

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



**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)**

Realizado por:

Zerpa C., Adrián J.

**Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como Requisito
para Optar al Título de:**

INGENIERO INDUSTRIAL

Anaco, Febrero de 2016

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



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)

Asesor:

Esp. Alcántara, José
Asesor Académico

Ing. Laya, Elías
Asesor Industrial

Anaco, Febrero de 2016

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



**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)**

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

Esp. Alcántara, José
Asesor Académico

MSc. Bousquet, Juan
Jurado Principal

Esp. Ledezma, Melchor
Jurado Principal

Anaco, Febrero de 2016

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 ofrendo este Trabajo de Grado a Mi Dios Todopoderoso, por regalarme la vida, por siempre demostrarle a mi familia que estás atento a nuestras necesidades, por enseñarnos a ser agradecidos contigo por esa inmensa fidelidad, y entre otras cosas, por ser mi fuente de motivación ante las adversidades que afronté en el camino previo al logro de esta meta.

.

A mis padres Inés de Zerpa y Juan Zerpa, por ser mis mayores ejemplos a seguir, por brindarme su apoyo incondicional en todo momento y darme esos consejos de aliento y fuerza cuando más los necesité. Los Adoro Mis Viejos.

A mi hermano Juan Carlos, por brindarme su constante apoyo y colaboración en todos los momentos que lo necesite.

A los que no están físicamente (abuelos Freddy y Nora), por haberme guiado siempre por el camino del bien y por haberme brindado su cariño y apoyo incondicional. Hoy día seguro estarían felices por verme culminada esta meta. Para ustedes también este logro. Que Dios los tenga en su Santa Gloria. Nunca los olvidaré.

A Iván Nuñez, por haber sido un excelente amigo. Que Dios te tenga en su Gloria.

A Oscar Jiménez, por habernos dejado tantas enseñanzas y ganas de crecer como cristianos. Sé que desde el cielo sigues intercediendo por nosotros.

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

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, único señor y creador de vida, fuente de toda fe, bendiciones y felicidad. Todo mi esfuerzo no hubiese sido suficiente para concretar esta meta sin tu ayuda.

A mis padres, por ser perseverantes en sembrar en mí buenos valores y enseñanzas, porque a pesar de los innumerables esfuerzos y sacrificios que han hecho para que hoy yo esté donde estoy, siempre me brindaron todo con increíble amor y cariño, demostrando los maravillosos padres que son. Que Dios Los Bendiga Siempre.

A mi hermano Juan Carlos y demás familiares (en especial Juan Rodríguez y Eva Tablante), por su apoyo incondicional, por darme su fortaleza, por creer en mí, por orientarme y por cuidarme siempre. Gracias y que Dios nos mantenga unidos.

A la Universidad de Oriente, mi casa de estudio, a todo su personal Docente, Administrativo y Obrero, muchas gracias por haberme recibido y permitido el honor de adquirir a través de ustedes las herramientas para ser un Profesional y un mejor ciudadano. Muchas gracias. Dios les Bendiga.

A la empresa PDVSA Servicios, por permitirme desempeñar mis pasantías en sus instalaciones. A mi tutor industrial Ingeniero Elías Laya por guiarme en el desarrollo de este trabajo. También quiero darle un especial agradecimiento a todos los miembros de la oficina de Programación y Planificación de Mantenimiento (a la cual fui asignado), quienes prácticamente fueron mis segundos orientadores durante mi estadía en la empresa: Edith, Carelys, Alexander, Jean y Edgardo. Igualmente, agradezco su apoyo a: Greilys, Arnoldo, Marialfred, George, Mavares, Rafael, Víctor,

Rendy, y a todos los que de una u otra manera creyeron en mí y me brindaron su apoyo. Gracias a Todos por Todo.

A mis amigos, aquellos que me acompañaron desde el inicio de mi viaje por la UDO, los que se fueron uniendo en el trayecto e incluso los que conocí terminando el viaje, muchachos lo logramos, Dios los usó a ustedes para levantarme cuando mis piernas no daban más, aunque sé que nos costó mucho esfuerzo, dolor y sacrificio, también es cierto que la pasamos muy bien, donde quiera que se encuentren, si algún día leen este párrafo, sabrán que son ustedes de los héroes y heroínas que Dios usó en mi viaje por la UDO, en especial quiero mencionar a Viviana Parra, Marcela Andarcia, Felimar Martínez, Cesmir Cabello, Dilson Rondón, Sonia Milla, Rosnaellys Santil, Freddy Cerezo, Carlos Carruitero, Lady Rondón, Eduardo Hernández, Carlos Jiménez, Yennirey Montaña, Niliangel Gámez, Geoselin Parra, Moisés Velásquez, Jorge Vizcaíno, Paul Colina, Gabriela Cedeño, Andreina Toro, María Rangel, Sixto Liendo, Yoselin Rodriguez, Richard Campos, Guillermo Figueredo, Nelly Moreno, Mariani Vanelli. Muchachos gracias por ser mis amigos. Dios me los Bendiga Siempre.

A mi Familia en Cristo, a cada una de las personas que forman parte de la Iglesia en la que he pasado gran parte de mi vida, sirviendo a Dios y a cada uno de ustedes, mil gracias por la oportunidad que me dieron de vivir entre ustedes, gracias a cada hermano que Dios usó para enseñarme, animarme, ayudarme, y fortalecer mi fe para poder lograr sobrellevar esta etapa de mi vida. Familia este logro también es de ustedes. Gracias por su amor. Dios me los Cuide Siempre.

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



**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)**

Autor: Zerpa C., Adrián J.

Tutor: Esp. Alcántara, José

Fecha: 10/02/2016

RESUMEN

Para el cumplimiento de los objetivos planteados 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.

Descriptores: Mantenimiento, MCC, AMEF, ALD.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESOLUCIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPÍTULO I.....	xx
EL PROBLEMA	xx
1.1 Planteamiento del problema.....	xx
1.2 Objetivos de la investigación	25
1.2.1 Objetivo general.....	25
1.2.2 Objetivos específicos.....	25
1.3 Justificación de la investigación.....	26
1.4 Delimitación de la investigación.....	26
1.5 Identificación de la empresa.....	27
1.5.1 Reseña histórica.....	27
1.5.2 Nombre de la empresa	27
1.5.3 Ubicación geográfica.....	28
1.5.4 Misión de la empresa.....	28
1.5.5 Visión de la empresa	29
1.5.6 Política de la calidad	29
1.5.7 Objetivos de la calidad	29
CAPÍTULO II	31
MARCO TEÓRICO.....	31
2.1 Antecedentes de la investigación	31
2.2 Bases teóricas	34
2.2.1 Equipo	34
2.2.2 Sistema	34
2.2.3 Falla.....	35
2.2.4 Confiabilidad	35
2.2.4.1 Confiabilidad operacional	36
2.2.5 Disponibilidad	36
2.2.6 Frecuencia	37
2.2.7 Equipo natural de trabajo (ENT).....	37
2.2.7.1 Visión de los equipos naturales de trabajo.....	40
2.2.8 Mantenimiento	40

2.2.8.1	Objetivos del mantenimiento	41
2.2.8.2	Funciones del mantenimiento	41
2.2.8.3	Importancia del mantenimiento	42
2.2.9	Tipos de mantenimiento	42
2.2.9.1	Mantenimiento preventivo	42
2.2.9.2	Mantenimiento correctivo	43
2.2.10	Mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC)	44
2.2.10.1	Beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC).....	46
2.2.10.2	Limitaciones del mantenimiento centrado en confiabilidad	47
2.2.10.3	Clave del éxito de la implantación del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC)	47
2.2.11	Análisis de Criticidad	48
2.2.11.1	Clasificación de la criticidad	49
2.2.11.2	Metodología D.S para aplicar criticidad	49
2.2.12	Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF).....	54
2.2.12.1	Funciones y sus estándares de funcionamiento (lo que hace el sistema o componente).....	55
2.2.12.2	Fallas funcionales (¿de qué forma puede fallar?)	56
2.2.12.3	Modos de falla (¿qué causa que falle?)	56
2.2.12.4	Efectos de fallas (¿qué sucede cuando falla?).....	58
2.2.12.5	Hoja de Información	58
2.2.12.6	Beneficios del análisis de los modos y efectos de fallas (AMEF).....	59
2.2.13	Árbol lógico de decisión (ALD).....	60
2.2.13.1	Consecuencias de las fallas (¿qué ocurre cuando falla?)	61
2.2.13.2	Tareas preventivas (¿qué se puede hacer para prevenir las fallas?).....	63
2.2.13.3	Hoja de decisión.....	66
2.2.14	Planes de mantenimiento	67
2.2.14.1	Manuales de mantenimiento	68
2.2.14.2	Programa de mantenimiento	68
2.2.15	Perforación	69
2.2.16	Taladro de perforación petrolero	69
2.2.16.1	Sistema de circulación	70
2.2.17	Bomba de lodo	71
2.2.18	Máquina eléctrica rotativa	72
2.2.19	Motor eléctrico DC.....	73
2.2.19.1	Principio básico de funcionamiento de un motor eléctrico DC	73
2.2.19.2	Partes básicas de un motor de corriente continua	74
2.2.19.3	Subsistemas de un motor eléctrico de acuerdo a su funcionalidad.....	75
2.2.19.4	Pruebas eléctricas en los motores eléctricos	82

2.2.19.5 Tipos de motores de corriente continua (conexiones)	87
CAPÍTULO III	90
MARCO METODOLÓGICO	90
3.1 Tipo de investigación	90
3.2 Diseño de la investigación.....	90
3.3 Unidades de estudio	91
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	91
3.4.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	91
3.4.1.4 Encuesta	93
3.4.2 Técnicas e instrumentos de análisis de datos	94
3.4.2.1 Fichas técnicas	94
3.4.2.2 Metodología D.S	95
3.4.2.3 Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)	95
3.4.2.4 Árbol lógico de decisiones (ALD).....	95
3.4.2.5 Gráfico de tortas o barras y tablas representativas.....	96
3.5 Procedimiento metodológico	96
CAPITULO IV	119
ANÁLISIS DE RESULTADOS	119
4.1 Descripción del contexto operacional de los motores eléctricos DC de las bombas de lodo de los taladros AP (160), JRBM (129) y ACM (128) pertenecientes a la empresa PDVSA Servicios (Anaco-Edo. Anzoátegui).....	119
4.1.1 Descripción general del funcionamiento de los motores eléctricos DC (de las bombas de lodo) en las áreas operativas de los taladros de perforación en estudio.	119
4.1.2 Características de los motores eléctricos DC GE 752 (de las bombas de lodo) en estudio.	122
4.1.2.1 Componentes del motor eléctrico DC.....	123
4.1.2.2 Fichas técnicas de los motores eléctricos DC en estudio	125
4.2 Jerarquización de los motores eléctricos DC de las bombas de lodo, ubicadas en los taladros AP, JRBM y ACM, pertenecientes a la empresa PDVSA Servicios Base Simón Bolívar, mediante un Análisis de Criticidad.	129
4.2.1 Equipo natural de trabajo	129
4.2.2 Ejecución del análisis de criticidad según Diógenes Suárez.....	130
4.2.3 Información sobre fallas de los motores eléctricos en estudio.....	137
4.3 Realización de un análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) a los motores eléctricos DC de las bombas de lodo de los taladros AP (160), JRBM (129) y ACM (128) pertenecientes a la Base Simón Bolívar (Anaco-Edo. Anzoátegui).....	140
4.3.1 Aplicación del análisis de modos y efectos de fallas	140
4.3.2 Resultados del análisis de modos y efectos de fallas	141
4.4 Establecimiento de los tipos de actividades de mantenimiento aplicables a los motores eléctricos DC de las bombas de lodo de los taladros AP (160),	

JRBM (129) y ACM (128) pertenecientes a la Base Simón Bolívar (Anaco-Edo. Anzoátegui), de acuerdo al árbol lógico de decisión.	142
4.4.1 Aplicación del árbol lógico de decisiones.....	142
4.4.2 Resultados del árbol lógico de decisiones.....	143
4.5 Elaboración de planes de mantenimiento preventivo para el motor eléctrico DC más crítico de las bombas de lodo pertenecientes a los taladros en estudio.....	145
4.5.1 Resultados del plan de mantenimiento preventivo.....	146
4.5.2 Resultados de las actividades de mantenimiento preventivo adicionales (a largo plazo).....	149
CAPÍTULO V	150
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	150
5.1 Conclusiones	150
5.2 Recomendaciones.....	151
BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	154
ANEXOS.....	157
<u>METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO</u>	158

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Visión de los equipos de trabajo	40
Tabla 2.2. Formato de encuesta utilizado (según metodología D.S).	52
Tabla 2.3. Formato utilizado para resultados de encuestas por equipo.	52
Tabla 2.4. Valores para clasificar la criticidad de los activos.	52
Tabla 2.5. Matriz de criticidad utilizada	54
Tabla 2.6. Hoja de información para análisis de modos y efectos de fallas (AMEF).	59
Tabla 2.7. Hoja de decisión para los motores eléctricos DC.....	67
Tabla 2.8. Hoja de mantenimiento aplicada.	69
Tabla 2.9. Temperatura de los tipos de aislamiento (Temp. Amb. 40 °C).	76
Tabla 2.10. Codificación de protección IP.	79
Tabla 3.1. Modelo de ficha técnica aplicado.....	95
Tabla 3.2. Equipo Natural de Trabajo de los motores eléctricos DC.....	97
Tabla 4.1. Clasificación de motores eléctricos DC por taladro.	125
Tabla 4.2. Ficha técnica del motor “A” de la bomba de lodo N° 1 del taladro A.P.....	125
Tabla 4.3. Ficha técnica del motor “B” de la bomba de lodo N° 1 del taladro A.P.....	126
Tabla 4.4. Ficha técnica del motor “A” de la bomba de lodo N° 2 del taladro A.P.....	126
Tabla 4.5. Ficha técnica del motor “B” de la bomba de lodo N° 2 del taladro A.P.....	127
Tabla 4.6. Ficha técnica del motor “A” de la bomba de lodo N° 3 del taladro A.P.....	127
Tabla 4.7. Ficha técnica del motor “B” de la bomba de lodo N° 3 del taladro A.P.....	127
Tabla 4.8. Ficha técnica del motor “A” de la bomba de lodo N° 1 del taladro J.R.B.M	127
Tabla 4.9. Ficha técnica del motor “B” de la bomba de lodo N° 1 del taladro J.R.B.M	127
Tabla 4.10. Ficha técnica del motor “A” de la bomba de lodo N° 2 del taladro J.R.B.M	127
Tabla 4.11. Ficha técnica del motor “B” de la bomba de lodo N° 2 del taladro J.R.B.M	128
Tabla 4.12. Ficha técnica del motor “A” de la bomba de lodo N° 3 del taladro J.R.B.M	128
Tabla 4.13. Ficha técnica del motor “B” de la bomba de lodo N° 3 del taladro J.R.B.M	128

Tabla 4.14. Ficha técnica del motor “A” de la bomba de lodo N° 1 del taladro	
A.C.M.....	128
Tabla 4.15. Ficha técnica del motor “B” de la bomba de lodo N° 1 del taladro	
A.C.M.....	128
Tabla 4.16. Ficha técnica del motor “A” de la bomba de lodo N° 2 del taladro	
A.C.M.....	128
Tabla 4.17. Ficha técnica del motor “B” de la bomba de lodo N° 2 del taladro	
A.C.M.....	128
Tabla 4.18. Ficha técnica del motor “A” de la bomba de lodo N° 3 del taladro	
A.C.M.....	128
Tabla 4.19. Ficha técnica del motor “B” de la bomba de lodo N° 3 del taladro	
A.C.M.....	129
Tabla 4.20. Formato de encuesta aplicado.	131
Tabla 4.21. Resultados de criticidad del motor DC “A” de bomba de lodo N° 1.	131
Tabla 4.22. Resultados de criticidad del motor DC “B” de bomba de lodo N° 1.	132
Tabla 4.23. Resultados de criticidad del motor DC “A” de bomba de lodo N° 2.	132
Tabla 4.24. Resultados de criticidad del motor DC “B” de bomba de lodo N° 2.	132
Tabla 4.25. Resultados de criticidad del motor DC “A” de bomba de lodo N° 3.	132
Tabla 4.26. Resultados de criticidad del motor DC “B” de bomba de lodo N° 3.	132
Tabla 4.27. Resultados de criticidad de todos los motores del taladro A.P.	132
Tabla 4.28. Resultados de criticidad del motor DC “A” de bomba de lodo N° 1.	133
Tabla 4.29. Resultados de criticidad del motor DC “B” de bomba de lodo N° 1.	133
Tabla 4.30. Resultados de criticidad del motor DC “A” de bomba de lodo N° 2.	133
Tabla 4.31. Resultados de criticidad del motor DC “B” de bomba de lodo N° 2.	133
Tabla 4.32. Resultados de criticidad del motor DC “A” de bomba de lodo N° 3.	133
Tabla 4.33. Resultados de criticidad del motor DC “B” de bomba de lodo N° 3.	134
Tabla 4.34. Resultados de criticidad de todos los motores del taladro J.R.B.M.	135
Tabla 4.35. Resultados de criticidad del motor DC “A” de bomba de lodo N° 1.	135
Tabla 4.36. Resultados de criticidad del motor DC “B” de bomba de lodo N° 1.	135
Tabla 4.37. Resultados de criticidad del motor DC “A” de bomba de lodo N° 2.	135
Tabla 4.38. Resultados de criticidad del motor DC “B” de bomba de lodo N° 2.	135
Tabla 4.39. Resultados de criticidad del motor DC “A” de bomba de lodo N° 3.	136
Tabla 4.40. Resultados de criticidad del motor DC “B” de bomba de lodo N° 3.	136
Tabla 4.41. Resultados de criticidad de todos los motores del taladro A.C.M.	136
Tabla 4.42. Jerarquización de criticidad de los motores en estudio.	136
Tabla 4.43. Cantidad de fallas de los motores eléctricos del taladro A.P.	138
Tabla 4.44. Cantidad de fallas de los motores eléctricos del taladro J.R.B.M.	139
Tabla 4.45. Cantidad de fallas de los motores eléctricos del taladro A.C.M.	139
Tabla 4.46. Resultados del AMEF del portacarbonos.	141
Tabla 4.47. Resultados del AMEF.	141
Tabla 4.48. Distribución porcentual de los resultados del AMEF.	141
Tabla 4.49. Hoja de decisión obtenida de los portacarbonos.	143
Tabla 4.50. Cantidad de cada tipo de falla.	143

Tabla 4.51. Cantidad porcentual de los tipos de falla.	143
Tabla 4.52. Tipos de actividades de mantenimiento obtenidas.	144
Tabla 4.53. Cantidad porcentual de los tipos de actividades resultantes.	144
Tabla 4.54. Actividades asignadas al personal.	147
Tabla 4.55. Distribución porcentual de las actividades por componente.	147
Tabla 4.56. Tareas de mantenimiento asignadas por departamento.	148
Tabla 4.57. Horas-Hombre de mantenimiento asignadas al personal.	148
Tabla 4.58. Distribución de las actividades de mantenimiento a largo plazo.	149

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Ubicación geográfica de la Base Simón Bolívar.	28
Figura 2.1. Generador eléctrico del taladro PDV-01.	34
Figura 2.2. Aspectos que comprende la confiabilidad operacional.	36
Figura 2.3. Miembros del E.N.T de un taladro de perforación.	38
Figura 2.4. Mantenimiento preventivo a motor eléctrico.	43
Figura 2.5. Corrección de falla en montacargas.	44
Figura 2.6. Las 7 preguntas del MCC.	45
Figura 2.7. Clasificación de los factores a evaluar en los equipos según la metodología D.S.	49
Figura 2.8. Diagrama de Decisión por la Norma SAE JA 1012.	61
Figura 2.9. Ubicación de la falla potencial.	64
Figura 2.10. Manuales de equipos Caterpillar.	68
Figura 2.11. Perforación de pozo petrolero.	69
Figura 2.12. Taladro ACM (128).	70
Figura 2.13. Sistema de circulación del Taladro AP (160).	70
Figura 2.14. Lodo de perforación.	71
Figura 2.15. Bomba de lodo del PDV-01.	72
Figura 2.16. Taxonomía de los motores eléctricos.	72
Figura 2.17. Motor eléctrico del taladro ESMA.	73
Figura 2.18. Funcionamiento de un motor DC.	73
Figura 2.19. Conductor con respecto al eje del rotor.	74
Figura 2.20. Dos conductores con respecto al eje del rotor.	74
Figura 2.21. Tipos de estator.	78
Figura 2.22. Tipos de rotor.	78
Figura 2.23. Espectros de la corriente de un motor sano y uno averiado.	86
Figura 2.24. Imagen térmica de un motor en funcionamiento.	87
Figura 4.1. Flujograma de proceso del sistema de circulación.	121
Figura 4.2. Sistema de circulación de un taladro de perforación petrolera.	122
Figura. 4.3. Motor eléctrico DC.	123
Figura. 4.4: Componentes externos del motor eléctrico DC.	123
Figura. 4.5. Componentes internos de un motor eléctrico DC.	123
Gráfica 4.1. Distribución porcentual de los resultados del AMEF.	142
Gráfica 4.2. Cantidad porcentual de los tipos de falla.	144
Gráfica 4.3. Cantidad porcentual de los tipos de actividades resultantes.	145
Gráfico 4.4. Distribución porcentual de las actividades por componente.	148
Gráfica 4.5. Distribución porcentual de tareas por departamento.	148
Gráfica 4.6. Distribución porcentual de las horas-hombre de mantenimiento.	149

INTRODUCCIÓN

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC), fue creado en los Estados Unidos, en la década de los 70, por el departamento de Aeronáutica de las Fuerzas Armadas, en conjunto con expertos de la NASA y otras instituciones, en un esfuerzo en conjunto por lograr aumentar la disponibilidad de los equipos, a un menor costo y esfuerzo de mantenimiento. El MCC desde sus comienzos ha hecho énfasis en la importancia de que cada paso de la metodología sea ejecutado por un Equipo Natural de Trabajo (ENT), promoviendo así el trabajo en equipo y obteniendo el mayor beneficio de la fuerza y el conocimiento que se logra sólo en la unidad. La efectividad de este modelo de Gestión de Mantenimiento, ha sido resaltante, por lo cual ha sido aceptada y aplicada en diversos sectores de la industria en general (de tecnología nuclear, petrolera, gasífera, de generación de energía eléctrica, petroquímica, textil, manufacturera, entre otras).

El concepto de mantenimiento a nivel internacional, ha variado en comparación con años anteriores, pasando de ser una actividad reactiva a adoptar una concepción proactiva, dándole una percepción de negocio. Independientemente de la categoría de las empresas (grandes, medianas o pequeñas), ya las nuevas tecnologías industriales, en su mayoría, son manejadas cotidianamente por el personal mantenedor de sus diferentes sistemas y equipos.

Las técnicas de mantenimiento han ido evolucionando de manera proporcional con el desarrollo tecnológico, lo que ha permitido una ampliación importante a nivel de aprendizaje, en relación con el desgaste interno de los equipos. Se considera que la función primordial del mantenimiento es evitar que fallen los equipos y lograr así que se mantengan operativos el mayor tiempo posible. La compaginación de este

concepto con el de mantenimiento centrado en confiabilidad de los equipos posibilita la optimización de los costes, disminuyendo la tasa de fallas.

A raíz del progreso industrial, surgido en las últimas décadas, el mantenimiento ha evolucionado considerablemente con el fin de garantizar que los equipos se mantengan operando bajo los requerimientos para los cuales fueron diseñados. Como acciones consistentes para alcanzar esto, se han venido aplicando algunas herramientas que permiten maximizar la productividad de los sistemas y prolongar su vida útil, una de estas filosofías es el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).

La empresa PDVSA Servicios, es una filial de Petróleos de Venezuela, S.A, que se ocupa de proveer servicios petroleros especializados en los negocios de exploración y producción, tales como: operación y mantenimiento de taladros, registros eléctricos, sísmica, fluidos de perforación, cementación y estimulación, en su búsqueda constante de estrategias que posibiliten garantizar la integridad de los procesos y los activos de la corporación, ha adoptado al MCC como herramienta significativa para lograr su cometido.

Este trabajo tiene como finalidad diseñar un plan de mantenimiento basado en la metodología de MCC para los motores eléctricos DC GE 752 que suministran potencia a las bombas de lodo ubicadas en los taladros de perforación AP (160), ACM (128) y JRBM (129) pertenecientes a la empresa PDVSA Servicios, con el fin de incrementar tanto su vida útil como la productividad de estos equipos, acrecentando paralelamente la confiabilidad y disponibilidad de los mismos, se le realizarán análisis al plan de mantenimiento con el objeto de minimizar la tendencia de falla de los activos, la determinación de la disponibilidad, la cual representa un factor importante que define la efectividad del sistema, por lo que resulta interesante tener conocimiento de cómo evaluar, determinar y emplear estos conceptos, para

fortalecer la gestión de mantenimiento. Este trabajo consta de V capítulos, puntualizados a continuación:

- Capítulo I. El Problema: contiene una breve descripción de la reseña histórica de la empresa (incluyendo su misión, visión y ubicación geográfica), objetivo general, objetivos específicos, justificación de la investigación y delimitación.
- Capítulo II. Marco Teórico: presenta algunos antecedentes de este trabajo y las bases teóricas consultadas. se presentan los antecedentes de la investigación así como los conceptos y principios básicos que permitirán una mejor comprensión del tópico.
- Capítulo III. Marco Metodológico: comprende la metodología utilizada para la realización del proyecto, abarcando las etapas necesarias para el desarrollo del mismo, así como el tipo de investigación empleada. Además, se indica la población y muestra objeto de estudio.
- Capítulo IV. Desarrollo del Proyecto: muestra detalladamente el desenvolvimiento de cada una de las etapas de la investigación para la obtención de los resultados.
- Capítulo V: plantea las conclusiones y recomendaciones propuestas por el investigador.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Desde el principio de los tiempos, el Hombre siempre ha sentido la necesidad de mantener su equipo, aún las más rudimentarias herramientas o aparatos. Pero el mantenimiento irrumpió con fuerza con la revolución industrial provocada por la aparición de la máquina de vapor, con la introducción de las primeras máquinas en las industrias textiles y los procesos de extracción del hierro, fue en ese contexto cuando se produjeron los primeros fallos y los primeros trabajos de reparación.

Sin embargo, las tareas de mantenimiento se limitaban a corregir las averías causadas por el proceso de producción, y es así como se crea el mantenimiento correctivo. Los primeros trabajos de reparación eran realizados por los mismos operarios que utilizaban los equipos. Pero cuando la cantidad de maquinaria industrial se incrementó de forma exponencial, provocó que el trabajador invirtiera cada vez más de su tiempo laboral a hacer trabajos de mantenimiento, perjudicando directamente a la producción. Esta claro, que esto no ha cambiado con los años y si algo preocupa a toda empresa es perder producción.

Sin embargo, con la llegada de la producción en cadena, en 1913, implantada por Henry Ford, se sembró la preocupación por los fallos o paros forzosos. Ya que en las industrias llegaban a sustituirse en diversas maquinarias un número considerable de sus piezas al alcanzar un número determinado de horas de funcionamiento, aún sin haber agotado su vida útil. Es el origen del mantenimiento preventivo.

Durante los últimos cuarenta años se ha mostrado un desarrollo muy importante de las nuevas tecnologías para realizar mantenimiento y de las metodologías aplicables a la gestión del mantenimiento. Este desarrollo ha rebasado los pronósticos más audaces, la gran diversidad de estrategias, ideologías, técnicas y herramientas, particularmente en las áreas de la gestión gerencial, de la normatividad internacional y de las tecnologías sistematizadas para diagnóstico proactivo, con las cuales se ha reducido considerablemente el costo total de manufactura. Por lo tanto, el mantenimiento, día a día, está rompiendo las barreras del pasado, hasta dejar de verse como un gasto para convertirse en el mayor generador de utilidades industriales y el responsable de la sostenibilidad de la empresa.

Existen diferentes estrategias de Gestión de Activos, con las cuales la Confiabilidad Operacional busca mejorar los procesos y actividades de mantenimiento, entre ellas encontramos el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), esta filosofía permite que un equipo multidisciplinario de trabajo se haga cargo de optimizar 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. Asegurando así que los elementos físicos de este sistema continúen desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional, logrando minimizar o mitigar las consecuencias negativas que pueden generarse sobre la producción, costos y seguridad.

En Venezuela, el mantenimiento de los equipos y maquinarias ha adquirido importancia para las empresas, ya que como plan de trabajo, ha sido un éxito en la gestión del funcionamiento normal y eficiente de los equipos, produciendo un bien real, que puede resumirse en: capacidad de producir con calidad, seguridad y rentabilidad. Petróleos de Venezuela (PDVSA), fundada en 1975, es la mayor

empresa venezolana encargada de la exploración, producción, almacenamiento, manufactura, transporte y mercadeo de los hidrocarburos.

En la actualidad, PDVSA está estructurada en tres divisiones, dedicadas a las actividades principales del negocio. Entre estas estructuras se encuentra, PDVSA Servicios Petroleros S.A, creada en 2007, la cual se encarga de realizar operaciones de perforación y rehabilitación de pozos de gas y petróleo, cambios de métodos de producción, captura de datos en el subsuelo, operación de taladros y equipos, suministro de fluidos y producto químico y servicios de cementación. Dentro de este departamento se encuentra la Gerencia de Operación de Mantenimiento de Taladros (OMT), conformada por cinco superintendencias: Perforación, Rehabilitación y Reacondicionamiento de pozos, Control Gestión Ambiente y Seguridad.

La Base Simón Bolívar perteneciente a PDVSA Servicios Petroleros S.A., orienta sus actividades operacionales de Pozos Petroleros y Mantenimiento Preventivo y Correctivo de Taladros de Perforación, hacia la satisfacción de sus clientes internos (Operaciones), mediante el cumplimiento de sus requisitos y exigencias, incluyendo la legislación y reglamentación vigente aplicable, previniendo accidentes e impactos ambientales. Para ello cuenta con personal competente y comprometido con el mejoramiento continuo del Sistema de Gestión Integral y con la Responsabilidad Social.

En este momento, la Base Simón Bolívar tiene operando 27 taladros de perforación (7 taladros americanos y 20 taladros importados de China). Los taladros de perforación son la herramienta principal para la producción petrolera en el país. Por esta razón, su nivel de confiabilidad debe ser alto, porque si éste sufre paradas, afectará directamente la producción de petróleo. En general, estos taladros están conformados por cinco sistemas: de izamiento, de circulación, de potencia, de rotación y de seguridad.

El sistema de circulación está constituido por una serie de equipos y accesorios que permiten el movimiento continuo del eje principal en el fluido o lodo de perforación. El equipo del sistema de circulación consta de gran número de equipos y estructuras como lo son: las bombas de lodo, las cuales recogen lodo de los tanques y lo envían a través de una Línea de Descarga hasta un tubo colocado paralelo al taladro llamado Stand Pipe. Generalmente un taladro de perforación cuenta con tres bombas, de las cuales dos (2) de ellas efectúan operaciones, mientras la otra se mantiene en standby. Las bombas de lodo funcionan con motores eléctricos (AC o DC), los cuales le suministran la potencia necesaria que las hace capaces de mover grandes volúmenes de fluidos a altas presiones. Generalmente, para el sistema de circulación de un taladro de perforación se requieren entre tres (3) a seis (6) motores eléctricos, la cantidad de motores eléctricos varía dependiendo de la capacidad que tenga el taladro de perforación.

Se pudo conocer que los taladros de perforación pertenecientes a la Gerencia de Mantenimiento Mayor OMT Gas Anaco, Base Simón Bolívar, han sido sometidos a extensos períodos de trabajo continuo, por esta razón, los motores eléctricos DC 752 actualmente presentan una diversidad de problemas, debidas principalmente a: daño de las porta escobillas, daño de los colectores, cortocircuito de los estatores, cortocircuito de los rotores devanados, entre otros. Esto como consecuencia de que la empresa no ha venido ejecutando correctamente el programa de mantenimiento sobre los componentes de cada motor, según los períodos de tiempo preestablecidos por la empresa para cada inspección.

En el caso de los seis (6) motores del taladro A.C.M (128), han tenido problemas con la disponibilidad de repuestos, lo que ha ocasionado un descenso en la ejecución del mantenimiento preventivo, y en consecuencia, mayores tiempos fuera de servicio que los esperados. En el caso de los motores del taladro J.R.B.M (129), la cantidad de fallas que han presentado han sido mínimas, ya que se les ha aplicado un

adecuado mantenimiento preventivo y existe un gran nivel de disponibilidad de repuestos.

Por otro lado, la mayoría de los motores eléctricos del taladro A.P (160) han tenido serias dificultades para poder operar con normalidad, ya que la aplicación del mantenimiento preventivo no se está efectuando apropiadamente debido a que la disponibilidad de repuestos no ha sido la ideal, y este escenario ha propiciado que los equipos en repetidas ocasiones pasen tiempos considerables fuera de servicio, lo cual obstaculiza el desarrollo óptimo de las operaciones del taladro.

Por otra parte, la Base Simón Bolívar tiene complicaciones cuando desea implementar programas y estrategias de mantenimiento, ya que carece de una base de datos que tenga registradas las fallas que ocurren en la empresa. Estos eventos han ocasionado problemas como: desgastes excesivos en piezas, paradas imprevistas, aumento de costos de perforación, e inclusive en ocasiones extremas, el deterioro total de los equipos críticos del taladro. Esta cantidad de fallas indudablemente perjudican la veracidad de la empresa PDVSA Base Simón Bolívar ante su cliente interno (operaciones).

La importancia de esta investigación viene dada en la aplicación de la metodología MCC en la empresa PDVSA Servicio Base Simón Bolívar, mediante el cual se podrán estudiar individualmente los componentes mecánicos de los motores eléctricos DC 752, tarea indispensable para elaborar el plan de mantenimiento a ejecutar, con la finalidad de hacer más rentables a dichos motores.

En cuanto a la originalidad de la investigación radica en que será el primer trabajo de investigación realizado en la Gerencia de Operación de Mantenimiento de Taladros (OMT) donde se aplique la metodología MCC a los motores eléctricos DC 752 que proveen de potencia al sistema de bombas de lodo. Por lo que resultará de

gran valor para dicha empresa si se logran alcanzar los objetivos planteados en este trabajo de grado.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Diseñar 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 PDVSA Servicios Base Simón Bolívar (Anaco- Edo. Anzoátegui).

1.2.2 Objetivos específicos

- Describir del contexto operacional de los motores eléctricos DC de las bombas de lodo de los taladros AP (160), JRBM (129) y ACM (128) pertenecientes a la Base Simón Bolívar (Anaco-Edo. Anzoátegui).
- Establecer una jerarquía de los motores eléctricos DC de las bombas de lodo, mediante un Análisis de Criticidad. (Ver anexo A)
- Realizar un análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) a los motores eléctricos DC de las bombas de lodo de los taladros AP (160), JRBM (129) y ACM (128) pertenecientes a la Base Simón Bolívar (Anaco-Edo. Anzoátegui).
- Establecer los tipos de actividades de mantenimiento aplicables a los motores eléctricos DC de las bombas de lodo de los taladros AP (160), JRBM (129) y ACM (128) pertenecientes a la Base Simón Bolívar (Anaco-Edo. Anzoátegui), de acuerdo al árbol lógico de decisión.

- Elaborar planes de mantenimiento preventivo para los motores eléctricos DC críticos de las bombas de lodo pertenecientes a los taladros en estudio.

1.3 Justificación de la investigación

Este trabajo de investigación tuvo como propósito diseñar 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 PDVSA Servicios Base Simón Bolívar (Anaco-Edo. Anzoátegui).

El diseño de este plan de mantenimiento surgió en virtud de la competitividad que actualmente existe en el mercado vinculado al área de perforación. Dicho plan permitirá realizar un análisis detallado de la operatividad, fallas y causas asociadas a estos motores.

El desarrollo de esta investigación permitirá evidenciar los trabajos de mantenimiento realizados a los motores eléctricos en estudio, y a su vez, llevar un control en cuanto a su confiabilidad y operatividad, ya que estos son los responsables de dar inicio al ciclo operacional del sistema de circulación. Y adicionalmente, servirá como soporte para futuras investigaciones que estén enfocadas en estudios con estas características.

1.4 Delimitación de la investigación

Esta investigación está orientada al diseño de estrategias de mantenimiento para los motores eléctricos DC de las bombas de lodo de los taladros AP (160), JRBM (129) y ACM (128) pertenecientes a la empresa PDVSA Servicios Base Simón

Bolívar (Anaco-Edo. Anzoátegui), con la finalidad de minimizar las paradas imprevistas de estos equipos.

1.5 Identificación de la empresa

1.5.1 Reseña histórica

La Gerencia de Mantenimiento Mayor Región Oriente surgió el 02 de Julio de 2010 a raíz del Decreto Presidencial N° 7.532 de fecha 29 de Junio de 2010, a través del cual se ordenó la adquisición forzosa de once (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 Mayor Región Oriente 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.

1.5.2 Nombre de la empresa

Empresa Nacional de Petróleos de Venezuela, S.A (PDVSA), Gerencia de Mantenimiento Mayor Región Oriente, Base Simón Bolívar.

1.5.3 Ubicación geográfica

Está localizada en la zona centro del estado Anzoátegui (en el municipio Anaco), específicamente en la Av. José Antonio Anzoátegui, Km. 98, al final de la calle principal del Sector HP (ver figura 1.1).



Figura 1.1. Ubicación geográfica de la Base Simón Bolívar.

Fuente: El autor

1.5.4 Misión de la empresa

Realizar servicios de Mantenimiento a los equipos de construcción y mantenimiento 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 nacionales e internacionales requeridas para garantizar el óptimo funcionamiento de los equipos y así asegurar la satisfacción de nuestros clientes.

1.5.5 Visión de la empresa

Ser reconocida como la gerencia líder en el proceso de mantenimiento a los equipos de construcción y mantenimiento 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 nuestros clientes de una manera eficiente, cumpliendo con los requisitos exigidos por las normas.

1.5.6 Política de la calidad

La Gerencia de Mantenimiento Mayor Oriente perteneciente a PDVSA Servicios Petroleros S.A., orienta sus actividades de Mantenimiento a los equipos de construcción y mantenimiento 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 la calidad

1. Proporcionar servicios de mantenimiento a los equipos de construcción de pozos, de excelente calidad.
2. Cumplir con los requerimientos y necesidades de nuestros clientes.
3. 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 Mayor Oriente.
4. 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.

5. Buscar de forma activa y continua las acciones de mejora del Sistema de Gestión de la Calidad.
6. 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.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

A continuación se presentan algunas investigaciones realizadas anteriormente y que guardan cierta relación con el proyecto realizado:

Herrera, R. (2014). “Diseño de planes de mantenimiento basados en la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para los bancos de prueba, pertenecientes al área de ensamblaje de la empresa ENAVAL S.A PDVSA Industrial”. La presente investigación abarca el diseño de los planes de mantenimiento basados en la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para los bancos de prueba, pertenecientes al área de ensamblaje de la empresa ENAVAL S.A. En la elaboración de este diseño, primero se describió el contexto operacional de los equipos que comprenden el área de prueba de presión. Luego, se estableció la jerarquización de dichos equipos por medio de un análisis de criticidad bajo la metodología D.S. Posteriormente, se realizó el Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF), para determinar las fallas y modos y efectos de fallas que presentan los equipos. Seguido a esto se elaboraron las hojas de decisión con la aplicación del Árbol Lógico de Decisión bajo la Norma SAE JA 1012 esto con el propósito de obtener las actividades de mantenimiento por equipo. Finalmente, se diseñaron los planes de mantenimiento preventivo acorde a las actividades de mantenimiento definidas. Dichos planes de mantenimiento constan de 60 actividades de mantenimiento propuestas a los diferentes equipos.

Este trabajo de grado sirvió de ayuda para el desarrollo de los lineamientos teóricos de la herramienta analítica Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF),

para lograr establecer actividades de mantenimiento que garanticen la operatividad y la confiabilidad en las unidades.

Puccia, J. (2014). “Propuesta de un plan de mantenimiento bajo la filosofía Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, para los equipos dinámicos del sistema de circulación de fluidos de perforación del taladro GW-63, de la empresa Bohai Drilling Service Venezuela S.A”. Esta investigación realizó la propuesta bajo la filosofía mantenimiento centrado en confiabilidad, para los equipos dinámicos del sistema de circulación de fluidos de perforación del taladro GW-63, de la empresa Bohai Drilling Service Venezuela S.A, con fines de mejorar la confiabilidad de los equipos, evitar la utilización excesiva de las horas extras de mantenimiento, fallas y paradas en los equipos. Se desarrolló bajo la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), donde se realizó una descripción del contexto operacional del sistema y se aplicó un análisis de criticidad para enfatizar estudios y destinar recursos en los componentes de mayor relevancia, luego se realizó un Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) a los componentes críticos, asentándolos en la hoja de información para luego determinar el tipo de mantenimiento mediante el Árbol Lógico de Decisiones (ALD) y registrarlas en la hoja de decisión, de allí se elaboró el plan de mantenimiento donde se generaron 22 tareas preventivas.

Este trabajo de grado fue útil para la aplicación del AMEF y el Árbol Lógico de Decisiones (ALD).

Meneses, L. (2013). “Diseño de un plan de mantenimiento basado en la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para las unidades de registro 2K1, 2K6 y 2K7 de la empresa ALEX, C.A localizada en la ciudad de Anaco, Estado Anzoátegui”. En el presente trabajo se aplicó la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC), para el diseño de un plan de

mantenimiento a las unidades de registro 2K1, 2K6 y 2K7 de la empresa ALEX, C.A (Advanced Logging and Explosives), localizada en la ciudad de Anaco, Estado Anzoátegui. Se describió el contexto operacional de las unidades de registro mediante la revisión y recolección de información técnica y operacional en manuales y documentos técnicos de cada componente, además de la realización de entrevistas no estructuradas y visitas al área operacional. Se realizó un levantamiento de fallas a los sistemas que componen las unidades de registro, con la finalidad de hacerle un seguimiento al comportamiento de los sistemas entre los periodos 2010 y 2011, para después aplicarle el diagrama de Pareto para determinar los componentes críticos de cada unidad. Luego, se aplicó un Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) a todos los componentes críticos que arrojaron dicho diagrama. Seguidamente, se realizó el árbol de decisiones donde se generaron las tareas a realizar de acuerdo a cada modo de fallas. Finalmente, se desarrolló un plan de mantenimiento preventivo a las unidades de registro, con el propósito de que se cumplan todas las acciones y mejoras para su operatividad.

Este trabajo de grado resultó muy valioso ya que sirvió de guía en cuanto a información teórica y metodología, ya que conlleva un mismo propósito a fin.

Pérez, E. (2010). “Diseño de un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para una paletizadora de sacos de cemento”. El objetivo fundamental de este proyecto fue diseñar un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad que se ajustara a la necesidad de la empresa específicamente al sistema Paletizador # 3 del área de ensacado de la planta Cemex de Venezuela (Pertigalete). Para el logro de este objetivo, se realizó un diagnóstico de la situación actual de la paletizadora. Posteriormente, utilizando la matriz de Impacto-Esfuerzo se logró jerarquizar los sub-sistemas. Seguidamente se realizó un análisis de criticidad a través de la metodología D.S. a los equipos pertenecientes a los sub-sistemas priorizados. A continuación se ejecutó un Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), donde se

establecieron las fallas y los efectos que estas tienen sobre los equipos críticos. Con la aplicación del Árbol Lógico de Decisión (ALD), se determinó el tipo de mantenimiento a desarrollar en el plan. Para finalizar, se estimó la confiabilidad a los equipos críticos que dieron cuenta mediante probabilidades estadísticas del estado de vida útil del equipo y de sus componentes. En función a todos los resultados, se diseñó el plan de mantenimiento.

El trabajo de grado previamente mostrado fue de gran importancia debido a que sirvió de guía teórica, y de referencia metodológica, por los métodos e instrumentos de recolección de datos presentes en su contenido.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Equipo

Según Tavares, L. (2001): “es un conjunto de componentes interconectados con que se realiza materialmente una actividad específica en una instalación”. (p. 20).

Un equipo es la unificación de utensilios, instrumentos y aparatos que se combinan para cumplir un fin determinado. (Ver figura 2.1).

Figura 2.1. Generador eléctrico del taladro PDV-01.

Fuente: PDVSA Gas, Anaco.

2.2.2 Sistema

Latorre, E. (1996) ofrece la siguiente definición:

En general un sistema es una totalidad conformada por elementos interrelacionados que persiguen algún objetivo identificable o finalidad. Esta entidad

puede ser concreta o abstracta, natural o artificial y posee una cierta dinámica real y está inmersa dentro de una totalidad mayor o entorno. (p. 52).

Un sistema es un módulo ordenado de elementos que se encuentran interrelacionados y que interactúan entre sí. Este concepto se utiliza tanto para definir a un conjunto de conceptos como a objetos reales dotados de organización.

2.2.3 Falla

La Norma COVENIN 3049-93 (1993) la denomina de esta manera: “es un evento no previsible, inherente a los SP que impide que estos cumplan función bajo condiciones establecidas o que no la cumplan”. (p. 4).

Una falla es un evento indeseable, cuantificable o no en la operación de un equipo. Una falla no precisamente tiene que ver con la parada del equipo. Un equipo puede estar fallando pero puede seguir operando, el detalle está en que aunque está cumpliendo con su cometido, éste podría generar consecuencias cuantificables.

2.2.4 Confiabilidad

Según la norma COVENIN 3049-93 (1993), la confiabilidad es: “la probabilidad de que un SP no falle en un momento dado bajo condiciones establecidas”. (p. 5).

La confiabilidad es la confianza que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación.

2.2.4.1 Confiabilidad operacional

Espinosa, F. (2004) la define así: “es una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la producción industrial”. (p. 1).

La confiabilidad operacional es el desarrollo de una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistémica y sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías de mantenimiento, para optimizar la planeación, ejecución y control de la producción industrial. (Ver figura 2.2).

Figura 2.2. Aspectos que comprende la confiabilidad operacional.

Fuente: www.reporteroindustrial.com

2.2.5 Disponibilidad

Según la Norma COVENIN 3049-93 (1993) es: “la probabilidad de que un SP esté en capacidad de cumplir su misión en un momento dado bajo condiciones determinadas”. (p. 5).

La disponibilidad es la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente.

2.2.6 Frecuencia

Según Suárez, D. (2001): “es el tiempo entre dos (2) inspecciones del mismo elemento del equipo. Es diferente para cada elemento y equipo, se define en función de su trabajo y entorno”. (p. 9).

Las frecuencias más utilizadas en plantas industriales son: diarias (D), semanales (S), mensuales (M), trimestrales (3M), semestrales (6M) y anuales (A).

Esta recopilación incluye la concepción de manuales, para planificar y controlar los programas de baja y alta frecuencia, así como también las actividades de “Monitoreo de Condiciones”, asegurar que los operarios realicen como parte de su trabajo normal el mantenimiento preventivo que se les asigne, garantizar que las fallas potenciales u ocultas se rectifiquen antes de que causen problemas posteriores, planificar las interrupciones y reaccionar cuando estas ocurran voluntaria o involuntariamente.

2.2.7 Equipo natural de trabajo (ENT)

Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED) (1999) plantea que: el equipo de trabajo es establecido debido a la necesidad de contestar de manera más certera las preguntas referidas a la aplicación de la filosofía del MCC, y el personal de mantenimiento no puede contestar todas las interrogantes por sí mismos. Los integrantes del mismo deben ser un equipo multidisciplinario, proactivo, y de estar conformado por personas de los departamentos de mantenimiento, operaciones y el especialista en MCC. (p. 4).

El uso de estos grupos no sólo permite que los directivos obtengan acceso de forma sistemática al conocimiento y experiencia de cada miembro del grupo, sino que

además reparte de forma extraordinaria los problemas del mantenimiento y sus soluciones.

El equipo de trabajo estará dirigido por un facilitador que podrá o no originarse de los departamentos nombrados anteriormente.

- Facilitador: es el líder del equipo de trabajo, y deberá preparar el establecimiento de los métodos a utilizar para la utilización de las habilidades del personal que conforma el equipo de trabajo. (Ver figura 2.3).

Figura 2.3. Miembros del E.N.T de un taladro de perforación.

Fuente: es.slideshare.net

Sus tareas principales serán garantizar:

- La aplicación del MCC de forma correcta.
 - Que el personal que constituye el equipo de trabajo consiga un grado razonable de consenso general respecto a cuáles son las respuestas a las preguntas formuladas.
 - Que no se ignoren componentes críticos.
 - Que las reuniones avancen de manera moderada.
 - Todos los documentos con referencia al MCC deberán ser llenados correctamente.
- Miembros: estos conforman el resto del Equipo Natural de Trabajo (además del facilitador), y van a proporcionar información y conocimientos sobre el funcionamiento operacional del sistema productivo. Entre sus funciones se destacan las siguientes:

- Contribuir con ideas y prácticas vividas en relación con el equipo o sistema.
- Serán los conservadores o responsables del proceso.
- Proporcionarán al facilitador la guía necesaria para cumplir con lo deseado.

Este equipo de trabajo debe desplegarse a través de las siguientes características:

- Alineación: Hace referencia al compromiso que cada miembro sostiene con los acuerdos del equipo, lo que requiere que la misión y visión sean compartidas por todos.
- Coordinación: Esta característica implica que todo el personal constituyente del grupo, teniendo roles y responsabilidades claras, se apropia de las obligaciones del equipo como si fueran obligaciones personales.
- Comprensión: Se requiere habilidad para diferenciar entre los diversos puntos de vista, interpretaciones y los hechos, para así coordinar y generalizar su opinión propia y colaborar con el resto de los integrantes en sus ideas.
- Respeto: Es desarrollar y optimizar la destreza de observar las cosas de igual manera de cómo lo ve otra persona, sin dejar a un lado la perspectiva de la objetividad de la realidad operacional.
- Preguntarse siempre: ¿Quién necesita participar en la reunión y decisiones?
¿A quién es necesario notificarle lo referente a los resultados?
- Confianza: Es mantener la seguridad en que los demás van a desempeñar sus responsabilidades de manera óptima.

2.2.7.1 Visión de los equipos naturales de trabajo

La complicación al momento de conformar equipos naturales de trabajo viene dada por la necesidad de acabar con esquemas tradicionales de trabajo en las áreas de mantenimiento. (Ver tabla 2.1).

Tabla 2.1. Visión de los equipos de trabajo

Tradicional	Cultura de los más exitosos
a) Sistema de progresión de carrera que exige a cada nuevo gerente “producir su impacto individual y significativo al negocio”. b) Gerentes de ciclos cortos en diversos campos, creando la necesidad de cambios de iniciativa para “dejar su huella”.	a) Afinidad por el trabajo en equipo. b) Equipos naturales de trabajo son vistos como los mayores contribuyentes al valor de la empresa y trabajan consistentemente a largo plazo. c) Gerentes guían a los miembros hacia el crecimiento del equipo y a obtener mejores resultados bajo el esquema ganar/ganar.

Fuente: es.slideshare.net

2.2.8 Mantenimiento

Según la Norma COVENIN 3049-93 (1993) se define como: “el conjunto de acciones que permite conservar o restablecer un SP a un estado específico, para que pueda cumplir un servicio determinado”. (p. 1).

El mantenimiento es el conjunto de actividades que permiten mantener un equipo o sistema en condición operativa.

2.2.8.1 Objetivos del mantenimiento

- Mejorar continuamente los equipos hasta su más alto nivel operativo, mediante el incremento de la disponibilidad, efectividad y confiabilidad.
- Aprovechar al máximo los componentes de los equipos, para disminuir los costos de mantenimiento.
- Garantizar el buen funcionamiento de los equipos, para aumentar la producción.
- Cumplir todas las normas de seguridad y medio ambiente.
- Maximizar el beneficio global.

2.2.8.2 Funciones del mantenimiento

Las funciones del mantenimiento se dividen en dos (2) clases: primarias y secundarias.

- Funciones Primarias:
 - Mantener los equipos funcionando óptimamente.
 - Modificar, instalar, desincorporar equipos e instalaciones.
 - Desarrollar programas y planes de mantenimiento preventivo.
 - Selección y adiestramiento de personal de mantenimiento.
- Funciones Secundarias:

- Asesorar la adquisición de nuevos equipos.
- Realizar pedido de repuestos, herramientas y suministros generales para el funcionamiento de los equipos e instalaciones.
- Controlar y asegurar el inventario de repuestos y suministros.
- Cualquier otro servicio delegado por la administración de la organización.

2.2.8.3 Importancia del mantenimiento

Su función clave es lograr las metas u objetivos de la empresa, contribuyendo a minimizar los costos, disminuyendo los tiempos muertos de los equipos, aumentando su calidad de servicio, maximizando la productividad y disponer de elementos confiables que hagan posible la satisfacción de los clientes, al realizar entregas oportunas, como respuesta eficaz a sus solicitudes. El mantenimiento cumple un papel fundamental dentro de la organización, ya que reduce el costo del ciclo de vida de los sistemas de producción y aumenta la confiabilidad, eficacia y disponibilidad de estos.

2.2.9 Tipos de mantenimiento

Existen dos tipos básicos de mantenimiento, el preventivo y el correctivo, los cuales por la manera de ejecución, frecuencia, propósito, recursos e instrumentos usados, generan otros subtipos de mantenimiento.

2.2.9.1 Mantenimiento preventivo

La Norma COVENIN 3049-93 (1993) concluye que: el mantenimiento preventivo es el que utiliza todos los medios disponibles, incluso los estadísticos, para determinar la frecuencia de las inspecciones, revisiones, sustitución de piezas claves,

probabilidad de aparición de averías, vida útil u otras. Su objetivo es adelantarse a la aparición o predecir la presencia de las fallas. (p. 2).

El mantenimiento preventivo es el destinado a la conservación de equipos o instalaciones mediante la realización de revisión periódica y reparación oportuna que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad. El mantenimiento preventivo se realiza en equipos en condiciones de funcionamiento. (Ver figura 2.4).

Figura 2.4. Mantenimiento preventivo a motor eléctrico.

Fuente: www.sulzer.com

- Tipos de Mantenimiento Preventivo:
 - Mantenimiento Sistemático: son actividades establecidas en función del uso del equipo (kilómetros, horas, entre otros).
 - Mantenimiento de Ronda: es aquel donde se dan instrucciones para atender al equipo en forma muy frecuente y estable; se basa en el concepto de que mientras mejor atendida esté la máquina, genera menor cantidad de problemas.
 - Mantenimiento Condicional: son actividades basadas en el seguimiento del equipo mediante el diagnóstico de sus condiciones.
 - Mantenimiento Predictivo: consiste en el monitoreo de condiciones y análisis del comportamiento de los equipos para determinar intervenciones, según los niveles de admisibilidad.

2.2.9.2 Mantenimiento correctivo

La Norma COVENIN 3049-93 (1993) lo define como: “aquel que comprende las actividades de todo tipo encaminadas a tratar de eliminar la necesidad de mantenimiento, corrigiendo las fallas de una manera integral a mediano plazo”. (p. 2).

El mantenimiento correctivo se caracteriza por reparar o poner en condiciones de funcionamiento aquellos equipos que dejaron de funcionar o están dañados. (Ver figura 2.5).

Figura 2.5. Corrección de falla en montacargas.

Fuente: www.solumant.com

2.2.10 Mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC)

Según Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED) (1999) el MCC se define como:

Una filosofía de mantenimiento desarrollada con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas, es decir, es una técnica basada en el análisis funcional, organizado, lógico y documentado, para construir o modificar un plan de mantenimiento, conservando el mejor balance entre su costo y la confiabilidad del servicio. (p. 5).

El MCC es una metodología desarrollada con la finalidad de determinar las mejores políticas para optimizar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas. El mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) es usado para determinar lo qué debe ser hecho para asegurar que cualquier recurso físico o sistema continúe prestando el servicio que sus usuarios quieren de él.

Moubray, J. (1999) para describir la metodología del MCC, se basa en siete (7) preguntas claves, que pueden agruparse en dos (2) etapas: registro de información y toma de decisiones.

La mejor forma de dar respuesta verdadera a cada una de las preguntas formuladas en esta metodología, es a través del procedimiento sistemático del flujograma mostrado en la figura 2.6.

Figura 2.6. Las 7 preguntas del MCC.

Fuente: www.construsur.net

Moubray, J. (1999), describe cada uno de los pasos que sigue la metodología, pero no sin antes recalcar que en principio hay que definir bien el sistema, para ello es necesario resaltar los “Límites de Baterías” (que son las fronteras que delimitan los componentes que forman parte del análisis de MCC), esto conlleva a la elaboración de un documento denominado “Contexto Operacional”, el cual contiene toda la información referente al funcionamiento de la instalación, la misma, comprende los procesos principales, parámetros de operación, personal, mantenimiento existente, niveles de producción, listado de equipos existentes dentro de los límites de baterías, entre otros. (p. 133).

Teniendo como base este documento se procede a realizar el análisis de MCC, siguiendo los siete (7) pasos mencionados anteriormente, para la aplicación de cada uno de los mismos, la filosofía MCC, plantea las siguientes siete (7) preguntas para la instalación a analizar:

1. ¿Qué es lo que hace el sistema o componente? (Funciones).
2. ¿De qué forma puede fallar? (Fallas Funcionales).
3. ¿Qué causa que falle? (Modos de Falla).

4. ¿Qué sucede cuando falla? (Efectos de las Fallas).
5. ¿Qué ocurre cuando falla? (Consecuencias de las Fallas).
6. ¿Qué se puede hacer para prevenir las fallas? (Tareas Preventivas).
7. ¿Qué sucede si no se pueden prevenir las fallas? (Acciones a “falta de”).

2.2.10.1 Beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC)

Según INTEVEP (2004): “el mantenimiento es beneficioso para toda organización cuando es utilizado correctamente, sin embargo, cuando no es utilizado de la forma más apropiada trae como consecuencia costos elevados”. (p. 15).

Algunos beneficios que se pueden lograr aplicando esta metodología son:

- Mayor protección y seguridad en el entorno: como resultado de la mejora en el mantenimiento de los dispositivos de seguridad existentes, la aplicación de estrategias para prevenir los modos de fallas que puedan afectar el funcionamiento de un sistema e implantando las tareas preventivas ideales.
- Incremento de la vida útil de los equipos, debido al uso de la base de datos de mantenimiento que conduce a la realización y actualización de los planes de mantenimiento.
- Mejoramiento de la imagen de la organización con un realce de la impresión de clientes y entorno, así como el incremento de la moral de los trabajadores que operan los equipos e instalaciones”.
- Mejor trabajo de grupo: motivado por un planteamiento altamente estructurado del grupo de análisis de los problemas de mantenimiento y a la toma de decisiones.

- Permite aumentar los rendimientos operativos: mediante diagnósticos más eficaces de los fallos a través de la referencia a los modos relacionados con la función y el análisis de sus efectos”.

2.2.10.2 Limitaciones del mantenimiento centrado en confiabilidad

Según Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED) (1999): “el MCC es una herramienta analítica y sistemática, que estudia minuciosamente las funciones de los activos, sus modos y efectos de fallas para implementar el mantenimiento adecuado, sin embargo, esta presenta dos (2) obstáculos a la hora de aplicar los planes que el mismo genera”. (p. 6).

Las dificultades que presenta son:

- El tiempo que se requiere para obtener los resultados a largo plazo.
- Inicialmente requiere de una alta inversión de recursos.

2.2.10.3 Clave del éxito de la implantación del mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC)

Según Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED) (1999):

- El éxito de la implantación del MCC, dependerá fundamentalmente del recurso humano involucrado, motivo por el cual, hay que tener un especial cuidado en el proceso de inducción y en la formación del personal que participará en la implantación del MCC.
- Este proceso de inducción y formación, deberá ser capaz de motivar al personal y generar en el mismo el compromiso necesario, con respecto a la

ejecución de cada uno de los pasos que trae consigo la implantación del MCC, todo esto con el fin de que se puedan alcanzar los objetivos y las metas previamente establecidas por la gestión de confiabilidad operacional.

- Justificar la aplicación del MCC, y posteriormente, identificar las áreas con oportunidades reales de mejora (no aplicar MCC sólo porque sea frecuentemente utilizada por otras organizaciones).
- No aislarse, ni pretender resolver todos los problemas de mantenimiento con el MCC. Es importante recordar que existen otras herramientas que pueden complementar los resultados del MCC y ayudar a optimizar la confiabilidad operacional de forma integral.

2.2.11 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).

También es el análisis de confiabilidad que establece un orden de prioridades de mantenimiento sobre una serie de instalaciones y equipos, otorgándole un valor numérico o estatus, en función de ciertos factores a tomar en cuenta.

El análisis se orienta a través de tormenta de ideas en una reunión de trabajo con un grupo multidisciplinario conformado por la línea supervisora y trabajadores de operaciones y mantenimiento, ingeniería de procesos o infraestructura y analista de mantenimiento, con la finalidad de unificar criterios y validar la información.

2.2.11.1 Clasificación de la criticidad

Según Suárez, D. (2001). Los equipos se clasifican de acuerdo a su criticidad en categorías:

- No Crítico.
- Semi-Crítico.
- Crítico.

2.2.11.2 Metodología D.S para aplicar criticidad

Esta metodología nació en el departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Oriente como producto de investigación del Grupo de Ingeniería Mecánica (GIM) y la misma fue publicada en el IV Congreso Bolivariano de Ingeniería Mecánica (SOMIM) en 2005 por Diógenes Suárez. Es un método que se encarga de determinar la criticidad de equipos o componentes, basado en estudiar por separado factores del área de mantenimiento y el de operación, con el fin de ponderarlos y determinar la criticidad. (Ver figura 2.7).

Figura 2.7. Clasificación de los factores a evaluar en los equipos según la metodología D.S.

Fuente: Diógenes Suárez.

La criticidad a determinar por este método, depende de los siguientes factores:

- En el área de mantenimiento:
 - Cantidad de fallas ocurridas: este parámetro es la cantidad o número de veces que el activo falla en el tiempo de estudio.

- Tiempo promedio fuera de servicio (MTFS): es el promedio del tiempo que el activo está indisponible o fuera de servicio, durante el tiempo de estudio. Es el resultado de calcular la sumatoria de todos los tiempos fuera de servicio y dividirlos entre la cantidad de datos de tiempos fuera de servicio. (Ver Ec. 2.1).

$$\text{MTFS} = \frac{\text{TFS}_1 + \text{TFS}_2 + \dots + \text{TFS}_n}{n}$$

Ec. 2.1

- Disponibilidad de Repuestos (DR): es el porcentaje de componentes nuevos adquiridos con respecto a la cantidad de repuestos pedidos o necesarios para mantenimiento. Es el valor obtenido al dividir la cantidad de repuestos satisfecha entre la cantidad de repuestos demandada. (Ver Ec. 2.2).

$$\text{DR} = \frac{\text{Cantidad Satisfecha}}{\text{Cantidad Demandada}} \times 100$$

Ec. 2.2

- Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP): es el porcentaje en que se ejecutan las órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo. Es el índice que refleja el tanto por ciento de órdenes de trabajo (ODT) ejecutadas contra las órdenes de trabajo (ODT) emitidas. (Ver Ec. 2.3).

$$\text{CMP} = \frac{\text{ODT Ejecutadas}}{\text{ODT Emitidas}} \times 100$$

Ec. 2.3

- Efectividad: es el porcentaje del tiempo en que el activo está realmente en operatividad con respecto al tiempo programado para estar operativo.
- En el área de operaciones:
 - Tipo de Conexión: este factor evalúa como está conectado el activo operacionalmente, ya sea en serie, paralelo o combinación.

- Costo de Producción en el Periodo a Evaluar: este indicador resulta de la comparación de los costos que trae como consecuencia la falla del activo, con los costos que se propone como meta la organización.
- Seguridad del Personal, Equipos y/o Ambiente: es la evaluación de las consecuencias por falla del activo sobre la seguridad de las personas, los equipos y el medio ambiente.

Para el cálculo de la criticidad, se deben tener los valores del área de mantenimiento y el área de operaciones, para luego ingresarlos a la ecuación 2.4, mostrada a continuación:

$$\text{Critic del Eq} = [K1 (\text{Ptos área de mantenimiento}) + K2 (\text{Ptos área operacional})] \times 100$$

Ec. 2.4

Dónde:

K1= 0,0333

K2= 0,0555

Los valores de K1 y K2, son los recomendados por el autor de la metodología D.S, para que la evaluación obtenida sea menor o igual a 100% y se cumpla con el valor asignado a cada área.

Los valores del área de mantenimiento y del área de operaciones que se sustituyen en la ecuación 2.4, necesaria para obtener la clasificación de criticidad de los motores estudiados, provienen de las ponderaciones asignadas por los encuestados a los factores evaluados en el formato de encuesta basado en la metodología D.S que se muestra a continuación en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Formato de encuesta utilizado (según metodología D.S).

Fuente: Diógenes Suárez (2001).

En la tabla 2.3 se muestra el formato de la encuesta diseñada para evaluar cada equipo de forma individual, basándose en 10 encuestados por cada formato.

Tabla 2.3. Formato utilizado para resultados de encuestas por equipo.

Fuente: El autor

En la tabla 2.4 se muestran los niveles de criticidad que pueden obtener los equipos estudiados dependiendo del total porcentual que obtengan luego de sustituir los valores obtenidos en la encuesta (mostrada en tabla 2.2) en la ecuación 2.4.

Tabla 2.4. Valores para clasificar la criticidad de los activos.

CRITICIDAD	PONDERACIÓN
No Crítico	$(33 \leq \text{Ponderación Total} < 50\%)$
Semi-Crítico	$50 \leq \text{Ponderación Total} < 70\%$
Crítico	$(\text{Ponderación Total} > 70\%)$

Fuente: Diógenes Suárez.

En la tabla 2.5 se sustituyen los valores obtenidos de las encuestas en la ecuación 2.4, y dependiendo del resultado porcentual obtenido se selecciona con una “X” el nivel de criticidad correspondiente.

Tabla 2.5. Matriz de criticidad utilizada**Fuente:** Diógenes Suárez**2.2.12 Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)**

Bernal L. (2002) lo define así: “es 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).

El Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) será un proceso sistemático que se aplicará para identificar las fallas potenciales de los componentes de los motores eléctricos que resulten más críticos antes de que éstas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas.

Por lo mencionado previamente, se deduce que el objetivo básico del AMEF, es encontrar todas las formas o modos en los cuales puede fallar un activo dentro de un proceso, e identificar las posibles consecuencias o efectos de fallas en función de tres (3) criterios básicos para el MCC: seguridad humana, ambiente y operaciones (producción).

Para cumplir con este objetivo se debe realizar el AMEF siguiendo la siguiente secuencia:

- Explicar las funciones de los activos del área seleccionada y sus respectivos estándares de ejecución.
- Definir las fallas funcionales asociadas a cada función del activo.
- Definir los modos de fallas asociados a cada falla funcional.
- Establecer los efectos o las consecuencias asociadas a cada modo de falla.

2.2.12.1 Funciones y sus estándares de funcionamiento (lo que hace el sistema o componente)

Villamizar, L. (2004), señala que: el primer paso en el proceso MCC es definir las funciones y los estándares de comportamiento funcional de cada activo en su contexto operativo, junto con el correspondiente nivel de los resultados deseados, esto nos permite responder la primera pregunta del análisis MCC. (p. 134).

Las funciones se dividen en dos (2) tipos:

- Funciones Primarias: son las razones por las que el equipo existe, de modo que normalmente es una tarea sencilla identificarlas y describirlas.
- Funciones Secundarias: suelen ser menos obvias que las primarias. Las funciones secundarias típicas incluyen: ambiente, seguridad, contenedores, confort, apariencia, protección, economía, eficiencia y superfluos.

Cada elemento en una planta, debe tener una función o funciones específicas. alguna pérdida de estas funciones afectará dependiendo de:

- La función de los equipos en su contexto operacional.
- El comportamiento funcional de los equipos en ese contexto operacional.

El MCC comienza definiendo las funciones y estándares de comportamiento funcional de cada elemento de los equipos en su contexto operacional. Los estándares de funcionamiento se refieren a producción, calidad, servicio al cliente, problemas del medio ambiente, costos operacionales y seguridad.

Cada función tiene dos (2) criterios de funcionamiento que son:

- **Confiabilidad Inherente:** es lo que es capaz de realizar el elemento, de acuerdo a su diseño.
- **Prestación Deseada:** es lo que se quiere que consiga el elemento.

Dependiendo del contexto operacional, máquinas idénticas pueden tener distintas funciones primarias (diferentes criterios de funcionamiento), por otra parte, si las funciones son idénticas y los elementos son idénticos, pueden tener criterios de funcionamiento diferentes dependiendo del contexto operacional.

2.2.12.2 Fallas funcionales (¿de qué forma puede fallar?)

Villamizar, L. (2004), expresa que: la falla funcional 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. (p. 136).

2.2.12.3 Modos de falla (¿qué causa que falle?)

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).

Se hace una lista de modos de falla, para cada falla funcional, anotando solo aquellos que tengan más probabilidad razonable de que se produzcan, estas pueden ser tales como:

- Los que se han producido anteriormente en el mismo equipo.
- Los que son objeto de mantenimiento cíclico preventivo.
- Los que se consideren más posibles, así no hayan sucedido.

Al describir un modo de falla, se debe intentar utilizar un verbo preciso para describir el mismo, y tratar de no usar excesivamente la palabra “Falla”. Para evitar concentrarse en los “Síntomas” de las fallas, es esencial registrar las causas fundamentales de cada falla funcional, al definir los modos de las mismas. Los operarios, especialistas, encargados o fabricantes del equipo, así como los antecedentes técnicos y base de datos, son las fuentes de información más importantes para identificar los modos de falla presentes en un equipo.

Muchas veces existen modos de falla complejos, y se trata de elementos que pueden fallar de varias formas, estos se pueden tratar como:

- Registrar como modo de falla general (caja negra). Es decir, su análisis particular es un nuevo análisis.
- Enumerar individualmente todos los modos de falla.
- En una hoja individual, analizar todas las funciones, fallas funcionales, modos de falla y efecto de falla, del elemento aparte.

Un elemento se trata como caja negra si se cumplen las siguientes premisas:

- Se cambia al fallar.
- Es pequeño pero complejo.
- No tiene modo de falla predominante.
- No es probable que esté en el plan de prevención de fallas.
- Si los modos de fallas son producidos por los servicios.
- Elementos técnicamente idénticos, pueden tener modos de fallas distintos si el contexto operacional es diferente.

2.2.12.4 Efectos de fallas (¿qué sucede cuando falla?)

Villamizar, L. (2004), 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).

Al describir un efecto de falla se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Evidencias (si es que las hay) de que se produjo la falla.
- Maneras en que afecta la seguridad o el medio ambiente.
- Maneras en que afecta a la producción o al funcionamiento de la planta.
- Daños físicos causados.
- Qué se debe hacer para corregir la falla.

2.2.12.5 Hoja de Información

Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED) (1999), expresa que: es la hoja donde es asentada la información recopilada en los primeros cuatro (4) pasos

del MCC, es decir, las funciones, fallas funcionales, modos de fallas y los efectos de las fallas, el análisis sintetizado en esta hoja se denomina “Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF)”, ésta se encuentra dividida en cuatro (4) columnas y en la parte superior de la hoja aparece la identificación del elemento, componente, por quien fue realizada y revisada la hoja de información, igualmente aparece el número de la hoja. (p. 8).

En la tabla 2.6 se muestra el formato del A.M.E.F necesario para recopilar la información de los componentes estudiados.

Tabla 2.6. Hoja de información para análisis de modos y efectos de fallas (AMEF).

Fuente: El investigador

2.2.12.6 Beneficios del análisis de los modos y efectos de fallas (AMEF)

Según Suárez, D. (2001):

La eliminación de los modos de fallas potenciales, tienen beneficios tanto a corto como a largo plazo. Principalmente, representa ahorro de los costos de reparaciones, las pruebas representativas y los tiempos de paro. El beneficio a largo plazo es mucho más difícil de medir, puesto que se relaciona con la satisfacción del cliente, con el producto y con su percepción de la calidad. Esta percepción afecta las futuras compras de los productos y es decisiva para crear una buena imagen de lo mismo. (p. 180).

Por otro lado, el AMEF apoya y refuerza el proceso de diseño ya que:

- Ayuda en la selección de alternativas durante el diseño.
- Incrementa la probabilidad de que los modos de fallas potenciales y sus efectos sobre la operación del sistema sean considerados durante el diseño.

- Proporciona una información adicional para ayudar en la planeación de programas de pruebas concienzudas y eficientes.
- Desarrolla una lista de modos y fallas potenciales, clasificados conforme a su probable efecto sobre el cliente.
- Proporciona un formato documentado abierto para recomendar acciones que reduzcan el riesgo para hacer el seguimiento de ellas.
- Detecta fallas en donde son necesarias las características de autocorrección o de la leve protección.
- Identifica los modos de fallas conocidos y potenciales que de otra manera podrían pasar desapercibidos.
- Detecta fallas primarias, a menudo mínimas, que pueden causar ciertas fallas secundarias.
- Proporciona un punto de vista fresco en la comprensión de las funciones de un sistema.

2.2.13 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).

Los árboles de decisión son herramientas excelentes para ayudar a realizar elecciones adecuadas entre muchas posibilidades. Su estructura permite seleccionar una y otra vez diferentes opciones para explorar las diferentes alternativas posibles de decisión. (Ver figura 2.8).

Figura 2.8. Diagrama de Decisión por la Norma SAE JA 1012.

Fuente: Norma SAE JA 1012.

Cabe destacar que el primer paso para seleccionar las tareas de mantenimiento consiste en identificar las consecuencias que generan los modos de fallas, cuestión que consigue el grupo multidisciplinario de trabajo a partir del AMEF.

Luego de seleccionar el tipo de tarea de mantenimiento a partir del Árbol Lógico de Decisión, se tiene que especificar la acción de mantenimiento a ejecutar asociada al tipo de tarea de mantenimiento seleccionada, con su respectiva frecuencia de ejecución, teniendo en cuenta que uno de los objetivos principales del MCC, es evitar o al menos reducir las posibles consecuencias a la seguridad humana, al ambiente y a las operaciones, que traerán consigo la aparición de los distintos modos de fallas. Las frecuencias de ejecución para cada acción se pueden establecer según se relacione la tarea de mantenimiento a ejecutar con el envejecimiento.

Ahora bien, no solo debe considerar las tareas preventivas, también se debe tomar en cuenta el hecho de que dichas tareas no puedan evitar el fallo, en tal caso, la tarea de mantenimiento seleccionada en el Árbol Lógico de Decisión será “a falta de”. Más aún, si se trata de una tarea de búsqueda de fallos también deberá especificar la acción de mantenimiento a ejecutar, con su respectiva frecuencia. En tal caso, se recomienda que estas actividades se realicen a intervalos de baja frecuencia (semanales o mensuales). Este tipo de actividades trata de evitar fallos que no son evidentes a los operarios y acarrear fallos múltiples.

2.2.13.1 Consecuencias de las fallas (¿qué ocurre cuando falla?)

Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED) (1999), expresa que: “es como y cuanto importa cada falla, son los impactos que produce cada modo de

falla en el negocio, estas indican si se necesita prevenirlas y con qué esfuerzo”. (p. 10).

Según la norma SAE JA 1012 las consecuencias de las fallas se clasifican en cuatro (4):

- Consecuencias para la Seguridad: una falla tiene consecuencias de seguridad si hay una probabilidad intolerable que podría matar o herir a un ser humano.
- Consecuencias Ambientales: se refiere a la seguridad o el bienestar de su sociedad. Tales fallas tienden a ser clasificados como "medioambiente". Las expectativas de la sociedad toman la forma de normas ambientales nacionales, regionales y municipales. Algunas organizaciones también tienen sus propios estándares corporativos más estrictos. Como resultado, una falla tiene consecuencias ambientales si hay una probabilidad intolerable que podría romper cualquier estándar ambiental conocido o reglamento.
- Consecuencias Operacionales: son las fallas que afectan las funciones primarias de los activos, y en consecuencia, afectan la capacidad de ganar ingresos de la organización. La magnitud de estos efectos depende mucho cómo se utiliza el equipo y la disponibilidad de alternativas. Sin embargo, en casi todos los casos los costos de estos efectos son mayores, a menudo mucho mayor, que el costo de la reparación de los fallos y estos costos deban tenerse en cuenta al evaluar la rentabilidad de cualquier política de gestión del fracaso. En general, fallas afectan operaciones en cuatro formas:

- a. Afectan salida total o rendimiento.
 - b. Afectan la calidad del producto.
 - c. Se afecta el servicio al cliente (y puede incurrir en sanciones financieras).
 - d. Aumentan los costos operativos además del costo directo de reparación.
- Consecuencias No Operacionales: las consecuencias de una falta evidente que no tiene ningún efecto adverso directo sobre la seguridad, el medio ambiente o la capacidad operativa se clasifican como no operacionales. Las consecuencias sólo asociadas con estas fallas son los costos directos de reparación del fracaso propio y cualquier daño secundario, por lo que estas consecuencias son también económicas.

2.2.13.2 Tareas preventivas (¿qué se puede hacer para prevenir las fallas?)

Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED) (1999), expresa que: “son aquellas que ayudan a decidir qué hacer para prevenir una consecuencia de falla”. (p. 11).

El que una tarea sea técnicamente factible depende de las características de la falla y la tarea. Después de haber completado los primeros cinco (5) pasos, la información recopilada en los mismos, se registra en la “Hoja de Información”, la cual se explica más adelante. Luego, se comienza a llenar la “Hoja de Decisión”, comenzando con las tareas preventivas, las cuales se dividen en tres (3) categorías:

- a. 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 periodo de tiempo.

Según Huerta, R. (2010): “los equipos se dejan funcionando a condición de que continúen satisfaciendo los estándares de funcionamiento deseado”. (p. 187).

Las tareas a condición son cíclicas y se hacen con cierta frecuencia, y ésta a su vez depende del intervalo P-F, para explicar el concepto de este intervalo hay que definir lo que es una falla potencial.

- Falla Potencial: es un estado físico identificable que indica que está a punto de producirse una falla funcional, o está ocurriendo ya, como ejemplo de fallas funcionales se pueden citar:
 - Puntos calientes que significan el deterioro de la obra refractaria de un horno.
 - Vibraciones que presagian la falla inminente de un cojinete.
 - Grietas que indican la fatiga del componente.
 - Partículas en el aceite de una caja de engranajes que indican la falla inminente de los mismos.

Obsérvese en la figura 2.9, la ubicación de una falla potencial con respecto a una falla funcional.

Figura 2.9. Ubicación de la falla potencial.

Fuente: www.monografias.com

- Intervalo P-F: Huerta, R (2010) señala que: “es el tiempo transcurrido entre una falla potencial hasta que se convierta en una falla funcional, este puede

medirse en unidades que proporcionen una indicación de su exposición al desgaste, pero se suele medir en términos del tiempo transcurrido”. (p. 188).

La frecuencia de una tarea a condición está gobernada por el intervalo P-F, en la práctica, normalmente es suficiente seleccionar una frecuencia de tarea que sea la mitad del intervalo P-F, que permita realizar las tareas antes de que ocurra la falla funcional.

- b. Tareas de Reacondicionamiento Cíclico: Según Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED) (1999), “consiste 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 la edad en que el elemento o componente exhibe un incremento rápido de la probabilidad condicional de falla”. (p. 12).

Las tareas de reacondicionamiento cíclico son técnicamente factibles si:

- Existe una edad a partir de la cual se incrementa la probabilidad condicional de falla.
- La mayoría de los elementos sobreviven a esta edad, y si las fallas, afectan a la seguridad o al medio ambiente, todos los elementos deben soportar esta edad.
- Se puede conseguir su estado original realizando la tarea.

El que las tareas de reacondicionamiento cíclico sean técnicamente factibles, no quiere decir que sean necesariamente eficaces, deben reducir al máximo las fallas que tengan consecuencias para la seguridad o el medio ambiente, si son consecuencias económicas, su costo a través de un periodo de tiempo debe ser menor que el costo de permitir que ocurra la falla.

- c. Tareas de Sustitución Cíclica: Según Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED) (1999), “consisten en reemplazar un equipo o sus componentes a frecuencias determinadas, independientemente de su estado en ese momento”. (p.13).

La frecuencia de una tarea de sustitución cíclica está gobernada por la “vida útil” de los elementos (en otras palabras, la edad para la cual hay un rápido incremento en la probabilidad de falla).

2.2.13.3 Hoja de decisión

Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED) (1999), señala que: esta hoja se elabora a partir del Árbol Lógico de Decisiones, con la información procesada en los tres (3) últimos pasos del MCC, de acuerdo a la referencia de la hoja de información. En ella se clasifican el tipo de consecuencia que tiene la falla (fallas ocultas, para la seguridad y el medio ambiente, operacionales y no operacionales) y el tipo de tarea preventiva que se va a realizar. (p. 15).

En la tabla 2.7 se muestra el formato del A.L.D necesario para recopilar la información sobre las actividades de mantenimiento seleccionadas para ser aplicadas a los equipos en estudio.

Tabla 2.7. Hoja de decisión para los motores eléctricos DC.

Fuente: El autor

2.2.14 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.
- Realizar análisis de fallo de la instalación. Esto último en caso de que se tenga información del equipo o sistema en estudio.

Duffua, S. (2000) expresa que: el plan de mantenimiento es 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).

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:

- Manuales de Mantenimiento.
- Programas de Mantenimiento.

2.2.14.1 Manuales de mantenimiento

De acuerdo con la norma COVENIN 3049-93 (1993): “los manuales son documentos técnicos específicos de este sistema productivo, necesarios para cumplir con los objetivos de mantenimiento”. (p. 10).

Es un documento indispensable para cualquier tipo y tamaño en la industria. Refleja la filosofía, política organización, procedimiento de trabajo y de control de esta área de la empresa, teniendo en cuenta los catálogos de los equipos suministrados por el fabricante y la experiencia de los técnicos. Disponer de un manual es importante por cuanto: constituye el medio que facilita una acción planificada y eficiente del mantenimiento e induce al desarrollo de un ambiente de trabajo que conduce a establecer una conducta responsable y participativa del personal y al cumplimiento de los deberes establecidos. (Ver figura 2.10).

Figura 2.10. Manuales de equipos Caterpillar.
Fuente: www.cat.com

2.2.14.2 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. (Ver tabla 2.8).

Tabla 2.8. Hoja de mantenimiento aplicada.

Fuente: El autor

2.2.15 Perforación

Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED) (1998), define el proceso de perforación como: la operación de producción mediante la cual se tiene acceso a los yacimientos de petróleo, con la finalidad de extraer los crudos. El objetivo de la perforación es la construcción de un hoyo que comunique la superficie con las secciones del subsuelo donde se encuentre el petróleo. (p. 3).

La perforación consiste en agujerear o taladrar una superficie, con una máquina o instrumento, atravesando de ella la cantidad necesaria que le permita aproximarse a los yacimientos de hidrocarburo (petróleo) y proceder a su extracción. (Ver figura 2.11).

Figura 2.11. Perforación de pozo petrolero.

Fuente: empleospetroleros.org

2.2.16 Taladro de perforación petrolero

Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED) (1998) lo deduce así: también llamado torre de perforación, es un dispositivo utilizado para realizar la perforación del suelo, generalmente entre 800 y 6.000 metros de profundidad, para pozos ya sean de gas, agua o petróleo En su libro El taladro y sus componentes. (p. 5).

El taladro de perforación petrolero es una máquina utilizada para perforar hoyos de gran profundidad en el suelo, con el fin de drenar un yacimiento geológico de la manera más económica y rápida posible. Es usado de manera intermitente, ya que el funcionamiento del taladro mismo y las operaciones conexas para realizar las perforaciones requieren hacer pausas durante el curso de los trabajos. (Ver figura 2.12).

Figura 2.12. Taladro ACM (128).
Fuente: PDVSA Gas, Anaco.

2.2.16.1 Sistema de circulación

Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED) (1998) lo define de la siguiente manera: 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. 7).

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 siquiera 5 metros en el suelo, debido a que la gran fricción generada elevaría la temperatura y fundiría la mecha. (Ver figura 2.13).

Figura 2.13. Sistema de circulación del Taladro AP (160).
Fuente: El autor

- Fluidos de perforación

Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED) (1998) en su libro *El taladro y sus componentes* dice: es conveniente tener en cuenta que el fluido de perforación (F.P) es una parte principal del éxito de la perforación de un pozo y del control de algunos problemas, ya que están trabajando, en forma directa, con sus propiedades sobre el agujero. Por tanto es importante supervisar y llevar el control de sus propiedades para mayor efectividad de sus funciones. (p. 9).

El fluido de perforación es un líquido o gas que circula a través de la sarta de perforación hasta a la barrena y regresa a la superficie por el espacio anular. (Ver figura 2.14).

Figura 2.14. Lodo de perforación.
Fuente: www.ingenieriadepetroleo.com

- Pérdida de circulación

Según Woodruff (1961): este es uno de los inconvenientes más comunes y frecuentes en el proceso de perforación. Consiste en la fuga del fluido (lodo, cemento u otros) hacia la formación. Estas pérdidas representan gastos de materiales, tiempo de taladro, e inclusive, la misma pérdida del pozo. (p. 72).

2.2.17 Bomba de lodo

Según Manual de PDVSA Servicios S.A (2013): es el componente primario del Sistema de Circulación. Ella provee la fuerza de impulsión requerida para mover la

columna de lodo desde la superficie hasta la mecha, y de regreso hasta la superficie. Es también uno de los elementos críticos del programa de hidráulica. (p.114).

Una bomba de lodo es una máquina que absorbe energía mecánica proveniente de un motor eléctrico y la transforma en energía que la transfiere a un fluido como energía hidráulica la cual permite que el fluido pueda ser transportado de un lugar a otro, variando parámetros como velocidad, caudal y presión. (Ver figura 2.15).

Figura 2.15. Bomba de lodo del PDV-01.

Fuente: PDVSA Gas, Anaco.

2.2.18 Máquina eléctrica rotativa

Chapman, S. (2003) plantea que:

Una máquina eléctrica rotativa es un dispositivo que puede convertir energía mecánica en energía eléctrica o energía eléctrica en energía mecánica. Cuando este dispositivo es utilizado para convertir energía mecánica en eléctrica se denomina generador, y cuando convierte energía eléctrica en energía mecánica se denomina motor. (p. 8).

Una máquina eléctrica rotativa es una máquina que transforma energía mecánica en eléctrica o eléctrica en mecánica por medio de un rotor y un campo magnético. En la figura 2.16 podemos observar como están clasificadas estas máquinas eléctricas.

Figura 2.16. Taxonomía de los motores eléctricos.

Fuente: Sanjuro (1990).

2.2.19 Motor eléctrico DC

Según Manual de PDVSA Servicios S.A (2013):

Son motores que convierten la energía eléctrica continua en mecánica, provocando un movimiento rotatorio. En el caso de los taladros de perforación, se emplean en el suministro de potencia para operar las bombas de lodo, el malacate, la mesa rotaria y el equipo auxiliar. (p. 46).

Un motor eléctrico es un dispositivo rotativo que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. (Ver figura 2.17).

Figura 2.17. Motor eléctrico del taladro ESMA.

Fuente: PDVSA Gas, Anaco.

2.2.19.1 Principio básico de funcionamiento de un motor eléctrico DC

Cuando un conductor por el que fluye una corriente continua es colocado bajo la influencia de un campo magnético, se induce sobre él (el conductor) una fuerza que es perpendicular tanto a las líneas de campo magnético como al sentido del flujo de la corriente. Ver figura 2.18.

Figura 2.18. Funcionamiento de un motor DC.

Fuente: www.unicrom.com

En la figura 2.19 podemos observar como se tiene que colocar este conductor con respecto al eje de rotación del rotor para que exista movimiento.

Figura 2.19. Conductor con respecto al eje del rotor.

Fuente: www.unicrom.com

Pero en el rotor de un motor DC no hay solamente un conductor sino muchos. Si se incluye otro conductor exactamente al otro lado del rotor y con la corriente fluyendo en el mismo sentido, el motor no girará debido a que las dos fuerzas ejercidas para el giro del motor se cancelan. (Ver figura 2.20).

Figura 2.20. Dos conductores con respecto al eje del rotor.

Fuente: www.unicrom.com

Es por esta razón que las corrientes que circulan por conductores opuestos deben tener sentidos de circulación opuestos. Si se hace lo anterior, el motor girará por la suma de la fuerza ejercida en los dos conductores.

Para controlar el sentido del flujo de la corriente en los conductores se usa un conmutador que realiza la inversión del sentido de la corriente cuando el conductor pasa por la línea muerta del campo magnético.

La fuerza con la que el motor gira (el par motor) es proporcional a la corriente que hay por los conductores. A mayor tensión, mayor corriente y mayor par motor.

2.2.19.2 Partes básicas de un motor de corriente continua

Los componentes básicos de un motor eléctrico de corriente continua son:

- Armazón o carcasa: constituye la estructura externa de la máquina, es decir, es la parte que protege a los componentes internos del motor. Y además, sirve de base para muchos de estos.

- Campos: son las bobinas colocadas sobre las piezas de polos de los campos que generan un campo magnético estable.
- Interpolos: son las bobinas que se encuentran entre las bobinas de campo, y que generan un campo que se utiliza para evitar el exceso de chispas provenientes de los carbones (o escobillas).
- Protecciones terminales: también conocidas como “cajas de cojinetes”, se utilizan para contener los carbones y los portacarbones. Además, para contener a los cojinetes del eje y sostener la armadura centrada en el armazón.
- Portacarbones (o portaescobillas): sostienen y ubican los carbones por encima del conmutador de la armadura. En general, se utiliza un dispositivo tensor (resorte) para mantener una presión constante sobre los carbones.
- Carbones (o escobillas): se utilizan para proporcionar corriente a la armadura. Los carbones se ubican por encima del conmutador.
- Conmutador: consta de varias barras de cobre separadas por mica. Cada barra se conecta a las bobinas en la armadura.
- Armadura: es la parte rotativa de un motor con bobinas.

2.2.19.3 Subsistemas de un motor eléctrico de acuerdo a su funcionalidad

- Aislamiento

El sistema de aislamiento de un motor está constituido por todos aquellos materiales y partes dieléctricas que forman parte constructiva del motor y que tienen como finalidad evitar el cortocircuito entre fases y potenciales a tierra.

Los principales materiales aislantes que se encuentran dentro de un motor son el barniz que aísla las espiras que conforman la bobina, bien sea en el inductor y/o en el

inducido (si se tiene un rotor bobinado), el papel aislante o plástico para aislar las bobinas entre sí, y a estas del núcleo ferromagnético, las piezas de plástico para aislar los terminales de conexión de la carcasa y el aislante en los cables que conectan los terminales de alimentación con los devanados.

- Clases de Aislamientos: Según las normas los materiales aislantes se clasifican en valores por su grado de resistencia térmica. Existen seis (06) clasificaciones identificadas por la letras A,E,B,F,H y N las cuales corresponden a un valor de temperatura tope que puede alcanzar el material aislante sin perder sus propiedades dieléctricas. En la tabla 2.9 se muestran estos valores de temperatura (ver tabla 2.9):

Tabla 2.9. Temperatura de los tipos de aislamiento (Temp. Amb. 40 °C).

Tipo de Aislamiento	Temperatura	
Clase A	105 °C	221 °F
Clase E	120 °C	248 °F
Clase B	130 °C	266 °F
Clase F	155 °C	311 °F
Clase H	180 °C	350 °F
Clase N	200 °C	392 °C

Fuente: franklinlinkmx.wordpress.com

- Sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración se encarga de mantener al motor a una temperatura adecuada, en la que no exista una degeneración anticipada del aislamiento ni deformaciones mecánicas que puedan afectar la condición óptima del motor.

El método de refrigeración en un motor está dado principalmente por: la aplicación, las condiciones ambientales, la necesidad de uso, la fiabilidad económica o por una combinación de las anteriores.

Todo motor tiene una clasificación que indica el método de refrigeración. La codificación simplificada prescribe que el método de refrigeración será codificado por las letras IC seguida de dos números. El primero para identificar la posición del circuito de refrigeración, y el segundo, el modo de suministro de energía para circulación del medio refrigerante.

- Rodamientos

Los rodamientos o cojinetes de un motor son las piezas mecánicas en las que se apoya el eje (del rotor), manteniéndolo centrado respecto al estator y permitiéndole a dicho eje girar con libertad y poca fricción, contribuyendo significativamente a una mayor eficiencia del equipo.

- Sistema eléctrico interno del motor

El sistema eléctrico interno del motor está conformado por todas aquellas partes que permiten el aprovechamiento de las propiedades ferromagnéticas de la energía eléctrica para convertirla en energía mecánica (movimiento) de manera eficiente. Este sistema lo conforman los terminales de conexión, las bobinas del inductor junto con su núcleo ferromagnético conforman al estator, las bobinas del inducido (en caso de los rotores bobinados) o las barras cortocircuitadas (cuando se trata de rotores jaula de

ardilla) junto con su núcleo ferromagnético conforman al rotor, y hasta los cables que conectan los terminales de alimentación con las bobinas. Entre las características más importantes de este sistema se tienen las del estator y las del rotor:

- Estator: es el elemento que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor. El estator no se mueve mecánicamente, pero si magnéticamente. Está constituido principalmente de un conjunto de láminas de acero al silicio (y se les llama “paquete”), que tienen la habilidad de permitir que pase a través de ellas el flujo magnético con facilidad. (Ver figura 2.21).

Figura 2.21. Tipos de estator.

Fuente: www.monografias.com

- Rotor: es el elemento de transferencia mecánica, ya que de él depende la conversión de energía eléctrica a mecánica. Los rotores, son un conjunto de láminas de acero al silicio que forman un paquete. (Ver figura 2.22).

Figura 2.22. Tipos de rotor.

Fuente: www.monografias.com

- Sistema mecánico

El sistema mecánico está conformado por todas aquellas piezas que de alguna forma brindan soporte mecánico a las demás partes y así misma,

manteniendo al motor en condiciones físicas adecuadas para cumplir de forma eficiente en la transformación de la energía.

Entre las partes que cumplen esta función se tienen los núcleos ferromagnéticos (en el estator y en el rotor), la carcasa, tapas, eje, tornillos de soportes, bases, entre otros. Entre las principales características de este sistema se tienen:

- La carcasa: es la parte que protege y cubre al estator y al rotor. El material empleado para su fabricación depende del tipo de motor, de su diseño y su aplicación. Así pues, la carcasa puede ser:
 - a) Totalmente cerrada
 - b) Abierta
 - c) A prueba de goteo
 - d) A prueba de explosiones
 - e) De tipo sumergible

Para la protección mecánica del motor las normas internacionales han definido varios grados de protección dependiendo del tipo de cerramiento (carcasa, platillos, salida de eje, entre otros). Las normas DIN 400 500 e IEC 34-5 establecen el código IP (International Protection), seguido de dos números. En la tabla 2.10 se muestra su codificación:

Tabla 2.10. Codificación de protección IP.

PRIMER NÚMERO Protección contra objetos sólidos	SEGUNDO NÚMERO Protección contra líquidos
Sin protección	0. Sin protección
Protección contra objetos sólidos mayores a 50 mm.	1. Protección contra goteo vertical de agua.
Protección contra objetos sólidos por encima de 12 mm.	2. Protección contra goteo de agua hasta 15° respecto a la vertical.
Protección contra objetos sólidos mayores a 2.5 mm.	3. Protección contra agua rociada hasta 60° con respecto a la vertical.
Protección contra objetos sólidos mayores a 1 mm.	4. Protección contra rociado de agua en todas direcciones, permitiendo ingreso limitado.
Protección contra ingreso limitado de polvo (no se depositan cantidades significativas).	5. Protección contra chorros de agua permitiendo ingreso limitado.
Totalmente protegido contra entrada de polvo.	6. Protección contra chorros de agua potentes permitiendo ingreso limitado.
	7. Protección contra efectos de inmersión temporal en profundidades desde 15 cm hasta 1 m.
	8. Protección contra inmersión continua en agua.

Fuente: normas DIN 400 500 e IEC 34-5.

- La base: es el elemento donde se soporta toda la fuerza mecánica de operación del motor, pueden ser de dos tipos:
 - Base frontal.
 - Base lateral.
- La caja de conexiones: es un elemento que protege a los conductores que alimentan al motor, resguardándolos de la operación mecánica del mismo, y contra cualquier elemento que pudiera dañarlos.

- Las tapas: son los elementos que van a sostener en la gran mayoría de los casos a los cojinetes o rodamientos que soportan la acción del eje.
 - Eje: es el elemento mecánico de geometría fundamentalmente axisimétrica, que se emplea como soporte del rotor manteniéndolo centrado respecto al estator, sin transmitirle ningún esfuerzo de torsión.
- Sistema de protección de un motor eléctrico

Son todos aquellos elementos de protección principales del motor, los cuales tienen por finalidad salvaguardar al motor de los efectos destructivos de las fallas eléctricas propias o ajenas a éste.

Los relés de protecciones pueden clasificarse dentro de alguno de los siguientes grupos, de acuerdo al parámetro que midan o determinen:

- Sobre-corriente
- Sobretenensión.
- Sub-tensión.
- Direccionales de sobre-corriente.
- Direccionales de potencia.
- Diferenciales.
- Distancia.
- Frecuencia.
- Térmicos.

Existen básicamente dos dispositivos fundamentales que se usan en forma común para cumplir con la interrupción de la corriente de falla. Estos son:

Los interruptores: protegen al motor de sobrecargas.

Los fusibles: protegen al motor contra cortocircuitos.

Todos estos elementos de protección deben ser adecuados o ajustados de acuerdo a la carga, una adecuada calibración de las protecciones garantizaría los disparos de la protección solo ante un modo de falla.

2.2.19.4 Pruebas eléctricas en los motores eléctricos

Estas se pueden clasificar en dos tipos: pruebas eléctricas estáticas y dinámicas. En la mayoría de los casos son pruebas no destructivas, es decir, garantizan que no dañan ningún sistema o componente del motor.

- Pruebas estáticas

Estas son realizadas con el equipo sin movimiento y sin tensión de alimentación o de la red eléctrica. Estas pruebas son: aislamiento y desequilibrio de tensión eléctrica.

- a. Pruebas de aislamiento

Se sabe que un buen aislamiento tiene alta resistencia. Un aislamiento pobre tiene baja resistencia relativamente. Los valores reales de resistencia pueden ser más altos o más bajos, dependiendo de factores como la temperatura o el contenido de humedad (la resistencia disminuye con la temperatura o la humedad).

Sin embargo, con los registros se puede tener una buena imagen de las condiciones del aislamiento de valores que son sólo relativos.

El probador de aislamiento MEGGER es un instrumento pequeño y portátil que le da una lectura directa de la resistencia de aislamiento en ohms o megaohms. Para un buen aislamiento, la resistencia se lee generalmente en el rango de los megaohms. El probador de aislamiento MEGGER es esencialmente un medidor de resistencia de alto rango (óhmetro) con un generador de corriente directa interconstruido. Este medidor es de construcción especial con bobinas de corriente y bobinas de voltaje que permiten que los ohms verdaderos se puedan leer directamente, independientemente del voltaje aplicado. Este método no es destructivo, es decir, no ocasiona deterioro del aislamiento.

En las pruebas la aplicación de un escalón de tensión continua sobre un aislamiento origina una conducción de corriente a través y a lo largo del aislamiento, esta forma parte de una corriente relativamente estable en las trayectorias de fuga sobre la superficie del aislamiento.

b. Comprobación del desequilibrio de tensión

La tensión de alimentación de todas las fases debe estar equilibrada. El desequilibrio de tensión provoca corrientes altamente desequilibradas en el devanado del estator, provocando el recalentamiento y el acortamiento de la vida útil del motor. Según la norma IEEE Std 43-2000 la desviación estándar máxima permitida entre los voltajes de fases es de 10%.

- Pruebas dinámicas

Estas son realizadas con el equipo en movimiento. Se necesita la tensión de la red eléctrica para tomar parámetros que permiten el diagnóstico del motor. Entre estas pruebas se encuentran:

1. Comprobación de la corriente y del desequilibrio de corriente

Las corrientes desequilibradas provocan recalentamientos y reducen la vida útil del motor. También la puesta a tierra de una fase (pérdida total de corriente en una de las fases que alimenta al motor) puede causar recalentamientos en los devanados de la(s) otra(s) fase(s).

2. Diagnóstico por análisis de vibraciones

Es uno de los métodos clásicos de diagnóstico utilizados. En condiciones ideales, en una máquina rotativa no debería existir ningún tipo de vibración. Las imperfecciones en la construcción de las máquinas, los procesos en los que están implicados y la existencia de averías provocan un incremento global de las vibraciones, o la aparición de frecuencias de vibración nuevas.

El análisis frecuencial de las vibraciones se ha mostrado eficaz, durante décadas para el diagnóstico de averías de tipo mecánico: desequilibrios, desalineaciones, degradación de los cojinetes.

No obstante, es difícil a partir de un análisis de vibraciones poder determinar la presencia de averías de tipo eléctrico como la rotura de barras del rotor, o el cortocircuito de espiras de las bobinas del estator.

Otro inconveniente del diagnóstico por análisis de vibraciones, radica en la necesidad de incorporar en la máquina los acelerómetros necesarios para poder obtener la señal a monitorear.

3. Análisis espectral de corriente

Como alternativa al análisis de vibraciones, se tiene la técnica denominada Motor Current Signature Analysis (MCSA). El MCSA se centra en el análisis espectral de las corrientes de estator. Mediante el análisis de las corrientes se pueden diagnosticar averías mecánicas y eléctricas, pero se aplica fundamentalmente en la detección de la rotura de barras del rotor. (Ver figura 2.23).

La técnica de diagnóstico basada en el análisis de la corriente de fase, consiste en la medición del contenido de armónico de la corriente, que permite detectar en su estado inicial diversos tipos de fallas en los motores eléctricos, antes de que tomen dimensiones peligrosas para el equipamiento.

Las posibles fallas que se pueden detectar con este método son: roturas de barras de cortocircuito del rotor, desalineación del eje, excentricidad estática y dinámica en el entrehierro.

La presencia de barras rotas en el rotor, no es motivo de parada inminente, pero provoca una degradación del funcionamiento del motor, y la posible aparición de serios efectos secundarios. Las partes rotas de las barras pueden causar serios daños mecánicos al aislamiento y a los devanados, provocando costosas reparaciones.

La presencia de barras rotas en el rotor de un motor eléctrico provoca la aparición de armónicos adicionales en las corrientes de fase del estator. Aunque el motor esté en perfecto estado, estos armónicos están siempre presentes en la corriente

de la máquina, debido a las asimetrías del rotor inherentes al proceso de fabricación y ensamblado. Por lo tanto, el método consiste más que en detectar la presencia de los armónicos, en monitorear su amplitud y comparar que no exceda de un cierto umbral en referencia a la componente de la frecuencia de alimentación. El umbral que marca la frontera entre el motor sano y el motor con barras rotas se suele fijar alrededor de los 40 decíbeles.

Figura 2.23. Espectros de la corriente de un motor sano y uno averiado.
Fuente: www.scielo.cl

4. Análisis termográfico

La Termografía Infrarroja es una técnica que permite, a distancia y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión.

- Fundamentos de la Termografía por Infrarrojos

La Física permite convertir las mediciones de la radiación infrarroja en medición de temperatura, esto se logra midiendo la radiación emitida en la porción infrarroja del espectro electromagnético desde la superficie del objeto, convirtiendo estas mediciones en señales eléctricas.

El ojo humano no es sensible a la radiación infrarroja emitida por un objeto, pero las cámaras termográficas o de termovisión son capaces de medir la energía con sensores infrarrojos, capacitados para “ver” en estas longitudes de onda. Esto permite medir la energía radiante emitida por objetos y, por consiguiente, determinar la temperatura de la superficie a distancia, en tiempo real y sin contacto.

La radiación infrarroja es la señal de entrada que la cámara termográfica necesita para generar una imagen de un espectro de colores, en el que cada uno de los colores, según una escala determinada, significa una temperatura distinta, de manera que la temperatura medida más elevada aparece en color blanco.

- La Termografía en el Mantenimiento Predictivo

La mayoría de los problemas y averías en el entorno industrial (ya sea de tipo mecánico, eléctrico o de fabricación) están precedidos por cambios de temperatura que pueden ser detectados mediante la monitorización de temperatura con sistema de termovisión por infrarrojos. La implementación de programas de inspecciones termográficas en instalaciones, maquinaria, cuadros eléctricos, entre otros, hace posible minimizar el riesgo de fallas de equipos y sus consecuencias, a la vez que también ofrece una herramienta para el control de calidad de las reparaciones efectuadas.

El análisis mediante termografía infrarroja debe complementarse con otras técnicas y sistemas de ensayo conocidos, como pueden ser el análisis de aceites lubricantes, el análisis de vibraciones, los ultrasonidos pasivos y el análisis predictivo en motores eléctricos. Pueden añadirse los ensayos no destructivos clásicos: ensayo radiográfico, el ultrasonido activo, partículas magnéticas, entre otros. (Ver figura 2.24).

Figura 2.24. Imagen térmica de un motor en funcionamiento.

Fuente: www.inspeccionestermograficas.es

2.2.19.5 Tipos de motores de corriente continua (conexiones)

- Excitación separada: son aquellos que obtienen la alimentación del rotor y del estator de dos fuentes de tensión independientes. Con ello, el campo del

estator es constante al no depender de la carga del motor, y el par de fuerza es entonces prácticamente constante. Las variaciones de velocidad al aumentar la carga se deberán sólo a la disminución de la fuerza electromotriz, por aumentar la caída de tensión en el rotor. Este sistema de excitación no se suele utilizar debido al inconveniente que presenta el tener que utilizar una fuente exterior de corriente.

- Excitación serie: los devanados de inducido y el inductor están colocados en serie y alimentados por una misma fuente de tensión. En este tipo de motores existe dependencia entre el par y la velocidad. Son motores en los que, al aumentar la corriente de excitación, se hace disminuir la velocidad, con un aumento del par.
- Excitación paralela: los devanados inducidos e inductor están conectados en paralelo y alimentados por una fuente común. También se denominan máquinas shunt, y en ellas un aumento de la tensión en el inducido hace aumentar la velocidad de la máquina.
- Excitación compuesta: estos motores son también llamados compound, en este caso el devanado de excitación tiene una parte de él en serie con el inducido y otra parte en paralelo. El arrollamiento en serie con el inducido está constituido por pocas espiras de gran sección, mientras que el otro está formado por un gran número de espiras de pequeña sección. Permite obtener por lo tanto un motor con las ventajas del motor serie, pero sin sus inconvenientes. Sus curvas características serán intermedias entre las que se obtienen con excitación serie y con excitación en derivación.

Existen dos (2) tipos de excitación compuesta:

1. Excitación compuesta adicional: en ésta el sentido de la corriente que recorre los arrollamientos serie y paralelo es el mismo, por lo que sus efectos se suman.
2. Excitación compuesta diferencial: en ésta el sentido de la corriente que recorre los arrollamientos tiene sentido contrario y por lo tanto los efectos de ambos devanados se restan.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

Según Sabino Carlos (2000) en su libro “El Proyecto de Investigación” plantea: “las investigaciones descriptivas utilizan criterios sistemáticos que permiten poner de manifiesto la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio, proporcionando de este modo información comparable con la de otras”. (p. 45).

Partiendo desde esta perspectiva se puede decir que el nivel de investigación de este trabajo es de tipo descriptiva, ya que se ha buscado recolectar toda la información necesaria para describir y definir la situación actual, determinar las funciones, fallas, modos y efectos de los fallos de los motores eléctricos DC de las bombas de lodo ubicadas en los taladros AP (160), JRBM (129) y ACM (128) pertenecientes a PDVSA Servicios Base Simón Bolívar (Anaco-Edo. Anzoátegui).

3.2 Diseño de la investigación

Según Arias, F. (2006) establece: “el diseño es la estrategia adoptada por el investigador para responder el problema planteado”. (p. 47).

En este caso, el diseño de la investigación fue de carácter de campo, con apoyo documental.

Según Sabino, C. (2000) define: “la investigación de campo constituye un proceso sistemático, riguroso y racional de recolección, tratamiento y análisis de

datos, basado en una estrategia de recolección directa de la realidad de las informaciones necesarias para la investigación”. (p. 30).

El diseño de esta investigación fue de carácter de campo ya que la investigación se tomó directamente de la realidad (estado actual de los motores eléctricos DC GE 752 de las bombas de lodo de los taladros AP, ACM y JRBM), es decir, se utilizó la observación directa. Complementado por el análisis de datos provenientes de materiales impresos u otros tipos de documentos de la gerencia, manuales de perforación, libros, archivos, material bibliográficos, tesis, entre otros.

3.3 Unidades de estudio

El estudio se aplicó a una población de 18 motores eléctricos DC GE 752 que transmiten potencia a las bombas de lodo ubicadas en los taladros de perforación ACM (128), AP (160) y JRBM (129) pertenecientes a la empresa PDVSA Servicios Petroleros. A la población seleccionada, es decir, a los 18 motores eléctricos mencionados previamente (6 motores eléctricos por cada taladro) se les aplicó un análisis de criticidad. Esto para determinar la muestra, que resultaron ser los motores eléctricos más críticos de cada taladro, a los cuales se les aplicó AMEF y ALD.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

3.4.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos consisten en un conjunto de pasos a seguir para la recopilación de información. A continuación se presentarán las técnicas de recolección de datos que se utilizaron en esta investigación:

- Revisión bibliográfica

Según Arias, F. (2006): “la revisión bibliográfica consiste en una recopilación de ideas, posturas de autores, conceptos y definiciones, que sirven de base a la investigación”. (p. 58).

Esta técnica fue empleada durante toda la ejecución del proyecto de investigación ya que mediante la misma se obtuvo una base teórica más amplia para el desarrollo del proyecto y se basó en: consultas de tesis, textos enfocados al tema, manuales, consultas en páginas Web, entre otros.

- Observación directa

Tamayo y Tamayo (2004) explica que: la observación directa es aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación. Por medio de esta técnica se requiere constar las evidencias de los procedimientos, los métodos de trabajo del personal y otros elementos útiles para el desarrollo de la investigación. (p. 71).

Esta técnica fue utilizada para validar la información suministrada por el Equipo Natural de Trabajo vinculado a los motores eléctricos de las bombas de lodo pertenecientes a los taladros en estudio, y mediante la misma se lograron obtener los datos necesarios para la realización del proyecto, llevando a cabo una observación detallada e individual de cada una de las actividades que los trabajadores ejecutan en sus puestos de trabajo.

- Entrevista no estructurada

Según Arias, F. (2006): más que un simple interrogatorio es una técnica basada en un dialogo o conversación “cara a cara”, entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistador pueda obtener la información requerida (p.73).

Para el desarrollo continuo de la investigación fue necesario recurrir a entrevistas de tipo no estructuradas que radican básicamente en un diálogo entre dos personas: el entrevistado y el entrevistador (investigador). Las entrevistas fueron aplicadas al personal encargado de la supervisión y mantenimiento de los motores eléctricos de las bombas de lodo pertenecientes a los taladros en estudio, como herramienta para obtener más información sobre las condiciones físicas y rendimiento operacional actuales de los mismos. Esto con la finalidad de facilitar la tarea de determinar las no conformidades presentes en estos equipos.

3.4.1.4 Encuesta

Según Hurtado, J. (1998) “es un instrumento que agrupa una serie de preguntas relativas a un evento, situación o temática particular, sobre el cual el investigador desea obtener información”. (p. 469).

Esta herramienta fue de gran utilidad para establecer la jerarquización de criticidad de los motores DC GE 752 de las bombas de lodo de los taladros en estudio. El formato de la encuesta que se utilizó en este trabajo de investigación fue tomado de la metodología D.S. Ver tabla 2.2.

3.4.2 Técnicas e instrumentos de análisis de datos

Las técnicas e instrumentos de análisis de datos que se aplicaron en el trabajo de investigación fueron los siguientes:

3.4.2.1 Fichas técnicas

Una ficha técnica es un documento en forma de sumario que contiene la descripción de las características de un objeto, material, equipo, proceso o programa de manera detallada. Los contenidos varían dependiendo del producto, servicio o entidad descrita, pero en general suele contener datos como el nombre, características físicas, el modo de uso o elaboración, propiedades distintivas y especificaciones técnicas.

La ficha técnica que se utilizó en este trabajo de investigación contiene toda la información técnica necesaria de los motores eléctricos DC GE 752 de las bombas de lodo, en ella se detalló su serial, capacidad, dimensiones, voltaje, entre otros. Esta información servirá a los mantenedores, operadores y supervisores al instante de hacer un mantenimiento preventivo o como guía de funcionamiento. El modelo de ficha técnica utilizado se puede observar en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Modelo de ficha técnica aplicado**Fuente:** El autor

3.4.2.2 Metodología D.S

Esta metodología permitió jerarquizar (según su criticidad) a los motores eléctricos DC GE 752 de las bombas de lodo de los taladros en estudio (AP, JRBM y ACM), con el fin de facilitar la toma de decisiones.

3.4.2.3 Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)

El Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) fue un proceso sistemático que se aplicó para identificar las fallas potenciales de los componentes de los motores eléctricos que resultaron más críticos antes de que éstas se repitan, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas.

3.4.2.4 Árbol lógico de decisiones (ALD)

En el caso de esta investigación, se utilizó como herramienta para seleccionar los resultados (o tareas de mantenimiento), los cuales fueron escogidos de una diversidad de actividades preventivas que se le podían aplicar a los motores eléctricos DC GE 752 de las bombas de lodo de los taladros en estudio, como alternativas para mejorar sus condiciones operacionales actuales. Las alternativas seleccionadas fueron aquellas que se consideraron idóneas para solventar las problemáticas existentes en ese tiempo de estudio.

3.4.2.5 Gráfico de tortas o barras y tablas representativas

Fueron utilizados para conocer de forma detallada (facilitando la explicación, análisis e interpretación de los datos y resultados) el estado actual de los motores eléctricos DC GE 752 de las bombas de lodo de los taladros en estudio.

3.5 Procedimiento metodológico

Para conseguir el éxito en el presente trabajo de investigación se designaron varias etapas con el fin de darle cumplimiento a los objetivos planteados y obtener así la solución a la problemática encontrada, las mismas serán explicadas a continuación:

- Descripción del contexto operacional de los motores eléctricos DC de las bombas de lodo de los taladros AP (160), JRBM (129) y ACM (128) pertenecientes a la empresa PDVSA Servicios Base Simón Bolívar (Anaco-Edo. Anzoátegui)

Con el objeto de efectuar un diagnóstico, se realizó una evaluación detallada del contexto operacional bajo el cual operan los motores eléctricos DC de las bombas de lodo estudiados, así como también, se recopilaron datos de cada uno de los componentes y accesorios que conforman dichos motores. Cabe destacar que al momento de realizar la recolección de la información, se hizo de manera cuidadosa a fin de que el tipo de dato fuese consistente y confiable. Para lo cual se contó con el apoyo de asesores externos con experiencia en mantenimiento y funcionamiento de los motores eléctricos en estudio.

Es importante mencionar que las visitas a los taladros de perforación estudiados fueron limitadas, pero resultaron valiosas, ya que mediante la observación directa y consultas al Equipo Natural de Trabajo (ver tabla 3.2)

presente se pudo conocer cuantos motores hay en el área estudiada y cuantos se encuentran operativos, se conoció la función que desempeña cada uno y condiciones de operación. También, se elaboraron fichas técnicas de los equipos en estudio.

Tabla 3.2. Equipo Natural de Trabajo de los motores eléctricos DC.

ÁREA	CARGO	CANTIDAD
Motores eléctricos de las bombas de lodo	Supervisor eléctrico	2 (1 cada 7 días)
Mantenimiento operacional	Técnico electricista	2 (1 cada 7 días)
Mantenimiento operacional	Técnico mecánico	2 (1 cada 7 días)
Operaciones	Operadores de guardia	4
Planificación y programación de mantenimiento	Ingeniero de mantenimiento	1
Seguridad, Higiene y Ambiente	Supervisor SIAHO	1

Fuente: El autor

- Jerarquización de los motores eléctricos DC de las bombas de lodo ubicadas en los taladros AP (160), JRBM (129) y ACM (128) pertenecientes a la empresa PDVSA Servicios (Anaco-Edo. Anzoátegui), aplicando un Análisis de Criticidad

Esta etapa consistió en jerarquizar los motores eléctricos DC de las bombas de lodo ubicadas en los taladros en estudio, para así enfocar y desarrollar los estudios hacia los motores y componentes que lo ameriten. Esta jerarquización propició al Equipo Natural de Trabajo a seleccionar los equipos relevantes, para lo cual se empleó una serie de técnicas.

Se utilizó como base la metodología D.S para determinar la criticidad de los componentes, técnica que se basa en ponderar factores tanto del área de mantenimiento como el de operaciones (ver figura 2.10), para así obtener un

porcentaje de criticidad y determinar, según los rangos establecidos por el método, la criticidad de los motores eléctricos estudiados.

Se realizó una encuesta al personal de los taladros estudiados, la cual fue complementada con algunos miembros de los diferentes departamentos (Mantenimiento y Operaciones), que consistió en responder las interrogantes que presenta la metodología D.S, la cual se adaptó a los motores eléctricos DC de las bombas de lodo, ya que la metodología de criticidad D.S, es flexible y permite que los valores de las ponderaciones cambien y se ajusten a las necesidades de la organización siempre y cuando se deje igual para el resto de los motores eléctricos DC en estudio. El formato de encuesta utilizado resultó de esta manera:

- Cinco (5) parámetros para evaluar el área de mantenimiento: cantidad de fallas ocurridas, media de los tiempos fuera de servicio (MTFS), disponibilidad de repuestos, cumplimiento de mantenimiento preventivo, efectividad.
- Tres (3) parámetros para evaluar en el área operacional: tipo de conexión, costo de producción, seguridad del personal, equipo y/o ambiente.

Para aplicarla, fue necesaria la evaluación de los factores mencionados previamente, cuyas ponderaciones se reflejaron individualmente en la tabla 2.2. Estos parámetros fueron ponderados según lo establece la metodología D.S, del uno al tres, uno es para el menor y tres para el de mayor impacto. Una vez realizados los cálculos de los factores a evaluar, se llenaron las matrices de criticidad (ver figura 2.4) para poder obtener el valor y nivel de criticidad por cada motor, dichas matrices se realizaron basándose en los valores de criticidad establecidos en la tabla 2.3.

Se elaboró una matriz que refleja los datos totales de cada encuesta por motor (ver tabla 2.5). Finalmente, se realizó una matriz que muestra la jerarquización de la criticidad que se obtuvo de los motores estudiados.

- Realización de un análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) a los motores eléctricos DC críticos de las bombas de lodo de los taladros AP (160), JRBM (129) y ACM (128) pertenecientes a la Base Simón Bolívar (Anaco-Edo. Anzoátegui)

Una vez determinados los motores eléctricos DC críticos por taladro, se aplicó un análisis de modos y efectos de fallas, cuyo objetivo principal es reconocer y mantener en claro cuáles son los elementos que han generado una falla parcial o total en los motores eléctricos que son objeto de estudio, resaltando los puntos críticos con el fin de eliminarlos o establecer un sistema preventivo (medidas correctoras) para evitar su aparición y minimizar sus consecuencias, aplicando lo que se puede convertir en un riguroso procedimiento de detección de efectos potenciales, si se aplica de una manera sistemática. Para su mejor desarrollo, se utilizó la siguiente metodología:

- Conformación del equipo natural de trabajo, constituido por supervisores, ingenieros de mantenimiento, operadores, mantenedores e inspectores.
- Definición del contexto operacional de cada motor eléctrico perteneciente a las bombas de lodo ubicadas en los taladros en estudio.
- Identificación de las fallas de los motores eléctricos pertenecientes a las bombas de lodo ubicadas en los taladros en estudio.
- Identificación de los modos y efectos de fallas de los motores eléctricos en estudio.

El objetivo de establecer un equipo natural de trabajo es contar con un equipo multidisciplinario conocedor del sistema, que puedan aportar ideas efectivas y confiables para realizar un análisis de modos y efectos de fallas. Para determinar la criticidad en los equipos y definir las acciones y frecuencias de mantenimiento preventivo para elaborar un plan de mantenimiento y establecer propuesta de mejoras para garantizar la vida útil en los motores eléctricos estudiados.

Se diseñó una hoja de información como se muestra en la tabla 2.6, para asentar datos, a partir de los equipos y elementos seleccionados para el AMEF, se realizó una agrupación de elementos, con fines de mejorar la documentación, entendimiento y organización de esta etapa. Luego de rellenar la información del encabezado o información básica del elemento, se procedió a definir las funciones de los componentes (F) que conforman a cada motor, posteriormente las fallas funcionales (FF) y se determinaron los modos de falla (MF).

En este formato se recolectó la información individual necesaria de cada componente, teniendo como punto de referencia los manuales del fabricante de los motores estudiados, la experiencia de los integrantes del Equipo Natural de Trabajo (ENT) que labora actualmente con dichos motores y algunos históricos de fallas. Este análisis también fue realizado con información de normas como la SAE JA 1012 (1999).

- Establecimiento de los tipos de actividades y frecuencias de mantenimiento aplicables a los motores eléctricos DC de las bombas de lodo de los taladros AP (160), JRBM (129) y ACM (128) pertenecientes a la Base Simón Bolívar (Anaco-Edo. Anzoátegui), de acuerdo al árbol lógico de decisión

Esta etapa se basó en la determinación de las actividades de mantenimiento consideradas las más idóneas para atacar cada modo de fallo en los motores eléctricos DC en estudio, para lo cual se aplicó el Árbol Lógico de Decisión, que es un flujograma de preguntas basado en el diagrama de decisión de la norma SAE JA 1012 como se muestra en la figura 2.11, a través del cual se analizan los modos de fallos de los equipos, de acuerdo a las consecuencias de los mismos sobre el sistema en donde operan, incluyendo la organización y su entorno, y la norma de PDVSA MM-01-01-03 “Niveles de Mantenimiento” a través del cual se pudieron analizar los modos de fallos de los equipos, de acuerdo a las consecuencias de los mismos sobre el sistema en donde opera, incluyendo a la empresa y su entorno.

Las interrogantes que propone el diagrama, fueron resueltas mediante las opiniones de parte del personal del Equipo Natural de Trabajo. El estudio consistió en analizar cada modo de fallo mediante el flujograma de preguntas hasta obtener una respuesta determinante, y así determinar la acción de mantenimiento a implementar.

Además, se diseñó una hoja de decisión (personalizada) para asentar los datos obtenidos del flujograma de preguntas como se muestra en la tabla 2.7, basada en la plantilla de Hoja de Decisión del RCM II diseñada por The Woodhouse Partnership LTD. En la hoja se puede asentar la información sobre el tipo de actividad de mantenimiento a implementar, la frecuencia de ejecución y el departamento ejecutor, entre otros.

La hoja de decisión diseñada se divide básicamente en dos (2) 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 del análisis. La segunda parte está dividida 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 resultado del AMEF.
- Tipo de falla: en esta sección se indica el tipo de modo de fallo. Si el modo de fallo es evidente se identifica en la columna de letras “ABCD”, las cuales indican el ramal de consecuencias evidentes del Diagrama de Decisión. Si el modo de fallo es no evidente u oculto se señala en la columna de letras “AEFG” que indica el ramal de las consecuencias ocultas.
- Evaluación de las consecuencias: en esta sección se registran las respuestas a las interrogantes que propone el ALD, sobre las consecuencias que pueda tener el modo de fallo analizado, sobre la seguridad del personal (S), el medio ambiente (A) o sobre la operación (O).
- Tipos 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 (Basada en Condición), BT (Basada en Tiempo), DT (Detección de Falla) y OT (Otras).

Para reflejar las respuestas obtenidas del Diagrama de Decisión 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 realización de la tarea y la disciplina o área encargada de la ejecución de dicha tarea.

La frecuencia inicial se determinó en base a la experiencia del personal de la empresa, específicamente en el área operacional de los motores eléctricos DC en estudio, además de las consultas a los manuales del fabricante.

- Elaboración de planes de mantenimiento basados en la filosofía del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para los motores eléctricos DC críticos de las bombas de lodo pertenecientes a los taladros en estudio.

Una vez aplicado el AMEF y ALD, se apuntó de manera ordenada el conjunto de actividades o tareas de mantenimiento a realizar, adicionalmente, a esta etapa se adicionó las horas-hombres estimadas para realizar cada actividad en el plan de mantenimiento, estas se determinaron según indicaciones de los expertos en el área de mantenimiento y reparación de estos equipos, tomando en cuenta todos los factores que influyen en el tiempo de reparación de dichos equipos. En este sentido se determinó:

- Las tareas programadas en base a condición (preventivas).
- Las tareas de reacondicionamiento o restauración.
- Las tareas de sustitución (reemplazo programado).
- Las tareas de búsquedas de fallas ocultas.
- Las actividades de mantenimiento no programado.

Una vez seleccionadas las tareas, y sus respectivas frecuencias, se presentaron los resultados ante el grupo multidisciplinario de trabajo para validar los mismos y asignar el personal encargado de realizarlo. En la tabla 2.2, se muestra la hoja de mantenimiento aplicada para los motores en estudio.

Toda la información útil y necesaria tal como la frecuencia de dichas tareas, responsables de la ejecución, las horas-hombre estimadas para realizar cada tarea, todo esto va dentro del plano de ejecución de mantenimiento, para lo cual se diseñó un formato de planes de mantenimiento para los motores eléctricos en estudio, asentando las principales características que pueden conllevar un proceso de mantenimiento, orientándose con los formatos de la Norma ISO 9000, la cual es aplicable para cualquier tipo de organización o actividad sistemática.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Descripción del contexto operacional de los motores eléctricos DC de las bombas de lodo de los taladros AP (160), JRBM (129) y ACM (128) pertenecientes a la empresa PDVSA Servicios (Anaco-Edo. Anzoátegui).

El contexto operacional hizo posible determinar y comprender la manera como deben operar los motores eléctricos DC de las bombas de lodo ubicadas en estos taladros, lo que permitió identificar irregularidades en los equipos que requieren ser corregidas. Y es por esta razón que fue necesario realizar una descripción del contexto operacional de cada motor eléctrico DC de las bombas de lodo ubicadas en los taladros que son objeto de nuestro estudio, teniendo como base el rol que desempeñan dentro del proceso operacional. Adicionalmente, se realizaron visitas continuas a los taladros, complementadas con entrevistas no estructuradas al personal de mantenimiento operacional, supervisores, programadores y personal mantenedor de los motores en estudio. Para desarrollar esta etapa y definir el contexto operacional de los motores en estudio, también fue necesario consultar los manuales (de fabricación y de usuario) de estos.

4.1.1 Descripción general del funcionamiento de los motores eléctricos DC (de las bombas de lodo) en las áreas operativas de los taladros de perforación en estudio.

La operación de estos motores eléctricos DC está profundamente ligada al proceso de perforación como tal, esto debido a que las actividades que realizan dichos equipos contribuyen al desarrollo del proceso operativo de la perforación de los

pozos. El funcionamiento de estos motores eléctricos DC lo podemos desglosar de la siguiente manera:

Generalmente, las torres de perforación son propulsadas por motores diesel que entregan un par o torque mayor que los motores a gasolina. Estos son preferibles debido a que el combustible diesel es más seguro que la gasolina, ya que no es tan volátil, además que alarga la vida útil de los equipos por su estado aceitoso. Una torre puede tener de dos (2) a cuatro (4) motores diesel dependiendo de su tamaño y de la energía que necesita para perforar con eficacia. Los motores diesel entregan potencia, pero esa potencia tiene que llegar al equipo que la necesita (como la bomba de lodo o el malacate).

Algunas torres usan una máquina llamada “la central de distribución” para llevar la potencia a donde es necesaria. Dicha central está formada por piñones y cadenas grandes encerradas en una protección de acero que no deja verlos. La manera más común de transferir potencia es usando energía eléctrica. En vez de una central mecánica, los motores de la torre accionan generadores que producen electricidad que va a motores eléctricos poderosos que propulsan equipos como las bombas de lodo y el malacate.

En el caso de este trabajo de investigación, estudiamos los motores eléctricos DC que suministran potencia a las bombas de lodo, por lo cual es necesario hacer referencia al proceso que desempeñan las bombas de lodo dentro de un taladro de perforación, con la finalidad de destacar la importancia de estos motores para el funcionamiento del sistema de circulación. El proceso se puede describir de la forma siguiente:

Las bombas de lodo (dos (2) o tres (3) por cada taladro) son propulsadas por estos motores eléctricos (uno (1) o dos (2) por cada bomba de lodo) con la finalidad

de que estas puedan bombear el lodo de perforación y extraerlo del tanque. Se bombea, para que este logre atravesar la cabeza de inyección, descienda a través del cuadrante (o mecanismo de tracción superior) hacia la sarta de perforación y la barrena. El lodo sale por la parte posterior de la barrena y vuelve a ascender arrastrando sedimentos. Sale a través del cierre de seguridad contra explosiones, pasa por la línea de retorno y llega a las zarandas. Las zarandas y otros equipos auxiliares extraen prácticamente toda la arena y los sedimentos de roca, logrando separar los sedimentos del fluido. Una vez realizada dicha separación, este fluido limpio es devuelto a los tanques y el proceso vuelve a comenzar. Ver figura 4.1.

Figura 4.1. Flujograma de proceso del sistema de circulación.

Fuente: El autor

El lodo de perforación es generalmente líquido, este se mantiene en la superficie en tanques de acero o en fosas, estos tanques especiales contienen aproximadamente 42.000 galones o el equivalente de mil barriles. El barril es una unidad de capacidad usada en la industria del petróleo que equivale a 42 galones. La base de lodos suele ser de agua o aceite. La cuadrilla de perforación agrega al líquido materiales con propiedades especiales que ayudan en la perforación del pozo petrolífero.

El sistema de circulación es esencial para desarrollar la perforación rotatoria, por muchas razones, entre las cuales podemos mencionar:

- El lodo de perforación mantiene limpias las perforaciones, extrayendo los sedimentos a la superficie, evitando que el hoyo se tape y se detenga la perforación. También sirve de sostén para que las paredes del hoyo no colapsen. Y a la vez reduce costos en el momento de la obtención de muestras geológicas.

- El lodo de perforación lubrica las brocas.
- El lodo de perforación equilibra la presión.

Basándonos en todo lo mencionado anteriormente, podemos decir que sin la circulación del lodo no se podría perforar con un sistema de rotación. Además, queda demostrado que el sistema de circulación es un proceso cíclico, el cual tiene como punto de partida a las bombas de lodo. Y las bombas de lodo no pueden operar si no son propulsadas por motores eléctricos, lo que demuestra la importancia de estos equipos dentro de un taladro de perforación petrolero.

En la figura 4.2 podemos observar como está compuesto el sistema de circulación de un taladro de perforación petrolera.

Figura 4.2. Sistema de circulación de un taladro de perforación petrolera.
Fuente: El autor

4.1.2 Características de los motores eléctricos DC GE 752 (de las bombas de lodo) en estudio.

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas rotatorias que transforman la energía eléctrica (producida por generadores que son accionados por los motores diesel de la torre de perforación) en energía mecánica, con la finalidad de que sean capaces de propulsar a las bombas de lodo, al malacate o al top drive. Los motores eléctricos DC constituyen uno de los elementos de vital importancia en los equipos de perforación, ya que forman parte de los equipos principales que sin su utilización no sería posible el proceso operacional de estas instalaciones. En el caso del sistema de circulación su función es fundamental, ya que sin ellos las bombas de lodo no serían capaces de extraer lodo de los tanques, lo cual representa la acción que da inicio al

ciclo que define a este sistema (circulación) del taladro de perforación. (Ver figura 4.3).

Fig. 4.3. Motor eléctrico DC.

Fuente: El autor

4.1.2.1 Componentes del motor eléctrico DC

En la figura 4.4 está representada la estructura externa de un motor eléctrico de corriente continua identificando sus componentes principales.

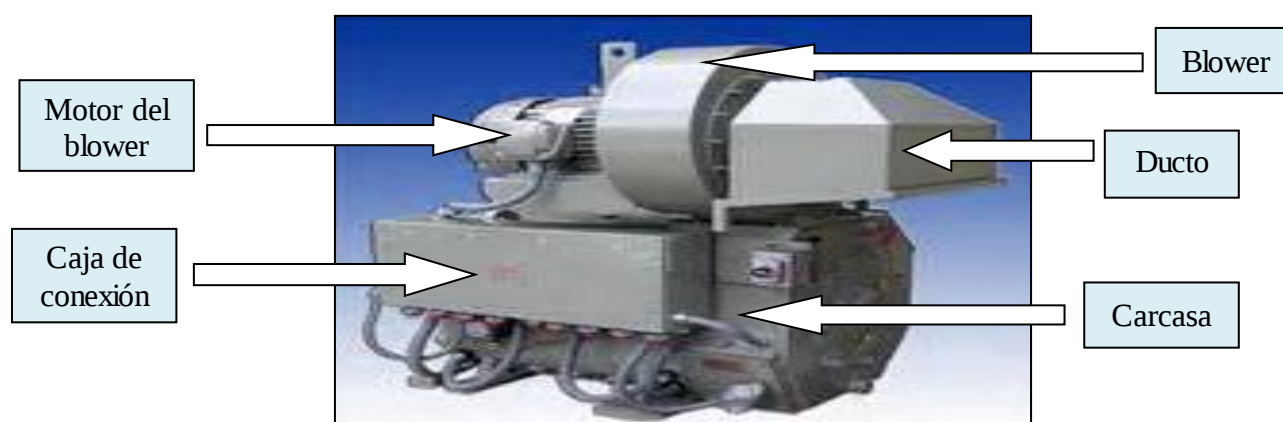


Figura. 4.4: Componentes externos del motor eléctrico DC.

Fuente: El autor

En la figura 4.5 se muestra la estructura interna de los motores eléctricos de corriente continua y se identifican sus componentes.

Fig. 4.5. Componentes internos de un motor eléctrico DC.

Fuente: El autor

En la tabla 4.1 se presentan todos los motores eléctricos DC que se estudiaron en este trabajo de investigación. En dicha tabla se especifica a que bomba de lodo

pertenece cada motor, y por consiguiente, a que taladro de perforación pertenece cada bomba de lodo.

Tabla 4.1. Clasificación de motores eléctricos DC por taladro.

Fuente: El autor

4.1.2.2 Fichas técnicas de los motores eléctricos DC en estudio

Con el apoyo del Equipo Natural de Trabajo (ENT) y complementado con información obtenida de manuales del fabricante fue posible recolectar la información técnica necesaria sobre los motores en estudio, la cual se plasmó en fichas que permitirán visualizar con facilidad las características de estos motores.

- Fichas técnicas de los motores eléctricos DC de las bombas de lodo del taladro A.P. (Ver tabla 4.2 a 4.7).

Tabla 4.2. Ficha técnica del motor “A” de la bomba de lodo N° 1 del taladro A.P

Fuente: E.N.T

Tabla 4.3. Ficha técnica del motor “B” de la bomba de lodo N° 1 del taladro A.P

Fuente: E.N.T

Tabla 4.4. Ficha técnica del motor “A” de la bomba de lodo N° 2 del taladro A.P

Fuente: E.N.T

Tabla 4.5. Ficha técnica del motor “B” de la bomba de lodo N° 2 del taladro A.P

Fuente: E.N.T

Tabla 4.6. Ficha técnica del motor “A” de la bomba de lodo N° 3 del taladro A.P

Fuente: E.N.T

Tabla 4.7. Ficha técnica del motor “B” de la bomba de lodo N° 3 del taladro A.P

Fuente: E.N.T

- Fichas técnicas de los motores eléctricos DC de las bombas de lodo del taladro J.R.B.M. (Ver tabla 4.8 a 4.13).

Tabla 4.8. Ficha técnica del motor “A” de la bomba de lodo N° 1 del taladro J.R.B.M

Fuente: E.N.T

Tabla 4.9. Ficha técnica del motor “B” de la bomba de lodo N° 1 del taladro J.R.B.M

Fuente: E.N.T

Tabla 4.10. Ficha técnica del motor “A” de la bomba de lodo N° 2 del taladro J.R.B.M

Fuente: E.N.T

Tabla 4.11. Ficha técnica del motor “B” de la bomba de lodo N° 2 del taladro J.R.B.M

Fuente: E.N.T

Tabla 4.12. Ficha técnica del motor “A” de la bomba de lodo N° 3 del taladro J.R.B.M

Fuente: E.N.T

Tabla 4.13. Ficha técnica del motor “B” de la bomba de lodo N° 3 del taladro J.R.B.M

Fuente: E.N.T

- Fichas técnicas de los motores eléctricos DC de las bombas de lodo del taladro A.C.M. (Ver tabla 4.14 a 4.19).

Tabla 4.14. Ficha técnica del motor “A” de la bomba de lodo N° 1 del taladro A.C.M

Fuente: E.N.T

Tabla 4.15. Ficha técnica del motor “B” de la bomba de lodo N° 1 del taladro A.C.M

Fuente: E.N.T

Tabla 4.16. Ficha técnica del motor “A” de la bomba de lodo N° 2 del taladro A.C.M

Fuente: E.N.T

Tabla 4.17. Ficha técnica del motor “B” de la bomba de lodo N° 2 del taladro A.C.M

Fuente: E.N.T

Tabla 4.18. Ficha técnica del motor “A” de la bomba de lodo N° 3 del taladro A.C.M

Fuente: E.N.T

Tabla 4.19. Ficha técnica del motor “B” de la bomba de lodo N° 3 del taladro A.C.M

Fuente: E.N.T

4.2 Jerarquización de los motores eléctricos DC de las bombas de lodo, ubicadas en los taladros AP, JRBM y ACM, pertenecientes a la empresa PDVSA Servicios Base Simón Bolívar, mediante un Análisis de Criticidad.

El estudio del análisis de criticidad se realizó partiendo del formato de encuesta de la metodología D.S, la cual sirvió de herramienta para recolectar la información que se requería de los ingenieros, técnicos y operarios de los taladros de perforación. Esta información fue de gran valor para la investigación debido a que en la empresa no se contaba con un registro completo de fallas de los motores eléctricos DC estudiados. En la misma se analizaron todos los factores estudiados en los modelos de criticidad con el fin de obtener las variables características del comportamiento de los equipos pertenecientes a estos taladros.

4.2.1 Equipo natural de trabajo

Con la finalidad de determinar cuáles de estos motores están operando en estado crítico, se decidió utilizar la metodología del Ing. Diógenes Suárez, la cual basa sus criterios en factores de mantenimiento y operacionales. Este método se caracteriza por adaptarse al contexto operacional de cualquier empresa, es decir, los factores pueden modificarse, y de esta manera, adaptarse al proceso productivo de una empresa en específico. La jerarquización permite inclinar el análisis de fallas hacia los motores de mayor criticidad.

En esta etapa, el ENT (ver tabla 3.2) ajustó la metodología de análisis de criticidad a la realidad operativa de la empresa, considerando la cantidad y calidad de información disponible por motor, al igual que el nivel de información aportado por

el personal de la empresa, con el objetivo de definir los parámetros incluidos dentro de la metodología D.S que deben ser considerados para los motores en estudio.

4.2.2 Ejecución del análisis de criticidad según Diógenes Suárez

Para poder estudiar los motores eléctricos DC fue necesaria la aplicación de encuestas relacionadas con estos a los trabajadores con experiencia en las áreas de mantenimiento y operaciones, debido a que la empresa no contaba con un registro completo de fallas. Para establecer dicha encuesta se realizó un formato que contenía preguntas y técnicas sobre los parámetros a evaluar en el análisis de criticidad por la metodología DS.

A continuación, se describirá detalladamente como calcular la criticidad de los motores en estudio para cada taladro, con la finalidad de hacer visible el procedimiento utilizado para la obtención de la lista final que muestra la jerarquización de mayor a menor criticidad.

El siguiente formato (ver tabla 4.20) fue el utilizado para realizarle las encuestas a los trabajadores relacionados con los equipos en estudio (se realizaron 10 encuestas por cada motor):

Tabla 4.20. Formato de encuesta aplicado.

Fuente: Diógenes Suárez.

Para reflejar los valores finales obtenidos del análisis de criticidad se diseñaron 18 tablas (una por cada motor), en las cuales se muestran los resultados obtenidos de la aplicación de las encuestas de manera individual.

- A.P:

Los resultados obtenidos de las encuestas realizadas al E.N.T del taladro A.P sobre los motores eléctricos DC de las bombas de lodo de dicho taladro se pueden visualizar en la sección de Anexos (Anexo D) de este proyecto de investigación.

Las tablas de las encuestas realizadas al resto de los motores eléctricos DC de este taladro se pueden visualizar en la sección de Anexos (Anexo D) de este proyecto de investigación.

Habiendo obtenido los puntos del área de mantenimiento y operacional respectivamente, como resultado de la encuesta (herramienta propia de la metodología DS) aplicada al equipo natural de trabajo, se procedió a calcular la criticidad de los motores eléctricos de las bombas de lodo pertenecientes a este taladro (ver tabla 4.21 a 4.26).

Tabla 4.21. Resultados de criticidad del motor DC “A” de bomba de lodo N° 1.

Fuente: El autor

Tabla 4.22. Resultados de criticidad del motor DC “B” de bomba de lodo N° 1.

Fuente: El autor

Tabla 4.23. Resultados de criticidad del motor DC “A” de bomba de lodo N° 2.

Fuente: El autor

Tabla 4.24. Resultados de criticidad del motor DC “B” de bomba de lodo N° 2.

Fuente: El autor

Tabla 4.25. Resultados de criticidad del motor DC “A” de bomba de lodo N° 3.

Fuente: El autor

Tabla 4.26. Resultados de criticidad del motor DC “B” de bomba de lodo N° 3.

Fuente: El autor

A continuación se presenta la tabla 4.27 donde se detallan los resultados obtenidos del análisis de criticidad aplicado a los motores estudiados en este taladro.

Tabla 4.27. Resultados de criticidad de todos los motores del taladro A.P.

Fuente: El autor

- Taladro J.R.B.M:

Los resultados obtenidos de las encuestas realizadas al E.N.T del taladro JRBM sobre los motores eléctricos DC de las bombas de lodo de dicho taladro se pueden visualizar en la sección de Anexos (Anexo B) de este proyecto de investigación.

Habiendo obtenido los puntos del área de mantenimiento y operacional respectivamente, como resultado de la encuesta (herramienta propia de la metodología DS) aplicada al Equipo Natural de Trabajo, se procedió a calcular la criticidad de los motores eléctricos de las bombas de lodo pertenecientes a este taladro (ver tablas 4.28 a 4.33):

Tabla 4.28. Resultados de criticidad del motor DC “A” de bomba de lodo N° 1.

Fuente: El autor

Tabla 4.29. Resultados de criticidad del motor DC “B” de bomba de lodo N° 1.

Fuente: El autor

Tabla 4.30. Resultados de criticidad del motor DC “A” de bomba de lodo N° 2.

Fuente: El autor

Tabla 4.31. Resultados de criticidad del motor DC “B” de bomba de lodo N° 2.

Fuente: El autor

Tabla 4.32. Resultados de criticidad del motor DC “A” de bomba de lodo N° 3.

Fuente: El autor

Tabla 4.33. Resultados de criticidad del motor DC “B” de bomba de lodo N° 3.

Fuente: El autor

A continuación se presenta el resumen de los resultados obtenidos del análisis de criticidad aplicado a los motores estudiados en este taladro (ver figura 4.34):

Tabla 4.34. Resultados de criticidad de todos los motores del taladro J.R.B.M

Fuente: El autor

- Taladro A.C.M:

Los resultados obtenidos de las encuestas realizadas al E.N.T del taladro A.C.M sobre los motores eléctricos DC de las bombas de lodo de dicho taladro se pueden visualizar en la sección de Anexos (Anexo C) de este proyecto de investigación.

Habiendo obtenido los puntos del área de mantenimiento y operacional respectivamente, como resultado de la encuesta (herramienta propia de la metodología DS) aplicada al equipo natural de trabajo, se procedió a calcular la criticidad de los motores eléctricos de las bombas de lodo pertenecientes a este taladro (ver tabla 4.35 a 4.40):

Tabla 4.35. Resultados de criticidad del motor DC “A” de bomba de lodo N° 1.

Fuente: El autor

Tabla 4.36. Resultados de criticidad del motor DC “B” de bomba de lodo N° 1.

Fuente: El autor

Tabla 4.37. Resultados de criticidad del motor DC “A” de bomba de lodo N° 2.

Fuente: El autor

Tabla 4.38. Resultados de criticidad del motor DC “B” de bomba de lodo N° 2.

Fuente: El autor

Tabla 4.39. Resultados de criticidad del motor DC “A” de bomba de lodo N° 3.

Fuente: El autor

Tabla 4.40. Resultados de criticidad del motor DC “B” de bomba de lodo N° 3.

Fuente: El autor

A continuación en la tabla 4.41 se presentan los resultados obtenidos del análisis de criticidad aplicado a los motores estudiados en este taladro:

Tabla 4.41. Resultados de criticidad de todos los motores del taladro A.C.M

Fuente: El autor

Posteriormente, se procedió a ordenar los resultados del factor de criticidad de mayor a menor para lograr la jerarquización de los motores eléctricos en estudio, de acuerdo a su nivel de criticidad. La jerarquización de dichos motores se efectuó mediante la identificación de los más críticos según los resultados obtenidos de la encuesta aplicada al Equipo Natural de Trabajo mediante la metodología D.S. Ver tabla 4.42.

Tabla 4.42. Jerarquización de criticidad de los motores en estudio.

Fuente: El autor

Partiendo de los resultados del análisis de criticidad a los motores eléctricos DC GE 752 de las bombas de lodo pertenecientes a los taladros A.P (160), J.R.B.M (129) y A.C.M (128) de la empresa PDVSA Servicios Petroleros, se determinó que el taladro A.P (160) arrojó dos motores eléctricos con alta criticidad, los cuales fueron el motor eléctrico "B" de la bomba de lodo N° 1 y el motor eléctrico "B" de la bomba de

lodo N° 2. Adicionalmente, el taladro A.C.M (128) arrojó un motor eléctrico con alta criticidad, que resultó ser el motor eléctrico "A" de la bomba de lodo N° 3. Por lo tanto, estos tres motores son los que actualmente requieren ser atendidos con mayor prioridad.

Ya identificados los motores eléctricos DC GE 752 (de las bombas de lodo) que presentaron mayor criticidad, pertenecientes uno (1) al taladro A.C.M y dos (2) al taladro A.P se procedió a analizar los modos y efectos de fallas (AMEF) de los mismos, con el propósito de adquirir conocimientos sobre su principal función, fallas funcionales y modos de cada una de las fallas que presenta cada uno de estos motores eléctricos con sus respectivos efectos. Para esta etapa se decidió aplicar AMEF sólo al motor que arrojó mayor criticidad (motor eléctrico "B" de la bomba de lodo N° 2), esto debido a que todos los motores en estudio poseen las mismas características técnicas, razón por la cual no es necesario realizar este análisis de modos y efectos de falla a más de un equipo, es decir, que con estudiar un sólo equipo es suficiente, ya que los resultados que éste arroje servirán como modelo para los demás.

4.2.3 Información sobre fallas de los motores eléctricos en estudio

Debido a que la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) no requiere de una data histórica de fallas para su implementación, es importante mencionar, que los históricos de fallas pueden ser parte esencial para la gestión del mantenimiento de cualquier empresa, ya que mediante estos es posible analizar con mayor facilidad el comportamiento de los activos en un tiempo determinado.

Cabe destacar que el departamento de mantenimiento de taladros de la empresa PDVSA Servicios cuenta con un historial de falla, pero éstas están siendo anotadas en los formatos elaborados para reflejar los reportes de mantenimiento, lo cual es una

acción incorrecta de parte del E.N.T, ya que lo ideal sería que las fallas sean reportadas utilizando un formato propio, y sean archivados aparte de los reportes de mantenimiento. Por esta razón, dicho historial de fallas es considerado poco confiable ya que probablemente no cuenta con la información completa, como consecuencia de que al no existir un formato propio de reporte de fallas los trabajadores no sienten la obligación de registrar las fallas que ocurren a diario, situación que requiere ser corregida.

Sin embargo, mediante la revisión y análisis de dichos reportes de mantenimiento se logró recolectar un historial de las fallas que habían sido registradas por los operadores de los motores en estudio. Este histórico de fallas a pesar de estar posiblemente incompleto por las razones mencionadas anteriormente, se tomaron en consideración debido a que el número de fallas reportadas se encontraban dentro del rango o coincidían con la cantidad de fallas que se obtuvieron como resultado de la encuesta realizada a los miembros del E.N.T de cada motor.

En las tablas 4.43, 4.44 y 4.45 se muestra la cantidad de fallas de los motores eléctricos en estudio, organizados por taladro, ocurridas en el periodo desde el 28 de Julio de 2013 hasta 02 de Agosto de 2014, dicha información se presenta con la finalidad de verificar los equipos que presentaron más fallas en ese periodo.

Tabla 4.43. Cantidad de fallas de los motores eléctricos del taladro A.P

EQUIPO	SERIAL	Nº DE FALLAS
Motor Eléctrico DC	7537469	3
	7540142	4
	7544055	3
	7503175	4
	7532483	3
	7532483	3
TOTAL		20

Fuente: PDVSA Gas, Anaco

Tabla 4.44. Cantidad de fallas de los motores eléctricos del taladro J.R.B.M

EQUIPO	SERIAL	Nº DE FALLAS
Motor Eléctrico DC	7537375	2
	7491104	3
	7539900	1
	81EO174	2
	32801	1
	MC81BOO89	3
TOTAL		12

Fuente: PDVSA Gas, Anaco

Tabla 4.45. Cantidad de fallas de los motores eléctricos del taladro A.C.M

EQUIPO	SERIAL	Nº DE FALLAS
Motor Eléctrico DC	32796	2
	7491289	2
	7491113	3
	7522479	2
	1057	4
	7537377	3
TOTAL		16

Fuente: PDVSA Gas, Anaco

4.3 Realización de un análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) a los motores eléctricos DC de las bombas de lodo de los taladros AP (160), JRBM (129) y ACM (128) pertenecientes a la Base Simón Bolívar (Anaco-Edo. Anzoátegui).

4.3.1 Aplicación del análisis de modos y efectos de fallas

Una vez determinado cual es el motor eléctrico DC más crítico, se le aplicó un análisis de modos y efectos de fallas, para lo cual el Equipo Natural de Trabajo (ENT), definió el contexto operacional de dicho equipo según el criterio D.S, partiendo de la función para la cual está diseñado, se identificaron las fallas funcionales (con sus respectivos modos de fallas) y lo que ocurre cuando el equipo falla de esa manera (efecto de falla), siendo estos los cuatro aspectos que forman el AMEF. Para este análisis se diseñó una hoja de información para asentar los datos sobre las funciones, falla funcional, modos y efectos de fallas del equipo que se estudiaron.

La hoja de información utilizada consta de una primera parte la cual está conformada por un encabezado que hace referencia a que el documento es una hoja de información relacionada a la metodología MCC (registro AMEF). Al lado izquierdo de dicho encabezado aparece el logo de la empresa en estudio y en el lado derecho se colocó una imagen del componente estudiado. Además, este formato contiene una segunda parte donde se denota e identifica el sistema que se está estudiando, con el equipo y componente correspondiente, así como los responsables del análisis. Y finalmente, una tercera parte que corresponde a las bases y aplicación del AMEF, las cuales son las funciones, fallas funcionales, modos y efectos de fallas.

En la tabla 4.46 se muestra la hoja de información obtenida para el componente “portacarbones”. Las hojas de información obtenidas para el resto de los

componentes del motor más crítico se pueden visualizar en la sección de Anexos (E y F).

Tabla 4.46. Resultados del AMEF del portacarbones.

Fuente: El autor

4.3.2 Resultados del análisis de modos y efectos de fallas

En la tabla 4.47 se muestra el resumen de la aplicación del análisis de modos y efectos de fallas, en cuanto a la cantidad de funciones, fallas funcionales y modos de fallas considerados en el motor más crítico.

Tabla 4.47. Resultados del AMEF.

EQUIPO	FUNCIONES	FALLAS FUNCIONALES	MODOS DE FALLA
Motor eléctrico DC	15	37	78

Fuente: El autor

En la tabla 4.48 se muestra de manera porcentual el resumen de la aplicación del análisis de modos y efectos de falla realizada al motor de mayor criticidad.

Tabla 4.48. Distribución porcentual de los resultados del AMEF.

VARIABLES	PORCENTAJE
Funciones	11.54 %
Fallas Funcionales	28.46 %
Modos de Falla	60 %

Fuente: El autor

En la gráfica 4.1 se muestran de forma más clara los resultados porcentuales obtenidos mediante el AMEF. En dicha gráfica el color azul representa las funciones que ejercen los componentes principales de los motores en estudio (constituyen el 11.54%). Por su parte, el color verde representa la cantidad de modos de fallas

obtenidos (constituyendo el 60%). Y por último, encontramos el color rojo representando las fallas funcionales de cada componente de los motores (el cual obtuvo el 28.46% del total).

Gráfica 4.1. Distribución porcentual de los resultados del AMEF
Fuente: El autor

4.4 Establecimiento de los tipos de actividades de mantenimiento aplicables a los motores eléctricos DC de las bombas de lodo de los taladros AP (160), JRBM (129) y ACM (128) pertenecientes a la Base Simón Bolívar (Anaco-Edo. Anzoátegui), de acuerdo al árbol lógico de decisión.

4.4.1 Aplicación del árbol lógico de decisiones

Para establecer las acciones de mantenimiento más adecuadas para atacar cada modo de fallo, se aplicó el árbol lógico de decisión, que es un flujograma de decisión de la norma SAE JA 1012 y la norma de PDVSA MM-01-01-03 “Niveles de Mantenimiento” a través del cual se pudo analizar los modos de fallos de los equipos, de acuerdo a las consecuencias de los mismos sobre el sistema en donde opera, incluyendo a la empresa y su entorno. Para esto se elaboró una hoja de decisión de adaptación propia para asentar los datos obtenidos del flujograma de preguntas.

En la tabla 4.49 se observa la hoja de decisión obtenida como resultado del ALD realizado al componente “portacarbones”. Las hojas de decisión del ALD obtenidas del resto de los componentes del motor eléctrico DC que obtuvo mayor criticidad se pueden visualizar en la sección de Anexos (G y H) de este trabajo de investigación.

Tabla 4.49. Hoja de decisión obtenida de los portacarbones.

Fuente: El autor

4.4.2 Resultados del árbol lógico de decisiones

De acuerdo al análisis realizado mediante el ALD, se obtuvieron las siguientes cantidades para los modos de fallas como se muestra en la tabla 4.50.

Tabla 4.50. Cantidad de cada tipo de falla.

TIPOS DE FALLA	TOTAL
Evidentes	63
Ocultas	15

Fuente: El autor

En la tabla 4.51 se observa la distribución porcentual obtenida a través del ALD en relación a las cantidades de cada tipo de falla.

Tabla 4.51. Cantidad porcentual de los tipos de falla.

TIPOS DE FALLA	PORCENTAJE
Evidentes	80.77 %

Ocultas	19.23 %
---------	---------

Fuente: El autor

En la gráfica 4.2 se muestra más claramente la distribución porcentual obtenida mediante el ALD en cuanto a los tipos de falla para las cuales se establecieron las acciones de mantenimiento respectivas para minimizarlas. En dicha grafica es posible visualizar que la cantidad de modos de fallas evidentes está representada por el color azul con un porcentaje de 80.77 %, mientras que los modos de fallas ocultas encontrados están representados por el color rojo con un porcentaje de 19.23 % del total.

Gráfica 4.2. Cantidad porcentual de los tipos de falla.

Fuente: El autor

En la tabla 4.52 se muestra como quedaron distribuidos los tipos de actividades de mantenimiento aplicables para los modos de fallas encontrados al analizar los componentes del motor eléctrico más crítico.

Tabla 4.52. Tipos de actividades de mantenimiento obtenidas.

Equipo	Tipos de Actividades			
	Basada en Condición (BC)	Basada en Tiempo (BT)	Detección de Fallas (DF)	Otras Tareas (OT)
Motor eléctrico DC	46	24	0	8

Fuente: El autor

En la tabla 4.53 se muestra la distribución porcentual de los tipos de actividades de mantenimiento aplicables para los modos de fallas encontrados en el motor eléctrico más crítico.

Tabla 4.53. Cantidad porcentual de los tipos de actividades resultantes.

Equipo	Tipos de Actividades
--------	----------------------

	Basada en Condición (BC)	Basada en Tiempo (BT)	Detección de Fallas (DF)	Otras Tareas (OT)
Motor eléctrico DC	58.97 %	30.77 %	0 %	10.26 %

Fuente: El autor

En el gráfico 4.3 se puede observar de manera más detallada la distribución porcentual obtenida mediante el ALD para los tipos de tareas de mantenimiento aplicables para los modos de falla del motor estudiado. Las tareas basadas en condición están identificadas con el color azul y representan el 58.97 %, seguidas por las tareas basadas en tiempo (identificadas con el color rojo) con un 30.77 %, y finalmente, encontramos la opción “otras tareas” identificada con el color verde que representa el 10.26% restante.

Gráfica 4.3. Cantidad porcentual de los tipos de actividades resultantes.

Fuente: El autor

4.5 Elaboración de planes de mantenimiento preventivo para el motor eléctrico DC más crítico de las bombas de lodo pertenecientes a los taladros en estudio.

Una vez aplicado el AMEF y ALD, se indicó la información útil y necesaria tal como la frecuencia de dichas tareas, responsables de la ejecución, las horas hombres estimadas para realizar cada tarea. Todo esto dentro del plano de ejecución de mantenimiento.

En el plan de mantenimiento preventivo para los motores eléctricos DC en estudio se resume la información tanto del AMEF como la del ALD. Fue conveniente agrupar ciertas actividades, con el fin de obtener eficacia a la hora de ejecutar el mantenimiento a los equipos.

Las condiciones para la agrupación de dichas tareas son las siguientes:

- Las actividades deben interactuar o ser consecutivas entre si, para evitar montajes y desmontajes de los motores con frecuencias cortas.
- El grupo de actividades no debe generar tiempos excesivos de mantenimiento.
- No utilizar excesivo personal para las actividades agrupadas.
- Considerar la disponibilidad del personal de mantenimiento.

El plan de mantenimiento obtenido para los componentes del motor eléctrico DC que obtuvo mayor criticidad se puede visualizar en la sección de Anexos de este trabajo de investigación (Anexo I). En dicho plan de mantenimiento, adicionalmente a las actividades de mantenimiento preventivo establecidas con una frecuencia semanal, se agregó un conjunto de actividades de mantenimiento preventivo que deben aplicarse al equipo a largo plazo. Y finalmente, se anexaron 3 formatos: un formato de reporte de fallas, un formato de información de fallas y un formato de reporte de mantenimiento. Todos ellos adaptables a cualquier equipo de la empresa, pero elaborados con el objetivo principal de que sean implementados a los motores eléctricos DC de la empresa.

4.5.1 Resultados del plan de mantenimiento preventivo

Con la información detallada y organizada de la elaboración de los planes de mantenimiento preventivo, se procedió a la recopilación de la cantidad de actividades a ejecutar por cada componente. En la tabla 4.54 se muestran los resultados.

Tabla 4.54. Actividades asignadas al personal.

Componente	N° de actividades
Rotor	2
Estator	4
Cables de alimentación	4
Caja de conexión	6
Conmutador	3
Portacarbonos	4
Eje	3
Sello mecánico	1
Carbones	5
Rodamientos	2
Sistema de enfriamiento	1
Motor del enfriador	9
Sprocket	2
Total	46

Fuente: El autor

En la tabla 4.55 se muestra la distribución porcentual obtenida en cuanto a la cantidad de actividades a ejecutar por cada componente del motor estudiado.

Tabla 4.55. Distribución porcentual de las actividades por componente.

Componente	%
Rotor	4.35 %
Estator	8.69 %
Cables de alimentación	8.69 %
Caja de conexión	13.04 %
Conmutador	6.52 %
Portacarbonos	8.69 %
Eje	6.52 %
Sello mecánico	2.17 %
Carbones	10.86 %
Rodamientos	4.34 %
Sistema de enfriamiento	2.17 %
Motor del enfriador	19.56 %
Sprocket	4.34 %
Total	100 %

Fuente: El autor

En el gráfico 4.4 se observa de una manera más clara la distribución porcentual obtenida en cuanto a la cantidad de actividades a ejecutar por cada componente del motor eléctrico en estudio.

Gráfico 4.4. Distribución porcentual de las actividades por componente.

Fuente: El autor

En cuanto a la cantidad de actividades de mantenimiento asignada a cada departamento, en la tabla 4.56 se muestra la distribución de las mismas.

Tabla 4.56. Tareas de mantenimiento asignadas por departamento.

Fuente: El autor

En la gráfica 4.5 se refleja la cantidad de actividades de mantenimiento asignadas a cada departamento. El departamento eléctrico está identificado con el color azul y representa un 76.09 %, mientras que el departamento de mecánica se identifica con el color rojo y representa el 23.91 % restante.

Gráfica 4.5. Distribución porcentual de tareas por departamento.

Fuente: El autor

En la tabla 4.57 están reflejadas las horas-hombre de mantenimiento asignadas a cada departamento.

Tabla 4.57. Horas-Hombre de mantenimiento asignadas al personal.

Fuente: El autor

El gráfico 4.6 muestra de manera más detallada la distribución porcentual de las horas-hombre de mantenimiento por departamento. Resultando que la mayor parte de las horas estimadas para el cumplimiento de estas actividades, se asignaron al departamento de electricidad (identificado con el color azul) con un 75.06 %,

mientras que al departamento de mecánica (identificado con el color rojo) le fueron asignadas el 24.94 % de las actividades.

Gráfica 4.6. Distribución porcentual de las horas-hombre de mantenimiento.

Fuente: El autor

4.5.2 Resultados de las actividades de mantenimiento preventivo adicionales (a largo plazo)

A continuación se presentan algunas actividades de mantenimiento preventivo que deben aplicarse a los motores eléctricos DC (a largo plazo). Se optó por enlazar esta serie de actividades al plan de mantenimiento propuesto a corto plazo para estos equipos, ya que la ejecución de estas también se consideró de gran importancia para lograr un mejor rendimiento y mayor vida útil de los mismos.

Tabla 4.58. Distribución de las actividades de mantenimiento a largo plazo.

Componente	Nº de actividades	Departamento		Horas-Hombre	
		Electricidad	Mecánica	Electricidad	Mecánica
Carcasa	2	0	2	0	0,58
Bandas	1	0	1	0	0,58
Acoplamiento	1	0	1	0	0,58
Entrehierro	1	1	0	0,58	0
Motor DC	2	2	0	2,17	0
Equipos de protección y control	1	1	0	0,5	0
Radiadores (sistema de enfriamiento)	2	0	2	0	0,5
Portaescobillas	1	1	0	0,33	0
Rodamientos	1	0	1	0	0,67
Anillo del flanche	1	1	0	0,33	0

Fuente: El autor

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se determinó que actualmente los motores eléctricos DC de las bombas de lodo ubicadas en los taladros AP (160), JRBM (129) y ACM (128) pertenecientes a la empresa PDVSA Servicios son operados en un 100% de su capacidad instalada, y que dicha empresa posee un Manual de Mantenimiento limitado.
- Mediante el análisis del contexto operacional de estos motores eléctricos, se conoció su situación actual, se elaboraron las fichas técnicas de cada equipo y se creó el flujograma del proceso donde forman parte estos motores (sistema de circulación).
- A través de la Metodología D.S (Diógenes Suárez), se establecieron los niveles de criticidad de los motores eléctricos en estudio, obteniéndose 16.67% críticos, lo cual representa tres (03) motores eléctricos DC de los dieciocho (18) estudiados en total.
- Con la aplicación del Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) al motor más crítico, se identificaron quince (15) funciones en total de sus componentes, treinta y seis (36) fallas funcionales y setenta y siete (77) modos de falla, permitiendo posteriormente el análisis de las consecuencias de las fallas y la selección de las Tareas de Mantenimiento.
- Con la aplicación del Árbol Lógico de Decisión (ALD) se conoció que el 80.52 % de las fallas que presentan los motores eléctricos estudiados son Evidentes, por lo

cual sólo el 19,48 % resultaron ser fallas No Evidentes, y el 100% de las fallas sólo generan consecuencias Operacionales.

- La elaboración de los planes de mantenimiento, permitió distribuir las actividades propuestas entre los componentes de los motores en estudio de la siguiente manera: componentes eléctricos 71.71 % y componentes mecánicos 28.23 %.
- Las responsabilidades y las frecuencias de las actividades para las tareas de mantenimiento propuestas se establecieron de la siguiente manera: se dividió en 52 semanas, se establecieron frecuencias de ejecución de las tareas en períodos (diaria, semanal, quincenal, mensual, trimestral, semestral y anual), horas-hombre estimadas para la ejecución de cada actividad, considerando que los equipos en estudio operan diariamente durante todo el año.
- Adicionalmente al plan de mantenimiento preventivo establecido, se anexó un conjunto de actividades de mantenimiento preventivo que deben ejecutarse a largo plazo. Además, se enlazaron tres (03) formatos (reporte de falla, hoja de información de falla y reporte de mantenimiento) como propuesta para que sean implementados en la empresa tanto en los motores eléctricos DC como en los demás equipos que sean adaptables a dichos formatos.

5.2 Recomendaciones

En concordancia con los resultados y las conclusiones obtenidas luego del desarrollo del presente trabajo de investigación se sugiere lo siguiente:

- Implementar los planes de mantenimiento preventivo que se sugieren en este Trabajo de Investigación para los motores eléctricos DC (de las bombas de lodo)

de los taladros A.P (160), A.C.M (128) y J.R.B.M (129) y del resto de los taladros de perforación pertenecientes a la empresa PDVSA Servicios.

- Para implantar las actividades de mantenimiento preventivo propuestas se recomienda el apoyo comprometido por parte de la Gerencia de Mantenimiento, Operaciones, Seguridad Industrial Ambiente e Higiene Ocupacional (SIAHO), a fin de garantizar el suministro ideal de los recursos necesarios (físicos y humanos) para el desarrollo del plan.
- Es necesario que la empresa aplique los formatos propuestos en este trabajo de investigación, principalmente el formato de reporte de fallas, ya que esta no posee un archivo de formatos propios de reporte de fallas para los motores eléctricos DC, por lo que éstas erróneamente han venido reportándose en los formatos de reportes de mantenimiento, lo que ha impedido a la empresa tener un historial completo de fallas de estos equipos.
- Incorporar indicadores de gestión de mantenimiento, como disponibilidad de repuestos, confiabilidad, mantenibilidad y efectividad, a fin de evaluar los resultados de acciones tomadas sobre el funcionamiento de estos equipos (motores eléctricos DC), y poder rectificarlas a tiempo (de ser necesario).
- Exigir a los Fabricantes de los Equipos que provean copias de los Manuales de los Motores Eléctricos DC, en especial, que hagan entrega de copias del manual con traducción al idioma español, para que así los empleados que lo deseen puedan tener acceso a consultar detalles de estos, sin la limitante del idioma.

- Dictar charlas para concientizar al Equipo Natural de Trabajo (E.N.T) de los motores eléctricos DC sobre los beneficios de realizar las actividades de mantenimiento preventivo propuestas en este trabajo de investigación.
- Realizar un inventario actualizado de los repuestos de los motores eléctricos DC, esto con la finalidad de determinar que componentes no cuentan con repuesto disponible en el almacén. Al establecer este inventario, solicitar aquellos repuestos no disponibles, como medida de precaución ante la posible falla o desgaste de algún componente, para que así los operadores estén preparados y evitar paradas largas del equipo por indisponibilidad de repuestos.
- Inspeccionar los planes de mantenimiento preventivo anualmente, para verificar si existe la necesidad de realizar algún ajuste. Principalmente, revisar que las frecuencias de ejecución de las actividades sean convenientes para la gestión.
- Llevar a cabo la implementación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) al resto de los equipos de los taladros de perforación de la empresa PDVSA Servicios, para lograr de esta manera una documentación
- especifica de todas las unidades con las que trabaja la organización y llevar un control apropiado en el área de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Arias, F. (2006). “El proceso de investigación”. Editorial Episteme. Venezuela.

Bernal L. (2002). “Análisis de Modo y Efecto de Falla Potencial”. Universidad de Tolima. Colombia.

Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED). (1998). “El Taladro y sus Componentes”. Venezuela.

Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED) (1999). “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”. Venezuela.

Chapman, S. (2003). “Máquinas eléctricas”. Editorial: McGraw-Hill. México.

Espinosa F. (2004). “Confiabilidad Operacional de Equipos: Metodologías y Herramientas. Universidad de TALCA”. Chile.

Espinoza, H. (2003). “Pasos para aplicar el mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC)”. Trabajo de investigación de Ingeniería en Mantenimiento. Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui.

Herrera, R. (2014). “Diseño de planes de mantenimiento basados en la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para los bancos de prueba, pertenecientes al área de ensamblaje de la empresa ENAVAL S.A PDVSA Industrial”. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Industrial en la Universidad de Oriente (UDO), Núcleo de Anzoátegui.

Huerta R. (2010). “Procesos de análisis integral de disponibilidad y confiabilidad como soporte para el mejoramiento continuo de las empresas”. Reliability World Latín América.

Hurtado, J. (1998). “Metodología de la Investigación Holística”. Fundación Sypal.

INTEVEP. (2004). Manual de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC). Petróleos de Venezuela. Venezuela.

Latorre, E. (1996). “Teoría general de sistemas. Aplicada a la Solución Integral de Problemas”. Editorial Universidad del Valle. Colombia.

Manual de PDVSA SERVICIOS S.A (2013). “Programa de mantenimiento preventivo a los equipos de los taladros de perforación petroleros”.

Meneses, L. (2013). “Diseño de un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para las unidades de registro 2K1, 2K6 y 2K7 de la empresa ALEX, C.A localizada en la ciudad de Anaco, Edo. Anzoátegui”. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Industrial en la Universidad de Oriente (UDO), Núcleo de Anzoátegui.

Moubray, J. (1999). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Editorial Bulterworth. Estados Unidos.

Norma COVENIN 3049-93. (1993). “Mantenimiento definiciones”. Venezuela.

Pérez, E. (2010). “Diseño de un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) para una paletizadora de sacos de cemento”. Trabajo de Grado

presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico en la Universidad de Oriente (UDO), Núcleo de Anzoátegui.

Puccia, J. (2014). “Propuesta de un plan de mantenimiento bajo la filosofía Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), para los equipos dinámicos del sistema de circulación de fluidos de perforación del taladro GW-63, de la empresa Bohai Drilling Service Venezuela S.A”. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Industrial en la Universidad de Oriente (UDO), Núcleo de Anzoátegui.

Sabino, C. (2000). “El proceso de investigación”. Editorial Ponapo. Venezuela.

Salkind, N (1999). “Métodos de Investigación”. 3ra Edición. Prentice Hall, México.

Suarez, D. (2001). Guía teórico- práctico de mantenimiento mecánico. Universidad de Oriente. Venezuela.

Tamayo y Tamayo. (2004). “El proceso de la investigación científica”. Editorial Limusa. México.

Tavares L. (2001). “Administración Moderna de Mantenimiento”. Editorial: Novo Polo [Publicações](#). Brasil.

Woodruff, J. (1961). Fundamentos de perforación.

ANEXOS

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

TÍTULO	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)
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CVLAC / E MAIL
Zerpa C., Adrian J.	CVLAC: 18.594.438 E MAIL: Zerpa23@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALABRAS O FRASES CLAVES:

Plan de mantenimiento, MCC, Motores eléctricos, Amef, Bombas de lodo, Taladros AP (160), JRBM (129) y ACM (128)

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y ciencias aplicadas	Ingeniería Industrial

RESUMEN (ABSTRACT):

Para el cumplimiento de los objetivos planteados 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.

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

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS X	TU	JU
Esp. Alcántara, José	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				
Esp. Ledezma, Melchor	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2016	02	10
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. 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.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. Mantenimiento / Base Simon Bolívar,(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

CUN°0975

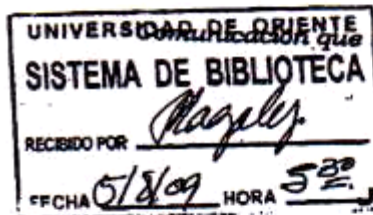
Cumana, 04 AGO 2009

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 N° 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.

Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CUNEL
Secretario



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/YOC/manija

Apertado Correos 094 / Teléf: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumana - 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 exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

AUTOR	Zerpa C., Adrian J. AUTOR	AUTOR
Esp. Alcántara, José TUTOR	MSc. Bousquet, Juan JURADO	Esp. Ledezma, Melchor JURADO

Ing. Valderrama, Rita
POR LA COMISIÓN DE TESIS