiente o la seguridad, de marcarse

	H5	positivamente (S) el rediseño es obligatorio. Si se marca negativamente (N) no se selecciona actividad alguna (Ningún Mantenimiento Programado)
13	TAREAS “A FALTA DE” S4	♦ Si la respuesta es positiva (S) indica que la falla que afecta la seguridad o al ambiente sólo puede ser mitigado con una combinación de tareas preactivas. Si la respuesta es negativa el rediseño es obligatorio

3.5.6 Definición de las Actividades de Mantenimiento y sus Frecuencias de Aplicación

El ALD da respuesta a las primeras trece (13) columnas de la Hoja de Decisión por lo que es necesario definir las actividades de mantenimiento y sus frecuencias a fin de completar su registro y obtener el plan de mantenimiento (Ver Tabla 3.7).

Tabla 3.7: Tareas de Mantenimiento y sus Frecuencias según ALD

Fuente: MOUBRAY, J. [6]

COLUMNA	IDENTIFICACIÓN ALD	DESCRIPCIÓN
14	TAREAS DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS	♦ Describe de forma concisa la acción específica de mantenimiento a realizar
15	FRECUENCIA DE EJECUCIÓN INICIAL	♦ Establece la frecuencia inicial y dinámica de la realización de la tarea de mantenimiento
16	TAREA A REALIZAR POR	♦ Indica al personal encargado de llevar a cabo la tarea seleccionada

Las frecuencias obtenidas por el Equipo Natural de Trabajo se basaron en: Experiencia del personal, recomendaciones del fabricante y

se tomaron aquellas que mostraron ser efectivas durante su aplicación en el plan de mantenimiento anterior.

Al culminar la etapa anterior, se procedió a elaborar el programa de mantenimiento por equipo, el cual, fue dividido en cincuenta y dos (52) semanas según recomendación de la norma técnica de PDVSA N° MR-02-15-05. Se planteó en base a las siguientes frecuencias: Diaria, Semanal, Mensual, Cuatrimestral, Semestral, Anual y en función de las horas de

El formulario presentado en la imagen es un formato para el programa de mantenimiento del equipo MALACATE. Está dividido en varias secciones:

- ENCABEZADO:** Incluye el logo de PDVSA y el texto: "SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO Y LOGÍSTICA DE TALADROS PROGRAMA DE MANTENIMIENTO EQUIPO: MALACATE".
- DIARIA:** Una tabla con columnas para "Actividad", "A realizar por", y "Hrs Estimadas".
- MENSUAL:** Una tabla con columnas para "Fecha a Realizar", "Oper", "Semana", y una columna de "SEMANAS" con 52 celdas.
- SEMESTRAL:** Una tabla con columnas para "Fecha a Realizar", "Oper", "Semana", y una columna de "SEMANAS" con 52 celdas.
- ANUAL:** Una tabla con columnas para "Fecha a Realizar", "Oper", "Semana", y una columna de "SEMANAS" con 52 celdas.
- OTRAS:** Una tabla con columnas para "Actividad", "Frecuencia", "A realizar por", y "Hrs Estimadas".

En la parte inferior del formulario, se encuentran los campos "Elaborado por:" y "Fecha:".

Figura 3.7: Formato Utilizado en la Presentación del Programa de Mantenimiento
Fuente: Propia

3.5.7 Elaboración del Estudio Económico

Mediante las técnicas de VAN y TIR se estimarán, basándose en el valor actual, los costos que se generarían en los próximos cinco (5) años, por la aplicación del plan de mantenimiento propuesto para el lapso de un (1) año. En base a esto se puede realizar una comparación con los costos actuales de mantenimiento del Taladro H-643 y así comprobar la

factibilidad económica de la aplicación del plan desarrollado en esta investigación. Esta etapa conlleva los siguientes procedimientos:

Tasa Inflacionaria Promedio: Para estimarla a los próximos cinco (5) años se realizó una regresión lineal usando las siguientes ecuaciones:

$$Y = A + BX \quad (3.4)$$

Donde:

Y = Valor Estimado de la Variable Dependiente

X = Variable Independiente

B = Pendiente de la Línea de Regresión

A = Intersección de la Línea de Regresión con el eje Y

La pendiente de la línea de regresión y la intersección con el eje Y se calcularon mediante las Ecuaciones 3.5 y 3.6:

$$B = \frac{\sum X * Y - \bar{Y} \sum X}{\sum X^2 - \bar{X} \sum X} \quad (3.5)$$

$$A = \bar{Y} - B\bar{X} \quad (3.6)$$

Donde:

B = Pendiente de la Línea de Regresión

A = Intersección de la Línea de Regresión con el eje Y

X*Y = Producto de la Variable Independiente y Dependiente Utilizada en el Estudio

\bar{Y} = Promedio de la Variable Dependiente Utilizada en el Estudio

X = Variable Independiente Utilizada en el Estudio

X^2 = Valor de la Variable Independiente Elevada al Cuadrado

\bar{X} = Promedio de la Variable Independiente Utilizada en el Estudio

Primeramente se establecen los datos concernientes a las tasas inflacionarias emitidas por el Banco Central de Venezuela para el período 2001-2007, teniendo como base el año 2007. En función a éstos, se construyó la Tabla 3.8.

Tabla 3.8: Registro de Datos de la Regresión Lineal

Fuente: RUBILAR, R. [10]

AÑO O	X	INFLACIÓN (Y)	X * Y	X ²	Y ²

Al extremo izquierdo de la Tabla se colocó el **año** en estudio, en la próxima columna, se estableció el valor de la variable **X** en el rango [-3.3] (esto se asignó en función a la cantidad de años en estudio). La siguiente columna se utilizó para los valores **Y**, representados por la tasa de inflación del año en estudio. En la columna cuatro (4) se colocó el valor del producto **X*Y**, y en las últimas dos (2) columnas se registraron los valores de las variables **X²** y **Y²** respectivamente. Seguidamente, se estima la Desviación Estándar (Ecuación 3.7), la cual es una medida del porcentaje de desviación del resultado obtenido.

$$S_{yX} = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - A \sum Y - B \sum X * Y}{N - 2}} \quad (3.7)$$

Donde:

S_{yX} = Desviación Estándar

N = Número de Períodos de Evaluación

Y² = Valor Estimado de la Variable Dependiente Elevado al Cuadrado

A = Intersección de la Línea de Regresión con el eje Y

Y = Valor Estimado de la Variable Dependiente

B = Pendiente de la Línea de Regresión

X*Y= Producto de la Variable Dependiente e Independiente

Estimación de la Tasa Mínima Atractiva de Retorno: Arroja el valor mínimo de la tasa, necesario para que el plan propuesto sea financieramente aceptable. Para ello se utiliza la Ecuación 3.8.

$$TMAR = I + F + I * F \quad (3.8)$$

Donde:

TMAR= Tasa Mínima Atractiva de Retorno

I= Tasa Inflacionaria Promedio

F= Tasa de Riesgo

La Tasa Inflacionaria Promedio (*I*) corresponde a la estimada en el paso anterior. La Tasa de Riesgo (*F*) fue proporcionada por la Gerencia de Finanzas de PDVSA, teniendo el valor de 15%.

Flujo Actual Neto y Proyectado: Corresponde a la cantidad de efectivo real que entra y sale durante el período de tiempo en estudio, o sea, un (1) año. Para calcularlo es necesario conocer el valor total de la inversión inicial necesaria a fin de poner en marcha el plan propuesto.

Luego de haber calculado el flujo actual neto se proyectó éste valor a los cinco (5) años que corresponde al período en estudio (2009 -2013), usando la Ecuación 3.9:

$$FANP = FAN \times (1 + I)^N \quad (3.9)$$

Donde:

FANP= Flujo Actual Neto Proyectado

FAN= Flujo Actual Neto

I= Tasa Inflacionaria Promedio

Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno: Se determinó el VAN usando la Ecuación 3.10:

$$VAN = \frac{\sum FAN}{(1 + TMAR)^N} - IO \quad (3.10)$$

Donde:

VAN = Valor Actual Neto

N = Número de Período de Evaluación

FAN = Flujo Actual Neto

IO = Inversión Inicial

TMAR = Tasa Mínima Atractiva de Retorno

Los criterios de aceptación o rechazo de un proyecto según el VAN se presentan en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9: Criterios de Aceptación del Plan Propuesto en función del VAN

Fuente: RUBILAR, R. [10]

VAN = $X > 0$	El plan permite un ahorro de X unidades monetarias por encima de lo exigido	Se acepta el plan
VAN	El plan propuesto no logra	Se

$= Y < 0$	una disminución de los costos	rechaza el plan
-----------	-------------------------------	------------------------

Al ser aceptado el plan propuesto se calculó la Tasa Interna de Retorno, empleando la Ecuación 3.11:

$$IO = \frac{\sum FAN}{(1+TIR)^N} \quad (3.11)$$

Donde:

TIR = Tasa Interna de Retorno

N = Número de Período de Evaluación

FAN = Flujo Actual Neto

IO = Inversión Inicial

Este valor se compara con la Tasa Mínima Atractiva de Retorno (TMAR), debiendo ser mayor que la anterior, lo que indica la rentabilidad económica del proyecto en evaluación.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DEL TRABAJO

4.1 Contexto operacional del taladro h-643

El Taladro de Servicios a Pozos H-643 (Ver Figura 4.1), tiene como funciones las siguientes operaciones: Extraer e introducir las cabillas y tuberías de producción (reemplazo de tuberías rotas o con fisuras), sustitución de equipos de sub-suelo (bombas de fondo, empaaduras, ancla de torque y tubing), limpieza y estimulación de pozos, pruebas de presión, de arena y reemplazo de cabezales de pozo. Para esto dispone de una potencia de 350 HP.

Sus operaciones abarcan un tiempo promedio de 3,5 días/pozo, (operando 24 horas/día) por lo que, continuamente el taladro es mudado de un pozo a otro en los campos que comprende el Distrito San Tomé.



Figura 4.1: Taladro de Servicios a Pozos H-643

Fuente: Propia

Este taladro está constituido por seis (6) sistemas principales, estructurados por diferentes equipos mecánicos, eléctricos, hidráulicos y

neumáticos. Los mismos se encargan de llevar a cabo una función diferente dentro del contexto operativo. La descripción de cada sistema se presenta a continuación:

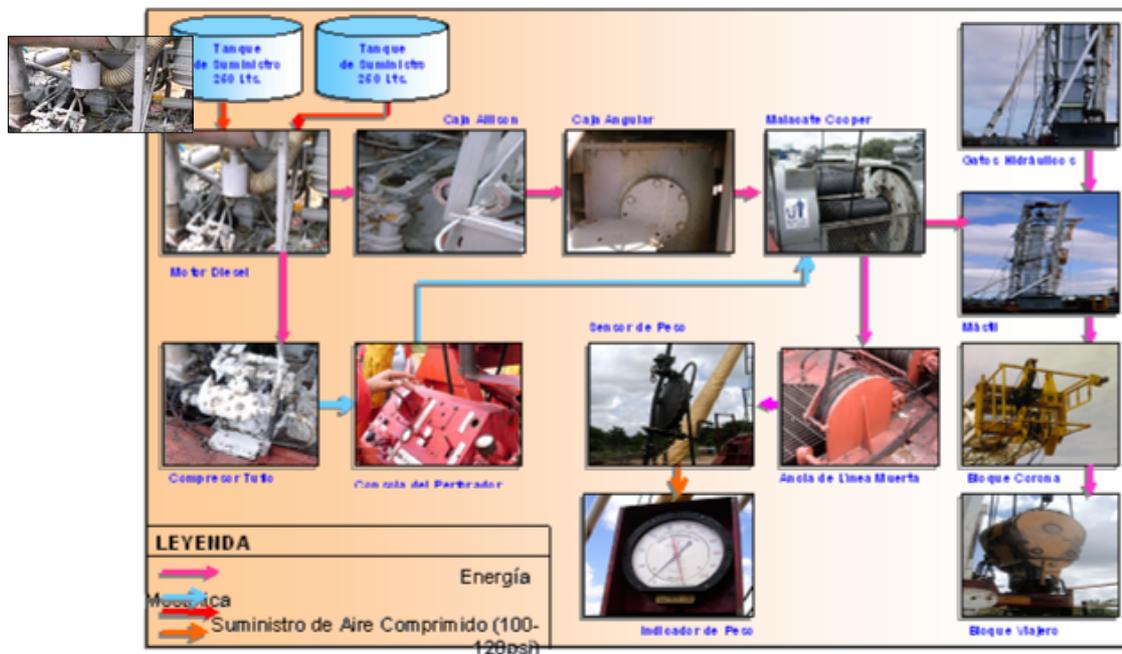
4.1.1 Sistema de Izamiento

Proporciona la estructura de soporte y el equipo de izamiento, empleado para desplazar y suspender la sarta de producción a fin de realizar las operaciones en el pozo. La Tabla 4.1 presenta la descripción de cada equipo que conforma este sistema.

Identificación	Equipo	Descripción
<p>A1</p> 	<p>Motor Diesel Detroit 8V-71</p>	<p>Genera la potencia mecánica usada en los sistemas de izamiento e hidráulico</p> <p>Transfiere potencia mediante un cardán hasta A2</p> <p>La velocidad de operación está entre 600 -1200 rpm</p> <p>El combustible necesario para su funcionamiento es suministrado desde dos (2) tanques de 250 Litros c/u</p> <p>Transfiere potencia mecánica hasta A11</p> <p>Dispone de arranque eléctrico</p>
<p>A2</p> 	<p>Caja de Transmisión Allison CLT-5860</p>	<p>Recibe potencia mecánica a través de un cardán desde A1 y la transfiere hasta A3 mediante un cardán</p> <p>Tiene conectado un Power Take Off Chelsea, la conexión se realiza mediante una serie de engranajes</p> <p>Opera a una velocidad que oscila entre 600-1200 rpm</p> <p>Es automática y dispone de seis (6) velocidades</p>
<p>A3</p> 	<p>Caja de Transmisión Angular Cooper</p>	<p>La potencia mecánica que recibe desde A2 la entrega a A5 mediante un embrague neumático tipo twin disc</p> <p>El rango de velocidad de operación es 600-1200 rpm</p>
	<p>Malacate Cooper</p>	<p>Es el centro de control de energía del sistema</p> <p>Su prestación oscila en el izamiento de cargas de 1290-80000 Libras</p> <p>Está constituido por un carrito de ocho (8) pulgadas de diámetro alrededor del cual se envuelve la guaya de 7/8</p>

		<p>de pulgada. Esta permite el desplazamiento vertical de la sarta y/o su permanencia en posición suspendida</p> <p>Esta equipado con un sistema de frenos de banda y un sistema de frenado automático de seguridad conocido como crow-o-matic</p> <p>Dispone de un carrito para operaciones de swabeo, o sea, izar cargas entre 1000 y 10000 Libras empleando una guaya de ½ pulgada</p>
	<p>Mástil Cooper</p>	<p>Es una estructura de acero cuya función principal es soportar el peso de las tuberías y cabillas a utilizar en los pozos, además brinda soporte a varios elementos</p> <p>Se eleva perpendicularmente sobre el chasis de la unidad portante gracias a dos (2) gatos de izamiento hidráulico de tres (3) etapas cada uno – con una altura de setenta (70) pies</p>
<p>Identificación</p>	<p>Equipo</p>	<p>Descripción</p>
<p>A5</p> 	<p>Mástil Cooper</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Anualmente es sometido a una certificación por parte de un ente externo, el cual aplica el mantto. que sea necesario y a su vez valida la carga máxima a soportar por el mástil operacionalmente por el período antes mencionado
<p>A6</p> 	<p>Bloque Corona Corod</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Esta ubicado en la parte superior del mástil ◆ Sostiene y guía la guaya, soportando cargas en un rango de 1290-82000 Libras, para lo que está equipado de un ensamble de cuatro (4) poleas de veinticuatro 24 pulgadas de diámetro y ranuras de 7/8 de pulgada ◆ Representa el soporte del bloque viajero, con el que interactúa a través de dos (2) de sus poleas ◆ Adicionalmente está equipado en la parte superior con dos (2) poleas de cuatro (4) pulgadas de diámetro que son utilizadas para guiar la guaya de los dos (2) winches disponibles en el taladro
	<p>Bloque Viajero Mc Kissick</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Es un sistema de poleas móviles que permiten bajar, subir y suspender cargas comprendidas entre 1290-80000 Libras a través de la guaya de 7/8 de pulgada de diámetro

		<ul style="list-style-type: none"> ◆ Dispone de dos (2) poleas de diecisiete (17) pulgadas de diámetro con ranuras de 7/8 de pulgada, las cuales están guarnecidas con la guaya proveniente de las poleas del bloque corona (que a su vez viene desde el carrito principal del malacate) estableciéndose así la conexión
	Ancla de Línea Muerta Cooper	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Es un dispositivo en el que se envuelve y fija un extremo de la guaya a fin de dar soporte al sistema de aparejos ◆ Se ubica sobre la plataforma portante ◆ Tiene conectado a A9
A9 	Sensor de Peso Martin Decker Clipper Sealite	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Mide el peso de la carga izada por el bloque viajero, con una capacidad de medida de 200000 Libras ◆ Está integrado por un sistema hidráulico que emite una señal al indicador de peso Wagner, en el que se aprecia visualmente la medición realizada
A10 	Cónsola del Perforador Cooper	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Es el centro de mando de todo el sistema de izamiento ◆ Se activa por el aire comprimido suministrado por A11 ◆ Mediante señales neumáticas enviadas hasta A4 permite al operador controlar las operaciones de izamiento ◆ Mediante señales neumáticas activa y desactiva a B1
A11 	Compresor Tu-Flo 1000	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Haciendo uso de la energía mecánica que recibe desde A1, comprime aire hasta una presión que oscila entre 80-120 psi y lo transfiere hasta A10 ◆ Es de tipo reciprocante



4.1.2 Sistema Hidráulico

Está formado por un conjunto de elementos provistos para distribuir el aceite hidráulico a altas presiones a través de un circuito a lo largo de la estructura del taladro, con la finalidad de accionar diferentes mecanismos que transforman la energía hidráulica en mecánica. La descripción de cada equipo se presenta en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Descripción del Sistema Hidráulico

Identificación	Equipo	Descripción
B1 	Power Take Off Chelsea	Transfiere potencia mecánica desde A2 hasta B2 mediante un cardán Tiene capacidad de operar entre 600-1200 rpm Es activado mediante una señal neumática proveniente desde A10
B2 	Caja de TransmisiónH	Su función es suministrar a las bombas hidráulicas la potencia mecánica necesaria para su operatividad mediante un sistema de engranajes

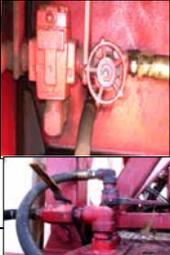
	horizontal Marco Seattle	Opera en un rango de velocidad de 600-1200rpm
B3 	Bomba s Hidráulicas Cooper	<p>Suministran la energía hidráulica necesaria en el taladro proporcionando una presión de 2000 psi cada una y un caudal continuo de 50 galones/minuto</p> <p>El aceite hidráulico usado en el sistema se encuentra almacenado en un tanque con capacidad de 176 Galones, el cual se conecta a las dos (2) bombas a través de mangueras</p> <p>Están conectadas en paralelo</p> <p>El fluido que se descarga se dirige hasta B4</p>
B4 	Válvula Reguladora de Presión Cooper	<p>Se emplea para reducir la presión en el circuito desde 2000 hasta 1200 psi, ya que, este es el valor adecuado para la operación de los diversos componentes, además, de esta forma limita la presión máxima de trabajo, con independencia de los cambios de presión que se generen en el sistema</p> <p>A la descarga dispone de dos (2) salidas, una hasta B5 y la otra hasta B6</p>
	Válvula de Pase Cooper	Suministra el aceite hidráulico a 1200 psi que recibe desde B4 hasta las llaves de tuberías y cabillas al momento de ser operadas
B6 	Panel de Control Hidráulico Cooper	<p>Es abastecida de aceite hidráulico a 1200 psi desde B4</p> <p>Permite al operador accionar los winches y gatos de izamiento</p>

Tabla 4.2: Descripción del Sistema Hidráulico (Continuación)

Identificación	Equipo	Descripción
B7 	Llave de Tuberías Farr	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Disponen del aceite hidráulico necesario para su operación desde B5 ◆ Se usan para el enrosque y desenrosque de tubería en la boca del pozo ◆ Están equipadas con una línea de salida de baja presión a fin de que el aceite ya utilizado retorne al tanque de almacenamiento
B8 	Llave de Cabillas BJ	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Disponen del aceite hidráulico necesario para su operación desde B5 ◆ Se usan para el enrosque y desenrosque de cabillas

		<p>en la boca del pozo</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Están equipadas con una línea de salida de baja presión a fin de que el aceite ya utilizado retorne al tanque de almacenamiento
<p>B9</p> 	<p>Winches Hidráulicos Branden</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ El aceite a 1200 psi moviliza un tambor en el cual se enrosca una guaya de carga de ½ pulgada para el izamiento de herramientas en la superficie ◆ Disponen de una línea de salida que envía el fluido hidráulico al tanque de almacenamiento ◆ Tienen una capacidad de izamiento de 10000 y 5000 Libras respectivamente
<p>B10</p> 	<p>Gatos Hidráulicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Estos gatos telescópicos son de 3 etapas cada uno ◆ Su función es elevar el mástil a 90° respecto al chasis del taladro, e igualmente bajarlo cuando resulte necesario ◆ Están equipados con líneas de salida para retornar el fluido utilizado al tanque de almacenamiento

El flujograma ilustrado con fotografías de este sistema se encuentra en la Figura 4.3.

4.1.3 Sistema de Potencia Eléctrica

Genera la potencia primaria requerida en el sitio para operar casi todos los componentes del taladro. Dispone de un motor de combustión interna y un generador, transfiere la energía en forma eléctrica a todos los sistemas del taladro que la requieren para realizar sus funciones.

A continuación la Tabla 4.3 desglosa los equipos que conforman dicho sistema.

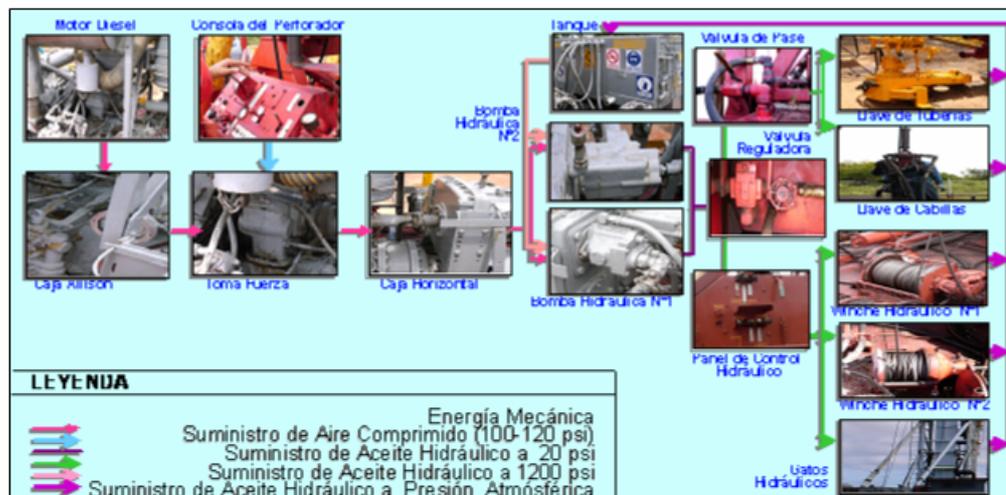


Figura 4.3: Flujograma del Sistema Hidráulico del Taladro H-643

Fuente: Propia

Tabla 4.3: Descripción del Sistema de Potencia Eléctrica

Fuente: Propia

Identificación	Equipo	Descripción
C1 	Motor Diesel Detroit 4L-71	Genera y transmite mediante un cardán, 175 HP de potencia de manera continua hasta C2 Opera a una velocidad constante de 1800 rpm El gasoil necesario para su funcionamiento es abastecido por el tanque de suministro de 1700 Litros Esta equipado de arranque eléctrico
C2 	Generador AC - Delco	Recibe de forma ininterrumpida 175 HP de potencia desde C1, la cual transforma en energía eléctrica con dos (2) salidas, 220 y 110 Voltios Tiene una capacidad de 175 Kw El voltaje generado se transmite hasta C3 Este sistema no dispone de otra unidad motor-generador de reserva
C3 	Panel Eléctrico	Recibe energía eléctrica desde C2 y la distribuye en cuatro (4) salidas: La primera salida de 220 Voltios es hacia C4 La segunda salida de 220 Voltios surte la potencia eléctrica

		<p>hasta cada uno de los motores eléctricos que operan en el taladro, éstos son: Motor de bomba centrífuga para el combustible, motor de bomba triplex acoplada al acumulador Koomey y los dos (2) motores de los compresores de aire</p> <p>Otra salida suministra voltaje de 220 Voltios al sistema de alumbrado de la estación de bombeo del taladro</p> <p>La cuarta salida surte voltaje 220/110 Voltios hasta el campamento de tres (3) trailers integrados al taladro</p>
<p>C4</p> 	<p>Panel de Distribución de Voltaje Rig – a- Lite</p>	<p>Permite la distribución de energía eléctrica a todo el sistema de alumbrado del taladro, incluyendo el mástil</p> <p>Está ubicado en el chasis de la unidad portante</p>

El flujograma de este sistema se muestra en la Figura 4.4.

4.1.4 Sistema de Seguridad y Circulación

Bombee fluidos de variadas composiciones, usados en la estimulación, limpieza y pruebas de presión de pozo, también bombea un tapón hidrostático de seguridad al pozo al momento de realizar las diversas operaciones. En cuanto a la seguridad, tiene como función principal controlar mecánicamente una arremetida (Entrada de fluido de alta presión en el interior del pozo), que puede convertirse en un reventón (Flujo incontrolado desde la formación hasta la superficie). En la Tabla 4.4 se presenta la descripción de los equipos que conforman este sistema.

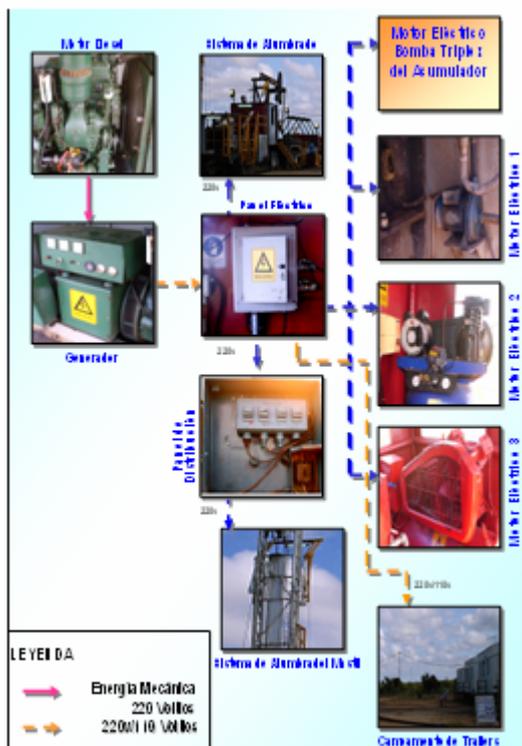


Figura 4.4: Flujograma del sistema de Potencia Eléctrica del taladro H-643

Fuente: propia

Tabla 4.4: Descripción del Sistema de Seguridad y Circulación

Fuente: Propia

Identificación	Equipo	Descripción
<p>D1</p> 	<p>Motor Diesel Detroit 8V-71</p>	<p>Genera potencia mecánica y la transmite mediante un cardán hasta D2</p> <p>Su operación es intermitente, es decir, sólo mientras la bomba triplex está en funcionamiento</p> <p>Tiene arranque eléctrico</p> <p>Opera a una velocidad que oscila en el rango de 600 – 1200 rpm</p>
<p>D2</p> 	<p>Caja de Transmisión Allison 750</p>	<p>Recibe potencia desde D1 y a través de un cardán la transfiere hasta D3</p>
	<p>Bomba De</p>	<p>Mediante un cardán recibe potencia mecánica desde D2</p>



	Lodo Triplex National JWS 165	Esta conformada por tres (3) pistones, que en conjunto bombean mínimo 200 galones/minuto El fluido a bombear es succionado desde D5 Su operación es intermitente
D4	Múltiple de Distribución de Fluido Demco	Transporta el fluido bombeado por D3 hasta el pozo Es un sistema de distribución de flujo constituido por un ensamblaje de tuberías con varias salidas laterales controladas por válvulas manuales Las tuberías que lo conforman tienen dos (2) pulgadas de diámetro y está compuesto de siete (7) válvulas Está conectado al mudcross, mediante un sistema de mangueras de dos (2) pulgadas de diámetro, a fin de dirigir el influjo del pozo hasta D5 o D6, según sea el caso
		
D5	Tanque de Fluido	Contiene un volumen máximo de 45 Barriles (7154.43 Litros). Almacena el fluido que será bombeado hasta el pozo
D6	Tanque Quemador	Tiene una capacidad de 500 barriles (79493.6 Litros) Se usa para almacenar el influjo del pozo que no será utilizado nuevamente
		

Tabla 4.4: Descripción del Sistema de Seguridad y Circulación
(continuación)

Identificación	Equipo	Descripción
D7	Válvula Impide Reventones Shaffer	Es de tipo ariete doble, de nueve (9) pulgadas de diámetro, es accionada por el operador mediante D8 Tiene como función principal controlar mecánicamente una arremetida y evitar que ésta se convierta en un reventón. Este control se efectúa por medio del cierre hidráulico del pozo con grandes bloques de caucho integral, conocidos como ranes
		
D7	Válvula Impide Reventones Shaffer	Dispone de ranes para el cierre de las tuberías con diámetros de 2 7/8, 3 1/2 y 4 1/2 de pulgada Tiene acoplado un mudcross el cual permite la circulación del influjo fuera del pozo y lo dirige hasta D4 Cada vez que el taladro inicia operaciones en un pozo, se
		

		<p>prueba su funcionamiento como medida de seguridad y para detectar cualquier anomalía</p> <p>Se certifica anualmente por entes externos, que le efectúan mantenimiento mayor y diferentes pruebas</p>
<p>D8</p> 	<p>Acumulador de Presión Koomey</p>	<p>Tiene capacidad de almacenar fluido hidráulico a 3000 psi, y dispone de tres (3) botellas, con capacidad de once (11) galones c/u</p> <p>Su operación está basada en el principio de expansión del gas. Primero, las tres (3) botellas acumuladoras se precargan con gas nitrógeno, luego el fluido hidráulico se bombea dentro de la cámara de almacenamiento mediante las bombas triplex y neumática del equipo, comprimiendo el gas a mil (1000) psi. Cuando se requiere el fluido para cerrar la válvula impide reventones, sale de la cámara de almacenamiento por la expansión natural del gas al reducirse la presión</p> <p>El fluido se transmite hasta D7 mediante una red de tuberías y mangueras de alta presión, proporcionando un cierre en pocos segundos</p> <p>Está dotado de un sistema a fin de que el fluido hidráulico retorne al equipo</p> <p>Cuando el taladro inicia operaciones en un pozo, se prueba su funcionamiento como medida de seguridad y a fin de detectar cualquier anomalía</p> <p>Es indispensable su certificación semestral por parte de entes externos, los cuales le realizan mantenimiento mayor y diferentes pruebas</p>

A continuación, la Figura 4.5 muestra el flujograma ilustrado con fotografías del Sistema de Seguridad y Circulación.

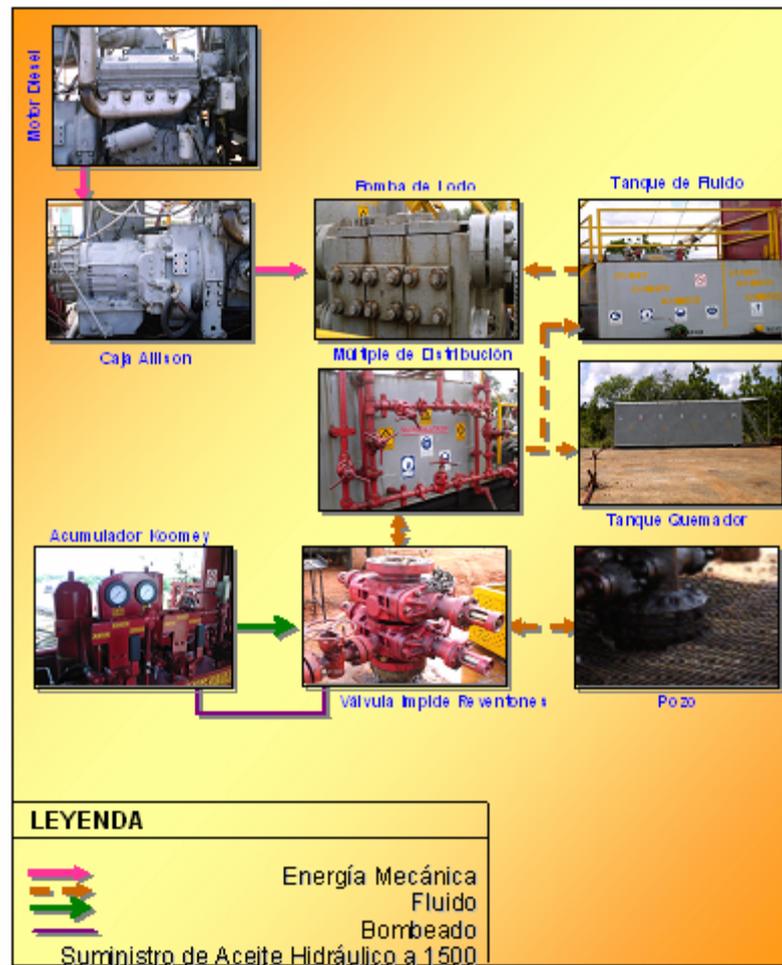


Figura 4.5: Flujograma del Sistema de Seguridad y Circulación

Fuente: Propia

4.1.5 Sistema Neumático

Está conformado por dos (2) compresores de émbolo oscilante (pistones), conectados en paralelo, es decir, operan alternándose, manteniéndose siempre una unidad en reserva mientras la otra se encuentra en funcionamiento un conjunto de elementos, cuya función es suministrar aire comprimido a través de un circuito de tubos y mangueras con la finalidad de accionar los diferentes equipos neumáticos del taladro.

La descripción de dicho sistema se presenta en la Tabla 4.5 y la Figura 4.6 expone su flujograma.

Tabla 4.5: Descripción del Sistema Neumático

Identificación	Equipo	Descripción
<p>E1</p> 	<p>Compresor Ingersoll Rand</p>	<p>Tiene acoplado un motor eléctrico, al que se suministra potencia eléctrica a 220 Voltios desde C3</p> <p>Es el compresor principal del sistema, es de dos (2) etapas (baja y alta presión), con capacidad de operar a 120 psi</p> <p>Dispone de un tanque que almacena un volumen de sesenta (60) Galones, que sirve para estabilizar el suministro de aire comprimido y compensar las oscilaciones de presión en la red de tuberías a medida que se consume el fluido</p> <p>Su función principal es suministrar aire comprimido a una presión comprendida entre 100 - 120 psi a la bomba neumática Koomey de la unidad de control hidráulico, la cual permite mantener la presión del acumulador en el rango de 2600 – 2900 psi.</p> <p>Adicionalmente, el aire comprimido es utilizado en operaciones de limpieza superficial, cuando es requerido en el taladro. Para esto, dispone de mangueras de ½ pulgada, a fin de suministrar el fluido comprimido al área de trabajo</p>

Tabla 4.5: Descripción del Sistema Neumático

Identificación	Equipo	Descripción
<p>E2</p> 	<p>Compresor Campbell Hausfeld</p>	<p>Está acoplado a un motor eléctrico que recibe potencia eléctrica a 220 Voltios desde C3</p> <p>Es el compresor auxiliar del sistema, es de una (1) etapa, con capacidad de operar a 135 psi y conectado a un motor eléctrico de 7 HP</p> <p>Cuenta con un tanque que almacena un volumen de sesenta (60) Galones, que sirve para estabilizar el</p>

		suministro de aire comprimido y compensar las oscilaciones de presión en la red de tuberías a medida que se consume el fluido
--	--	---



Figura 4.6: Flujograma del sistema neumático del taladro H-643

4.1.6 Sistema de Gasoil

Suministra el combustible que requieren los motores diesel que integran el taladro. El gasoil es bombeado desde tanques mediante una red de tuberías hasta los motores. La Tabla 4.6 muestra la descripción de este sistema.

Tabla 4.6: Descripción del Sistema de Gasoil

Identificación	Equipo	Descripción
F1 	Tanque de Reserva	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Tiene una capacidad de 4320 Litros, y es abastecido semanalmente por camiones cisternas ◆ Está conectado con F2
F2 	Tanque de	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Tiene una capacidad de 1700 Litros

	Suministro	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Es abastecido por F1 ◆ Suministra el combustible a C1 y D1
F3 	Bomba Centrifuga	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bombea gasoil desde F2 hasta C1 y F1 ◆ Está acoplada a un motor eléctrico de ¼ de HP al que se surte de energía eléctrica a 220 Voltios desde C3

El flujograma del sistema descrito anteriormente se presenta en la Figura 4.7.

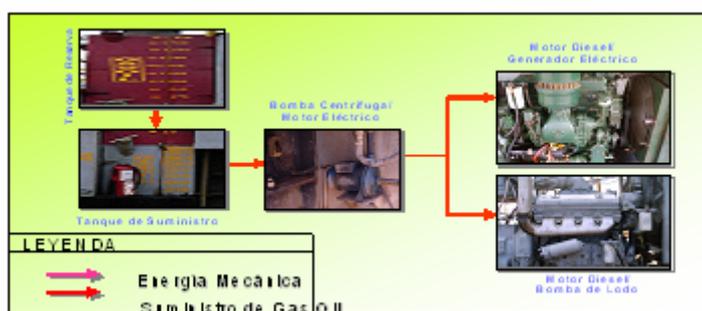


Figura 4.7: flujograma del sistema de gasoil del taladro H-643

Como parte de la identificación del contexto operacional es necesario establecer ciertos detalles que se observaron durante esta fase. Los sistemas de Izamiento, Seguridad y Circulación y Potencia Eléctrica son los que presentan más elevadas tasas de fallas.

En todo el taladro el mantenimiento correctivo es el más aplicado, además el mantenimiento preventivo aplicado es rutinario. Por otra parte, el estado general externo de los equipos se encuentra en buenas condiciones (pintura, limpieza, etc.).

Por último, las Figuras 4.8 y 4.9 presentan el flujograma completo del taladro, en dichas figuras se aprecia la interacción existente entre los

seis (6) sistemas descritos anteriormente.

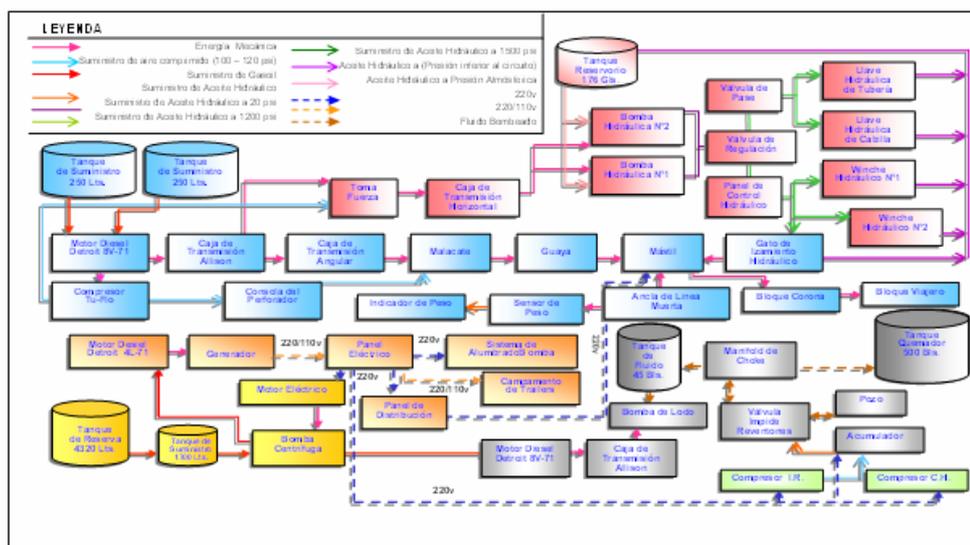


Figura 4.8: Flujograma del Taladro H-643

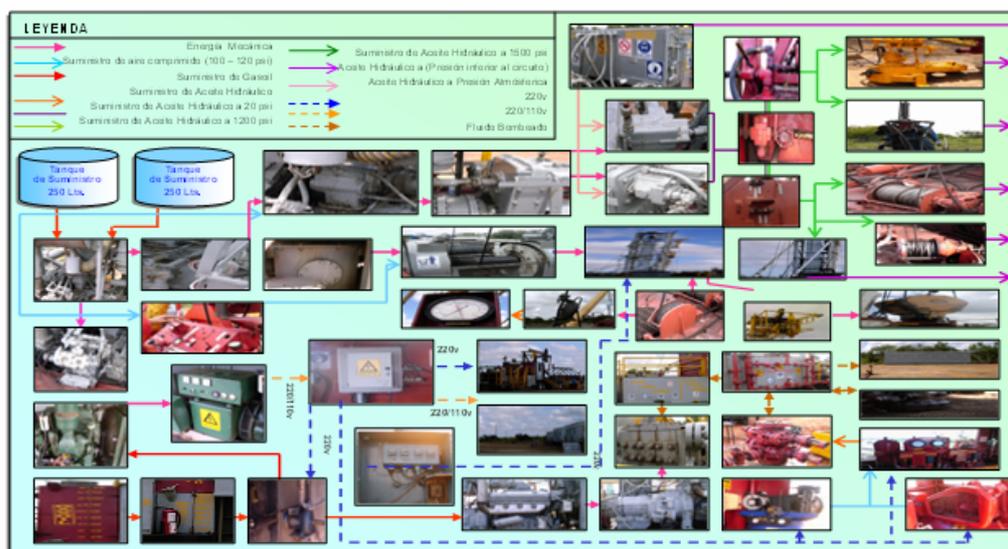


Figura 4.9: Interacción de los sistemas del taladro H-643

4.2 Análisis de criticidad de los equipos del taladro h-643

Para determinar cuáles son los activos con Criticidad A del Taladro H-643, se aplicó la Matriz de Criticidad ABC. El análisis se realizó considerando los requerimientos de la Superintendencia de Mantto. y Log. de Taladros en su situación actual y lo propuesto por PDVSA en la Norma Técnica N° MR-02-15-03.

La clasificación de la criticidad se basó en la evaluación de las *Consecuencias*, las mismas, fueron tomadas como la suma de los factores expuestos a continuación:

Frecuencia de Fallas: Como su nombre lo indica, es el número de veces que se repite un evento considerado como falla dentro de un período de tiempo, que, a efectos de este estudio, será de un (1) año.

Tiempo Fuera de Servicio: Es un indicador del tiempo en el cual un activo se encuentra “indisponible” o fuera de operaciones a causa de una falla. Está medido en horas.

Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente: Indica el impacto que causa sobre la seguridad, la higiene y el medio ambiente la falla de un equipo.

Costos de Mantenimiento: Es un indicador enfocado en el costo generado por la aplicación de mantenimiento (preventivo y correctivo) a los equipos del taladro.

Impacto en el Negocio: Es un indicador de la pérdida económica derivada del tiempo fuera de servicio de los equipos debido a las reparaciones. Se expresa en función de la tasa diaria asignada al taladro.

Es calculado mediante la Ecuación 4.1:

$$IN = MTFS * Tasa / Hora \quad (4.1)$$

Como se muestra en la Tabla 4.7, a cada factor se le asignó una ponderación y se clasificó en cuatro (4) categorías.

Tabla 4.7: Ponderación de los Factores de Evaluación de Criticidad y sus Categorías

FACTOR	PONDERACIÓN DE C/FACTOR	CATEGORÍAS	PONDERACIÓN DE C/CATEGORÍA
Frecuencia de Fallas	20	BAJA (1) F = 0	4
		MEDIA (2) 1 ≤ F ≤ 2	10
		ALTA (3) 3 ≤ F ≤ 4	14
		MUY ALTA (4) 5 ≤ F	20
Tiempo Fuera de Servicio (horas)	20	BAJA (1) TPR ≤ 8	4
		MEDIA (2) 9 ≤ TPR ≤ 12	10
		ALTA (3) 13 < TPR ≤ 36	14
		MUY ALTA (4) TPR > 36 horas	20
Impacto en Seguridad Higiene y Ambiente	30	BAJA (1) No genera ningún efecto sobre las instalaciones y/o ambiente	2
		MEDIA (2) Afecta las instalaciones de manera leve y/o causa daños que no violan normativas ambientales	14

		ALTA (3) Afecta las instalaciones de manera grave y/o causa daños reversibles al medio ambiente	22
		MUY ALTA (4) Afecta la seguridad del personal y/o causa daños irreversibles al ambiente	30
Costos de Mantenimiento (Bs. F.)	20	BAJA (1) CM ≤ 50000	4
		MEDIA (2) 50000 < CM ≤ 70000	10
		ALTA (3) 70000 < CM ≤ 90000	14
		MUY ALTA (4) CM > 90000	20
Impacto en el Negocio (Bs. F.)	10	BAJA (1) IN ≤ 5000	2
		MEDIA (2) 5000 < IN ≤ 10000	4
		ALTA (3) 10000 < IN ≤ 20000	6
		MUY ALTA (4) IN > 20000	10

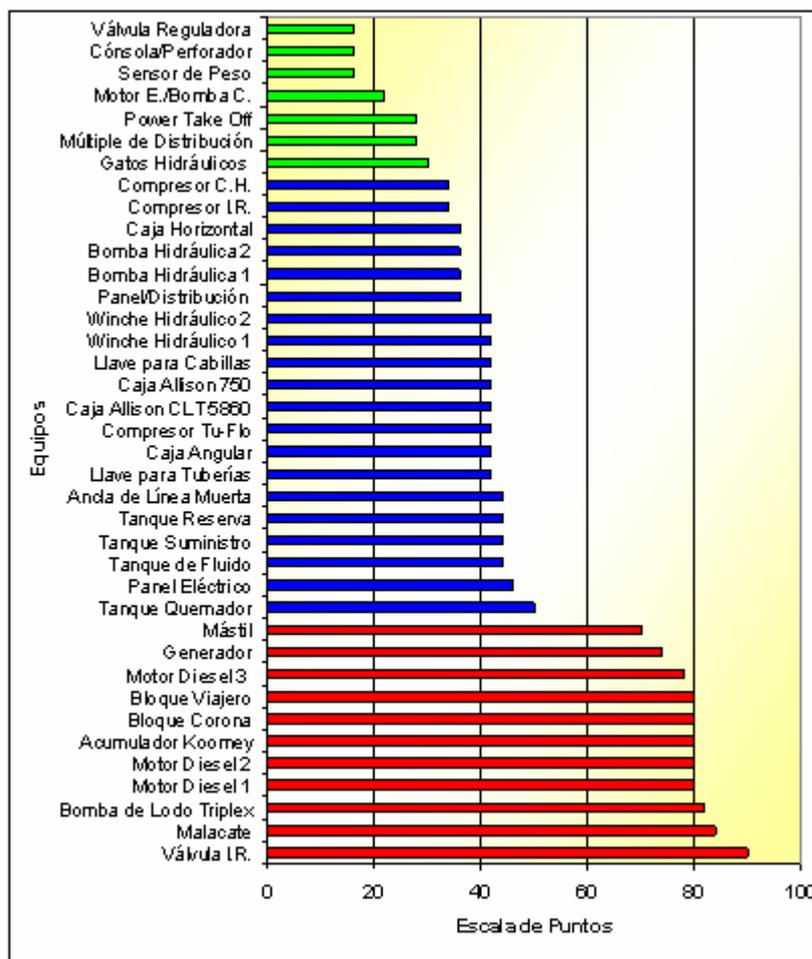
Los resultados obtenidos en las encuestas aplicadas se presentan en la Figura 4.10, específicamente para el Sistema de Izamiento. Como se observa, se encuentran desglosados en el formato diseñado para tal fin. En el Anexo A se exponen los formatos del resto de los sistemas analizados.

 SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO Y LOGÍSTICA DE TALADROS REGISTRO DE ENCUESTA DE EVALUACIÓN DE CRITICIDAD SISTEMA DE IZAMIENTO TALADRO H.643 						
Listado de Equipos a Evaluar	N° Fallas Año	TFS(hrs)	ISHA	Impacto Negocio	Costos Mantto.	PUNTAJE
Escala →	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 al 4	1 al 4	Cri. A: 70
Personas Encuestadas →	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	Prom. TFS* Tasa/hora	1 al 4	31<Cri.B<69
	Promedio	Promedio	Categoría	Categoría		9<Cri.C<30
Motor Diesel BV-71(N°1)	4 5 4 5 5	48 72 36 36 36	2 2 1 2 2	3	4	80
	Prom.5 Catg.4	Prom.46 Catg.4	Catg.2			
Compresor Tu-Flo 1000	1 1 2 1 2	12 72 36 36 48	1 1 1 1 1	3	1	42
	Prom.1 Catg.2	Prom.41 Catg.4	Catg.1			
Caja de Transmisión Allison CLT 596D	1 2 2 1 2	72 48 12 36 36	1 1 1 1 1	3	1	42
	Prom.2 Catg.2	Prom.41 Catg.4	Catg.1			
Caja de Transmisión Angular Cooper	1 1 2 3 3	48 48 12 36 36	1 1 1 1 1	3	1	42
	Prom.2 Catg.2	Prom.41 Catg.4	Catg.1			
Malacate Cooper	2 3 2 3 3	36 48 8 8 12	4 4 4 4 4	3	4	84
	Prom.3 Catg.3	Prom.22 Catg.3	Catg.4			
Bloque Corona Corof	1 1 1 2 2	48 36 36 36 36	4 4 4 4 4	3	3	80
	Prom.1 Catg.2	Prom.38 Catg.4	Catg.4			
Bloque Viajero Mc. Kissick	1 2 1 2 2	48 36 36 48 36	4 4 4 4 4	3	3	80
	Prom.2 Catg.2	Prom.41 Catg.4	Catg.4			
Arca de Línea Muerta	0 1 0 0 0	0 8 8 8 8	4 4 4 4 4	1	1	44
	Prom.0 Catg.1	Prom.8 Catg.1	Catg.4			
Sensor de Peso Martin Decker Clipper Sealite	0 0 0 0 0	0 8 8 8 8	1 1 1 1 1	1	1	16
	Prom.0 Catg.1	Prom.8 Catg.1	Catg.1			
Cónsola del Perforador Cooper	0 0 0 0 0	0 8 8 8 8	1 1 1 1 1	1	1	16
	Prom.0 Catg.1	Prom.8 Catg.1	Catg.1			
Mástil Cooper	0 0 0 0 0	36 36 72 36 36	4 4 4 4 4	3	2	70
	Prom.0 Catg.1	Prom.44 Catg.4	Catg.4			

LEYENDA

Escala 1: Bajo	Catg. Categoría	ISHA: Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente	Cri.A: Criticidad A
Escala 3: Alto	Escala 2: Medio	TFS (hrs): Tiempo Fuera de Servicio (horas)	Cri.B: Criticidad B
	Escala 4: Muy Alto	Costos Mantto: Costos de Mantenimiento	Cri.C: Criticidad C

Según el valor de *Consecuencias* obtenido, se evaluó la criticidad de acuerdo a lo establecido en la Tabla 4.7. Los resultados para todos los equipos estudiados se presentan en la Tabla 4.8.



Seguidamente, en la Figura 4.11 se presentan gráficamente los resultados expuestos en la Tabla 4.8.

Los equipos que resultaron con Criticidad A y por ende fueron seleccionados a fin de aplicarles la metodología seleccionada son:

- ◆ Malacate
- ◆ Bomba de Lodo
- ◆ Motor Diesel N°1 (Sistema de Izamiento)
- ◆ Motor Diesel N°2 (Sistema de Seguridad y Circulación)
- ◆ Motor Diesel N°3 (Sistema de Potencia Eléctrica)
- ◆ Bloque Viajero

- ◆ Bloque Corona
- ◆ Generador
- ◆ Válvula Impide Reventones
- ◆ Acumulador Koomey
- ◆ Mástil

Se debe connotar que para los equipos: Válvula Impide Reventones, Acumulador Koomey y Mástil, el mantenimiento y certificación, son realizados por entes externos a la empresa PDVSA, por tanto, se excluyeron del análisis realizado.

4.3 Selección de la filosofía de mantenimiento a utilizar

Resultó indispensable describir el contexto situacional actual de la Superintendencia en cuestión, ya que, al conocer los factores internos y externos que determinan su desempeño, se puede hacer frente a la decisión de cuál filosofía es la más idónea para gestionar el mantenimiento de los activos del Taladro H-643.

4.3.1 Análisis del Contexto Situacional

Abarcó el análisis de las Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas que enfrenta la organización, las cuales son presentadas en las Tablas 4.9, 4.10, 4.11 y 4.12 respectivamente.

Tabla 4.9: Fortalezas del Contexto Situacional

 FORTALEZAS	DESCRIPCIÓN
Personal con experiencia en el manejo y funcionamiento de los equipos	El personal que labora en el área de mantenimiento conoce el funcionamiento de los equipos del taladro, además, tiene experiencia en el manejo de las fallas y sus causas

	Dominan los procedimientos de trabajo y los aplican de manera correcta
Disposición por parte del personal a asumir nuevos retos que conlleven a mejorar su dinámica de trabajo	<p>El personal muestra disciplina a la hora de realizar sus actividades y están motivados a adquirir nuevos conocimientos que se traduzcan en una mejora sustancial en la calidad de los trabajos que realizan</p> <p>Muestran disposición de realizar nuevas actividades siempre y cuando sepan por que lo hacen y que mejoras introducirían</p>
Feed-Back entre el personal de diversas disciplinas	El personal de mantenimiento está conformado por un grupo multidisciplinario que mantiene una buena comunicación permitiendo que exista complementariedad y apoyo en sus diversas actividades
Dispone de los recursos económicos para la implementación de una filosofía de mantenimiento actual	La empresa dispone de los recursos económicos necesarios para implementar una nueva filosofía de gestión de activos (asesoría externa, capacitación, adquisición de nuevos equipos, etc.)
Capacitación continua del personal	Varias veces por año, el personal recibe capacitación externa referente a su área de conocimiento

Tabla 4.10: Debilidades del Contexto Situacional

DEBILIDADES	DESCRIPCIÓN
No se maneja un historial de falla de los equipos	<ul style="list-style-type: none"> ◆ La Superintendencia no dispone de un registro de las fallas acontecidas a los equipos, por tanto, no pueden definirse de forma clara el Tiempo promedio entre fallas (TPEF), el Tiempo promedio fuera de servicio (TPFS) y el Tiempo promedio para reparar (TPPR) ◆ El personal no desestima su importancia

<p>El mantenimiento predictivo no es tomado en cuenta como una herramienta eficaz para la prevención de fallas</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Aunque el personal tiene conocimientos relacionados con las técnicas predictivas que podrían utilizarse, éstas no son aplicadas en ninguno de los sistemas
<p>Por no disponer del personal y los equipos necesarios en la aplicación de técnicas de mantenimiento predictivo, requiere del apoyo de la Gerencia de Mantenimiento Mayor</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ De emprender la tarea de aplicar mantenimiento predictivo a los activos, por no contar con los equipos y personal necesarios, debe solicitar el apoyo de la Gerencia antes mencionada, este hecho, limita la programación y aplicación a la disponibilidad de los mismos
<p>Carencia de un sistema de indicadores de la gestión de mantenimiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ No se hace uso de ningún indicador que permita recolectar la información necesaria a fin de medir la gestión de mantenimiento ◆ El desempeño es apreciado de forma cualitativa y personal
<p>Predomina la aplicación de mantenimiento reactivo</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Debido a la desorganización existente, la mayoría del mantenimiento aplicado al taladro es reactivo, esto es reflejado en los costos generados
<p>El poco mantenimiento preventivo se realiza a intervalos fijos</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ La frecuencia de ejecución de actividades es concebida de forma estática ◆ No se ha permitido la flexibilidad necesaria para introducir mejoras
<p>No existe una planificación conjunta entre los departamentos de mantenimiento, producción y procura para la ejecución de las acciones de mantenimiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Éstos departamentos realizan sus programaciones de forma independiente, lo que en muchas oportunidades ha causado la postergación de actividades necesarias para el buen funcionamiento de los equipos
<p>No se tiene establecido un orden de prioridades para la ejecución de las acciones de mantenimiento de aquellos sistemas que lo requieran</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Las acciones son planificadas de forma arbitraria, es decir, sin un orden específico que establezca su prioridad de ejecución

Tabla 4.11: Oportunidades del Contexto Situacional

OPORTUNIDADES	DESCRIPCIÓN
Mercado petrolero creciente	<ul style="list-style-type: none"> ◆ En el ámbito mundial continúa la dependencia a los hidrocarburos como medio energético principal ◆ Aunado a esto se suma la crítica situación de los países de Cercano y Medio Oriente, principales surtidores de crudo a escala mundial. Esto provoca una demanda excesiva de petróleo y sus derivados
Políticas internas de PDVSA que van en búsqueda de la Confiabilidad Operacional mediante la implantación de filosofías actuales de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> ◆ La empresa procura alcanzar altos estándares en materia operacional y de mantto. que le permitan posicionarse a la par de las grandes corporaciones mundiales, para ello busca hacer uso de nuevas tecnologías a fin de alcanzar su misión en dicha área (Ver 1.1.2)
Mayor número de empresas dedicadas al mantenimiento predictivo y capacitación profesional	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Más que nunca hay un auge de empresas dedicadas a prestar servicios y capacitación en mantenimiento predictivo, esto pone a disposición de la organización, profesionales altamente capacitados en técnicas predictivas a fin de formar al personal propio en estas actividades
Implementación de software para la administración del mantenimiento (SAP-PM)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Esta disponible la estructura necesaria para la utilización de este software ◆ El SAP-PM cubre las actividades de mantto., dando soporte a la planificación y ejecución de la gestión, con énfasis en la disponibilidad de equipos, costos y aseguramiento del personal, garantizando de esta manera el mejoramiento de los procesos del negocio ◆ Su aplicación representaría mejoras sustanciales a la gestión de mantenimiento de la Superintendencia

Tabla 4.12: Amenazas del Contexto Situacional

AMENAZAS	DESCRIPCIÓN
Depende de un proceso de procura externo	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bariven es la Gerencia encargada de llevar a cabo todos los procesos de procura ◆ La Superintendencia en cuestión depende de los lineamientos, reglamentaciones y procesos de la gerencia antes mencionada para el suministro de repuestos y equipos
Carece de un sistema independiente de almacenamiento para los equipos y herramientas	<ul style="list-style-type: none"> ◆ La Gerencia de Bariven es la encargada de la administración de los almacenes del Dtto. San Tomé, por tanto, la organización está sujeta a las reglamentaciones y disposiciones que emita Bariven

4.3.2 Selección de la Metodología a Aplicar

Las Matrices de Evaluación diseñadas para llevar a cabo la selección de la metodología a utilizar se muestran en las Figuras 4.12, 4.13 y 4.14 para las filosofías MCC, TPM, MCM respectivamente.

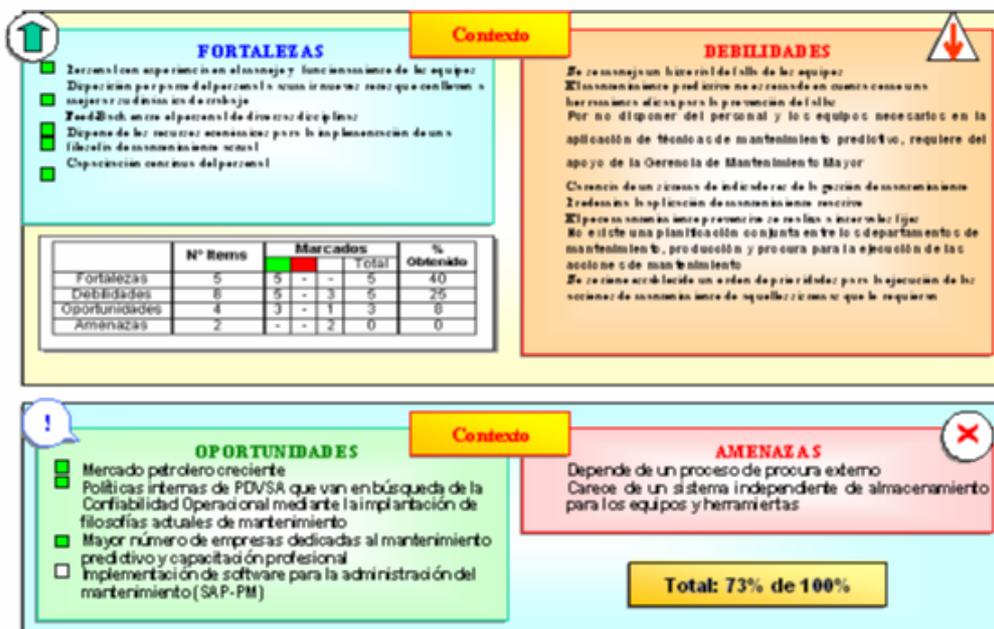


Figura 4.12: Evaluación de la Metodología MCC en función del Contexto Situacional

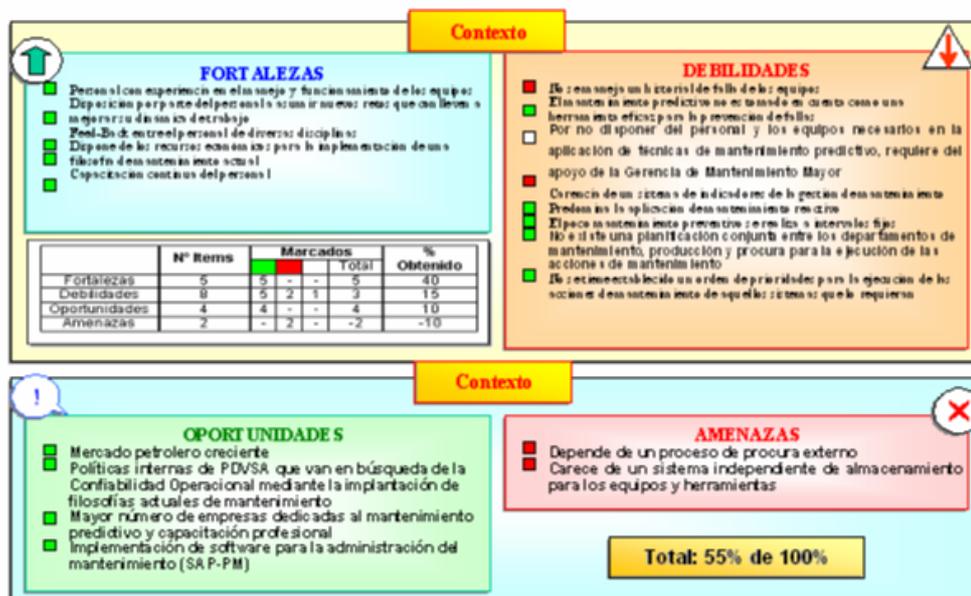


Figura 4.14: Evaluación de la metodología MCM en función del contenido

En función al porcentaje obtenido se demostró que para el contexto situacional en estudio, la filosofía que más se adapta es el **Mantenimiento Centrado en Confiabilidad** con un total de **73%**, debido a que dispone de las herramientas necesarias para un mejor aprovechamiento de las fortalezas de la organización, además es la que aporta mayores soluciones ante las debilidades estudiadas y éstas no representan una limitación para la aplicación del MCC, ya que, genera una amplia base de datos de mantenimiento, impulsa la utilización del mantenimiento predictivo, propicia la planificación conjunta entre los departamentos de mantenimiento y operaciones, entre otros. En función del contexto externo, otorga la plataforma adecuada para impulsar el uso de las oportunidades presentes y se muestra neutral ante las amenazas que aquejan a dicha organización.

Por otra parte, las metodologías de **Mantenimiento Productivo Total** y **Mantenimiento de Clase Mundial** obtuvieron **58% y 55%** respectivamente. Esto indica que aunque aportan soluciones a la problemática planteada, éstas son limitadas. En cuanto al contexto externo, las amenazas latentes de un proceso de procura externo y de carecer de un sistema independiente de almacenes, coaccionan e impiden que estas metodologías sean aplicadas con eficacia, debido a su naturaleza de establecer procesos integrales que engloben todos éstos aspectos.

4.4 Aplicación de la filosofía de mantenimiento centrado en confiabilidad

El inicio de la aplicación de la metodología MCC es el Análisis de los Modos y Efectos de Falla (AMEF), a fin de realizarlo correctamente resulta indispensable plantear el contexto operacional del sistema a estudiar, esto se efectuó como requisito necesario para la comprensión plena de la situación planteada (Ver 4.1).

4.4.1 Elaboración del Análisis de los Modos y Efectos de Falla (AMEF)

Con el apoyo del Equipo Natural de Trabajo se procedió a elaborar el AMEF (Ver 3.5.5) de cada equipo con Criticidad A. En dicho proceso, se vació

la respectiva hoja de información como lo establece la metodología MCC. Las Figuras 4.15, 4.16, 4.17 y 4.18 muestran las Hojas de Información generadas para el primer equipo analizado (Malacate Cooper). En el Anexo B se encuentran el resto de las Hojas de Información.

 					
SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA TALLERES DE TUBERÍA		Malacate Cooper	Malacate Cooper	Malacate Cooper	Malacate Cooper
FUNCIONES	FALTA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTO DE LAS FALLAS		
Controlar el nivel de aceite y verificar que el sistema de lubricación funcione correctamente.	Falta de aceite y/o aceite de mala calidad.	1. Falta de aceite y/o aceite de mala calidad.	1. El sistema de lubricación se detiene, provocando el sobrecalentamiento del motor y la parada del equipo.		
		2. Falta de aceite y/o aceite de mala calidad.	2. El sistema de lubricación se detiene, provocando el sobrecalentamiento del motor y la parada del equipo.		
		3. Falta de aceite y/o aceite de mala calidad.	3. El sistema de lubricación se detiene, provocando el sobrecalentamiento del motor y la parada del equipo.		

Figura 4.15: Hoja de Información N.º 1 de 4 del Malacate Cooper

 					
SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA TALLERES DE TUBERÍA		Malacate Cooper	Malacate Cooper	Malacate Cooper	Malacate Cooper
FUNCIONES	FALTA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTO DE LAS FALLAS		
Controlar el nivel de aceite y verificar que el sistema de lubricación funcione correctamente.	Falta de aceite y/o aceite de mala calidad.	1. Falta de aceite y/o aceite de mala calidad.	1. El sistema de lubricación se detiene, provocando el sobrecalentamiento del motor y la parada del equipo.		
		2. Falta de aceite y/o aceite de mala calidad.	2. El sistema de lubricación se detiene, provocando el sobrecalentamiento del motor y la parada del equipo.		
		3. Falta de aceite y/o aceite de mala calidad.	3. El sistema de lubricación se detiene, provocando el sobrecalentamiento del motor y la parada del equipo.		

Figura 4.16: Hoja de Información N.º 2 de 4 del Malacate Cooper

 					
SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA TALLERES DE TUBERÍA		Malacate Cooper	Malacate Cooper	Malacate Cooper	Malacate Cooper
FUNCIONES	FALTA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTO DE LAS FALLAS		
Controlar el nivel de aceite y verificar que el sistema de lubricación funcione correctamente.	Falta de aceite y/o aceite de mala calidad.	1. Falta de aceite y/o aceite de mala calidad.	1. El sistema de lubricación se detiene, provocando el sobrecalentamiento del motor y la parada del equipo.		
		2. Falta de aceite y/o aceite de mala calidad.	2. El sistema de lubricación se detiene, provocando el sobrecalentamiento del motor y la parada del equipo.		
		3. Falta de aceite y/o aceite de mala calidad.	3. El sistema de lubricación se detiene, provocando el sobrecalentamiento del motor y la parada del equipo.		

Figura 4.17: Hoja de Información N.º 3 de 4 del Malacate Cooper

 					
SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA TALLERES DE TUBERÍA		Malacate Cooper	Malacate Cooper	Malacate Cooper	Malacate Cooper
FUNCIONES	FALTA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTO DE LAS FALLAS		
Controlar el nivel de aceite y verificar que el sistema de lubricación funcione correctamente.	Falta de aceite y/o aceite de mala calidad.	1. Falta de aceite y/o aceite de mala calidad.	1. El sistema de lubricación se detiene, provocando el sobrecalentamiento del motor y la parada del equipo.		

Figura 4.18: Hoja de Información N.º 4 de 4 del Malacate Cooper

4.4.2 Aplicación del Árbol Lógico de Decisión (ALD)

Con la parte 4.4.1 completada, se respondieron las cuatro (4) primeras preguntas del MCC. Las restantes tres (3) son contestadas mediante la aplicación del ALD. Con dicho fin se tomó como referencia *El Diagrama de Decisión RCM II* presentado en 2.7.1.4, y se aplicó la metodología explicada en 3.5.5. En las Figuras 4.19 y 4.20 se muestran las Hojas de Decisión generada en el análisis del primer equipo (Malacate Cooper), las Hojas de Decisión restantes se muestran en el Anexo C.

Figura 4.19: Hoja de Decisión N.º 1 de 2 del Malacate Cooper

Figura 4.20 Hoja de Decisión N.º 2 de 2 del Malacate Cooper

A continuación, en la Tabla 4.13 se presentan los criterios de selección de frecuencias utilizados.

Tabla 4.13: Criterios de Selección de Frecuencias Utilizados

TAREAS	FRECUENCIA Y DESCRIPCIÓN	CRITERIO DE SELECCIÓN DE FRECUENCIA
Tareas a Condición	♦ Deben ser ejecutadas durante la operación de los equipos y con	En función a

<p>Basadas en los Sentidos Humanos</p>	<p>frecuencias semanales, cuatrimestrales, semestrales y anuales</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Su aplicación dependerá de la disponibilidad del equipo en la fecha prevista para su ejecución 	<p>recomendaciones del fabricante y la experiencia del personal</p>
<p>Tareas a Condición Basadas en Efectos Primarios</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Deben ser realizadas diariamente durante la operación del equipo ◆ Dado que existen instrumentos dedicados a monitorear ciertas variables durante la operación del equipo (presión, velocidad, etc.) se debe llevar un registro detallado de estas variables 	<p>En función a la experiencia del personal</p>
<p>Tareas a Condición Basadas en Monitoreo de Condición</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Deben ser ejecutadas con frecuencias cuatrimestrales y anuales ◆ La aplicación de estas tareas dependerá de la disponibilidad del equipo en la fecha prevista para su ejecución 	<p>Según la experiencia del personal en equipos similares y la técnica de monitoreo escogida</p>

Tabla 4.13: Criterios de Selección de Frecuencias Utilizados
(Continuación)

TAREAS	FRECUENCIA Y DESCRIPCIÓN	CRITERIO DE SELECCIÓN DE FRECUENCIA
<p>Tareas de Reacondicionamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Estas actividades deben ser realizadas a diversas frecuencias, 	<p>Fueron escogidas por la</p>

nto Cíclico	<p>de acuerdo a los equipos: diaria, semanal, mensual, semestral, cada 800 Ton/Millas y cada 12000 horas de servicio</p> <p>♦ Su ejecución dependerá de la disponibilidad del equipo en la fecha prevista para su realización</p>	<p>efectividad de las mismas durante su aplicación en el plan de mantto. anterior y de acuerdo a recomendaciones del fabricante</p>
Tareas de Sustitución Cíclica	<p>♦ Se seleccionaron diez (10) actividades de sustitución cíclica, cuya frecuencia será semestral y en el caso de los Motores Diesel, cada 250 horas de operación y 12000 horas de servicio durante la realización del overhaul</p>	<p>Se seleccionaron por su efectividad durante su aplicación en el plan de mantenimiento anterior</p>
Tareas de Búsqueda de Fallos:	<p>♦ Serán realizadas por los operadores a una frecuencia diaria, en el caso del Crow-o-Matic, al iniciar las operaciones del taladro. En el caso de la válvula de alivio de la Bomba de Lodo, la frecuencia de la actividad será semanal y estará a cargo de los mecánicos</p>	<p>Se escogió por recomendación del fabricante y experiencia del personal</p>

Las siguientes Tablas y Gráficos muestran los resultados finales obtenidos por el análisis MCC.

Tabla 4.14: Cantidad de Funciones, Tipos y Modos de Falla

Equipo	Cantidad de Funciones	Tipo de Falla		Cantidad de Modos de Falla
		Evidente	Oculto	
Malacate	3	11	4	15
Bomba de Lodo	2	13	1	14
Motor Diesel N°1	1	21	0	21
Motor Diesel N°2	1	21	0	21
Motor Diesel N°3	1	21	0	21
Bloque Viajero	1	5	0	5
Bloque Corona	1	4	0	4
Generador	1	8	0	8
TOTAL	11	104	5	109

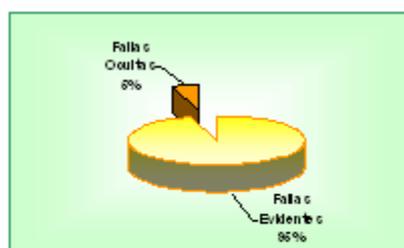


Figura 4.21: Gráfica de la Distribución. Porcentaje de Fallas Evidentes y Ocultas

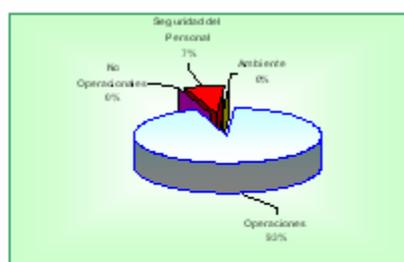


Figura 4.22: Gráfica de la Distribución. Porcentaje de Modos de Falla Clasificados

Tabla 4.16: Cantidad de Tareas de Mantenimiento Propuestas

Equipo	Tareas a Condición	Reacondicionamiento cíclico	Sustitución Cíclica	Búsqueda de Fallo	Ningún Mantenimiento	Rediseño
Malacate	9	2	0	2	4	0
Bomba de Lodo	9	3	1	1	5	0
Motor Diesel N°1	12	4	3	0	5	0
Motor Diesel N°2	12	4	3	0	5	0
Motor Diesel N°3	12	4	3	0	5	0
Bloque Viajero	4	1	0	0	0	0
Bloque Corona	3	1	0	0	0	0
Generador	7	1	0	0	1	0
TOTAL	68	20	10	3	24	0

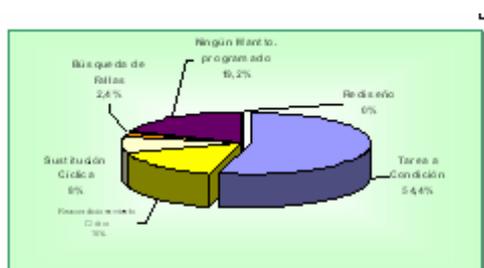


Figura 4.2.3: grafica de la distribución porcentual de tipos de tareas

4.5 Documentación del plan de mantenimiento basado en la metodología mcc

En base a las Hojas de Decisión generadas en el análisis MCC se procedió a elaborar un programa de mantenimiento de cincuenta y dos (52) semanas. Éste se dividió en quincenal, cuatrimestral, semestral y anual. En el programa se muestra la tarea a realizar, las horas – hombres estimadas y la semana correspondiente para su ejecución (programada y real). Para fijar la fecha probable de ejecución de la actividad se consideró no sobrecargar de actividades una misma semana, igualmente se tomó en cuenta la disponibilidad del personal. Seguidamente, en las Figuras 4.25 y 4.26, se muestran los dos (2) primeros programas obtenidos, el resto se presentan en el Anexo D.

SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO Y LOGÍSTICA DE TALADROS					
PROGRAMA DE MANTENIMIENTO					
EQUIPO: MALACATE					
DIARIA					
Actividad:		A realizar por:	En H Estimada:		
Inspección del nivel de lubricación, comprobación de un nivel mínimo		Mecánico	0,15 (15 min)		
Revisión analítica de nivel del aceite o grasa, según sea requerido		Operador	0,15 (15 min)		
Verificar presión de aire en el panel del perforador, en rango normal es 90 - 120 psi		Operador	0,15 (15 min)		
Verificar los niveles de combustible, aceite y lubricación de los accesorios de línea a mano		Operador	0,15 (15 min)		
SEMANAL					
Tarea a Realizar	Frec.	MM	SEMANAS		
Inspección de la Línea de Taladro de Tronadura	Mecánico	0,25 (25 min)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
Comprobación de Equilibrio del Sistema de Trabajo	Mecánico	0,25 (25 min)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
SEMESTRAL					
Tarea a Realizar	Frec.	MM	SEMANAS		
Medición de Tolerancias de Dimensiones	Mecánico	0,5 (30 min)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
Revisión de los niveles de los aceites y grasas	Mecánico	0,5 (30 min)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
Revisión de la presión de trabajo	Mecánico	1 (60 min)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
ANUAL					
Tarea a Realizar	Frec.	MM	SEMANAS		
Inspección del Estado del Taladro (línea de Tronadura)	Mecánico	0,5 (30 min)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
Revisión de los niveles de los aceites y grasas	Mecánico	1 (60 min)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
Revisión de la presión de trabajo	Mecánico	1 (60 min)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
OTRAS					
Actividad:	Frecuencia:	A realizar por:	En H Estimada:		
Comer la grasa 1,00 grms	Una vez por semana	Operador de taladro	0,15 (15 min)		
<table border="1"> <tr> <td>Estimado</td> <td>Real</td> </tr> </table>				Estimado	Real
Estimado	Real				

Figura 4.25: Programa de Mantenimiento del Malacate. Taladro H-643

SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO Y LOGÍSTICA DE TALADROS					
PROGRAMA DE MANTENIMIENTO					
EQUIPO: BOMBA DE LODO					
DIARIA					
Actividad:		A realizar por:	En H Estimada:		
Inspección del buen funcionamiento de la bomba centrífuga		Mecánico	0,15 (15 min)		
Verificar el nivel de aceite en el edificio de potencia. De ser necesario agregar		Mecánico	0,25 (15 min)		
Limpiar cámara de asentamiento de lubricante		Operador	0,15 (15 min)		
SEMANAL					
Tarea a Realizar	Frec.	MM	SEMANAS		
Inspección Mensual de Unidades de Taladro de Tronadura	Mecánico	0,25 (25 min)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
Cambiar Fluidos de Trabajo de la Línea de Taladro	Operador	0,25 (25 min)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
Revisión de los niveles de los aceites y grasas	Mecánico	0,25 (25 min)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
Revisión de la presión de trabajo	Mecánico	0,25 (25 min)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
Revisión de los niveles de los aceites y grasas	Mecánico	0,25 (25 min)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
Revisión de la presión de trabajo	Mecánico	0,25 (25 min)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
SEMESTRAL					
Tarea a Realizar	Frec.	MM	SEMANAS		
Ajuste de Tensiones de los cables	Mecánico	0,25 (25 min)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
Inspección General de Potencia	Mecánico	0,25 (25 min)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
Revisión de los niveles de los aceites y grasas	Mecánico	1 (60 min)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
Ajuste de Tensiones de los cables	Mecánico	0,25 (25 min)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
Revisión de los niveles de los aceites y grasas	Mecánico	0,25 (25 min)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
Revisión de la presión de trabajo	Mecánico	0,25 (25 min)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
Revisión de los niveles de los aceites y grasas	Mecánico	0,25 (25 min)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
Revisión de la presión de trabajo	Mecánico	0,25 (25 min)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
<table border="1"> <tr> <td>Estimado</td> <td>Real</td> </tr> </table>				Estimado	Real
Estimado	Real				

Figura 4.26: Programa de Mantenimiento de Bomba de Lodo. Taladro H-643

4.6 Indicadores de la gestión de mantenimiento

A continuación, se proponen indicadores para medir y evaluar la gestión de mantenimiento a fin de asegurar que las actividades vayan en el sentido correcto y así apreciar los resultados de la aplicación del plan propuesto frente a sus objetivos. Los indicadores propuestos se presentan en la Tabla 4.17

Tabla 4.17: Indicadores de Mantenimiento Propuestos

INDICADOR Y ECUACIÓN UTILIZADA
PARA EL CONTROL DE LA PLANIFICACIÓN
Desviación de la Planificación (DP)
<p>Indica la relación entre las Horas Hombre pendientes por ejecutar mantenimiento preventivo con relación a las Horas Hombre planificadas. Indica cuan eficiente ha sido la planificación</p> $\%DP = \frac{HH \text{ Planificadas} - HH \text{ Ejecutadas}}{HH \text{ Planificadas}} \times 100$
Cumplimiento de Programas de Mantenimiento Preventivo (CPMP)
<p>Mide el cumplimiento de los programas de mantenimiento preventivo de los equipos del sistema productivo en un período preestablecido</p> $\%CPMP = \frac{ODT \text{ Ejecutadas de Mantto Preventivo}}{ODT \text{ Programas de Mantto Preventivo}} \times 100$

Relación Mantenimiento Correctivo/Mantenimiento Preventivo (MC/MP)
<p>Es importante destacar que si el indicador es >1 significa que hay muchos trabajos realizados con emergencia, en un período determinado. Mientras mayor mantenimiento se realice menor cantidad de correctivo será necesario</p>
$\text{Relación.de.Mantto} = \frac{\% \text{ Mantto. Correctivo}}{\% \text{ Mantto. Pr eventivo}}$
$\% \text{ Mantto. Correctivo} = \frac{\text{TotalH} - \text{H Utilizadas.para.Mantto.Correctivo}}{\text{TotalH} - \text{H Utilizadas en Mantto.}} \times 100$
$\% \text{ Mantto. Pr eventivo} = \frac{\text{TotalH} - \text{H Utilizadas.para.Mantto.Pr eventivo}}{\text{TotalH} - \text{H Utilizadas en Mantto.}} \times 100$

Tabla 4.17: Indicadores de Mantenimiento Propuestos (Continuación)

INDICADOR Y ECUACIÓN UTILIZADA
PARA EL CONTROL DE LOS EQUIPOS
Demoras por Mantenimiento
<p>Son las horas que el equipo no produce por causas imputables a mantenimiento, excepto en el caso de que se este ejecutando mantenimiento preventivo. Las horas de Demoras por Mantenimiento, se recomienda dividir las en especialidades tales como: Mecánicas, eléctricas, etc</p>
$\% \text{ Demoras por Mantto} = \frac{\text{Horas Totales de Demoras por Mantto}}{\text{Horas Disponibles}} \times 100$
CONFIABILIDAD
<p>Es la probabilidad de que un equipo o sistema realice la función para la cual fue diseñado o asignado en un intervalo de tiempo, bajo ciertas condiciones de uso. Se recomienda utilizar la distribución de Weibull u otra metodología que relacione al parámetro de forma (β) para estimar la confiabilidad de equipos. El modelo matemático sugerido por la distribución de Weibull se presenta a continuación:</p>

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Donde:

β = Parámetro de forma, η = Parámetro de escala, γ = Parámetro de posición

Este indicador puede estimarse también mediante el uso de Métodos no Paramétricos

MANTENIBILIDAD

Es la probabilidad de que un componente o equipo pueda ser restaurado a una condición operacional satisfactoria dentro de un periodo de tiempo determinado, cuando su mantenimiento es realizado de acuerdo a procedimientos preestablecidos, el mismo se estima mediante la siguiente ecuación:

$$M(t) = e^{-e^{-[a(t-\eta)]}}$$

Donde:

η : Parámetro de escala, Corresponde al tiempo donde la probabilidad de falla es igual a 37%

a : Parámetro de dispersión, es el inverso de la pendiente de la recta en el papel de Gumbell Tipo I

t : Tiempo estimado para reparar el equipo

DISPONIBILIDAD COMO PARÁMETRO DE MANTENIMIENTO

Es la probabilidad que un equipo este apto para cumplir su función durante un tiempo estimado. Es un indicador que depende de la confiabilidad y la mantenibilidad de los equipos y mide la relación entre la Media de los Tiempos Entre Falla y la Media de los Tiempos Fuera de Servicio. El modelo matemático queda definido a partir de la siguiente ecuación:

$$D = \frac{MTEF}{MTEF + MTFS}$$

Estos indicadores fueron seleccionados porque se asocian en forma directa al trabajo realizado, específicamente en cuanto a planificación y control del mantenimiento. Además se plantean indicadores para evaluar el comportamiento de los equipos en el tiempo así también como la habilidad de desarrollar las actividades propuestas.

4.7 Elaboración del estudio económico

Este estudio se realizó mediante un análisis comparativo entre los costos actuales del mantenimiento preventivo del Taladro H-643 y los derivados del plan de mantenimiento propuesto. Se utilizó la técnica del Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno para demostrar la factibilidad económica del plan. A continuación se plantea la Tabla 4.18 en la cual se presentan los costos de mantenimiento preventivo y correctivo en el lapso de tiempo que comprende un (1) año del taladro en estudio (Dic.2006-Dic.2007).

Tabla 4.18: Costos de Mantenimiento del Taladro H-643

EQUIPOS	COSTO TOTAL MANTENIMIENTO PREVENTIVO (BS. F)	COSTO TOTAL MANTENIMIENTO REACTIVO (BS. F)	COSTO TOTAL MANTENIMIENTO (BS. F)
Malacate	93450.20	83233.47	176683.67
Bomba de Lodo	90750.45	99524.25	190274.70
Motor Diesel 8V –71 (N°1)	114564.75	75305.45	189870.20
Motor Diesel 8V –71 (N°2)	105879.25	63874.54	169753.79
Motor Diesel 4L-71 (N°3)	110890.00	70230.45	181120.45
Bloque Viajero	45590.23	33210.75	78800.98
Bloque Corona	40651.29	30197.56	70848.85
Generador	39580.85	41060.50	80641.35
TOTAL	641357.02	496636.97	1137993.99

Consecutivamente, la Tabla 4.19 expone los costos que se generarán en la aplicación del plan del mantenimiento propuesto. Ver Anexo E.

Tabla 4.19: Costos del Plan de Mantenimiento Propuesto

EQUIPOS	COSTO TOTAL MANTENIMIENTO (Bs. F)
Malacate	7744.12
Bomba de Lodo	3849.05
Motor Diesel 8V –71 (N°1)	84787.93
Motor Diesel 8V –71 (N°2)	77414.93
Motor Diesel 4L-71 (N°3)	80142.73
Bloque Viajero	8050.00
Bloque Corona	10025.00
Generador	10016.77
TOTAL	282030.53

4.7.1 Cálculo del Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno

A fin de aplicar las técnicas económicas de VAN y TIR, fue necesario realizar las siguientes estimaciones:

Tasa Inflacionaria Promedio: Se estimó aplicando la técnica de regresión lineal, para un período de cinco (5) años, tomando como base las inflaciones acontecidas entre los años 2001 y 2007, registradas por el Banco Central de Venezuela. Las inflaciones consideradas para aplicar la técnica de regresión lineal se presentan en la Tabla 4.20.

Tabla 4.20: Inflaciones Registradas, Base: 2007

AÑO	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
INFLACIÓN	11.65%	27.55%	24.29%	17.70%	13.51%	16.53%	21.99%

Seguidamente, con la base de datos inflacionaria registrada por el Banco Central de Venezuela, se procedió a construir la Tabla 4.21, para así, obtener la desviación estándar y los parámetros A y B.

Tabla 4.21: Matriz de Cálculo de Regresión Lineal

AÑO	X	INFLACIÓN (Y)	X * Y	X ²	Y ²
2001	-3	11.65	-34.95	9	135.72
2002	-2	27.55	-55.10	4	759.00
2003	-1	24.29	-24.29	1	590.00
2004	0	17.70	0	0	313.29
2005	1	13.51	13.51	1	182.52
2006	2	16.53	33.06	4	273.24
2007	3	21.99	65.97	9	483.56
TOTAL	0	133.22	-1.8	28	2737.33

Posteriormente, con los datos calculados en la Tabla 4.21 y las Ecuaciones 3.5 y 3.6 se calcularon los **Parámetros, A** y **B** de 19.03 y (-0.06) respectivamente, e igualmente con la Ecuación 3.7 se estimó una **Desviación Estándar** de 6.36. Con estos resultados se procede a calcular las tasas promedios inflacionarias futuras que se describen en la Tabla 4.22.

Tabla 4.22: Inflaciones Estimadas para el Período 2008 – 2013

2008	2009	2010	2011	2012	2013
X= 4	X= 5	X= 6	X= 7	X= 8	X= 9
Y=A+Bx4	Y=A+Bx5	Y=A+Bx6	Y=A+Bx7	Y=A+Bx8	Y=A+Bx9
18.79	18.73	18.67	18.61	18.55	18.49

La tasa de la inflación promedio para los próximos cinco (5) años (2009-2013) resultó igual a 18.61%, el mencionado valor fue calculado para proyectar los flujos actuales netos. Cabe destacar que la desviación estándar en la regresión lineal indica el siguiente **margen de error** (18.61± 6.36) de la estimación realizada.

Estimación de la Tasa Mínima Atractiva de Retorno (TMAR)

Aplicando la Ecuación 3.8, se tiene:

$$TMAR = I + F + I * F$$

$$TMAR = 0.1861 + 0.15 + 0.1861 * 0.15$$

$$TMAR = 0.3640 = 36.40\%$$

Flujo Actual Neto y Proyectado

A fin de calcular el Flujo Actual Neto se elaboró la Tabla 4.23 en la cual se refleja la cantidad de efectivo real que entra y sale durante el período de tiempo en estudio.

Tabla 4.23: Flujo Actual Neto

Beneficio por Ahorro	(+)	359326.49
Costo del Plan Propuesto	(-)	282030.53
Beneficio antes del Impuesto	(=)	77295.96
I.S.L.R.	(-)	26280.62
Flujo Actual Neto	(=)	51015.34

Para proyectar a un período de cinco (5) años el valor obtenido se aplica la Ecuación 3.9 y se elabora la Tabla 4.24.

Tabla 4.24: Flujo Actual Neto Proyectado al Período 2009-2013

Año	Flujo Actual Neto	F.A.N. Proyectado (Bs.F.)
2008	$FANP = FAN \times (1 + I)^0$	51015.34
2009	$FANP = FAN \times (1 + I)^1$	60509.29
2010	$FANP = FAN \times (1 + I)^2$	71770.07
2011	$FANP = FAN \times (1 + I)^3$	85126.49
2012	$FANP = FAN \times (1 + I)^4$	100968.52
2013	$FANP = FAN \times (1 + I)^5$	119758.77

Aplicando la Ecuación 3.10 se determina el Valor Actual Neto:

$$VAN = \frac{\sum FAN}{(1 + I)^N} - IO$$

$$VAN = \frac{60509.29}{(1+0.3640)^1} + \frac{71770.07}{(1+0.3640)^2} + \frac{85126.49}{(1+0.3640)^3} + \frac{100968.52}{(1+0.3640)^4} + \frac{119758.77}{(1+0.3640)^5} - 61880.50$$

$$VAN = 109135.95 Bs.F.$$

En base a los criterios de aceptación del plan propuesto, establecidos en la Tabla 3.8 el proyecto es factible, además que genera unas ganancias por ahorro de 109135.95 Bs.F.

Seguidamente, con la Ecuación 3.11 se calculará la Tasa Interna de Retorno, la cual indica la rentabilidad económica del plan de mantenimiento propuesto a fin de justificar la inversión inicial estimada.

$$IO = \frac{\sum FAN}{(1+TIR)^N}$$

$$61880.50 = \frac{60509.29}{(1+TIR)^1} + \frac{71770.07}{(1+TIR)^2} + \frac{85126.49}{(1+TIR)^3} + \frac{100968.52}{(1+TIR)^4} + \frac{119758.77}{(1+TIR)^5}$$

$$TIR = 110.89\% > TMAR = 36.40\%$$

Debido a que la Tasa Interna de Retorno es superior a la Tasa Mínima Atractiva de Retorno, se ratifica que el proyecto es económicamente factible.

CONCLUSIONES

1. El Taladro H-643 está estructurado en seis (6) sistemas principales, de los cuales, los de Izamiento, Seguridad y Circulación y Potencia Eléctrica son los que presentan más elevadas tasas de falla.
2. Con la aplicación de la Matriz de Criticidad ABC, se clasificaron con Criticidad A, a los siguientes equipos: Malacate, Bomba de Lodo, Motores Diesel, Bloque Viajero, Bloque Corona y Generador, los cuales constituyen los equipos críticos del Taladro H-643.
3. Con el desarrollo de este trabajo se obtuvo una herramienta para seleccionar de manera objetiva la filosofía de mantenimiento que más se adapta a una organización en función de su contexto situacional.
4. Con la aplicación de la herramienta antes descrita se obtuvo un porcentaje máximo de 73% correspondiente a la filosofía de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, lo que indica, que es la que más se adapta al contexto descrito.
5. Se diseñó un plan de mantenimiento para los equipos críticos, basado en Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, el cual consta de ciento veinticinco (125) tareas con sus respectivas frecuencias, presentando un 78.4% de actividades preventivas y 21.6% de actividades correctivas.
6. El plan de mantenimiento propuesto es rentable económicamente, ya que, tiene una Tasa Interna de Retorno superior a la Tasa Mínima Atractiva de Retorno en un 74.49%. Además, genera ganancias netas por ahorro anual de 109135.95 Bs.F.
7. Tal como se requiere en el mantenimiento de cuarta generación, se plantearon indicadores asociados al estudio a fin de medir y evaluar la gestión propuesta en este trabajo.

RECOMENDACIONES

- ◆ Aplicar el plan de mantenimiento propuesto en el presente trabajo a los equipos críticos del Taladro de Servicios a Pozos H-643.
- ◆ A fin de mejorar la gestión de mantenimiento y tener un mayor control de los equipos se debe elaborar un registro estadístico de fallas.
- ◆ Para medir y evaluar los resultados de la gestión de mantenimiento correctamente debe realizarse un registro cuidadoso de los datos que requieren los indicadores y añadir nuevos patrones de medida cuando fuese necesario.
- ◆ En análisis posteriores donde se requiera seleccionar objetivamente un enfoque de mantenimiento, hacer uso de la Matriz de Evaluación diseñada, adaptándola al contexto situacional presente para aquel momento.
- ◆ Al efectuarse modificaciones al plan de mantenimiento planteado se sugiere utilizar técnicas de valoración económica para constatar que dichos cambios son económicamente rentables.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] TORRES, Ronald, **“Estrategias basadas en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para el Mejoramiento del Plan de Mantenimiento de las Bombas de Doble Tornillo del Terminal Orimulsión® Jose”**, Tesis de Grado, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Departamento de Mecánica. Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui (2007)
- [2] ARIAS, Keiber, **“Elaboración de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para el Taladro de Perforación Corpoven 10 de PDVSA - San Tomé”**, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería de Mantenimiento Industrial. Universidad Gran Mariscal de Ayacucho, El Tigre (2004)
- [3] SUÁREZ, Diógenes, **“Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC)”**, Confima & Consultores, C.A., Puerto La Cruz, (2008)
- [4] GONZÁLEZ QUIJANO, J. G., **“Mejora en la Confiabilidad Operacional de las Plantas de Generación de Energía Eléctrica: Desarrollo de una Metodología de Gestión de Mantenimiento Basado en Riesgo”**, Tesis de Master, Instituto de Postgrado y formación continua, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad Pontificia Comillas, Madrid – España (2004)
- [5] SUÁREZ, Diógenes., **“Guía teórico práctica (Mantenimiento Mecánico)”**, UDO, Puerto La Cruz, Venezuela (1999)
- [6] MOUBRAY, J., **“El RCMII – Reliability Centered Maintenance (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad)”**, Aladon LTD, EE.UU (1999)
- [7] LEFCOVICH, Mauricio, **“Mantenimiento Productivo Total – Un paso más hacia la excelencia empresarial”** (2005). Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos25/mantenimiento-productivo-total/mantenimiento-productivo-total.shtml?monosearch>

- [8] CHOURIO, J. “**Introducción a la Confiabilidad Operacional**”. Curso dictado en el Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED), Caracas (2000)
- [9] CLUB DE MANTENIMIENTO. Publicación periódica. Pág. 12: “**El Análisis de Criticidad, una Metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional**”. Aplicación del Análisis de Criticidad en PDVSA E&P Occidente. Autor. Ing. Rosendo Huerta.
- [10] RUBILAR Roberto, **Curso de Auto-instrucción Multimedia, Evaluación Técnica-Económica de Proyectos Industriales**”. Disponible en: http://www.indec.cl/cursos/cursos_archivos/frame.htm
- [11] MARAVEN, “**Máquinas de Servicio a Pozos**”. Módulo II (1990)
- [12] PDVSA, “**Manual del Proceso de Mantenimiento Rutinario**”, Vol. 2, Clasificación de la Criticidad del Activo (2004)
- [13] SAE INTERNATIONAL, JA1012 “**A Guide to the Reliability – Centered Maintenance (RCM) Standart**” (2002)
- [14] NORSOK STANDARD Z-008. “**Critically Analysis for Maintenance Purpose**”. Norwegian Technology Centre. Oslo, NORWAY (2001)
- [15] DUFFUA, y Otros “**Sistemas de Mantenimiento**”. Editorial Limusa, México 2000
- [16] SAE INTERNATIONAL, JA1011 “**Evaluation Criteria for Reliability Centered Maintenance (RCM) Processes**” (1999)
- [17] CIED Valencia, “**Curso de Formación de Tres Días en Reliability – Centred Maintenance**” (Versión 2) (1999)

[18] ROJAS, César, **“Manual para la Presentación del Proyecto y de la Tesis de Pre-grado de Ingeniería”** (1998)

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

TÍTULO	Elaboración de un Plan de Mantenimiento Basado en la Filosofía Actual que más se adapte al Taladro de Servicios a Pozos H-643.
SUBTÍTULO	Caso: PDVSA, Distrito San Tomé.

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Tillero R., Edithmar N.	CVLAC:17.090.279 E MAIL:edithnataly@gmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALABRAS O FRASES CLAVES:

Análisis de Criticidad

Contexto Situacional

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

Mantenimiento Productivo

Mantenimiento de Clase

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ÁREA	SUBÁREA
<u>Ingeniería y Ciencias Aplicadas</u>	<u>Ingeniería Mecánica</u>

RESUMEN (ABSTRACT):

El objetivo primordial de este trabajo es elaborar un plan de mantenimiento basado en la filosofía actual que más se adapte al Taladro de Servicios a Pozos H-643, perteneciente a PDVSA en el Distrito San Tomé, a fin de aportar una solución eficaz ante su problemática actual. Para alcanzar este objetivo propuesto, primeramente se identificó el contexto operacional del taladro, recopilando información referente a sus características y funcionamiento. Continuadamente se usó la Matriz de Criticidad ABC para identificar a los equipos críticos. Seguidamente, se procedió a seleccionar la filosofía de mantenimiento que más se ajustara al contexto situacional de la Superintendencia de Mantenimiento y Logística de Taladros, evaluándose las siguientes: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), Mantenimiento Productivo Total (TPM) y Mantenimiento de Clase Mundial (MCM); resultando seleccionada la filosofía de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), cuya aplicación permitió elaborar un plan estratégico de mantenimiento para los equipos críticos del Taladro H-643; en función a éste plan, se realizó un estudio económico a fin de constatar la rentabilidad y factibilidad de las actividades propuestas. Los resultados obtenidos, arrojaron una serie de conclusiones, entre las cuales destacan: La propuesta de una herramienta para seleccionar de manera objetiva la filosofía de mantenimiento que más se adapta a una organización en función de su contexto situacional y el diseño de un plan de mantenimiento para los equipos con Criticidad A, el cual consta de ciento veinticinco (125) tareas, presentando un 78.4% de actividades preventivas y 21.6% de actividades correctivas.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO**CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Avís, Rafael	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:	11.824.561			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Bravo, Darwin	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:	8.298.181			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Suárez, Diógenes	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:	5.333.471			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Rodríguez, Edgar	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:	4.012.952			
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2009	05	13
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. Elaboración plan de mantenimiento. Taladro H-643.doc	Application/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H
I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y
z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Mecánico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Mecánica

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO**DERECHOS:**

De acuerdo al artículo 44 del reglamento de Trabajos de Grado: “Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo, quien lo participara al Consejo Universitario

Tillero Rojas Edithmar Nataly

AUTOR

Prof. Darwin

TUTOR

Prof. Diógenes

JURADO

Prof. Edgar

JURADO

Prof. Delia Villarroel

POR LA SUBCOMISION DE TESIS