UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN REGIÓN CENTRO-SUR ANACO
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO NIVEL III PARA LOS SISTEMAS CRÍTICOS DE LOS TALADROS DE PERFORACIÓN DE LA GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS PDVSA GAS ANACO, ESTADO ANZOÁTEGUI

Realizado por:

Santamaría P., Alejandra J.

Trabajo Especial de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como Requisito para optar al Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Anaco, Diciembre de 2017

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN REGIÓN CENTRO-SUR ANACO
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO NIVEL III PARA LOS SISTEMAS CRÍTICOS DE LOS TALADROS DE PERFORACIÓN DE LA GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS PDVSA GAS ANACO, ESTADO ANZOÁTEGUI

Revisado por:

Ing. Valderrama, Rita
Asesor Académico

Ing. Laya, Elías
Asesor industrial

Anaco, Diciembre de 2017

UNIVERSIDAD DE ORIENTE

NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI

EXTENSIÓN REGIÓN CENTRO-SUR ANACO

ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO NIVEL III PARA LOS SISTEMAS CRÍTICOS DE LOS TALADROS DE PERFORACIÓN DE LA GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS PDVSA GAS ANACO, ESTADO ANZOÁTEGUI

Jurado Calificador:

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

APROBADO

Ing. Valderrama, Rita

Asesor Académico

Ing. Ledezma, Melchor

Jurado Principal

Msc. Bousquet, Juan

Jurado Principal

Anaco, Diciembre de 2017

RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 41 del Reglamento de trabajos de grado (vigente a partir del II semestre 2009) según comunicación CU-034-209:

"Los trabajos de grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización".

DEDICATORIA

En primer lugar dedico este trabajo de grado a Dios. Todo mi esfuerzo no hubiese sido suficiente para concretar esta meta sin tu ayuda.

A mis padres Olga Peña y Alirio Santamaría, y a mi hermana Orianna por estar ahí en todo momento.

A mi abuela Olga Escobar, sé que estarías feliz de verme culminar esta meta.

A todos mis familiares y amigos que confiaron, apoyaron y creyeron en mí.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por demostrarme siempre que no estaba y no estoy sola.

A mi madre, Olga, por estar siempre en todo momento, por cargar conmigo para cualquier lugar que tuviera que ir desde el primer día y por no presionarme.

A mi padre, Alirio, por sus consejos oportunos.

A mi hermana Orianna por acompañarme en tantas cosas y ser mi amiga además.

A mis amigos y compañeros de clase, a los que estuvieron desde el primer día, los que se unieron a mitad del camino, los que llegaron al final e incluso los que desde lejos me apoyaron. Muchas gracias por la amistad, los momentos felices y no tan felices que compartimos y la ayuda que me brindaron. Los quiero y aprecio: Adrián Palacios, Anderson Vizcaíno, José Marín, Marco Aznarán, Loisbelys Rodríguez, Drusianys Urosa, Desiree Sequera, Fray Escobar, Betzabeth Contreras, Maurimar Goitía, Krisdelys Vásquez, Christian Campos y Ninoska Cabello.

A mi tutor industrial, Elías Laya, por todo, por ofrecerme su ayuda y ofrecerse a ser mi tutor cuando ni siquiera le correspondía, por guiarme en el desarrollo de este trabajo, por abrirme las puertas de su casa y brindarme su amistad. Gracias infinitas.

A mi tutora académica, profesora Rita Valderrama, a quien le tengo un gran aprecio y gran admiración como persona y profesional. Gracias por empezar y culminar este trabajo conmigo y siempre brindarme su ayuda.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN REGIÓN CENTRO-SUR ANACO
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO NIVEL III PARA LOS SISTEMAS CRÍTICOS DE LOS TALADROS DE PERFORACIÓN DE LA GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS PDVSA GAS ANACO, ESTADO ANZOÁTEGUI

Autor: Santamaría P., Alejandra J.
Tutor: Ing. Valderrama, Rita
Fecha: Diciembre - 2017

RESUMEN

Para la elaboración de la propuesta de un plan de mantenimiento nivel III para los sistemas críticos de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui, mediante una investigación de tipo descriptiva con diseño de campo, primeramente, se describió el contexto operacional de los taladros de perforación; posteriormente, se jerarquizaron los sistemas de dichos taladros a través del análisis de criticidad utilizando el método de los puntos donde resultaron ser críticos dos de los sistemas (circulación y rotación) de los taladros de perforación. Luego, se procedió a aplicar la filosofía del MCC a dichos sistemas: primero se aplicó la técnica del AMEF, donde se obtuvieron 19 funciones, 54 fallas funcionales y 63 modos de falla; con la aplicación del ALD se determinó que el 100% de los modos de falla requiere de tareas de mantenimiento basadas en condición. Para finalizar, se elaboró un plan de mantenimiento nivel III para los equipos correspondientes a los sistemas críticos de los taladros de perforación con su respectiva programación. Se recomienda extender dicho plan hacia los sistemas de los taladros de perforación que no fueron tratados en este trabajo de investigación. Además, la propuesta también podría y debería extenderse hacia los taladros de rehabilitación.

Descriptores: Análisis de criticidad, Mantenimiento nivel III, MCC, ALD, AMEF, PDVSA.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

RESOLUCIÓN....iv
DEDICATORIA....v
AGRADECIMIENTO....vi
RESUMEN....vii
ÍNDICE GENERAL....viii
ÍNDICE DE TABLAS....xiii
ÍNDICE DE FIGURAS....xv
INTRODUCCIÓN....xvii
CAPÍTULO I....xx
EL PROBLEMA....xx
1.1 Planteamiento del problema....xx
1.2 Objetivos de la investigación....23
1.2.1 Objetivo general....23
1.2.2 Objetivos específicos....23
1.3 Justificación e importancia de la investigación....24
1.4 Alcance....25
1.5 Identificación de la empresa....25
1.5.1 Nombre de la empresa....25
1.5.2 Reseña histórica....25
1.5.3 Ubicación geográfica....26
1.5.4 Misión de la empresa....27
1.5.5 Visión de la empresa....27
1.5.6 Política de calidad....27
1.5.7 Objetivos de calidad....28
1.5.8 Estructura organizativa de la gerencia general de perforación de la empresa....28
CAPÍTULO II....30
MARCO TEÓRICO....30
2.1 Antecedentes de la investigación....30
2.2 Bases teóricas....34
2.2.1 Mantenimiento....35
2.2.2 Objetivo del mantenimiento....35
2.2.3 Niveles de mantenimiento....35
2.2.4 Planes de mantenimiento....38
2.2.5 Manual de mantenimiento....38
2.2.6 Programa de mantenimiento....39
2.2.7 Contexto operacional....39
2.2.8 Equipo natural de trabajo....40

2.2.9 Análisis de criticidad 40
2.2.10 Criterios para el análisis de criticidad 41
2.2.11 Riesgo 42
2.2.12 Técnicas de análisis de riesgo 43
2.2.12.1 Técnica cualitativa 43
2.2.12.2 Técnica semi-cuantitativa 44
2.2.12.3 Técnica cuantitativa 45
2.2.13 Método de los puntos 45
2.2.13.1 Criterios para el método de los puntos 46
2.2.14 Mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) 46
2.2.14.1 Beneficios del Mantenimiento centrado en confiabilidad 47
2.2.14.2 Preguntas básicas para el análisis del mantenimiento centrado en confiabilidad 48
2.2.15 Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) 48
2.2.16 Función 49
2.2.16.1 Función evidente 49
2.2.16.2 Función oculta 49
2.2.16.3 Función primaria 50
2.2.16.4 Función secundaria 50
2.2.17 Falla funcional 50
2.2.17.1 Falla parcial 51
2.2.17.2 Falla Total 51
2.2.18 Modos de falla 51
2.2.19 Efectos de falla 52
2.2.20 Consecuencias de las fallas 52
2.2.20.1 Fallas ocultas 53
2.2.20.2 Consecuencias en la seguridad 53
2.2.20.3 Consecuencias en el ambiente 54
2.2.20.4 Consecuencias operacionales 54
2.2.20.5 Consecuencias no operacionales 54
2.2.21 Tareas preventivas o proactivas 54
2.2.22 Tareas correctivas o “a falta de” 56
2.2.23 Árbol lógico de decisión (ALD) 57
2.2.24 Tareas basadas en condición 57
2.2.25 Tareas de restauración programada 57
2.2.26 Tareas de desincorporación programada 58
2.2.27 Tareas de detección de fallas 58
2.2.28 Combinación de tareas 58
2.2.29 Pozo petrolero 58
2.2.30 Taladro de perforación 59
2.2.31 Sistema de circulación 60
2.2.31.1 Bombas de lodo 60
2.2.31.2 Tanques de lodo 61

2.2.31.3 Equipos de control de sólidos (ECS) 62
2.2.32 Sistema de seguridad o de control de pozos 63
2.2.32.1 Válvula de seguridad anular (BOP anular) 63
2.2.32.2 Válvula de seguridad sencilla o simple (BOP simple) 64
2.2.32.3 Válvula de seguridad doble (BOP doble) 64
2.2.32.4 Acumulador o unidad preventora 65
2.2.32.5 Choke manifold o múltiple de choque 66
2.2.33 Sistema de potencia 66
2.2.33.1 Motores 67
2.2.33.2 Generadores 68
2.2.33.3 Casa de fuerza 68
2.2.34 Sistema de levantamiento o izamiento 69
2.2.34.1 Malacate 69
2.2.34.2 Cabria o torre de perforación 69
2.2.34.3 Bloque corona 71
2.2.34.4 Bloque viajero 72
2.2.34.5 Gancho 72
2.2.34.6 Guaya de perforación 73
2.2.35 Sistema de rotación 74
2.2.35.1 Top drive 74
2.3 Marco legal 75
2.3.1 Norma SAE JA1012 75
2.3.2 Norma ISO 14224 75
2.3.3 COVENIN 3049-93 76
2.3.4 Norma MM-01-01-01 76
2.3.5 Norma MM-01-01-03 76
CAPÍTULO III 77
MARCO METODOLÓGICO 77
3.1 Tipo de investigación 77
3.2 Diseño de la investigación 78
3.3 Población y muestra 79
3.3.1 Población 79
3.3.2 Muestra 80
3.3.3 Unidad de estudio 81
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos 82
3.4.1 Revisión bibliográfica 82
3.4.2 Entrevistas estructuradas 83
3.4.3 Entrevistas no estructuradas 83
3.4.4 Lluvia de ideas 84
3.4.5 Observación directa 84
3.5 Técnicas de análisis de datos 85
3.5.1 Fichas técnicas de los taladros de perforación 85
3.5.2 Diagramas de Entrada-Proceso-Salida (EPS) 85

3.5.3 Diagramas de flujo 86
3.5.4 Análisis de criticidad 86
3.5.5 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) 87
3.5.6 Norma SAE JA1012 87
3.5.7 Norma ISO 14224 88
3.6 Descripción de las etapas de la investigación 88
3.6.1 Descripción del contexto operacional de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui. 88
3.6.2 Jerarquización de los sistemas de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui, de acuerdo a su nivel de criticidad. 90
3.6.3 Aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad a los sistemas críticos de los taladros de perforación de la gerencia de mantenimiento de taladros y equipos PDVSA Gas Anaco estado, Anzoátegui 94
3.6.4 Elaboración un plan de mantenimiento nivel III para los sistemas críticos de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui. 100
CAPÍTULO IV 103
ANÁLISIS DE RESULTADOS 103
4.1 Descripción del contexto operacional de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui. 103
4.1.1 Descripción de las especificaciones técnicas de los taladros de perforación y sus sistemas. 104
4.1.2 Descripción de las actividades operacionales y de mantenimiento de los taladros de perforación 112
4.1.2.1 Actividades de inspección de equipos 113
4.1.2.2 Actividades de mantenimiento por esfuerzo propio 118
4.1.3 Descripción del funcionamiento de los sistemas de los taladros de perforación 145
4.1.4 Descripción de la condición actual de los sistemas de los taladros de perforación 147
4.2 Jerarquización de los sistemas de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui, de acuerdo a su nivel de criticidad. 152
4.2.1 Integración del Equipo Natural de Trabajo (ENT) 152
4.2.2 Selección de los sistemas a evaluar 153
4.2.3 Selección de los criterios a evaluar 153
4.2.4 Aplicación de cuestionarios al Equipo Natural de Trabajo (ENT) 154
4.2.5 Cálculo de niveles de criticidad 156
4.2.6 Emisión de resultados del análisis de criticidad 160

4.3 Aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad a los sistemas críticos de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, estado Anzoátegui. 160
4.3.1 Equipos sometidos al estudio del Análisis de Modos y Efectos de Fallas. 161
4.3.2 Análisis de Modos y Efectos de Fallas a los equipos pertenecientes a los sistemas críticos de los taladros de perforación. 161
4.3.3 Árbol lógico de decisión 178
4.3.4 Resultados obtenidos con la técnica del árbol lógico de decisión 194
4.4 Elaboración de un plan de mantenimiento nivel III para los sistemas críticos de los taladros de perforación de la gerencia de mantenimiento de taladros y equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui 198
CAPÍTULO V 200
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 200
5.1 Conclusiones 200
5.2 Recomendaciones 201
CAPÍTULO VI 203
LA PROPUESTA 203
BIBLIOGRAFÍA 240
ANEXOS 244
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO 246

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 3.1. Población asociada a un taladro de perforación 79
Tabla 3.2. Muestra de la investigación 80
Tabla 3.2. Descripción de las unidades de estudio. 81
Tabla 3.3. Parámetros para clasificar los sistemas de los taladros de perforación 90
Tabla 3.4 Formato del cuestionario para el análisis de criticidad. 92
Tabla 3.5. Hoja de información del AMEF. 95
Tabla 3.6. Hoja de decisión para ALD SAE JA1012. 98
Tabla 3.7. Formato para el plan de mantenimiento nivel III. 101
Tabla 4.1. Ficha técnica del taladro de perforación PDV-54 105
Tabla 4.2. Resumen de especificaciones técnicas de los taladros de perforación. 111
Tabla 4.3. Flujograma de proceso: Inspección de equipos. 115
Tabla 4.4. Flujograma de proceso: Mantenimiento por esfuerzo propio 120
Tabla 4.5. Flujograma de proceso: Mantenimiento por esfuerzo contratado 125
Tabla 4.6. Parámetros para clasificar los sistemas de los taladros de perforación. 147
Tabla 4.7. Condición actual de los sistemas del taladro de perforación PDV-21 148
Tabla 4.8. Condición actual de los sistemas del taladro de perforación PDV-51 148
Tabla 4.9. Condición actual de los sistemas del taladro de perforación PDV-52. 149
Tabla 4.10. Condición actual de los sistemas del taladro de perforación PDV-54. 150
Tabla 4.11. Condición actual de los sistemas del taladro de perforación PDV-64. 150
Tabla 4.12. Condición actual de los sistemas del taladro de perforación PDV-65. 151
Tabla 4.13. Equipo Natural de Trabajo. 153
Tabla 4.14. Taladros de perforación seleccionados para el análisis de criticidad. 153
Tabla 4.15. Criterios establecidos para la elaboración del análisis de criticidad. 154
Tabla 4.16. Encuesta de confiabilidad del sistema de circulación del taladro de perforación PDV-54. 155
Tabla 4.17. Encuesta de confiabilidad del sistema de seguridad del taladro de perforación PDV-54. 155
Tabla 4.18. Encuesta de confiabilidad del sistema de potencia del taladro de perforación PDV-54. 155
Tabla 4.19. Encuesta de confiabilidad del sistema de levantamiento del taladro de perforación PDV-54. 155
Tabla 4.20. Encuesta de confiabilidad del sistema de rotación del taladro de perforación PDV-54. 156
Tabla 4.21. Análisis de criticidad de los sistemas que conforman el taladro de perforación PDV-54 158

Tabla 4.22. Valores de criticidad en orden jerárquico. 158
Tabla 4.23. Equipos seleccionados para aplicar la metodología del MCC 161
Tabla 4.24. Hoja de información de la bomba de lodo. 162
Tabla 4.25. Hoja de información de la bomba centrífuga 166
Tabla 4.26. Hoja de información del tanque de lodo 167
Tabla 4.27. Hoja de información del agitador de lodo. 170
Tabla 4.28. Hoja de información de la zaranda 172
Tabla 4.29. Hoja de información del mud cleaner 173
Tabla 4.30. Hoja de información del desarenador 174
Tabla 4.31. Hoja de información del motor eléctrico del top drive 175
Tabla 4.32. Hoja de información de la bomba hidráulica del top drive 176
Tabla 4.33. Hoja de información del gato hidráulico del top drive 177
Tabla 4.34. Hoja de decisión de la bomba de lodo 179
Tabla 4.35. Hoja de decisión de la bomba centrífuga 182
Tabla 4.36. Hoja de decisión del tanque de lodo 183
Tabla 4.37. Hoja de decisión del agitador de lodo 185
Tabla 4.38. Hoja de decisión de la zaranda 187
Tabla 4.39. Hoja de decisión del mud cleaner 188
Tabla 4.40. Hoja de decisión del desarenador 189
Tabla 4.41. Hoja de decisión del motor eléctrico del top drive 190
Tabla 4.42. Hoja de decisión de la bomba hidráulica del top drive 191
Tabla 4.43. Hoja de decisión del gato hidráulico del top drive 192
Tabla 4.44. Resultados por equipo de los modos de falla y consecuencias. 194
Tabla 4.45. Tareas de mantenimiento a aplicar por equipos 196

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1. Ubicación geográfica de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos 26
Figura 1.2. Estructura Organizativa de la Gerencia General de Perforación de PDVSA Gas Anaco 29
Figura 2.1. Modelo de una matriz de criticidad 41
Figura 2.2. Criterios de criticidad más comunes 42
Figura 2.3. Técnicas de análisis de riesgos 43
Figura 2.4. Consecuencias de las fallas 53
Figura 2.5 Sistemas de un taladro de perforación 60
Figura 2.6. Bombas de lodo 61
Figura 2.7. Tanques de lodo 62
2.8. Equipo de control de sólidos 62
Figura 2.9. Válvula de seguridad anular 63
Figura 2.10. Válvula de seguridad simple 64
Figura 2.11. Válvula de seguridad doble 65
Figura 2.12. Acumulador o unidad preventora 65
Figura 2.13. Múltiple de choque. 66
Figura 2.14. Motor diesel 67
Figura 2.15. Motor AC. 67
Figura 2.16. Generadores. 68
Figura 2.17 Malacate 69
Figura 2.18. Cabria 70
Figura 2.19. Bloque corona 71
Figura 2.20. Bloque viajero 72
Figura 2.21. Gancho 73
Figura 2.22. Carretos de guaya 73
Figura 2.23. Top drive. 74
Figura 3.1. Árbol Lógico de Decisión 97
Figura 4.1. Desarrollo de las actividades de inspección y mantenimiento 112
Figura 4.5. Diagrama EPS del sistema de circulación 145
Figura 4.6. Diagrama EPS del sistema de seguridad 145
Figura 4.7. Diagrama EPS del sistema de potencia 146
Figura 4.8. Diagrama EPS del sistema de levantamiento 146
Figura 4.9. Diagrama EPS del sistema de rotación 147
Figura 4.10. Matriz de criticidad de los sistemas de los taladros de perforación (PDV-21, PDV-51, PDV-52, PDV-54, PDV-64 y PDV-65) 159
Figura 4.11. Tipo de modo de falla 195
Figura 4.12. Consecuencias de los modos de falla 195

Figura 4.13. Tareas de mantenimiento 197
Figura 4.14. Tareas de mantenimiento por equipo 197

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el mantenimiento industrial ha experimentado grandes cambios a nivel mundial, poco a poco ha dejado de ser visto como un conjunto de actividades generadoras de gastos innecesarios, para pasar a ser visto como uno de los principales responsables de la subsistencia de las organizaciones. Estos cambios se deben principalmente al enorme aumento en el número y la variedad de los activos físicos que deben ser mantenidos en las empresas alrededor del mundo.

En relación con lo descrito anteriormente, el mantenimiento también está comenzando a atacar consecuencias que van más allá de ser únicamente operacionales. Esto incluye una creciente toma de conciencia para evaluar hasta qué punto pueden las fallas en los equipos afectar la seguridad del personal y el medio ambiente. Por consiguiente, han surgido diversas técnicas y estrategias de mantenimiento industrial.

Una de dichas estrategias es la confiabilidad operacional, la cual ofrece a las organizaciones la oportunidad de mejorar en el área de mantenimiento, mediante la aplicación de metodologías que están dirigidas al mejoramiento de los activos con una orientación basada en riesgo y con la participación activa del personal.

Dentro de la filosofía de confiabilidad operacional se encuentra el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), el cual es una herramienta que permite: reducir las consecuencias de fallas de los equipos sobre la organización y su entorno, generar planes óptimos de mantenimiento, detectar oportunidades de mejoras y solución de problemas a través de rediseños, entre otras. En este sentido, la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos de la empresa PDVSA Gas Anaco ha venido presentando problemas con la ejecución de las actividades de

mantenimiento nivel III que se le realizan a los taladros de perforación que posee, por lo que dicha gerencia ha decidido darle una oportunidad a una nueva filosofía de mantenimiento como lo es el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

Cabe destacar que el Equipo Natural de Trabajo conformado por personal de distintas áreas de la empresa conjuntamente con la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos, aprueban la aplicación de dicha filosofía, buscando hacer más efectiva y eficiente las acciones de mantenimiento, por lo que a través del presente proyecto, se implementó la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad a los sistemas críticos de los taladros de perforación para la elaboración de un plan de mantenimiento nivel III para dichos sistemas.

El proyecto se realizó bajo la modalidad de investigación descriptiva y diseño de campo, el mismo está conformado por seis (6) capítulos, cuyos contenidos se describen brevemente a continuación:

Capítulo I. El Problema: se plantea el problema existente en la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos en relación al mantenimiento nivel III de los taladros de perforación, seguidamente se presentan los objetivos (general y específicos) que tiene el proyecto de investigación, se justifica el desarrollo e importancia de la misma, se establece alcance del proyecto y por último, se describe la empresa.

Capítulo II. Marco Teórico: este capítulo contiene los antecedentes (trabajos de grado) que fueron necesarios para la compresión y elaboración del presente proyecto; además, las bases teóricas representadas por información recopilada de bibliografías, revistas, artículos de internet, hojas de información, entre otras fuentes de documentación.

Capítulo III. Marco Metodológico: se hace referencia al diseño y tipo de investigación, población y muestra; además, se describe detalladamente el procedimiento a seguir para el desarrollo de los objetivos propuestos y la presentación de los resultados.

Capítulo IV. Análisis y Presentación de los Resultados: este capítulo muestra los resultados alcanzados. Comienza con la descripción del contexto operacional de los taladros de perforación; posteriormente, la jerarquización de los sistemas de dichos taladros a través del análisis de criticidad utilizando el método de los puntos. Luego, la aplicación de la filosofía del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad; primero se aplicó la técnica del AMEF a los equipos de los sistemas críticos; seguidamente, utilizando los datos obtenidos en el AMEF, se aplicó el ALD. Por último se presentó la estructura de la propuesta de esta investigación.

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones: en este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones emitidas con base en los objetivos presentados y los resultados obtenidos en la investigación realizada en el presente proyecto de grado.

Capítulo VI. La propuesta: finalmente se presenta la propuesta y la finalidad de la misma. Dicha propuesta consta de un índice individual y las actividades de mantenimiento nivel III necesarias para los sistemas críticos de los taladros, las cuales fueron obtenidas a través de la técnica del ALD.

CAPÍTULO I
EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La palabra mantenimiento significa poder lograr que un sistema permanezca operativo, ejecutando la función que debe realizar a los niveles de capacidad y velocidad requeridos, o en su defecto restaurar ese sistema a la brevedad posible para que cumpla con esa función. Llevar a la realidad esta definición, involucra toda una infraestructura organizativa y tecnológica que, dependiendo del sistema, será más o menos compleja. Sin embargo, el objetivo estratégico de cualquier organización de mantenimiento siempre tenderá a ser el mismo: máxima disponibilidad con el menor costo posible.

Ahora bien, Petróleos de Venezuela, S.A. es una empresa estatal venezolana, la cual se encarga de las actividades de explotación, producción, refinación, mercadeo y transporte del petróleo venezolano, lo que la hace la empresa más importante para este país mono productor. La filial PDVSA GAS enmarca las operaciones de pozos petroleros en la región oriente del país, a través de la Gerencia General de Perforación PDVSA GAS Anaco, conformada por tres (3) gerencias operativas dedicadas a las actividades principales de: Perforación y Rehabilitación, Subsuelo y Mantenimiento de Taladros y Equipos.

La Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos tiene como misión el desempeño de las actividades de mantenimiento tanto preventivo como correctivo a los taladros propios de perforación y rehabilitación, de manera que se cumpla con la satisfacción de su cliente interno, la Gerencia de Operaciones de Perforación PDVSA GAS Anaco. Por su parte, estas Gerencias manejan actualmente once (11) taladros

operativos, entre ellos se encuentran seis (6) taladros de perforación de pozos: PDV-21, PDV-51, PDV-52, PDV-54, PDV-64 y PDV-65; y cinco (5) taladros de rehabilitación de pozos: PDV-116, PDV-145, PDV-146, PDV-175 y CPV-12.

Los seis (6) taladros de perforación antes mencionados, están conformados cada uno por cinco (5) sistemas: De circulación, de seguridad o control de pozo, de generación de potencia, de levantamiento o izamiento y de rotación, los mismos están sujetos a una vida útil establecida por el fabricante; sin embargo, según los historiales de reparación y los registros de fallas, se ven afectados continuamente por diferentes averías, tales como: sobrecalentamiento de los motores de las bombas de lodo, roturas de rodamientos y engranajes, deformaciones en las líneas de conexión de los tanques de lodos, entre otras, ocasionando paradas en la perforación, provocando así, grandes pérdidas económicas a la empresa.

Las fallas antes mencionadas, comúnmente se presentan a lo largo de la ejecución de la perforación, cuando esto sucede el operador o supervisor solicitan la presencia de los mecánicos informando de manera verbal la ocurrencia del desperfecto, momento en el cual ellos actúan, reparando inmediatamente el equipo, así, de esta forma existe la continuidad de la perforación, para posteriormente reportar las actividades realizadas.

Considerando esto, y fundamentado en algunas entrevistas informales realizadas a los mecánicos y operadores de la empresa, los equipos que fallan con mayor frecuencia en los taladros de perforación son: Malacates, Motores a Diesel, Top Drive, Llaves Hidráulicas, Bombas de Lodo y Agitadores de Lodo; y la frecuente ocurrencia de estos sucesos pueden ocasionar: paradas imprevistas, aumento en costos de perforación, desgastes excesivos en piezas dando lugar a la depreciación acelerada del equipo, incapacidad para continuar con la perforación, o en casos extremos el deterioro total de los equipos críticos del taladro.

Bajo este criterio, es importante señalar que el departamento de mantenimiento no cuenta actualmente con una base de datos donde se expongan las principales fallas de los sistemas que conforman a los taladros de perforación, contribuyendo esto a una potencial problemática a la hora de establecer programas y estrategias de mantenimiento, especialmente en lo que respecta al mantenimiento nivel III referente a la toma de información que permitirá planificar y programar las actividades críticas que comprende cada sistema que conforma cada taladro de perforación.

No obstante, los problemas en los equipos que fueron mencionados anteriormente, están directamente vinculados con el incumplimiento de las actividades de mantenimiento preventivo y operacional de cada uno de los sistemas; motivo por el cual, PDVSA GAS Anaco, se encuentra afectada notablemente en el desarrollo de sus operaciones, contribuyendo esto a la inefectividad e ineficiencia de las mismas, lo cual se traduce en la disminución de su credibilidad ante sus clientes.

Por tanto, el presente estudio estuvo dirigido a la Propuesta de un Plan de Mantenimiento Nivel III para los sistemas críticos de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui.

Para llevar a cabo dicha propuesta, fue necesario realizar la descripción del contexto operacional de los taladros de perforación; posteriormente llevar a cabo el análisis de criticidad a los sistemas que conforman a dichos taladros; para luego aplicar la filosofía del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) a los sistemas más críticos, la cual fue utilizada para buscar el funcionamiento óptimo de los mismos, utilizando sus dos (2) técnicas fundamentales como son el Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) y el Árbol lógico de decisión (ALD), para así llegar a unos resultados de funcionamiento y poder formalizar un plan de mantenimiento para los sistemas de los taladros de perforación que se ajuste a las

actividades que le corresponden a un mantenimiento nivel III según PDVSA GAS. Todo esto, con la finalidad de dar a conocer medidas preventivas que garanticen el funcionamiento eficiente de los taladros y con esto sustentar la solicitud de PDVSA GAS Anaco.

Por último, la originalidad de proyecto radica en que es la primera vez que se realiza un plan de mantenimiento nivel III a los taladros de perforación de la empresa PDVSA GAS Anaco. Incluso es la primera vez que se realiza un trabajo de grado en la Extensión Anaco de la Universidad de Oriente sobre un plan de mantenimiento nivel III a todos los sistemas que conforman un taladro de perforación. Por tanto, esto traería como beneficios para la empresa: alargar la vida útil de los activos, utilizarlos con la máxima disponibilidad y al menor costo, elevar la calidad del servicio e incrementar la productividad de la empresa; mientras que para la universidad: será un aporte académico que podrá ser utilizado y consultado por otros estudiantes para el desarrollo de futuros trabajos de grado.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Proponer un plan de mantenimiento nivel III para los sistemas críticos de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui.

1.2.2 Objetivos específicos

- Describir el contexto operacional de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui.

- Jerarquizar los sistemas de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui, de acuerdo a su nivel de criticidad.
- Aplicar la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad a los sistemas críticos de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui.
- Elaborar un plan de mantenimiento nivel III para los sistemas críticos de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui.

1.3 Justificación e importancia de la investigación

La Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos de la empresa PDVSA Gas Anaco, debe garantizarles a sus clientes que sus taladros de perforación se encuentran en excelentes condiciones y al día con todas las certificaciones de operatividad.

Teniendo en cuenta que dentro de los taladros de perforación son varios los equipos que fallan, es de vital importancia asegurar el correcto funcionamiento y disponibilidad de los mismos, ya que de no ser así, las paradas imprevistas de dichos equipos pueden desencadenar una serie de problemas que pueden llegar a entorpecer el desarrollo de las actividades de perforación que realiza la empresa.

Por lo antes mencionado y en vista de que la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos de la empresa PDVSA Gas Anaco no cuenta con un plan de mantenimiento nivel III que abarque todos los sistemas que conforman un taladro de perforación, se hizo necesaria la propuesta de un plan de mantenimiento para los sistemas críticos de los taladros de perforación de dicha gerencia, que comprenda

todas las actividades de inspección y certificación de operatividad que supone un mantenimiento nivel III, de manera que permita mejorar las condiciones operativas de los equipos pertenecientes a los sistemas de los taladros de perforación de la empresa mencionada anteriormente, así como generar un aumento en la confiabilidad y disponibilidad, garantizando altos niveles de calidad y productividad.

1.4 Alcance

Esta investigación está orientada a la propuesta un plan de mantenimiento nivel III para los sistemas críticos de los taladros de perforación pertenecientes a la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui.

1.5 Identificación de la empresa

1.5.1 Nombre de la empresa

Petróleos de Venezuela, S.A (PDVSA). Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos (conocida con Base Simón Bolívar).

1.5.2 Reseña histórica

La Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos surgió el 02 de Julio de 2010 a raíz del Decreto Presidencial Nº 7.532 de fecha 29 de Junio de 2010, a través del cual se ordenó la adquisición forzosa de 11 equipos de perforación para pozos petroleros (taladros), presuntamente propiedad de la empresa Helmerich & Payne de Venezuela, C.A., así como de los bienes muebles e inmuebles y demás bienhechurías de dicha empresa afectos a la perforación de pozos petroleros en el territorio venezolano, relacionados a la utilización de dichos equipos de perforación, en

concordancia con lo dispuesto en el artículo 5 y 56 de la Ley de Expropiación por causa de utilidad pública o social, y con los artículos 1 y 5 de la Ley Orgánica de Hidrocarburos.

La Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos es una Gerencia perteneciente a PDVSA Servicios Petroleros, y se dedica al servicio de mantenimiento a los equipos de construcción y mantenimiento de pozos, contando con personal de experiencia y altamente capacitado, comprometido en prestar un servicio de óptimo nivel y por ende satisfacer de manera eficaz a sus clientes.

1.5.3 Ubicación geográfica

Está localizada en la zona centro del estado Anzoátegui (en el municipio Anaco), específicamente en la avenida José Antonio Anzoátegui, kilómetro 98, al final de la calle principal del Sector HP. En la figura 1.1 se detalla la ubicación de la empresa.

Figura 1.1. Ubicación geográfica de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos
Fuente: El autor (2017)

1.5.4 Misión de la empresa

Realizar servicios de mantenimiento a los equipos de perforación, rehabilitación y mantenimiento de pozos, mediante el establecimiento y ejecución de Planes y Programas de Mantenimiento, llevados a cabo por personal altamente capacitado y comprometido con la industria petrolera, cumpliendo con las normas de PDVSA y de calidad tanto nacionales como internacionales, requeridas para garantizar el óptimo funcionamiento de los equipos y así asegurar la satisfacción de sus clientes.

1.5.5 Visión de la empresa

Ser reconocida como la gerencia líder en el proceso de mantenimiento de equipos de perforación, rehabilitación y mantenimiento de pozos, a nivel nacional, y por estar comprometida con el desarrollo armónico y sustentable del país, mediante la implantación de tecnologías que permitan ofrecer servicios de mantenimiento de óptima calidad que satisfagan las exigencias de todos sus clientes de una manera eficiente, cumpliendo con los requisitos exigidos por las normas.

1.5.6 Política de calidad

La Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos perteneciente a PDVSA Servicios Petroleros, orienta sus actividades de mantenimiento a los equipos de perforación, rehabilitación y mantenimiento de pozos, hacia la satisfacción de sus clientes, mediante el cumplimiento de sus requisitos y exigencias, previniendo accidentes. Para ello cuenta con personal competente y comprometido con el mejoramiento continuo del Sistema de Gestión de la Calidad y con la Responsabilidad Social.

1.5.7 Objetivos de calidad

- Proporcionar servicios de mantenimiento a los equipos de perforación de pozos, de excelente calidad.
- Cumplir con los requerimientos y necesidades de sus clientes.
- Asegurar el cumplimiento con los lineamientos corporativos y contractuales en seguridad industrial e higiene ocupacional de las personas y de los equipos e instalaciones de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos.
- Asegurar la disposición de personal calificado, mediante el establecimiento, ejecución y control de las acciones de formación y desarrollo necesarias para mantener la eficacia del servicio.
- Buscar de forma activa y continua las acciones de mejora del Sistema de Gestión de la Calidad.
- Asegurar el cumplimiento de los valores y principios de la corporación, dando un aporte al desarrollo social del país, mediante contribuciones activas y voluntarias al mejoramiento de las comunidades.

1.5.8 Estructura organizativa de la gerencia general de perforación de la empresa

En la figura 1.2 que se muestra a continuación se pueden visualizar todos los departamentos que comprende la Gerencia General de Perforación de PDVSA Gas Anaco:

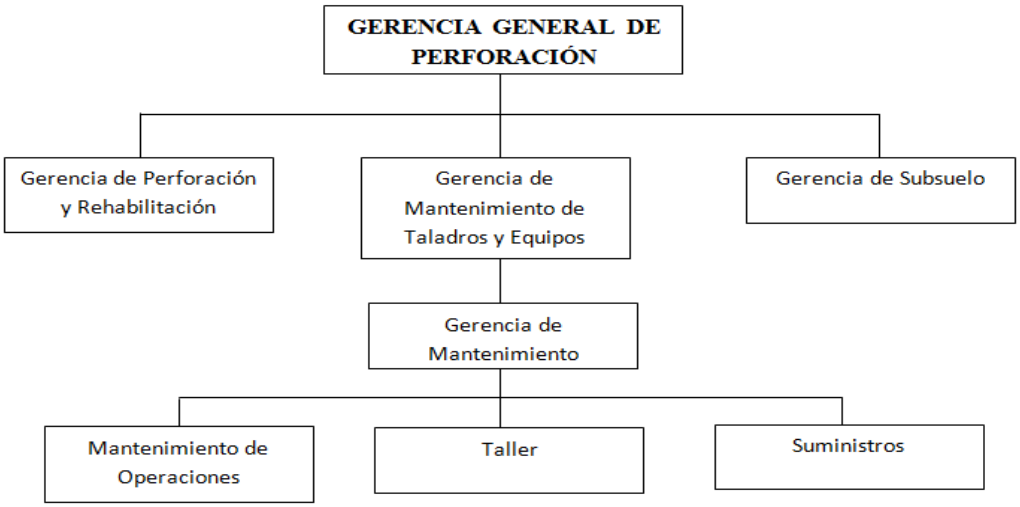


Figura 1.2. Estructura Organizativa de la Gerencia General de Perforación de PDVSA Gas Anaco

Fuente: Departamento de Mantenimiento de Operaciones de PDVSA Gas Anaco (2017)

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Toda investigación necesita como premisa la revisión de estudios anteriores, la cual se puede considerar como aportes referenciales tratándose de temas con enfoques similares o iguales. A continuación se hace referencia de algunas investigaciones realizadas, similares al tema tratado en este proyecto:

Zerpa, A. (2016) *"Diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) para los motores eléctricos DC de las bombas de lodo de los taladros AP (160), JRBM (129) y ACM (128) pertenecientes a la empresa Base Simón Bolívar (Anaco-Edo. Anzoátegui)".* Para el cumplimiento de los objetivos planteados en esta investigación se llevó a cabo el Diseño de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) a los motores eléctricos DC de las bombas de lodo de los taladros de perforación AP, JRBM Y ACM. A través de la aplicación del MCC, se estudió el contexto operacional de los equipos, y posteriormente, se llevó a cabo el análisis de criticidad donde resultaron ser críticos tres (03) motores eléctricos. Luego, se aplicó el AMEF al equipo más crítico, donde se obtuvo un 11.72% de funciones, un 28.12% de fallas funcionales, y un 60.16% de modos de fallas. Seguidamente, con la aplicación del ALD se determinó un 58.44% de tareas a condición, un 31.17% de tareas basadas en tiempo y un 10.39% de otras tareas. Para finalizar, se elaboró un plan de mantenimiento donde se le asignó al departamento de electricidad 35 tareas de mantenimiento, mientras que al departamento de mecánica se le asignó 11 tareas de mantenimiento.

El trabajo de grado mencionado anteriormente, permitió visualizar el modo en que se aplica la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). De la misma manera, fue de gran ayuda debido a que en él, se trabajó con los motores eléctricos de unas bombas de lodo, las cuales son parte importante del sistema de circulación de cualquier taladro de perforación y las mismas generalmente están entre los equipos más críticos.

Sotillo, M. (2014). *"Propuesta de mejoras al plan de mantenimiento de equipos críticos de un taladro de perforación basado en análisis de fallas. Caso: Taladro EDV-42 de la empresa Ensing de Venezuela C.A".* El objetivo fundamental de esta investigación es proponer mejoras al plan de mantenimiento de los equipos críticos del taladro de perforación EDV-42, ubicada actualmente en el área operativa de explotación petrolera Bare, al Sur de la ciudad de El Tigre, Estado Anzoátegui. Para alcanzar este objetivo se realizó un diagnóstico a los equipos principales del taladro según la descripción del proceso de perforación en función a su contexto operacional. Se estableció una jerarquía entre los equipos mediante un análisis de criticidad según la metodología D.S. en donde resultó un solo equipo crítico, el Top Drive. El equipo natural de trabajo efectuó un Análisis de Modo y Efecto de Fallas al mencionado equipo basándose en su principal función, transmitir el torque a la sarta de perforación, en donde se hallaron dos fallas funcionales y 8 modos de falla. Seguido a esto se aplicó la herramienta Análisis Causa Raíz a los diferentes modos de fallas existentes, en los que se acordó que sus causas fundamentales fueron la deficiencia en las actividades de mantenimiento y la deficiente supervisión de las labores de mantenimiento. Según los resultados obtenidos en el ACR, el equipo natural de trabajo estableció veintitrés (23) nuevas actividades de mantenimiento, a las que se les determinó su frecuencia de ejecución, a partir de la experiencia del personal de mantenimiento, recomendaciones del fabricante y consideraciones del equipo natural de trabajo. Por último se propuso acciones de mejora al plan de mantenimiento preventivo actual.

En el trabajo de investigación mencionado anteriormente, se hizo uso del Análisis de Criticidad, por lo cual fue una guía a la hora de aplicarlo a los sistemas de los taladros de perforación de PDVSA Gas Anaco.

Gonzales, L. (2013) *"Propuesta de un Plan de Mantenimiento para las bombas de inyección de agua salada, transferencia de agua salada y transferencia de crudo del área operacional AMA Este, basado en la filosofía de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)".* Este trabajo propone un plan de mantenimiento, en el cual se estableció una serie de acciones de mantenimiento encaminadas a la preservación de los activos para garantizar su disponibilidad en el proceso, todo esto siendo posible gracias a la aplicación de la Metodología Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). Se realizaron trabajos en campo que permitieron no solo conocer a profundidad la operación de los equipos, sino identificar las fallas más comunes, y como solventarlas, así como recabar toda la información necesaria para el desarrollo del proyecto, se realizaron reuniones con el equipo natural de trabajo, para recopilar en las hojas de información todas las funciones, efectos, consecuencias de las fallas de las bombas; a su vez, estas reuniones también sirvieron para desarrollar el Árbol Lógico de Decisiones y así, encontrar las acciones de mantenimiento y frecuencias de ejecución que mejor se adaptan al contexto operativo. Finalmente se elaboraron los procedimientos de trabajo, de las posibles actividades de mantenimiento que se pueden realizar a las bombas, en base a la Norma Técnica SI-S-20.

Este proyecto sirvió de guía durante la implementación de las acciones de mantenimiento que fueron necesarias para la preservación de los activos de la empresa (equipos que conforman los sistemas de los taladros de perforación) y de esta manera, garantizarle a la misma su disponibilidad en el proceso, ya que estos equipos juegan un papel muy importante en el proceso productivo.

Guaipo, R. (2013). *"Diseño de un Plan de Mantenimiento aplicando la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), a los equipos de control de sólidos ubicados en los taladros PDV-1, PDV-3 PDV-21 Y PDV-54 de la Empresa PDVSA Servicios".* Esta investigación tiene como finalidad mejorar la gestión de mantenimiento, evitar la utilización excesiva de las horas extras de mantenimiento, las recurrentes fallas y paradas de los equipos. En vista de no contar con historiales de mantenimiento fue conveniente utilizar la Metodología MCC, donde se determinó el contexto operacional de los equipos de control de sólidos, aplicando así un análisis de criticidad para enfatizar estudios y destinar recursos en los componentes de mayor relevancia, luego se realizó un Análisis de los Modos y Efectos de Falla a los equipos que resultaron críticos, para luego determinar el tipo de mantenimiento mediante el ALD, de allí se elaboró el plan de mantenimiento donde se generaron 14 tareas de mantenimiento preventivo, de las cuales un 36% es distribuido al departamento de mecánica y electricidad.

La investigación descrita anteriormente, fue de gran ayuda en el estudio de los equipos de control de sólidos, los cuales forman parte importante de los sistemas de circulación de los taladros de perforación, por lo que permitió visualizar de manera más clara las fallas que presentaban dichos equipos y posteriormente, poder proponer una serie de actividades de mantenimiento que permitieran minimizar el número de fallas y garantizar un buen funcionamiento.

Martínez, V. (2012) *"Diseño de planes de mantenimiento aplicando la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para los equipos del sistema de desetanización del tren "A" de la planta de extracción San Joaquín de PDVSA Gas".* En este trabajo se aplicó la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC), para el diseño de un plan de mantenimiento para los equipos del sistema de desetanización "A" de la planta de extracción San Joaquín de PDVSA Gas. Se describió el contexto operacional del sistema mediante la revisión y

recolección de información técnica y operacional en manuales y documentos técnicos, además de la realización de entrevistas no estructuradas al personal de la planta y visitas al área operacional. Se realizó un análisis de criticidad para jerarquizar los equipos del sistema, resultando los equipos de bombeo los de más alta criticidad, por lo que fueron elegidos para ser estudiados mediante la herramienta de Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF), a través de la cual se analizaron los distintos modos de fallos de los equipos y posteriormente se establecieron las tareas de mantenimiento mediante la aplicación del Árbol Lógico de Decisiones (ALD). Con la información del AMEF y el ALD, se elaboraron planes de mantenimiento preventivo a los equipos críticos, los cuales constan de 26 actividades para cada equipo. Los planes generan 1345 Horas-Hombres anualmente, siendo la mayor parte atribuidas a los departamentos de Operaciones (47,5%) y Mecánica (15,1%).

El trabajo de investigación antes mencionado, fue de gran ayuda para afianzar los conocimientos sobre la aplicación del Análisis de Modos y Efectos de Falla, establecer las recomendaciones a las fallas presentadas y luego realizar el plan de mantenimiento para minimizar las mismas.

2.2 Bases teóricas

Las bases teóricas comprenden un conjunto de conceptos y proposiciones que constituyen el punto de partida o enfoque determinado, dirigido a explicar el fenómeno o problema planteado. En este sentido, a continuación se presentan algunos fundamentos que permitieron orientar el desarrollo de la presente investigación:

2.2.1 Mantenimiento

La norma venezolana COVENIN 3049-93 (1993) define el mantenimiento como "el conjunto de acciones que permite conservar o restablecer un sistema productivo a un estado específico, para que pueda cumplir un servicio determinado" (p.1). En otras palabras, el mantenimiento es un conjunto de actividades que tienen la finalidad de preservar, efectuar reparaciones y arreglos necesarios a equipos, máquinas, herramientas e instalaciones productivas de una empresa u organización, para que las mismas conserven una operatividad satisfactoria durante su ciclo de vida.

2.2.2 Objetivo del mantenimiento

Según la Norma Venezolana COVENIN 3049-93 (ob. cit):

> El objetivo del mantenimiento es mantener un sistema de producción en forma adecuada de manera que se pueda cumplir su misión, para lograr una producción esperada en empresas de producción y una calidad de servicios exigida, en empresas de servicio, a un costo global óptimo (p.1).

En otras palabras, el mantenimiento busca que los equipos y servicios de una empresa siempre estén en su máximo nivel de disponibilidad y confiablidad con el costo mínimo posible; y que a su vez, esto se traduzca en mejoras de la calidad y producción de los servicios de la misma.

2.2.3 Niveles de mantenimiento

Según la Norma PDVSA MM-01-01-03 el (2010) en el mantenimiento nivel I:

> Se describe el mantenimiento que involucra servicios básicos y las actividades de prevención, que no requieren desmontaje, apertura o parada del activo, así como registros de parámetros operacionales y la

> conservación de los aspectos de Seguridad Industrial, Higiene Ocupacional y Ambiente. Por ejemplo: Todas las actividades dirigidas a la conservación externa, inspección visual, completación de niveles de fluidos de lubricación y/o enfriamiento de los equipos, orden y limpieza del activo en general (p.6).

Es decir, que en este nivel de mantenimiento solo se incluye actividades que van dirigidas a la conservación externa de los equipos, como el enfriamiento de los equipos, orden y limpieza general de los mismos, etcétera.

Según la Norma PDVSA MM-01-01-03 (ob. cit) en el mantenimiento nivel II:

> Se describen todas las actividades de inspección no intrusiva, pruebas, mantenimiento de elementos que requieran o no paradas del activo y adicionalmente, monitoreo, registro de datos de mantenimiento y confiabilidad que permitan establecer la condición del elemento. Las paradas en este nivel no comprometen la continuidad operacional o el arranque del activo. Ejemplo: cambio de elementos consumibles (p.6).

En otras palabras, para llevar a cabo un mantenimiento nivel II se deben realizar actividades de inspección que se limiten a la parte externa de los equipos, pruebas de funcionamiento de los equipos y el registro de los datos que se obtengan en dichas pruebas.

Según la Norma PDVSA MM-01-01-03 (ob. cit) en el mantenimiento nivel III:

> Se describen todas las actividades de inspección intrusiva, pruebas, ensayos no destructivos especializados y mantenimiento preventivo para restituir las condiciones operacionales que requieran, con o sin parada del activo. La parada en este nivel compromete la continuidad operacional o el arranque del activo (p.7).

En este nivel se realizan pruebas, ensayos e inspecciones a los equipos que son mucho más profundas que las descritas en los niveles anteriores. Además, se dice que

este nivel compromete la continuidad operacional de los equipos porque la mayoría de las pruebas, ensayos e inspecciones que se le realizan a los mismos, deben ser ejecutadas por empresas que estén certificadas por organismos internacionales para que de esta manera puedan emitir los certificados de operatividad de los equipos, los cuales garantizarán que estos se encuentren en las condiciones correctas y bajo las normativas legales correspondientes según sea el caso, para que la empresa poseedora de los equipos esté protegida en caso de presentarse algún evento.

PDVSA MM-01-01-03 (ob. cit) establece que en el mantenimiento nivel IV: "se describen en general las actividades de restitución parcial del activo llevándolo a las condiciones de diseño, que permitan prolongar su vida útil e impliquen parada. Por ejemplo: Fabricación y/o reparación de piezas, armado y reparación de conjuntos" (p.7). Es decir, a partir de este nivel se incluyen actividades de mantenimiento mayor, puesto que requieren una mayor inversión para la reparación y fabricación de piezas y partes de los equipos.

Según la Norma PDVSA MM-01-01-03 (ob. cit), en el mantenimiento nivel V:

> Se realizan todas aquellas actividades de restitución total de las condiciones originales de diseño, que impliquen parada del activo. Igualmente, reparaciones del nivel IV asignadas a este nivel por razones económicas o de oportunidad, pudiéndose referir a mejoras operacionales, ampliación de la capacidad instalada o incorporación de nuevas tecnologías. En el caso que el mantenimiento sea catalogado como una inversión se debe considerar lo establecido en el Manual de Proyectos de Inversión de Capital (MPIC) y la asesoría directa del analista de finanzas (p.7).

Este nivel también incluye actividades de mantenimiento mayor pero mucho más complejas, ya que se agrega el rediseño de piezas y equipos, y la incorporación de nuevas tecnologías.

2.2.4 Planes de mantenimiento

Duffua, S. (2000) expresa que los planes de mantenimiento "son documentos que proporcionan detalles en la forma en que se ejecutan los procesos, además quien realiza las tareas, cuando se hacen y donde se hacen" (p.154). La información necesaria para elaborar estos planes se obtiene a través de: recopilación de las recomendaciones de los fabricantes de los equipos, experiencia de los técnicos y responsables de las operaciones del equipo o sistema en estudio y de otras parecidas. El mismo autor agrega que los planes de mantenimiento son:

> Una herramienta de mejora para los equipos, permite construir una base de datos sobre una determinada máquina, sirviendo de referencia a la ingeniería de planta, capitalizando experiencias y evitando reinventar un mantenimiento cada vez que llega un nuevo equipo a la empresa (p.265).

En otras palabras, cuando se elaboran planes de mantenimiento a una empresa donde nunca se ha realizado mantenimiento y los registros requeridos no existen, los planes se hacen en función de las recomendaciones del fabricante y la experiencia de los técnicos. En estos casos, los elementos necesarios para la elaboración de un plan de mantenimiento son los manuales de mantenimiento y los programas de mantenimiento.

2.2.5 Manual de mantenimiento

De acuerdo con la norma COVENIN 3049-93 (ob. cit) "los manuales son documentos técnicos específicos de este sistema productivo, necesarios para cumplir con los objetivos de mantenimiento" (p.1), es decir, que son documentos que contienen una serie de procedimientos de trabajo, los cuales serán utilizados por el personal de mantenimiento como una guía al momento de la ejecución de las

actividades de mantenimiento, de manera que las mismas puedan llevarse a cabo correctamente.

2.2.6 Programa de mantenimiento

Huerta, R. (2010), expresa que "es una lista donde se asignan las tareas de mantenimiento a periodos de tiempo específicos, debe realizarse con mucha coordinación a fin de balancear la carga de trabajo y cumplir con los requerimientos de producción" (p. 120). Esta es la etapa donde se programa el mantenimiento planeado para su ejecución y se elabora un plan estratégico de mantenimiento.

2.2.7 Contexto operacional

Según Moubray, J. (1999): "el contexto operacional invade todo el proceso de formulación de estrategias de mantenimiento, comenzando con la definición de funciones" (p.29). Por tanto, es el primer documento que se realiza para un análisis de mantenimiento centrado en confiabilidad y el mismo debe realizarse cuidadosamente porque de esto dependerá la ejecución del análisis, el cual debe contener una descripción detallada de la instalación que será analizada; también se refleja el propósito del equipo o sistema, descripción de equipos y procesos, dispositivos de seguridad, metas de seguridad ambiental y operacional, volumen de producción, calidad, servicio, planes a futuro, personal, turnos de trabajo, operaciones, mantenimiento, gerencia, límites del sistema y un listado de componentes de cada sistema en caso de que haya división del sistema en varios subsistemas, incluyendo dispositivos de seguridad e indicadores.

2.2.8 Equipo natural de trabajo

Según la Norma PDVSA MM-01-01-01 (2010) el Equipo Natural de Trabajo (ENT) es:

> Un equipo multidisciplinario constituido por especialistas o actores de diferentes disciplinas que tienen como objetivo guiar la implementación de estrategias de mantenimiento y confiabilidad, la sincronización de actividades, el establecimiento de planes integrales de acción y la optimización de los costos de producción y mantenimiento en la organización. Entre los actores o especialistas que pueden conformar el ENT se encuentran: custodios de instalaciones, planificador, programador, ejecutor, ente técnico, entre otros (p.9).

Los integrantes del Equipo Natural de Trabajo deben formar parte de todos los estratos de la organización, es decir, personal gerencial, supervisorio, técnico y ejecutor, dado que cada uno de ellos tiene un nivel particular de conocimiento así como diferente visión del negocio. Por esto, mientras mayor sea el número de personas involucradas en el análisis, se tendrán mayores puntos de vista, evitando así los resultados parcializados, además el personal que participa nivela conocimientos y acepta con mayor facilidad los resultados, dado que su opinión es tomada en cuenta.

2.2.9 Análisis de criticidad

La Norma PDVSA MM-01-01-01 (ob. cit) expresa que el análisis de criticidad es:

> Una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos, de acuerdo a una figura de mérito llamada ”criticidad”, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basada en la realidad actual (p.6).

El análisis de criticidad es la herramienta que permite establecer niveles jerárquicos en sistemas, equipos y componentes en función del impacto global que generan, con el objetivo de facilitar la toma de decisiones. Para su realización se debe definir un alcance y propósito, establecer los criterios de evaluación, seleccionar un método de evaluación y luego establecer rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus consecuencias. Ambas magnitudes (frecuencias y consecuencias) se registran en una matriz, diseñada en base a un código de colores que denotan la menor o mayor intensidad del riesgo relacionado con la instalación, sistema, equipo o dispositivo que esté bajo análisis, tal como se ilustra en la figura 2.1:

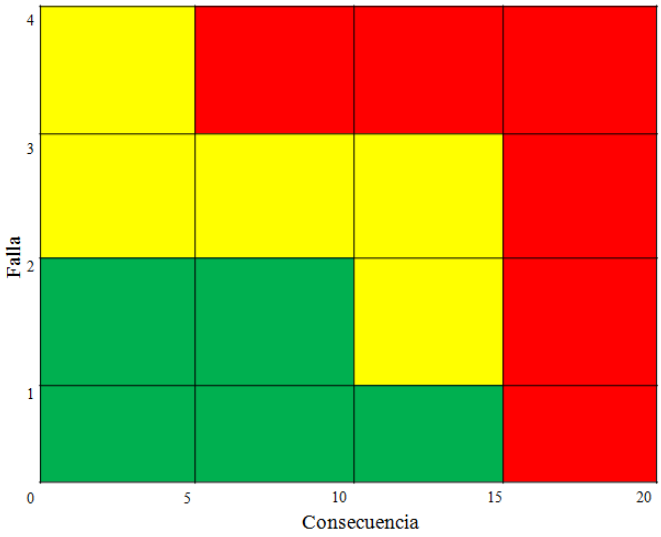


Figura 2.1. Modelo de una matriz de criticidad
Fuente: Norma de PDVSA MM-01-01-01

2.2.10 Criterios para el análisis de criticidad

Reliability Web (2007), establece como criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad los que se muestran a continuación:

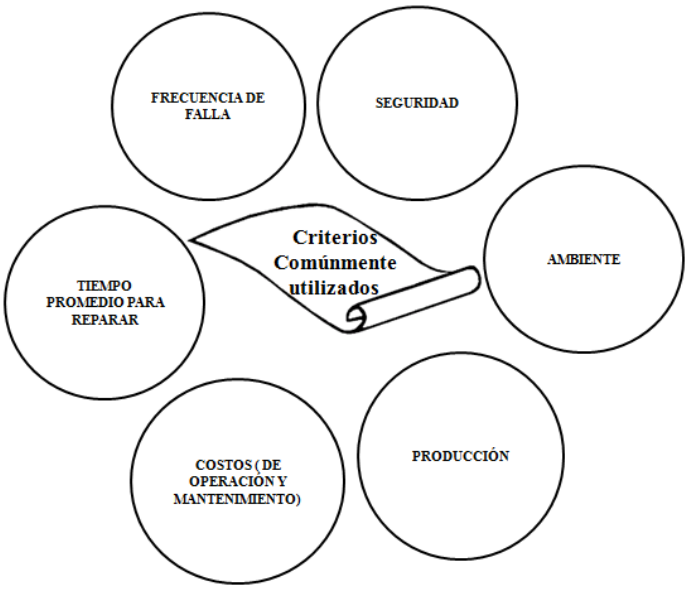


Figura 2.2. Criterios de criticidad más comunes
Fuente: el autor (2017)

Los criterios mostrados anteriormente no son los únicos que pueden utilizarse pero sí son los más utilizados al realizar una evaluación de criticidad.

2.2.11 Riesgo

Gutiérrez & Aguero (2008) afirman que "el riesgo es un término de naturaleza probabilística, que se define como egresos o pérdidas probables consecuencia de la probable ocurrencia de un evento no deseado o falla" (p.2). En este simple pero poderoso concepto coexiste la posibilidad de que un evento o aseveración se haga realidad o se satisfaga, con las consecuencias de que ello ocurra. Matemáticamente el riesgo asociado a una decisión o evento viene dado por la expresión universal:

$$Riesgo = Probabilidad\ de\ falla\ x\ Consecuencia \quad \text{Ec. 2.1}$$

Al momento de evaluar un particular evento o aseveración en particular, es necesario cuantificar las probabilidades de ocurrencia y consecuencias de cada uno de

los escenarios que conllevan al evento bajo estudio. El riesgo se comporta como una balanza que permite ponderar la influencia de varias alternativas en términos de su impacto y probabilidad, orientando al analista en el proceso de toma de decisión. En ese proceso de toma de decisiones se emplea el riesgo como una herramienta para la optimización de los planes de cuidado de activos, dirigiendo mayores recursos y esfuerzos para aquellos equipos que presente un riesgo elevado y una reducción de esfuerzo y recursos para los equipos de bajo riesgo, lo cual permite en forma general un gasto justificado en los recursos dirigidos a las partidas de mantenimiento.

2.2.12 Técnicas de análisis de riesgo

Existen diferentes técnicas para dimensionar el riesgo, todas ellas enmarcadas en tres modalidades: técnicas cualitativas, semi-cuantitativas y cuantitativas (ver figura 2.3).

Figura 2.3. Técnicas de análisis de riesgos
Fuente: el autor (2017)

2.2.12.1 Técnica cualitativa

Gutiérrez & Aguero (2008) establecen que este tipo de técnica "obedece a razonamientos de naturaleza cualitativa, donde la estimación de la probabilidad de ocurrencia de los eventos y de sus respectivas consecuencias se realiza utilizando una

escala relativa donde no se establecen rangos numéricos explícitos" (p.3), por lo tanto, se trata de una valoración realizada a través de las características que tienen como base un escenario de amenaza sobre los activos, y generalmente está asociado a una calificación de los riesgos que utiliza como parámetros cualidades como alto, medio o bajo.

Debido a que cada persona posee un concepto de lo que representa una característica "alta, media o baja" como una manera de clasificación, la evaluación cualitativa puede convertirse en un elemento subjetivo, por lo que en términos de seguridad de la información resulta básico definir criterios precisos de lo que cada categoría representa, con el objetivo (nuevamente) de obtener resultados consistentes.

2.2.12.2 Técnica semi-cuantitativa

Gutiérrez & Aguero (ob. cit) afirman que las técnicas semi-cuantitativas:

> Al igual que las técnicas cualitativas, son técnicas blandas, de fácil manejo y comprensión, cuya mayor virtud es la de proveer un valor de criticidad, proporcional al riesgo, que permite jerarquizar opciones para tomar una decisión, componentes dentro de un sistema, equipos o subsistemas en una instalación (p.3).

En las técnicas semi-cuantitativas, utilizan valores numéricos más las opiniones de expertos por lo que se consigue una baja subjetividad. Además, se establecen rangos relativos para representar las probabilidades de ocurrencia y las consecuencias correspondientes, llegándose a establecer una matriz de criticidad o de jerarquización del riesgo de cualquier complejidad, que si bien no corresponde a valores absolutos, si representan rangos numéricos de riesgo. Posteriormente, una vez cuantificadas (al menos comparativamente) las probabilidades de ocurrencia y las respectivas consecuencias, se procede a estimar en forma relativa el riesgo.

2.2.12.3 Técnica cuantitativa

Para realizar un dimensionamiento más objetivo del Riesgo, que permita juzgar sobre bases más sólidas su tolerabilidad, existe técnicas cuantitativas, mucho más complejas que las técnicas cualitativas y semi cuantitativas y que por ende requieren mayor tiempo para su desarrollo. Según Gutiérrez & Aguero (2008) "las técnicas cuantitativas permiten determinar valores absolutos de riesgo, que pueden tratarse como egresos probables y por ende incluirse en evaluaciones financieras a ser tomados en consideración en cualquier proceso de toma de decisiones" (p.4)

2.2.13 Método de los puntos

Según Gutiérrez & Aguero (ob. cit) "es una técnica semi-cuantitativa de cuantificación del riesgo, sustentada primordialmente en la opinión de expertos; que permite jerarquizar componentes o equipos de un sistema, en base a un indicador llamado criticidad que es proporcional al riesgo" (p.8). Es decir, como todo análisis semi-cuantitativo, puede ser impactado por la subjetividad de los expertos que intervienen en su aplicación, por lo que es recomendable el estudio de las bases o premisas que sustentan el diseño de la matriz de riesgo y la clara definición de cada uno de los términos de la ecuación de criticidad para evitar dualidad en la interpretación.

La base fundamental de este enfoque es el establecimiento de un sistema de puntos para valorar la criticidad; y de una matriz cuyos rangos de frecuencia y consecuencia se expresan en puntos; y, la ecuación base y la más usada con mayor frecuencia, para el cálculo de criticidad en esta metodología es la siguiente:

$$Riesgo\ (criticidad) = Frecuencia\ x\ Consecuencia \quad \text{Ec. 2.2}$$

La fórmula presentada anteriormente se establece de esa manera debido a lo siguiente:

- Criticidad es igual a multiplicar la frecuencia de falla por el impacto total.
- Riesgo es igual a multiplicar la probabilidad de falla por la consecuencia.
- Probabilidad de falla es proporcional a la frecuencia de falla.
- Consecuencia es proporcional al impacto total.
- Riesgo es proporcional a la criticidad.

2.2.13.1 Criterios para el método de los puntos

Según Gutiérrez & Aguero (ob. cit) afirman que "existen muchas guías de criticidad con diferentes criterios" (p.5), es decir, que no existe una única guía de criticidad cuyos criterios estén estandarizados, puesto que los mismos deben ajustarse al contexto operacional en el que se encuentran los activos, sistemas o equipos que son objeto del análisis. Dicho ajuste debe realizarse con el apoyo de un grupo de expertos o Equipo Natural de Trabajo.

2.2.14 Mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC)

Según la norma PDVSA MM-01-01-01, el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es:

> Una filosofía de gestión del mantenimiento, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de fallas de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones (p.13).

Es decir, que es un proceso sistemático que permite preservar las funciones prioritarias, identificando los modos de falla, seleccionando sólo tareas de mantenimiento que sean efectivas y aplicables.

2.2.14.1 Beneficios del Mantenimiento centrado en confiabilidad

Moubray, J. (1999) asegura que aplicar la filosofía del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad trae una serie de beneficios, entre los cuales menciona los siguientes:

- Mayor seguridad e integridad medioambiental.
- Desempeño operativo optimizado.
- Mejor relación costo-efectividad.
- Mayor vida útil en equipos de costos elevados.
- Un banco de datos comprensible.
- Mejoras en la motivación individual.
- Mejora en el trabajo en equipo. (p.21).

En otras palabras, aplicar la filosofía de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad va a permitirle a una empresa u organización: que pueda realizar el mantenimiento necesario a sus equipos, sin actividades ni personal innecesario que se traduzca en pérdidas de dinero; que mejore su rendimiento operativo porque estará en capacidad de realizar un diagnóstico más rápido de las fallas mediante a las referencias de los modos de fallas; que sus empleados se sientan más motivados debido a que habrá un reparto más amplio de los problemas de mantenimiento y esto a su vez permitirá mejorar la comunicación entre sus distintos departamentos; y que cuente con una amplia base de datos de mantenimiento, lo cual conllevará a la realización de planes y manuales más exactos y proveerá un conocimiento general más profundo del contexto operacional de la empresa.

2.2.14.2 Preguntas básicas para el análisis del mantenimiento centrado en confiabilidad

Moubray, J. (1999) indica que el proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad incita a responder las siguientes siete preguntas sobre el bien o sistema bajo revisión:

- ¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?
- ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
- ¿Qué ocasiona cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?
- ¿De qué modo afecta cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado? (p.11)

Las preguntas mencionadas anteriormente, permitirán consolidar los objetivos de la filosofía del MCC, que son: Aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los activos por medio del empleo adecuado de recursos. Para la resolución de estas preguntas se cuenta con técnicas de confiabilidad como el AMEF (Análisis de los Modos y Efectos de las fallas) y ALD (Árbol Lógico de Decisión). La primera técnica ayudará a responder las cinco primeras preguntas, mientras que la segunda ayudará a responder las restantes.

2.2.15 Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)

Bernal L. (2002) lo define como: “una técnica de prevención, utilizada para detectar por anticipado los posibles modos de falla, con el fin de establecer los

controles adecuados que eviten la ocurrencia de defectos" (p. 9). Es decir, que es un proceso sistemático que se aplicará para identificar las fallas potenciales de los sistemas y componentes de los taladros de perforación que resulten más críticos antes de que éstas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas.

2.2.16 Función

Según la Norma SAE JA1012 (2002) "la función es lo que el dueño o usuario de un activo físico o sistema desea que este haga" (p.6), es decir, que la función de un sistema o equipo viene dada por la necesidad que tiene el dueño o usuario del equipo de llevar a cabo una o varias actividades en un contexto operacional determinado.

2.2.16.1 Función evidente

La Norma SAE JA1012 (ob. cit) define a la función evidente como "una función cuya falla aislada se vuelve evidente al personal de operaciones en circunstancias normales" (p.6), es decir, que no haría falta realizar ningún procedimiento para detectar una falla de una función de este tipo.

2.2.16.2 Función oculta

Según la Norma SAE JA1012 (ob. cit) es "una función cuya falla aislada no se vuelve evidente al personal de operaciones bajo circunstancias normales" (p.6), es decir, que para detectar una falla de este tipo de función habría que realizar algún procedimiento.

2.2.16.3 Función primaria

Según la Norma SAE JA1012 (ob. cit), las funciones primarias "constituyen la razón principal por la que el activo físico o sistema es adquirido por su dueño o usuario" (p.6), es decir, que el dueño o usuario debe definir qué necesita que haga el sistema, de qué quiere que sea capaz o la razón principal por la que ese sistema existe; y esa o esas serán las funciones principales de ese sistema.

2.2.16.4 Función secundaria

Sobre las funciones secundarias la Norma SAE JA 1012 (ob. cit) dice que:

> Son las funciones que un activo físico o sistema tiene que cumplir a parte de sus funciones primarias, así como aquellas que necesitan cumplir con los requerimientos reguladores o a las cuales conciernen los problemas de protección, control, contención, confort, apariencia, eficiencia de energía e integridad estructural (p.6).

En otras palabras, las funciones secundarias no son más que todas las funciones que no incluyen a las funciones primarias, además de que dichas funciones secundarias están relacionadas con ítems como el ambiente, la seguridad, el confort, el control y la apariencia.

2.2.17 Falla funcional

Según Moubray, J. (ob. cit): "la falla funcional se presenta cuando un activo es incapaz de cumplir una función a un nivel de desempeño que sea aceptable por el usuario" (p.13). En otras palabras, es la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado. La pérdida parcial de una función es razón por lo que la misma pueda tener más de una falla funcional,

una función puede incorporar varios criterios de prestación, y si no se cumple alguno ya es una falla funcional.

2.2.17.1 Falla parcial

Moubray, J. (ob. cit) dice que:

> Se considera falla parcial a aquella donde el activo todavía funciona, pero a niveles inaceptables de desempeño (incluyendo también los casos donde no se alcanza el nivel de precisión o calidad), pero éstas solo pueden ser identificadas una vez que las funciones y desempeño estándares hayan sido definidos con claridad (p.13).

2.2.17.2 Falla Total

Según Moubray, J. (ob. cit), una falla total: "es aquella donde el activo deja de realizar por completo su función" (p.47). Es decir, que en el momento que un equipo deja de funcionar o realizar el trabajo que debe hacer, se dice que presenta una falla total.

2.2.18 Modos de falla

Villamizar, L. (2004), señala que los modos de falla son: "los que permiten comprender exactamente qué es lo que se está tratando de prevenir, para ello es importante definir la causa de la falla y no concentrarse en los síntomas de la misma". (p. 137). Por esto, se debe realizar una lista de modos de falla, para cada falla funcional, anotando solo aquellos que tengan más probabilidad de que ocurran.

2.2.19 Efectos de falla

Villamizar, L. (ob. cit), señala que: “es lo que sucede al producirse cada modo de falla, permite decidir la importancia de cada falla y el nivel de mantenimiento preventivo que es necesario” (p. 138).

2.2.20 Consecuencias de las fallas

La Norma SAE JA1012 (ob. cit) expresa que las consecuencias de fallas son “los efectos que puede provocar un modo de falla o una falla múltiple (evidencia de falla, impacto en la seguridad y ambiente, en la capacidad operacional y en los costos de reparación directos o indirectos” (p.5). Las consecuencias de las fallas permiten saber cómo y cuánto importa cada falla, además de los impactos que produce cada modo de falla en el negocio, ya que estas indican si se necesita prevenirlas y con qué esfuerzo. Es decir, proporcionan una base para decidir si merece la pena realizar el mantenimiento preventivo; y cuando la naturaleza de un activo no permita prevenir las fallas, las consecuencias indican cual es la acción “a falta de” que debe ejecutarse.

La clasificación de las consecuencias de las fallas se puede observar en la figura 2.4 que se presenta a continuación:

Figura 2.4. Consecuencias de las fallas
Fuente: Norma SAE JA1012 (2002)

2.2.20.1 Fallas ocultas

La Norma SAE JA1012 (ob. cit) dice una falla oculta "no es evidente para el personal de operaciones bajo circunstancias normales" (p.6). Es decir, que el personal de operaciones tendría que realizar algún procedimiento para detectar su existencia.

Las fallas ocultas son muy comunes en equipos modernos. Por lo general no tienen ningún impacto directo, pero exponen a la organización con consecuencias más serias, por lo cual en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad se les considera de gran importancia.

2.2.20.2 Consecuencias en la seguridad

La Norma SAE JA1012 (ob. cit) dice que "un modo de falla tiene consecuencias en la seguridad si puede dañar o matar a un ser humano" (p.5).

2.2.20.3 Consecuencias en el ambiente

Según la norma SAE JA1012 (ob. cit) "un modo de falla tiene consecuencias ambientales si puede violar cualquier norma ambiental corporativa, municipal, regional, nacional internacional, o la regulación que aplica para el activo físico o sistema en consideración" (p.5).

2.2.20.4 Consecuencias operacionales

Las consecuencias operacionales son aquellas que traen consigo un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional, es decir, que afectan el rendimiento total, la calidad del producto y el servicio al cliente; pero no afectan la seguridad y el ambiente. Por esto, la Norma SAE JA1012 (ob. cit) expresa que dichas consecuencias "Afectan adversamente la capacidad operacional de un activo físico o sistema (producción, calidad del producto, servicio al consumidor, capacidad militar, o costos operacionales en adición al costo de reparación" (p.6).

2.2.20.5 Consecuencias no operacionales

Según la Normar SAE JA 1012 (ob. cit), las consecuencias no operacionales "no afectan adversamente la seguridad, el ambiente o las operaciones, y solo requiere reparación o reemplazo de cualquier elemento que podría ser afectado por la falla" (p.5). En otras palabras, las consecuencias no operacionales son los costos directos de la reparación, es decir, son consecuencias económicas.

2.2.21 Tareas preventivas o proactivas

Strategic Technologies INC (1999), expresa que las tareas preventivas: "son aquellas que ayudan a decidir qué hacer para prevenir una consecuencia de falla. El

que una tarea sea técnicamente factible depende de las características de la falla y la tarea" (p.42). Las mismas se dividen en tres (3) categorías: tareas a condición, tareas de reacondicionamiento cíclico y tareas de sustitución cíclica. El mismo autor expresa:

> Tareas a condición: consisten en chequear si los equipos están fallando, de manera que se puedan tomar medidas, ya sea para prevenir la falla funcional o para evitar consecuencias de los mismos, las cuales están basadas en el hecho de que un gran número de fallas no ocurren instantáneamente, sino que se desarrollan a partir de un período de tiempo (p.42).

En otras palabras, se conocen como tareas a condición porque los elementos siguen funcionando a condición de que continúen satisfaciendo los estándares de funcionamiento deseado, y se basan en el hecho de que la mayor parte de las fallas dan alguna advertencia de que están a punto de ocurrir. El mismo autor establece que:

> Tareas de Reacondicionamiento Cíclico: consisten en revisar a intervalos fijos un elemento o componente, independientemente de su estado original. La frecuencia de una tarea de reacondicionamiento cíclico está determinada por el tiempo en que el elemento o componente exhibe un incremento rápido de la probabilidad condicional de falla (p.43).

Es decir, el reacondicionamiento cíclico consiste en hacer revisiones a un equipo de manera constante cada cierto tiempo, sin importar en qué condiciones se encuentre el mismo. Además Strategic Technologies INC (ob. cit) agrega que:

> Tareas de Sustitución Cíclica: consisten en reemplazar un equipo o sus componentes a frecuencias determinadas, independientemente de su estado en ese momento. La frecuencia de una tarea de sustitución cíclica está gobernada por la "vida útil" de los elementos (en otras palabras, el tiempo para la cual hay un rápido incremento en la probabilidad de falla) (p.43).

Las tareas de sustitución cíclica son aquellas en las que un equipo o componente es reemplazado por otro cada cierto tiempo y sin importar si este estaba dañado o no.

2.2.22 Tareas correctivas o "a falta de"

Strategic Technologies INC (ob. cit) señala que: "las acciones de mantenimiento correctivo son las que deben tomarse si no se pueden encontrar tareas preventivas apropiada" (p.43). Estas tareas están regidas por las consecuencias de la falla y entre ellas se encuentran: La búsqueda de fallas, el no realizar ningún mantenimiento preventivo y el rediseño.

Según Strategic Technologies INC (ob. cit), la búsqueda de Fallas: "consiste en chequear una función oculta a intervalo regular para verificar si ha fallado" (p.44). Además agrega que:

> Ningún mantenimiento preventivo se utiliza cuando la falla no causa consecuencia sobre la producción o la seguridad y no se puede encontrar una tarea preventiva adecuada, por lo que se deja que ocurra la falla y de allí la intervención para la reparación (p.44).

Es decir, si se trata de una falla que no traerá graves consecuencias en lo que respecta a la producción y la seguridad de la empresa, se dejará que la misma ocurra y luego se procederá a corregir dicha falla.

Strategic Technologies INC (ob. cit) define al rediseño como: "Cualquier cambio sobre las especificaciones del sistema en estudio, es viable solo cuando las tareas preventivas no son factibles y los modos de falla pueden generar daños sobre la seguridad y la producción" (p.44).

2.2.23 Árbol lógico de decisión (ALD)

Espinoza, H. (2003) plantea que:

> Es una herramienta del MCC, que permite seleccionar la tarea de mantenimiento más adecuada para evitar la ocurrencia de cada modo y efecto de falla. Da respuesta a las tres últimas preguntas básicas del MCC. Basándose en un flujograma de preguntas. El tipo de pregunta busca jerarquizar las actividades (p. 5).

El Árbol Lógico de Decisión es un diagrama o algoritmo mediante el cual se analizan modos de fallas en base a las consecuencias de estos sobre los procesos de seguridad y ambiente. El análisis permite seleccionar las actividades de mantenimiento más adecuadas para manejar cada modo de falla.

2.2.24 Tareas basadas en condición

Según la Norma SAE JA1012 (ob. cit) "son tareas programadas usadas para detectar fallas potenciales en los equipos. Consisten en la revisión regular de la condición mecánica real, eficacia y otros indicadores de la condición en que operan los equipos y sistemas del proceso" (p.33).

2.2.25 Tareas de restauración programada

La Norma SAE JA1012 (ob. cit) expresa que:

> Son tareas que procuran restaurar la capacidad de un elemento en un intervalo específico (límite de longevidad), sin tener en cuenta su condición en el momento, a un nivel que proporciona una posibilidad tolerable de supervivencia hasta el final de otro intervalo específico, el cual no tiene que ser necesariamente igual al intervalo inicial (p.39).

2.2.26 Tareas de desincorporación programada

Según la Norma SAE JA1012 (ob. cit) "son tareas que traen consigo la desincorporación de un componente en o antes de un límite de longevidad específico, sin tener en cuenta su condición en el momento" (p.39).

2.2.27 Tareas de detección de fallas

La Norma SAE JA1012 (ob. cit) expresa que "son tareas programadas utilizadas para determinar si ha ocurrido una falla oculta determinada, las cuales no se evidencian, hasta que ocurra un evento" (p.40).

2.2.28 Combinación de tareas

Según la Norma SAE JA1012 (ob. cit), es una estrategia de mantenimiento que:

> Es aplicable cuando modo de falla puede afectar al sistema o su entorno y no se puede encontrar ninguna tarea programada que por sí misma reduzca el riesgo de falla a un nivel bajo tolerable. Normalmente se pueden combinar dos categorías diferentes, tales como una tarea basada en condición y una tarea de desincorporación programada, pueda reducir el riesgo del modo de falla a un nivel tolerable (p.45).

2.2.29 Pozo petrolero

Según el Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED) (1998):

> Un pozo es el medio que comunica el yacimiento con la superficie, y por ello los fluidos son producidos a través de él. Un pozo de petróleo es el hoyo que se perfora a través de la corteza terrestre en una forma ordenada y metódica, con un taladro debidamente equipado con el objeto de alcanzar y producir el yacimiento que contiene petróleo (p.5).

La perforación del pozo es una de las fases más importante de la extracción de crudo. El éxito de la misma es buen indicio para asegurar la producción estimada y la vida productiva, tal que, se garantice la recuperación de la inversión así como su rentabilidad. De igual manera este éxito, una vez extrapolado a todo el yacimiento, se traduciría en lograr un índice de recobro aceptable dentro de los planes de explotación y por ende la vialidad futura del negocio.

2.2.30 Taladro de perforación

El Centro Internacional de Educación y Desarrollo (ob. cit) define al taladro de perforación como "un dispositivo utilizado para realizar la perforación del suelo, generalmente entre 800 metros y 6.000 metros de profundidad, para pozos ya sean de gas, agua o petróleo" (p. 5). En otras palabras, un taladro de perforación es básicamente un sistema rotatorio impulsado por un motor que permite bajar tubos en forma acoplada, los cuales van girando y perforando hacia abajo, de manera que le permita hacer un hoyo en el subsuelo hasta llegar al lugar donde se encuentra entrampado el hidrocarburo comúnmente llamado petróleo; para ello son indispensables: equipos, herramientas e instrumentos, los cuales conforman los sistemas de dicho taladro, que permiten realizar las labores de perforación.

El taladro de perforación está compuesto por cinco sistemas y la cantidad de equipos que conforman cada uno de esos sistemas pueden variar según el modelo, la marca o la potencia del mismo (ver figura 2.5).

Figura 2.5 Sistemas de un taladro de perforación
Fuente: el autor (2017)

2.2.31 Sistema de circulación

El Centro Internacional de Educación y Desarrollo (ob. cit) expresa que:

> Es una serie de equipos y accesorios que permiten el movimiento continuo del eje principal en el fluido o lodo de perforación. El lodo de perforación es preparado en superficies utilizando equipos especiales que faciliten la mezcla y tratamiento del mismo (p. 8).

El sistema de circulación consiste en la circulación de lodo químico a alta presión, cuyo objetivo es lubricar, refrigerar y transportar los escombros removidos por la mecha del taladro de perforación a su paso dentro del terreno. Es de vital importancia ya que sin este sistema el taladro no lograría penetrar ni metros en el suelo, debido a que la gran fricción generada elevaría la temperatura y fundiría la mecha. Este sistema está conformado principalmente por bombas de lodo, tanques de lodo y equipos de control de sólidos (ECS).

2.2.31.1 Bombas de lodo

Las bombas de lodo son las encargadas de enviar dentro del yacimiento el fluido de perforación, a una presión y caudal determinado, por lo tanto desempeñan

un papel muy importante dentro de la perforación de pozos petrolíferos. Las bombas que se emplean son de tipo reciprocante de doble efecto, las cuales son accionadas por motores de combustión interna.

La fuerza hidráulica producida por las bombas puede ser utilizada para aumentar la velocidad de penetración. El equipo de bombeo, generalmente, consiste de dos bombas de gran capacidad y una más pequeña que se mantiene en reserva para emergencias y que se puede utilizar para mezclar los componentes del lodo en el sistema de superficie. Para más detalles observar figura 2.6.

Figura 2.6. Bombas de lodo
Fuente: Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos (2006)

2.2.31.2 Tanques de lodo

Un tanque de lodo es un contenedor, generalmente hecho de acero, utilizado para almacenar fluidos de perforación en una torre de perforación. También son llamados fosos de lodo (ver figura 2.7). Los tanques son generalmente de techo abierto y poseen pasarelas en la parte superior que permiten a los trabajadores inspeccionar los niveles de fluido en los tanques. Otros equipos son montados a menudo en la parte superior, y el acceso a esos equipos es posible gracias a las pasarelas.

2.2.31.3 Equipos de control de sólidos (ECS)

Son equipos encargan de remover, controlar y filtrar los sólidos que pueden encontrarse en el lodo de perforación, debido a que los tipos y las cantidades de sólidos presentes en el lodo de perforación determinan la densidad del fluido, así como otras propiedades químicas y mecánicas (ver figura 2.8). Los sólidos y sus volúmenes también afectan los costos del lodo y del pozo, de ahí la importancia que tiene el equipo de control de sólidos. Dentro de dichos equipos se encuentran: el mud cleaner, las zarandas y los desarenadores.

Figura 2.7. Tanques de lodo
Fuente: Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos (2006)

2.8. Equipo de control de sólidos
Fuente: Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos (2006)

2.2.32 Sistema de seguridad o de control de pozos

El Centro Internacional de Educación y Desarrollo (ob. cit) lo definen como "el sistema diseñado para cerrar el pozo en caso de contingencias y para permitir el desalojo de arremetidas ocurridas durante el proceso de perforación o rehabilitación" (p.9)

2.2.32.1 Válvula de seguridad anular (BOP anular)

La válvula de seguridad anular se encarga de impedir la salida de fluidos provenientes del hoyo, en el espacio que rodea a la tubería de perforación, a través de un elemento sellante de diámetro definido. Es un equipo que trabaja mediante presión hidráulica y está ubicado en la primera línea o parte superior de todo el conjunto de válvulas de seguridad con que cuenta el sistema de control de presión. Está constituida por una esfera metálica de alta presión, en el interior de la cual se encuentra el elemento sellante (goma elástica), que cierra y sella el espacio comprendido entre la sarta y el hoyo abierto (ver figura 2.9).

Figura 2.9. Válvula de seguridad anular
Fuente: Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos (2006)

2.2.32.2 Válvula de seguridad sencilla o simple (BOP simple)

La válvula de seguridad sencilla se encarga de impedir la salida de fluidos provenientes del hoyo, en el espacio que rodea a la tubería de perforación, a través de un juego de arietes metálicos de diámetro definido, es decir, es un equipo que permite cerrar o sellar hidráulicamente o manualmente, el espacio comprendido entre la sarta y el hoyo abierto, a través de un juego de arietes metálicos, con gomas especiales en los extremos para lograr un mayor y mejor sellado, los cuales poseen el diámetro específico de la tubería de perforación que se esté utilizando para el momento (ver figura 2.10).

Figura 2.10. Válvula de seguridad simple
Fuente: Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos (2006)

2.2.32.3 Válvula de seguridad doble (BOP doble)

Es un equipo que permite cerrar o sellar hidráulica o manualmente, el espacio comprendido entre la sarta y el hoyo abierto, pero a diferencia de la válvula sencilla, este posee dos juegos de arietes metálicos, con gomas especiales en los extremos para lograr un mayor y mejor sellado, en el cual, el primer juego de arietes posee el diámetro específico de la tubería de perforación que se esté utilizando para el momento, y el segundo juego puede ser de tres tipos de arietes, uno que permite colapsar la tubería, doblándola, otro que permita cortarla en casos extremos, y otro que pueda adaptarse a una variedad de diámetros a la vez (ver figura 2.11).

Figura 2.11. Válvula de seguridad doble
Fuente: el autor (2016)

2.2.32.4 Acumulador o unidad preventora

Es un equipo de alta presión hidráulica colocado a cierta distancia de las válvulas de seguridad y conectado a estas por líneas adecuadas. La unidad preventora es la que suministra la potencia a través de la inyección de fluido hidráulico al conjunto de las válvulas de seguridad, para impedir una arremetida del pozo (ver figura 2.12).

Figura 2.12. Acumulador o unidad preventora
Fuente: Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos (2006)

2.2.32.5 Choke manifold o múltiple de choque

Está definido como un ensamble de tuberías blindadas de acero, manómetros, niples y codos de alta presión, con salidas laterales controladas por válvulas manuales y automáticas. Este equipo se encuentra comunicado directamente con el conjunto de válvulas de seguridad, y cuando se activa este dispositivo, se logra mantener suficiente contra-presión en el hoyo para prevenir que continúen entrando fluidos desde la formación hacia el pozo (ver figura 2.13).

Figura 2.13. Múltiple de choque.
Fuente: Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos (2006).

2.2.33 Sistema de potencia

Según el Centro Internacional de Educación y Desarrollo (ob. cit): "es aquel que tiene la capacidad de generar energía y la unidad de medición más conocida y utilizada en los taladros para estos sistemas es; caballos de fuerza (HP)" (p.8). Este sistema está conformado por los motores a diesel, generadores y la casa de fuerza; proporcionándole así la energía a todo el taladro.

2.2.33.1 Motores

- Motor diesel: es un conjunto de mecanismos de precisión que, al trabajar sincronizados, transforman la energía química almacenada en el combustible, en trabajo mecánico. La mayoría de los motores diesel tienen cuatro tiempos, y sus fases son diferentes de las de los motores de gasolina, estas son: Admisión, compresión, expansión y escape (ver figura 2.14).

Figura 2.14. Motor diesel
Fuente: el autor (2016)

- Motor de corriente alterna (motor AC): es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas (ver figura 2.15).

Figura 2.15. Motor AC.
Fuente: Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos (2006).

2.2.33.2 Generadores

Son máquinas que convierten la energía mecánica en energía eléctrica de naturaleza continua como se observa en la figura 2.16. En estas máquinas, los embobinados del inducido están localizados en el estator y los embobinados de campo están localizados en el rotor. El principio de funcionamiento es el siguiente: al inyectar corriente continua al embobinado del rotor, se crea un campo magnético, el cual se hace giratorio por el movimiento del rotor, este campo induce un sistema de voltaje de corriente alterna en los embobinados del inducido localizados en el estator.

Figura 2.16. Generadores.
Fuente: Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos (2006).

2.2.33.3 Casa de fuerza

La casa de fuerza es un equipo en el cual se encuentran todos los controles y mandos que proporcionan energía y potencia eléctrica al taladro. A través de ella se distribuye gradualmente la corriente a todos los equipos eléctricos que conforman los sistemas operacionales. Posee "breakers" contactores de potencia, rectificadores controlados de silicio (SCR) y una serie de instrumentos eléctricos y electrónicos, que permiten suministrar eficientemente la energía que proviene de los generadores.

2.2.34 Sistema de levantamiento o izamiento

Centro Internacional de Educación y Desarrollo (ob. cit) indica que el sistema de levantamiento de un taladro de perforación "tiene la finalidad de proveer un medio para bajar o levantar la sarta de perforación o de revestimiento y otros equipos de subsuelo" (p.7).

2.2.34.1 Malacate

El malacate (que se observa en la figura 2.17) es el encargado de generar toda la potencia necesaria para suspender, levantar o soportar las diferentes cargas. Está ubicado entre los dos soportes traseros de la cabria, sirve de centro de distribución de potencia tanto para el sistema de levantamiento como el sistema de rotación. Los componentes esenciales del malacate son: El tambor, el eje de carreto y el contra eje.

Figura 2.17 Malacate
Fuente: Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos (2006)

2.2.34.2 Cabria o torre de perforación

La torre de perforación es una estructura compuesta de vigas metálicas que proporciona soporte al bloque corona, bloque viajero y a todos los accesorios y

herramientas que se utilizan en las operaciones de izamiento de la sarta de perforación.

El tamaño de la cabria puede variar desde los 69 hasta los 189 pies de altura, siendo la más común la de 142 pies. La altura de la cabria está relacionada directamente con su capacidad para manejar las secciones de la sarta de perforación, las cuales son denominadas "parejas" y las mismas pueden estar compuestas de 2 o 3 tubos según sea el caso. Estas estructuras están diseñadas tomando en cuenta la fuerza o carga vertical que puedan suspender, siendo las más comunes las que soportan entre 250 y 750 toneladas, así mismo, se debe tomar en cuenta la velocidad del viento que pueda soportar manteniéndose verticalmente. La mayoría de las torres pueden soportar vientos de 100 a 130 metros por hora (m.p.h.), pero las más utilizadas son las que resisten 75 metros por hora (m.p.h.) con la tubería en la torre y 115 metros por hora (m.p.h.) sin la tubería. Detalles en la figura 2.18.

Figura 2.18. Cabria
Fuente: Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos (2016)

2.2.34.3 Bloque corona

El bloque corona también llamado bloque fijo, está ubicado en la parte superior de la cabria de perforación y de él pende, a través del cable, el bloque viajero La corona o bloque fijo es el medio por el cual el peso de la sarta de perforación se transmite a la cabria y se compone de seis a siete poleas soportadas sobre cuatro o cinco vigas mediante chumaceras (o cojinetes) de rodillos. Las poleas tienen enhebrado el cable de perforación. Este es un cable de alambre de acero de 1 3/4" a 1 5/8" de diámetro y de 2.000 pies a 4.000 pies de largo, más o menos. De cuatro y ocho cables se extienden de la corona a través de las poleas del bloque viajero o móvil. El cable rápido se extiende al tambor del malacate y el cable muerto desciende de la corona para terminar en la polea del indicador de peso.

La corona siempre se encuentra cargada con bastante peso, pero su trabajo principal se realiza haciendo viajes de la columna de perforación (ver figura 2.19).

El encuellador debe lubricar las poleas de la corona al comenzar un viaje, o al menos una vez cada ocho horas. La corona (o poleas de coronas), es el medio por el cual la carga de peso de la columna de perforación se transmite a la torre. Su función es de proporcionar soporte para suspender a herramienta en el pozo y colocar el soporte a una elevación sobre el piso de la torre.

Figura 2.19. Bloque corona
Fuente: el autor (2016)

2.2.34.4 Bloque viajero

Es un conjunto de poleas recubierto por un armazón robusto que puede pesar entre 1.7 y 11.8 toneladas, y puede tener capacidades entre 58 y 682 toneladas, según sus dimensiones y especificaciones. Este equipo mantiene un movimiento de sube y baja a través del movimiento que le proporciona el cable de perforación que pasa por el bloque corona, y a través de él, se moviliza toda la sarta en las operaciones de perforación. Detalles en la figura 2.20.

Figura 2.20. Bloque viajero
Fuente: el autor (2016)

2.2.34.5 Gancho

Es un equipo que se encuentra unido a la parte inferior del bloque viajero (ver figura 2.21), y del cual, va suspendida la unión giratoria y la sarta durante las operaciones de perforación, además, sostiene el elevador durante el ascenso y descenso de la tubería o sarta de perforación. Sus capacidades van desde las 50 hasta las 600 toneladas, y está provisto de un resorte ubicado internamente, que sirve de amortiguador para los constantes golpes y tensiones a que es expuesto en las operaciones de perforación.

Figura 2.21. Gancho
Fuente: el autor (2016)

2.2.34.6 Guaya de perforación

La guaya de perforación es la que sale desde el carrete de abastecimiento o carreto de guaya, pasa por la roldana de la polea del cuadernal de la cornisa y una roldana del bloque viajero; así sucesivamente hasta haber dispuesto entre los dos cuadernales el número de cables deseados. La punta del cable se ata al carrete del malacate, donde luego se devanará y se enrollará la longitud del cable deseado. Este cable que va del malacate a la polea del bloque corona es el cable vivo o móvil, que se enrolla o desenrolla del malacate al subir o bajar el bloque viajero. El cable vivo está sujeto a un severo funcionamiento, fatiga y desgaste (ver figura 2.22).

Figura 2.22. Carretos de guaya
Fuente: Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos (2016)

2.2.35 Sistema de rotación

El Centro Internacional de Educación y Desarrollo (ob. cit) define al sistema de rotación como: "un sistema encargado de proporcionar la rotación necesaria a la sarta para que la mecha pueda penetrar la corteza terrestre hasta las profundidades donde se encuentran los yacimientos" (p.9). Es decir, es el conjunto de equipos que permiten rotar, suspender y sostener la sarta de perforación durante las operaciones.

2.2.35.1 Top drive

Es el encargado de sostener las cargas en el extremo móvil de izamiento, actualmente es un equipo utilizado en las labores de perforación, ya que una de sus funciones también es dar sostén y peso a la tubería, de manera tal de mantener presionado el hoyo, evitando por lo tanto que el fluido suba repentinamente a la superficie (ver figura 2.23).

Figura 2.23. Top drive.
Fuente: Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos (2017).

2.3 Marco legal

2.3.1 Norma SAE JA1012

Esta norma tiene como objetivo amplificar y aclarar cada uno de los criterios claves listados en la norma SAE JA1011, además pretende resumir problemas adicionales que deben ser tomados en cuenta para aplicar exitosamente un Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

Debido a lo dicho anteriormente, la norma SAE JA1012 fue de gran ayuda al momento de aplicar la filosofía del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en el presente trabajo de grado, ya que esta norma explica detalladamente todos los conceptos y términos que comprende dicha filosofía.

2.3.2 Norma ISO 14224

Este estándar internacional tiene como objetivo proporcionar una base integral para la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento en un formato estándar para las áreas de perforación, producción, refinación y transporte de petróleo y gas natural a través de ductos. Además, presentar las directrices para la especificación, recolección y certificación de calidad de la información de confiabilidad y Mantenimiento.

Esta norma internacional fue de gran ayuda para establecer la forma en que se debían clasificar los equipos de los taladros de perforación y además sirvió de base para diseñar las hojas de decisión y hojas de información utilizadas en las técnicas del Árbol Lógico de Decisión y Análisis de Modos y Efectos de Fallas, respectivamente.

2.3.3 COVENIN 3049-93

Esta norma venezolana establece el marco conceptual de la función mantenimiento a fin de tender a la unificación de criterios y principios básicos de dicha función. Su aplicación está dirigida a aquellos sistemas en operación, sujetos a acciones de mantenimiento. Dicha norma fue una de las más importantes bases teóricas utilizadas en esta investigación puesto que en ella se detallan los principales términos referentes al mantenimiento.

2.3.4 Norma MM-01-01-01

El objetivo de esta norma es establecer las definiciones de los términos asociados a mantenimiento y confiabilidad para la empresa PDVSA, por lo cual fue muy oportuno utilizar dicha guía como una de las bases de esta investigación.

2.3.5 Norma MM-01-01-03

El objetivo de esta norma es definir los niveles de mantenimiento de los activos, que permitan establecer las acciones generales requeridas para el mantenimiento a ejecutar en las instalaciones de PDVSA, haciendo uso efectivo de los recursos necesarios. Por lo cual permitió definir las actividades de mantenimiento que pertenecen a un nivel III.

CAPÍTULO III
MARCO METODOLÓGICO

En el presente se dan a conocer todos los aspectos relacionados con la metodología desarrollada, donde se especifican las características y aspectos de la investigación. En tal sentido, la metodología constituye un procedimiento general para lograr de una manera precisa el objetivo de la investigación. De allí que el diseño metodológico empleado durante el abordaje de esta investigación permitió confrontar y verificar la visión teórica del problema y los objetivos planteados con los datos de la realidad, así como los lineamientos bajo los cuales se han de regir las mismas, donde se destacan aspectos como: el tipo de investigación, población, instrumentos y técnicas que permitieron el desarrollo de esta investigación.

3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación se refiere a la clase de estudio que se realizó. Orienta sobre la finalidad general del estudio y sobre la manera de recoger las informaciones o datos necesarios. El presente trabajo de grado correspondió a una investigación de nivel descriptivo.

Arias, F. (2006) expresa que:

> Una investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere (p.22).

De acuerdo al problema planteado y que estará referido a la Propuesta de un plan de mantenimiento nivel III para los sistemas críticos de los taladros de

perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA GAS, Anaco Estado Anzoátegui, se utilizó en este trabajo el tipo de investigación descriptiva, porque se detallaron las condiciones actuales de los taladros antes mencionados así como sus sistemas en relación a la capacidad de la empresa en realizar su gestión de mantenimiento, de igual manera se detallaron todas aquellas directrices que permitirán dar solución a la problemática planteada.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación que se empleó para desarrollar el presente trabajo, es un diseño de campo.

Arias, F. (ob. cit) establece que una investigación de campo:

> Es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental (p.29).

Con base en esto se afirma que el diseño de investigación es de campo, puesto que los datos necesarios para llevar a cabo la misma fueron obtenidos directamente del sitio en donde ocurren los hechos, que es la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos de PDVSA GAS Anaco.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

Arias, F. (ob. cit) expresa que "la población, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y los objetivos de estudio" (p.77). En tal sentido la población o universo por estudiar se concibe como el espacio de donde se extraerá la muestra que se utilizará en la investigación.

Para el desarrollo de esta investigación, se necesitó definir la población vinculada con los seis (6) taladros de perforación pertenecientes a la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos de PDVSA Gas Anaco y los cinco (5) sistemas que los componen, la cual estuvo representada por el personal encargado de realizar las actividades de inspección y de mantenimiento a los mismos. Por consiguiente, la población estuvo constituida por un grupo de 33 personas, como se observa en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Población asociada a un taladro de perforación

PERSONAL	CANTIDAD
Ingeniero de mantenimiento	**1**
Técnico superior en mantenimiento mecánico	**2**
Técnico superior en electromecánica	**2**
Técnico superior en electricidad	**2**
Técnico superior en instrumentación	**2**
Técnico en higiene y seguridad industrial	**1**
Soldador	**2**

Tabla 3.1. Continuación

PERSONAL	CANTIDAD
Supervisor de 24 horas	**2**
Especialista en herramientas	**3**
Personal obrero	**16**
TOTAL PERSONAL	**33**

Fuente: Departamento de perforación y mantenimiento de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos de PDVSA GAS Anaco (2016)

3.3.2 Muestra

Arias, F. (ob. cit) expresa que "la muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible" (p.79). Cabe destacar que de manera intencional se escogió como muestra a los cinco (5) profesionales que se muestran en la tabla 3.2, debido a que los mismos tenían completa disponibilidad para cooperar con el trabajo de investigación.

Tabla 3.2. Muestra de la investigación

NOMBRE	CARGO	DEPARTAMENTO
Ramón Guilarte	**Supervisor Mayor Mecánico**	**Gerencia de Mantenimiento**
Eduar Hernández	**Técnico Mecánico**	**Gerencia de Mantenimiento**
Luis Pernil	**Técnico Electricista**	**Gerencia de Mantenimiento**
Edgar Pérez	**Técnico instrumentista**	**Gerencia de Mantenimiento**
Heidy González	**Supervisor de Seguridad Industrial e Higiene Ocupacional**	**Gerencia de Seguridad Industrial e Higiene Ocupacional**

Fuente: Población asociada al taladro (2016)

Ahora bien, el Equipo Natural de Trabajo (ENT) que se conformó para esta investigación está integrado por el mismo grupo de profesionales mencionados como muestra.

3.3.3 Unidad de estudio

Sabino (1999), define las unidades de estudio como "la totalidad del fenómeno a estudiar de población posee una característica común, la cual se estudiará y dará origen a los datos de la investigación" (p. 93). En esta investigación la unidad de estudio la conformaron los cinco sistemas de los seis (6) taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos de PDVSA Gas Anaco y los equipos que los conforman.

La cantidad de equipos que conforman los cinco sistemas de un taladro de perforación pueden variar según el modelo y la potencia del mismo. En la tabla 3.2 se pueden observar de manera detallada las unidades de estudio basadas en el taladro PDV-54 de 2000 HP de potencia.

Tabla 3.2. Descripción de las unidades de estudio.

SISTEMA	EQUIPOS	CANTIDAD
Circulación	**Bombas de lodo**	**3**
	Bomba centrífuga	**10**
	Tanque de Lodo	**6**
	Agitador de lodo	**16**
	Zaranda	**3**
	Mud cleaner	**2**
	Desarenador	**4**
Seguridad	**BOP Ram sencillo**	**1**
	BOP Ram doble	**1**
	BOP anular	**1**
	Multiple Manifold	**1**
	Unidad preventora	**1**
Potencia	**Motores**	**4**
	Generadores	**4**
	Casa de fuerza	**1**
Levantamiento	**Malacate**	**1**
	Cabria	**1**
	Bloque viajero	**1**

Tabla 3.2. Continuación.

SISTEMA	EQUIPOS	CANTIDAD
Levantamiento	**Bloque corona**	**1**
	Gancho	**1**
	Guaya de perforación	**1**
Rotación	**Top drive**	**1**
	TOTAL DE EQUIPOS	**65**

Fuente: Fichas técnicas de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos de PDVSA GAS Anaco (2017)

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Sabino (Ob. cit), expone que "un instrumento de recolección de datos es, en principio, cualquier recurso de que pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos la información" (p. 42). Las técnicas que permitieron recolectar los datos en esta investigación fueron específicamente la revisión bibliográfica, entrevistas estructuradas, entrevistas no estructuradas, lluvia de ideas y observación directa, las cuales se definen a continuación.

3.4.1 Revisión bibliográfica

Tamayo & Tamayo (2004) mencionan que la revisión documental:

> Es una técnica en la cual se recurre a información escrita, ya sea bajo la forma de datos que pueden haber sido producto de mediciones hechas por otros o como textos que en sí mismos constituyen los eventos de estudio (p.183).

En otras palabras, la revisión bibliográfica de esta investigación estuvo dirigida a recoger y analizar información extraída u obtenida de documentos, planes de mantenimiento, normas de la empresa y fichas técnicas sobre los sistemas de los seis (6) taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos de PDVSA GAS Anaco, que fueron objeto de estudio.

Del mismo modo, la obtención de las fuentes de información mencionadas anteriormente, sirvió de base para el desarrollo de toda la investigación puesto que la misma requirió de una gran base de información teórica y técnica para la aplicación de la filosofía de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) y las metodologías de Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF), y Árbol Lógico de Decisión (ALD).

3.4.2 Entrevistas estructuradas

Arias, F. (ob. cit), establece que "la entrevista puede ser estructurada cuando previamente se ha determinado de manera sistemática y organizada el orden de las preguntas" (p.83). Se aplicó la modalidad de entrevista estructurada al momento de realizar las encuestas de confiabilidad al Equipo Natural de Trabajo conformado por especialistas de diversas áreas relacionadas con los taladros de perforación, con el objetivo de obtener la información puntual y necesaria para llevar a cabo el análisis de criticidad.

3.4.3 Entrevistas no estructuradas

Sabino (Ob. cit), dice que la entrevista no estructurada "es aquella en que existe un margen más o menos grande de libertad para formular las preguntas y las respuestas." (p.109). En esta modalidad no se dispone de una guía de preguntas elaboradas previamente. Sin embargo, se orienta por unos objetivos preestablecidos, lo que permite definir el tema de la entrevista.

Por medio de la aplicación de esta técnica fue posible obtener información adicional a la que se pudo obtener en la revisión documental. A través de las entrevistas informales a los operadores, mecánicos y algunos supervisores de mantenimiento dentro de la empresa se pudo establecer contacto con el personal

capacitado y que trabaja directamente con los taladros de perforación y sus sistemas, lo cual facilitó la recolección de información necesaria para la realización del proyecto.

3.4.4 Lluvia de ideas

Davida, M. (1999), explica que "la lluvia de ideas o *brainstorming* es una técnica que tiene como objetivo generar la mayor cantidad de ideas posibles en un periodo de tiempo determinado alrededor de una pregunta, problema u oportunidad" (p.65). Es decir, que esta técnica, prioriza la cantidad sobre la calidad de las ideas, es usada generalmente como un proceso para estimular la creatividad y la innovación, y posteriormente, se transforma en un proceso en el que se agrupan y evalúan las ideas generadas durante el proceso.

Esta técnica resultó de gran ayuda en la realización de los Análisis de Modos y Efectos de Fallas de cada equipo, puesto que se trabajó en conjunto con el tutor industrial y el Equipo Natural de Trabajo para establecer las causas y consecuencias de las fallas funcionales que posteriormente serían incluidas en las hojas de información como modos de falla y efectos de falla, respectivamente.

3.4.5 Observación directa

Tamayo & Tamayo (ob. cit) definen esta técnica como "aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación" (p.183). Es decir, que el investigador se pone en contacto personalmente con el hecho o fenómeno que trata de investigar. Por medio de esta técnica se examinó cada una de las actividades relacionadas con el mantenimiento de los sistemas de los taladros de perforación, lo cual permitió conocer e identificar directa y objetivamente el estado actual de los mismos, además de sus características que los identifican.

La implementación de esta técnica estuvo presente a lo largo de toda la investigación, ya que permitió verificar de forma directa la realidad existente en las operaciones de cada uno de los cinco sistemas que conforman a los taladros de perforación, conocer los factores que afectan su funcionamiento así como también, el modo en que opera el personal de mantenimiento de los mismos.

Durante la ejecución de este proyecto se hizo necesaria la permanencia en las instalaciones de la empresa PDVSA Gas Anaco, ya que es la fuente primaria donde se recolectaron, organizaron y almacenaron los datos referentes a los objetivos planteados al inicio de este proyecto.

3.5 Técnicas de análisis de datos

3.5.1 Fichas técnicas de los taladros de perforación

Las fichas técnicas son documentos organizados en forma de sumaria, que contienen la descripción de los sistemas y equipos de los taladros de perforación de manera detallada. Incluyen características importantes como nombre, modelo, potencia, voltaje, amperaje, marca, etcétera.

3.5.2 Diagramas de Entrada-Proceso-Salida (EPS)

La Fundación de Investigación y Desarrollo de la Universidad Simón Bolívar (FUNINDES-USB) (2010), establece que un diagrama de Entrada-Proceso-Salida es:

> Una herramienta utilizada para representar gráficamente las operaciones de uno o varios sistemas para la resolución de un problema. En donde: Entrada, se refiere a todos los datos que hay que ingresar para la resolución del problema; proceso, se refiere a los diferentes procedimientos en los cuales se usarán los datos proporcionados para

> resolver el problema; y la salida, representa la resolución del problema (p.27).

En el caso particular de este trabajo de investigación, los diagramas de Entrada-Proceso-Salida permitieron representar gráficamente el funcionamiento de los cinco sistemas que conforman a los taladros de perforación.

3.5.3 Diagramas de flujo

Según Chiavenato, I. (1993) "es una gráfica que representa el flujo o la secuencia de rutinas simples. Tiene la ventaja de indicar la secuencia del proceso en cuestión, las unidades involucradas y los responsables de su ejecución" (p.66). En otras palabras, es una forma de especificar los detalles algorítmicos de un proceso mediante la esquematización gráfica para así entenderlo mejor. Se basan en la utilización de diversos símbolos para representar operaciones específicas. Se les llama diagramas de flujo porque los símbolos utilizados se conectan por medio de flechas para indicar la secuencia de la operación.

Los diagramas mencionados anteriormente resultaron bastante útiles a la hora de describir cómo se llevan a cabo en la actualidad las actividades de inspección y de mantenimiento (tanto por esfuerzo propio como por esfuerzo contratado) de los sistemas de los taladros de perforación, y luego, en el plan de mantenimiento explicar la ejecución de un mantenimiento nivel III.

3.5.4 Análisis de criticidad

Según Suárez, D. (2001): "el análisis de criticidad permite establecer niveles jerárquicos en procesos, sistemas, equipos y componentes en función del impacto global que se genera, con el objetivo de facilitar la toma de decisiones". (p. 281). Por

tanto, el análisis de criticidad permite determinar las consecuencias de los modos de falla de cada activo dentro de su contexto operacional.

En esta investigación se aplicó el Método de los Puntos con el fin de conocer los sistemas críticos que conformaban los distintos taladros de perforación, para así evaluar frecuencias de fallas de los equipos, costos de mantenimiento, impactos en la producción, impacto en la seguridad, higiene y ambiente; para la toma de decisiones en la empresa.

3.5.5 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)

Esta técnica fue la fuente principal del desarrollo de la investigación. La misma se fundamentó en un análisis sistemático, objetivo y documentado del problema. Se encargó de estudiar a profundidad los activos, con el fin de ir lidiando con el problema hasta obtener la solución final.

Los estudios de esta metodología se dividen en dos técnicas: el AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Fallas) y el ALD (Árbol Lógico de Decisiones). La primera para estudiar el problema mediante la función, las fallas, los modos y los efectos de las fallas de los activos, mientras que la segunda busca detectar las acciones necesarias para resolver los inconvenientes.

3.5.6 Norma SAE JA1012

Esta norma fue de gran importancia para la aplicación de la filosofía del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, ya que la misma explica a gran detalle todos los conceptos y terminologías que comprende dicha filosofía.

3.5.7 Norma ISO 14224

Esta norma internacional sirvió de base para el diseño de las hojas de decisión y hojas de información utilizadas en las técnicas del ALD y AMEF, respectivamente, puesto, que la misma establece la forma en que se deben clasificar los equipos.

3.6 Descripción de las etapas de la investigación

A continuación se presentan, los pasos que se siguieron para el desarrollo de cada uno de los objetivos específicos del presente trabajo:

3.6.1 Descripción del contexto operacional de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui.

Para llevar a cabo este objetivo de la investigación, se realizaron visitas a la gerencia de mantenimiento, a los talleres tanto mecánicos como eléctricos y a los patios de trabajo de la empresa. Esto con la finalidad de conocer el contexto operacional donde se encontraban los seis taladros de perforación que fueron objeto de estudio.

Las visitas a los lugares mencionados anteriormente fueron vitales para el desarrollo de este objetivo, debido a que en dichos lugares se pudieron realizar una serie de entrevistas no estructuradas a los especialistas, supervisores, ingenieros y técnicos que desempeñan las actividades de inspección y mantenimiento de los equipos; también se revisaron las fichas técnicas de cada equipo junto con la data e historiales técnicos existentes. De estas visitas y entrevistas se obtuvo la información justa y necesaria para poder conocer y así describir el contexto operacional de los taladros antes mencionados.

Posteriormente, se presentaron fichas técnicas mejoradas y actualizadas de los seis taladros de perforación; esto con la intención de describir las especificaciones técnicas de cada uno de los cinco sistemas que conforman a dichos taladros, así como también los equipos que los componen. Cada una de las fichas técnicas contienen una gran cantidad de información debido a la magnitud y complejidad que tienen los taladros, por lo cual, después de las seis fichas técnicas se presenta una tabla donde a modo de resumen se comparan dichas características y se visualizan de manera más sencilla las similitudes y diferencias existentes entre los seis taladros.

Cabe destacar que la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos solo contaba con fichas técnicas de tipo resumen, es decir, que no describían todos los equipos que conforman los sistemas de los taladros de perforación, solo describían los equipos más resaltantes de cada sistema, dejando de lado otros equipos que también son de gran relevancia. Por esta razón, las fichas técnicas presentadas en esta investigación fueron completadas por el autor en conjunta colaboración con el tutor industrial y la Gerencia de Mantenimiento, como un aporte más para la empresa.

Luego, se describió de forma escrita y gráfica (mediante flujogramas) el paso a paso de las actividades de inspección y de mantenimiento por esfuerzo propio y contratado que actualmente son realizadas a los taladros de perforación. Dichas actividades tienen un personal que se encarga de ejecutarlas, cuyas responsabilidades también fueron descritas.

También, se describió el funcionamiento de los sistemas de los seis taladros de perforación de manera general puesto que sus sistemas son exactamente los mismos, mediante diagramas de Entrada-Proceso-Salida (EPS).

Finalmente, se describió la condición actual de cada uno de los sistemas de los taladros de perforación mediante tablas que cuentan con dos columnas, una donde se

muestra la condición del sistema y en otra sus observaciones. La condición actual de los sistemas estuvo comprendida entre cuatro parámetros (ver tabla 3.3) que de forma genérica dicen cómo se encuentra el sistema, mientras que en la columna de observaciones se presentan de manera detallada las causas o motivos que influyeron a que el sistema llegara a su estado actual. Cabe destacar que dichos parámetros fueron establecidos en conjunto por el autor, el tutor académico y el tutor industrial.

Tabla 3.3. Parámetros para clasificar los sistemas de los taladros de perforación

PARÁMETRO	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo
SIGNIFICADO	El taladro se encuentra totalmente operativo, con todos sus sistemas y los equipos que lo conforman en excelentes condiciones.	El taladro se encuentra operativo y funcionando, pero lo hace con algunas partes y repuestos prestados de otros taladros.	El taladro se encuentra operativo pero lo hace con partes y repuestos prestados de otros taladros; y además, presenta fallas en varios equipos importantes que ponen en riesgo su operatividad.	Fuera de servicio.

Fuente: El autor (2017)

3.6.2 Jerarquización de los sistemas de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui, de acuerdo a su nivel de criticidad.

En esta etapa del proyecto se llevó a cabo un procedimiento para conocer cuáles de los sistemas que conforman los seis (6) taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco eran los críticos, cuyas fases de ejecución se explican a continuación:

Fase 1: Integración del Equipo Natural de Trabajo (ENT)

Para iniciar la ejecución del análisis de criticidad fue necesario contar con el apoyo de un Equipo Natural de Trabajo (ENT) de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos, por lo cual se procedió a realizar una reunión (ver minuta de reunión N° 1 en Anexo B) con un grupo de profesionales que ejecutan distintas especialidades, como: seguridad, higiene y ambiente; mantenimiento operacional (mantenimiento eléctrico, mantenimiento mecánico y mantenimiento de instrumentación); ingeniería de confiabilidad; y operaciones de planta. En dicha reunión se logró explicar el proyecto y conformar el Equipo Natural de Trabajo.

Fase 2: Selección de los sistemas a evaluar

Se seleccionaron seis taladros de perforación pertenecientes a la empresa PDVSA Gas, los cuales cuentan con cinco sistemas cada uno, es decir, que se evaluó un total de 30 sistemas. Los datos de los taladros de perforación a los que se les hizo la evaluación se pueden observar en el capítulo IV en la tabla 4.19.

Fase 3: Selección de los criterios de evaluación

Se procedió a seleccionar los criterios a evaluar en el análisis de criticidad en una segunda reunión con el Equipo Natural de Trabajo (ver minuta de reunión N° 2 en anexo B). Estos criterios fueron escogidos siguiendo lo que dice norma PDVSA MM-02-01-01 “Jerarquización de activos por análisis de criticidad”.

Fase 4: Recolección de datos de fallas

Se procedió de determinar la frecuencia de fallas de los sistemas sometidos a estudio. La información sobre las fallas de dichos sistemas se obtuvo usando el histórico de fallas, experiencias en campo y los datos genéricos del comportamiento de los activos, así como también, revisando los registros de intervenciones de cada

sistema por concepto de fallas. Para el desarrollo de este proyecto se utilizaron los historiales de fallas ocurridas en un periodo desde marzo 2016 hasta marzo 2017.

Fase 5: Cálculo de la criticidad de los sistemas y emisión de resultados

Se procedió a reunir al Equipo Natural de Trabajo (ver minuta de reunión N° 2 en Anexo B) en las instalaciones de la empresa para aplicarles los cuestionarios de confiabilidad, pero antes de ello, se llegó a un acuerdo particular con el equipo; debido a que eran seis los taladros de perforación que fueron objeto de estudio y cada uno contaba con cinco sistemas, el total de sistemas a evaluar era de 30, además, el Equipo Natural de Trabajo que se conformó lo integraban cinco profesionales, los cuales debían evaluar cada uno de los 30 sistemas de manera individual, es decir, que se aplicarían 150 encuestas en total; pero para simplificar este trabajo, en la reunión antes mencionada se acordó con el ENT que los mismos evaluarían a los 30 sistemas en consenso, es decir, que responderían en conjunto una encuesta por cada sistema, llegando a un acuerdo general para asignar la ponderación correspondiente. A continuación, en la tabla 3.4 se muestra el formato del cuestionario para el análisis de criticidad que fue utilizado:

Tabla 3.4 Formato del cuestionario para el análisis de criticidad.

ENCUESTA DE CONFIABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE LOS TALADROS DE PERFORACIÓN				
Sistema:			**Fecha:**	
Empresa:			**Encuesta realizada a:**	
Frecuencia De Falla	**Impacto Operacional**	**Flexibilidad Operacional**	**Costos de Mantenimiento**	**Impacto SHA**

Fuente: Equipo Natural de Trabajo de la empresa PDVSA Gas (2017)

Una vez que el ENT completó las 30 encuestas, se procedió a obtener mediante el uso de fórmulas matemáticas los niveles de frecuencia de falla, impacto

operacional, flexibilidad operacional, costos de mantenimiento, impacto en la seguridad, higiene y ambiente, esto para obtener el total de consecuencias y los niveles de criticidad de los sistemas. El procedimiento mencionado se realizó 6 veces (utilizando las ecuaciones N°1 y N°2), es decir, una vez por cada taladro y dichos niveles fueron representados en 6 tablas.

$$Criticidad = F.F \times Consecuencia \quad \text{Ec. 3.1}$$

$$Consecuencia = (I.O \times F.O) + C.M + I.S.H.A \quad \text{Ec. 3.2}$$

$Donde$:

$FF = Frecuencia\ de\ falla$

$I.O = Impacto\ operacional$

$F.O = Flexibilidad\ operacional$

$C.M = Costos\ de\ mantenimiento$

$I.S.H.A = Impacto\ en\ la\ Seguridad, Hiegiene\ y\ Ambiente$

Después de obtener los niveles de criticidad de los 30 sistemas que fueron objeto de estudio, se realizó la jerarquización de los sistemas según el nivel de criticidad, en los rangos de criticidad alta, criticidad media y criticidad baja, para lo cual se utilizó una matriz de criticidad, en la cual se ubicaron los equipos con base en su consecuencia (eje X) y frecuencia de falla (eje Y). Luego, se elaboró una lista jerarquizada de los sistemas según los rangos antes mencionados. Se asignaron colores para identificar los rangos de manera más sencilla: Verde para criticidad baja, amarillo para criticidad media y rojo para criticidad alta.

Por último, se realizó una tercera reunión (ver minuta de reunión N° 3 en el anexo B) en la que se presentaron los resultados obtenidos con el análisis de

criticidad al Equipo Natural de Trabajo, esto con la finalidad de que los mismos validaran dichos resultados.

3.6.3 Aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad a los sistemas críticos de los taladros de perforación de la gerencia de mantenimiento de taladros y equipos PDVSA Gas Anaco estado, Anzoátegui

En esta etapa de la investigación, le fueron aplicadas a los sistemas críticos de los taladros de perforación las dos técnicas que caracterizan a la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad: Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) y Árbol Lógico de Decisión (ALD). Cabe destacar que el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad fue aplicado a dichos sistemas críticos de manera generalizada, debido a que los seis taladros que fueron objeto de estudio tienen los mismos sistemas con los mismos equipos, por lo cual estos presentan las mismas funciones y posibles modos de falla.

Fase 1: Selección de los equipos sometidos al estudio del Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF).

Antes de dar inicio a la aplicación del AMEF se deben seleccionar los equipos a los que se les aplicará dicha herramienta. En este caso, dichos equipos son los que conforman los sistemas que fueron seleccionados como críticos a través del análisis de criticidad.

Para la organización y presentación de los sistemas y equipos mencionados anteriormente, se utilizó la estructuración de jerarquías que establece la norma ISO 14224, específicamente en el apartado de “Datos específicos de los equipos”, donde se establece que los equipos deben dividirse de mayor a menor jerarquía o grado de detalle, por ejemplo:

- Clase
- Sistema
- Sub-sistema
- Ítem mantenible
- Componente de detalle (en un grado último de división, si es necesario)

Fase 2: Definición de las funciones, fallas funcionales, modos y efectos de fallas.

En una cuarta reunión con el Equipo Natural de Trabajo (ver minuta de la reunión N° 4 en el anexo B) se procedió a revisar los manuales de fabricante de los equipos para ubicar las funciones y fallas funcionales de los mismos; y luego se realizó una dinámica de lluvia de ideas para poder establecer los modos y efectos de fallas de los equipos.

Fase 3: Diseño de una hoja de información para el AMEF.

Para asentar la información sobre los equipos que fue obtenida anteriormente, se diseñó una hoja de información, la cual se puede visualizar en la tabla 3.5:

Tabla 3.5. Hoja de información del AMEF.

PDVSA	**GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS** **HOJA DE INFORMACIÓN** **ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS**		
Clase:		**Hoja:**	
Sistema:		**Realizado por:**	
Sub-sistema:		**Revisado por:**	
Fecha:		**Aprobado por:**	
Función (F)	**Falla Funcional (FF)**	**Modo de Falla (MF)**	**Efecto de Falla**

Fuente el autor (2017)

Fase 4: Diseño de una hoja de decisión para el ALD.

Una vez determinadas las funciones, fallas funcionales, modos y efectos de fallas se procedió a establecer las estrategias de mantenimiento que permitirán dar solución a cada modo de falla. Para esto, se procedió a utilizar el Árbol Lógico de Decisión (ALD) que plantea la Norma SAE JA1012, el cual se puede visualizar en la figura 3.1.

El estudio se basó en el análisis de cada modo de falla con base en las consecuencias de los mismos sobre las operaciones, consecuencias en la seguridad del personal y en el medio ambiente. De acuerdo a las consecuencias de cada modo de falla se seleccionaron las actividades de mantenimiento necesarias para atacar cada una. La aplicación del Árbol Lógico de Decisión (ALD) se llevó a cabo gracias al apoyo del Equipo Natural de Trabajo, cuyos integrantes fueron los responsables de responder las interrogantes que propone el mismo (ver minuta de reunión N°5 en Anexo B).

Con el propósito de asentar los datos generados por la aplicación de Árbol Lógico de Decisión, se diseñó una hoja de decisión, la cual se muestra en la tabla 3.6.

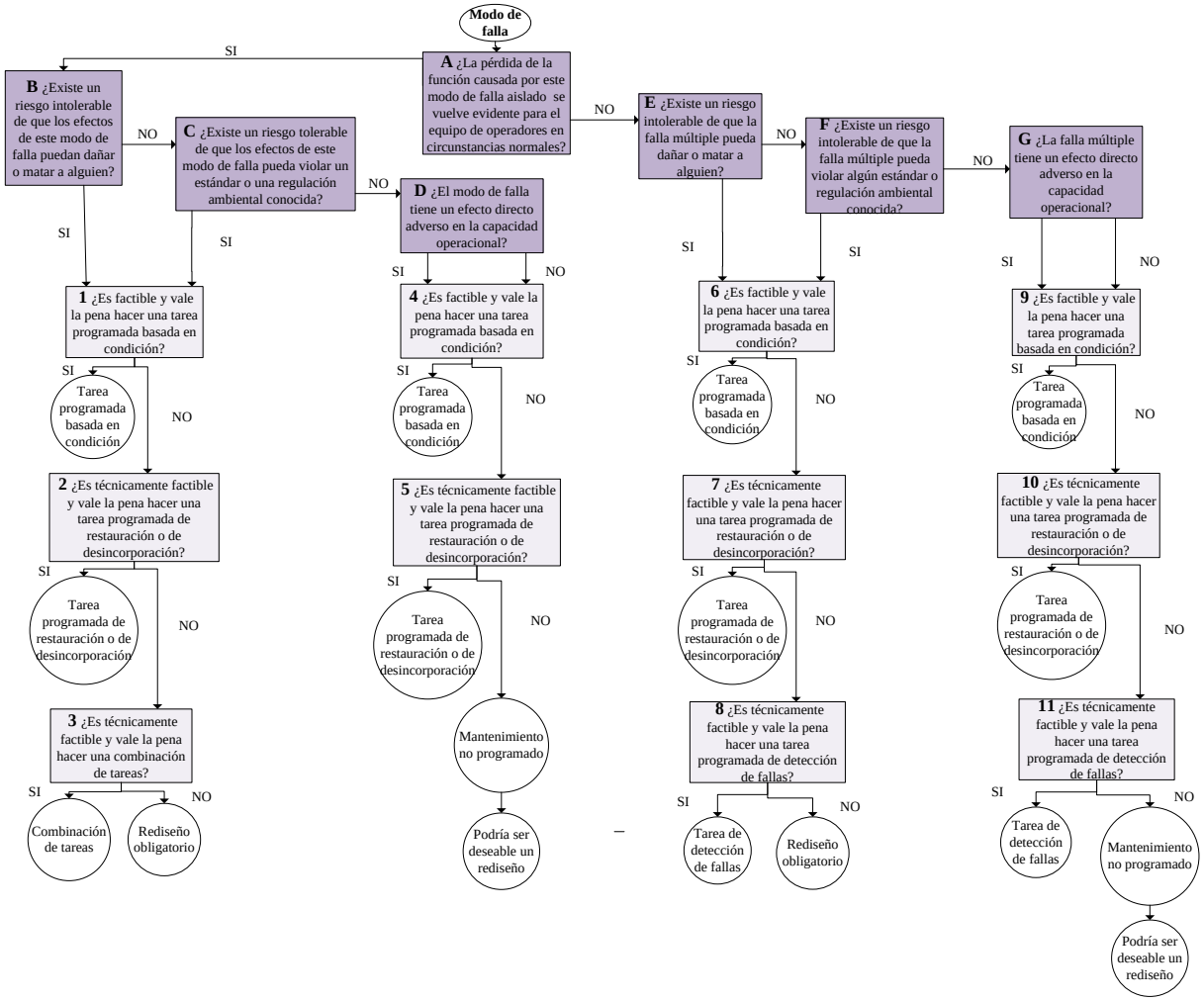


Figura 3.1. Árbol Lógico de Decisión
Fuente: Norma SAE JA1012 (2002)

Tabla 3.6. Hoja de decisión para ALD SAE JA1012.

HOJA DE DECISIÓN			Clase:						Realizado por:		Revisado por:		Aprobado por:	
			Sistema:											
Hoja: 1/1			Sub-sistema:						Fecha:		Fecha:		Fecha:	
Referencia de falla			Tipo de falla		Evaluación de consecuencias				Tipo de tarea o estrategia de mantenimiento				Tarea de mantenimiento propuesta	Frecuencia	Disciplina ejecutora
F	FF	MF	E	OC	S	A	O	NO	BC	R/D	CT	DF			

Fuente: el autor (2017)

La hoja de decisión diseñada, está básicamente dividida en dos partes: la primera parte es el encabezado de la hoja, que muestra el nombre de la empresa, así como un apartado para los datos de identificación del equipo analizado y los responsables de la realización, revisión y aprobación del análisis. La segunda parte está divida en varias secciones, las cuales se describen a continuación:

- Referencia de falla: en esta sección se indica la información del AMEF para la identificación de la función (F) del equipo a estudiar, la falla funcional (FF) y el modo de falla (MF) que se analiza. Las casillas están identificadas tal como se realizó en el AMEF.
- Tipo de falla: en esta sección se indica el tipo de modo de falla. Si el modo de falla es evidente se identifica en la columna de la letra E (falla evidente), la cual indica el ramal de consecuencias evidentes del diagrama de decisión. Si el modo de falla es no evidente u oculto se señala en la columna de las letras OC (falla oculta) que indican el ramal de las consecuencias ocultas.
- Evaluación de consecuencias: en esta sección se registran las respuestas a las interrogantes que propone el Árbol Lógico de Decisión, sobre las consecuencias que pueda tener el modo de falla analizado sobre la seguridad del personal (S), el medio ambiente (A), operación (O) y las no operacionales (NO).
- Tipo de tarea o estrategia de mantenimiento: en esta sección se indican las actividades de mantenimiento a realizar para atacar el modo de falla estudiado, siguiendo la lógica del diagrama de decisión. Las actividades de mantenimiento se identifican con las iniciales BC (tareas basadas en condición), R/D (tareas de restauración o desincorporación), CT (combinación de tareas) y DF (detección de fallas).

Para reflejar las respuestas obtenidas del ALD en la hoja de decisión, se procedió a marcar la columna correspondiente con la letra S (sí) para la respuesta afirmativa y con la letra N (no) para la respuesta negativa.

En la hoja de decisión se indica además una descripción de la tarea de mantenimiento a implementar, la frecuencia inicial de la realización de la tarea y la disciplina o área encargada de la ejecución de dicha tarea.

La frecuencia inicial se determinó con base en la experiencia del personal de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos, además de las consultas a los manuales de fabricante y normas como la SAE JA1012.

Fase 5: Organización de los resultados.

Luego de finalizar el estudio de cada modo de falla a través del Árbol Lógico de Decisión, se organizaron los resultados por equipo según los tipos de fallas, de consecuencias y de tareas de mantenimiento propuestas.

3.6.4 Elaboración un plan de mantenimiento nivel III para los sistemas críticos de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui.

En esta etapa de la investigación fue elaborado un plan de mantenimiento nivel III para los sistemas críticos de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas, con base en la información generada en la aplicación del Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) y del Árbol Lógico de Decisión (ALD).

Primeramente es importante resaltar que en el plan de mantenimiento nivel III, las actividades que se proponen están basadas en la información obtenida a través de la observación directa y las entrevistas realizadas al Equipo Natural de Trabajo. Dicha información en conjunto con los resultados obtenidos en el AMEF y el ALD, permitieron establecer las acciones requeridas para el mantenimiento a ejecutar a los sistemas de rotación y circulación de los taladros de perforación.

El plan de mantenimiento mencionado anteriormente cuenta con su propio índice, presentación, objetivos, alcance, justificación y recursos, además, incluye un plan con las actividades de mantenimiento que deben realizarse en campo a los sistemas de rotación y circulación, la programación de las actividades, formatos de inspección para cada equipo, reportes de fallas, reportes de mantenimiento, y una tabla donde se pueden visualizar los equipos que califican para la segunda etapa del mantenimiento nivel III.

Para asentar la información de los planes de mantenimiento se diseñó un formato en el cual se indica la actividad a realizar, la disciplina ejecutora, el personal requerido y las horas hombre estimadas para la ejecución de cada actividad, las cuales se determinaron con base en las indicaciones y experiencia del Equipo Natural de Trabajo conformado para el desarrollo de esta investigación (ver tabla 3.7).

Tabla 3.7. Formato para el plan de mantenimiento nivel III.

PDVSA	**GERENCIA DE MANENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS PDVSA GAS ANACO PLAN DE MANTENIMIENTO NIVEL III**				**HOJA:**
Realizado por: Alejandra Santamaría		**Revisado por: Equipo Natural de Trabajo**		**Aprobado por: Ing. Elías Laya**	
Sistema:		**Sub-sistema:**		**Ítem mantenible:**	
N°	**Actividad a ejecutar**	**Frecuencia**	**Disciplina ejecutora**	**Personal requerido**	**H-H estimadas**

Fuente: el autor (2017)

Para la ejecución de las actividades de mantenimiento nivel III se elaboró un programa de mantenimiento dividido en días, semanas y meses dependiendo del tipo de actividad de mantenimiento que le corresponde a cada equipo. Además, para los equipos que guardan similitud en estructura y funcionamiento, se elaboró una programación de mantenimiento común.

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se desarrollan los objetivos propuestos en la investigación, los cuales se presentan en el siguiente orden:

- Describir el contexto operacional de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui.
- Jerarquizar los sistemas de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui, de acuerdo a su nivel de criticidad.
- Aplicar la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad a los sistemas críticos de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco Estado, Anzoátegui.
- Elaborar un plan de mantenimiento nivel III para los sistemas críticos de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui.

A continuación, el desarrollo de los mismos:

4.1 Descripción del contexto operacional de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui.

Para llevar a cabo esta etapa del proyecto se describió lo siguiente:

- Especificaciones técnicas de los taladros de perforación y sus sistemas.
- Actividades operacionales y de mantenimiento nivel III de los taladros de perforación.

- Funcionamiento de los sistemas de los taladros de perforación.
- Condición actual de los sistemas de los taladros de perforación.

A continuación, se detalla lo anteriormente mencionado:

4.1.1 Descripción de las especificaciones técnicas de los taladros de perforación y sus sistemas.

Debido a que las fichas técnicas de los taladros de perforación son bastante extensas, a continuación solo se presenta la ficha técnica de un taladro, mientras que las cinco restantes pueden ser consultadas en la sección de anexos (ver Anexo A). Cabe destacar que el taladro de perforación del cual se presenta la ficha técnica (PDV-54) será utilizado como ejemplo a lo largo de la investigación:

Tabla 4.1. Ficha técnica del taladro de perforación PDV-54

PDVSA			
FICHA TÉCNICA DE TALADRO CHINO			
NOMBRE DEL TALADRO: PDV-54			
TIPO DE TALADRO: MODULAR			
POTENCIA (HP): 2.000			
EMPRESA VENDEDORA: HONG HUA			
ELABORADO POR: ALEJANDRA SANTAMARÍA			
REVISADO Y APROBADO POR: ING. ELÍAS LAYA			
FECHA DE ACTUALIZACIÓN: 18/03/2017			
SISTEMA DE CIRCULACIÓN			
BOMBA DE LODO	**CANTIDAD (N°)**	**3**	
	MARCA	**HONG HUA**	
	MODELO	**HHF-1600**	
	TIPO	**TRIPLEX SINGLE**	
	POTENCIA (HP)	**1.600**	
	SERIAL	**11-009 / 11-010 / 11-011**	
	PRESIÓN DE TRABAJO MÁXIMA (PSI)	**4.900**	
	STROKES (SPM)	**120**	
	AMPERAJE (AMP)	**1.389**	
	PESO (KG)	**25.570**	
	PRESION DE ACEITE DE LA TRANSMISIÓN (PSI)	**20 - 60**	
	PRESION DE ACEITE DE LA CADENA (PSI)	**20 - 60**	
	PRESIÓN DE LOS DAMPERS (PSI)	**900 – 1.000**	
	PRESIÓN DE AGUA DE ENFRIAMIENTO (PSI)	**10 - 20**	
	TIPO DE FLUIDO	**LODO A BASE DE ACEITE**	
MOTOR ACOPLADO A LA BOMBA DE LODO	**CANTIDAD (N°)**	**2**	
	MARCA	**CHANGQIAN**	
	POTENCIA (HP)	**1600**	
	VOLTAJE (VCA/VCD)	**DC**	
	AMPERAJE (AMP)	**1150**	
	SERIAL	**2007**	
	VOLTAJE	**750**	
BOMBA CENTRÍFUGA	**CANTIDAD (N°)**	**10**	
	PESO (KG)	**340**	
	MODELO	**SB6X8FJP-12 1 /2**	
	SERIAL	**BICX44-10**	
	FRECUENCIA (HZ)	**60**	
	TIPO DE FLUIDO	**LODO A BASE DE ACEITE**	
	TIPO DE ACEITE	**15W40**	
	TIPO DE GRASA	**EXTREMA PRESIÓN - MULTIUSO**	

Tabla 4.1. Continuación

SISTEMA DE CIRCULACIÓN			
MOTOR ACOPLADO A LA BOMBA CENTRÍFUGA	FABRICANTE	JIANGSU XIANDA	
	PESO (KG)	595	
	MODELO	YB2-280S-4W	
	VOLTAJE(V)	460V	
	POTENCIA (KW)	75	
	INTENSIDAD (AMP)	115.4	
	REVOLUCIONES POR MINUTO	1783	
	SERIAL	2225	
	AÑO DE CONSTRUCCIÓN	2011	
TANQUE DE LODO	CANTIDAD (N°)	6	
	VOLUMEN (BLS)	2.000	
	TANQUE SHAKER VOLUMEN (BLS)	300	
	TANQUE DE SUCCIÓN VOLUMEN (BLS)	300	
	TANQUE DE MEZCLA VOLUMEN (BLS)	300	
	TANQUE DE RESERVA VOLUMEN (BLS)	300	
	TIPO DE LODO	LODO A BASE DE ACEITE	
	PESO (KG)	25.500	
	DIMENSIONES (MM)	13.900x3.400x3.200	
AGITADOR DE LODO	CANTIDAD (N°)	16	
	PESO (KG)	325	
	MODELO	43TS100A	
	SERIAL	160734	
	TIPO DE LODO FLUIDO	LODO A BASE DE ACEITE	
	TIPO DE ACEITE	SAE 140	
	TIPO DE GRASA	MULTIUSO EP2	
MOTOR ACOPLADO AL AGITADOR DE LODO	FABRICANTE	EX	
	PESO (KG)	156	
	DIMENSIÓNES (MM)	615X320X420	
	MODELO	YB2-160L-4W	
	VOLTAJE(V)	460	
	POTENCIA (KW)	15 KW	
	INTENSIDAD (AMP)	24,9	
	FRECUENCIA (HZ)	60	
	REVOLUCIONES POR MINUTO	1759	
	SERIAL	11765	
	AÑO DE CONSTRUCCIÓN	2011	
ZARANDA	CANTIDAD (N°)	3	
	MARCA	MI SWACO	
	MODELO	MONGOOSE	
	SERIAL	11SH156	
	PESO (KG)	1.800	
	VOLTAJE (V)	415 / 480	
	FRECUENCIA (HZ)	50 / 60	
	REVOLUCIONES POR MINUTO	1.500/1.800	

Tabla 4.1. Continuación

SISTEMA DE CIRCULACIÓN			
MOTOR ACOPLADO A LA ZARANDA	FABRICANTE	NANYANG	
	PESO (KG)	168	
	DIMENSIÓNES (MM)	615X320X420	
	MODELO	YB2-132M-4W	
	SERIAL	OLW155-45	
	AÑO DE CONSTRUCCIÓN	2011	
MUD CLEANER	CANTIDAD (N°)	2	
	MARCA	MI SWACO	
	MODELO	MONGOOSE	
	SERIAL	11SH209	
	PESO (KG)	2.300	
	VOLTAJE (V)	415/480	
	FRECUENCIA (HZ)	50/60	
	INTENSIDAD (AMP)	32	
	REVOLUCIONES POR MINUTO	1.500 / 1.800	
MOTOR ACOPLADO AL MUD CLEANER	FABRICANTE	NANYANG	
	PESO (KG)	168	
	DIMENSIÓNES (MM)	615X320X420	
	MODELO	YB2-160L-4W	
	SERIAL	OLW155-44	
	AÑO DE CONSTRUCCIÓN	2010	
DESARENADOR	CANTIDAD (N°)	4	
	MARCA	XBSY	
	MODELO	LW 450x1000-N1	
	PESO (KG)	2 / 4	
	TIPO DE FLUIDO	LODO A BASE DE ACEITE	
MOTOR ACOPLADO AL DESARENADOR	FABRICANTE	JIANGSU	
	PESO (KG)	168	
	DIMENSIÓNES (MM)	615X320X420	
	MODELO	YB2-160L-4W	
	SERIAL	OLW155-121	
	AÑO DE CONSTRUCCIÓN	2010	
SISTEMA DE SEGURIDAD			
BOP RAM SENCILLO	MARCA	HUABEI	
	PRESIÓN DE TRABAJO (PSI)	5.000	
	DIÁMEITROS DE CONEXIÓN (PUL)	13 5/8	
	SERIAL	2011	
	TIPO DE BLOQUEO	MANUAL	
	PRESIÓN DE LOS ARIETES (PSI)	≤ 500	
BOP RAM DOBLE	MARCA	HUABEI	
	PRESIÓN DE TRABAJO (PSI)	5.000	
	DIÁMEITROS DE CONEXIÓN (PUL)	13 5/8	
	SERIAL	2011	
	TIPO DE BLOQUEO	MANUAL	
	PRESIÓN DE LOS ARIETES (PSI)	≤ 500	
BOP ANULAR	MARCA	HUABEI	
	PRESIÓN DE TRABAJO (PSI)	5.000	
	DIÁMEITROS DE CONEXIÓN (IN)	13 5 /8	
	SERIAL	2011	
	TIPO DE BLOQUEO	MANUAL	
	PRESIÓN DE LOS ARIETES (PSI)	≤ 500	
	PRESIÓN DE OPERACIÓN (PSI)	1.500 – 3.000	
	DIÁMETRO PRINCIPAL (IN)	4 1/16	

Tabla 4.1. Continuación

SISTEMA DE SEGURIDAD			
MULTIPLE MANIFOLD	PRESIÓN DE TRABAJO (PSI)	5.000	
	DIÁMETRO PRINCIPAL (IN)	4 1/16	
ACUMULADOR	MARCA	BPM	
	PRESIÓN DE TRABAJO (PSI)	6000	
	TIPO DE ACEITE	ISO 68	
	TIPO DE ACEITE PARA BOMBA NEUMÁTICA	85W140	
	TIPO DE ENGRASE DE LOS CILINDROS DE AIRE	EP2	
	PRESIÓN DE LOS CILINDROS (LB)	800 – 1.000	
	INTERRUPTOR DE PRESIÓN HIDROELÉCTRICA (PSI)	3.000	
	PRESIÓN ANULAR (LB)	750 – 1.000	
SISTEMA DE POTENCIA			
MOTOR	CANTIDAD (N°)	4	
	MODELO	CAT3512B	
	REVOLUCIONES POR MINUTO	1200	
	PRESIÓN DE ACEITE (PSI)	≥ 40	
	PRESIÓN DE GASOIL (PSI)	50 - 75	
	TEMPERATURA DE ESCAPE (°F)	≤ 1.000	
	TEMPERATURA DE ACEITE (°F)	≤ 230	
	TEMPERATURA DE LAS CÁMARAS DE AGUA (°F)	175 - 210	
	TIPO DE ACEITE	15W40	
GENERADOR	CANTIDAD (N°)	4	
	POTENCIA (KVA)	1.750	
	VOLTAJE (V)	600	
	PESO (KG)	12.000	
	DIMENSIONES (MM)	2800 X 900 X 940	
CASA DE FUERZA	AC /VFD	DC	
	VOLTAJE (V)	600	
	RANGO DE AMPERAJE (AMP)	0 – 800	
	FRECUENCIA (HZ)	50	
	DIMENSIÓN DEL EQUIPO (MM)	14.000 x 2.800 x 3.200	
	CORRIENTE ELÉCTRICA NOMINAL DEL SISTEMA (V)	557	
	PERIODO DE MONITOREO (TIEMPO CALENDARIO):	DIARIO	
	PESO (KG)	45.000	
SISTEMA DE LEVANTAMIENTO			
MALACATE	MARCA	BOMCO	
	MODELO	JC-70D	
	POTENCIA (HP)	2.000	
	CAPACIDAD (LB)	1.000.000	
	TIPO DE FRENO	DISCO HIDRAULICO	
	PESO (KG)	46.600	
	DIÁMETRO DE LA GUAYA (IN)	1 1 /2	

Tabla 4.1. Continuación

SISTEMA DE LEVANTAMIENTO			
MOTOR ACOPLADO AL MALACATE	MARCA	CHANGQIAN	
	POTENCIA (HP)	1600	
	AMPERAJE (AMP)	1150	
	SERIAL	2007	
	VOLTAJE (V)	750	
CABRIA	MODELO	CANTILIVER-K	
	CAPACIDAD (LB)	1.300.000	
	MÁXIMA CARGA (LB)	1.000.000	
	MÁXIMA PROFUNDIDAD A PERFORAR (FT)	22.000	
	PESO (KG)	87.300	
	DIMENSIONES (IN)	30 5/16 x 56 3/16	
BLOQUE VIAJERO	MODELO	YC-450	
	MÁXIMA CARGA (LB)	1.000.000	
	MÁXIMA CARGA ESTÁTICA (LB)	1.000.000	
	DIÁMETRO DE LA GUAYA (IN)	1 1 /2	
	PESO (KG)	8.500	
	DIMENSIONES (MM)	3.132 x 1.600 x 8.556	
	EJE DE LA POLEA (IN)	12	
	DIÁMETRO DE LA POLEA (IN)	60	
BLOQUE CORONA	MODELO	TC-450	
	MÁXIMA CARGA (LB)	1.000.000	
	MÁXIMA CARGA ESTÁTICA (LB)	1.000.000	
	DIÁMETRO DE LA GUAYA	1 1 /2 IN	
	PESO (KG)	11.310	
	DIMENSIONES (MM)	3.625 x 2.832 x 2.580	
	EJE DE LA POLEA (IN)	12	
	DIÁMETRO DE LA POLEA	60 IN	
GANCHO	MODELO	DG-450	
	MÁXIMA CARGA (LB)	1.000.000	
	MÁXIMA CARGA ESTÁTICA (LB)	1.000.000	
	DIÁMETRO DE LA GUAYA (IN)	1 1 /2	
	PESO (KG)	7.300	
	DIMENSIONES (MM)	2.953 x 890 x 880	
	CAPACIDAD (TON)	750	
	EJE DE LA POLEA (IN)	12	
	DIÁMETRO DE LA POLEA	60 IN	

Tabla 4.1. Continuación

SISTEMA DE LEVANTAMIENTO			
GUAYA DE PERFORACIÓN	TIPO	6X19S	
	DIÁMEITRO (IN)	1 1 /2	
	LONGITUD (FT)	7.500	
SISTEMA DE ROTACIÓN			
TOP DRIVE	MODELO	DQ70BSC	
	CAPACIDAD (TON)	500	
	PROFUNDIDAD DE PERFORACIÓN (FT)	22.000	
	MÁXIMA CARGA ESTÁTICA (LB)	1.000.000	
	RANGO DE VELOCIDAD DE PERFORACIÓN (RPM)	220	
	TORQUE DE OPERACIÓN (LB/FT)	36.878	
	PRESIÓN NOMINAL DE TRABAJO (PSI)	5.000	
	POTENCIA (HP)	800	
	PESO KG	12.700	
	DIMENSIONES (MM)	1.600 x 1.700 x 5.850	

Fuente: el autor (2017)

A continuación, se presenta un cuadro resumen donde se pueden visualizar las semejanzas y diferencias técnicas que existen entre los seis taladros de perforación (ver tabla 4.2):

Tabla 4.2. Resumen de especificaciones técnicas de los taladros de perforación.

NOMBRE	PDV-21	PDV-51	PDV-52	PDV-54	PDV-64	PDV-65
Potencia (HP)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Modelo	JC70DB	JJ315/ 45K PIRAMIDAL	JJ450/ 45-K10/CANTILIVER-K	JJ450/45-K/CANTILIVER-K	JJ450/45.5-K CANTILIVER-K	JJ450/45.5-K/ CANTILIVER-K
Marca	CPTDC	KERUI	HONG HUA	CPTDC	HONG HUA	HONG HUA
Sistemas	5	5	5	5	5	5
Bombas de lodo	3	3	3	3	3	3
Motores eléctricos acoplados a las bombas de lodo	3	3	3	3	3	3
Bombas centrífugas	10	10	10	10	10	10
Motores eléctricos acoplados a las bombas centrífugas	10	10	10	10	10	10
Tanques de lodo	6	6	6	6	6	6
Agitadores de lodo	16	16	16	16	16	16
Motores eléctricos acoplados a los agitadores de lodo	16	16	16	16	16	16
Zarandas	3	3	3	3	3	3
Motores eléctricos acoplados a las zarandas	3	3	3	3	3	3
Mud Cleaner	2	2	2	2	2	2
Motores eléctricos acoplados a los mud cleaner	2	2	2	2	2	2
Desarenador	4	4	4	4	4	4
Motores eléctricos acoplados a los desarenadores	4	4	4	4	4	4
Motores	5	5	4	4	4	4
Generadores	5	5	4	4	4	4
Casa de fuerza	1	1	1	1	1	1
Top drive	1	1	1	1	1	1
Válvulas BOP	3	3	3	3	3	3

Fuente: Fichas técnicas de taladros de perforación de PDVSA Gas Anaco (2017)

En la tabla presentada anteriormente, se pueden visualizar las semejanzas y diferencias que existen entre los seis taladros de perforación que posee la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, las cuales son las siguientes:

- A pesar de ser taladros de marcas y modelos distintos, cada uno funciona con los mismos sistemas: Circulación, seguridad, potencia, levantamiento y rotación.
- Todos los taladros de perforación tienen la misma potencia, 2000HP.
- Cada sistema posee los mismos equipos.
- En equipos como los motores y generadores varía la cantidad de los mismos según el modelo y la marca de cada taladro de perforación.

4.1.2 Descripción de las actividades operacionales y de mantenimiento de los taladros de perforación

En la figura 4.1 se presenta el orden en que serán descritas las actividades operacionales y de mantenimiento nivel III que realiza la empresa PDVSA:

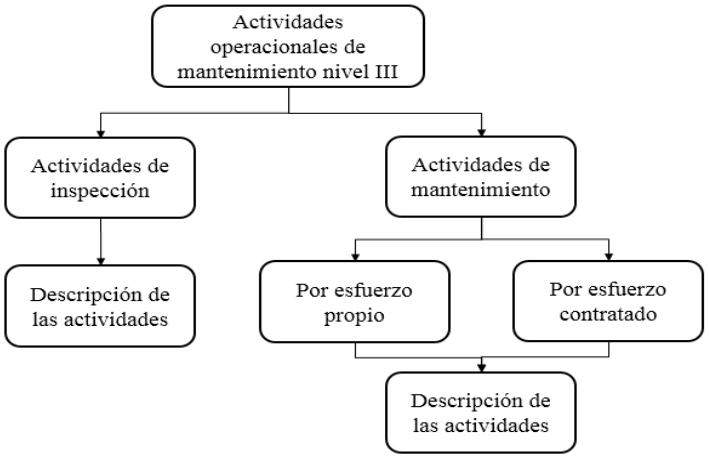


Figura 4.1. Desarrollo de las actividades de inspección y mantenimiento
Fuente: el autor (2017)

4.1.2.1 Actividades de inspección de equipos

Para inspeccionar los equipos que forman parte de los taladros de perforación, la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos de PDVSA Gas Anaco tiene establecido un procedimiento en el que primero se programan las actividades de inspección y luego las mismas son ejecutadas, el cual es conocido como Programa Anual de Inspección de Equipos.

Entre las actividades de inspección que se encuentran dentro de un nivel III, se pueden mencionar las siguientes:

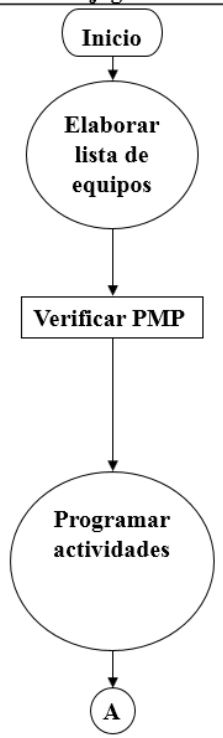
- Identificar no conformidades en los equipos objeto de inspección de acuerdo a las normas y códigos aplicables. Dichos equipos pueden estar compuestos por elementos mecánicos, eléctricos, de instrumentación, entre otros.
- Emitir las observaciones, recomendaciones y resultados obtenidos para abordar las no conformidades encontradas en los equipos o componentes inspeccionados.
- Definir cuáles son las técnicas de Ensayos No Destructivos (END) adecuadas para ser utilizadas durante la inspección de cada sistema e interpretar sus resultados., puesto que las mismas permiten conocer las irregularidades de los equipos o componentes.
- Firmar con el responsable técnico la certificación final de cada equipo o componente inspeccionado una vez corregidas las no conformidades identificadas durante el proceso de inspección.

El programa Anual de Inspección de Equipos es creado y ejecutado por un equipo de profesionales, los cuales desempeñan cargos que están directamente relacionados con el mantenimiento.

Descripción de las actividades de inspección

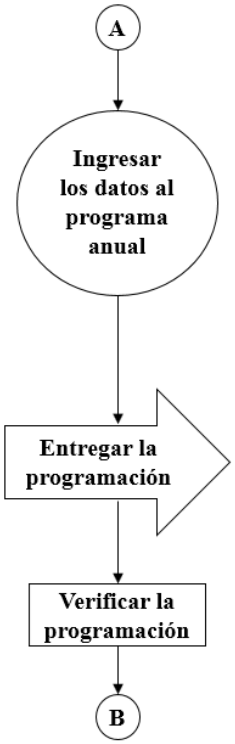
A continuación, se describen las actividades de inspección de equipos con sus respectivos responsables y documentos generados y/o utilizados:

Tabla 4.3. Flujograma de proceso: Inspección de equipos.

Flujograma	Responsable	Descripción de actividad	Documento (código)
			
	Ingeniero de mantenimiento	Elaborar anualmente una lista con todos los equipos que conforman al taladro de perforación.	• Lista de equipos de taladro de perforación (PI-001)
	Ingeniero de mantenimiento	Verificar con la lista de equipos el Programa de Mantenimiento Preventivo (PMP) correspondiente y las frecuencias de inspecciones a todos los equipos que conforman el taladro de perforación.	• Lista de equipos de taladro de perforación (PI-001). • Programa de Mantenimiento Preventivo (PMP-001). • Reportes de mantenimiento PM-010).
	Ingeniero de mantenimiento	Programar las actividades de mantenimiento.	• Programa de mantenimiento (PM-001).

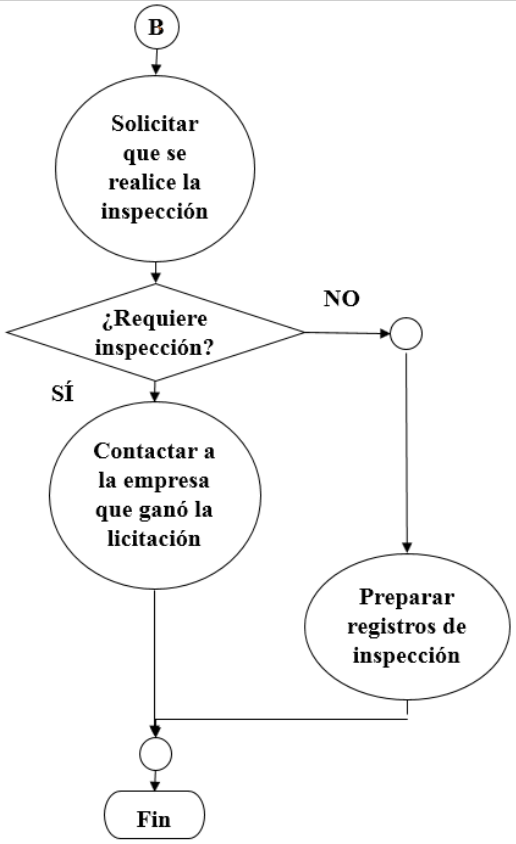
115

Tabla 4.3. Continuación

Flujograma	Responsable	Descripción de actividad	Documento (código)
			
	Ingeniero de mantenimiento	Ingresar los datos requeridos al Programa Anual de Inspección de Equipos; para tener un control de todas las inspecciones por sistema y de esta manera planificar a futuro su próxima inspección y certificación.	• Programa Anual de Inspección de Equipos (F-IM-017)
	Ingeniero de mantenimiento	Entregar la programación de inspecciones de los equipos asociados al proceso de perforación, al líder de ingeniería de mantenimiento.	• Programa Anual de Inspección de Equipos (F-IM-017).
	Líder de ingeniería de mantenimiento	Verificar toda la programación de inspección de equipos.	• Programa Anual de Inspección de Equipos (F-IM-017).

116

Tabla 4.3. Continuación

Flujograma	Responsable	Descripción de actividad	Documento (código)
			
	Líder de ingeniería de mantenimiento	Solicitar al líder operacional de mantenimiento mecánico, líder operacional de mantenimiento eléctrico o líder operacional de top drive y llaves hidráulicas la realización de la inspección correspondiente al programa.	• Programa Anual de Inspección de Equipos (F-IM-017).
	Ingeniero de mantenimiento	Contactar a la empresa que haya ganado la licitación para que realice el trabajo (solo si se requieren certificaciones de las inspecciones).	• Programa Anual de Inspección de Equipos (F-IM-017).
	Líder de ingeniería de mantenimiento	Informar al supervisor mayor mecánico o electricista para que prepare los registros de inspección del equipo correspondiente.	• Registros de inspección de equipos (F-IMR-017).

Fuente: Norma PDVSA P-IM-001 (2011)

117

4.1.2.2 Actividades de mantenimiento por esfuerzo propio

Para asegurar la operatividad de los sistemas que conforman los taladros de perforación, la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos tiene establecido un procedimiento a seguir, el cual es ejecutado por esfuerzo propio. Este procedimiento describe la planificación de los mantenimientos correctivos y/o preventivos tanto mecánicos como eléctricos, de los equipos de perforación recibidos en los talleres de la gerencia, ejecutados por personal de la empresa; desde el momento que se realiza la recepción del equipo hasta que es enviado al área operacional o su almacenamiento dentro de las inmediaciones de la empresa.

Entre las actividades de mantenimiento nivel III que puede realizar la empresa PDVSA Gas Anaco por esfuerzo propio se pueden mencionar las siguientes:

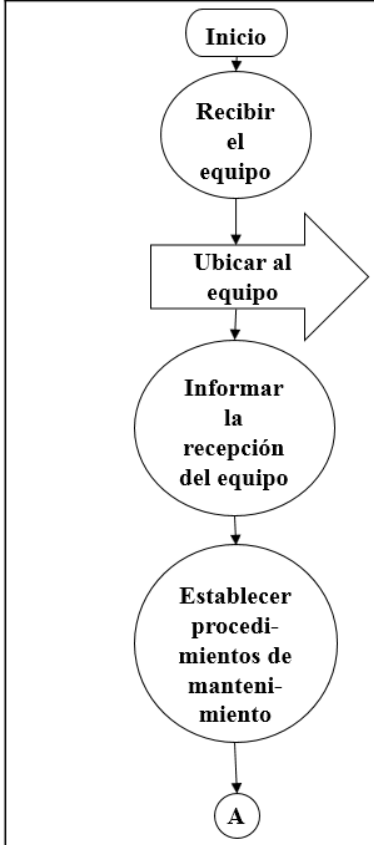
- Verificar la nivelación de la base estructural de las bombas.
- Revisar tolerancias y reemplazar engranajes.
- Realizar mantenimiento al sistema de enfriamiento y lubricación de sellos mecánicos.
- Cambiar aceite de los motores.
- Realizar inspección, limpieza y corrección de fugas de las cajeras.
- Ajustar o cambiar tornillos de guardapolvo.
- Medir capacidad de baterías y/o reemplazarlas.
- Realizar análisis de aceite y cambio de lubricantes.
- Realizar análisis de vibración.
- Medir juego axial y radial de cojinetes.
- Verificar estado de arrancadores y de las bombas.
- Realizar limpieza de las casetas de los filtros.
- Reemplazar filtros, ya sean de aire, lubricación, sello, trampas y venteo.

- Realizar inspecciones especializadas con técnicas no destructivas para evaluación de condiciones físicas (espesor de pared, picaduras por corrosión externa, deformación, pérdida de material, entre otros).

Descripción de las actividades de mantenimiento por esfuerzo propio

A continuación, se describen las actividades de mantenimiento por esfuerzo propio con sus respectivos responsables y documentos generados y/o utilizados:

Tabla 4.4. Flujograma de proceso: Mantenimiento por esfuerzo propio

Flujograma	Responsable	Descripción de actividad	Documento (código)
			
	Líder operacional de mantenimiento	Recibir el equipo en las instalaciones de la empresa.	• Formato de recepción de equipos.
	Líder operacional de mantenimiento	Ubicar el equipo las instalaciones de la empresa.	
	Líder operacional de mantenimiento	Informar verbalmente la recepción del equipo, las características, procedencia y lo requerido al ingeniero de mantenimiento.	
	Ingeniero de mantenimiento	Establecer a través de los procedimientos de mantenimiento indicados en la lista de equipos de perforación, los parámetros básicos a seguir para el mantenimiento requerido al equipo recibido y e indicarlo al líder operacional de mantenimiento.	• Lista de equipos de perforación (PI-001).

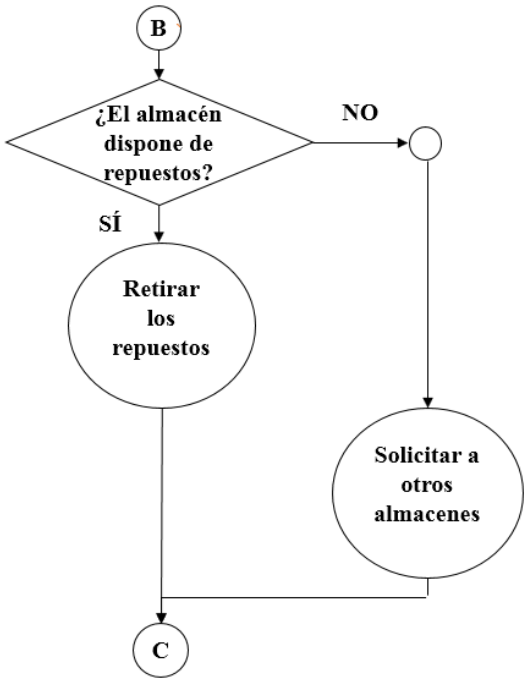
120

Tabla 4.4. Continuación

Flujograma	Responsable	Descripción de actividad	Documento (código)
	Supervisor mayor	Elaborar y firmar la hoja de permiso de trabajo seguro y el análisis de riesgo del trabajo (ART),	• Permiso de trabajo seguro. • Análisis de Riesgo del Trabajo.
	Supervisor mayor	Ejecuta el mantenimiento preventivo y/o correctivo previsto, utilizando los procedimientos respectivos, según sea el caso.	
	Supervisor mayor	Solicita los repuestos o materiales necesarios en almacén por medio del formato “Solicitud de Materiales”.	• Solicitud de materiales (F-IM-020)

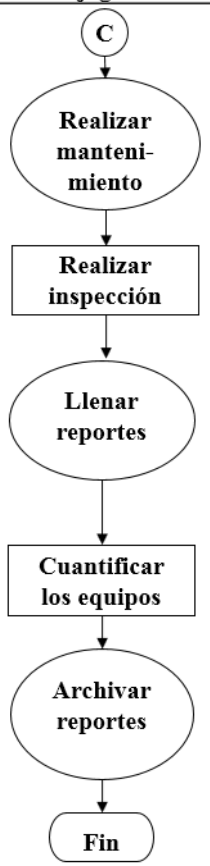
121

Tabla 4.4. Continuación

Flujograma	Responsable	Descripción de actividad	Documento (código)
			
	Supervisor mayor	Retirar del almacén los repuestos requeridos para ejecutar el mantenimiento del equipo y entregarlo a los técnicos mecánicos o electricistas.	
	Líder operacional de mantenimiento	Solicitar a otros almacenes de la corporación los repuestos requeridos.	

122

Tabla 4.4. Continuación

Flujograma	Responsable	Descripción de actividad	Documento (código)
			
	Técnico mecánico o electricista	Realizar las actividades de mantenimiento indicadas en el procedimiento correspondiente.	
	Supervisor mayor	Realiza una inspección visual del trabajo ejecutado.	
	Supervisor mayor	Informar al líder operacional de mantenimiento que debe proceder a llenar los reportes de mantenimiento correspondientes a lo ejecutado, para ser entregados al ingeniero de mantenimiento para su procesamiento.	• Reportes de mantenimiento (PM-010).
	Ingeniero de mantenimiento	Cuantificar los equipos y partes reemplazados durante el mantenimiento e ingresar los reportes de mantenimiento en la base de datos.	• Reportes de mantenimiento (PM-010).
	Ingeniero de mantenimiento	Archivar todos los reportes generados.	• Reportes de mantenimiento (PM-010).

Fuente: Norma PDVSA P-IM-003 (2011)

123

4.1.2.3 Actividades de mantenimiento por esfuerzo contratado

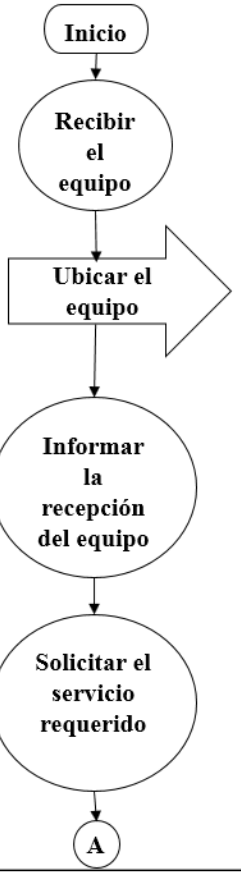
Para asegurar la operatividad de los sistemas que conforman los taladros de perforación, la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos tiene establecido un procedimiento a seguir, el cual es ejecutado por esfuerzo contratado. Este procedimiento describe la planificación de los mantenimientos correctivos y/o preventivos tanto mecánicos como eléctricos, de los equipos de perforación recibidos en los talleres de la gerencia, ejecutados por personal contratado; desde el momento que se realiza la recepción del equipo hasta que es enviado al área operacional o su almacenamiento dentro de las inmediaciones de la empresa.

Las actividades de mantenimiento nivel III por esfuerzo contratado que se realizan a los taladros de perforación son similares a las realizadas por esfuerzo propio. La diferencia radica en que la empresa PDVSA Gas no cuenta con los equipos necesarios para realizar todas las actividades de mantenimiento, por lo que para ejecutar ciertas actividades recurre a empresas contratistas que si pueden realizarlas basándose en normas de PDVSA que es la empresa contratante y las del fabricante del equipo o equipos. Además, las empresas contratistas juegan un papel importante en lo que es la certificación de equipos, debido a que un taladro de perforación no puede operar sin que todos sus equipos estén certificados y las que emiten dichas certificaciones son empresas externas que están avaladas por entes internacionales y por el Instituto de Tecnología Venezolana para el Petróleo **(**INTEVEP).

Descripción de las actividades de mantenimiento por esfuerzo contratado

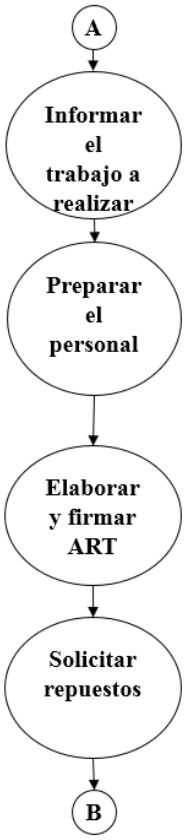
A continuación, se describen las actividades de mantenimiento por esfuerzo contratado con sus respectivos responsables y documentos generados y/o utilizados:

Tabla 4.5. Flujograma de proceso: Mantenimiento por esfuerzo contratado

Flujograma	Responsable	Descripción de actividad	Documento (código)
			
	Líder operacional de mantenimiento	Recibir el equipo en las instalaciones de la empresa.	• Formato de recepción de equipos.
	Líder operacional de mantenimiento	Ubicar el equipo en la zona prevista.	
	Líder operacional de mantenimiento	Informar verbalmente la recepción del equipo, las características, procedencia y lo requerido al superintendente de mantenimiento.	
	Ingeniero de mantenimiento	Solicitar vía telefónica al líder de planificación, presupuesto y gestión el servicio requerido.	

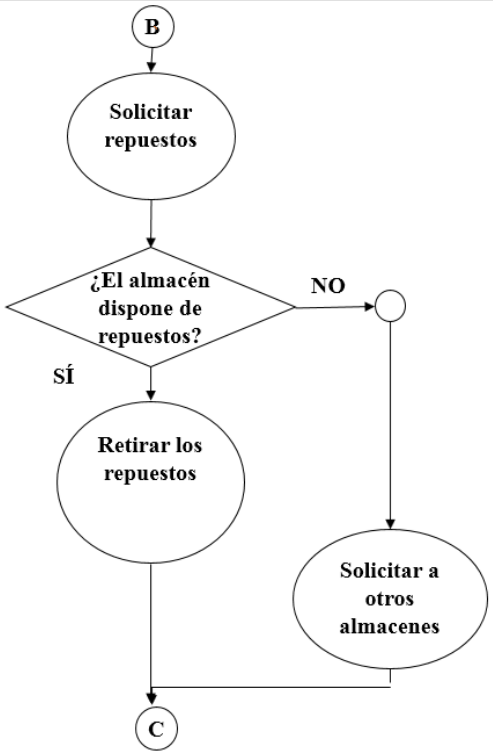
125

Tabla 4.5. Continuación

Flujograma	Responsable	Descripción de actividad	Documento (código)
			
	Supervisor mayor	Informar al supervisor mayor el trabajo a realizar por la empresa contratada, de manera tal que supervisen y presten la logística necesaria.	
	Empresa contratista	Preparar su personal para iniciar las labores de mantenimiento.	
	Supervisor mayor	Elaborar y firmar la hoja de permiso de trabajo seguro y el Análisis de Riesgos del Trabajo (ART).	• Permiso de trabajo seguro. • Análisis de Riesgo del Trabajo.
	Empresa contratista	Solicitar al supervisor mayor los repuestos necesarios para la ejecución del mantenimiento correctivo y/o preventivo.	

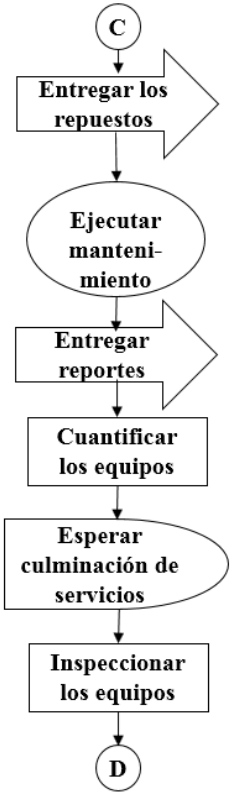
126

Tabla 4.5. Continuación

Flujograma	Responsable	Descripción de actividad	Documento (código)
			
	Supervisor mayor	Solicitar al almacén los repuestos o materiales requeridos por la empresa contratista que presta el servicio.	
	Supervisor mayor	Retirar del almacén los repuestos requeridos para ejecutar el mantenimiento del equipo.	
	Líder operacional de mantenimiento	Solicitar a otros almacenes de la corporación los repuestos requeridos.	

127

Tabla 4.5. Continuación

Flujograma	Responsable	Descripción de actividad	Documento (código)
			
	Supervisor mayor	Entregar los repuestos requeridos a la empresa contratista.	
	Empresa contratista	Ejecutar el mantenimiento de los equipos.	
	Empresa contratista	Entregar diariamente un reporte donde especifican las actividades realizadas.	• Reportes de mantenimiento (PM-010).
	Ingeniero de mantenimiento	Cuantificar los equipos y partes reemplazados durante el mantenimiento e ingresar los reportes de mantenimiento en la base de datos.	• Reportes de mantenimiento (PM-010).
	Empresa contratante	Esperar la culminación de los servicios de la empresa contratista.	
	Supervisor mayor y superintendente de mantenimiento	Inspeccionar el equipo al cual se les realizó el mantenimiento correctivo y/o preventivo.	

128

Tabla 4.5. Continuación

Flujograma	Responsable	Descripción de actividad	Documento (código)
	Supervisor mayor y superintendente de mantenimiento	**Aprobar la nota de entrega emitida por la empresa contratista conforme el servicio prestado.**	• **Nota de entrega.**
	Empresa contratista	**Entregar al líder de ingeniería de mantenimiento, los informes y certificados (si aplica) que explica de forma detallada el trabajo realizado, especificando básicamente: partes inspeccionadas, partes reemplazadas, el mantenimiento preventivo y/o correctivo ejecutado y la garantía de vida del equipo o partes reemplazadas, entre otras.**	• **Informes y certificados.**
	Departamento de mantenimiento	**Archivar todos los documentos generados.**	**Informes y certificados.**

Fuente: Norma PDVSA P-IM-003 (2011)

129

4.1.3 Descripción del funcionamiento de los sistemas de los taladros de perforación

A continuación se describe el proceso que cumplen los sistemas de los taladros de perforación mediante diagramas de Entrada-Proceso-Salida (EPS):

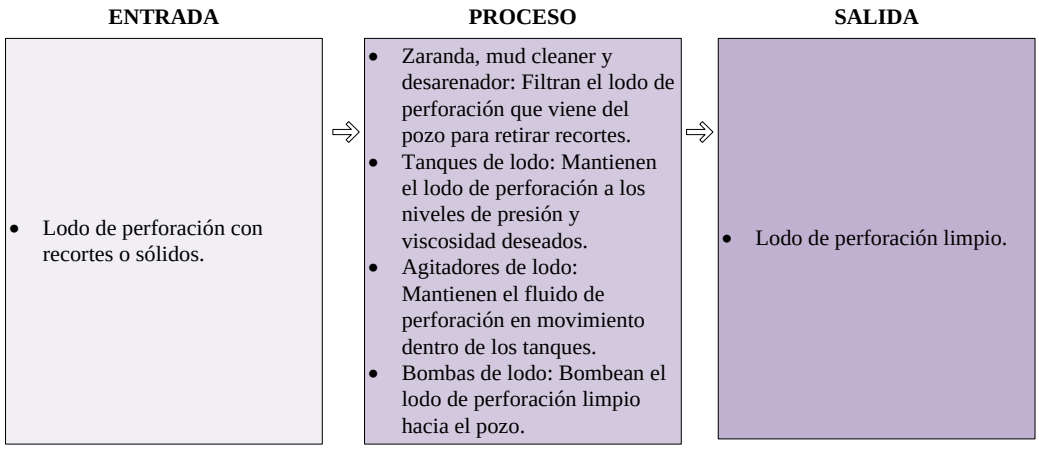


Figura 4.5. Diagrama EPS del sistema de circulación
Fuente: El autor (2017)

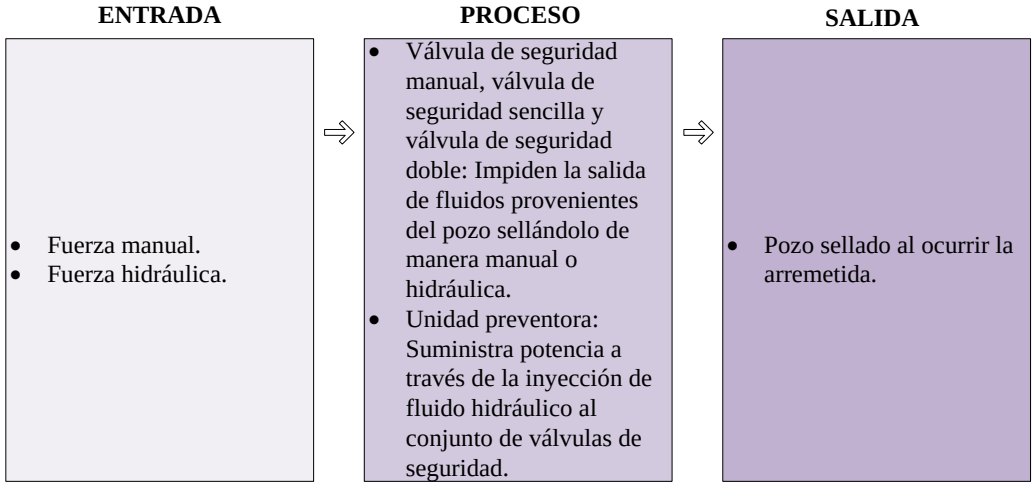


Figura 4.6. Diagrama EPS del sistema de seguridad
Fuente: El autor (2017)

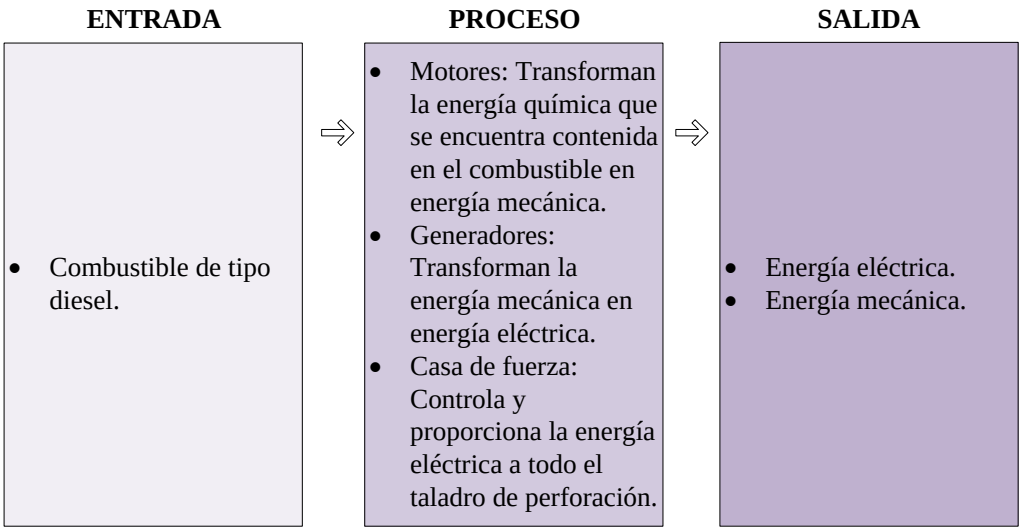


Figura 4.7. Diagrama EPS del sistema de potencia
Fuente: El autor (2017)

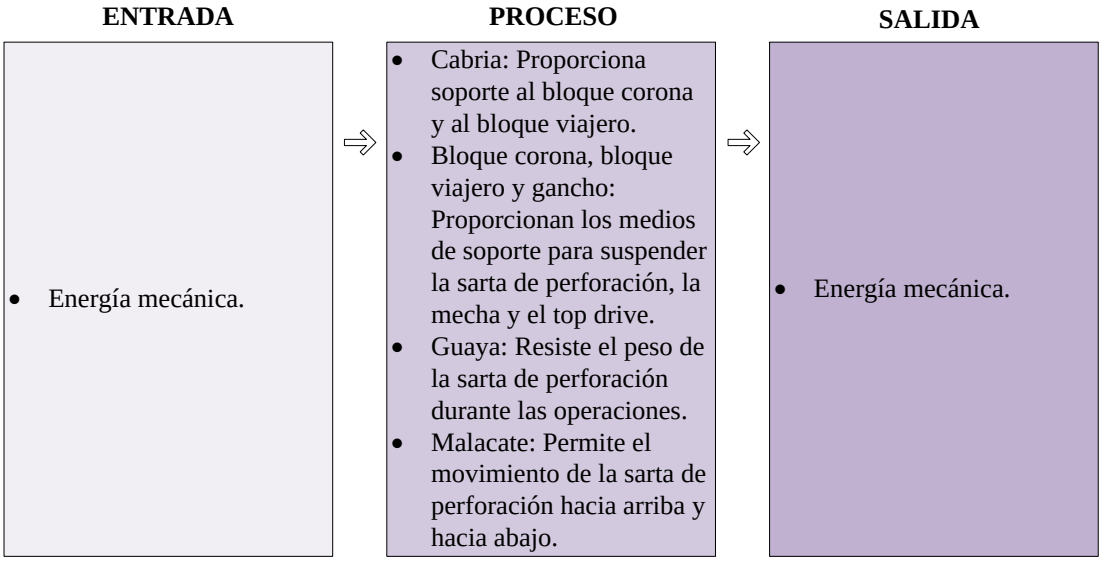


Figura 4.8. Diagrama EPS del sistema de levantamiento
Fuente: El autor (2017)

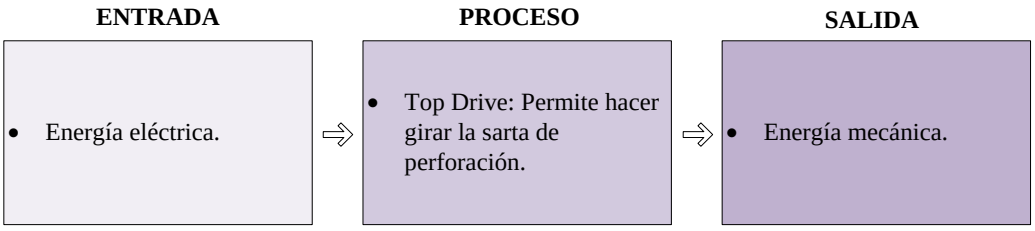


Figura 4.9. Diagrama EPS del sistema de rotación
Fuente: El autor (2017)

4.1.4 Descripción de la condición actual de los sistemas de los taladros de perforación

A continuación se presentan una serie de tablas que resumen la condición actual de cada uno de los sistemas de los taladros de perforación en estudio, los cuales, como se explicó en el capítulo III están clasificados por cuatro parámetros (ver tabla 4.6):

Tabla 4.6. Parámetros para clasificar los sistemas de los taladros de perforación.

PARÁMETRO	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo
SIGNIFICADO	El taladro se encuentra totalmente operativo, con todos sus sistemas y los equipos que lo conforman en excelentes condiciones.	El taladro se encuentra operativo y funcionando, pero lo hace con algunas partes y repuestos prestados de otros taladros.	El taladro se encuentra operativo pero lo hace con partes y repuestos prestados de otros taladros; y además, presenta fallas en varios equipos importantes que ponen en riesgo su operatividad.	Fuera de servicio.

Fuente: El autor (2017)

Tabla 4.7. Condición actual de los sistemas del taladro de perforación PDV-21

SISTEMA	CONDICIÓN	OBSERVACIONES
Circulación	**Regular**	• **Falla en las líneas de lodo por mal filtro de las mallas en los vibradores o shale shakers.** • **Fallas en los ejes sin fin de los agitadores de lodo para la mezcla de lodo en los tanques.**
Seguridad	**Regular**	• **Falla en los ranes utilizados para cerrar y abrir las válvulas simples y dobles.** • **Desgaste excesivo de los elementos de embalaje (packing element) de las válvulas anulares.**
Potencia	**Regular**	• **Falta de filtros en los motores diesel y repuestos eléctricos por espera del departamento de procura.**
Levantamiento	**Regular**	• **Falta de rodamientos en los bloques (viajero y corona) por espera del departamento de procura.**
Rotación	**Regular**	• **Falta de dientes de agarre en la llave hidráulica y top drive por espera del departamento de procura.** • **Reemplazo del tubo de lavado (wash pipe) del top drive a las horas recomendadas por el fabricante.**

Fuente: Departamento de Mantenimiento de Operaciones (2017)

Tabla 4.8. Condición actual de los sistemas del taladro de perforación PDV-51

SISTEMA	CONDICIÓN	OBSERVACIONES
Circulación	**Regular**	• **Falta de camisa y pistón de las bombas de lodo y válvulas mariposas de los tanques de lodo por espera del departamento de procura.**
Seguridad	**Regular**	• **Repuesto de las válvulas simples, dobles y anulares por espera del departamento de procura.** • **Falla en los ranes que se utilizan para abrir y cerrar los válvulas impide reventones simples y dobles.** • **Desgaste excesivo de los elementos de embalaje (packing element) de las válvulas anulares.**
Potencia	**Regular**	• **Falta de filtros de los motores diesel y repuestos eléctricos por espera del departamento de procura.**

Continuación: Tabla 4.8. Continuación

SISTEMA	CONDICIÓN	OBSERVACIONES
Levantamiento	**Regular**	• **Falta de rodamiento en los bloques (viajero y corona) por espera del departamento de procura.**
Rotación	**Regular**	• **Torito (de la llave hidráulica) inclinado a causa del rodamiento por desgaste y articulación.** • **Pernos y tornillos para porta dientes de la quijada se encuentra corroídos.** • **Grifos partidos y tapa de la mordaza desgastada.**

Fuente: Departamento de Mantenimiento de Operaciones (2017)

Tabla 4.9. Condición actual de los sistemas del taladro de perforación PDV-52.

SISTEMA	CONDICIÓN	OBSERVACIONES
Circulación	**Regular**	• **Las bombas de lodo presentan la bomba de aceite dañada, tornillos partidos por alta vibración, estoperas del pony rod dañadas y golpeteo de la cadena de la guitarra "B".**
Seguridad	**Regular**	• **Falla en los ranes utilizados para abrir y cerrar las válvulas impide reventones simples y dobles.** • **Desgaste excesivo de los elementos de embalaje (packing element) de las válvulas anulares.**
Potencia	**Regular**	• **Falta de filtros en los motores diesel y repuestos eléctricos por espera del departamento de procura.**
Levantamiento	**Regular**	• **Falta de rodamiento en los bloques (viajero y corona) por espera del departamento de procura.**
Rotación	**Regular**	• **Falta de dientes de agarre en la llave hidráulica y top drive por espera del departamento de procura.** • **El top drive tiene fuga de aceite por la base de la palanca selectora de los cambios de alta y baja de la transmisión, tornillo de la tapa del ventilador del motor eléctrico partido, fuga de aceite por el sello, sensores descalibrados y fuga de aire por solenoide dañado.**

Fuente: Departamento de Mantenimiento de Operaciones (2017)

Tabla 4.10. Condición actual de los sistemas del taladro de perforación PDV-54.

SISTEMA	CONDICIÓN	OBSERVACIONES
Circulación	**Regular**	• **Falla en las líneas de lodo por mal filtro de las mallas en los vibradores o shale shakers.** • **Fallas en los ejes sin fin de los agitadores de lodo para la mezcla de lodo en los tanques.**
Seguridad	**Regular**	• **Falla en los ranes utilizados para abrir y cerrar las válvulas impide reventones simples y dobles.** • **Desgaste excesivo de los elementos de embalaje (packing element) de las válvulas anulares.**
Potencia	**Regular**	• **Falta de filtros en los motores diesel y compresores por espera de del departamento de procura.**
Levantamiento	**Regular**	• **Falta de rodamiento y reemplazo de poleas en los bloques (viajero y corona) por espera del departamento de procura.**
Rotación	**Regular**	• **Falta de dientes de agarre en la llave hidráulica y top drive por espera del departamento de procura.**

Fuente: Departamento de Mantenimiento de Operaciones (2017)

Tabla 4.11. Condición actual de los sistemas del taladro de perforación PDV-64.

SISTEMA	CONDICIÓN	OBSERVACIONES
Circulación	**Regular**	• **Falta de camisa y pistón de las bombas de lodo y válvulas mariposas de los tanques de lodo por espera del departamento de procura.**
Seguridad	**Regular**	• **Falla en los ranes utilizados para abrir y cerrar las válvulas impide reventones simples y dobles.** • **Desgaste excesivo de los elementos de embalaje de las válvulas anulares.**
Potencia	**Regular**	• **Falta de filtros en los motores diesel y compresores por espera del departamento de procura.**
Levantamiento	**Regular**	• **Falta de rodamientos y reemplazo de poleas en los bloques viajero y corona por espera del departamento de procura.**
Rotación	**Regular**	• **Falta de dientes de agarre en la llave hidráulica y top drive por espera del departamento de procura.**

Fuente: Departamento de Mantenimiento de Operaciones (2017)

Tabla 4.12. Condición actual de los sistemas del taladro de perforación PDV-65.

SISTEMA	CONDICIÓN	OBSERVACIONES
Circulación	**Regular**	• **Falta de camisa y pistón de las bombas de lodo y válvulas mariposas de los tanques de lodo por espera del departamento de procura.**
Seguridad / Control de pozo	**Regular**	• **Falla en los ranes utilizados para abrir y cerrar las válvulas impide reventones simples y dobles.** • **Desgaste excesivo de los elementos de embalaje de las válvulas anulares.**
Potencia	**Regular**	• **Falta de filtros en los motores diesel y compresores por espera del departamento de procura.**
Levantamiento	**Regular**	• **Falta de rodamientos y reemplazo de poleas en los bloques (viajero y corona) por espera del departamento de procura.**
Rotación	**Regular**	• **Falta de dientes de agarre en la llave hidráulica y top drive por espera del departamento de procura.**

Fuente: Departamento de Mantenimiento de Operaciones (2017)

En las seis tablas anteriores se puede evidenciar que muchos de los sistemas de los taladros de perforación no están en completo funcionamiento por la falta de algunos repuestos y dichos repuestos no están disponibles debido a que el departamento de procura no puede proporcionarlos en el momento que se necesitan, y esto, se debe a que la mayoría de dichos repuestos son importados por lo que se retrasa el proceso de compra.

Al mismo tiempo, el Equipo Natural de Trabajo y el personal de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos asegura que para no detener las actividades operacionales de los taladros extraen partes y repuestos de cualquier taladro que no se encuentre trabajando en campo pero que sí esté en buenas condiciones y las introduce en algún otro taladro para que el mismo pueda operar temporalmente. Esto ocurre con mucha frecuencia, sobre todo con las tarjetas electrónicas de control de las casas de fuerza de los taladros; acción que hace que las mismas se averíen en un tiempo más

corto, lo cual va en contra del objetivo principal del departamento de mantenimiento: máxima disponibilidad de los equipos con el menor costo posible.

Por último, una situación semejante a la descrita anteriormente ocurre con los filtros de aire, de aceite, entre otros. Estos filtros deben ser cambiados cada 750 horas, para que los mismos funcionen correctamente; pero debido a que no son reemplazados en el momento necesario, la empresa procede a lavarlos y reutilizarlos, colocando en riesgo de avería al equipo y acortando su vida útil.

4.2 Jerarquización de los sistemas de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui, de acuerdo a su nivel de criticidad.

Para llevar a cabo la segunda etapa de este proyecto se siguió el siguiente procedimiento:

- Integración del Equipo Natural de Trabajo.
- Selección de los sistemas a evaluar.
- Selección de los criterios a evaluar.
- Aplicación de los cuestionarios al Equipo Natural de Trabajo.
- Emisión de los resultados.

4.2.1 Integración del Equipo Natural de Trabajo (ENT)

Tal como se explicó en el capítulo anterior de esta investigación, el Equipo Natural de Trabajo (ENT) se conformó por profesionales de ciertas áreas estratégicas de la empresa PDVSA Gas, los mismos se muestran a continuación:

Tabla 4.13. Equipo Natural de Trabajo.

NOMBRE	CARGO	DEPARTAMENTO
Ramón Guilarte	**Supervisor Mayor Mecánico**	**Gerencia de Mantenimiento**
Eduar Hernández	**Técnico Mecánico**	**Gerencia de Mantenimiento**
Luis Pernil	**Técnico Electricista**	**Gerencia de Mantenimiento**
Edgar Pérez	**Técnico instrumentista**	**Gerencia de Mantenimiento**
Heidy González	**Supervisor de Seguridad Industrial e Higiene Ocupacional**	**Gerencia de Seguridad Industrial e Higiene Ocupacional**

Fuente: El autor (2017)

4.2.2 Selección de los sistemas a evaluar

A continuación, en la tabla 4.14, se muestran los taladros de perforación que fueron considerados para la aplicación del análisis de criticidad con sus respectivos sistemas:

Tabla 4.14. Taladros de perforación seleccionados para el análisis de criticidad.

NOMBRE	MODELO	SISTEMAS
PDV – 21	**ZJ70DB30/PIRAMIDE**	• **Circulación** • **Levantamiento** • **Potencia** • **Rotación** • **Seguridad**
PDV – 51	**JJ315/45K PIRAMIDAL**	
PDV – 52	**JJ450/45-K10 / CANTILIVER-K**	
PDV – 54	**CANTILIVER-K**	
PDV – 64	**JJ450/45.5-K / CANTILIVER-K**	
PDV – 65	**JJ450/45.5-K/ CANTILIVER-K**	

Fuente: Fichas técnicas de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos de PDVSA GAS Anaco (2017)

4.2.3 Selección de los criterios a evaluar

Los criterios que se usaron en la aplicación del análisis de criticidad de los sistemas de circulación, potencia, levantamiento, seguridad y rotación de los taladros de perforación de PDVSA Gas Anaco fueron los siguientes:

Tabla 4.15. Criterios establecidos para la elaboración del análisis de criticidad.

FACTOR: FRECUENCIA DE FALLA	PONDERACIÓN
Mayor de 18 fallas por año.	4
Entre 10 y 18 fallas por año.	3
Entre 5 y 9 fallas por año.	2
Entre 1 y 4 fallas por año.	1
FACTOR: IMPACTO OPERACIONAL	**PONDERACIÓN**
Más de 81% de afectación en la operación de perforación.	5
Entre 61% a 80% de afectación en la operación de perforación.	4
Entre 41% a 60% de afectación en la operación de perforación.	3
Entre 21% a 40% de afectación en la operación de perforación.	2
Entre 0% a 20% de afectación en la operación de perforación.	1
FACTOR: FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	**PONDERACIÓN**
No existe flexibilidad operacional.	2
Existe flexibilidad operacional.	1
FACTOR: COSTOS DE MANTENIMIENTO	**PONDERACIÓN**
Más de 50 millones de Bolívares.	4
Entre 40 y 30 Millones de Bolívares.	3
Entre 20 y 10 Millones de Bolívares.	2
Inferior a 10 Millones de Bolívares.	1
FACTOR: IMPACTO EN LA SEGURIDAD, HIGIENE Y AMBIENTE	**PONDERACIÓN**
Afecta la seguridad humana tanto externa como interna.	5
Afecta al ambiente e instalaciones.	4
Afecta las instalaciones causando daños severos.	3
Provoca daños menores ambiente/seguridad.	2
No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o ambiente.	1

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

4.2.4 Aplicación de cuestionarios al Equipo Natural de Trabajo (ENT)

A continuación se presentan los formatos de las encuestas que fueron aplicadas al Equipo Natural de Trabajo para evaluar cada uno de los sistemas del taladro de perforación PDV-54 (en el Anexo C pueden ser consultadas las encuestas de confiabilidad de los cinco taladros de perforación restantes):

Tabla 4.16. Encuesta de confiabilidad del sistema de circulación del taladro de perforación PDV-54.

Sistema: Circulación			**Fecha: 15/03/2017**	
Empresa: PDVSA GAS			**Encuesta realizada a: ENT**	
Frecuencia De Falla	**Impacto Operacional**	**Flexibilidad Operacional**	**Costos de Mantenimiento**	**Impacto SHA**
4	**4**	**1**	**2**	**4**

Fuente: Equipo Natural de Trabajo de la empresa PDVSA Gas (2017)

Tabla 4.17. Encuesta de confiabilidad del sistema de seguridad del taladro de perforación PDV-54.

Sistema: Seguridad			**Fecha: 15/03/2017**	
Empresa: PDVSA GAS			**Encuesta realizada a: ENT**	
Frecuencia De Falla	**Impacto Operacional**	**Flexibilidad Operacional**	**Costos de Mantenimiento**	**Impacto SHA**
3	**2**	**1**	**3**	**4**

Fuente: Equipo Natural de Trabajo de la empresa PDVSA Gas (2017)

Tabla 4.18. Encuesta de confiabilidad del sistema de potencia del taladro de perforación PDV-54.

Sistema: Potencia			**Fecha: 15/03/2017**	
Empresa: PDVSA GAS			**Encuesta realizada a: ENT**	
Frecuencia De Falla	**Impacto Operacional**	**Flexibilidad Operacional**	**Costos de Mantenimiento**	**Impacto SHA**
3	**0**	**1**	**2**	**5**

Fuente: Equipo Natural de Trabajo de la empresa PDVSA Gas (2017)

Tabla 4.19. Encuesta de confiabilidad del sistema de levantamiento del taladro de perforación PDV-54.

Sistema: Levantamiento			**Fecha: 15/03/2017**	
Empresa: PDVSA GAS			**Encuesta realizada a: ENT**	
Frecuencia De Falla	**Impacto Operacional**	**Flexibilidad Operacional**	**Costos de Mantenimiento**	**Impacto SHA**
3	**0**	**1**	**4**	**4**

Fuente: Equipo Natural de Trabajo de la empresa PDVSA Gas (2017)

Tabla 4.20. Encuesta de confiabilidad del sistema de rotación del taladro de perforación PDV-54.

Sistema: Rotación			**Fecha: 15/03/2017**	
Empresa: PDVSA GAS			**Encuesta realizada a: ENT**	
Frecuencia De Falla	**Impacto Operacional**	**Flexibilidad Operacional**	**Costos de Mantenimiento**	**Impacto SHA**
4	**1**	**2**	**4**	**5**

Fuente: Equipo Natural de Trabajo de la empresa PDVSA Gas (2017)

4.2.5 Cálculo de niveles de criticidad

Con la realización de las encuestas que fueron mostradas anteriormente, se obtuvieron los datos necesarios para ser sustituidos en las ecuaciones de criticidad y consecuencia, las cuales se muestran a continuación:

$$Criticidad = F.F \times Consecuencia \quad \text{Ec. 4.1}$$

$$Consecuencia = (I.O \times F.O) + C.M + I.S.H.A \quad \text{Ec. 4.2}$$

$Donde$:

$FF = Frecuencia\ de\ falla$

$I.O = Impacto\ operacional$

$F.O = Flexibilidad\ operacional$

$C.M = Costos\ de\ mantenimiento$

$I.S.H.A = Impacto\ en\ la\ Seguridad, Hiegiene\ y\ Ambiente$

Las ecuaciones mostradas anteriormente, fueron aplicadas a los cinco sistemas de cada uno de los seis taladros, lo cual permitió la construcción de seis tablas, es decir, una por cada taladro de perforación, donde se presentó su respectivo nivel de frecuencia de falla, impacto operacional, flexibilidad operacional, costos de

mantenimiento, impacto en la seguridad, higiene y ambiente, total de consecuencias y nivel de criticidad.

Debido a que son varias tablas las que fueron obtenidas, solo se presenta la tabla correspondiente al taladro de perforación PDV-54 (ver tabla 4.21) y las cinco tablas restantes pueden ser consultadas en la sección de anexos (ver Anexo D). A continuación se presenta el modelo de cálculo de nivel de criticidad para cada uno de los sistemas del taladro PDV-54:

$$Consecuencia = (I.O \times F.O) + C.M + I.S.H.A \quad \text{Ec. 4.2}$$

- Consecuencia = [(4*1)+ 2+4]= 10 (Sistema de circulación)
- Consecuencia = [(2*1)+ 3+4]= 9 (Sistema de seguridad)
- Consecuencia = [(0*1)+ 2+5]= 7 (Sistema de potencia)
- Consecuencia = [(0*1)+ 4+4]= 8 (Sistema de levantamiento)
- Consecuencia = [(1*2)+4+5]= 11 (Sistema de rotación)

$$Criticidad = F.F \times Consecuencia \quad \text{Ec. 4.1}$$

- Criticidad = 4*10 = 40 (Sistema de circulación)
- Criticidad = 3*9 = 27 (Sistema de seguridad)
- Criticidad = 3*7 = 21 (Sistema de potencia)
- Criticidad = 3*8 = 24 (Sistema de levantamiento)
- Criticidad = 4*11 = 44 (Sistema de rotación)

Tabla 4.21. Análisis de criticidad de los sistemas que conforman el taladro de perforación PDV-54

TALADRO PDV-54							
SISTEMA	CONSECUENCIA DE FALLAS						
	F.F	I.O	F.O	C.M	I.S.H.A	TOTAL CONSECUENCIAS	NIVEL DE CRITICIDAD
CIRCULACIÓN	4	4	1	2	4	10	40
SEGURIDAD	3	2	1	3	4	9	27
POTENCIA	3	0	1	2	5	7	21
LEVANTAMIENTO	3	0	1	4	4	8	24
ROTACIÓN	4	1	2	4	5	11	44

Fuente: Encuestas del análisis de criticidad (2017)

Los valores de criticidad obtenidos para el taladro de perforación PDV-54 en la tabla 4.21 y para los cinco taladros restantes, fueron ordenados de mayor a menor ponderación y presentados en la tabla 4.22, la cual fue construida con base en las frecuencias de fallas versus sus consecuencias y está conformada por tres colores que permiten diferenciar los niveles de criticidad: El color verde indica los sistemas no críticos o de baja criticidad, el color amarillo los sistemas semi críticos o de criticidad media y por último, el color rojo indica los sistemas críticos o de criticidad alta.

Tabla 4.22. Valores de criticidad en orden jerárquico.

TALADRO DE PERFORACIÓN	SISTEMA	CONSECUENCIA DE FALLAS						
		F.F	I.O	F.O	C.M	I.S.H.A	TOTAL CONSECUENCIAS	NIVEL DE CRITICIDAD
PDV-21	ROTACIÓN	4	1	1	4	5	10	40
	CIRCULACIÓN	4	2	1	2	4	8	32
	SEGURIDAD	3	2	2	1	3	8	24
	LEVANTAMIENTO	3	0	1	4	4	8	24
	POTENCIA	3	0	1	2	5	7	21
PDV-51	ROTACIÓN	4	1	1	3	5	9	36
	CIRCULACIÓN	4	2	2	1	3	8	32
	SEGURIDAD	3	2	1	2	4	8	24
	LEVANTAMIENTO	3	0	1	4	4	8	24
	POTENCIA	3	0	1	2	5	7	21

Tabla 4.22. Continuación

TALADRO DE PERFORACIÓN	SISTEMA	CONSECUENCIA DE FALLAS						
		F.F	I.O	F.O	C.M	I.S.H.A	TOTAL CONSECUENCIAS	NIVEL DE CRITICIDAD
PDV-52	CIRCULACIÓN	4	4	2	3	4	15	60
	ROTACIÓN	4	1	2	4	5	11	44
	SEGURIDAD	3	4	1	3	4	11	33
	LEVANTAMIENTO	3	0	1	4	4	8	24
	POTENCIA	3	0	1	2	5	7	21
PDV-54	ROTACIÓN	4	1	2	4	5	11	44
	CIRCULACIÓN	4	4	1	2	4	10	40
	SEGURIDAD	3	2	1	3	4	9	27
	LEVANTAMIENTO	3	0	1	4	4	8	24
	POTENCIA	3	0	1	2	5	7	21
PDV-64	ROTACIÓN	4	1	1	4	5	10	40
	CIRCULACIÓN	4	2	2	1	3	8	32
	SEGURIDAD	3	2	2	1	3	8	24
	LEVANTAMIENTO	3	0	1	4	4	8	24
	POTENCIA	3	0	1	2	5	7	21
PDV-65	CIRCULACIÓN	4	4	2	3	4	15	60
	ROTACIÓN	4	1	1	3	5	9	36
	SEGURIDAD	3	2	1	2	4	8	24
	LEVANTAMIENTO	3	0	1	4	4	8	24
	POTENCIA	3	0	1	2	5	7	21

Fuente: Resultados de la encuesta del análisis de criticidad (2017)

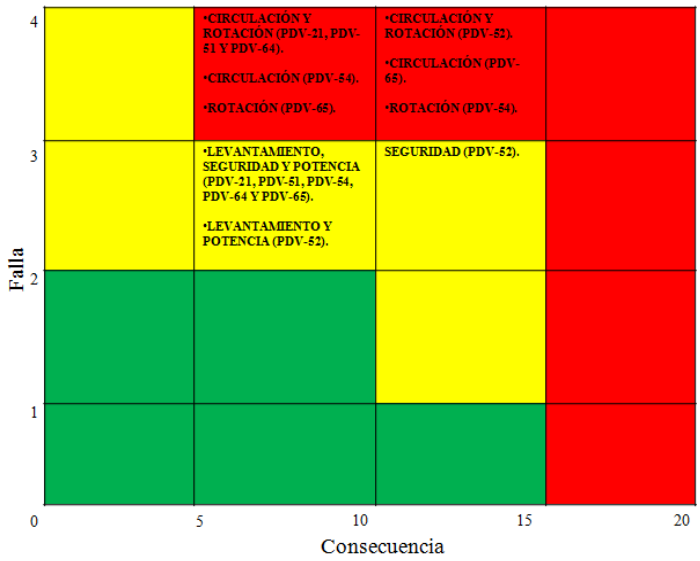


Figura 4.10. Matriz de criticidad de los sistemas de los taladros de perforación (PDV-21, PDV-51, PDV-52, PDV-54, PDV-64 y PDV-65)
Fuente: El autor (2017)

Donde:

= Crítico

= Semi crítico

= No crítico

4.2.6 Emisión de resultados del análisis de criticidad

Al realizar los cálculos de criticidad a los resultados de las encuestas de confiabilidad, se obtuvo que los sistemas más críticos de los seis taladros de perforación fueron el sistema de circulación y el de rotación, lo cual se puede verificar mediante la revisión de las tablas de criticidad y las matrices de criticidad de cada taladro (ver Anexo D).

4.3 Aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad a los sistemas críticos de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, estado Anzoátegui.

Para llevar a cabo la tercera etapa de este proyecto se siguió el siguiente procedimiento:

- Selección de los equipos sometidos al estudio del Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF).
- Aplicación del Análisis de Modos y Efectos de Fallas a los sistemas críticos en estudio (AMEF).
- Aplicación del Árbol Lógico de decisión (ALD).
- Organización de resultados obtenidos con el Árbol Lógico de Decisión.

4.3.1 Equipos sometidos al estudio del Análisis de Modos y Efectos de Fallas.

Los equipos que fueron sometidos al Análisis de Modos y Efectos de Fallas y los sistemas a los cuales pertenecen se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4.23. Equipos seleccionados para aplicar la metodología del MCC

CLASE	SISTEMA	SUB-SISTEMA	ÍTEM MANTENIBLE
Taladro de perforación	Circulación	Bomba de lodo	Ninguno
		Bomba centrífuga	
		Tanque de lodo	
		Agitador de lodo	
		Zaranda	
		Mud cleaner	
		Desarenador	
	Rotación	Top drive	Motor eléctrico
			Bomba hidráulica
			Gato hidráulico

Fuente: Análisis de criticidad (2017)

4.3.2 Análisis de Modos y Efectos de Fallas a los equipos pertenecientes a los sistemas críticos de los taladros de perforación.

Al realizar el Análisis de Modos y Efectos de Fallas se trabajó en conjunto con el Equipo Natural de Trabajo para poder definir la información necesaria de los equipos para completar las hojas de información correspondientes. A continuación se muestran dichas hojas de información de todos los equipos críticos con sus respectivas funciones, fallas funcionales, modos y efectos de fallas:

Tabla 4.24. Hoja de información de la bomba de lodo.

PDVSA	GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS	
Clase: Taladro de perforación		**Hoja: 1 / 4**
Sistema: Circulación		**Realizado por: Alejandra Santamaría**
Sub-sistema: Bomba de lodo		**Revisado por: Equipo Natural de trabajo**
Fecha: 22/05/2017		**Aprobado por: Ing. Elías Laya**

Función (F)		Falla Funcional (FF)		Modo de Falla (MF)		Efecto de Falla
1	Proveer una fuerza de impulsión entre 2000 y 4000 PSI para mover la columna de lodo desde la superficie del pozo hasta la mecha de perforación.	A	Que no provea ninguna fuerza de impulsión para mover la columna de lodo desde la superficie del pozo hasta la mecha de perforación.	1	Falla en el aislamiento o baja resistencia de aislamiento por roce mecánico entre el estator y el rotor.	• Sobrecalentamiento del motor lo que ocasionaría un cortocircuito en la bovina del motor y por consiguiente lo que provocaría la paralización del mismo.
				2	Falla en el desplazamiento de los pistones entre caballos y tejas para la transmisión de presión.	• Desalineación en los caballos y tejas, lo cual impediría el desplazamiento correcto de los pistones.
		B	Que provea una fuerza de impulsión por debajo de 2000 PSI para mover la columna de lodo desde la superficie del pozo hasta la mecha de perforación.	1	Falla en el aislamiento o baja resistencia de aislamiento por roce mecánico entre el estator y el rotor.	• Sobrecalentamiento del motor lo que ocasionaría un cortocircuito en la bovina del motor y por consiguiente lo que provocaría la paralización del mismo.
				2	Falla en el desplazamiento de los pistones entre caballos y tejas para la transmisión de presión.	• Desalineación en los caballos y tejas, lo cual impediría el desplazamiento correcto de los pistones.

Tabla 4.24. Continuación

PDVSA	GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS					
Clase: Taladro de perforación				**Hoja: 2 / 4**		
Sistema: Circulación				**Realizado por: Alejandra Santamaría**		
Sub-sistema: Bomba de lodo				**Revisado por: Equipo Natural de trabajo**		
Fecha: 22/05/2017				**Aprobado por: Ing. Elías Laya**		
Función (F)		**Falla Funcional (FF)**		**Modo de Falla (MF)**		**Efecto de Falla**
1	**Proveer una fuerza de impulsión entre 2000 y 4000 PSI para mover la columna de lodo desde la superficie del pozo hasta la mecha de perforación.**	**C**	**Que provea una fuerza de impulsión por encima de 4000 PSI para mover la columna de lodo desde la superficie del pozo hasta la mecha de perforación.**	**1**	**Falla en el aislamiento o baja resistencia de aislamiento por roce mecánico entre el estator y el rotor.**	• **Sobrecalentamiento del motor lo que ocasionaría un cortocircuito en la bovina del motor y por consiguiente lo que provocaría la paralización del mismo.**
				2	**Falla en el desplazamiento de los pistones entre caballos y tejas para la transmisión de presión.**	• **Desalineación en los caballos y tejas, lo cual impediría el desplazamiento correcto de los pistones.**
2	**Mantener la presión del aceite lubricante por encima de 5 PSI en el sistema de transmisión.**	**A**	**Que no mantenga el aceite lubricante a ninguna presión en el sistema de transmisión.**	**1**	**Falla en la presión de trabajo requerida por componentes mecánicos internes.**	• **Rotura en los sellos internos de la bomba de lubricación provocando reducción de la presión de trabajo requerida.**
		B	**Que no mantenga la presión del aceite lubricante por encima de 5 PSI en el sistema de transmisión.**	**1**	**Falla en la presión de trabajo requerida por componentes mecánicos internes.**	

Tabla 4.24. Continuación

PDVSA	GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS					
Clase: Taladro de perforación				**Hoja: 3 / 4**		
Sistema: Circulación				**Realizado por: Alejandra Santamaría**		
Sub-sistema: Bomba de lodo				**Revisado por: Equipo Natural de trabajo**		
Fecha: 22/05/2017				**Aprobado por: Ing. Elías Laya**		
Función (F)		**Falla Funcional (FF)**		**Modo de Falla (MF)**		**Efecto de Falla**
2	**Mantener la presión del aceite lubricante por encima de 5 PSI en el sistema de transmisión.**	**C**	**Que mantenga la presión del aceite lubricante por debajo de 5 PSI en el sistema de transmisión.**	**1**	**Falla en la presión de trabajo requerida por componentes mecánicos internos.**	• **Rotura en los sellos internos de la bomba de lubricación provocando reducción de la presión de trabajo requerida.**
3	**Mantener la presión de precarga en el pulmón de aire menor a 650 PSI.**	**A**	**Que no mantenga ninguna presión de precarga en el pulmón de aire.**	**1**	**Rotura en el diafragma del dámper de presión.**	• **Falla en la presión de trabajo requerida.**
		B	**Que mantenga la presión de precarga en el pulmón de aire por encima de 650 PSI.**	**1**	**Rotura en el diafragma del dámper de presión.**	
		C	**Que mantenga la presión de precarga en el pulmón de aire por debajo de 650 PSI.**	**1**	**Rotura en el diafragma del dámper de presión.**	

Tabla 4.24. Continuación

PDVSA	GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS					
Clase: Taladro de perforación				**Hoja: 4 / 4**		
Sistema: Circulación				**Realizado por: Alejandra Santamaría**		
Sub-sistema: Bomba de lodo				**Revisado por: Equipo Natural de trabajo**		
Fecha: 22/05/2017				**Aprobado por: Ing. Elías Laya**		
Función (F)		**Falla Funcional (FF)**		**Modo de Falla (MF)**		**Efecto de Falla**
4	**Mantener el poder de giro del motor a 1389 amp.**	**A**	**Que no mantenga el poder de giro.**	**1**	**Falla en los parámetros eléctricos**	• **Sobrecalentamiento en los carbones del motor.** • **Rotura en el estator del motor.**
		B	**Que mantenga el poder de giro por debajo de 1389 amp.**	**1**	**Falla en los parámetros eléctricos**	• **Sobrecalentamiento en los carbones del motor.** • **Rotura en el estator del motor.**
		C	**Que mantenga el poder de giro por encima de 1389 amp.**	**1**	**Falla en los parámetros eléctricos**	• **Sobrecalentamiento en los carbones del motor.** • **Rotura en el estator del motor.**

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

Tabla 4.25. Hoja de información de la bomba centrífuga

PDVSA	GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS						
Clase: Taladro de perforación				**Hoja: 1 / 1**			
Sistema: Circulación				**Realizado por: Alejandra Santamaría**			
Sub-sistema: Bomba centrífuga				**Revisado por: Equipo Natural de trabajo**			
Fecha: 22/05/2017				**Aprobado por: Ing. Elías Laya**			
Función (F)		**Falla Funcional (FF)**		**Modo de Falla (MF)**		**Efecto de Falla**	
1	**Mantener el poder de giro del motor a 1800 rpm.**	**A**	**Que no mantenga el poder de giro.**	**1**	**Falla en el poder de giro de trabajo requerido.**	• **Rotura en el estator del motor.** • **Rotura en el coupling entre motor y centrifuga.**	
		B	**Que mantenga el poder de giro por debajo de 1800 rpm.**	**1**	**Falla en el poder de giro de trabajo requerido.**		
		C	**Que mantenga el poder de giro por encima de 1800 rpm.**	**1**	**Falla en el poder de giro de trabajo requerido.**		
2	**Mantener el poder de giro del motor a 30kw**	**A**	**Que no mantenga el poder de giro del motor.**	**1**	**Ineficiencia en la potencia requerida de trabajo.**	• **Rotura en el estator del motor.** • **Rotura en el rodamiento.**	
		B	**Que mantenga el poder de giro por debajo de 30kw.**	**1**	**Ineficiencia en la potencia requerida de trabajo.**		
		C	**Que mantenga el poder de giro por encima de 30kw.**	**1**	**Aumento en la potencia requerida de trabajo.**		

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

Tabla 4.26. Hoja de información del tanque de lodo

PDVSA	GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS					
Clase: Taladro de perforación				**Hoja: 1 / 3**		
Sistema: Circulación				**Realizado por: Alejandra Santamaría**		
Sub-sistema: Tanque de lodo				**Revisado por: Equipo Natural de trabajo**		
Fecha: 22/05/2017				**Aprobado por: Ing. Elías Laya**		
Función (F)		**Falla Funcional (FF)**		**Modo de Falla (MF)**		**Efecto de Falla**
1	**Lubricar la barrena y el conjunto de perforación con una presión estática de trabajo no mayor a 5000 PSI.**	**A**	**Que no lubrique la barrena y el conjunto de perforación.**	**1**	**Falla en la fuerza mecánica e hidráulica, por lo que no se genera la cantidad de fluido considerable para la barrena y el conjunto de perforación.**	• **Recalentamiento por la fricción entre la barrena y la zona donde la columna de perforación rotatoria roza contra la tubería de revestimiento y el pozo.**
		B	**Que lubrique la barrena y el conjunto de perforación con una presión estática mayor a 5000 PSI.**	**1**	**Falla en la fuerza mecánica e hidráulica, por lo que no se genera la cantidad de fluido considerable para la barrena y el conjunto de perforación.**	
2	**Mantener el nivel de viscosidad del lodo de perforación entre 9 lb/gal y 18 lb/gal.**	**A**	**Que no sea capaz de mantener el nivel de viscosidad del lodo de perforación.**	**1**	**No se le colocó la cantidad correspondiente de aditivos químicos al lodo de perforación.**	• **Recalentamiento por la fricción entre la barrena y la zona donde la columna de perforación rotatoria roza contra la tubería de revestimiento y el pozo.**

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

Tabl.4.26. Continuación

PDVSA	GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS					
Clase: Taladro de perforación				**Hoja: 2 / 3**		
Sistema: Circulación				**Realizado por: Alejandra Santamaría**		
Sub-sistema: Tanque de lodo				**Revisado por: Equipo Natural de trabajo**		
Fecha: 22/05/2017				**Aprobado por: Ing. Elías Laya**		
Función (F)		**Falla Funcional (FF)**		**Modo de Falla (MF)**		**Efecto de Falla**
2	**Mantener el nivel de viscosidad del lodo de perforación entre 9 lb/gal y 18 lb/gal.**	**B**	**Que mantenga el nivel de viscosidad del lodo de perforación por debajo de 9 lb/gal.**	**1**	**No se le colocó la cantidad correspondiente de aditivos químicos al lodo de perforación.**	• **Recalentamiento por la fricción entre la barrena y la zona donde la columna de perforación rotatoria roza contra la tubería de revestimiento y el pozo.**
		C	**Que mantenga el nivel de viscosidad del lodo de perforación por encima de 18 lb/gal.**	**1**	**No se le colocó la cantidad correspondiente de aditivos químicos al lodo de perforación.**	
3	**Mantener una presión de mezcla no mayor a 1500 PSI.**	**A**	**Que no pueda mantener la presión de mezcla.**	**1**	**No se le colocó la cantidad de gramos de componentes químicos para la mezcla**	• **Recalentamiento por la fricción en la barrena y la zona donde la columna de perforación rotatoria roza contra la tubería de revestimiento y el pozo.** • **Deformación en las líneas de comunicación de lodo o paredes de los tanques.**

Tabla 4.26. Continuación

PDVSA	GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS				
Clase: Taladro de perforación				**Hoja: 3 / 3**	
Sistema: Circulación				**Realizado por: Alejandra Santamaría**	
Sub-sistema: Tanque de lodo				**Revisado por: Equipo Natural de trabajo**	
Fecha: 22/05/2017				**Aprobado por: Ing. Elías Laya**	
Función (F)		**Falla Funcional (FF)**		**Modo de Falla (MF)**	**Efecto de Falla**
3	**Mantener una presión de mezcla no mayor a 1500 PSI.**	**B**	**Que mantenga una presión de mezcla por encima de 1500 PSI.**	**1**	**No se le colocó la cantidad de gramos de componentes químicos para la mezcla**	• **Recalentamiento por la fricción en la barrena y la zona donde la columna de perforación rotatoria roza contra la tubería de revestimiento y el pozo.** • **Deformación en las líneas de comunicación de lodo o paredes de los tanques.**

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

Tabla 4.27. Hoja de información del agitador de lodo.

PDVSA	GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS				
Clase: Taladro de perforación				**Hoja: 1 / 2**	
Sistema: Circulación				**Realizado por: Alejandra Santamaría**	
Sub-sistema: Agitador de lodo				**Revisado por: Equipo Natural de trabajo**	
Fecha: 22/05/2017				**Aprobado por: Ing. Elías Laya**	
Función (F)		**Falla Funcional (FF)**		**Modo de Falla (MF)**	**Efecto de Falla**
1	**Mantener el poder de giro del motor entre 5.5 kw y 15 kw.**	**A**	**Que no mantenga el poder de giro del motor.**	**1 Embocinado del rotor del motor presente bajo aislamiento.**	• **Recalentamiento por la fricción en la barrena y la zona donde la columna de perforación rotatoria roza contra la tubería de revestimiento y el pozo.** • **Deformación en las líneas de comunicación de lodo o paredes de los tanques.**
				2 Desalineación en el eje sinfín.	
				3 Desalineación en el coupling del impeller entre el motor y el agitador.	
		B	**Que mantenga el poder de giro del motor por debajo de 5.5 kw.**	**1 Embocinado del rotor del motor presente bajo aislamiento**	• **Ineficiencia en el motor para cumplir el sistema de giro adecuado al equipo.**
				2 Desalineación en el eje sinfín.	• **Rotura interna en el engranaje del agitador y de los rodamientos y rotor del motor eléctrico.**
				3 Desalineación en el coupling del impeller entre el motor y el agitador.	• **Rotura interna en el engranaje del agitador y de los rodamientos y rotor del motor eléctrico.**

Tabla 4.27. Continuación

PDVSA	GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS				
Clase: Taladro de perforación				**Hoja: 2 / 2**	
Sistema: Circulación				**Realizado por: Alejandra Santamaría**	
Sub-sistema: Agitador de lodo				**Revisado por: Equipo Natural de trabajo**	
Fecha: 22/05/2017				**Aprobado por: Ing. Elías Laya**	
Función (F)		**Falla Funcional (FF)**		**Modo de Falla (MF)**	**Efecto de Falla**
1	**Mantener el poder de giro del motor entre 5.5 kw y 15 kw.**	**C**	**Que mantenga el poder de giro del motor por encima de 15 kw.**	**1** **Embocinado del rotor del motor presente bajo aislamiento**	• **Ineficiencia en el motor para cumplir el sistema de giro adecuado al equipo.**
				2 **Desalineación en el eje sinfín.**	• **Rotura interna del engranaje del agitador, los rodamientos y el rotor del motor eléctrico.**
				3 **Desalineación en el coupling del impeller entre el motor y el agitador.**	• **Rotura interna del engranaje del agitador, los rodamientos y el rotor del motor eléctrico.**

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

Tabla 4.28. Hoja de información de la zaranda

PDVSA	GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS					
Clase: Taladro de perforación				**Hoja: 1 / 1**		
Sistema: Circulación				**Realizado por: Alejandra Santamaría**		
Sub-sistema: Zaranda				**Revisado por: Equipo Natural de trabajo**		
Fecha: 22/05/2017				**Aprobado por: Ing. Elías Laya**		
Función (F)		**Falla Funcional (FF)**		**Modo de Falla (MF)**		**Efecto de Falla**
1	**Mantener el poder de giro del motor entre 1500 y 1800 rpm.**	**A**	**Que no mantenga el poder de giro del motor.**	**1**	**Falla en el poder de giro del motor.**	• **Rotura del rotor del motor.**
		B	**Que mantenga el poder de giro por debajo de 1500 rpm.**	**1**	**Falla en el poder de giro del motor.**	
		C	**Que mantenga el poder de giro por encima de 1800 rpm.**	**1**	**Falla en el poder de giro del motor.**	
2	**Mantener la corriente eléctrica entre 415 y 480 V.**	**A**	**Que no mantenga la corriente eléctrica.**	**1**	**Ineficiencia de corriente eléctrica requerida.**	• **Avería en los fusibles de corriente.** • **Avería en las tarjetas de voltaje de la casa de fuerza.** • **Desconfiguración en las tarjetas reguladoras de voltaje.**
		B	**Que mantenga la corriente eléctrica por debajo de 415 V.**	**1**	**Ineficiencia de corriente eléctrica requerida.**	
		C	**Que mantenga la corriente eléctrica por encima de 480 V.**	**1**	**Aumento de corriente eléctrica requerida.**	

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

Tabla 4.29. Hoja de información del mud cleaner

PDVSA	GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS					
Clase: Taladro de perforación				**Hoja: 1 / 1**		
Sistema: Circulación				**Realizado por: Alejandra Santamaría**		
Sub-sistema: Mud cleaner				**Revisado por: Equipo Natural de trabajo**		
Fecha: 22/05/2017				**Aprobado por: Ing. Elías Laya**		
Función (F)		**Falla Funcional (FF)**		**Modo de Falla (MF)**		**Efecto de Falla**
1	**Mantener el poder de giro del motor entre 1500 y 1800 rpm.**	**A**	**Que no mantenga el poder de giro.**	**1**	**Falla en el poder de giro del motor y en la bomba centrífuga.**	• **Rotura del rotor del motor.**
		B	**Que mantenga el poder de giro por debajo de 1500 rpm.**	**1**	**Falla en el poder de giro del motor y en la bomba centrífuga.**	
		C	**Que mantenga el poder de giro por encima de 1800 rpm.**	**1**	**Falla en el poder de giro del motor y en la bomba centrífuga.**	
2	**Mantener la corriente eléctrica entre 415 y 480 V.**	**A**	**Que no mantenga la corriente eléctrica.**	**1**	**Ineficiencia de corriente eléctrica requerida.**	• **Avería en los fusibles de corriente.** • **Avería en las tarjetas de voltaje de la casa de fuerza.** • **Desconfiguración en las tarjetas reguladoras de voltaje.**
		B	**Que mantenga la corriente eléctrica por debajo de 415 V.**	**1**	**Ineficiencia de corriente eléctrica requerida.**	
		C	**Que mantenga la corriente eléctrica por encima de 480 V.**	**1**	**Aumento de corriente eléctrica requerida.**	

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

Tabla 4.30. Hoja de información del desarenador

PDVSA	GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS					
Clase: Taladro de perforación				**Hoja: 1 / 1**		
Sistema: Circulación				**Realizado por: Alejandra Santamaría**		
Sub-sistema: Desarenador				**Revisado por: Equipo Natural de trabajo**		
Fecha: 22/05/2017				**Aprobado por: Ing. Elías Laya**		
Función (F)		**Falla Funcional (FF)**		**Modo de Falla (MF)**		**Efecto de Falla**
1	**Mantener el poder de giro del motor en 1440 rpm.**	**A**	**Que no mantenga el poder de giro.**	**1**	**Falla en el poder de giro del motor.**	• **Rotura del rotor del motor.**
		B	**Que mantenga el poder de giro por debajo de 1440 rpm.**	**1**	**Falla en el poder de giro del motor.**	
		C	**Que mantenga el poder de giro por encima de 1440 rpm.**	**1**	**Falla en el poder de giro del motor.**	
2	**Mantener la corriente eléctrica en 5,5kw**	**A**	**Que no mantenga la corriente eléctrica.**	**1**	**Ineficiencia de corriente eléctrica requerida.**	• **Avería en los fusibles de corriente.** • **Avería en las tarjetas de voltaje de la casa de fuerza.** • **Desconfiguración en las tarjetas reguladoras de voltaje.** • **Desgaste, sulfuramiento o rotura de los cables del motor.** • **Cortocircuito en el motor.**
		B	**Que mantenga la corriente eléctrica por debajo de 5,5kw.**	**1**	**Ineficiencia de corriente eléctrica requerida.**	
		C	**Que mantenga la corriente eléctrica por encima de 5,5kw.**	**1**	**Aumento de corriente eléctrica requerida.**	

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

Tabla 4.31. Hoja de información del motor eléctrico del top drive

PDVSA	GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS					
Clase: Taladro de perforación				**Hoja: 1 / 1**		
Sistema: Rotación				**Realizado por: Alejandra Santamaría**		
Sub-sistema: Top Drive				**Revisado por: Equipo Natural de trabajo**		
Ítem mantenible: Motor eléctrico				**Aprobado por: Ing. Elías Laya**		
Fecha: 22/05/2017						
Función (F)		**Falla Funcional (FF)**		**Modo de Falla (MF)**		**Efecto de Falla**
1	**Mantener el consumo de corriente eléctrica en 580kw.**	**A**	**Que no mantenga el consumo de corriente eléctrica.**	**1**	**Ineficiencia en la corriente eléctrica requerida.**	• **Avería en los fusibles de corriente.** • **Avería en las tarjetas de voltaje de la casa de fuerza.** • **Desconfiguración en las tarjetas reguladoras de voltaje.** • **Desgaste, sulfuramiento o rotura de los cables del motor.** • **Cortocircuito en el motor.**
		B	**Que mantenga el consumo de corriente eléctrica por debajo de 580kw.**	**1**	**Ineficiencia en la corriente eléctrica requerida.**	
		C	**Que mantenga el consumo de corriente eléctrica por encima de 580kw.**	**1**	**Aumento en la corriente eléctrica requerida.**	

Fuente: Equipo Natural de trabajo (2017)

Tabla 4.32. Hoja de información de la bomba hidráulica del top drive

PDVSA	GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS					
Clase: Taladro de perforación				**Hoja: 1 / 1**		
Sistema: Rotación				**Realizado por: Alejandra Santamaría**		
Sub-sistema: Top Drive				**Revisado por: Equipo Natural de trabajo**		
Ítem mantenible: Bomba hidráulica				**Aprobado por: Ing. Elías Laya**		
Fecha: 22/05/2017						
Función (F)		**Falla Funcional (FF)**		**Modo de Falla (MF)**		**Efecto de Falla**
1	**Mantener una presión hidráulica no mayor a 5000 PSI.**	**A**	**Que no mantenga la presión hidráulica.**	**1**	**Ineficiencia en la presión hidráulica.**	• **Avería del rotor del motor.** • **Rotura de los cables del motor.** • **Rotura de las mangueras.**
		B	**Que mantenga la presión hidráulica por encima de 5000 PSI.**	**1**	**Aumento en la presión hidráulica.**	

Fuente: Equipo Natural de trabajo (2017)

Tabla 4.33. Hoja de información del gato hidráulico del top drive

PDVSA	GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS						
Clase: Taladro de perforación				**Hoja: 1 / 1**			
Sistema: Rotación				**Realizado por: Alejandra Santamaría**			
Sub-sistema: Top Drive				**Revisado por: Equipo Natural de trabajo**			
Ítem mantenible: Gato hidráulico				**Aprobado por: Ing. Elías Laya**			
Fecha: 22/05/2017							
Función (F)		**Falla Funcional (FF)**		**Modo de Falla (MF)**		**Efecto de Falla**	
1	**Mantener el movimiento de extracción y compresión de los pistones con una presión hidráulica de 2500 PSI.**	**A**	**Que no mantenga una presión hidráulica.**	**1**	**Ineficiencia en la presión hidráulica.**	• **Avería del rotor del motor.** • **Rotura de los cables del motor.** • **Rotura de las mangueras de la bomba hidráulica.** • **Rotura de los sellos del gato hidráulico.**	
		B	**Que mantenga una presión hidráulica por debajo de 2500 PSI.**	**1**	**Ineficiencia en la corriente eléctrica requerida.**		
		C	**Que mantenga una presión hidráulica por encima de 2500 PSI.**	**1**	**Aumento en la corriente eléctrica.**		

Fuente: Equipo Natural de trabajo (2017)

4.3.3 Árbol lógico de decisión

Una vez completadas las hojas de información de los equipos y siguiendo la filosofía del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad se procedió a establecer las estrategias de mantenimiento que permitirán dar solución a cada modo de falla de dichos equipos, a través del Árbol Lógico de Decisión que propone la norma SAE JA1012, el cual puede ser consultado en la figura 3.1 del capítulo anterior.

Los resultados de la aplicación del Árbol Lógico de Decisión fueron registrados y presentados en hojas de decisión, las cuales se muestran a continuación, recordando que:

F: Función del equipo a estudiar.
FF: Falla funcional.
MF: Modo de Falla.
E: Falla evidente.
OC: Falla oculta.
S: Consecuencia sobre la seguridad del personal.
A: Consecuencia sobre el medio ambiente.
O: Consecuencia operacional.
NO: Consecuencia no operacional.
BC: Tarea basadas en condición.
R/D: Tarea de restauración o desincorporación.
CT: Combinación de tareas.
DF: Detección de fallas.

Tabla 4.34. Hoja de decisión de la bomba de lodo

HOJA DE DECISIÓN			Clase: Taladro de perforación Sistema: Circulación		Realizado por: Alejandra Santamaría				Revisado por: Equipo Natural de Trabajo				Aprobado por: Elías Laya		
Hoja: 1 / 3			Sub-sistema: Bomba de lodo		Fecha: 24/05/2017				Fecha: 26/05/2017				Fecha: 29/05/2017		
Referencia de falla			Tipo de falla		Evaluación de consecuencias				Tipo de tarea o estrategia de mantenimiento				Tarea de mantenimiento propuesta	Frecuencia	Disciplina ejecutora
F	FF	MF	E	OC	S	A	O	NO	BC	R/D	CT	DF			
1	A	1	S		N	N	S		S				Inspecciones visuales a los indicadores de parámetro del equipo.	Diario	Mantenimiento mecánico
1	A	2	S		N	N	S		S				Chequeo de tolerancias de los caballos y las tejas.	Anual	Mantenimiento mecánico
1	B	1	S		N	N	S		S				Inspecciones visuales a los indicadores de parámetro del equipo.	Diario	Mantenimiento mecánico
1	B	2	S		N	N	S		S				Chequeo de tolerancias de los caballos y las tejas.	Anual	Mantenimiento mecánico
1	C	1	S		N	N	S		S				Inspecciones visuales a los indicadores de parámetro del equipo.	Diario	Mantenimiento mecánico
1	C	2	S		N	N	S		S				Chequeo de tolerancias de los caballos y las tejas.	Anual	Mantenimiento mecánico

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

Tabla 4.34. Continuación

HOJA DE DECISIÓN			Clase: Taladro de perforación Sistema: Circulación		Realizado por: Alejandra Santamaría				Revisado por: Equipo Natural de Trabajo				Aprobado por: Elías Laya		
Hoja: 2 / 3			Sub-sistema: Bomba de lodo		Fecha: 24/05/2017				Fecha: 26/05/2017				Fecha: 29/05/2017		
Referencia de falla			Tipo de falla		Evaluación de consecuencias				Tipo de tarea o estrategia de mantenimiento				Tarea de mantenimiento propuesta	Frecuencia	Disciplina ejecutora
F	FF	MF	E	OC	S	A	O	NO	BC	R/D	CT	DF			
2	A	1	S		N	N	S		S				Inspección visual de la presión de aceite del equipo	Diario	Mantenimiento Mecánico
2	B	1	S		N	N	S		S				Inspección visual de la presión de aceite del equipo	Diario	Mantenimiento Mecánico
2	C	1	S		N	N	S		S				Inspección visual de la presión de aceite del equipo	Diario	Mantenimiento Mecánico
3	A	1	N	S	N	N	N	S	S				Chequeo de los manómetros de presión	Diario	Instrumentación
3	B	1	S		N	N	N	S	S				Chequeo de los manómetros de presión	Diario	Instrumentación
3	C	1	S		N	N	N	S	S				Chequeo de los manómetros de presión	Diario	Instrumentación

Tabla 4.34. Continuación

HOJA DE DECISIÓN			Clase: Taladro de perforación Sistema: Circulación						Realizado por: Alejandra Santamaría				Revisado por: Equipo Natural de Trabajo		Aprobado por: Elías Laya
Hoja: 3 / 3			Sub-sistema: Bomba de lodo						Fecha: 24/05/2017				Fecha: 26/05/2017		Fecha: 29/05/2017
Referencia de falla			Tipo de falla		Evaluación de consecuencias				Tipo de tarea o estrategia de mantenimiento				Tarea de mantenimiento propuesta	Frecuencia	Disciplina ejecutora
F	FF	MF	E	OC	S	A	O	NO	BC	R/D	CT	DF			
4	A	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos	Semanal	Mantenimiento Eléctrico
4	B	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos	Semanal	Mantenimiento Eléctrico
4	C	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos	Semanal	Mantenimiento Eléctrico

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

Tabla 4.35. Hoja de decisión de la bomba centrífuga

HOJA DE DECISIÓN			Clase: Taladro de perforación Sistema: Circulación		Realizado por: Alejandra Santamaría				Revisado por: Equipo Natural de Trabajo				Aprobado por: Elías Laya		
Hoja: 1 / 1			Sub-sistema: Bomba centrífuga		Fecha: 24/05/2017				Fecha: 26/05/2017				Fecha: 29/05/2017		
Referencia de falla			Tipo de falla		Evaluación de consecuencias				Tipo de tarea o estrategia de mantenimiento				Tarea de mantenimiento propuesta	Frecuencia	Disciplina ejecutora
F	FF	MF	E	OC	S	A	O	NO	BC	R/D	CT	DF			
1	A	1	S		N	S			S				Inspección visual a los indicadores de parámetro del equipo	Diario	Mantenimiento mecánico
1	B	1	S		N	S			S				Inspección visual a los indicadores de parámetro del equipo	Diario	Mantenimiento mecánico
1	C	1	S		N	S			S				Inspección visual a los indicadores de parámetro del equipo	Diario	Mantenimiento mecánico
2	A	1	S		N	N	S		S				Inspección visual a los indicadores de parámetro del equipo	Diario	Mantenimiento eléctrico
2	B	1	S		N	N	S		S				Inspección visual a los indicadores de parámetro del equipo	Diario	Mantenimiento eléctrico
2	C	1	S		N	N	S		S				Inspección visual a los indicadores de parámetro del equipo	Diario	Mantenimiento eléctrico

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

Tabla 4.36. Hoja de decisión del tanque de lodo

HOJA DE DECISIÓN			Clase: Taladro de perforación Sistema: Circulación		Realizado por: Alejandra Santamaría				Revisado por: Equipo Natural de Trabajo				Aprobado por: Elías Laya		
Hoja: 1 / 2			Sub-sistema: Tanque de lodo		Fecha: 24/05/2017				Fecha: 26/05/2017				Fecha: 29/05/2017		
Referencia de falla			Tipo de falla		Evaluación de consecuencias				Tipo de tarea o estrategia de mantenimiento				Tarea de mantenimiento propuesta	Frecuencia	Disciplina ejecutora
F	FF	MF	E	OC	S	A	O	NO	BC	R/D	CT	DF			
1	A	1	S		N	S			S				Chequeo de parámetros	Semanal	Operaciones
													Toma de muestra del lodo de perforación	Semanal	Operaciones
1	B	1	S		N	S			S				Chequeo de parámetros	Semanal	Operaciones
													Toma de muestra del lodo de perforación	Semanal	Operaciones
2	A	1	S		N	S			S				Chequeo de parámetros	Semanal	Operaciones e ingeniería de subsuelo
													Análisis físico-químico del lodo de perforación	Semanal	Operaciones e ingeniería de subsuelo
2	B	1	S		N	S			S				Chequeo de parámetros	Semanal	Operaciones e ingeniería de subsuelo
													Análisis físico-químico del lodo de perforación	Semanal	Operaciones e ingeniería de subsuelo

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

Tabla 4.36. Continuación

HOJA DE DECISIÓN			Clase: Taladro de perforación Sistema: Circulación		Realizado por: Alejandra Santamaría				Revisado por: Equipo Natural de Trabajo				Aprobado por: Elías Laya		
Hoja: 2 / 2			Sub-sistema: Tanque de lodo		Fecha: 24/05/2017				Fecha: 26/05/2017				Fecha: 29/05/2017		
Referencia de falla			Tipo de falla		Evaluación de consecuencias				Tipo de tarea o estrategia de mantenimiento				Tarea de mantenimiento propuesta	Frecuencia	Disciplina ejecutora
F	FF	MF	E	OC	S	A	O	NO	BC	R/D	CT	DF			
2	C	1	S		N	S			S				Chequeo de parámetros	Semanal	Operaciones e ingeniería de subsuelo
													Análisis físico-químico del lodo de perforación	Semanal	Operaciones e ingeniería de subsuelo
3	A	1	S		N	S			S				Chequeo de parámetros	Semanal	Operaciones
													Toma de muestra del lodo de perforación	Semanal	Operaciones
3	B	1	S		N	S			S				Chequeo de parámetros	Semanal	Operaciones
													Toma de muestra del lodo de perforación	Semanal	Operaciones

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

Tabla 4.37. Hoja de decisión del agitador de lodo

HOJA DE DECISIÓN			Clase: Taladro de perforación Sistema: Circulación		Realizado por: Alejandra Santamaría				Revisado por: Equipo Natural de Trabajo				Aprobado por: Elías Laya		
Hoja: 1 / 2			Sub-sistema: Agitador de lodo		Fecha: 24/05/2017				Fecha: 26/05/2017				Fecha: 29/05/2017		
Referencia de falla			Tipo de falla		Evaluación de consecuencias				Tipo de tarea o estrategia de mantenimiento				Tarea de mantenimiento propuesta	Frecuencia	Disciplina ejecutora
F	FF	MF	E	OC	S	A	O	NO	BC	R/D	CT	DF			
1	A	1	S		N	N	N	S	S				Chequeo visual de los parámetros eléctricos	Diario	Mantenimiento eléctrico
1	A	2	S		N	N	N	S	S				Chequeo y alineación de los ejes sin fin si lo amerita	Semestral	Mantenimiento mecánico
1	A	3	S		N	N	N	S	S				Chequeo y alineación del coupling entre el motor y el agitador	Semestral	Mantenimiento mecánico
1	B	1	S		N	N	N	S	S				Chequeo visual de los parámetros eléctricos	Diario	Mantenimiento eléctrico
1	B	2	S		N	N	N	S	S				Chequeo y alineación de los ejes sin fin si lo amerita	Semestral	Mantenimiento mecánico
1	B	3	S		N	N	N	S	S				Chequeo y la alineación del coupling entre el motor y el agitador	Semestral	Mantenimiento mecánico

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

Tabla 4.37. Continuación

HOJA DE DECISIÓN			Clase: Taladro de perforación Sistema: Circulación		Realizado por: Alejandra Santamaría				Revisado por: Equipo Natural de Trabajo				Aprobado por: Elías Laya		
Hoja: 2 / 2			Sub-sistema: Agitador de lodo		Fecha: 24/05/2017				Fecha: 26/05/2017				Fecha: 29/05/2017		
Referencia de falla			Tipo de falla		Evaluación de consecuencias				Tipo de tarea o estrategia de mantenimiento				Tarea de mantenimiento propuesta	Frecuencia	Disciplina ejecutora
F	FF	MF	E	OC	S	A	O	NO	BC	R/D	CT	DF			
1	C	1	S		N	N	N	S	S				Chequeo visual de los parámetros eléctricos	Diario	Mantenimiento eléctrico
1	C	2	S		N	N	N	S	S				Chequeo y alineación de los ejes sin fin si lo amerita	Semestral	Mantenimiento mecánico
1	C	3	S		N	N	N	S	S				Chequeo y la alineación del coupling entre el motor y el agitador	Semestral	Mantenimiento mecánico

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

Tabla 4.38. Hoja de decisión de la zaranda

HOJA DE DECISIÓN			Clase: Taladro de perforación Sistema: Circulación		Realizado por: Alejandra Santamaría				Revisado por: Equipo Natural de Trabajo				Aprobado por: Elías Laya		
Hoja: 1 / 1			Sub-sistema: Zaranda		Fecha: 24/05/2017				Fecha: 26/05/2017				Fecha: 29/05/2017		
Referencia de falla			Tipo de falla		Evaluación de consecuencias				Tipo de tarea o estrategia de mantenimiento				Tarea de mantenimiento propuesta	Frecuencia	Disciplina ejecutora
F	FF	MF	E	OC	S	A	O	NO	BC	R/D	CT	DF			
1	A	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos	Diario	Mantenimiento eléctrico
1	B	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos	Diario	Mantenimiento eléctrico
1	C	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos	Diario	Mantenimiento eléctrico
2	A	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos	Diario	Mantenimiento eléctrico
2	B	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos	Diario	Mantenimiento eléctrico
2	C	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos	Diario	Mantenimiento eléctrico

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

Tabla 4.39. Hoja de decisión del mud cleaner

HOJA DE DECISIÓN			Clase: Taladro de perforación Sistema: Circulación		Realizado por: Alejandra Santamaría		Revisado por: Equipo Natural de Trabajo		Aprobado por: Elías Laya			
Hoja: 1 / 1			Sub-sistema: Mud cleaner		Fecha: 24/05/2017		Fecha: 26/05/2017		Fecha: 29/05/2017			
Referencia de falla			Tipo de falla		Evaluación de consecuencias				Tipo de tarea o estrategia de mantenimiento				Tarea de mantenimiento propuesta	Frecuencia	Disciplina ejecutora
F	FF	MF	E	OC	S	A	O	NO	BC	R/D	CT	DF			
1	A	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos	Diario	Mantenimiento eléctrico
1	B	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos	Diario	Mantenimiento eléctrico
1	C	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos	Diario	Mantenimiento eléctrico
2	A	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos	Diario	Mantenimiento eléctrico
2	B	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos	Diario	Mantenimiento eléctrico
2	C	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos	Diario	Mantenimiento eléctrico

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

Tabla 4.40. Hoja de decisión del desarenador

HOJA DE DECISIÓN			Clase: Taladro de perforación Sistema: Circulación		Realizado por: Alejandra Santamaría				Revisado por: Equipo Natural de Trabajo				Aprobado por: Elías Laya	
Hoja: 1 / 1			Sub-sistema: Desarenador		Fecha: 24/05/2017				Fecha: 26/05/2017				Fecha: 29/05/2017	
Referencia de falla			Tipo de falla		Evaluación de consecuencias				Tipo de tarea o estrategia de mantenimiento				Tarea de mantenimiento propuesta	Frecuencia	Disciplina ejecutora
F	FF	MF	E	OC	S	A	O	NO	BC	R/D	CT	DF			
1	A	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos	Diario	Mantenimiento eléctrico
1	B	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos	Diario	Mantenimiento eléctrico
1	C	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos	Diario	Mantenimiento eléctrico
2	A	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos	Diario	Mantenimiento eléctrico
2	B	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos	Diario	Mantenimiento eléctrico
2	C	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos	Diario	Mantenimiento eléctrico

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

Tabla 4.41. Hoja de decisión del motor eléctrico del top drive

HOJA DE DECISIÓN			Clase: Taladro de perforación Sistema: Rotación						Realizado por: Alejandra Santamaría				Revisado por: Equipo Natural de Trabajo		Aprobado por: Elías Laya	
Hoja: 1 / 1			Sub-sistema: Top Drive Ítem mantenible: Motor eléctrico						Fecha: 24/05/2017				Fecha: 26/05/2017		Fecha: 29/05/2017	
Referencia de falla			Tipo de falla		Evaluación de consecuencias				Tipo de tarea o estrategia de mantenimiento				Tarea de mantenimiento propuesta		Frecuencia	Disciplina ejecutora
F	FF	MF	E	OC	S	A	O	NO	BC	R/D	CT	DF				
1	A	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos		Diario	Mantenimiento eléctrico
													Revisión de las conexiones y cables		Semanal	Mantenimiento eléctrico
1	B	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos		Diario	Mantenimiento eléctrico
													Revisión de las conexiones y cables		Semanal	Mantenimiento eléctrico
1	C	1	S		N	N	S		S				Chequeo de los parámetros eléctricos		Diario	Mantenimiento eléctrico
													Revisión de las conexiones y cables		Semanal	Mantenimiento eléctrico

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

Tabla 4.42. Hoja de decisión de la bomba hidráulica del top drive

HOJA DE DECISIÓN			Clase: Taladro de perforación Sistema: Rotación		Realizado por: Alejandra Santamaría		Revisado por: Equipo Natural de Trabajo		Aprobado por: Elías Laya			
Hoja: 1 / 1			Sub-sistema: Top Drive Ítem mantenible: Bomba hidráulica		Fecha: 24/05/2017		Fecha: 26/05/2017		Fecha: 29/05/2017			
Referencia de falla			Tipo de falla		Evaluación de consecuencias				Tipo de tarea o estrategia de mantenimiento				Tarea de mantenimiento propuesta	Frecuencia	Disciplina ejecutora
F	FF	MF	E	OC	S	A	O	NO	BC	R/D	CT	DF			
1	A	1	S		N	N	S		S				Chequeo en los parámetros de presión	Diario	Mantenimiento mecánico
													Inspección visual de las mangueras hidráulicas	Semestral	Mantenimiento mecánico
1	B	1	S		N	N	S		S				Chequeo en los parámetros de presión	Diario	Mantenimiento mecánico
													Inspección visual de las mangueras hidráulicas	Semestral	Mantenimiento mecánico

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

Tabla 4.43. Hoja de decisión del gato hidráulico del top drive

HOJA DE DECISIÓN			Clase: Taladro de perforación Sistema: Rotación						Realizado por: Alejandra Santamaría				Revisado por: Equipo Natural de Trabajo		Aprobado por: Elías Laya	
Hoja: 1 / 2			Sub-sistema: Top Drive Ítem mantenible: Gato hidráulico						Fecha: 24/05/2017				Fecha: 26/05/2017		Fecha: 29/05/2017	
Referencia de falla			Tipo de falla		Evaluación de consecuencias				Tipo de tarea o estrategia de mantenimiento				Tarea de mantenimiento propuesta		Frecuencia	Disciplina ejecutora
F	FF	MF	E	OC	S	A	O	NO	BC	R/D	CT	DF				
1	A	1	S		N	N	S		S				Chequeo en los parámetros de presión		Diario	Mantenimiento mecánico
													Inspección visual de las mangueras hidráulicas		Semestral	Mantenimiento mecánico
													Chequeo visual de los cables eléctricos		Trimestral	Mantenimiento eléctrico
1	B	1	S		N	N	S		S				Chequeo en los parámetros de presión		Diario	Mantenimiento mecánico
													Inspección visual de las mangueras hidráulicas		Semestral	Mantenimiento mecánico
													Chequeo visual de los cables eléctricos		Trimestral	Mantenimiento eléctrico

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

Tabla 4.43. Continuación

HOJA DE DECISIÓN			Clase: Taladro de perforación Sistema: Rotación						Realizado por: Alejandra Santamaría				Revisado por: Equipo Natural de Trabajo		Aprobado por: Elías Laya	
Hoja: 2 / 2			Sub-sistema: Top Drive Ítem mantenible: Gato hidráulico						Fecha: 24/05/2017				Fecha: 26/05/2017		Fecha: 29/05/2017	
Referencia de falla			Tipo de falla		Evaluación de consecuencias				Tipo de tarea o estrategia de mantenimiento				Tarea de mantenimiento propuesta		Frecuencia	Disciplina ejecutora
F	FF	MF	E	OC	S	A	O	NO	BC	R/D	CT	DF				
1	C	1	S		N	N	S		S				Chequeo en los parámetros de presión		Diario	Mantenimiento mecánico
													Inspección visual de las mangueras hidráulicas		Semestral	Mantenimiento mecánico
													Chequeo visual de los cables eléctricos		Trimestral	Mantenimiento eléctrico

Fuente: Equipo Natural de Trabajo (2017)

4.3.4 Resultados obtenidos con la técnica del árbol lógico de decisión

A continuación, en la tabla 4.44 se presenta un resumen de los resultados por sub-sistema en cuanto al tipo de modo de falla y a las consecuencias. Cabe destacar que los datos presentados en la fila del top drive corresponden a la sumatoria de los datos del motor eléctrico, la bomba hidráulica y el gato hidráulico, debido a que dichos ítems mantenibles forman parte del mismo.

Tabla 4.44. Resultados por equipo de los modos de falla y consecuencias.

SUB-SISTEMA	TIPO DE MODO DE FALLA		CONSECUENCIA			
	Evidente	Oculta	Seguridad	Ambiente	Operacional	No operacional
Bomba de lodo	14	1	0	0	12	3
Bomba centrífuga	6	0	0	3	3	0
Tanque de lodo	7	0	0	7	0	0
Agitador de lodo	9	0	0	0	0	9
Zaranda	6	0	0	0	6	0
Mud Cleaner	6	0	0	0	6	0
Desarenador	6	0	0	0	6	0
Top Drive	8	0	0	0	8	0
TOTAL	62	1	0	10	41	12

Fuente: el autor (2017)

Los resultados obtenidos en la tabla mostrada anteriormente se presentan a continuación en la figura 4.11 y 4.12 de forma porcentual:

Figura 4.11. Tipo de modo de falla
Fuente: el autor (2017)

En la figura 4.11 se evidencia que los modos de falla son en su mayoría de tipo evidente puesto que representan el 98%, mientras que los modos de falla ocultos solo el 2%.

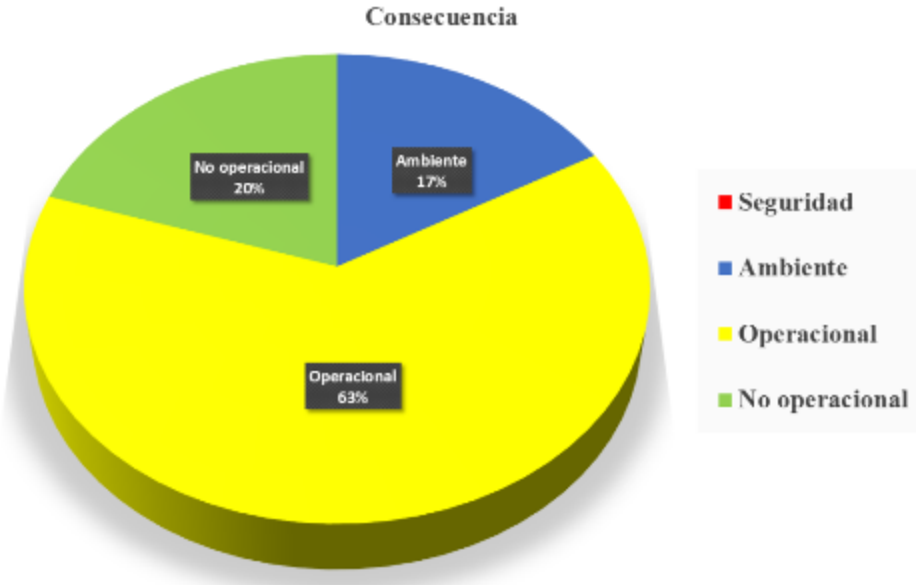


Figura 4.12. Consecuencias de los modos de falla
Fuente: el autor (2017)

En la figura 4.12 se evidencia que las consecuencias producidas por los modos de falla son de tipo operacional en su mayoría puesto que representan el 63%, le siguen las consecuencias de tipo no operacional y de ambiente con un 20% y 17%, respectivamente.

A continuación en la tabla 4.45 se muestra la cantidad de actividades de mantenimiento por cada equipo según el tipo de tarea de mantenimiento:

Tabla 4.45. Tareas de mantenimiento a aplicar por equipos

SUB-SISTEMA	TAREA DE MANTENIMIENTO				TOTAL
	Basada en condición	Restauración o desincorporación	Combinación de tareas	Detección de fallas	
Bomba de lodo	**15**	**0**	**0**	**0**	**15**
Bomba centrífuga	**6**	**0**	**0**	**0**	**6**
Tanque de lodo	**7**	**0**	**0**	**0**	**7**
Agitador de lodo	**9**	**0**	**0**	**0**	**9**
Zaranda	**6**	**0**	**0**	**0**	**6**
Mud Cleaner	**6**	**0**	**0**	**0**	**6**
Desarenador	**6**	**0**	**0**	**0**	**6**
Top Drive	**8**	**0**	**0**	**0**	**8**
TOTAL	**63**	**0**	**0**	**0**	

Fuente: el autor (2017)

Los resultados obtenidos en la tabla mostrada anteriormente se presentan a continuación en la figura 4.13 y 4.14 de forma porcentual:

Figura 4.13. Tareas de mantenimiento
Fuente: el autor (2017)

En la figura 4.13 se evidencia que todas las tareas de mantenimiento que deben ejecutarse son del tipo Basadas en Condición puesto que representan el 100%.

Figura 4.14. Tareas de mantenimiento por equipo
Fuente: el autor (2017)

En la figura 4.14 se puede observar que la bomba de lodo, el agitador de lodo y el top drive son los sub-sistemas a los que se les debe realizar más actividades de mantenimiento, puesto que representan respectivamente el 24%, 14% y 13% del total de tareas de mantenimiento.

4.4 Elaboración de un plan de mantenimiento nivel III para los sistemas críticos de los taladros de perforación de la gerencia de mantenimiento de taladros y equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui

El mantenimiento nivel III consiste en la inspección de los equipos de los sistemas de los taladros de perforación. Dichas inspecciones consisten en chequear parámetros de los equipos (presión, corriente, aceite, entre otros) y deben ser realizadas al momento cuando el taladro de perforación se encuentra en campo, para esto se proponen una serie de actividades de mantenimiento para cada equipo con su respectiva programación. Los datos obtenidos en cada inspección deben ser almacenados, para esto se proponen: formatos de inspección para cada uno de los equipos que conforman los sistemas de los taladros de perforación, y formatos para realizar correctamente los reportes de fallas y reportes de mantenimiento, ya que serán vitales para la siguiente etapa.

Una vez que el taladro culmina sus actividades de perforación y regresa a las instalaciones de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos, se procederá a verificar cuales equipos califican para la siguiente fase del mantenimiento, la cual se realiza en los talleres de la empresa, en dicha fase se realizan dos tipos de actividades: ensayo no destructivo y puesta en marcha (las cuales son realizadas en su mayoría por empresas contratadas), mejor conocidas en los contratos de PDVSA como END y PM, respectivamente. Para esto, se propone un cuadro que detalla los equipos que califican para la etapa descrita anteriormente.

Luego de realizar las actividades de Ensayo No Destructivo y Puesta en Marcha, el último paso consiste en recopilar todos los reportes, documentos y certificaciones generados en el proceso tanto por PDVSA como por las empresas contratadas, para así elaborar una carpeta con todo los documentos de la inspección y certificación nivel III de los equipos de los taladros de perforación, ya que sin la misma ningún taladro puede operar.

Cabe destacar que el procedimiento descrito anteriormente no está fundamentado bajo ninguna norma o manual de PDVSA, debido a que la empresa no posee ningún procedimiento establecido para la realización del mantenimiento nivel III, es decir, que lo anteriormente dicho está basado en la información obtenida mediante la observación directa y las entrevistas realizadas al tutor industrial y al Equipo Natural de Trabajo. También es importante resaltar que en el plan de mantenimiento que se presenta en el capítulo VI solo se logró abordar la primera etapa que comprende un mantenimiento nivel III, es decir, solo las actividades que se realizan cuando el taladro de perforación se encuentra en campo, esto debido a la magnitud y complejidad de dicho mantenimiento.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se actualizaron y analizaron las fichas técnicas de los taladros de perforación que fueron objeto de estudio. A través de dichas fichas se logró evidenciar que cada taladro de perforación posee los mismos sistemas y sub-sistemas. También se describió la condición actual de los sistemas de cada taladro de perforación mediante tablas, en las que se logró evidenciar que los mismos presentan fallas importantes puesto que se encuentran funcionando con partes y repuestos prestados de otros taladros o que ya sobrepasaron el tiempo límite de uso, lo cual hace que el 100% de los sistemas se encuentren en estado regular, es decir, operativos pero no en las condiciones óptimas.
- Se aplicó un análisis de criticidad a través del método de los puntos con la finalidad de jerarquizar los sistemas de los taladros de perforación en estudio de acuerdo a su nivel de criticidad, y se obtuvo como críticos el sistema de circulación y el de rotación de todos los taladros en estudio.
- Mediante la aplicación técnica del Análisis de Modos y Efectos de Falla se obtuvo un total de 63 modos de falla, de los cuales el 98% son de tipo evidente y el 2% restante es de tipo oculto.
- A través de la técnica del Árbol Lógico de Decisión se pudo evidenciar que el 100% de los modos de falla mencionados anteriormente requiere tareas de mantenimiento basadas en condición.
- Se elaboró un plan de mantenimiento con actividades para cada uno de los equipos que conforman los sistemas de rotación y circulación. Así mismo, se diseñaron y presentaron formatos de inspección, reportes de fallas y reportes de

mantenimiento como complemento a los planes de mantenimiento, esperando que la implementación de estos mejore la confiabilidad operacional de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos.

5.2 Recomendaciones

- Implementar el plan de mantenimiento nivel III elaborado para los sistemas críticos de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos de la empresa PDVSA Gas.
- Extender la propuesta de los planes de mantenimiento nivel III hacia los sistemas de los taladros de perforación que no fueron tratados en este trabajo de investigación. Además, la propuesta también podría y debería extenderse hacia los taladros de rehabilitación.
- Actualizar periódicamente las fichas técnicas de los taladros de perforación, ya que dichas fichas contienen información técnica importante de los taladros de perforación, por lo que se debe garantizar que la misma sea real y vigente.
- Archivar adecuadamente los reportes de fallas, de inspección y de mantenimiento a medida que se vayan realizando para asegurar que la información esté disponible y sirva como base de datos para realizar futuras planificaciones, reemplazos de equipos, entre otros.
- Verificar que los datos o resultados asentados en reportes de inspección, certificación de equipos, reportes de fallas y reportes de mantenimiento sean legibles y se encuentren dentro de los parámetros indicados tanto por los manuales del fabricante como por las normas de PDVSA y otras normas nacionales.
- Implementar los planes generados en esta investigación dentro del sistema SAP PM (Mantenimiento de Planta) de la empresa, para así garantizar que se tenga un

mejor control y seguimiento de las actividades de mantenimiento que se le realizan a los equipos que conforman los sistemas de los taladros de perforación.

- Adecuar los formatos diseñados y presentados en el presente trabajo de investigación al sistema que maneja SAP PM y utilizar los mismos con el fin de poseer una base de datos útil y ordenada sobre las fallas y el mantenimiento de los sistemas que fueron objeto de estudio.
- Designar a algún departamento dentro de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos, la tarea de revisar periódicamente la información generada a través de la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en este trabajo de investigación, debido a que es posible que sea necesario corregir, mejorar o actualizar las fallas, modos de fallas, efectos de fallas o las tareas de mantenimiento.
- Inspeccionar continuamente el cumplimiento del plan de mantenimiento nivel III elaborado y presentado en este trabajo de investigación.
- Realizar un inventario de repuestos y materiales para los equipos que conforman los sistemas de los taladros de perforación para así, organizar un plan de requerimiento de los mismos.

CAPÍTULO VI
LA PROPUESTA

BIBLIOGRAFÍA

Arias, F. (2006). *El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica*. Venezuela: Editorial Epísteme. (5ª ed.).

Bernal, L. (2002). *Análisis Modal de Fallas y Efectos.* España: Grupo PDCA Home.

Chiavenato, I. (1993). *Iniciación a la organización y control*. México: Editorial McGraw Hill.

Centro Internacional de Educación y Desarrollo (1998). *Partes y componentes de un taladro*. Venezuela: PDVSA Gas.

Duffua, S. (2000). *Sistema de Mantenimiento Planeación y Control*. México: Editorial LIMUSA, S.A (1era. Edición).

Davida, M. (1999). *Tu poder creativo*. Estados Unidos: Editorial Scribner.

Espinoza, H. (2003). *Mantenimiento Industrial.* México: Editorial Limusa.

Fundación de Investigación y Desarrollo de la Universidad Simón Bolívar (FUNINDES-USB) (2010). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC*). Venezuela.

Gonzales, L. (2013). *Propuesta de un Plan de Mantenimiento para las bombas de inyección de agua salada, transferencia de agua salada y transferencia de crudo del área operacional AMA Este, basado en la filosofía de Mantenimiento Centrado*

en Confiabilidad (MCC). Venezuela: Universidad de Oriente, Extensión Región Centro-Sur Anaco.

Guaipo, R. (2013). *Diseño de un Plan de Mantenimiento aplicando la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), a los equipos de control de sólidos ubicados en los taladros PDV-1, PDV-3 PDV-21 y PDV-54 de la Empresa PDVSA Servicios.* Venezuela: Universidad De Oriente, Extensión Región Centro-Sur Anaco.

Gutiérrez & Aguero (2008). *Análisis de criticidad integral de activos.* Venezuela.

Huerta, R. (2010) *Lecciones aprendidas en el proceso de implantación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en el sector petrolero.* Venezuela: PDVSA Gas.

Martínez, V. (2012)**.** *Diseño de planes de mantenimiento aplicando la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para los equipos del sistema de desetanización del tren "A" de la planta de extracción San Joaquín de PDVSA Gas.* Venezuela: Universidad De Oriente, Extensión Región Centro-Sur Anaco.

Moubray, J. (1999). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad.* Estados Unidos: Editorial Industrial Press Inc.

Norma COVENIN 3049-93 (1993). *Mantenimiento. Definiciones.* Venezuela: FONDOFORMA.

Norma ISO 14224 (1999). *Industrias del Petróleo y del gas natural: Recolección e intercambio de información de confiabilidad y mantenimiento para equipos.*

Norma PDVSA MM-01-01-03 (2010). *Niveles de mantenimiento*. Venezuela: PDVSA GAS.

Norma PDVSA MM-01-01-1 (2010). *Definiciones de mantenimiento y confiabilidad*. Venezuela: PDVSA GAS.

Norma SAE JA1012 (2000). *Prácticas recomendadas para vehículos aeroespaciales y de superficie.*

Reliability Web (2017). *Análisis de criticidad: Una metodología para mejorar la confiabilidad operacional.* Florida, Estados Unidos. Recuperado de: http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope.

Strategic Technologies INC (1999). *Mantenimiento preventivo y correctivo.* Recuperado de: http://www.thealadonnetwork.com/about-rcm/

Sabino, C. (1999). *El Proceso de la Investigación Científica.* Venezuela: Editorial Panapo.

Sotillo, M. (2014). *Propuesta de mejoras al plan de mantenimiento de equipos críticos de un taladro de perforación basado en análisis de fallas. Caso: Taladro EDV-42 de la empresa Ensing de Venezuela C.A*. Venezuela: Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui.

Suárez, D. (2001). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Venezuela.

Tamayo & Tamayo (2004). *El proceso de la investigación científica*. México: Editorial Limusa.

UPEL (2006). *Manual de trabajos de grado de especializaciones y maestría y tesis doctorales*. Venezuela: FEDUPEL (4ta edición).

Villamizar, L. (2004). *Mantenimiento Centrado en confiabilidad*. México: Editorial Trillas.

Zerpa, A. (2016). *Diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) para los motores eléctricos DC de las bombas de lodo de los taladros AP (160), JRBM (129) y ACM (128) pertenecientes a la empresa Base Simón Bolívar (Anaco-Edo. Anzoátegui)*. Venezuela: Universidad de Oriente, Extensión Región Centro-Sur Anaco.

ANEXOS

- **METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO**

TÍTULO	**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO NIVEL III PARA LOS SISTEMAS CRÍTICOS DE LOS TALADROS DE PERFORACIÓN DE LA GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS PDVSA GAS ANACO, ESTADO ANZOÁTEGUI**
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Santamaría P., Alejandra J.	**CVLAC:** 24.831.474 **E MAIL:** biggirld@gmail.com
	CVLAC: **E MAIL:**
	CVLAC: **E MAIL:**
	CVLAC: **E MAIL:**

PALABRAS O FRASES CLAVES

Análisis de criticidad, Mantenimiento nivel III, MCC, ALD, AMEF, PDVSA.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Industrial

RESUMEN (ABSTRACT):

Para la elaboración de la propuesta de un plan de mantenimiento nivel III para los sistemas críticos de los taladros de perforación de la Gerencia de Mantenimiento de Taladros y Equipos PDVSA Gas Anaco, Estado Anzoátegui, mediante una investigación de tipo descriptiva con diseño de campo, primeramente, se describió el contexto operacional de los taladros de perforación; posteriormente, se jerarquizaron los sistemas de dichos taladros a través del análisis de criticidad utilizando el método de los puntos donde resultaron ser críticos dos de los sistemas (circulación y rotación) de los taladros de perforación. Luego, se procedió a aplicar la filosofía del MCC a dichos sistemas: primero se aplicó la técnica del AMEF, donde se obtuvieron 19 funciones, 54 fallas funcionales y 63 modos de falla; con la aplicación del ALD se determinó que el 100% de los modos de falla requiere de tareas de mantenimiento basadas en condición. Para finalizar, se elaboró un plan de mantenimiento nivel III para los equipos correspondientes a los sistemas críticos de los taladros de perforación con su respectiva programación. Se recomienda extender dicho plan hacia los sistemas de los taladros de perforación que no fueron tratados en este trabajo de investigación. Además, la propuesta también podría y debería extenderse hacia los taladros de rehabilitación.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Ing. Valderrama, Rita	**ROL**	**CA**	**AS X**	**TU**	**JU**
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Ing. Laya, Elías	**ROL**	**CA**	**AS**	**TU X**	**JU**
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
MSc. Bousquet, Juan	**ROL**	**CA**	**AS**	**TU**	**JU X**
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Ing. Ledezma, Melchor	**ROL**	**CA**	**AS**	**TU**	**JU X**
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2017	12	07
AÑO	**MES**	**DÍA**

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO NIVEL III PARA LOS SISTEMAS CRÍTICOS DE LOS TALADROS DE PERFORACIÓN DE LA GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE TALADROS Y EQUIPOS PDVSA GAS ANACO, ESTADO ANZOÁTEGUI.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 Dpto. Gerencia de MAntenimiento / PDVSA (Anaco) (OPCIONAL)

TEMPORAL: Seis meses (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Industrial

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Ingeniería Industrial

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente/Extensión Región Centro Sur –Anaco

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CU Nº 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC Nº 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR
FECHA 5/8/09 HORA 5:20

Cordialmente,

JUAN A. BOLAÑOS CURIEL
Secretario

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA * UNIVERSIDAD DE ORIENTE * SECRETARIA CONSEJO UNIVERSITARIO

C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/manuja

Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

DERECHOS

De acuerdo al Artículo 41 del Reglamento de trabajos de grado (vigente a partir del II semestre 2009) según comunicación CU-034-209:

"Los trabajos de grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización".

	Santamaría P., Alejandra J.	
AUTOR	**AUTOR**	**AUTOR**

Ing. Valderrama, Rita	**Ing. Ledezma, Melchor**	**Msc. Bousquet, Juan**
TUTOR	**JURADO**	**JURADO**

Ing. Valderrama, Rita

POR LA COMISIÓN DE TESIS