

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



**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA
FILOSOFÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD
(MCC) A LA PLANTA POTABILIZADORA DE LA UNIDAD DE PLANTA
DE AGUA SANTA ROSA, PDVSA GAS, UBICADA EN ANACO
ESTADO ANZOÁTEGUI**

Realizado por:

Rodríguez O., Freddy J.

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

INGENIERO INDUSTRIAL

Anaco, Noviembre de 2016

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



**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA
FILOSOFÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD
(MCC) A LA PLANTA POTABILIZADORA DE LA UNIDAD DE PLANTA
DE AGUA SANTA ROSA, PDVSA GAS, UBICADA EN ANACO
ESTADO ANZOÁTEGUI**

Revisado por:

**Ing. Ledezma, Melchor
Tutor Académico**

**Ing. Ibañez, Edwil
Tutor Industrial**

Anaco, Noviembre de 2016

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



**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA
FILOSOFÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD
(MCC) A LA PLANTA POTABILIZADORA DE LA UNIDAD DE PLANTA
DE AGUA SANTA ROSA, PDVSA GAS, UBICADA EN ANACO
ESTADO ANZOÁTEGUI**

Jurado Calificador:

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

APROBADO

Ing. Ledezma, Melchor

Tutor Académico

Ing. Iguaro, Fabiola

Jurado Principal

MSc. Bousquet, Juan C.

Jurado Principal

Anaco, Noviembre del 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

A Dios Todopoderoso, quien siempre ha estado a mi lado protegiéndome, guiándome por el camino correcto y dándome las fuerzas necesarias para luchar por esta meta tan importante en mi vida.

A mis padres Inés y Freddy, quienes con su esfuerzo, dedicación, trabajo y sacrificio, me han dado todo su apoyo, comprensión y amor, y siempre han hecho todo lo posible para darme la oportunidad de cumplir todas mis metas personales y profesionales.

A mis abuelos Guillermo, Benita y Vicenta que siempre estuvieron pendiente de mí, cuidándome y dándome todo su amor, y por sus valiosos consejos, y también por traer al mundo a mis padres que han sido el regalo más hermoso que me ha dado la vida.

A mi hermano José, que este logro le sirva de estímulo y lo incentive a luchar por lograr sus metas personales y profesionales, que le sirva como ejemplo de esfuerzo, dedicación y perseverancia.

A todos mis tíos, quienes siempre han estado pendientes y preocupados por mí, me han dado su cariño, apoyo incondicional y atenciones, dándome buenos consejos y ayudándome en los momentos que los he necesitado.

Freddy Rodríguez.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios, por haberme encaminado durante estos años de constantes sacrificios, por permitirme la claridad y perseverancia en el trayecto de toda mi carrera universitaria y por haber escuchado todas mis oraciones.

A mis padres Inés Ojeda y Freddy Rodríguez, que dieron todo por mí en el transcurso de mis estudios, son el mejor ejemplo a seguir. Con su amor, atención y ánimo me ayudaron a superar todos los obstáculos y a realizar esta meta.

A mis Hermanos Katuska y José Guillermo por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas para seguir adelante.

A una persona muy especial en mi vida, mi novia Carmen Ramos por estar pendiente en todo momento de mí, con su amor, cariño y comprensión motivándome a seguir adelante.

A la Universidad de Oriente por darme el placer de ser parte de ella, por formarme profesionalmente y en ella obtener uno de mis sueños. Muchas gracias.

A mi tutor Ing. Melchor Ledezma, por aportarme sus valiosos conocimientos, por su excelente asesoría y orientación. A mi tutor industrial Edwil Ibañez, por su apoyo y aportes en todo momento durante mis pasantías con la empresa.

A mis amigos y compañeros de clase donde siempre encontré una mano amiga en las buenas y las malas, ustedes marcaron la diferencia, gracias por tantos momentos inolvidables que hicieron de mi carrera universitaria una verdadera

experiencia de vida, Mario Lanfranchini, Cesar Smith, Luis Felipe Gonzales (el peluche), Richard Herrera.

Y a todos aquellos que de una u otra forma ayudaron a cumplir esta meta, gracias de todo corazón a todos...

Freddy Rodríguez.

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



**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA
FILOSOFÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD
(MCC) A LA PLANTA POTABILIZADORA DE LA UNIDAD DE PLANTA
DE AGUA SANTA ROSA, PDVSA GAS, UBICADA EN ANACO
ESTADO ANZOÁTEGUI**

Autor: Rodríguez O., Freddy J.

Tutor: Ing. Ledezma, Melchor

Fecha: Noviembre de 2016

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es diseñar un plan de mantenimiento basado en la filosofía de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) a la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas, ubicada en el estado Anzoátegui, con la finalidad de elaborar los procedimientos de ejecución de mantenimiento a los equipos de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa. Enmarcada dentro de una investigación del tipo descriptiva con diseño de campo, utilizando como técnica de recolección de datos, la observación directa, entrevistas no estructurada y la revisión bibliográfica. En esta investigación, se describió la situación actual de la planta, identificando los equipos en estado crítico, realizando un análisis de modos y efectos de fallas (AMEF), lo que permitió determinar las tareas y técnicas frecuentes a partir de un ALD. Con este estudio se logró la elaboración de las propuestas de mantenimiento para los equipos, asignando treinta y cinco actividades que estén de acuerdo a la realidad operativa de la planta potabilizadora Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco. Recomendando, aplicar los planes de mantenimiento diseñados y propuestos en este trabajo de grado, para lograr reestablecer la operatividad óptima de los equipos que presentan fallas

Descriptorios: Plan, Mantenimiento, MCC, Planta, equipos, agua.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
INTRODUCCIÓN	xviii
CAPÍTULO I.....	21
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.1 Planteamiento del problema.....	21
1.2 Objetivos de la investigación	24
1.2.1 Objetivo general.....	24
1.2.2 Objetivos específicos	24
1.3 Justificación de la investigación.....	25
1.4 Generalidades de la empresa.....	25
1.4.1 Ubicación geográfica	26
1.4.2 Misión	27
1.4.3 Visión.....	27
1.4.4 Razón social	28
1.4.5 Objetivos de PDVSA Gas	28
1.4.6 Objetivos gerenciales de PDVSA Gas	28
1.4.7 Estructura organizativa	29
CAPÍTULO II	31
2.1 Antecedentes de la investigación	31
2.2 Bases teóricas	34
2.2.1 Mantenimiento	34
2.2.2 Objetivos del mantenimiento	35
2.2.3 Tipos de mantenimiento.....	35
2.2.4 Planes de mantenimiento	36
2.2.5 Niveles de mantenimiento.....	37
2.2.6 Bombas centrifugas.....	38
2.2.7 Bombas electro sumergibles	39
2.2.8 Agua cruda	39
2.2.9 Agua natural.....	40
2.2.10 Agua potable	40
2.2.11 Válvula de compuerta	41
2.2.12 Válvulas antirretorno (check).....	41

2.2.13 Tanques de almacenamiento	43
2.2.14 Motores eléctricos	43
2.2.15 Filtros	44
2.2.16 Mantenimiento centrado en confiabilidad.....	44
2.2.17 Equipo natural del trabajo (ENT).....	46
2.2.18 Funciones del activo.....	47
2.2.19 Análisis de criticidad.....	48
2.2.20 Metodología D.S.	50
2.2.21 Factores que intervienen en el área de mantenimiento	51
2.2.22 Factores que intervienen en el área operacional	51
2.2.23 Análisis de modos y efector de fallas (AMEF).....	52
2.2.24 Fallas	53
2.2.25 Fallas funcionales.....	53
2.2.26 Modos de fallas	53
2.2.27 Consecuencias de las fallas	55
2.2.28 Árbol lógico de decisiones (ALD)	56
2.2.29 Tareas proactivas de mantenimiento	59
2.2.30 Tareas de reacondicionamiento cíclico	60
2.2.31 Tareas de sustitución cíclica	60
2.2.32 Tareas de búsqueda de falla	61
2.2.33 Ningún mantenimiento preventivo.....	61
2.2.34 Rediseño.....	61
2.2.35 Frecuencias de mantenimiento	62
2.2.36 Hoja de información.....	62
2.2.37 Hoja decisión.....	62
2.2.38 Procedimiento de ejecución de mantenimiento	63
2.2.39 Partes que conforman el procedimiento de trabajo	63
2.3 Bases legales	64
2.3.1 Norma COVENIN 2634-02 (2002).....	64
2.3.2 Norma COVENIN 1653-92 (1992).....	65
2.3.3 Norma PDVSA SI-S-20.....	65
2.3.4 Norma PDVSA MM-01-01-01	65
2.3.5 Noma PDVSA MM 01-01-03	65
CAPÍTULO III	67
MARCO METODOLÓGICO	67
3.1 Diseño de la investigación	67
3.1.1 Investigación de campo.....	67
3.2 Tipo de investigación	68
3.3 Población y muestra	68
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	70
3.4.1 Técnicas de recolección de datos	70
3.4.1.1 Observaciones	70
3.4.1.2 Entrevista no estructurada	71

3.5 Técnicas de análisis de datos.....	72
3.5.1 Análisis de criticidad.....	72
3.5.2 Mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC).....	72
3.5.3 Análisis de modos y efecto de fallas (AMEF).....	72
3.5.4 Árbol lógico de decisiones.....	73
3.5.5 Ficha técnica.....	73
3.6 Etapas de la investigación.....	73
3.6.1 Descripción de la situación actual de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco.....	73
3.6.1.1 Elaboración de fichas técnicas.....	74
3.6.2 Identificación de los equipos críticos de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco.....	75
3.6.3 Realización de un análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) a los equipos críticos de la planta potabilizadora.....	78
3.6.4 Determinación de tareas y técnicas frecuentes de mantenimiento a os equipos críticos de la planta potabilizadora, realizando un árbol lógico de decisión (ALD).....	81
3.6.5 Elaboración de los procedimientos de ejecución de mantenimiento a los equipos de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua PDVSA Gas Anaco.....	83
CAPÍTULO IV.....	86
ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	86
4.1 Descripción de la situación actual de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco.....	86
4.1.1 Equipos presentes dentro del proceso de la planta de agua Santa Rosa.....	89
4.1.1.1 Bombas electrosumergible.....	91
4.1.1.2 Tanques de almacenamiento de agua cruda.....	94
4.1.1.3 Bombas centrifugas.....	97
4.1.1.4 Filtros.....	100
4.1.1.5 Válvulas de compuerta.....	101
4.1.1.6 Válvulas antirretorno (Check).....	103
4.1.1.7 Motores eléctricos.....	104
4.2 Identificación de los equipos críticos de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco.....	108
4.3 Análisis de modos y efectos de falla (AMEF) a los equipos críticos de la planta potabilizadora.....	206
4.4 Determinación de las tareas y técnicas frecuentes de mantenimiento a los equipos críticos de la planta potabilizadora, realizando un árbol lógico de decisión (ALD).....	215
4.5 Elaboración de los procedimientos de ejecución de mantenimiento a los equipos de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco.....	224

4.5.1 Elaborar los procedimientos de ejecución de mantenimiento.....	234
CAPÍTULO V	236
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	236
5.1 Conclusiones	236
5.2 Recomendaciones.....	238
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	239
ANEXOS	243
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO.....	244

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.1 Población de activos.....	69
Tabla 3.2 Modelo de ficha técnica de los equipos	74
Tabla 3.3 Formato de encuesta propuesta por la metodología de criticidad D.S.....	76
Tabla 3.4 Formato para el cálculo de la criticidad propuesto por la metodología de Criticidad D.S.	78
Tabla 3.5 Formato de la hoja de información propuesta por el MCC.....	80
Tabla 3.6 Formato de Hoja de Decisión propuesta por el MCC	82
Tabla 3.7 Formato para la planificación del mantenimiento.....	85
Tabla 4.1 Datos de los equipos pertenecientes a la Planta de agua Santa Rosa.....	90
Tabla 4.2 Ficha técnica de la Bomba Electrosumergible P-001	92
Tabla 4.3 Ficha técnica de la Bomba eletrosumergible P-002.....	93
Tabla 4.4 Ficha técnica de tanques de almacenamiento TK-001	95
Tabla 4.5 Ficha técnica de tanque de almacenamiento TK-002	96
Tabla 4.6 Ficha técnica de las bombas centrifugas BC-001	98
Tabla 4.7 Ficha técnica de la bomba centrifuga BC-002	99
Tabla 4.8 Ficha técnica de los filtros FT-001, FT-002, FT-003	101
Tabla 4.9 Ficha técnica de las válvulas de compuerta VC-001, VC-002, VC-003...	102
Tabla 4.10 Ficha técnica de las válvulas antirretorno (Check) VCK-01, VCK-02, VCK-03	104
Tabla 4.11 Ficha técnica de los motores eléctricosMEC-001, MEC-002.....	106
Tabla 4.12 Ficha técnica de los motores eléctricos ME-P-001, ME-P-002	107
Tabla 4.13 Matriz de Criticidad, bomba electrosumergible P-001. Área de mantenimiento.....	112
Tabla 4.14 Matriz de Criticidad, bomba electrosumergible P-001. Área operacional	113
Tabla 4.15 Calculo de Criticidad e Intervalos de Evaluación, bomba electrosumergible P-001.....	114
Tabla 4.16 Matriz de Criticidad, bomba electrosumergible P-002. Área de Mantenimiento	117
Tabla 4.17 Matriz de criticidad, bomba electrosumergible P-002. Área operacional	118
Tabla 4.18 Calculo de Criticidad e intervalos de evaluación, bomba electrosumergible P-002.....	119
Tabla 4.19 Matriz de criticidad, bomba centrifuga BC-001. Área de Mantenimiento	122
Tabla 4.20 Matriz de Criticidad, bomba centrifuga BC-001. Área Operacional	123
Tabla 4.21 Calculo de Criticidad e Intervalos de Evaluación, bomba centrifuga BC-001	124

Tabla 4.22 Matriz de Criticidad, bomba centrifuga BC-002. Área de Mantenimiento	127
Tabla 4.23 Matriz de Criticidad, Bomba Centrífuga BC-002. Área Operacional.....	128
Tabla 4.24 Calculo de Criticidad e intervalos de evaluación, Bomba Centrífuga BC-002	129
Tabla 4.25 Matriz de Criticidad, filtro FT-001. Área de Mantenimiento	132
Tabla 4.26 Matriz de Criticidad, filtro FT-001. Área Operacional	133
Tabla 4.27 Calculo de Criticidad e intervalos de Evaluación, filtro FT-001	134
Tabla 4.28 Matriz de Criticidad, filtro FT-002. Área de Mantenimiento	137
Tabla 4.29 Matriz de Criticidad, filtro FT-002. Área operacional.....	138
Tabla 4.30 Calculo de Criticidad e Intervalos de Evaluación, filtro FT-002.....	139
Tabla 4.31 Matriz de Criticidad, filtro FT-003 Área de Mantenimiento	142
Tabla 4.32 Matriz de Criticidad, filtro FT-003. Área Operacional.....	143
Tabla 4.33 Matriz de Criticidad e Intervalos de Evaluación, filtro FT-003.....	144
Tabla 4.34 Matriz de Criticidad, válvula de compuerta VC-001. Área de Mantenimiento.	147
Tabla 4.35 Matriz de Criticidad, válvula de compuerta VC-001. Área Operacional	148
Tabla 4.36 Calculo de Criticidad e Intervalos de Evaluación, válvula de compuerta VC-001	149
Tabla 4.37 Matriz de Criticidad, válvula de compuerta VC-002. Área de Mantenimiento	152
Tabla 4.38 Matriz de Criticidad, válvula de compuerta VC-002. Área Operacional	153
Tabla 4.39 Calculo de Criticidad e Intervalos de Evaluación, válvula de compuerta VC-002.....	154
Tabla 4.40 Matriz de Criticidad, válvula de compuerta VC-003. Área de Mantenimiento	157
Tabla 4.41 Matriz de Criticidad, válvula de compuerta VC-003. Área Operacional.....	158
Tabla 4.42 Calculo de Criticidad e intervalo de evaluación, válvula de compuerta VC-003	159
Tabla 4.43 Matriz de Criticidad, válvula antirretorno (Check) VCK-01. Área mantenimiento.....	162
Tabla 4.44 Matriz de Criticidad, válvula antirretorno (Check) VCK-01. Área Operacional.....	163
Tabla 4.45 Calculo de Criticidad e intervalos de evaluación, válvula antirretorno (Check) VCK-01	164
Tabla 4.46 Matriz de Criticidad, válvula antirretorno (Check) VCK-02. Área de Mantenimiento.....	167
Tabla 4.47 Matriz de Criticidad, válvula antirretorno (Check) VCK-02. Área Operacional	168

Tabla 4.48 Calculo de criticidad e intervalos de evaluación, válvula antirretorno (Check) VCK-02	169
Tabla 4.49 Matriz de Criticidad, válvula antirretorno (Check) VCK-03. Área de Mantenimiento	172
Tabla 4.50 Matriz de criticidad, válvula antirretorno (Check) VCK-03. Área Operacional	173
Tabla 4.51 Calculo de criticidad e intervalos de evaluación, válvula antirretorno VCK-03	174
Tabla 4.52 Matriz de criticidad, motor eléctrico MEC-001. Área de Mantenimiento	177
Tabla 4.53 Matriz de Criticidad, motor eléctrico MEC-001. Área Operacional.....	178
Tabla 4.54 Matriz de criticidad e intervalos de evaluación, motor eléctrico MEC-001	179
Tabla 4.55 Matriz de Criticidad, motor eléctrico MEC-002. Área de Mantenimiento.	182
Tabla 4.56 Matriz de Criticidad, motor eléctrico MEC-002. Área Operacional.....	183
Tabla 4.57 Calculo de criticidad e intervalos de evaluación, motor eléctrico MEC-002.....	184
Tabla 4.58 Matriz de criticidad, motor eléctrico ME-P-001. Área de Mantenimiento.	187
Tabla 4.59 Matriz de criticidad, motor eléctrico ME-P-001. Área Operacional.....	188
Tabla 4.60 Calculo de criticidad e intervalos de evaluación, motor eléctrico ME-P-001	189
Tabla 4.61 Matriz de criticidad, motor eléctrico ME-P-002. Área de Mantenimiento	192
Tabla 4.62 Matriz de criticidad, motor eléctrico ME-P-002 Área Operacional.....	193
Tabla 4.63 Calculo de criticidad e intervalos de evaluación, motor eléctrico ME-P-002	194
Tabla 4.64 Matriz de criticidad, tanque de almacenamiento TK-001. Área de mantenimiento.....	197
Tabla 4.65 Matriz de criticidad, tanque de almacenamiento TK-001. Área Operacional.	198
Tabla 4.66 Calculo de criticidad e intervalos de evaluación, tanque de almacenamiento TK-001	199
Tabla 4.67 Matriz de criticidad, tanque de almacenamiento TK-002. Área de Mantenimiento	202
Tabla 4.68 Matriz de criticidad, tanque de almacenamiento TK-002. Área Operacional	203
Tabla 4.69 Calculo de criticidad e intervalos de evaluación, tanque de almacenamiento.....	204
Tabla 4.70 Índices de criticidad de los equipos0	205
Tabla 4.71 Análisis de Modos y Efectos de Fallas en Bomba Electrosumergible....	207
Tabla 4.73 Análisis de Modos y Efecto de Fallas en Válvula de Compuerta.....	210

Tabla 4.74 Análisis de Modos y Efectos de Fallas en Válvula antirretorno (Check).....	211
Tabla 4.75 Análisis de Modos y Efectos de Fallas en Motor eléctrico.....	212
Tabla 4.76 Análisis de Modos y Efectos de Fallas en Tanque de almacenamiento.....	213
Tabla 4.77 Análisis de Modos y Efectos de Fallas en Filtro.....	214
Tabla 4.78 Hoja de Decisión Árbol Lógico de Decisiones (ALD) Bomba Electrosumergible	216
Tabla 4.79 Hoja de Decisión Árbol Lógico de Decisiones (ALD) Bomba Centrifuga.....	217
Tabla 4.80 Hoja de Decisión Árbol Lógico de Decisiones (ALD) Válvula de compuerta.....	219
Tabla 4.81 Hoja de Decisión Árbol Lógico de Decisiones (ALD) Válvula Antirretorno (Check).....	220
Tabla 4.82 Hoja de Decisión Árbol Lógico de Decisiones (ALD) Motor eléctrico	221
Tabla 4.83 Hoja de Decisión Árbol Lógico de Decisiones (ALD) Tanque de almacenamiento.....	222
Tabla 4.84 Hoja de Decisión Árbol Lógico de Decisiones (ALD) Filtro	223
Tabla 4.85 Planificación de Mantenimiento Bomba Electrosumergible	225
Tabla 4.86 Planificación de Mantenimiento Bomba Centrifuga.....	226
Tabla 4.87 Planificación de Mantenimiento Válvula de compuerta.....	227
Tabla 4.88 Planificación de Mantenimiento Válvula Antirretorno (Check).....	229
Tabla 4.89 Planificación de Mantenimiento Motor Eléctrico	230
Tabla 4.90 Planificación de Mantenimiento Tanque de Almacenamiento	232
Tabla 4.91 Planificación de Mantenimiento Filtro	233

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Ubicación geográfica de la ciudad de Anaco	26
Figura 1.2 Ubicación geográfica de la planta potabilizadora Santa Rosa.....	27
Figura 1.3 Estructura Organizativa de la Empresa.....	30
Figura 2.1 Partes de una válvula antirretorno (Check)	42
Figura 2.2 Válvula antirretorno de la planta potabilizadora de la estación Santa Rosa.....	43
Figura 2.3 Siete preguntas del MCC	46
Figura 2.4 Diagrama de los integrantes principales del ENT	47
Figura 2.5 Modelos básico de análisis de criticidad	49
Figura 2.6 Factores a evaluar en cada área	50
Figura 2.7 Capacidad en descenso del equipo	54
Figura 2.8 Aumento de la capacidad deseada sobre la inicial.....	54
Figura 2.9 Capacidad deseada por encima de la capacidad inicial	55
Figura 2.10Árbol lógico de decisiones propuestos por la metodología del MCC	58
Figura 4.1 Diagrama de procesos de la planta de agua Santa Rosa	88

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el área de mantenimiento, ha cambiado aceleradamente, principalmente en aspectos de tipo tecnológico, organizacional, documental y económico. Todo esto, como consecuencia de la importancia que se le atribuye en el ámbito industrial, pasando a formar parte e influyendo de forma directa sobre la gestión y sobrevivencia de cualquier empresa, puesto que actualmente es el encargado de asegurar la condición operativa de una instalación, tomando en cuenta factores importantes como: seguridad del personal y del medio ambiente, gasto generales y utilización de recursos disponibles.

Es por ello que, en la búsqueda de mejorar la gestión de mantenimiento, se han implantado técnicas, metodologías y filosofías, denominadas como Mantenimiento de Clase Mundial, las cuales se fundamentan en cubrir principalmente aspectos importantes y generar propuestas tanto para contextos generales como específicos. Entre las nuevas tendencias encontramos, el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC); el mismo se basa en determinar lo que debe hacerse para asegurar que un elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente, tratando de minimizar o mitigar las consecuencias negativas que puedan generarse sobre la producción, costos y seguridad.

Partiendo de lo anterior, la empresa PDVSA GAS, con actitudes proactivas, encargada de explorar, producir, transportar, procesar, distribuir y comercializar gas natural y sus derivados en Venezuela, se encuentra implementado políticas de mantenimiento actualizadas, por lo que el propósito de este trabajo consistió en diseñar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad a la Planta Potabilizadora de la Unidad de Planta de Agua Santa Rosa. Por lo tanto, es necesario que se defina un plan de mantenimiento completo y eficiente, que pueda ser de gran ayuda para el

personal encargado del mismo, de igual forma no se realizan registros de fallas de los equipos que les permitan llevar un control y tomar las medidas y acciones de mantenimiento correspondiente.

Incluido a lo anteriormente descrito, el interés del trabajo radica en que el sistema actualmente presenta inconvenientes que influyen adversamente sobre la gestión de mantenimiento, como lo son incremento de las paradas no programadas, gran cantidad de horas extras utilizadas, desgaste de los equipos por vejez, igualmente la importancia que representa para lograr normal producción en la planta. Es por ello, que se propone a la empresa objeto de estudio el diseño un plan de mantenimiento basado en la filosofía de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) a la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA GAS, ubicada en Anaco Estado Anzoátegui. A continuación se presenta una breve descripción del contenido de esta investigación.

Capítulo I: El Problema; en el cual se describe brevemente las generalidades de la empresa. Además se muestra el planteamiento del problema, el objetivo general y los objetivos específicos a cumplir para lograr la solución al problema.

Capítulo II: Marco Teórico; abarca los antecedentes de la investigación y las bases teóricas que sustentan este estudio, en las cuales se definen, explican y estructuran aspectos relacionados con el trabajo, comenzando por mantenimiento, el cual es el tema general del trabajo, análisis de criticidad y mantenimiento centrado en confiabilidad.

Capítulo III: Marco Metodológico; explica el tipo y el diseño de la investigación, la unidad de estudio considerada, las diferentes técnicas e instrumentos que se usaron para recolectar información, así como el procedimiento metodológico alineado según los objetivos definidos.

Capítulo IV: Análisis y Presentación de los Resultados; se describe la secuencia y los parámetros utilizados para el diseño del plan, así mismo se presentan los resultados obtenidos en cada etapa de la investigación. En este sentido, se analizan los resultados, a fin de entender, justificar y cerciorarse de que el plan diseñado propicie las mejoras y cumpla con los objetivos planteados.

Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones, en el cual se dan respuesta a los objetivos planteados, generando información que fue determinante en el trabajo, además de generar las recomendaciones a seguir para continuar mejorando el sistema.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La empresa Petróleos de Venezuela, Sociedad Anónima, PDVSA es la corporación oficial de la República Bolivariana de Venezuela que se encarga de la exploración, producción, manufactura, transporte y mercadeo de los hidrocarburos, de manera eficiente, rentable, segura, transparente y comprometida con la protección ambiental; con el fin último de proveer el desarrollo del país, afianzar el uso de los recursos, potenciar el desarrollo endógeno y propiciar una existencia digna y provechosa para la población venezolana. PDVSA cumple con todas las actividades propias del negocio petrolero, constituyéndose en una corporación verticalmente integrada, que abarca todos los procesos, desde la explotación hasta la comercialización de los hidrocarburos gaseosos y no gaseosos, y sus derivados. Así pues, en todas las industrias se requiere, sin duda alguna, captación, suministro, distribución y almacenamiento de agua u otros fluidos con densidades parecidas a la del agua, debido a que es una de las ramas en el sector productivo que acarrea gran impacto en un país. La evaluación y el ajuste de una planta potabilizadora comprenden un análisis minucioso del funcionamiento y comportamiento de cada una de las partes que físicamente la conforman, de su eficiencia y de la forma en que está siendo operada y mantenida.

La misma pasa por distintos equipos rotativos, que manejan fluidos que pudieran resultar altamente corrosivos; su exposición a condiciones ambientales no favorables que ocasionan daños externos al equipo, las vibraciones en las tuberías de succión y salida, son algunos de los factores que crean un alto % de fallas en cualquier sistema de bombeo, el cual podría ser disminuido mediante la

implementación constante de planes de mantenimientos realizados en periodos de tiempo u horas de operación establecidos inicialmente por el fabricante del equipo.

PDVSA GAS, es una empresa filial de Petróleos de Venezuela y una división de PDVSA Petróleo y Gas S.A. encargada de las actividades de exploración, explotación, producción y procesamiento del gas natural, así como también de la distribución y comercialización de sus líquidos. Específicamente la sucursal de Gas, ubicada en Anaco, Estado Anzoátegui, la cual es una de las industrias de mayor producción y fraccionamiento de líquidos del gas natural (LNG). La organización está constituida por distintas Gerencias Generales cuyos nombres se presentan a continuación: Proyecto Gas Anaco (PGA), Mantenimiento, Servicios Eléctricos, Prevención y Control de Perdidas (PCP), Sistemas (AIT), Servicios Logísticos, Servicios Generales, entre otras, las cuales son responsables de la producción y funcionamiento de la empresa.

Internamente, una de las responsabilidades de la Gerencia de Servicios Generales, es encargarse del tratamiento y suministro del agua desde los distintos pozos naturales ubicados en Anaco: Zona Industrial (PDVSA Gas Anaco), Campo Rojo, Zona Hospital (detrás de Clínica Industrial PDVSA Gas Anaco), Patio de Tanques (frente a la Guardia Nacional) y Campo Norte; así como también en Kaki y Santa Rosa, hasta los campos residenciales pertenecientes a este sistema (Campo Norte, Campo Sur, Agua Clara, Módulos de Campo Rojo, Campo Medico, Comando Guardia Nacional, y Campo los Pilonos. Esto incluye la producción, almacenaje, filtrado y potabilización del agua, así como su distribución final.

Dentro de esta unidad, entre las diferentes plantas de almacenamiento, tratamiento y distribución de agua se encuentra la estación de planta de agua Santa Rosa, ubicada en avenida los pilones sector la Raja, Anaco Estado Anzoátegui, la cual presenta una serie de afectaciones en los equipos de impulsión de agua. El

personal de mantenimiento encargado de las operaciones y mantenimiento de los equipos motor/bombas de la Unidad de Planta de Agua Santa Rosa adscrita a la Gerencia de Servicios Generales PDVSA Gas Anaco, son los responsables de realizar las inspecciones y tareas de mantenimiento a cada equipo, garantizando la continuidad operacional de los mismos, el personal solo cuenta con un cronograma de actividades de mantenimiento para los equipos, este carece de una filosofía de mantenimiento en la que se basen las acciones de mantenimiento.

Dicho lo anterior, actualmente la gerencia no cuenta con un plan de mantenimiento completo y eficiente, que pueda ser de gran ayuda para el personal encargado del mismo en la planta potabilizadora, de igual forma no se realizan registros de fallas de los equipos que les permitan llevar un control y tomar las medidas y acciones de mantenimiento correspondiente. Lo que genera que no se esté preparado con los repuestos más importantes o adecuados en almacén y que las actividades no estén enfocadas a las condiciones operativas y a las características de los mismos, impidiendo de esta manera atacar los problemas y las fallas más comunes que afectan a los equipos diariamente acorde al contexto operacional, lo que aumenta la probabilidad de ocurrencia de una falla múltiple, que no solo afecta las operaciones del área, sino también, afectaciones a la seguridad del personal, a la integridad de los activos y hasta daños al ambiente.

Cabe destacar, que la realización de este trabajo es de suma importancia, ya que surge la necesidad de que a los equipos que integran la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, se le realice un plan de mantenimiento eficiente basado en la filosofía de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) y que se determinen los modos de efectos y fallas del sistema, como clasificar también las fallas más importantes, permitiendo establecer de forma directa las tareas de mantenimiento de las aéreas que estén generando un mayor impacto, con el fin de eliminarlas por completo, para mejorar y aumentar la confiabilidad y vida útil de los

equipos, atendiendo con anticipación las posibles fallas que presenten, de esta manera poder fortalecer la producción de agua en la planta potabilizadora.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Proponer un plan de mantenimiento basado en la filosofía de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) a la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA GAS, ubicada en Anaco Estado Anzoátegui.

1.2.2 Objetivos específicos

- Describir la situación actual de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco.
- Identificar los equipos críticos, de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco.
- Realizar un análisis de modos y efectos de falla (AMEF) a los equipos críticos de la planta potabilizadora.
- Determinar tareas y técnicas frecuentes de mantenimiento a los equipos críticos de la planta potabilizadora, realizando un árbol lógico de decisión (ALD).
- Elaborar los procedimientos de ejecución de mantenimiento a los equipos de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco.

1.3 Justificación de la investigación

La realización de este trabajo de grado se fundamenta en dos aspectos muy importantes, uno técnico y otro económico. El técnico en proponer un plan de mantenimiento fiable basándose en la filosofía de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) a los equipos de la planta potabilizadora, y adecuado a las nuevas tendencias, permitiendo que las acciones de mantenimiento establecidas eviten o disminuyan las ocurrencias de fallas, los tiempos de parada de los equipos y las consecuencias sobre la seguridad, ambiente y operaciones. En lo **económico**, dado que la metodología utilizada permite tomar acciones de mantenimiento que sean necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los equipos, lo cual admite una disminución de los costos, puesto que no se realizan actividades innecesarias.

1.4 Generalidades de la empresa

El 30 de agosto de 1975 fue creada Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), por el Decreto del Ejecutivo Nacional No. 1123 y registrada el 15 de septiembre del mismo año. Esta empresa está encargada de la exploración, producción, almacenamiento, manufactura, transporte y mercadeo de los hidrocarburos presentes en el suelo patrio, lo que la convierte en el motor fundamental del desarrollo económico y social del país. Para el 1º de Enero de 1998 inicia sus operaciones PDVSA GAS, filial de Petróleos de Venezuela, S. A. que se dedica a la exploración, y explotación del gas no asociado, así como a la extracción y fraccionamiento de Líquidos del Gas Natural (LGN), al transporte, distribución comercialización del Metano, dada su importancia esta industria está presente en casi todo el país.

En la gerencia de Servicios Generales de esta filial se encuentra la unidad de Sistema de Agua. Esta unidad está formada por 4 plantas, de las cuales 2 son potabilizadoras y 2 son de rebombeo, denominadas: “Planta de rebombeo Kaki”,

“Planta de rebombeo Hospital”, “Planta potabilizadora Zona Industrial PDVSA Gas Anaco” y “Planta potabilizadora Santa Rosa”. La planta objeto de estudio para el presente trabajo de grado fue la Planta potabilizadora de agua Santa Rosa. Como su nombre lo indica, esta planta se encarga de la potabilización del agua proveniente de los acuíferos naturales ubicados en diversas partes de la zona, con el fin de satisfacer las necesidades de las áreas operacionales del Centro Operativo Santa Rosa, Campo los Pilonos y comunidades aledañas.

1.4.1 Ubicación geográfica

PDVSA Gas Anaco forma parte de la división Oriente de PDVSA y está ubicada en la zona centro-sur del estado Anzoátegui, específicamente en la ciudad de Anaco. La figura 1 indica la ubicación geográfica de la Ciudad de Anaco en un mapa representativo de los Estados Anzoátegui, Monagas, Nueva Esparta, Delta Amacuro y Sucre.

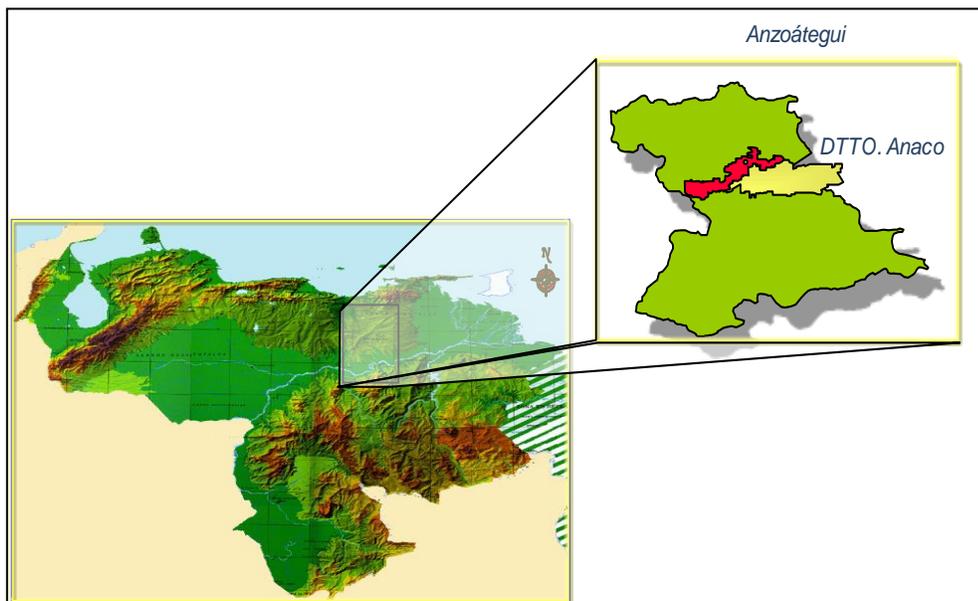


Figura 1.1 Ubicación geográfica de la ciudad de Anaco
Fuente: PDVSA Producción Gas Anaco

La figura 1.2 muestra la ubicación geográfica de la planta potabilizadora de agua Santa Rosa.



Figura1.1 Ubicación geográfica dela planta potabilizadora Santa Rosa
Fuente: www.maps.google.com

1.4.2 Misión

Ser un equipo de profesionales especializados en el desarrollo y ejecución de proyectos de ingeniería, procura y construcción para los sectores de petróleo, gas, industrial e infraestructura. Proveemos servicios con los más altos estándares de calidad, seguridad y confiabilidad, dentro de un ambiente de colaboración y complementación, asegurando la continua satisfacción de nuestros clientes y otras partes interesadas.

1.4.3 Visión

Ser reconocido como líder de creación de valor en el negocio de exploración, producción, transporte, procesamiento, distribución y comercialización del gas natural y sus derivados, a través del aprovechamiento óptimo de sus yacimientos, la

eficiencia e introducción oportuna de nuevas tecnologías; con gente de primera preparada y motivada, preservando su integridad y la de los activos, en total armonía con el medio ambiente y el entorno.

1.4.4 Razón social

PDVSA es una Sociedad Anónima, propiedad de la República Bolivariana de Venezuela, cuyo directorio responde ante una asamblea constituida por el Ministro de Energía y Petróleo, quien preside, y de los demás miembros del gabinete ejecutivo que pueda designar el Presidente de la República Bolivariana de Venezuela.

1.4.5 Objetivos de PDVSA Gas

El principal objetivo de PDVSA es realizar actividades de Exploración, Explotación, Producción, Procesamiento de Gas, Mercadeo Nacional e Internacional de Crudo, Gas y sus derivados; con la finalidad de optimizar las diferentes operaciones y procesos que involucra la industria Petrolera y Gasífera Nacional, y atendiendo a las Estrategias Geopolíticas emanadas del Ejecutivo Nacional.

1.4.6 Objetivos gerenciales de PDVSA Gas

La Gerencia de Producción PDVSA Gas Anaco, tiene objetivos específicos tanto para la nación como para el bienestar de las comunidades donde ejecutan operaciones, entre estos destacan:

- Garantizar el abastecimiento permanente de hidrocarburos, gas natural y productos petroquímicos para satisfacer la demanda del mercado interno.

- Garantizar la producción y procesamiento del petróleo para la extracción de gases licuados (Asociados) y la transmisión y distribución del gas natural a los sectores domésticos e industriales, en forma confiable y segura.
- Impulsar el crecimiento socio – económico - cultural de las regiones con la aplicación de programas tales como: ofertas sociales presentadas por los contratistas y proveedores; aporte al fondo social, generando así empleos en las comunidades aledañas a las instalaciones de la industria.
- Potenciar mediante la investigación y avances tecnológicos a procesos que sean más productivos y factibles para la empresa.
- Generar y llevar a cabo aquellos proyectos que mejoren el medio ambiente.
- Fomentar a través de la investigación y avances tecnológicos sus procesos productivos.
- Controlar, verificar y hacer seguimiento a los presupuestos de inversiones y gastos.

1.4.7 Estructura organizativa

A continuación en la figura 1.3. Se presenta la estructura organizativa de PDVSA

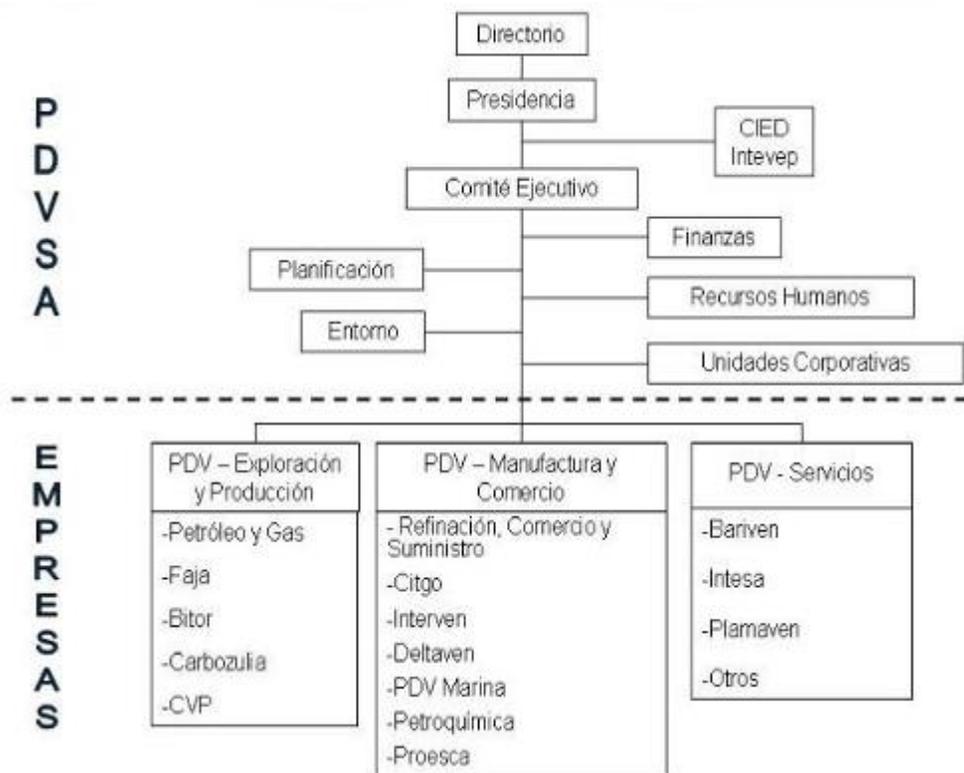


Figura 1.2 Estructura Organizativa de la Empresa
Fuente: La Empresa (2015)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Para efectos de esta investigación, se estudiaron trabajos previos, los cuales son considerados por guardar estrecha relación con el contenido del tema estudiado, así como con los objetivos establecidos por el autor, los cuales contribuirán para el desarrollo de la misma. Al respecto, Arias F. (2004) se refieren a todos los trabajos de investigación que anteceden, es decir aquellos trabajos donde se hayan manejado las mismas variables o se hallan propuestos objetivos similares; además sirven de guía al investigador y le permiten hacer comparaciones y tener ideas sobre cómo se trató el problema en esa oportunidad (p. 54). Por lo anteriormente expuesto, y para el desarrollo de la propuesta se tomaran en cuenta algunos antecedentes que aportaran valiosa información y permitirán crear el fundamento de las mismas, en este sentido, tales antecedentes son los siguientes:

Brazón, A. (2014), en su Trabajo de Grado titulado: *“Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos dinámicos y estáticos de la planta de agua, PDVSA Gas Anaco”*. El objetivo de este trabajo es diseñar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos dinámicos y estáticos de la planta potabilizadora. Se caracteriza por ser una investigación de tipo descriptiva donde se estudia la problemática existente en dichos equipos, y a su vez se evalúa la factibilidad del plan de mantenimiento preventivo diseñado a través de un análisis costo/beneficio, asociado a su implantación, dando como resultado que el plan aquí diseñado es factible tanto técnica como económicamente.

De esta tesis se tomó toda la información valiosa e importante, que sirvieron como guía para la elaboración de los planes de mantenimiento y las consideraciones que se deben tomar para los equipos de la planta potabilizadora.

Gelviz, F. (2013), en su Trabajo de Grado titulado: *“Diseño de planes de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) para los tratadores térmicos y calentadores del área operacional Campo Mata de PDVSA Producción Gas Anaco”*. El objetivo principal de este trabajo consiste en diseñar planes de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) para los tratadores térmicos y calentadores del área operacional Campo Mata de PDVSA Producción Gas Anaco. El presente trabajo se caracteriza por ser una investigación de tipo descriptiva ya que se estudia la problemática existente en dichos equipos, con el que se busca garantizar la operatividad del sistema y reducir las intervenciones imprevistas que se presentan en las operaciones de los equipos, y a su vez conservarlos en condiciones de alta eficiencia.

La información contenida en dicho trabajo de grado se tomó como base para el desarrollo y aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) a los equipos pertenecientes a la Planta Potabilizadora de la Unidad de Planta de Agua PDVSA GAS Anaco.

Betancourt, E., (2012), en su Trabajo de Grado titulado: *“Diseño de planes de mantenimiento preventivo a los equipos de bombeo de la sala A del patio de tanques oficina PDVSA-San Tome”*. En primer lugar se realizó un diagnóstico a los equipos de bombeo que conforman esta sala, seguidamente se calculó la criticidad de los mismos mediante la realización de encuestas al personal de mantenimiento y operaciones. Luego, se procedió a la realización del análisis de los modos y efectos de fallas (AMEF) a los equipos críticos y se establecieron las causas de las fallas que

antecedieron a las acciones de mantenimiento preventivas necesarias para minimizarlas y a partir de estas se elaboraron planes de mantenimiento preventivo. Por último, se realizó la comparación técnica y económica del diseño propuesto con respecto a las acciones de mantenimiento ejecutadas por la empresa, demostrándose que la aplicación de los planes propuestos garantiza la continuidad del proceso de manejo de crudo evitando el retraso de la producción y la pérdida en aproximadamente Bs. 139.750.000, 00; de ingresos provenientes de la empresa petrolera, dicho trabajo se determina por ser una investigación descriptiva.

La contribución de este trabajo de grado fue la referencia de los planes y programas de mantenimiento aplicados a las bombas de la sala A del patio de tanques oficina PDVSA-San Tome, que servirá para el desarrollo de dichos planes y programas para el presente trabajo.

Salazar, A. (2010), en su Trabajo de Grado titulado: “*Evaluación del sistema de tratamiento de la planta de inyección de agua salada (PIAS) del campo Santa Rosa, PDVSA-Gas Anaco*”. El trabajo de grado expresa la necesidad que posee el área de estudio para tratar las aguas de producción provenientes de las estaciones y de la perforación de pozos, por lo que se buscaba un método económico y efectivo que ayudara a liberar a dichas aguas de cualquier sedimento o emulsiones y por ende lograr la máxima pureza del agua salada y eliminar la mayor cantidad de impurezas posibles para hacerla menos tóxicas y a su vez, evitar la acumulación de sedimentos en los tanques de las Plantas de Inyección de Agua Salada, el presente trabajo se caracteriza por ser una investigación descriptiva.

La contribución de este trabajo de grado fue la referencia de los planes y programas de mantenimiento preventivos basados en la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC), así como la aplicación de herramientas como la de Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) para

establecer los distintos modos de fallos de los equipos, y la del árbol lógico de decisiones para establecer las tareas de mantenimiento, la cual sirvió para el desarrollo de dichos planes y programas para el presente trabajo.

2.2 Bases teóricas

Todo proceso de investigación requiere de ciertos fundamentos que permitan afianzar las ideas que serán expuestas desde diferentes perspectivas. En ese sentido, Arias (2006), expresa que: “la bases teóricas implican un desarrollo amplio de los conceptos y proposiciones que conforman el punto de vista o enfoque adoptado, para sustentar o explicar el problema planteado.” (p. 14) Debido esto, a continuación se describen los diferentes aspectos teóricos más resaltantes considerados para el desarrollo de la investigación.

2.2.1 Mantenimiento

Según Duffuaa, S. (2000), define el mantenimiento como el "Conjunto de actividades que permiten mantener un equipo, sistema o instalación en condición operativa, de tal forma que cumpla las funciones para las cuales fueron diseñados y asignados o restablecer dicha condición cuando esta se pierde" (p. 29). La finalidad de toda actividad de mantenimiento en efecto es asegurarse de que todos y cada uno de los equipos a cargo del departamento, estas acciones deben estar completamente orientadas a evitar en lo más posible, una parada de un equipo que ocasione grandes pérdidas a la organización, y si llegase ocurrir en poco tiempo poder solventar la falla.

2.2.2 Objetivos del mantenimiento

Actualmente el mantenimiento busca aumentar y confiabilizar la producción; aparece el mantenimiento preventivo, el mantenimiento predictivo, el mantenimiento proactivo, la gestión de mantenimiento asistido por computador y el mantenimiento basado en la confiabilidad. Entre los objetivos del mantenimiento se tienen:

- 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.

2.2.3 Tipos de mantenimiento

- **Mantenimiento Preventivo:** Para Creus (2005), el mantenimiento preventivo se define como: "la inspección periódica del aparato o dispositivo y en su reparación o sustitución, incluso aunque no muestre signos de mal funcionamiento." (p. 108) Efectivamente, para lograr disminuir el impacto de la falla de un equipo, es importante que periódicamente se le realicen acciones de mantenimiento preventivo ya sean inspecciones o reemplazos de algún componente, logrando que en un futuro no se produzcan largas paradas de los mismos y disminuyendo los tiempos entre fallas. Existen varias clases:
 - a) **Mantenimiento Sistemático:** son actividades establecidas en función del uso del equipo (horas, kilómetros, etc.).

- b) **Mantenimiento Condicional:** actividades basadas en el seguimiento del equipo, mediante el diagnóstico de sus condiciones.
- c) **Mantenimiento de Ronda:** consiste en una vigilancia regular a frecuencias cortas, se diferencia de las anteriores, por ser actividades de mantenimiento eventuales, es decir, no están contempladas en un programa de mantenimiento.
- d) **Mantenimiento Predictivo:** monitoreo de condiciones y análisis del comportamiento de los equipos para predecir su intervención.
- **Mantenimiento correctivo:** es aquel trabajo que involucra una cantidad determinada de tareas de reparación no programadas con el objetivo de restaurar la función de un activo una vez producido un paro imprevisto. Se clasifica en:
 - a) **No planificado:** es el mantenimiento de emergencia (reparación de roturas). Debe efectuarse con urgencia ya sea por una avería imprevista o por una condición imperativa que hay que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, de aplicación de normas legales, entre otros).
 - b) **Planificado:** se sabe con antelación qué es lo que debe hacerse, de modo que cuando se pare el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal, repuesto y documentos técnicos necesarios para realizarla correctamente.

2.2.4 Planes de mantenimiento

De acuerdo con García S. (2009), un plan de mantenimiento es: "un documento que contiene el conjunto de tareas de mantenimiento programado que debemos realizar en una planta para asegurar los niveles de disponibilidad que se hayan establecido" (p. 37).

Como en toda actividad empresarial hay que tener un registro, en el caso del mantenimiento se cumple igualmente esta condición, es necesario tener un documento que proporcione un control de las acciones de mantenimiento que se deban realizar a los equipos, a una instalación o a cualquier infraestructura que lo necesite, brinda una noción de en cual etapa del activo es necesaria una acción que asegure la operatividad del equipo a lo largo de su ciclo de vida. Se pueden establecer dos (2) enfoques, a saber:

- Plan Estratégico: es el plan corporativo que consolida las instalaciones y/o equipos que serán sometidos a mantenimiento mayor en un período determinado y que establece el nivel de inversión y recursos que se requiere para ejecutar dicho plan.
- Plan Operativo: se emplea para definir y establecer todos los parámetros de cómo hacer el trabajo, es decir, se relaciona con la formulación de objetivos específicos, medibles y alcanzables, que los departamentos dentro de una organización deben lograr comúnmente a corto plazo.

2.2.5 Niveles de mantenimiento

Creus (op. cit), señala que los niveles de mantenimiento son: “las categorías de jerarquización de actividades de mantenimiento basadas en esfuerzo y consecuencias de acuerdo al contexto operacional en el cual se desempeñe el activo” (p. 156). Entre los cuales tenemos:

- Nivel 1: en este nivel se involucra los servicios básicos y las actividades de prevención, que no requieren desmontaje o parada del equipo. Por ejemplo: Actividades de conservación externa, inspección visual, completación de niveles de fluidos y limpieza.
- Nivel 2: se describen todas las actividades de inspección no intrusiva, pruebas, ensayos no destructivos, mantenimiento de elementos que requieran

o no paradas del equipo y adicionalmente, monitoreo, registro de datos de mantenimiento y confiabilidad. Ejemplo: cambio de elementos consumibles.

- Nivel 3: se describen todas las actividades de inspección intrusiva, pruebas, ensayos no destructivos especializados, ensayos destructivos y mantenimiento preventivo para restituir las condiciones operacionales que requieran.
- Nivel 4: actividades de restitución parcial del activo llevándolo a las condiciones de diseño, que permitan prolongar su vida útil e impliquen parada. Ejemplo: Fabricación y/o reparación de piezas, armada y reparación de conjuntos.
- Nivel 5: en este nivel se realizan todas aquellas actividades de restitución total de las condiciones originales de diseño, que impliquen parada del activo. Igualmente, reparaciones del Nivel 4 asignadas a este nivel por razones económicas o de oportunidad, pudiéndose referir a mejoras operacionales, ampliación de la capacidad instalada o incorporación de nuevas tecnologías.

2.2.6 Bombas centrifugas

Según Sirrengifo (2012), las bombas centrifugas: “son aquellas que convierten la energía cinética en energía potencial” (p. 45). Este trabajo se logra por medio de un impulsor que al rotar utiliza la acción de la fuerza centrífuga para descargar a una voluta (canal espiral) o un difusor, los cuales transforman la energía cinética en energía de presión.

Una bomba centrífuga es una máquina que consiste de un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una caja o cárter, o una cubierta o coraza. Se denominan así porque la cota de presión que crean es ampliamente atribuible a la acción centrífuga. Las paletas imparten energía al fluido por la fuerza de esta misma acción. Así, despojada de todos los refinamientos, una bomba centrífuga tiene dos

partes principales: (1) Un elemento giratorio, incluyendo un impulsor y una flecha, y (2) un elemento estacionario, compuesto por una cubierta, estoperas y chumaceras.

El flujo entra a la bomba a través del centro u ojo del rodete y el fluido gana energía a medida que las paletas del rodete lo transportan hacia fuera en dirección radial. Esta aceleración produce un apreciable aumento de energía de presión y cinética, lo cual es debido a la forma de caracol de la voluta para generar un incremento gradual en el área de flujo de tal manera que la energía cinética a la salida del rodete se convierte en cabeza de presión a la salida.

2.2.7 Bombas electro sumergibles

Baieli, L. y otros (2006), indican que: “Las bombas electro sumergibles, son bombas centrífugas multietapas. Debido a las limitaciones de diámetro de la cañería de entubación, la elevación desarrollada por cada etapa es relativamente baja.” (p. 133) Por esto se acoplan etapas y cuerpos de bombas para ofrecer la elevación necesaria para cada aplicación particular. Una etapa de bomba consiste en un impulsor, un difusor y arandelas de empuje. El impulsor está vinculado al eje y rota a la velocidad del motor. Las fuerzas centrífugas provocan que el fluido se mueva desde el centro del impulsor hacia la parte exterior del mismo. El difusor es estacionario y dirige el caudal de fluido de un impulsor al siguiente. El impulsor le brinda al fluido Energía Cinética (Velocidad) y el difusor transforma esta energía cinética en Potencial (Altura de Elevación). (Ver figura 7)

2.2.8 Agua cruda

Según COVENIN 2634-02 “es el término empleado para las aguas naturales, o residuales sin ningún tipo de tratamiento”. (p. 3) Es el agua que ha de ser tratada antes de convertirse en agua potable. También llamada agua bruta. Es el líquido de

tonalidad ferrosa, rojiza, que utilizaban los alquimistas para estañar metales preciosos y así esconder su auténtico valor para traficarlos a través de ducados y estados condales. Es el agua que lleva en disolución mucho yeso y sales, pero q es bebible, a diferencia del agua dura. El agua cruda es aquella que no ha sido sometida a proceso de tratamiento ninguno.

2.2.9 Agua natural

Según norma COVENIN 2634-02 “es aquella proveniente de fuentes naturales, tales como ríos, lagos, manantiales y otros” (p. 4). En general, las aguas subterráneas poseen una composición química que se origina como resultado de un proceso complejo de interacciones, donde primeramente, las aguas procedentes de las precipitaciones (lluvia o nieve), adquieren los gases que se producen en la zona del suelo por descomposición y respiración de la materia orgánica y luego, reaccionan con los minerales que subyacen en el medio rocoso. La composición química de las aguas subterráneas, al cabo de un determinado tiempo, se encuentra en equilibrio químico-físico con el contenido de gases y de fases sólidas disueltas. Estos equilibrios dependen de la temperatura y de la presión del sistema y cualquier cambio en esas condiciones produce una variación en la composición química, que da lugar a una mayor disolución de los minerales o a la precipitación de éstos por recombinación iónica.

2.2.10 Agua potable

Según norma COVENIN 2634-02 “el agua potable es aquella que cumple con los requisitos microbiológicos, organolépticos, físicos, químicos y radiactivos que establecen las normas sanitarias de calidad del agua potable y que se considera apta para el consumo humano”. (p. 5) Se llama agua potable al agua que se puede consumir o beber sin que exista peligro para nuestra salud. Desde las plantas

potabilizadoras, el agua es enviada hacia nuestras casas a través de una red de tuberías que llamamos red de abastecimiento o red de distribución de agua.

2.2.11 Válvula de compuerta

Es un dispositivo mecánico (figura 8) con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación un flujo por uno o más orificios y conductos. Según norma COVENIN 1653-92: “es una válvula en la cual el miembro de cierre (cuña o compuerta) se mueve en dirección perpendicular a la dirección del flujo, la cual se utiliza totalmente abierta o cerrada.” (p. 5)

La válvula de compuerta se utiliza para el seccionamiento de conducciones de fluidos a presión. La válvula, por su propio diseño, está prevista para funcionar en dos posiciones básicas: abierta o cerrada. Las posiciones intermedias deben considerarse únicamente con carácter provisional. No obstante, habrá que tener en cuenta el cierre ocasional a alta velocidad ó presión. Las distintas funciones dentro de la conducción que se le asignan a las válvulas de compuerta se analizan con detalle en la Figura 8. Habitualmente, estas válvulas se instalarán alojadas en cámaras, registros ó arquetas, excepto en el caso de válvulas para acometidas. Las circunstancias de la instalación se definen en el apartado V.1 Instalación. Se pueden utilizar como válvulas adicionales en serie o paralelo con otros equipos con funciones de guarda o ramales de desvío respectivamente, así como para el vaciado o purga de una instalación. Entre sus partes se tienen:

2.2.12 Válvulas antirretorno (check)

Una válvula antirretorno funciona mediante el uso de una válvula unidireccional (ver figura 2.1), a menudo llamada válvula de retención, para evitar que el agua regrese a la línea de suministro. Básicamente, sólo permite que el agua

fluya a través de la válvula en una dirección. Cuando no hay suministro, la válvula se cierra automáticamente para que el agua en el otro lado de la válvula no pueda pasar a través de ella y contamine la línea de suministro. Las válvulas antirretorno, también llamadas válvulas de retención, válvulas unidirección o válvulas Check, tienen por objetivo cerrar por completo el paso de un fluido en circulación -bien sea gaseoso o líquido- en un sentido y dejar paso libre en el contrario. Tiene la ventaja de un recorrido mínimo del disco u obturador a la posición de apertura total. (Norma COVENIN 1653-92, p. 9)

Las partes de este tipo de válvula son:

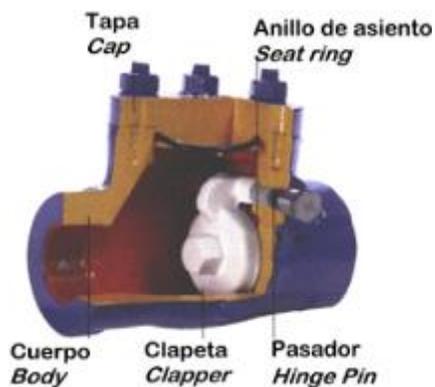


Figura 2.1 Partes de una válvula antirretorno (Check)

Fuente: Norma COVENIN 1653-92

Se utilizan cuando se pretende mantener a presión una tubería en servicio y poner en descarga la alimentación. El flujo del fluido que se dirige desde el orificio de entrada hacia el de utilización tiene el paso libre, mientras que en el sentido opuesto se encuentra bloqueado. También se las suele llamar válvulas unidireccionales. Las válvulas antirretorno son ampliamente utilizadas en tuberías conectadas a sistemas de bombeo para evitar golpes de ariete, principalmente en la línea de descarga de la bomba, como se muestra en la figura 2.2.



Figura 2.2 Válvula antirretorno de la planta potabilizadora de la estación Santa Rosa
Fuente: El autor (2015)

2.2.13 Tanques de almacenamiento

Según Castro, A. (2009), los tanques de almacenamiento: “permiten almacenar grandes cantidades volumétricas con un costo bajo. Con la limitante que solo se pueden usar a presión atmosférica o presiones internas relativamente pequeñas” (p. 128).

2.2.14 Motores eléctricos

Es un dispositivo dinamoeléctrico encargado de transformar energía eléctrica en energía mecánica por medio de la interacción de campos magnéticos. Un motor se puede utilizar para convertir energía mecánica en energía eléctrica dando lugar a un generador de energía eléctrica. Según Lopez J. (2013), un motor eléctrico se define como: “un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas”.

2.2.15 Filtros

Para Perry, J. (1992), señala que: “son equipos estáticos, que se utilizan para eliminar los contaminantes y sean llevados hasta una siguiente etapa, donde ensucien o produzcan daños” (p. 45). Generalmente son utilizados antes de un equipo al cual las partículas sólidas los dañen o después de un equipo que genere contaminación a la corriente.

Las características del medio filtrante desempeñan, un papel importante en la eficiencia del proceso, principalmente el diámetro y la granulometría del material filtrante, la velocidad de filtración, la pérdida de carga y la calidad del agua filtrada son las variables del proceso más fáciles de controlar y posiblemente de mayor significado en la operación del filtro (Arboleda, 2000). La eficiencia de la filtración está relacionada principalmente con la calidad del efluente. Por ejemplo, la filtración de agua cruda en filtros lentos de arena, y la de agua coagulada en filtros rápidos de arena resultan de interacciones distintas entre los granos del medio filtrante y las partículas suspendidas, pues un factor importante en la filtración lenta puede, muchas veces, no ser importante para la filtración rápida.

2.2.16 Mantenimiento centrado en confiabilidad

El MCC es una filosofía desarrollada durante 1960 y 1970 con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los recursos físicos o sistemas y manejar las consecuencias de sus fallas, para que así continúe prestando el servicio que sus usuarios quieren de él. Una definición más amplia de MCC para Torres R. (2007), podría ser: “un proceso que se usa para determinar lo que debe hacerse para asegurar que un elemento físico continúa desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente” (p. 254). Esta filosofía trata de determinar las estrategias más adecuadas al contexto de

operación, siendo exigido que no sólo sean técnicamente factibles, sino económicamente viables trabajando de manera funcional, organizada, lógica y documentada.

El Mantenimiento MCC hace énfasis en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas, mediante: Integración de una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspecto de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento, manteniendo mucha atención en las tareas del mantenimiento que más incidencia tienen en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones, garantizando que la inversión en mantenimiento se utiliza donde más beneficio va a reportar. (Torres R., 2007, P. 235)
El MCC se basa en las siguientes premisas:

- Análisis enfocado en funciones
- Análisis realizado por equipos naturales de trabajo

Por otra parte, el éxito de la aplicación del MCC dependerá de las respuestas de las siete preguntas básicas. Esta tarea será llevada a cabo por parte del equipo natural de trabajo, el cual no deberá estar conformado solo por el personal de mantenimiento, sino también por el personal de producción que actuaran como facilitadores en la aplicación de las distintas herramientas que proporciona el MCC para responder estas preguntas (ver figura 2.3).

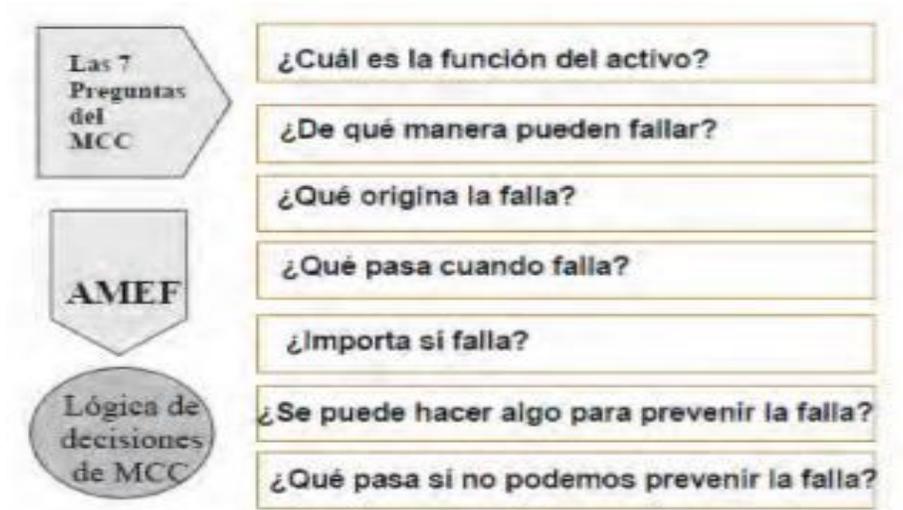


Figura 2.3 Siete preguntas del MCC

Fuente: L. Amendola (2006)

2.2.17 Equipo natural del trabajo (ENT)

Para Moubrey, J. (1999), el equipo natural de trabajo es:

Un equipo multidisciplinario constituido por especialistas o actores de diferentes disciplinas que tienen como objetivo guiar la implementación de estrategias de mantenimiento y confiabilidad, la sincronización de actividades, el establecimiento de planes integrales de acción y la optimización de los costos de producción y mantenimiento en la organización (p. 127).

Entre los actores o especialistas que pueden conformar el ENT se encuentran: custodios de instalaciones, planificador, programador, ejecutor, ente técnico, entre otros.

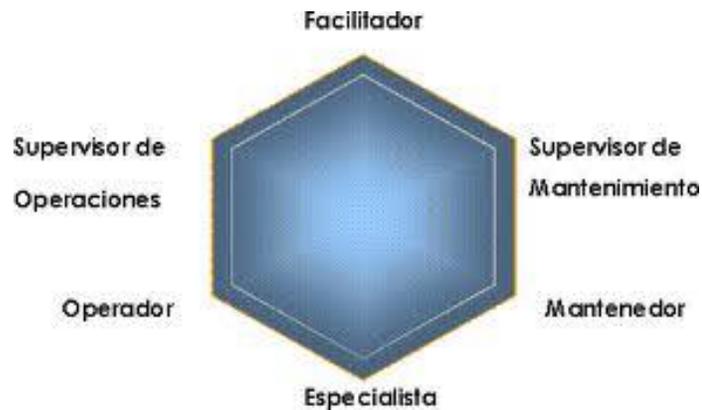


Figura 2.4 Diagrama de los integrantes principales del ENT
Fuente: Moubray, J. (1999)

Entre los roles de los integrantes del ENT, se encuentran:

- Operador y/o supervisor de operaciones: aportan conocimientos sobre el efecto y consecuencias de las fallas.
- Especialista: participan para resolver las controversias en las reuniones de trabajo.
- Técnicos y/o Supervisor de Mantenimiento (mecánicos, electricistas e instrumentistas): aportan el conocimiento de las causas de las fallas y maneras de evitarlas.
- Facilitador General: su labor consiste en fijar reuniones, coordinarlas y verificar que el trabajo del equipo se adapte a la metodología MCC.

2.2.18 Funciones del activo

Para Moubray, J. (op. cit), antes de que sea posible aplicar un proceso, utilizado para determinar qué debe hacerse para asegurar que todo bien físico continúe cumpliendo con su desempeño, del modo en que sus usuarios esperan dentro de su contexto operativo presente, necesitamos hacer dos cosas:

- Determinar cuál es la función que los usuarios quieren que cumpla.
- Asegurar que el bien es capaz de comenzar con lo que los usuarios esperan.

Es por esto que el primer paso del RCM es definir las funciones de cada bien en su contexto operativo, como así también los estándares de desempeño deseados. Las funciones que los usuarios pretenden que sus bienes desempeñen pueden dividirse en dos categorías:

- **Funciones primarias:** que sintetizan porque el bien fue adquirido en primer lugar. Esta categoría de funciones cubren temas tales como velocidad, rendimiento, capacidad de transportación o almacenamiento, calidad del producto y servicio al cliente.
- **Funciones secundarias:** que indican que se espera que todo bien produzca más que simplemente su función primaria. Los usuarios también tienen expectativas en áreas como ser seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia de operación, cumplimiento con las normas medioambientales, y hasta la estética o apariencia del bien.

2.2.19 Análisis de criticidad

Amendola (op. cit), define análisis de criticidad de la siguiente manera:

Una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, dirigiendo el esfuerzo y los recursos a áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual. (p. 31)

Debido a la gran cantidad de equipos e instalaciones de las que dispone una empresa y el presupuesto limitado para cada área de la empresa, es importante que se jerarquicen los activos en base a su criticidad para facilitar la toma de decisión por parte de la gerencia y asignar todos los recursos, ya sean humanos o económicos a los activos que se consideraron como críticos al realizar el estudio.

Un análisis de este tipo permite jerarquizar sistemas, instalaciones o equipos en función de su impacto global; de esta manera se establece la importancia relativa de cada uno de ellos dentro de la planta.

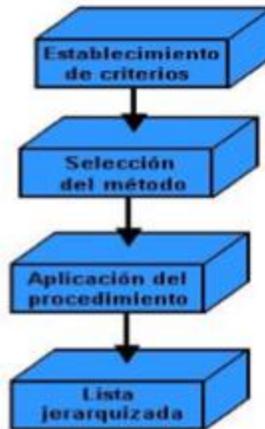


Figura 2.5 Modelos básico de análisis de criticidad
Fuente: PDVSA (2015)

Un modelo básico de análisis de criticidad, es equivalente al mostrado en la figura 2.5, donde el establecimiento de criterios se basa en seis criterios fundamentales:

- Seguridad
- Ambiente
- Producción
- Costos (operacionales y de mantenimiento)
- Tiempo promedio para reparar
- Frecuencia de falla

Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado en la empresa de acuerdo al contexto operacional a evaluar. Por último, la lista

jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis, justificándose de esta manera, la redistribución de los recursos de mantenimiento, canalizándolos hacia los equipos críticos.

2.2.20 Metodología D.S.

Suárez, D. (2005) señala que: “esta metodología puede determinar la criticidad de los equipos considerando el métodos de criterios ponderados, tomando seis (6) factores para evaluar el área de mantenimiento y tres (3) para el operacional.” (p. 46) Los cuales se muestran en la figura 2.6.



Figura 2.6 Factores a evaluar en cada área

Fuente: Suárez, D. (2005)

2.2.21 Factores que intervienen en el área de mantenimiento

Suárez, D. (2005)

- Cantidad de Fallas Ocurridas: número de fallas que ocurren en el período a evaluar.
- Media de los Tiempo Fuera de Servicio (MTFS): es el tiempo promedio que el equipo se encuentra fuera de servicio, es decir, desde que aparece una falla imputable al equipo hasta que se logra poner en marcha en el periodo a evaluar.
- Disponibilidad de Repuestos (DR): es la relación entre la cantidad satisfecha y la demandada, es decir, representa el cociente entre las veces que se solicite un repuesto en almacén y es encontrado, con respecto a la cantidad total de oportunidades que solicite el repuesto.
- Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP): es la relación de ejecución de las órdenes de trabajo durante un período de tiempo determinado, con respecto al total de las emitidas.
- Confiabilidad: es la probabilidad de que un equipo o sistema desempeñe en forma satisfactoria la función para la cual fue diseñado y asignado, bajo circunstancias de uso durante un intervalo de tiempo dado.

2.2.22 Factores que intervienen en el área operacional

- Tipo de Conexión: se refiere a la configuración que están los equipos dispuestos para producción. Las configuraciones pueden ser serie, paralelo o combinación de las mismas.
- Costo de Producción: son los desembolsos que se generan debido a la operación y aplicación de mantenimiento, por ejemplo: adquisición de

equipos, personal de labores y servicios en general, a fin de mantener la producción.

- SIAHO (Seguridad Industrial, Ambiente e Higiene Ocupacional): es un factor que pondera los efectos de las consecuencias que se puedan generar sobre el personal de labores, medio ambiente y los equipos en general.

2.2.23 Análisis de modos y efector de fallas (AMEF)

Una de las técnicas más utilizadas para enumerar formas o modos potenciales por medio de los cuales pueden fallar los componentes de un sistema y así dar seguimiento para conocer las características y efectos de la falla en el sistema como un todo. Para Helman, H. (1995), el AMEF es: “un procedimiento disciplinado para identificar las formas en que un producto o proceso puede fallar, y planear la prevención de tales fallas.” (p. 89) El Análisis de modos y efectos de fallas potenciales, AMEF, es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto o de un proceso antes de que éstas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas. Por lo tanto, el AMEF puede ser considerado como un método analítico estandarizado para detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total, cuyos objetivos principales son:

- Reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales y las causas asociadas con el diseño y manufactura de un producto
- Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema
- Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial
- Analizar la confiabilidad del sistema
- Documentar el proceso

Aunque el método del AMEF generalmente ha sido utilizado por las industrias automotrices, éste es aplicable para la detección y bloqueo de las causas de fallas potenciales en productos y procesos de cualquier clase de empresa, ya sea que estos se encuentren en operación o en fase de proyecto; así como también es aplicable para sistemas administrativos y de servicios.

2.2.24 Fallas

En la Norma de PDVSA (2013), MM-01-01-01 – Definiciones de mantenimiento y confiabilidad una falla es: “el estado en el que un equipo o componente se encuentra no disponible para desarrollar una función específica a un nivel de operación deseado (pág. 30).

2.2.25 Fallas funcionales

Moubray, J. (op. cit). Señala que: “una falla funcional se define como la incapacidad de todo bien de cumplir una función a un nivel de desempeño aceptable por el usuario” (p. 45).

2.2.26 Modos de fallas

Moubray, J. (1999) la define como la causa de cada falla funcional, o sea, son los que provocan la pérdida de la función total o parcial de un activo en su contexto operacional (cada falla funcional puede tener más de un modo de falla) (p. 157).

Entre sus categorías se encuentran:

- Capacidad en descenso: la primera categoría de modos de falla cubre situaciones donde la capacidad está por encima del desempeño deseado, pero

luego disminuye por debajo de este una vez que el bien es puesto en servicio.
(ver figura 2.7)

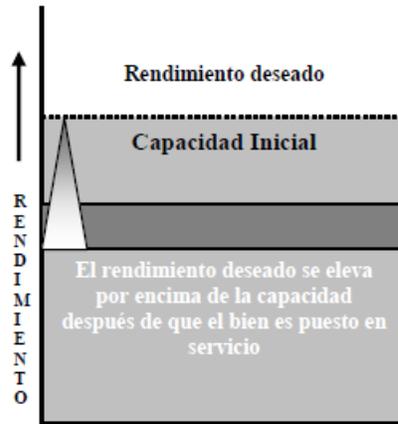


Figura 2.7 Capacidad en descenso del equipo

Fuente: Moubray, J. (1999)

- Aumento en el desempeño deseado: la segunda categoría de modos de falla ocurre cuando el desempeño deseado es cubierto por la capacidad inicial del bien, pero posteriormente las expectativas crecen de tal manera que superan esa capacidad inicial (ver figura 2.8).



Figura 2.8 Aumento de la capacidad deseada sobre la inicial

Fuente: Moubray, J. (1999)

- No cumple la capacidad inicial desde el principio: el problema de incapacidad rara vez afecta bienes en su totalidad. Generalmente afecta una o dos funciones, de uno o dos componentes, pero estos dos vínculos débiles afectan la operación de toda la cadena (ver figura 2.9).

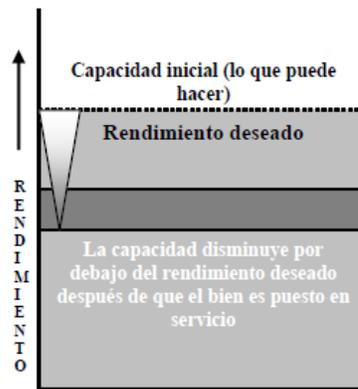


Figura 2.9 Capacidad deseada por encima de la capacidad inicial

Fuente: Moubray, J. (1999)

Por otro lado los efectos de estas son la evidencia o los hechos que pueden observarse si se presenta un modo de falla en particular. En su descripción se debe hacer constar: evidencia del fallo, riesgo en la seguridad y medio ambiente, daños secundarios y su efecto sobre el entorno.

2.2.27 Consecuencias de las fallas

Moubray, J. (1999), explica que: “son los impactos que produce cada modo de falla sobre el activo que se analiza o el sistema productivo del cual forma parte.” (p. 197) Al momento de evaluar las consecuencias, estas se agrupan en cuatro (4) categorías:

- Consecuencia de Fallas Ocultas: las fallas ocultas no causan un impacto directo, pero exponen a la empresa a fallas múltiples, con consecuencias serias

y frecuentemente catastróficas. (La mayoría de estas fallas están asociadas con sistemas de protección no libres de fallas).

- Consecuencia medioambientales y de seguridad: una falla trae consecuencias de seguridad si potencialmente puede dañar o causar la muerte. Tiene consecuencias medioambientales si provoca la violación de cualquier norma medioambiental corporativa, regional, nacional o internacional.
- Consecuencias Operativas: una falla trae consecuencias operativas cuando afecta la producción (rendimiento, calidad del producto, servicio al cliente o costos operativos, además del costo directo de reparación).
- Consecuencias No Operativas: las fallas evidentes que conforman esta categoría, no tienen consecuencias ni de seguridad, ni de protección, de modo que solo implican el costo de reparación.

2.2.28 Árbol lógico de decisiones (ALD)

Para Moubray, J. (op. cit), el ALD 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.” (p. 48) Por lo tanto, da respuesta a las tres últimas preguntas básicas del MCC, Basándose en un flujograma de preguntas. El tipo de pregunta busca jerarquizar las actividades (ver figura 2.10).

La aplicación de un Árbol Lógico de Decisión, es un proceso sistemático y homogéneo para la selección de la estrategia de mantenimiento más adecuada para impedir la causa que provoca la aparición de un determinado modo de fallo correspondiente a un componente del sistema objeto del análisis. Para la construcción de este ALD, se deberán definir previamente los criterios a considerar y sus prioridades correspondientes. Así por ejemplo, se podrá dar prioridad a la prevención del fallo frente a su corrección, a la aplicación de técnicas de mantenimiento basadas

en la condición operativa del equipo frente a actividades periódicas de mantenimiento o considerar aspectos tales como la evidencia de los fallos para los operadores cuando dichos fallos ocurren.

El resultado de esta tarea será el conjunto de actividades de mantenimiento recomendados para cada equipo. Se definirá el contenido concreto de las actividades específicas que deben realizarse y sus frecuencias de ejecución correspondientes. A este respecto, puede resultar de utilidad la elaboración de "plantillas" en las que se recoja el conocimiento disponible sobre el mantenimiento de los distintos tipos de equipos, con el fin de establecer las apropiadas tareas y frecuencias de ejecución de forma sistemática y homogénea, en función de aspectos tales como la criticidad del equipo, su frecuencia de uso o las específicas condiciones ambientales de su entorno operativo, entre otros.

En la figura 2.10 se observa el árbol lógico de decisión:

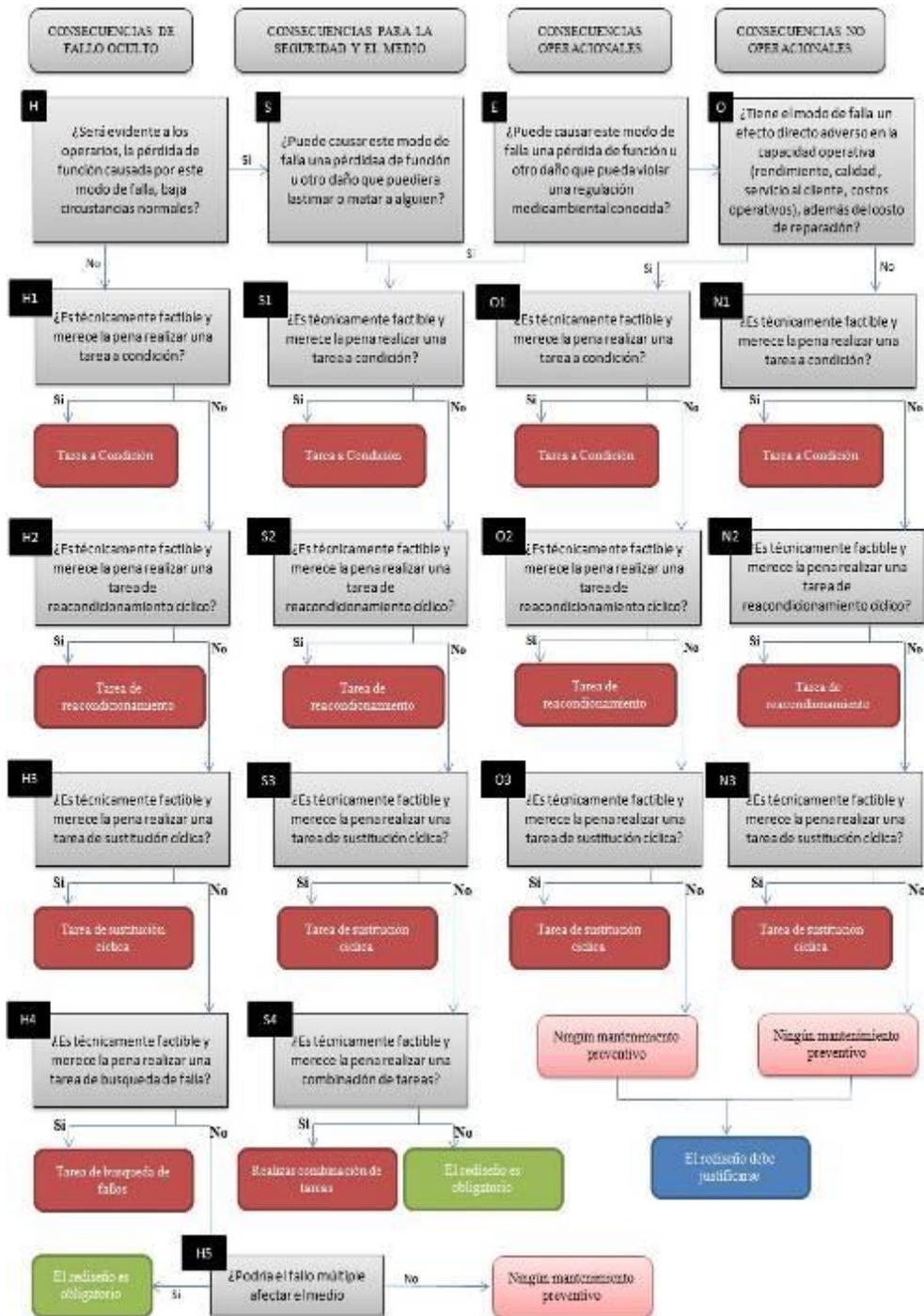


Figura 2.10 Árbol lógico de decisiones propuestos por la metodología del MCC
 Fuente: Moubray, J. (1999)

2.2.29 Tareas proactivas de mantenimiento

Según John M. (1997) Estas tareas se realizan antes de que ocurra una falla, para prevenir que el ítem entre en estado fallido. Abarcan lo que se conoce tradicionalmente como mantenimiento “preventivo” y “predictivo”.

Tareas basadas en condición: las tareas de mantenimiento “a condición”, consisten en chequear los equipos si están fallando, de manera que se puedan tomar medidas, ya sea para prevenir el fallo funcional o para evitar las consecuencias de los mismos. Una tarea de mantenimiento “a condición” es factible si:

1. Es posible definir una condición potencial de falla.
2. Es práctico monitorear al equipo en intervalos menores entre la falla potencial – funcional.
3. El intervalo P-F neto es lo suficientemente largo para ser de utilidad, en otras palabras, lo suficientemente largo para que se lleve a cabo una acción para reducir o eliminar las consecuencias de la falla funcional.

Para determinar el estado de los equipos y determinar si estos pueden estar fallando, se utilizan un conjunto de técnicas, entre las cuales están:

- Técnicas de monitoreo de condición: utilizan equipos para detectar la falla potencial del equipo, es decir, se usa algún equipo o instrumento para monitorear los parámetros del otro. Estas técnicas son versiones altamente sensibles de los sentidos humanos y se monitorean efectos dinámicos, de partícula, químicos, de temperatura, eléctricos y de corrosión.
- Técnicas de monitoreo de la calidad del producto: estas técnicas se basan en que la pérdida de la calidad del producto se considera como una falla funcional, debido a una falla potencial no detectada, generalmente se usan técnicas estadísticas para evaluar la variabilidad del producto.

- Técnica de monitoreo de efectos primarios: los efectos son monitoreados por una persona o una computadora, se leen parámetros como velocidad, presión, volumen, temperatura, potencia, entre otros, los cuales pueden indicar el estado del equipo los cuales son comparados con alguna información de referencia.
- Técnicas de monitoreo basadas en los sentidos humanos: se valen de los sentidos humanos para emitir juicios sobre el mantenimiento y la detección de fallas, en ocasiones son técnica poco precisas pero en otras en donde son muy eficaces.

2.2.30 Tareas de reacondicionamiento cíclico

El reacondicionamiento cíclico implica restaurar la capacidad inicial de un ítem o componente existente a o antes una edad límite especificada, sin tener en cuenta su condición aparente en ese momento. Estas tareas son técnicamente factibles tal como lo describe John M. (op. cit):

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

2.2.31 Tareas de sustitución cíclica

Según John M. (op. cit) la sustitución cíclica implica descartar un ítem o componente a, o antes del límite de edad especificado, sin tener en cuenta su condición en ese momento. Es técnicamente factible si:

- Hay una edad identificable en la que el componente muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de la falla.
- La mayoría de las piezas sobreviven a esta edad.2.2.32. Tareas “a falta de”

2.2.32 Tareas de búsqueda de falla

Para John M. (op. cit) estas tareas se basan en inspeccionar a intervalos de tiempo preestablecidos una función oculta para ver si ha fallado. Son acciones correctivas, ya que se busca la falla después que ha ocurrido, son técnicamente factibles si:

- Es posible realizarla sin aumentar el riesgo de un fallo múltiple.
- Es práctico realizarla a la frecuencia deseada.

2.2.33 Ningún mantenimiento preventivo

Lo define John M. (1997)

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

2.2.34 Rediseño

Se refiere a todo cambio en la especificación de todo ítem o equipo. En este sentido John M. (op. cit) lo define: cualquier acción que pueda resultar en un cambio de un plano, o de una lista de partes. Esto incluye cambiar la especificación de un componente, agregar un nuevo ítem, reemplazando una maquina completa por una de diferente marca o tipo reubicando una máquina.

2.2.35 Frecuencias de mantenimiento

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

- Récord histórico del equipo.
- Recomendaciones del fabricante.
- Experiencia del personal.
- Comportamiento de equipos en empresas similares.

2.2.36 Hoja de información

Según John M. (op. cit) 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.

2.2.37 Hoja decisión

Tillero E. (2009) la define como la información procesada en los tres (3) últimos pasos del MCC, de acuerdo a la referencia de la hoja de información. En esta hoja, se clasifican el tipo de consecuencia que tiene la falla (oculta, para la seguridad y el medio ambiente, operacionales y no operacionales); también se determina el tipo de tarea y la acción asociada a ésta que se va a realizar, su frecuencia de aplicación y el personal encargado de realizarla (p. 56).

2.2.38 Procedimiento de ejecución de mantenimiento

Son instrucciones detalladas por escrito, para la ejecución eficiente y segura de las actividades, incluyendo la operación normal, parada programada, parada de emergencia, inspección, mantenimiento, reparación, construcción, modificación o desmantelamiento. Al realizar un procedimiento de trabajo se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Los procedimientos de trabajo deben tener un código único que los identifique, este código debe indicar, como mínimo, el nombre de organización, el tipo de actividad a ejecutar y un número correlativo.
- Estos procedimientos deben permanecer accesibles al personal involucrado.
- Los Procedimientos de Trabajo deben incluir todos los pasos o secuencia de tareas para la realización óptima del trabajo; los peligros y riesgos particulares de cada una de las actividades y las medidas de prevención y control en materia de Seguridad Industrial.
- Los procedimientos de trabajo deben incluir la identificación de todos los desechos, efluentes y emisiones atmosféricas que se generen durante las actividades.
- Los Procedimientos de Trabajo deben incluir los equipos, materiales, herramientas, tecnología y personal apropiados para la ejecución de las actividades.

2.2.39 Partes que conforman el procedimiento de trabajo

- Título del trabajo: debe indicar de manera resumida el alcance del trabajo, además, debe contener información objetiva de la operación.
- Objetivo: se debe indicar las razones que originan el trabajo o los fines y propósitos que se persiguen.

- Alcance: se debe definir el campo o el área de aplicación, y en qué medida se aplica el documento.
- Roles y responsabilidades del personal: se debe identificar todo el personal que intervendrá en la actividad, señalando brevemente la función de cada uno
- Secuencias de actividades para realizar el trabajo: se debe mencionar en forma secuencial y sistemática todos los pasos necesarios para efectuar el trabajo.
- Equipos, materiales y herramientas a utilizar: se deben indicar todos los materiales, sustancias, equipos, se indicará el tipo, características y capacidad de los equipos, herramientas y componentes antes mencionados.

2.3 Bases legales

Como lo expresa Martins (2003), la fundamentación legal o bases legales se refiere a: “La normativa jurídica que sustenta el estudio. Desde la Carta Magna, las Leyes Orgánicas, las resoluciones, decretos, entre otros” (p. 52).. Igualmente, las bases legales, se refieren a la Orden Ejecutiva o Resoluciones que dispongan la creación de un organismo, programa o la asignación de recursos. A continuación se presentan los basamentos legales, sobre los cuales se realiza la presente investigación:

2.3.1 Norma COVENIN 2634-02 (2002)

Esta norma Venezolana contiene la definición de los términos empleados en el análisis y tratamiento de aguas naturales, industriales y residuales. Esta norma contribuyo para conocer los factores externo e internos que interviene en el tratamiento de agua.

2.3.2 Norma COVENIN 1653-92 (1992)

Esta norma Venezolana contempla los requisitos mínimos que deben cumplir las válvulas de compuerta en el acero con bridas, roscadas o extremos para soldar, con tamaños nominales de 15mm a 600mm (1/2 pulg a 24 pulg). La norma ya mencionada ayudó a determinar las características que debe tener las válvulas para realizar su posterior mantenimiento.

2.3.3 Norma PDVSA SI-S-20

Esta norma de la Industria Petróleos de Venezuela PDVSA, contiene todas las definiciones, términos y lineamientos en lo que se refiere a la elaboración de procedimientos de trabajo. Con la contribución de esta norma se realizaron los procedimientos de trabajo.

2.3.4 Norma PDVSA MM-01-01-01

Esta norma de PDVSA establece las definiciones de los términos asociados a Mantenimiento y Confiabilidad del Manual de Mantenimiento de PDVSA. Con la anterior norma mencionada se determinaron el algoritmo a seguir para la realización del último objetivo de trabajo de investigación, ejecución de mantenimiento a los equipos de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco.

2.3.5 Norma PDVSA MM 01-01-03

Esta norma contiene las definiciones de los niveles de mantenimiento de los activos, que permitan establecer las acciones generales requeridas para el

mantenimiento a ejecutar en las instalaciones de PDVSA, haciendo uso efectivo de los recursos necesarios.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Diseño de la investigación

Para la realización de la investigación se efectuaron estudios de manera profunda y por consiguiente se aplicara un nivel descriptivo, el cual lo define Arias (2006): “la investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento” (p. 24). Debido a que comprendió el registro, detalle y análisis, de la propuesta de un plan de mantenimiento basado en la filosofía de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad a la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, por tal motivo esta investigación se enmarca en el modelo descriptivo.

3.1.1 Investigación de campo

Arias F. (2006) comenta que la investigación de campo “consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna” (p.31).

Tomando en consideración a lo anterior, la investigación de campo está relacionada con este estudio ya que se recolectaron los datos directamente de los realidad por parte del investigador, mediante técnicas para conocer los parámetros de operación, el estado general de los equipos, así como el trabajo y operación de las mismos diariamente lo que reforzó directamente los conocimientos sobre el funcionamiento, fallas comunes, componentes y condiciones de operación normales en torno a la situación existente en la planta potabilizadora.

3.2 Tipo de investigación

Según Tamayo y Tamayo, M. (2003) la Investigación Descriptiva “comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre como una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente.” (p. 123)

En este sentido, se puede afirmar que la presente investigación es de tipo Descriptiva, ya que detalla la realidad actual de los equipos en estudio de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco, referente a todas las especificaciones técnicas, parámetros de operación, función que cumplen cada uno dentro el proceso productivo, así como para describir el problema actual, además requirió de técnicas específicas así como de criterios y formatos de recolección de información, entrevistas directas con el personal y documentación.

3.3 Población y muestra

Según Arias F. (op. cit.) Sobre la población él expresa lo siguiente:

La población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para las cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos de estudio. (p. 81)

Mientras que la muestra según Arias F. (op. cit.) la define como, “la muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población”. (pág. 83) El desarrollo de esta investigación se realizó en la Planta potabilizadora de la unidad de planta de agua estación Santa Rosa, ubicado en la ciudad de Anaco, Municipio Anaco del Estado Anzoátegui, para la misma se definen dos tipos de poblaciones:

- La población de activos: está conformada por diez y nueve (19) equipos que se dividen en la siguiente forma:

Tabla 3.1 Población de activos

Equipo	Código
Bomba Electrosumergible	P-001
	P-002
Bomba Centrifuga	BC-001
	BC-002
Filtro	FT-001
	FT-002
	FT-003
Válvula de Compuerta	VC-001
	VC-002
	VC-003
Válvula Antirretorno (Check)	Vck-01
	Vck-02
	Vck-03
Motor Eléctrico	MEC-001
	MEC-002
	ME-P-001
	ME-P-002
Tanque de Almacenamiento	TK-001
	TK-001

Fuente: El autor (2015)

- La población humana: para el caso en estudio se tiene una población humana de diez (10) personas, un (1) supervisor de sistema de agua, un (1) supervisor de mantenimiento mecánico, un (1) supervisor de operaciones, cuatro(4)

técnicos de mantenimiento, dos (2) electricistas e instrumentistas y un (1) operador de planta.

- Muestra de activos: el tamaño de la muestra dependerá de los resultados arrojados por el análisis de criticidad, seleccionando aquellos equipos con nivel de criticidad Crítico, además de cualquier otro activo que esté relacionado con las bombas o que afecte el funcionamiento de las mismas y por ende se considere importante en el estudio.
- Muestra humana: la muestra es igual a la población humana puesto que esta última es pequeña, por ende se considera a la muestra de tipo intencional no probabilística.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Una vez conocido el tipo y diseño de la investigación, se describen a continuación las técnicas de recolección y análisis de datos que fueron utilizadas para la obtención de los objetivos propuestos.

3.4.1 Técnicas de recolección de datos

Según Arias F. (op.cit.), “se entenderá por técnica, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información” (p.67). Referente a esto, se tienen las siguientes técnicas que deben aplicarse en la realización del proyecto:

3.4.1.1 Observaciones

Arias (op.cit.) establece que la observación "consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de

investigación preestablecidos."(p.69) Esta técnica se utilizó para captar visualmente el funcionamiento de los equipos, también para conocer el ambiente en el que estos trabajan, los componentes que integran a las bombas y válvulas, sus partes más comunes, el parámetro de operación, el estado físico de las bombas y condiciones generales además de visualizar las fallas más comunes, así como para conocer todo el proceso productivo en el cual intervienen los equipos del área operacional.

3.4.1.2 Entrevista no estructurada

Arias F. (op. cit.) define la entrevista como "una técnica basada en un dialogo o conversación "cara a cara", entre el entrevistado y el entrevistador acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistador pueda obtener la información requerida." (p.73). Luego, el mismo autor define la entrevista no estructurada como una modalidad en donde "no se dispone de una guía de preguntas elaboradas previamente. Sin embargo, se orienta por unos objetivos preestablecidos, lo que permite definir el tema de la entrevista" (p.73).

Partiendo de lo mencionado, se realizaron una serie de entrevistas no estructuradas a todo el personal de mantenimiento operacional, para recabar toda la información necesaria sobre los procesos de los cuales los equipos pertenecientes a la planta potabilizadora son los encargados de realizar, además información referente al funcionamiento de las bombas y válvulas, componentes que la integran, información sobre las fallas más comunes a las que se enfrentan los equipos, así como al personal de producción, el cual brindo información crucial sobre las afectaciones desde el punto de vista operacional y sobre fallas.

3.5 Técnicas de análisis de datos

3.5.1 Análisis de criticidad

Es una técnica que permitió simplificar el estudio, propiciando análisis exhaustivos sobre los activos que así lo ameriten, es decir, los más importantes y donde es necesario mejorar los índices registrados, mediante una jerarquización que consta de 3 niveles: equipo crítico, equipos semi-crítico y equipo no crítico. Esto con el fin de tomar decisiones acertadas para la aplicación de las actividades de mantenimiento.

3.5.2 Mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC)

Esta técnica es la fuente principal del desarrollo de la investigación, se fundamenta en un análisis sistemático, objetivo y documentado del problema. Se encarga de estudiar a profundidad los activos, con el fin de ir lidiando con el problema hasta obtener la solución final. Los estudios de esta metodología se dividen en dos técnicas: el AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Fallas) y el ALD (Árbol Lógico de decisiones)

3.5.3 Análisis de modos y efecto de fallas (AMEF)

Con esta técnica se analizaron las posibles fallas funcionales presentes o que pueden aparecer en los equipos críticos, identificando así sus modos, causas y efectos potenciales en busca de acciones que permitan prevenirlas

3.5.4 Árbol lógico de decisiones

Esta técnica se utilizó para encontrar las acciones de mantenimientos más adecuadas para cada modo de falla encontrado en el AMEF, mediante la realización de una serie de preguntas que se deben seguir a través de un árbol lógico.

3.5.5 Ficha técnica

Según Hurtado F. (2003) “una ficha técnica es un documento en forma de sumario que contiene la descripción de las características de un objeto, material, proceso o programa de manera detallada”. Para este proyecto se realizaron las fichas técnicas para todos los equipos de la planta de tratamiento de agua, donde se colocaran las principales características como nombre del equipo, tipo de equipo, marca, año de fabricación, entre otros.

3.6 Etapas de la investigación

3.6.1 Descripción de la situación actual de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco

En esta etapa se procedió a analizar y verificar las condiciones actuales de los equipos pertenecientes a la planta potabilizadora, sus especificaciones técnicas, parámetros ideales de operación, por medio de distintas fuentes como manuales de fabricante para conocer su marca, modelo, entre otras características, además de las visitas al campo, mediante observación directa se logró conocer el estado de los equipos y los niveles de desempeño en el cumplimiento de sus funciones, gracias a la experiencia del personal, se lograron tomar notas sobre los detalles más resaltantes de las visitas, así como conocer la operación y funcionamiento de los equipos.

3.6.1.1 Elaboración de fichas técnicas

De acuerdo a los datos operacionales, de seguridad y ambiente establecidos en los formatos de la Norma ISO 14224 “Industrias de Petróleo y Gas natural-Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos”, y el apoyo del personal de la planta de agua, se elaboraron las fichas técnicas de los equipos (ver tabla 3.2).

Tabla 3.2 Modelo de ficha técnica de los equipos

 PDVSA	PDVSA Gas Anaco Gerencia de Servicios Generales Unidad de Sistema de Agua Registro del equipo		Código:
			Fecha:
Equipo:	 <p style="text-align: center;">Imagen del equipo</p>		
Sistema:			
Tipo de equipo:			
Marca:			
Año de fabricación:			
Tiempo de operación:			
Especificaciones de diseño		Especificaciones de operación	
Accionamiento:	Aplicación:		
Capacidad de almacenamiento:	Fluido manejado:		
Presión:	Presión:		
Tipo de fluido:	Potencia/frecuencia/velocidad/voltaje:		
Conexión:	Condiciones ambientales:		

Fuente: El autor (2015)

3.6.2 Identificación de los equipos críticos de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco

Dicha etapa se realizó con la finalidad de detectar las fallas que presenten los equipos de mayor relevancia en la planta potabilizadora, es por eso, que en esta etapa se procedió a recopilar toda la información sobre las fallas de los equipos, consecuencias que puede traer al ambiente, tiempo medio de reparación, la forma en que estos trabajan dentro del proceso, el cumplimiento del mantenimiento preventivo y disponibilidad de repuestos. Los datos anteriores permitieron obtener resultados mediante encuestas realizadas al personal encargado de los equipos, y así, posteriormente se aplicó 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, para así obtener un porcentaje de criticidad y determinar según los rangos establecidos por el método la criticidad del activo.

En la primera fase se procedió a realizar reuniones con el Equipo Natural de Trabajo para conocer la realidad de los equipos, y así establecer con claridad el rango de los criterios a evaluar para cada parámetro expuesto en la norma de la Metodología DS, adaptándolos lo más posible a la realidad de los equipos y evitar que hubiera alguna desviación que impidiera la exactitud de los resultados obtenidos para la jerarquización. Para la segunda fase se realizaron encuestas cumpliendo con los parámetros de evaluación establecidos por la metodología DS, los cuales se dividen en dos áreas, el área de mantenimiento y el área de operaciones. En el área de mantenimiento se evalúan cinco (5) factores: cantidad de fallas, tiempo promedio fuera de servicio, disponibilidad de repuestos, cumplimiento del mantenimiento preventivo y confiabilidad, mientras que en el área operacional evalúan tres (3) parámetros: tipo de Conexión, costo de producción y seguridad (ver tabla 3.3).

Tabla 3.3 Formato de encuesta propuesta por la metodología de criticidad D.S.

Personal Encuestado N°	Departamento:	Cargo del Trabajador:					
AREA DE MANTENIMIENTO							
Factor a evaluar	Criterios	Bomba Electrosumergible	Bomba Centrifuga	Válvula de compuerta	Válvula Check	Tanque de Almacenamiento	Filtro
1. Cantidad de Fallas (1 año)	1a) Menor a 3						
	1b) Entre 4 y 9						
	1c) Más de 9						
2. Tiempo Promedio Fuera de Servicio	2a) Menos de 4 horas						
	2b) Entre 5 y 8 horas						
	2c) Más de 8 horas						
3. Disponibilidad de Repuestos (1 año)	3a) Mayor a 80%						
	3b) Entre 50% y 80%						
	3c) Menor a 50%						
4. Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (1 año)	4a) Entre 75% y 100%						
	4b) Entre 50% y 74%						
	4c) Entre 0% y 49%						
5. Confiabilidad (1 año)	5a) Mayor a 90%						
	5b) Entre 75% y 89%						
	5c) Entre 50% y 74%						
AREA OPERACIONAL							
6. Tipo de Conexión	6a) Sistema Paralelo						
	6b) Combinación						
	6c) Sistema Serie						
7. Costo de Producción en el Período a evaluar	7a) Igual a la Meta						
	7b) Menor a la meta						
	7c) Mayor a la Meta						
8. Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	8a) Sin Consecuencias						
	8b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.						
	8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.						

Fuente: El autor (2015)

En la tercera fase se procedió, a la creación de un formato para cada equipo en el que se vaciaron cada una de las respuestas obtenidas, en base a esto, se procedió a calcular la criticidad para cada uno de los equipos utilizando en una hoja de cálculo de elaboración propia en Microsoft Excel (ver Tabla 3.4), para el cálculo de la criticidad se sumaron las ponderaciones para cada área y se multiplicaron por las constantes establecidas por la metodología, la fórmula para el cálculo de la criticidad mediante la Metodología DS es la siguiente:

$$C = \left[(K_1 \times \sum \text{puntos de mantenimiento}) + (K_2 \times \sum \text{puntos Operacional}) \right] \times 100$$

De acuerdo con la Metodología DS, para que la evaluación obtenida sea menor o igual a 100% y se cumpla con el valor asignado en cada área, el valor de K1 y K2 se cuantificaron en 0,0333 y 0,0555 respectivamente, como lo establece dicha metodología.

Luego de vaciar los datos obtenidos de las encuesta se procedió a determinar los equipos críticos del sistema en la planta potabilizadora. Seguidamente se realizó el siguiente objetivo para la realización del AMEF de acuerdo a los equipos críticos.

Tabla 3.4 Formato para el cálculo de la criticidad propuesto por la metodología de Criticidad D.S.

Sistema:		Equipo:		Ubicación:									
Código:		Fluido Bombeado:								Fecha:		Puntos	
Factor a evaluar	Criterio Ponderación	Personal encuestado											Criterio Seleccionado
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Area de Mantenimiento													
1	1a=1												
	1b=2												
	1c=3												
2	2a=1												
	2b=2												
	2c=3												
3	3a=1												
	3b=2												
	3c=3												
4	4a=1												
	4b=2												
	4c=3												
5	5a=1												
	5b=2												
	5c=3												
Total de Puntos obtenidos en el Area de Mantenimiento													
Area Operacional													
6	6a=1												
	6b=2												
	6c=3												
7	7a=1												
	7b=2												
	7c=3												
8	8a=1												
	8b=2												
	8c=3												
Total de Puntos obtenidos en el Area Operacional													
Puntos obtenidos en el Area de Mantenimiento + Area Operacional													

Fuente: El autor (2015)

3.6.3 Realización de un análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) a los equipos críticos de la planta potabilizadora

Una vez diagnosticados los equipos críticos, se realizaron actividades con el equipo de trabajo para tomar las ideas más relevantes de cada integrante, de acuerdo a la experiencia de los trabajadores, donde se obtuvo información valiosa sobre las distintas fallas, modo y efecto de la falla que esta produce en cada sistema de los equipos, sirviendo de apoyo para establecer qué tipo de mantenimiento debe aplicarse y además cuales actividades son las necesarias para atacar estas fallas. Con el apoyo del ENT, se realizó el análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), junto con el

personal de experiencia, libros referentes a la metodología e internet, fueron de gran ayuda para indagar sobre las incógnitas que proporciona la AMEF. Estos datos serán plasmados en la hoja de información del AMEF, a continuación se muestra el formato (ver tabla 3.5).

Tabla 3.5 Formato de la hoja de información propuesta por el MCC

		HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF) PLANTA POTABILIZADORA SANTA ROSA			Código:		
					Hoja:		
					Fecha:		
Sistema:		Modo de Operación:	Realizado Por:	Revisado por:	Aprobado por:		
Subsistema:							
Equipo:			Firma:	Firma:	Firma:		
Función		Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de Falla			

Fuente: El autor (2015)

3.6.4 Determinación de tareas y técnicas frecuentes de mantenimiento a os equipos críticos de la planta potabilizadora, realizando un árbol lógico de decisión (ALD)

Luego que se obtuvieron los resultados de los equipos críticos y las fallas presentadas en la planta potabilizadora, mediante el método del flujograma de preguntas del Árbol lógico de Decisiones (ALD), donde se procedió a establecer las actividades de mantenimiento que ataquen directamente estas fallas, la frecuencia en la que deben realizarse las mismas, las cuales se obtuvieron principalmente de las recomendaciones brindadas por los proveedores de los equipos y de la experiencia de los operadores y mecánicos, posteriormente ya recabada esta información, inmediatamente se realizaron los planes de mantenimiento. En la hoja de decisión que se muestra a continuación (ver tabla 3.6) se da respuesta a las preguntas del Árbol Lógico de Decisiones, además se muestran las actividades propuestas y que mejor se ajustaban al contexto de los equipos y las frecuencias iniciales de aplicación.

Las columnas F, FF y FM correspondientes a la función, falla función y modo de fallo respectivamente. Las columnas H, S, E y O responden las interrogantes planteadas en el ALD, las cuales son, ¿El modo de fallo es evidente?; ¿el modo de falla afecta a las personas?; ¿el modo de fallo afecta al ambiente?; y ¿el modo de fallo afecta a las operaciones? La columna H1, H2, H3, etc., responde si se ha seleccionado alguna tarea preventiva, y de ser así, especificar el tipo de tarea en la columna de tarea propuesta. Si no fuese posible escoger una tarea preventiva factible, en las columnas H4, H5 y S4, se registra si una tarea “a falta de” o default ha sido seleccionada y si es así se debe especificar.

3.6.5 Elaboración de los procedimientos de ejecución de mantenimiento a los equipos de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua PDVSA Gas Anaco

Una vez determinadas las actividades a realizar, al igual que su frecuencia, la etapa del diseño del plan de mantenimiento consistió en asentar las acciones de mantenimiento preventivo en una tabla creada en Excel, en la que se especifican: la actividad a realizar, el responsable de ejecutar la tarea, el nivel de mantenimiento de la acción, el tiempo estimado de duración, cantidad de trabajadores y la última columna, especifica que procedimiento de trabajo se recomienda tomar de referencia para la ejecución de la actividad de mantenimiento (ver tabla 3. 7). Posteriormente de haber establecido las actividades de mantenimientos enfocados en disminuir las fallas de los equipos, se elaboró un procedimiento de trabajo que sirviera de guía al trabajador y personal encargado del mantenimiento a la hora de realizar las actividades correspondientes.

Se contó con una explicación detallada para resolver el problema, y para la realización de las actividades que estén planeadas para un tiempo específico, también se proporcionó información referida a cuales materiales, herramientas y normas se

deberán utilizar para realizar el mantenimiento de algún componente y los riesgos que puede haber en el sitio de trabajo. La elaboración de los procedimientos de ejecución de mantenimiento se realizaron basados en las siguientes normas: PDVSA MM-01-01-01 “Definiciones de Mantenimiento y Confiabilidad”, PDVSA MM-01-01-03 “Niveles de Mantenimiento”, PDVSA MM-02-02-04 “Guía de Actividades Asociadas a los Niveles de Mantenimiento” y PDVSA SI-S-20 “Procedimientos de Trabajo”.

Tabla 3.7 Formato para la planificación del mantenimiento
PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO
PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA SANTA ROSA
PDVSA GAS ANACO

							
Equipo:		Ubicación :		Elaborado Por:	Revisado Por:	Aprobado Por:	Fecha:
Código:				Firma:	Firma:	Firma:	
N°	Actividad	Disciplina Ejecutora	Frecuencia de ejecución	Nivel	Tiempo Estimado	Cantidad de Trabajadores	Instructivo de Mantenimiento de referencia

Fuente: El autor (2015)

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Descripción de la situación actual de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco

Petróleos de Venezuela S.A. es la corporación estatal de la República Bolivariana de Venezuela que se encarga de la exploración, producción, refinación, comercialización y distribución de los hidrocarburos, de manera eficiente y comprometida con la protección ambiental con el fin de motorizar el desarrollo armónico del país, afianzar el uso soberano de los recursos y promover el desarrollo endógeno. Fue creada por decreto gubernamental para ejercer tales actividades, dando inicio a sus operaciones el 1 de enero de 1976; es la tercera empresa en el mundo en cuanto a capacidad de refinación. Esta empresa cuenta con varias filiales a lo largo del territorio nacional, entre las cuales se encuentra PDVSA Gas, concebida en agosto de 1999 como filial de Petróleos de Venezuela, S.A., para dedicarse a la exploración y explotación de gas no asociado, así como a la extracción y fraccionamiento de líquidos del gas natural (LGN).

La división Oriente de PDVSA es el eje principal de la política de expansión en cuanto a producción y comercialización de hidrocarburos gaseosos en el país, y el distrito Anaco es el ente operacional responsable de la extracción del mayor volumen de gas natural utilizado en el país, enfocando la explotación fundamentalmente hacia yacimientos de gas y condensado. La Gerencia de Producción Gas Anaco, situada en el centro del estado Anzoátegui, procesa campos de gas mediante las actividades de extracción, producción, tratamiento y distribución del gas natural de manera óptima, bajo estándares de calidad y utilizando tecnología de punta. La gerencia está conformada por dos grandes áreas operacionales, Área Mayor Anaco (AMA),

ubicada en la parte Norte de la zona central del estado Anzoátegui con una extensión de 3.160 km² y Área Mayor Oficina (AMO), localizada en la parte Sur del estado Anzoátegui con una extensión de 10.240 km². Producción AMA cuenta con dos áreas de operación AMA Oeste, integrada por los campos Soto, Mapiri, La Ceibita, Mata R, Zapatos, Aguasay y Carisito. AMA Este, conformada por los campos Quiamare, La Ceiba, Tacata, Cerro Pelado y Santa Rosa; siendo este último, el campo de estudio. El campo Santa Rosa está ubicado en el oriente del país, pertenece al municipio Freites del estado Anzoátegui, localizado a diez kilómetros al Noreste de la población de Anaco, entre las coordenadas geográficas 64°30' y 64°18' de longitud Oeste, 9°34' y 9°25' de latitud Norte.

Santa Rosa posee un área de 160 km² en la cual predominan los yacimientos de condensado. Este campo cuenta con seis estaciones de flujo, un complejo de recolección, separación y compresión (Complejo Santa Rosa), una planta de inyección de agua salada y 179 pozos activos, los cuales son parte fundamental en la producción de gas y de condensado del distrito Anaco, convirtiendo este campo en uno de los más importantes debido a su extensión y reservas de hidrocarburos.

En la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco, el proceso comienza en los pozos naturales de agua (cruda) donde es extraído mediante la implementación de bombas verticales electro sumergibles, dichos pozos se encuentran distribuidos en diversas zonas (Santa Rosa 17, 18, 21, H1 y H2), de allí es transportada por medio de tuberías hasta la planta de agua, donde se recibe en dos (02) tanques de almacenamiento (5.000 Bls c/u), luego mediante gravedad es llevada hasta los tres (03) filtros horizontales (3.500 Bls c/u), en los cuales es tratada y potabilizada, retirándole todos los desechos sólidos que vienen inmersos en ella, de allí el agua ya tratada es bombeada por medio de tres (03) bombas centrifugas hasta los dos (02) tanques de almacenamiento (6.400 bls y 13.600 bls), a la salida de dichos tanques se encuentran dos (02) bombas centrifugas las

cuales se encargan de transferir el agua tratada hacia el Centro Operativo Santa Rosa, campo los pilones y comunidades aledañas con un caudal de 260 gpm.

En la figura 4.1 se muestra el diagrama de procesos donde se detalla el paso a paso que se lleva a cabo dentro de la planta de agua Santa Rosa.

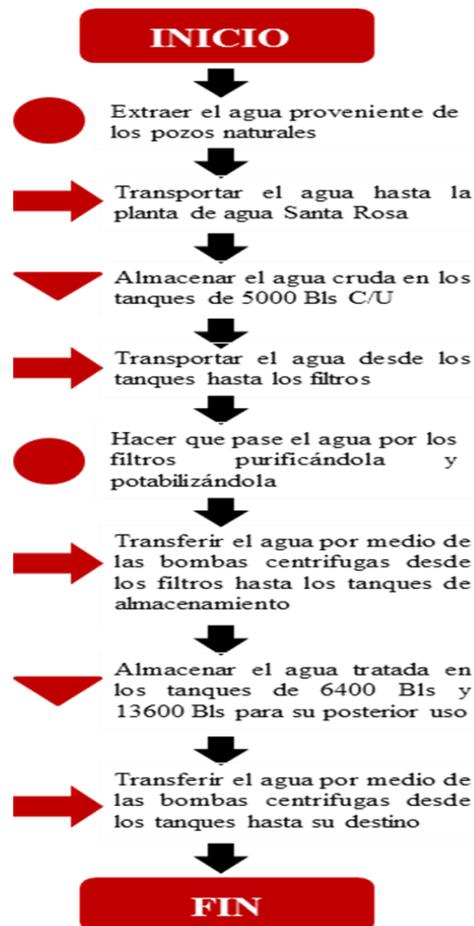


Figura 4.1 Diagrama de procesos de la planta de agua Santa Rosa
Fuente: El autor (2015)

4.1.1 Equipos presentes dentro del proceso de la planta de agua Santa Rosa

Para el estudio de los equipos presentes dentro del proceso de la planta de agua Santa Rosa, se realizó un inventario de estos donde se especifican datos importantes que dan paso al análisis de criticidad de los mismos, dicho datos son los siguientes: (tabla 4.1)

Tabla 4.1 Datos de los equipos pertenecientes a la Planta de agua Santa Rosa

Ítem	Nombre del equipo	Marca	Código	Modo de Operación	Condiciones
1	Bomba Electrosumergible	Saer	P-001	Motor Eléctrico	Operativa y en malas condiciones, presenta corrosión vibración y ruido
2	Bomba Electrosumergible	Saer	P-002	Motor Eléctrico	Operativa y en buenas condiciones,
3	Tanques de almacenamiento	N/A	TK-001	N/A	Operativo y en condiciones críticas, presenta corrosión en paredes internas y abolladuras en las paredes externas
4	Tanques de almacenamiento	N/A	TK-002	N/A	Operativo y en buenas condiciones
5	Bomba Centrifuga	Mission	BC-001	Motor Eléctrico	Operativa y en condiciones regulares, presenta vibración y rasgo de corrosión
6	Bomba Centrifuga	Mission	BC-002	Motor Eléctrico	Operativa y en malas condiciones, presenta vibración, ruido y corrosión
7	Filtro	N/A	FT-001	N/A	Operativo y en buenas condiciones
8	Filtro	N/A	FT-002	N/A	Operativo y en condiciones regulares
9	Filtro	N/A	FT-003	N/A	Operativo y en malas condiciones
10	Válvula de Compuerta	MCT	VC-001	Manual	Operativa y en malas condiciones
11	Válvula de Compuerta	MCT	VC-002	Manual	Operativa y en condiciones regulares
12	Válvula de Compuerta	MCT	VC-003	Manual	Operativa y en buenas condiciones
13	Válvula antirretorno	Ehica	Vck-01	Dirección del fluido	Operativa y en malas condiciones
14	Válvula antirretorno	Ehica	Vck-02	Dirección del fluido	Operativa y en condiciones regulares
15	Válvula antirretorno	Ehica	Vck-03	Dirección del fluido	Operativa y en buenas condiciones
16	Motor eléctrico		MEC-001	Motor eléctrico	Operativo y en buenas condiciones
17	Motor eléctrico		MEC-002	Motor eléctrico	Operativo y en buenas condiciones
18	Motor eléctrico		ME-P-001	Motor eléctrico	Operativo y en buenas condiciones
19	Motor eléctrico		ME-P-002	Motor eléctrico	Operativo y en buenas condiciones

Fuente: El autor (2015)

A continuación se presentan las fichas de los equipos objeto de estudio.

4.1.1.1 Bombas electrosumergible

Se encuentran en el sistema de bombeo #01, son utilizadas para la extracción y transporte de agua cruda de los diversos pozos, hasta los tanques de almacenamiento. Actualmente no se les realizan actividades de mantenimiento preventivo, lo cual se hace evidente, por las paradas no programadas del proceso. En la tabla 4.2 y 4.3, se muestran las fichas técnicas de la bomba electrosumergible.

Tabla 4.2 Ficha técnica de la Bomba Electrosumergible P-001

	PDVSA Gas Anaco Gerencia de Servicios Generales Unidad de Sistema de Agua Registro del equipo	Código: P-001
		Fecha: Marzo 2015
Equipo: Bomba electrosumergible		
Sistema: Bombeo #01		
Tipo de equipo: Dinámico		
Marca: Saer		
Año de fabricación: 2010		
Tiempo de operación: 4 años		
Especificaciones de diseño		Especificaciones de operación
Accionamiento: Motor eléctrico	Aplicación: Transferencia de agua cruda desde bombeo #01 hasta almacenamiento #01	
Capacidad de almacenamiento: N/A	Fluido manejado: Agua cruda	
Presión: 100 psi	Presión: 100 psi	
Tipo de fluido: Agua	Potencia/frecuencia/velocidad/voltaje: 40 hp / 60 Htz /3475 Rpm / 460/800 Volt	
Conexión: Acoplado al motor eléctrico	Condiciones ambientales: Intemperie	

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.3 Ficha técnica de la Bomba eletrosumergible P-002

	PDVSA Gas Anaco Gerencia de Servicios Generales Unidad de Sistema de Agua Registro del equipo	Código: P-002		
		Fecha: Marzo 2015		
Equipo: Bomba Electrosumergible		Sistema: Bombeo #01		
Tipo de equipo: Dinámico		Marca: Saer		
Año de fabricación: 2010		Tiempo de operación: 4 años		
Especificaciones de diseño		Especificaciones de operación		
Accionamiento: Motor eléctrico		Aplicación: Transferencia de agua cruda desde bombeo #01 hasta almacenamiento #01		
Capacidad de almacenamiento: N/A		Fluido manejado: Agua cruda		
Presión: 100 psi	Presión: 100 psi			
Tipo de fluido: Agua	Potencia/frecuencia/velocidad/voltaje: 40 hp / 60 Htz /3475 Rpm / 460/800 Volt			
Conexión: Acoplado al motor eléctrico	Condiciones ambientales: Intemperie			

Fuente: El autor (2015)

4.1.1.2 Tanques de almacenamiento de agua cruda

Para el almacenamiento del agua cruda extraída de los pozos acuíferos, la planta potabilizadora cuenta con dos (2) tanques de almacenamiento, con capacidad de 5.000 bls c/u, ubicados en la entrada del límite de batería de la planta. Se encuentran en condiciones desfavorables debidos a que no se le realiza una inspección de mantenimiento preventivo y correctivo, por lo que se les observa fugas, deterioros en las paredes.

En la tabla 4.4 y 4.5, se muestran las fichas técnicas de los tanques de almacenamiento.

Tabla 4.4 Ficha técnica de tanques de almacenamiento TK-001

	PDVSA Gas Anaco Gerencia de Servicios Generales Unidad de Sistema de Agua Registro del equipo	Código: TK-001
		Fecha: Marzo 2015
Equipo: Tanques de almacenamiento		
Sistema: Almacenamiento #01		
Tipo de equipo: Estático		
Marca: N/A		
Año de fabricación: 2006		
Tiempo de operación: 10 años		
Especificaciones de diseño		Especificaciones de operación
Accionamiento: N/A	Aplicación: Almacenamiento de agua cruda	
Capacidad de almacenamiento: 5.000 bls	Fluido manejado: Agua cruda	
Presión: N/A	Presión: N/A	
Tipo de fluido: Agua	Potencia/frecuencia/velocidad/voltaje: N/A	
Conexión: Acoplados en serie	Condiciones ambientales: Intemperie	

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.5 Ficha técnica de tanque de almacenamiento TK-002

	PDVSA Gas Anaco Gerencia de Servicios Generales Unidad de Sistema de Agua Registro del equipo		Código: TK-002
			Fecha: Marzo 2015
Equipo: Tanques de almacenamiento			
Sistema: Almacenamiento #01			
Tipo de equipo: Estático			
Marca: N/A			
Año de fabricación: 2006			
Tiempo de operación: 10 años			
Especificaciones de diseño		Especificaciones de operación	
Accionamiento: N/A	Aplicación: Almacenamiento de agua cruda		
Capacidad de almacenamiento: 5.000 bls	Fluido manejado: Agua cruda		
Presión: N/A	Presión: N/A		
Tipo de fluido: Agua	Potencia/frecuencia/velocidad/voltaje: N/A		
Conexión: Acoplados en serie	Condiciones ambientales: Intemperie		

Fuente: El autor (2015)

4.1.1.3 Bombas centrifugas

En la planta potabilizadora de agua Santa Rosa se cuenta con dos (2) sistema de bombeos las cuales son: bombeo #02 encarga de trasladar el líquido de los tanques de almacenamiento #01 hasta los filtros para el tratamiento y filtrado del agua, y el bombeo #03 cuya función es extraer el agua ya procesada y filtrada de los tanques de almacenamiento #02 para su respectiva distribución hacia el Centro operativo Santa Rosa, campo los pilones y comunidades aledañas.

En la tabla 4.6 y 4.7 se muestran las fichas técnicas de las bombas centrifugas.

Tabla 4.6 Ficha técnica de las bombas centrífugas BC-001

 PDVSA Gas Anaco Gerencia de Servicios Generales Unidad de Sistema de Agua Registro del equipo		Código: BC-001
		Fecha: Marzo 2015
Equipo: Bomba centrífuga		
Sistema: Bombeo		
Tipo de equipo: Dinámico		
Marca: Mission		
Año de fabricación: 2010		
Tiempo de operación: 4 años		
Especificaciones de diseño		Especificaciones de operación
Accionamiento: Motor eléctrico	Aplicación: Trasladar el líquido de los tanques de almacenamiento #01 hasta los filtros para el tratamiento y filtrado del agua, y el bombeo #03 cuya función es extraer el agua ya procesada y filtrada de los tanques de almacenamiento #02 para su respectiva distribución hacia el Centro operativo Santa Rosa, campo los pilones y comunidades aledañas	
Capacidad de almacenamiento: N/A	Fluido manejado: Agua cruda	
Presión: 90 psi	Presión: 45 psi	
Tipo de fluido: Agua	Potencia/frecuencia/velocidad/voltaje: 1.280 rpm	
Conexión: Horizontal según dirección del eje	Condiciones ambientales: Intemperie	

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.7 Ficha técnica de la bomba centrífuga BC-002

		PDVSA Gas Anaco Gerencia de Servicios Generales Unidad de Sistema de Agua Registro del equipo		Código: BC-002
				Fecha: Marzo 2015
Equipo: Bomba centrífuga				
Sistema: Bombeo				
Tipo de equipo: Dinámico				
Marca: Mission				
Año de fabricación: 2010				
Tiempo de operación: 4 años				
Especificaciones de diseño		Especificaciones de operación		
Accionamiento: Motor eléctrico	Aplicación: Trasladar el líquido de los tanques de almacenamiento #01 hasta los filtros para el tratamiento y filtrado del agua, y el bombeo #03 cuya función es extraer el agua ya procesada y filtrada de los tanques de almacenamiento #02 para su respectiva distribución hacia el Centro operativo Santa Rosa, campo los pilones y comunidades aledañas			
Capacidad de almacenamiento: N/A	Fluido manejado: Agua cruda			
Presión: 90 psi	Presión: 45 psi			
Tipo de fluido: Agua	Potencia/frecuencia/velocidad/voltaje: 1280 rpm			
Conexión: Horizontal según dirección del eje	Condiciones ambientales: Intemperie			

Fuente: El autor (2015)

4.1.1.4 Filtros

Para el tratamiento y filtrado del agua cruda, se encuentran ubicados en la planta un sistema de filtros interconectados entre sí, que permiten purificar este líquido al pasar por los filtros, este atrapa las partículas que el agua trae, algunos de estos elementos son arena, barro, oxido, polvo, hierro, altas cantidades de cloro y bacterias, entre otros. En la tabla 4.8, se muestra la ficha técnica de los filtros.

Tabla 4.8 Ficha técnica de los filtros FT-001, FT-002, FT-003

	PDVSA Gas Anaco Gerencia de Servicios Generales Unidad de Sistema de Agua Registro del equipo	Código: FT-001/FT-002/ FT-003	
		Fecha: Marzo 2015	
Equipo: Filtro			
Sistema: Filtrado			
Tipo de equipo: Dinámico			
Marca: N/A			
Año de fabricación: 2006			
Tiempo de operación: 10 años			
Especificaciones de diseño		Especificaciones de operación	
Accionamiento: N/A	Aplicación: Filtrado		
Capacidad de almacenamiento: 1850 Bls	Fluido manejado: Agua cruda		
Presión: N/A	Presión: N/A		
Tipo de fluido: Agua	Potencia/frecuencia/velocidad/voltaje: N/A		
Conexión: Acoplados en serie	Condiciones ambientales: Intemperie		

Fuente: El autor (2015)

4.1.1.5 Válvulas de compuerta

Estas válvulas abren mediante el levantamiento de una compuerta o cuchilla, permitiendo así el paso del fluido. Lo que distingue a las válvulas de este tipo es el sello, el cual se hace mediante el asiento del disco en dos áreas distribuidas en los contornos de ambas caras del disco. Las caras del disco pueden ser paralelas o en

forma de cuña. Las válvulas de compuerta no son empleadas para regulación. Estas válvulas presentan quemaduras y roturas. En la tabla 4.9 se muestra la ficha técnica de las válvulas de compuerta.

Tabla 4.9 Ficha técnica de las válvulas de compuerta VC-001, VC-002, VC-003

	PDVSA Gas Anaco Gerencia de Servicios Generales Unidad de Sistema de Agua Registro del equipo	Código: VC-001/VC-002/ VC-003
		Fecha: Marzo 2015
Equipo: Válvula de compuerta		Sistema: Bombeo
Tipo de equipo: Estático		
Marca: MCT		
Año de fabricación: 2007		
Tiempo de operación: 7 años		
Especificaciones de diseño		Especificaciones de operación
Accionamiento: Manual	Aplicación: Impulsión	
Capacidad de almacenamiento: N/A	Fluido manejado: Agua cruda	
Presión: 150 psi	Presión: N/A	
Tipo de fluido: Agua	Potencia/frecuencia/velocidad/voltaje: N/A	
Conexión: Entre bridas	Condiciones ambientales: Intemperie	

Fuente: El autor (2015)

4.1.1.6Válvulas antirretorno (Check)

Tienen por objetivo cerrar por completo el paso de un fluido en circulación bien sea gaseoso o líquido- en un sentido y dejar paso libre en el contrario. Tiene la ventaja de un recorrido mínimo del disco u obturador a la posición de apertura total. Esto implica que cuando las bombas son cerradas o simplemente la gravedad de la falla que presenta hace que no cumpla con su labor de regresar los fluidos, esta válvula no se cierra instantáneamente por lo cual, no deja pasar solo el flujo que corre hacia la dirección correcta. En la tabla 4.10 se muestra la ficha técnica de las válvulas antirretorno (Check).

Tabla 4.10 Ficha técnica de las válvulas antirretorno (Check) VCK-01, VCK-02, VCK-03

	PDVSA Gas Anaco Gerencia de Servicios Generales Unidad de Sistema de Agua Registro del equipo		Código: Vck-01/ Vck-02/Vck-03
			Fecha: Marzo 2015
Equipo: Válvula antirretorno (Check)			
Sistema: Bombeo			
Tipo de equipo: Estático			
Marca: Ehica			
Año de fabricación: 2010			
Tiempo de operación: 6 años			
Especificaciones de diseño		Especificaciones de operación	
Accionamiento: Dirección del fluido	Aplicación: Impedir que el flujo de descarga regrese		
Capacidad de almacenamiento: N/A	Fluido manejado: Agua cruda		
Presión: 150 psi	Presión: 45psi		
Tipo de fluido: Agua	Potencia/frecuencia/velocidad/voltaje: N/A		
Conexión: Entre bridas	Condiciones ambientales: Intemperie		

Fuente: El autor (2015)

4.1.1.7 Motores eléctricos

En la planta potabilizadora de agua Santa Rosa se cuenta con dos (2) sistema de bombes las cuales son: bombeo #02 encarga de trasladar el líquido de los tanques de almacenamiento #01 hasta los filtros para el tratamiento y filtrado del agua, y el

bombeo #03 cuya función es extraer el agua ya procesada y filtrada de los tanques de almacenamiento #02 para su respectiva distribución hacia el Centro operativo Santa Rosa, Campo Los Pilonos y comunidades aledañas. En la tabla 4.11 y 4.12 se muestra la ficha técnica de los motores eléctricos.

Tabla 4.11 Ficha técnica de los motores eléctricos MEC-001, MEC-002

	PDVSA Gas Anaco Gerencia de Servicios Generales Unidad de Sistema de Agua Registro del equipo		Código: MEC-001/MEC-002
			Fecha: Marzo 2015
Equipo: Motor eléctrico			
Sistema: Bombeo			
Tipo de equipo: Dinámico			
Marca: Baldor			
Año de fabricación: 2009			
Tiempo de operación: 7 años			
Especificaciones de diseño		Especificaciones de operación	
Accionamiento: N/A	Aplicación: Acción de Bomba Centrífuga		
Capacidad de almacenamiento:	Fluido manejado: Agua cruda		
Presión: N/A	Presión: N/A		
Tipo de fluido: Agua	Potencia/frecuencia/velocidad/voltaje: 75hp/ 60hz/ 1770 rpm/ 230/ 460 V		
Conexión: Acoplados a la bomba	Condiciones ambientales: Intemperie		

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.12 Ficha técnica de los motores eléctricos ME-P-001, ME-P-002

	PDVSA Gas Anaco Gerencia de Servicios Generales Unidad de Sistema de Agua Registro del equipo	Código: ME-P-001/ ME- P-002		
		Fecha: Marzo 2015		
Equipo: Motor eléctrico		Sistema: Bombeo		
Tipo de equipo: Dinámico		Marca: Teco Westinghouse		
Año de fabricación: 2010		Tiempo de operación: 6 años		
Especificaciones de diseño		Especificaciones de operación		
Accionamiento: Motor Eléctrico		Aplicación: Acción de Bomba Centrífuga	Capacidad de almacenamiento:	Fluido manejado: Agua cruda
Presión: N/A		Presión: N/A	Tipo de fluido: Agua	Potencia/frecuencia/velocidad/voltaje : 75hp/ 60hz/ 1770 rpm/ 230/ 460 V
Conexión: Acoplados a la bomba	Condiciones ambientales: Intemperie			

Fuente: El autor (2015)

4.2 Identificación de los equipos críticos de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco

Para la identificación de los equipos críticos de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco, se realizó un análisis con la finalidad de determinar el nivel de criticidad de los equipos estáticos y dinámicos en estudio, a los cuales posteriormente se les elaboraron planes de mantenimiento y manuales de mantenimiento. La metodología a seguir para la determinación de cada uno de los factores e indicadores fue mostrada en el capítulo III, basado en la Metodología D.S. Posteriormente se presentan los análisis y resultados completos de criticidad de los equipos estáticos y dinámicos en las matrices de evaluación, los cálculos se hicieron de manera directa con los datos obtenidos de los reportes diarios de operaciones y mantenimiento, entradas y salidas de repuestos al almacén y fueron plasmados directamente las ecuaciones.

A continuación se presentan los análisis y resultados completos de criticidad de los equipos estáticos en las matrices de evaluación.

1) Equipo: Bomba Electrosumergible

Código: P-001

Cantidad de Fallas Ocurridas = 8

La siguiente ecuación es para el cálculo de la media de tiempo fuera de servicio MTFS.

$$MTFS = \frac{\sum_{i=1}^n TFS}{n} = \frac{TFS_1 + TFS_2 + \dots + TFS_n}{n}$$

Ecuación 1 Media de tiempo fuera de servicio MTFS

Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS)

MTFS: 51.125Horas

La siguiente ecuación es para el cálculo de la disponibilidad de repuestos DR

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

Ecuación 2 Disponibilidad de repuestos DR

Cantidad Satisfecha: 75

Cantidad Demandada: 104

DR: 72.12%

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

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

Ecuación 3 Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo CMP

ODT Ejecutadas: 2

ODT Emitidas: 5

CMP: 40%

Confiabilidad (R_t):

$$R_{(t)} = \left(e^{-\left(\frac{\text{Numero de Fallas}}{\text{Horas Totales de Operacion}} \right) \times 24} \right) \times 100\%$$

Ecuación 4 Confiabilidad R_t

Número de Fallas: 8

Horas Totales de Operación: 2600

R_t : 92.88

- Tipo de Conexión= Acoplado al motor
- Costo de Producción en el año= Mayor a la meta
- Seguridad del personal, equipos y/o ambiente= Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.

✓ Hoja de Recolección de Datos para el Análisis de Criticidad

Cantidad de Fallas Ocurridas en el año

1a) $0 \leq F \leq 1$	
1b) $1 < F \leq 3$	
1c) $F > 3$	8

Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS) en hora en un año:

2a) $MTFS \leq 4$	
2b) $4 < MTFS \leq 8$	
2c) $MTFS > 8$	51.125

Disponibilidad de repuestos (DR) en un año:

3a) $DR \geq 80\%$	
3b) $50\% \leq DR < 80\%$	72.12
3c) $DR < 50\%$	

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP)

4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$	
4b) $50\% \leq CMP < 75\%$	
4c) $0\% \leq CMP < 50\%$	40

Confiabilidad (R_t) en un año

5a) $R_t \geq 90\%$	92.88
5b) $75\% \leq R_t < 90\%$	
5c) $50\% \leq R_t < 75\%$	

Tipo de Conexión:

6a) Sistema Paralelo	
6b) Combinación	X
6c) Sistema Serie	

Costo de Producción en el año:

7a) Igual a la Meta	
7b) Menor a la meta	
7c) Mayor a la Meta	X

Seguridad del personal, equipo y/o ambiente

8a) Sin Consecuencias	
8b) Efecto Temporal Sobre La Seg. Y/O Amb.	X
8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	

Tabla 4.13 Matriz de Criticidad, bomba electrosumergible P-001. Área de mantenimiento

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.						
Equipo: Bomba Electrosumergible	Posición Técnica: Equipo Dinámico					
Código: P-001	Sistema: Bombeo #01					
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio seleccionado	Puntos
1) Cantidad de Fallas ocurridas en el período a evaluar.	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio Fuera de servicio (MTFS) en horas en el período a evaluar.	2a) $MTFS \leq 4$			1	2c	3
	2b) $4 < MTFS \leq 8$			2		
	2c) $MTFS > 8$			3		
3) Disponibilidad de Repuestos (DR) en el período a evaluar	3a) $DR \geq 80\%$			1	3b	2
	3b) $50\% \leq DR < 80\%$			2		
	3c) $DR < 50\%$			3		
4) Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el período a evaluar.	4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$			1	4c	3
	4b) $50\% \leq CMP < 75\%$			2		
	4c) $0\% \leq CMP < 50\%$			3		
5) Confiabilidad (R_t) en el Período a Evaluar	5a) $R_t \geq 90\%$			1	5a	1
	5b) $75\% \leq R_t < 90\%$			2		
	5c) $50\% \leq R_t < 75\%$			3		
Total puntos obtenidos en el área de mantenimiento						12

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.14 Matriz de Criticidad, bomba electrosumergible P-001. Área operacional

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.				
Equipo: Bomba Electrosumergible	Posición Técnica: Equipo Dinámico			
Código: P-001	Sistema: Bombeo #01			
ÁREA OPERACIONAL				
Factor a Evaluar	Criterios	Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
6) Tipo de Conexión	6a) Sistema Paralelo	1	6b	2
	6b) Combinación	2		
	6c) Sistema Serie	3		
7) Costo de Producción en el Período a evaluar	7a) Igual a la Meta	1	7c	3
	7b) Menor a la meta	2		
	7c) Mayor a la Meta	3		
8) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	8a) Sin Consecuencias	1	8b	2
	8b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.	2		
	8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	3		
Total puntos obtenidos en el área operacional				7

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.15 Calculo de Criticidad e Intervalos de Evaluación, bomba electrosumergible P-001

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.		
Criticidad del equipo = $[0,0333 (12) + 0,0555 (7)] \times 100$		
Criticidad del equipo = 78.81%		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con X
	Critico (Ponderación Total > 90%)	
	Semi-Crítico ($50 \leq$ Ponderación total \leq 90%)	X
	No Crítico ($33 \leq$ Ponderación total < 50%)	

Fuente: El autor (2015)

2) Equipo: Bomba Electrosumergible

Código: P-002

Cantidad de Fallas Ocurridas= 12

Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS)

MTFS: 57,33 Horas

Disponibilidad de Repuestos (DR)

Cantidad Satisfecha: 45

Cantidad Demandada: 110

DR: 40,91%

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

ODT Ejecutadas: 1

ODT Emitidas: 6

CMP: 16,66%

Confiabilidad (R_t):

Numero de Fallas: 12

Horas Totales de Operación: 2600

R_t : 92.8889,51

- Tipo de Conexión= Acoplado al motor
- Costo de Producción en el año= Mayor a la meta
- Seguridad del personal, equipos y/o ambiente= Efecto temporal permanente sobre la Seg. y/o Amb.

✓ Hoja de Recolección de Datos para el Análisis de Criticidad

Cantidad de Fallas Ocurridas en el año:

1a) $0 \leq F \leq 1$	
1b) $1 < F \leq 3$	
1c) $F > 3$	12

Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS) en horas en un año:

2a) $MTFS \leq 4$	
2b) $4 < MTFS \leq 8$	
2c) $MTFS > 8$	57,33

Disponibilidad de Repuestos (DR) en un Año:

3a) $DR \geq 80\%$	
3b) $50\% \leq DR < 80\%$	
3c) $DR < 50\%$	40,91

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

4a) $75\% \leq \text{CMP} \leq 100\%$	
4b) $50\% \leq \text{CMP} < 75\%$	
4c) $0\% \leq \text{CMP} < 50\%$	16,66

Confiabilidad (R_t) en un año:

5a) $R_t \geq 90\%$	
5b) $75\% \leq R_t < 90\%$	89,51
5c) $50\% \leq R_t < 75\%$	

Tipo de Conexión:

6a) Sistema Paralelo	
6b) Combinación	X
6c) Sistema Serie	
7a) Igual a la Meta	
7b) Menor a la meta	
7c) Mayor a la Meta	X

Seguridad del personal, equipos y/o ambiente:

8a) Sin Consecuencias	
8b) Efecto Temporal sobre la Seg. y/o Amb.	
8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	X

Tabla 4.16 Matriz de Criticidad, bomba electrosumergible P-002. Área de Mantenimiento

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.						
Equipo: Bomba Electrosumergible	Posición Técnica: Equipo Dinámico					
Código: P-002	Sistema: Bombeo #01					
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio seleccionado	Puntos
1) Cantidad de Fallas ocurridas en el período a evaluar.	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio Fuera de servicio (MTFS) en horas en el período a evaluar.	2a) $MTFS \leq 4$			1	2c	3
	2b) $4 < MTFS \leq 8$			2		
	2c) $MTFS > 8$			3		
3) Disponibilidad de Repuestos (DR) en el período a evaluar	3a) $DR \geq 80\%$			1	3c	3
	3b) $50\% \leq DR < 80\%$			2		
	3c) $DR < 50\%$			3		
4) Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el período a evaluar.	4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$			1	4c	3
	4b) $50\% \leq CMP < 75\%$			2		
	4c) $0\% \leq CMP < 50\%$			3		
5) Confiabilidad (R_t) en el Período a Evaluar	5a) $R_t \geq 90\%$			1	5b	2
	5b) $75\% \leq R_t < 90\%$			2		
	5c) $50\% \leq R_t < 75\%$			3		
Total puntos obtenidos en el área de mantenimiento						14

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.17 Matriz de criticidad, bomba electrosumergible P-002. Área operacional

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.				
Equipo: Bomba Electrosumergible	Posición Técnica: Equipo Dinámico			
Código: P-002	Sistema: Bombeo #01			
ÁREA OPERACIONAL				
Factor a Evaluar	Criterios	Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
6) Tipo de Conexión	6a) Sistema Paralelo	1	6b	2
	6b) Combinación	2		
	6c) Sistema Serie	3		
7) Costo de Producción en el Período a evaluar	7a) Igual a la Meta	1	7c	3
	7b) Menor a la meta	2		
	7c) Mayor a la Meta	3		
8) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	8a) Sin Consecuencias	1	8c	23
	8b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.	2		
	8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	3		
Total puntos obtenidos en el área operacional				8

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.18 Calculo de Criticidad e intervalos de evaluación, bomba electrosumergible P-002.

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.		
Criticidad del equipo = [0,0333 (14) + 0,0555 (8)] x 100		
Criticidad del equipo = 91,02%		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con X
	Critico (Ponderación Total >90%)	X
	Semi-Critico (50 ≤ Ponderación total ≤ 90%)	
	No Critico (33 ≤ Ponderación total < 50%)	

Fuente: El autor (2015)

3) Equipo: Bomba Centrifuga

Código: BC-001

- Cantidad de Fallas Ocurridas= 10
- Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS)

MTFS: 63,6Horas

Disponibilidad de Repuestos (DR)

Cantidad Satisfecha: 56

Cantidad Demandada: 94

DR: 59,57%

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

ODT Ejecutadas: 3
ODT Emitidas: 5

CMP: 0%

Confiabilidad (R_t):

Número de Fallas: 10
Horas Totales de Operación: 2200

R_t : 89,66

- Tipo de Conexión= Horizontal según dirección del eje
- Costo de Producción en el año= Menor a la meta
- Seguridad del personal, equipos y/o ambiente= Efecto Temporal sobre la Seguridad y/o Ambiente.

✓ Hoja de Recolección de Datos para el Análisis de Criticidad

Cantidad de Fallas Ocurridas en el año:

1a) $0 \leq F \leq 1$	
1b) $1 < F \leq 3$	
1c) $F > 3$	10

Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS) en horas en un año:

2a) $MTFS \leq 4$	
2b) $4 < MTFS \leq 8$	
2c) $MTFS > 8$	63,6

Disponibilidad de Repuestos (DR) en un Año:

3a) $DR \geq 80\%$	
3b) $50\% \leq DR < 80\%$	
3c) $DR < 50\%$	59,57

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$	
4b) $50\% \leq CMP < 75\%$	60
4c) $0\% \leq CMP < 50\%$	

Confiabilidad (R_t) en un año:

5a) $R_t \geq 90\%$	
5b) $75\% \leq R_t < 90\%$	89,66
5c) $50\% \leq R_t < 75\%$	

Tipo de Conexión:

6a) Sistema Paralelo	X
6b) Combinación	
6c) Sistema Serie	

Costo de Producción en el año:

7a) Igual a la Meta	
7b) Menor a la meta	X
7c) Mayor a la Meta	

Seguridad del personal, equipos y/o ambiente:

8a) Sin Consecuencias	
8b) Efecto Temporal sobre la Seg. y/o Amb.	X
8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	

Tabla 4.19 Matriz de criticidad, bomba centrífuga BC-001. Área de Mantenimiento

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.						
Equipo: Bomba Centrífuga	Posición Técnica: Equipo Dinámico					
Código: BC-001	Sistema: Bombeo					
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio seleccionado	Puntos
1) Cantidad de Fallas ocurridas en el período a evaluar.	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio Fuera de servicio (MTFS) en horas en el período a evaluar.	2a) $MTFS \leq 4$			1	2c	3
	2b) $4 < MTFS \leq 8$			2		
	2c) $MTFS > 8$			3		
3) Disponibilidad de Repuestos (DR) en el período a evaluar	3a) $DR \geq 80\%$			1	3c	3
	3b) $50\% \leq DR < 80\%$			2		
	3c) $DR < 50\%$			3		
4) Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el período a evaluar.	4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$			1	4b	2
	4b) $50\% \leq CMP < 75\%$			2		
	4c) $0\% \leq CMP < 50\%$			3		
5) Confiabilidad (R_t) en el Período a Evaluar	5a) $R_t \geq 90\%$			1	5b	2
	5b) $75\% \leq R_t < 90\%$			2		
	5c) $50\% \leq R_t < 75\%$			3		
Total puntos obtenidos en el área de mantenimiento						13

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.20 Matriz de Criticidad, bomba centrífuga BC-001. Área Operacional

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.				
Equipo: Bomba Centrífuga	Posición Dinámico	Técnica:	Equipo	
Código BC-001	Sistema: Bombeo #01			
ÁREA OPERACIONAL				
Factor a Evaluar	Criterios	Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
6) Tipo de Conexión	6a) Sistema Paralelo	1	6^a	1
	6b) Combinación	2		
	6c) Sistema Serie	3		
7) Costo de Producción en el Período a evaluar	7a) Igual a la Meta	1	7b	2
	7b) Menor a la meta	2		
	7c) Mayor a la Meta	3		
8) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	8a) Sin Consecuencias	1	8b	2
	8b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.	2		
	8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	3		
Total puntos obtenidos en el área operacional				5

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.21 Calculo de Criticidad e Intervalos de Evaluación, bomba centrífuga BC-001

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.		
Criticidad del equipo = $[0,0333 (13) + 0,0555 (5)] \times 100$		
Criticidad del equipo = 71,04%		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con X
	Crítico (Ponderación Total > 90%)	
	Semi-Crítico ($50 \leq$ Ponderación total $\leq 90\%$)	X
	No Crítico ($33 \leq$ Ponderación total $< 50\%$)	

Fuente: El autor (2015)

4) Equipo: Bomba Centrífuga

Código: BC-002

- Cantidad de Fallas Ocurridas= 16
- Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS)

MTFS: 46,5 Horas

Disponibilidad de Repuestos (DR)

Cantidad Satisfecha: 51

Cantidad Demandada: 115

DR: 44,35%

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

ODT Ejecutadas: 1

ODT Emitidas: 7

CMP: 14,28%

Confiabilidad (R_t):

Número de Fallas: 16

Horas Totales de Operación: 1200

R_t : 72,61

- Tipo de Conexión= Horizontal según dirección del eje
- Costo de Producción en el año= Mayor a la meta
- Seguridad del personal, equipos y/o ambiente= Efecto Permanente sobre la Seguridad y/o Ambiente.

✓ Hoja de Recolección de Datos para el Análisis de Criticidad

Cantidad de Fallas Ocurridas en el año:

1a) $0 \leq F \leq 1$	
1b) $1 < F \leq 3$	
1c) $F > 3$	16

Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS) en horas en un año:

2a) $MTFS \leq 4$	
2b) $4 < MTFS \leq 8$	
2c) $MTFS > 8$	46,5

Disponibilidad de Repuestos (DR) en un Año:

3a) $DR \geq 80\%$	
3b) $50\% \leq DR < 80\%$	
3c) $DR < 50\%$	44,35

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

4a) $75\% \leq \text{CMP} \leq 100\%$	
4b) $50\% \leq \text{CMP} < 75\%$	
4c) $0\% \leq \text{CMP} < 50\%$	14,28

Confiabilidad (R_t) en un año:

5a) $R_t \geq 90\%$	
5b) $75\% \leq R_t < 90\%$	
5c) $50\% \leq R_t < 75\%$	72,61

Tipo de Conexión:

6a) Sistema Paralelo	
6b) Combinación	X
6c) Sistema Serie	

Costo de Producción en el año:

7a) Igual a la Meta	
7b) Menor a la meta	
7c) Mayor a la Meta	X

Seguridad del personal, equipos y/o ambiente:

8a) Sin Consecuencias	
8b) Efecto Temporal sobre la Seg. y/o Amb.	
8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	X

Tabla 4.22 Matriz de Criticidad, bomba centrífuga BC-002. Área de Mantenimiento

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.						
Equipo: Bomba Centrifuga	Posición Técnica: Equipo Dinámico					
Código: BC-002	Sistema: Bombeo					
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio seleccionado	Puntos
1) Cantidad de Fallas ocurridas en el período a evaluar.	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio Fuera de servicio (MTFS) en horas en el período a evaluar.	2a) $MTFS \leq 4$			1	2c	3
	2b) $4 < MTFS \leq 8$			2		
	2c) $MTFS > 8$			3		
3) Disponibilidad de Repuestos (DR) en el período a evaluar	3a) $DR \geq 80\%$			1	3c	3
	3b) $50\% \leq DR < 80\%$			2		
	3c) $DR < 50\%$			3		
4) Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el período a evaluar.	4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$			1	4c	3
	4b) $50\% \leq CMP < 75\%$			2		
	4c) $0\% \leq CMP < 50\%$			3		
5) Confiabilidad (R_t) en el Período a Evaluar	5a) $R_t \geq 90\%$			1	5c	3
	5b) $75\% \leq R_t < 90\%$			2		
	5c) $50\% \leq R_t < 75\%$			3		
Total puntos obtenidos en el área de mantenimiento						13

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.23 Matriz de Criticidad, Bomba Centrífuga BC-002. Área Operacional

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.				
Equipo: Bomba Centrífuga	Posición Técnica: Equipo Dinámico			
Código: BC-002	Sistema: Bombeo			
ÁREA OPERACIONAL				
Factor a Evaluar	Criterios	Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
6) Tipo de Conexión	6a) Sistema Paralelo	1	6b	2
	6b) Combinación	2		
	6c) Sistema Serie	3		
7) Costo de Producción en el Período a evaluar	7a) Igual a la Meta	1	7c	3
	7b) Menor a la meta	2		
	7c) Mayor a la Meta	3		
8) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	8a) Sin Consecuencias	1	8c	3
	8b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.	2		
	8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	3		
Total puntos obtenidos en el área operacional				8

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.24 Calculo de Criticidad e intervalos de evaluación, Bomba Centrífuga BC-002

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.		
Criticidad del equipo = $[0,0333 (13) + 0,0555 (8)] \times 100$		
Criticidad del equipo = 94,35%		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con X
	Critico (Ponderación Total > 90%)	X
	Semi-Critico ($50 \leq$ Ponderación total $\leq 90\%$)	
	No Critico ($33 \leq$ Ponderación total $< 50\%$)	

Fuente: El autor (2015)

5) Equipo: Filtro

Código: FT-001

- Cantidad de Fallas Ocurridas= 6
- Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS)

MTFS: 99,16Horas

Disponibilidad de Repuestos (DR)

Cantidad Satisfecha: 50

Cantidad Demandada: 78

DR: 64,10%

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

ODT Ejecutadas: 3

ODT Emitidas: 5

CMP: 0%

Confiabilidad (R_t):

Número de Fallas: 6

Horas Totales de Operación: 1200

R_t : 88,69

- Tipo de Conexión= Acoplados en serie
 - Costo de Producción en el año= Menor a la meta
 - Seguridad del personal, equipos y/o ambiente= Efecto Temporal sobre la Seguridad y/o Ambiente.
- ✓ Hoja de Recolección de Datos para el Análisis de Criticidad

Cantidad de Fallas Ocurridas en el año:

1a) $0 \leq F \leq 1$	
1b) $1 < F \leq 3$	
1c) $F > 3$	6

Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS) en horas en un año:

2a) $MTFS \leq 4$	
2b) $4 < MTFS \leq 8$	
2c) $MTFS > 8$	46,5

Disponibilidad de Repuestos (DR) en un Año:

3a) $DR \geq 80\%$	
3b) $50\% \leq DR < 80\%$	64,10
3c) $DR < 50\%$	

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$	
4b) $50\% \leq CMP < 75\%$	60
4c) $0\% \leq CMP < 50\%$	

Confiabilidad (R_t) en un año:

5a) $R_t \geq 90\%$	
5b) $75\% \leq R_t < 90\%$	88,69
5c) $50\% \leq R_t < 75\%$	

Tipo de Conexión:

6a) Sistema Paralelo	
6b) Combinación	
6c) Sistema Serie	X

Costo de Producción en el año:

7a) Igual a la Meta	
7b) Menor a la meta	X
7c) Mayor a la Meta	

Seguridad del personal, equipos y/o ambiente:

8a) Sin Consecuencias	
8b) Efecto Temporal sobre la Seg. y/o Amb.	X
8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	

Tabla 4.25 Matriz de Criticidad, filtro FT-001. Área de Mantenimiento

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.						
Equipo: Filtro	Posición Técnica: Equipo Dinámico					
Código: FT-001	Sistema: Filtrado					
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio seleccionado	Puntos
1) Cantidad de Fallas ocurridas en el período a evaluar.	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio Fuera de servicio (MTFS) en horas en el período a evaluar.	2a)	$MTFS \leq 4$		1	2c	3
	2b)	$4 < MTFS \leq 8$		2		
	2c)	$MTFS > 8$		3		
3) Disponibilidad de Repuestos (DR) en el período a evaluar	3a)	$DR \geq 80\%$		1	3b	2
	3b)	$50\% \leq DR < 80\%$		2		
	3c)	$DR < 50\%$		3		
4) Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el período a evaluar.	4a)	$75\% \leq CMP \leq 100\%$		1	4b	2
	4b)	$50\% \leq CMP < 75\%$		2		
	4c)	$0\% \leq CMP < 50\%$		3		
5) Confiabilidad (R_t) en el Período a Evaluar	5a)	$R_t \geq 90\%$		1	5b	2
	5b)	$75\% \leq R_t < 90\%$		2		
	5c)	$50\% \leq R_t < 75\%$		3		
Total puntos obtenidos en el área de mantenimiento						12

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.26 Matriz de Criticidad, filtro FT-001. Área Operacional

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.				
Equipo: Filtro	Posición Técnica: Equipo Dinámico			
Código: FT-001	Sistema: Filtrado			
ÁREA OPERACIONAL				
Factor a Evaluar	Criterios	Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
6) Tipo de Conexión	6a) Sistema Paralelo	1	6c	3
	6b) Combinación	2		
	6c) Sistema Serie	3		
7) Costo de Producción en el Período a evaluar	7a) Igual a la Meta	1	7b	2
	7b) Menor a la meta	2		
	7c) Mayor a la Meta	3		
8) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	8a) Sin Consecuencias	1	8b	2
	8b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.	2		
	8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	3		
Total puntos obtenidos en el área operacional				7

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.27 Calculo de Criticidad e intervalos de Evaluación, filtro FT-001

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.		
Criticidad del equipo = $[0,0333 (12) + 0,0555 (7)] \times 100$		
Criticidad del equipo = 78,81%		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con X
	Crítico (Ponderación Total > 90%)	
	Semi-Crítico ($50 \leq$ Ponderación total $\leq 90\%$)	X
	No Crítico ($33 \leq$ Ponderación total < 50%)	

Fuente: El autor (2015)

6) Equipo: Filtro

Código: FT-002

- Cantidad de Fallas Ocurridas= 9
- Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS)

MTFS: 71,83Horas

Disponibilidad de Repuestos (DR)

Cantidad Satisfecha: 15

Cantidad Demandada: 78

DR: 19,23%

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

ODT Ejecutadas: 1

ODT Emitidas: 5

CMP: 0%

Confiabilidad (R_t):

Número de Fallas: 9

Horas Totales de Operación: 1200

R_t : 83,53

- Tipo de Conexión= Acoplados en serie
- Costo de Producción en el año= Mayor a la meta
- Seguridad del personal, equipos y/o ambiente= Efecto Permanente sobre la Seguridad y/o Ambiente.

✓ Hoja de Recolección de Datos para el Análisis de Criticidad

Cantidad de Fallas Ocurridas en el año:

1a) $0 \leq F \leq 1$	
1b) $1 < F \leq 3$	
1c) $F > 3$	9

Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS) en horas en un año:

2a) $MTFS \leq 4$	
2b) $4 < MTFS \leq 8$	
2c) $MTFS > 8$	71,83

Disponibilidad de Repuestos (DR) en un Año:

3a) $DR \geq 80\%$	
3b) $50\% \leq DR < 80\%$	
3c) $DR < 50\%$	19,23

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$	
4b) $50\% \leq CMP < 75\%$	
4c) $0\% \leq CMP < 50\%$	20

Confiabilidad (R_t) en un año:

5a) $R_t \geq 90\%$	
5b) $75\% \leq R_t < 90\%$	83,53
5c) $50\% \leq R_t < 75\%$	

Tipo de Conexión:

6a) Sistema Paralelo	
6b) Combinación	
6c) Sistema Serie	X

Costo de Producción en el año:

7a) Igual a la Meta	
7b) Menor a la meta	
7c) Mayor a la Meta	X

Seguridad del personal, equipos y/o ambiente:

8a) Sin Consecuencias	
8b) Efecto Temporal sobre la Seg. y/o Amb.	
8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	X

Tabla 4.28 Matriz de Criticidad, filtro FT-002. Área de Mantenimiento

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.						
Equipo: Filtro	Posición Técnica: Equipo Dinámico					
Código: FT-002	Sistema: Filtrado					
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio seleccionado	Puntos
1) Cantidad de Fallas ocurridas en el período a evaluar.	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio Fuera de servicio (MTFS) en horas en el período a evaluar.	2a) $MTFS \leq 4$			1	2c	3
	2b) $4 < MTFS \leq 8$			2		
	2c) $MTFS > 8$			3		
3) Disponibilidad de Repuestos (DR) en el período a evaluar	3a) $DR \geq 80\%$			1	3c	3
	3b) $50\% \leq DR < 80\%$			2		
	3c) $DR < 50\%$			3		
4) Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el período a evaluar.	4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$			1	4c	3
	4b) $50\% \leq CMP < 75\%$			2		
	4c) $0\% \leq CMP < 50\%$			3		
5) Confiabilidad (R_t) en el Período a Evaluar	5a) $R_t \geq 90\%$			1	5b	2
	5b) $75\% \leq R_t < 90\%$			2		
	5c) $50\% \leq R_t < 75\%$			3		
Total puntos obtenidos en el área de mantenimiento						14

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.29 Matriz de Criticidad, filtro FT-002. Área operacional

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.				
Equipo: Filtro	Posición Técnica: Equipo Dinámico			
Código: FT-002	Sistema: Filtrado			
ÁREA OPERACIONAL				
Factor a Evaluar	Criterios	Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
6) Tipo de Conexión	6a) Sistema Paralelo	1	6c	3
	6b) Combinación	2		
	6c) Sistema Serie	3		
7) Costo de Producción en el Período a evaluar	7a) Igual a la Meta	1	7bc	3
	7b) Menor a la meta	2		
	7c) Mayor a la Meta	3		
8) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	8a) Sin Consecuencias	1	8c	3
	8b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.	2		
	8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	3		
Total puntos obtenidos en el área operacional				9

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.30 Calculo de Criticidad e Intervalos de Evaluación, filtro FT-002

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.		
Criticidad del equipo = $[0,0333 (14) + 0,0555 (9)] \times 100$		
Criticidad del equipo = 96,57%		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con X
	Critico (Ponderación Total > 90%)	X
	Semi-Critico ($50 \leq$ Ponderación total $\leq 90\%$)	
	No Critico ($33 \leq$ Ponderación total $< 50\%$)	

Fuente: El autor (2015)

7) Equipo: Filtro

Código: FT-003

- Cantidad de Fallas Ocurridas= 67
- Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS)

MTFS: 92,35 Horas

Disponibilidad de Repuestos (DR)

Cantidad Satisfecha: 46

Cantidad Demandada: 82

DR: 56,10%

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

ODT Ejecutadas: 2

ODT Emitidas: 5

CMP: 0%

Confiabilidad (R_t):

Número de Fallas: 7
 Horas Totales de Operación: 1200
 R_t : 86,94

- Tipo de Conexión= Acoplados en serie
- Costo de Producción en el año= Menor a la meta
- Seguridad del personal, equipos y/o ambiente= Efecto Temporal sobre la Seguridad y/o Ambiente.

✓ Hoja de Recolección de Datos para el Análisis de Criticidad

Cantidad de Fallas Ocurridas en el año:

1a) $0 \leq F \leq 1$	
1b) $1 < F \leq 3$	
1c) $F > 3$	7

Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS) en horas en un año:

2a) $MTFS \leq 4$	
2b) $4 < MTFS \leq 8$	
2c) $MTFS > 8$	92,35

Disponibilidad de Repuestos (DR) en un Año:

3a) $DR \geq 80\%$	
3b) $50\% \leq DR < 80\%$	56,10
3c) $DR < 50\%$	

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

4a) $75\% \leq \text{CMP} \leq 100\%$	
4b) $50\% \leq \text{CMP} < 75\%$	
4c) $0\% \leq \text{CMP} < 50\%$	40

Confiabilidad (R_t) en un año:

5a) $R_t \geq 90\%$	
5b) $75\% \leq R_t < 90\%$	86,94
5c) $50\% \leq R_t < 75\%$	

Tipo de Conexión:

6a) Sistema Paralelo	
6b) Combinación	
6c) Sistema Serie	X

Costo de Producción en el año:

7a) Igual a la Meta	
7b) Menor a la meta	X
7c) Mayor a la Meta	

Seguridad del personal, equipos y/o ambiente:

8a) Sin Consecuencias	
8b) Efecto Temporal sobre la Seg. y/o Amb.	X
8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	

Tabla 4.31 Matriz de Criticidad, filtro FT-003 Área de Mantenimiento

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.						
Equipo: Filtro	Posición Técnica: Equipo Dinámico					
Código: FT-003	Sistema: Filtrado					
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio seleccionado	Puntos
1) Cantidad de Fallas ocurridas en el período a evaluar.	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio Fuera de servicio (MTFS) en horas en el período a evaluar.	2a) $MTFS \leq 4$			1	2c	3
	2b) $4 < MTFS \leq 8$			2		
	2c) $MTFS > 8$			3		
3) Disponibilidad de Repuestos (DR) en el período a evaluar	3a) $DR \geq 80\%$			1	3b	2
	3b) $50\% \leq DR < 80\%$			2		
	3c) $DR < 50\%$			3		
4) Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el período a evaluar.	4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$			1	4c	3
	4b) $50\% \leq CMP < 75\%$			2		
	4c) $0\% \leq CMP < 50\%$			3		
5) Confiabilidad (R_t) en el Período a Evaluar	5a) $R_t \geq 90\%$			1	5b	2
	5b) $75\% \leq R_t < 90\%$			2		
	5c) $50\% \leq R_t < 75\%$			3		
Total puntos obtenidos en el área de mantenimiento						13

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.32 Matriz de Criticidad, filtro FT-003. Área Operacional.

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.				
Equipo: Filtro	Posición Técnica: Equipo Estático			
Código: FT-003	Sistema: Bombeo			
ÁREA OPERACIONAL				
Factor a Evaluar	Criterios	Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
6) Tipo de Conexión	6a) Sistema Paralelo	1	6c	3
	6b) Combinación	2		
	6c) Sistema Serie	3		
7) Costo de Producción en el Período a evaluar	7a) Igual a la Meta	1	7b	2
	7b) Menor a la meta	2		
	7c) Mayor a la Meta	3		
8) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	8a) Sin Consecuencias	1	8b	2
	8b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.	2		
	8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	3		
Total puntos obtenidos en el área operacional				7

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.33 Matriz de Criticidad e Intervalos de Evaluación, filtro FT-003

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.		
Criticidad del equipo = $[0,0333 (13) + 0,0555 (7)] \times 100$		
Criticidad del equipo = 82,14%		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con X
	Crítico (Ponderación Total > 90%)	
	Semi-Crítico ($50 \leq$ Ponderación total $\leq 90\%$)	X
	No Crítico ($33 \leq$ Ponderación total < 50%)	

Fuente: El autor (2015)

8) Equipo: Válvula de Compuerta

Código: VC-001

- Cantidad de Fallas Ocurridas= 12
- Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS)

MTFS: 51.54 Horas

Disponibilidad de Repuestos (DR)

Cantidad Satisfecha: 32

Cantidad Demandada: 101

DR: 37.5%

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

ODT Ejecutadas: 3

ODT Emitidas: 8

CMP: 37,5 %

Confiabilidad (R_t):

Número de Fallas: 12
 Horas Totales de Operación: 2300
 R_t : 88,23

- Tipo de Conexión= Entre bridas
- Costo de Producción en el año= Mayor a la meta
- Seguridad del personal, equipos y/o ambiente= Efecto Permanente sobre la Seguridad y/o Ambiente.

✓ Hoja de Recolección de Datos para el Análisis de Criticidad

Cantidad de Fallas Ocurridas en el año:

1a) $0 \leq F \leq 1$	
1b) $1 < F \leq 3$	
1c) $F > 3$	12

Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS) en horas en un año:

2a) $MTFS \leq 4$	
2b) $4 < MTFS \leq 8$	
2c) $MTFS > 8$	51,54

Disponibilidad de Repuestos (DR) en un Año:

3a) $DR \geq 80\%$	
3b) $50\% \leq DR < 80\%$	
3c) $DR < 50\%$	31,68

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

4a) $75\% \leq \text{CMP} \leq 100\%$	
4b) $50\% \leq \text{CMP} < 75\%$	
4c) $0\% \leq \text{CMP} < 50\%$	37,5

Confiabilidad (R_t) en un año:

5a) $R_t \geq 90\%$	
5b) $75\% \leq R_t < 90\%$	88,23
5c) $50\% \leq R_t < 75\%$	

Tipo de Conexión:

6a) Sistema Paralelo	
6b) Combinación	
6c) Sistema Serie	X

Costo de Producción en el año:

7a) Igual a la Meta	
7b) Menor a la meta	
7c) Mayor a la Meta	X

Seguridad del personal, equipos y/o ambiente:

8a) Sin Consecuencias	
8b) Efecto Temporal sobre la Seg. y/o Amb.	
8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	X

Tabla 4.34 Matriz de Criticidad, válvula de compuerta VC-001. Área de Mantenimiento.

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.						
Equipo: Válvula de Compuerta	Posición Técnica: Equipo Estático					
Código: VC-001	Sistema: Bombeo					
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio seleccionado	Puntos
1) Cantidad de Fallas ocurridas en el período a evaluar.	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1c	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio Fuera de servicio (MTFS) en horas en el período a evaluar.	2a) $MTFS \leq 4$			1	2c	3
	2b) $4 < MTFS \leq 8$			2		
	2c) $MTFS > 8$			3		
3) Disponibilidad de Repuestos (DR) en el período a evaluar	3a) $DR \geq 80\%$			1	3c	3
	3b) $50\% \leq DR < 80\%$			2		
	3c) $DR < 50\%$			3		
4) Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el período a evaluar.	4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$			1	4c	3
	4b) $50\% \leq CMP < 75\%$			2		
	4c) $0\% \leq CMP < 50\%$			3		
5) Confiabilidad (R_t) en el Período a Evaluar	5a) $R_t \geq 90\%$			1	5b	2
	5b) $75\% \leq R_t < 90\%$			2		
	5c) $50\% \leq R_t < 75\%$			3		
Total puntos obtenidos en el área de mantenimiento						14

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.35 Matriz de Criticidad, válvula de compuerta VC-001. Área Operacional

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.				
Equipo: Válvula de Compuerta	Posición Técnica: Equipo Estático			
Código: VC-001	Sistema: Bombeo			
ÁREA OPERACIONAL				
Factor a Evaluar	Criterios	Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
6) Tipo de Conexión	6a) Sistema Paralelo	1	6c	3
	6b) Combinación	2		
	6c) Sistema Serie	3		
7) Costo de Producción en el Período a evaluar	7a) Igual a la Meta	1	7c	3
	7b) Menor a la meta	2		
	7c) Mayor a la Meta	3		
8) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	8a) Sin Consecuencias	1	8c	3
	8b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.	2		
	8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	3		
Total puntos obtenidos en el área operacional				9

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.36 Calculo de Criticidad e Intervalos de Evaluación, válvula de compuerta VC-001

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.		
Criticidad del equipo = $[0,0333 (14) + 0,0555 (9)] \times 100$		
Criticidad del equipo = 96,57%		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con X
	Critico (Ponderación Total > 90%)	X
	Semi-Critico ($50 \leq$ Ponderación total $\leq 90\%$)	
	No Critico ($33 \leq$ Ponderación total $< 50\%$)	

Fuente: El autor (2015)

9) Equipo: Válvula de Compuerta

Código: VC-002

- Cantidad de Fallas Ocurridas= 9
- Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS)

MTFS: 68,72 Horas

Disponibilidad de Repuestos (DR)

Cantidad Satisfecha: 57

Cantidad Demandada:101

DR: 56,44%

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

ODT Ejecutadas: 5

ODT Emitidas: 8

CMP: 68,5%

Confiabilidad (R_t):

Numero de Fallas: 9

Horas Totales de Operación: 2300

 R_t : 91,04

- Tipo de Conexión= Entre bridas
- Costo de Producción en el año= Menor a la meta
- Seguridad del personal, equipos y/o ambiente= Efecto Temporal sobre la Seguridad y/o Ambiente.

✓ Hoja de Recolección de Datos para el Análisis de Criticidad

Cantidad de Fallas Ocurridas en el año:

1a) $0 \leq F \leq 1$	
1b) $1 < F \leq 3$	
1c) $F > 3$	9

Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS) en horas en un año:

2a) $MTFS \leq 4$	
2b) $4 < MTFS \leq 8$	
2c) $MTFS > 8$	68,72

Disponibilidad de Repuestos (DR) en un Año:

3a) $DR \geq 80\%$	
3b) $50\% \leq DR < 80\%$	56,44
3c) $DR < 50\%$	

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

4a) $75\% \leq \text{CMP} \leq 100\%$	
4b) $50\% \leq \text{CMP} < 75\%$	62,5
4c) $0\% \leq \text{CMP} < 50\%$	

Confiabilidad (R_t) en un año:

5a) $R_t \geq 90\%$	91,04
5b) $75\% \leq R_t < 90\%$	
5c) $50\% \leq R_t < 75\%$	

Tipo de Conexión:

6a) Sistema Paralelo	
6b) Combinación	
6c) Sistema Serie	X

Costo de Producción en el año:

7a) Igual a la Meta	
7b) Menor a la meta	X
7c) Mayor a la Meta	

Seguridad del personal, equipos y/o ambiente:

8a) Sin Consecuencias	
8b) Efecto Temporal sobre la Seg. y/o Amb.	X
8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	

Tabla 4.37 Matriz de Criticidad, válvula de compuerta VC-002. Área de Mantenimiento

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.						
Equipo: Válvula de Compuerta	Posición Técnica: Equipo Estático					
Código: VC-002	Sistema: Bombeo					
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio seleccionado	Puntos
1) Cantidad de Fallas ocurridas en el período a evaluar.	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio Fuera de servicio (MTFS) en horas en el período a evaluar.	2a) $MTFS \leq 4$			1	2c	3
	2b) $4 < MTFS \leq 8$			2		
	2c) $MTFS > 8$			3		
3) Disponibilidad de Repuestos (DR) en el período a evaluar	3a) $DR \geq 80\%$			1	3b	2
	3b) $50\% \leq DR < 80\%$			2		
	3c) $DR < 50\%$			3		
4) Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el período a evaluar.	4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$			1	4b	2
	4b) $50\% \leq CMP < 75\%$			2		
	4c) $0\% \leq CMP < 50\%$			3		
5) Confiabilidad (R_t) en el Período a Evaluar	5a) $R_t \geq 90\%$			1	5 ^a	1
	5b) $75\% \leq R_t < 90\%$			2		
	5c) $50\% \leq R_t < 75\%$			3		
Total puntos obtenidos en el área de mantenimiento						11

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.38 Matriz de Criticidad, válvula de compuerta VC-002. Área Operacional

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.				
Equipo: Válvula de Compuerta	Posición Técnica: Equipo Estático			
Código: VC-002	Sistema: Bombeo			
ÁREA OPERACIONAL				
Factor a Evaluar	Criterios	Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
6) Tipo de Conexión	6a) Sistema Paralelo	1	6c	3
	6b) Combinación	2		
	6c) Sistema Serie	3		
7) Costo de Producción en el Período a evaluar	7a) Igual a la Meta	1	7b	2
	7b) Menor a la meta	2		
	7c) Mayor a la Meta	3		
8) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	8a) Sin Consecuencias	1	8b	2
	8b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.	2		
	8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	3		
Total puntos obtenidos en el área operacional				7

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.39 Calculo de Criticidad e Intervalos de Evaluación, válvula de compuerta VC-002

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.		
Criticidad del equipo = $[0,0333 (11) + 0,0555 (7)] \times 100$		
Criticidad del equipo = 75,48 %		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con X
	Crítico (Ponderación Total > 90%)	
	Semi-Crítico ($50 \leq$ Ponderación total $\leq 90\%$)	X
	No Crítico ($33 \leq$ Ponderación total $< 50\%$)	

Fuente: El autor (2015)

10) Equipo: Válvula de Compuerta

Código: VC-003

- Cantidad de Fallas Ocurridas= 8
- Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS)

MTFS: 77,31 Horas

Disponibilidad de Repuestos (DR)

Cantidad Satisfecha: 21

Cantidad Demandada: 51

DR: 41,18%

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

ODT Ejecutadas: 1
ODT Emitidas: 3

CMP: 33,33%

Confiabilidad (R_t):

Número de Fallas: 8
 Horas Totales de Operación: 2300
 R_t : 91,99

- Tipo de Conexión= Entre bridas
- Costo de Producción en el año= Menor a la meta
- Seguridad del personal, equipos y/o ambiente= Efecto Temporal sobre la Seguridad y/o Ambiente.

✓ Hoja de Recolección de Datos para el Análisis de Criticidad

Cantidad de Fallas Ocurridas en el año:

1a) $0 \leq F \leq 1$	
1b) $1 < F \leq 3$	
1c) $F > 3$	8

Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS) en horas en un año:

2a) $MTFS \leq 4$	
2b) $4 < MTFS \leq 8$	
2c) $MTFS > 8$	71,31

Disponibilidad de Repuestos (DR) en un Año:

3a) $DR \geq 80\%$	
3b) $50\% \leq DR < 80\%$	
3c) $DR < 50\%$	41,18

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$	
4b) $50\% \leq CMP < 75\%$	
4c) $0\% \leq CMP < 50\%$	33,33

Confiabilidad (R_t) en un año:

5a) $R_t \geq 90\%$	91.99
5b) $75\% \leq R_t < 90\%$	
5c) $50\% \leq R_t < 75\%$	

Tipo de Conexión:

6a) Sistema Paralelo	
6b) Combinación	
6c) Sistema Serie	X

Costo de Producción en el año:

7a) Igual a la Meta	
7b) Menor a la meta	X
7c) Mayor a la Meta	

Seguridad del personal, equipos y/o ambiente:

8a) Sin Consecuencias	
8b) Efecto Temporal sobre la Seg. y/o Amb.	X
8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	

Tabla 4.40 Matriz de Criticidad, válvula de compuerta VC-003. Área de Mantenimiento

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.							
Equipo: Válvula de Compuerta	Posición Técnica: Equipo Estático						
Código: VC-003	Sistema: Bombeo						
ÁREA DE MANTENIMIENTO							
Factor a evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio seleccionado	Puntos	
1) Cantidad de Fallas ocurridas en el período a evaluar.	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3	
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2			
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3			
2) Tiempo Promedio Fuera de servicio (MTFS) en horas en el período a evaluar.	2a) $MTFS \leq 4$			1	2c	3	
	2b) $4 < MTFS \leq 8$			2			
	2c) $MTFS > 8$			3			
3) Disponibilidad de Repuestos (DR) en el período a evaluar	3a) $DR \geq 80\%$			1	3c	3	
	3b) $50\% \leq DR < 80\%$			2			
	3c) $DR < 50\%$			3			
4) Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el período a evaluar.	4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$			1	4c	3	
	4b) $50\% \leq CMP < 75\%$			2			
	4c) $0\% \leq CMP < 50\%$			3			
5) Confiabilidad (R_t) en el Período a Evaluar	5a) $R_t \geq 90\%$			1	5 ^a	1	
	5b) $75\% \leq R_t < 90\%$			2			
	5c) $50\% \leq R_t < 75\%$			3			
Total puntos obtenidos en el área de mantenimiento						13	

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.41 Matriz de Criticidad, válvula de compuerta VC-003. Área Operacional.

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.				
Equipo: Válvula de Compuerta	Posición Técnica: Equipo Estático			
Código: VC-003	Sistema: Bombeo			
ÁREA OPERACIONAL				
Factor a Evaluar	Criterios	Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
6) Tipo de Conexión	6a) Sistema Paralelo	1	6c	3
	6b) Combinación	2		
	6c) Sistema Serie	3		
7) Costo de Producción en el Período a evaluar	7a) Igual a la Meta	1	7b	2
	7b) Menor a la meta	2		
	7c) Mayor a la Meta	3		
8) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	8a) Sin Consecuencias	1	8b	2
	8b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.	2		
	8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	3		
Total puntos obtenidos en el área operacional				7

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.42 Calculo de Criticidad e intervalo de evaluación, válvula de compuerta VC-003

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.		
Criticidad del equipo = $[0,0333 (13) + 0,0555 (7)] \times 100$		
Criticidad del equipo = 82,14 %		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con X
	Critico (Ponderación Total > 90%)	
	Semi-Critico ($50 \leq$ Ponderación total $\leq 90\%$)	X
	No Critico ($33 \leq$ Ponderación total $\leq 50\%$)	

Fuente: El autor (2015)

11) Equipo: Válvula Antirretorno (Check)

Código: Vck-01

- Cantidad de Fallas Ocurridas= 9
- Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS)

MTFS: 64,33 Horas

Disponibilidad de Repuestos (DR)

Cantidad Satisfecha: 15

Cantidad Demandada: 51

DR: 29,41%

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

ODT Ejecutadas: 1
 ODT Emitidas: 5

CMP: 0%

Confiabilidad (R_t):

Número de Fallas: 9
 Horas Totales de Operación: 1200
 R_t : 83,53

- Tipo de Conexión= Entre bridas
- Costo de Producción en el año= Mayor a la meta
- Seguridad del personal, equipos y/o ambiente= Efecto Permanente sobre la Seguridad y/o Ambiente.

✓ Hoja de Recolección de Datos para el Análisis de Criticidad

Cantidad de Fallas Ocurridas en el año:

1a) $0 \leq F \leq 1$	
1b) $1 < F \leq 3$	
1c) $F > 3$	9

Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS) en horas en un año:

2a) $MTFS \leq 4$	
2b) $4 < MTFS \leq 8$	
2c) $MTFS > 8$	64,33

Disponibilidad de Repuestos (DR) en un Año:

3a) $DR \geq 80\%$	
3b) $50\% \leq DR < 80\%$	
3c) $DR < 50\%$	29,41

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

4a) $75\% \leq \text{CMP} \leq 100\%$	
4b) $50\% \leq \text{CMP} < 75\%$	
4c) $0\% \leq \text{CMP} < 50\%$	20

Confiabilidad (R_t) en un año:

5a) $R_t \geq 90\%$	
5b) $75\% \leq R_t < 90\%$	83,53
5c) $50\% \leq R_t < 75\%$	

Tipo de Conexión:

6a) Sistema Paralelo	
6b) Combinación	
6c) Sistema Serie	X

Costo de Producción en el año:

7a) Igual a la Meta	
7b) Menor a la meta	
7c) Mayor a la Meta	X

Seguridad del personal, equipos y/o ambiente:

8a) Sin Consecuencias	
8b) Efecto Temporal sobre la Seg. y/o Amb.	
8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	X

Tabla 4.43 Matriz de Criticidad, válvula antirretorno (Check) VCK-01. Área mantenimiento

		Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.				
Equipo: Válvula Antirretorno (Check)	Posición Técnica: Equipo Estático					
Código: VCK-01	Sistema: Bombeo					
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a evaluar	Criterios		Ponderación	Criterio seleccionado	Puntos	
1) Cantidad de Fallas ocurridas en el período a evaluar.	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio Fuera de servicio (MTFS) en horas en el período a evaluar.	2a)	$MTFS \leq 4$		1	2c	3
	2b)	$4 < MTFS \leq 8$		2		
	2c)	$MTFS > 8$		3		
3) Disponibilidad de Repuestos (DR) en el período a evaluar	3a)	$DR \geq 80\%$		1	3c	3
	3b)	$50\% \leq DR < 80\%$		2		
	3c)	$DR < 50\%$		3		
4) Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el período a evaluar.	4a)	$75\% \leq CMP \leq 100\%$		1	4c	3
	4b)	$50\% \leq CMP < 75\%$		2		
	4c)	$0\% \leq CMP < 50\%$		3		
5) Confiabilidad (R_t) en el Período a Evaluar	5a)	$R_t \geq 90\%$		1	5b	2
	5b)	$75\% \leq R_t < 90\%$		2		
	5c)	$50\% \leq R_t < 75\%$		3		
Total puntos obtenidos en el área de mantenimiento					14	

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.44 Matriz de Criticidad, válvula antirretorno (Check) VCK-01. Área Operacional.

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.				
Equipo: Válvula Antirretorno (Check)	Posición Técnica: Equipo Estático			
Código: Vck-01	Sistema: Bombeo			
ÁREA OPERACIONAL				
Factor a Evaluar	Criterios	Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
6) Tipo de Conexión	6a) Sistema Paralelo	1	6c	3
	6b) Combinación	2		
	6c) Sistema Serie	3		
7) Costo de Producción en el Período a evaluar	7a) Igual a la Meta	1	7c	3
	7b) Menor a la meta	2		
	7c) Mayor a la Meta	3		
8) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	8a) Sin Consecuencias	1	8c	3
	8b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.	2		
	8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	3		
Total puntos obtenidos en el área operacional				9

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.45 Calculo de Criticidad e intervalos de evaluación, válvula antirretorno (Check) VCK-01

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.		
Criticidad del equipo = $[0,0333 (14) + 0,0555 (9)] \times 100$		
Criticidad del equipo = 96,57 %		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con X
	Crítico (Ponderación Total > 90%)	X
	Semi-Crítico ($50 \leq$ Ponderación total $\leq 90\%$)	
	No Crítico ($33 \leq$ Ponderación total $< 50\%$)	

Fuente: El autor (2015)

12) Equipo: Válvula Antirretorno (Check)

Código: Vck-02

- Cantidad de Fallas Ocurridas= 7
- Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS)
- MTFS: 82,71 Horas

Disponibilidad de Repuestos (DR)

Cantidad Satisfecha: 26

Cantidad Demandada: 51

DR: 50,98%

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

ODT Ejecutadas: 3
 ODT Emitidas: 5

CMP: 0%

Confiabilidad (R_t):

Número de Fallas: 7
 Horas Totales de Operación: 1200

R_t : 86,94

- Tipo de Conexión= Entre bridas
- Costo de Producción en el año= Menor a la meta
- Seguridad del personal, equipos y/o ambiente= Efecto Temporal sobre la Seguridad y/o Ambiente.

✓ Hoja de Recolección de Datos para el Análisis de Criticidad

Cantidad de Fallas Ocurridas en el año:

1a) $0 \leq F \leq 1$	
1b) $1 < F \leq 3$	
1c) $F > 3$	7

Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS) en horas en un año:

2a) $MTFS \leq 4$	
2b) $4 < MTFS \leq 8$	
2c) $MTFS > 8$	82,71

Disponibilidad de Repuestos (DR) en un Año:

3a) $DR \geq 80\%$	
3b) $50\% \leq DR < 80\%$	50,98
3c) $DR < 50\%$	

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

4a) $75\% \leq \text{CMP} \leq 100\%$	
4b) $50\% \leq \text{CMP} < 75\%$	60
4c) $0\% \leq \text{CMP} < 50\%$	

Confiabilidad (R_t) en un año:

5a) $R_t \geq 90\%$	
5b) $75\% \leq R_t < 90\%$	86,94
5c) $50\% \leq R_t < 75\%$	

Tipo de Conexión:

6a) Sistema Paralelo	
6b) Combinación	
6c) Sistema Serie	X

Costo de Producción en el año:

7a) Igual a la Meta	
7b) Menor a la meta	X
7c) Mayor a la Meta	

Seguridad del personal, equipos y/o ambiente:

8a) Sin Consecuencias	
8b) Efecto Temporal sobre la Seg. y/o Amb.	X
8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	

Tabla 4.46 Matriz de Criticidad, válvula antirretorno (Check) VCK-02. Área de Mantenimiento.

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.						
Equipo: Válvula Antirretorno (Check)	Posición Técnica: Equipo Estático					
Código: VCK-02	Sistema: Bombeo					
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio seleccionado	Puntos
1) Cantidad de Fallas ocurridas en el período a evaluar.	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio Fuera de servicio (MTFS) en horas en el período a evaluar.	2a) $MTFS \leq 4$			1	2c	3
	2b) $4 < MTFS \leq 8$			2		
	2c) $MTFS > 8$			3		
3) Disponibilidad de Repuestos (DR) en el período a evaluar	3a) $DR \geq 80\%$			1	3b	2
	3b) $50\% \leq DR < 80\%$			2		
	3c) $DR < 50\%$			3		
4) Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el período a evaluar.	4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$			1	4b	2
	4b) $50\% \leq CMP < 75\%$			2		
	4c) $0\% \leq CMP < 50\%$			3		
5) Confiabilidad (R_t) en el Período a Evaluar	5a) $R_t \geq 90\%$			1	5b	2
	5b) $75\% \leq R_t < 90\%$			2		
	5c) $50\% \leq R_t < 75\%$			3		
Total puntos obtenidos en el área de mantenimiento						12

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.47 Matriz de Criticidad, válvula antirretorno (Check) VCK-02. Área Operacional

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.				
Equipo: Válvula Antirretorno (Check)	Posición Técnica: Equipo Estático			
Código: Vck-02	Sistema: Bombeo			
ÁREA OPERACIONAL				
Factor a Evaluar	Criterios	Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
6) Tipo de Conexión	6a) Sistema Paralelo	1	6c	3
	6b) Combinación	2		
	6c) Sistema Serie	3		
7) Costo de Producción en el Período a evaluar	7a) Igual a la Meta	1	7b	2
	7b) Menor a la meta	2		
	7c) Mayor a la Meta	3		
8) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	8a) Sin Consecuencias	1	8b	2
	8b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.	2		
	8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	3		
Total puntos obtenidos en el área operacional				7

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.48 Calculo de criticidad e intervalos de evaluación, válvula antirretorno (Check) VCK-02

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.		
Criticidad del equipo = $[0,0333 (12) + 0,0555 (7)] \times 100$		
Criticidad del equipo = 78,81 %		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con X
	Critico (Ponderación Total > 90%)	
	Semi-Crítico ($50 \leq$ Ponderación total $\leq 90\%$)	X
	No Crítico ($33 \leq$ Ponderación total $< 50\%$)	

Fuente: El autor (2015)

13) Equipo: Válvula Antirretorno (Check)

Código: Vck-03

- Cantidad de Fallas Ocurridas= 5
- Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS)

MTFS: 120,30 Horas

Disponibilidad de Repuestos (DR)

Cantidad Satisfecha: 15

Cantidad Demandada: 28

DR: 53,57%

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

ODT Ejecutadas: 3
ODT Emitidas: 4

CMP: 5%

Confiabilidad (R_t):

Número de Fallas: 5

Horas Totales de Operación: 1200

R_t : 90,48

- Tipo de Conexión= Entre bridas
- Costo de Producción en el año= Menor a la meta
- Seguridad del personal, equipos y/o ambiente= Efecto Temporal sobre la Seguridad y/o Ambiente.

✓ Hoja de Recolección de Datos para el Análisis de Criticidad

Cantidad de Fallas Ocurridas en el año:

1a) $0 \leq F \leq 1$	
1b) $1 < F \leq 3$	
1c) $F > 3$	5

Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS) en horas en un año:

2a) $MTFS \leq 4$	
2b) $4 < MTFS \leq 8$	
2c) $MTFS > 8$	120,3

Disponibilidad de Repuestos (DR) en un Año:

3a) $DR \geq 80\%$	
3b) $50\% \leq DR < 80\%$	53,57
3c) $DR < 50\%$	

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$	
4b) $50\% \leq CMP < 75\%$	60
4c) $0\% \leq CMP < 50\%$	

Confiabilidad (R_t) en un año:

5a) $R_t \geq 90\%$	90,48
5b) $75\% \leq R_t < 90\%$	
5c) $50\% \leq R_t < 75\%$	

Tipo de Conexión:

6a) Sistema Paralelo	
6b) Combinación	
6c) Sistema Serie	X

Costo de Producción en el año:

7a) Igual a la Meta	
7b) Menor a la meta	X
7c) Mayor a la Meta	

Seguridad del personal, equipos y/o ambiente:

8a) Sin Consecuencias	
8b) Efecto Temporal sobre la Seg. y/o Amb.	X
8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	

Tabla 4.49 Matriz de Criticidad, válvula antirretorno (Check) VCK-03. Área de Mantenimiento

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.						
Equipo: Válvula Antirretorno (Check)	Posición Técnica: Equipo Estático					
Código: VCK-03	Sistema: Bombeo					
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio seleccionado	Puntos
1) Cantidad de Fallas ocurridas en el período a evaluar.	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio Fuera de servicio (MTFS) en horas en el período a evaluar.	2a) $MTFS \leq 4$			1	2c	3
	2b) $4 < MTFS \leq 8$			2		
	2c) $MTFS > 8$			3		
3) Disponibilidad de Repuestos (DR) en el período a evaluar	3a) $DR \geq 80\%$			1	3b	2
	3b) $50\% \leq DR < 80\%$			2		
	3c) $DR < 50\%$			3		
4) Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el período a evaluar.	4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$			1	4b	2
	4b) $50\% \leq CMP < 75\%$			2		
	4c) $0\% \leq CMP < 50\%$			3		
5) Confiabilidad (R_t) en el Período a Evaluar	5a) $R_t \geq 90\%$			1	5 ^a	1
	5b) $75\% \leq R_t < 90\%$			2		
	5c) $50\% \leq R_t < 75\%$			3		
Total puntos obtenidos en el área de mantenimiento						11

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.50 Matriz de criticidad, válvula antirretorno (Check) VCK-03.Área Operacional

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.				
Equipo: Válvula Antirretorno (Check)	Posición Técnica: Equipo Estático			
Código: VCK-03	Sistema: Bombeo			
ÁREA OPERACIONAL				
Factor a Evaluar	Criterios	Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
6) Tipo de Conexión	6a) Sistema Paralelo	1	6c	3
	6b) Combinación	2		
	6c) Sistema Serie	3		
7) Costo de Producción en el Período a evaluar	7a) Igual a la Meta	1	7b	2
	7b) Menor a la meta	2		
	7c) Mayor a la Meta	3		
8) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	8a) Sin Consecuencias	1	8b	2
	8b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.	2		
	8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	3		
Total puntos obtenidos en el área operacional				7

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.51 Calculo de criticidad e intervalos de evaluación, válvula antirretorno VCK-03

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.		
Criticidad del equipo = $[0,0333 (11) + 0,0555 (7)] \times 100$		
Criticidad del equipo = 75,48 %		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con X
	Critico (Ponderación Total > 90%)	
	Semi-Crítico ($50 \leq$ Ponderación total \leq 90%)	X
	No Crítico ($33 \leq$ Ponderación total < 50%)	

Fuente: El autor (2015)

14) Equipo: Motor eléctrico

Código: MEC-001

- Cantidad de Fallas Ocurridas= 11
- Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS)

MTFS: 69,18 Horas

Disponibilidad de Repuestos (DR)

Cantidad Satisfecha: 29

Cantidad Demandada: 93

DR: 31,18%

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

ODT Ejecutadas: 1

ODT Emitidas: 4

CMP: 5%

Confiabilidad (R_t):

Número de Fallas: 11
 Horas Totales de Operación: 3200
 R_t : 92,08

- Tipo de Conexión= Acoplados en serie
- Costo de Producción en el año= Mayor a la meta
- Seguridad del personal, equipos y/o ambiente= Efecto Temporal sobre la Seguridad y/o Ambiente.

✓ Hoja de Recolección de Datos para el Análisis de Criticidad

Cantidad de Fallas Ocurridas en el año:

1a) $0 \leq F \leq 1$	
1b) $1 < F \leq 3$	
1c) $F > 3$	11

Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS) en horas en un año:

2a) $MTFS \leq 4$	
2b) $4 < MTFS \leq 8$	
2c) $MTFS > 8$	120,3

Disponibilidad de Repuestos (DR) en un Año:

3a) $DR \geq 80\%$	
3b) $50\% \leq DR < 80\%$	
3c) $DR < 50\%$	31,18

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

4a) $75\% \leq \text{CMP} \leq 100\%$	
4b) $50\% \leq \text{CMP} < 75\%$	
4c) $0\% \leq \text{CMP} < 50\%$	25

Confiabilidad (R_t) en un año:

5a) $R_t \geq 90\%$	
5b) $75\% \leq R_t < 90\%$	
5c) $50\% \leq R_t < 75\%$	92,08

Tipo de Conexión:

6a) Sistema Paralelo	
6b) Combinación	
6c) Sistema Serie	X

Costo de Producción en el año:

7a) Igual a la Meta	
7b) Menor a la meta	
7c) Mayor a la Meta	X

Seguridad del personal, equipos y/o ambiente:

8a) Sin Consecuencias	
8b) Efecto Temporal sobre la Seg. y/o Amb.	
8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	X

Tabla 4.52 Matriz de criticidad, motor eléctrico MEC-001. Área de Mantenimiento

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.						
Equipo: : Motor eléctrico	Posición Técnica: Equipo Dinámico					
Código: MEC-001	Sistema: Bombeo					
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio seleccionado	Puntos
1) Cantidad de Fallas ocurridas en el período a evaluar.	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio Fuera de servicio (MTFS) en horas en el período a evaluar.	2a) $MTFS \leq 4$			1	2c	3
	2b) $4 < MTFS \leq 8$			2		
	2c) $MTFS > 8$			3		
3) Disponibilidad de Repuestos (DR) en el período a evaluar	3a) $DR \geq 80\%$			1	3c	3
	3b) $50\% \leq DR < 80\%$			2		
	3c) $DR < 50\%$			3		
4) Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el período a evaluar.	4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$			1	4c	3
	4b) $50\% \leq CMP < 75\%$			2		
	4c) $0\% \leq CMP < 50\%$			3		
5) Confiabilidad (R_t) en el Período a Evaluar	5a) $R_t \geq 90\%$			1	5^a	1
	5b) $75\% \leq R_t < 90\%$			2		
	5c) $50\% \leq R_t < 75\%$			3		
Total puntos obtenidos en el área de mantenimiento						13

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.53 Matriz de Criticidad, motor eléctrico MEC-001. Área Operacional

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.				
Equipo: Motor eléctrico	Posición Técnica: Equipo Dinámico			
Código: MEC-001	Sistema: Bombeo			
ÁREA OPERACIONAL				
Factor a Evaluar	Criterios	Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
6) Tipo de Conexión	6a) Sistema Paralelo	1	6c	3
	6b) Combinación	2		
	6c) Sistema Serie	3		
7) Costo de Producción en el Período a evaluar	7a) Igual a la Meta	1	7c	3
	7b) Menor a la meta	2		
	7c) Mayor a la Meta	3		
8) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	8a) Sin Consecuencias	1	8c	3
	8b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.	2		
	8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	3		
Total puntos obtenidos en el área operacional				9

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.54 Matriz de criticidad e intervalos de evaluación, motor eléctrico MEC-001

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.		
Criticidad del equipo = $[0,0333 (11) + 0,0555 (7)] \times 100$		
Criticidad del equipo = 93,24 %		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con X
	Crítico (Ponderación Total > 90%)	X
	Semi-Crítico ($50 \leq$ Ponderación total $\leq 90\%$)	
	No Crítico ($33 \leq$ Ponderación total $< 50\%$)	

Fuente: El autor (2015)

15) Equipo: Motor eléctrico

Código: MEC-002

- Cantidad de Fallas Ocurridas= 8
- Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS)

MTFS: 93,13 Horas

Disponibilidad de Repuestos (DR)

Cantidad Satisfecha: 23

Cantidad Demandada: 46

DR: 50%

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

ODT Ejecutadas: 2

ODT Emitidas: 4

CMP: 0%

Confiabilidad (R_t):

Número de Fallas: 8

Horas Totales de Operación: 3200

R_t : 94,18

- Tipo de Conexión= Acoplados en serie
 - Costo de Producción en el año= Menor a la meta
 - Seguridad del personal, equipos y/o ambiente= Efecto Temporal sobre la Seguridad y/o Ambiente.
- ✓ Hoja de Recolección de Datos para el Análisis de Criticidad

Cantidad de Fallas Ocurridas en el año:

1a) $0 \leq F \leq 1$	
1b) $1 < F \leq 3$	
1c) $F > 3$	8

Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS) en horas en un año:

2a) $MTFS \leq 4$	
2b) $4 < MTFS \leq 8$	
2c) $MTFS > 8$	95,12

Disponibilidad de Repuestos (DR) en un Año:

3a) $DR \geq 80\%$	
3b) $50\% \leq DR < 80\%$	50
3c) $DR < 50\%$	

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$	
4b) $50\% \leq CMP < 75\%$	50
4c) $0\% \leq CMP < 50\%$	

Confiabilidad (R_t) en un año:

5a) $R_t \geq 90\%$	92,08
5b) $75\% \leq R_t < 90\%$	
5c) $50\% \leq R_t < 75\%$	

Tipo de Conexión:

6a) Sistema Paralelo	
6b) Combinación	
6c) Sistema Serie	X

Costo de Producción en el año:

7a) Igual a la Meta	
7b) Menor a la meta	X
7c) Mayor a la Meta	

Seguridad del personal, equipos y/o ambiente:

8a) Sin Consecuencias	
8b) Efecto Temporal sobre la Seg. y/o Amb.	X
8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	

Tabla 4.55 Matriz de Criticidad, motor eléctrico MEC-002. Área de Mantenimiento.

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.						
Equipo: Motor eléctrico	:	Posición Técnica: Equipo Dinámico				
Código: MEC-002		Sistema: Bombeo				
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio seleccionado	Puntos
1) Cantidad de Fallas ocurridas en el período a evaluar.	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio Fuera de servicio (MTFS) en horas en el período a evaluar.	2a) $MTFS \leq 4$			1	2c	3
	2b) $4 < MTFS \leq 8$			2		
	2c) $MTFS > 8$			3		
3) Disponibilidad de Repuestos (DR) en el período a evaluar	3a) $DR \geq 80\%$			1	3b	2
	3b) $50\% \leq DR < 80\%$			2		
	3c) $DR < 50\%$			3		
4) Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el período a evaluar.	4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$			1	4b	2
	4b) $50\% \leq CMP < 75\%$			2		
	4c) $0\% \leq CMP < 50\%$			3		
5) Confiabilidad (R_t) en el Período a Evaluar	5a) $R_t \geq 90\%$			1	5 ^a	1
	5b) $75\% \leq R_t < 90\%$			2		
	5c) $50\% \leq R_t < 75\%$			3		
Total puntos obtenidos en el área de mantenimiento						11

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.56 Matriz de Criticidad, motor eléctrico MEC-002. Área Operacional

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.				
Equipo: Motor eléctrico	Posición Técnica: Equipo Dinámico			
Código: MEC-002	Sistema: Bombeo			
ÁREA OPERACIONAL				
Factor a Evaluar	Criterios	Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
6) Tipo de Conexión	6a) Sistema Paralelo	1	6c	3
	6b) Combinación	2		
	6c) Sistema Serie	3		
7) Costo de Producción en el Período a evaluar	7a) Igual a la Meta	1	7b	2
	7b) Menor a la meta	2		
	7c) Mayor a la Meta	3		
8) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	8a) Sin Consecuencias	1	8b	2
	8b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.	2		
	8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	3		
Total puntos obtenidos en el área operacional				7

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.57 Calculo de criticidad e intervalos de evaluación, motor eléctrico MEC-002

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.		
Criticidad del equipo = $[0,0333 (11) + 0,0555 (7)] \times 100$		
Criticidad del equipo = 75,48 %		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con X
	Crítico (Ponderación Total > 90%)	
	Semi-Crítico ($50 \leq$ Ponderación total $\leq 90\%$)	X
	No Crítico ($33 \leq$ Ponderación total < 50%)	

Fuente: El autor (2015)

16) Equipo: Motor eléctrico

Código: ME-P-001

- Cantidad de Fallas Ocurridas= 12
- Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS)

MTFS: 61,33 Horas

Disponibilidad de Repuestos (DR)

Cantidad Satisfecha: 49

Cantidad Demandada: 101

DR: 48,51%

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

ODT Ejecutadas: 1

ODT Emitidas: 6

CMP: 6.66%

Confiabilidad (R_t):

Número de Fallas: 12

Horas Totales de Operación: 2100

R_t : 87,18

- Tipo de Conexión= Acoplados en serie
- Costo de Producción en el año= Mayor a la meta
- Seguridad del personal, equipos y/o ambiente= Efecto Permanente sobre la Seguridad y/o Ambiente.

✓ Hoja de Recolección de Datos para el Análisis de Criticidad

Cantidad de Fallas Ocurridas en el año:

1a) $0 \leq F \leq 1$	
1b) $1 < F \leq 3$	
1c) $F > 3$	12

Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS) en horas en un año:

2a) $MTFS \leq 4$	
2b) $4 < MTFS \leq 8$	
2c) $MTFS > 8$	61,33

Disponibilidad de Repuestos (DR) en un Año:

3a) $DR \geq 80\%$	
3b) $50\% \leq DR < 80\%$	
3c) $DR < 50\%$	48,51

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$	
4b) $50\% \leq CMP < 75\%$	
4c) $0\% \leq CMP < 50\%$	16,66

Confiabilidad (R_t) en un año:

5a) $R_t \geq 90\%$	
5b) $75\% \leq R_t < 90\%$	87,18
5c) $50\% \leq R_t < 75\%$	

Tipo de Conexión:

6a) Sistema Paralelo	
6b) Combinación	
6c) Sistema Serie	X

Costo de Producción en el año:

7a) Igual a la Meta	
7b) Menor a la meta	
7c) Mayor a la Meta	X

Seguridad del personal, equipos y/o ambiente:

8a) Sin Consecuencias	
8b) Efecto Temporal sobre la Seg. y/o Amb.	
8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	X

Tabla 4.58 Matriz de criticidad, motor eléctrico ME-P-001. Área de Mantenimiento.

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.						
Equipo: Motor eléctrico	Posición Técnica: Equipo Dinámico					
Código: ME-P-001	Sistema: Bombeo					
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio seleccionado	Puntos
1) Cantidad de Fallas ocurridas en el período a evaluar.	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio Fuera de servicio (MTFS) en horas en el período a evaluar.	2a) $MTFS \leq 4$			1	2c	3
	2b) $4 < MTFS \leq 8$			2		
	2c) $MTFS > 8$			3		
3) Disponibilidad de Repuestos (DR) en el período a evaluar	3a) $DR \geq 80\%$			1	3c	3
	3b) $50\% \leq DR < 80\%$			2		
	3c) $DR < 50\%$			3		
4) Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el período a evaluar.	4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$			1	4c	3
	4b) $50\% \leq CMP < 75\%$			2		
	4c) $0\% \leq CMP < 50\%$			3		
5) Confiabilidad (R_t) en el Período a Evaluar	5a) $R_t \geq 90\%$			1	5b	2
	5b) $75\% \leq R_t < 90\%$			2		
	5c) $50\% \leq R_t < 75\%$			3		
Total puntos obtenidos en el área de mantenimiento						14

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.59 Matriz de criticidad, motor eléctrico ME-P-001. Área Operacional

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.				
Equipo: : Motor eléctrico	Posición Técnica: Equipo Dinámico			
Código: ME-P-001	Sistema: Bombeo			
ÁREA OPERACIONAL				
Factor a Evaluar	Criterios	Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
6) Tipo de Conexión	6a) Sistema Paralelo	1	6c	3
	6b) Combinación	2		
	6c) Sistema Serie	3		
7) Costo de Producción en el Período a evaluar	7a) Igual a la Meta	1	7c	3
	7b) Menor a la meta	2		
	7c) Mayor a la Meta	3		
8) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	8a) Sin Consecuencias	1	8c	3
	8b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.	2		
	8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	3		
Total puntos obtenidos en el área operacional				9

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.60 Calculo de criticidad e intervalos de evaluación, motor eléctrico ME-P-001

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.		
Criticidad del equipo = $[0,0333 (14) + 0,0555 (9)] \times 100$		
Criticidad del equipo = 96,57 %		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con X
	Crítico (Ponderación Total > 90%)	X
	Semi-Crítico ($50 \leq$ Ponderación total $\leq 90\%$)	
	No Crítico ($33 \leq$ Ponderación total $< 50\%$)	

Fuente: El autor (2015)

17) Equipo: Motor eléctrico

Código: ME-P-002

- Cantidad de Fallas Ocurridas= 7
- Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS)

MTFS: 42,86 Horas

Disponibilidad de Repuestos (DR)

Cantidad Satisfecha: 27,63

Cantidad Demandada: 63

DR: 48,51%

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

ODT Ejecutadas: 2

ODT Emitidas: 4

CMP: 0%

Confiabilidad (R_t):

Número de Fallas: 7
 Horas Totales de Operación: 2100
 R_t : 62,31

- Tipo de Conexión= Acoplados en serie
- Costo de Producción en el año= Menor a la meta
- Seguridad del personal, equipos y/o ambiente= Efecto Temporal sobre la Seguridad y/o Ambiente.

✓ Hoja de Recolección de Datos para el Análisis de Criticidad

Cantidad de Fallas Ocurridas en el año:

1a) $0 \leq F \leq 1$	
1b) $1 < F \leq 3$	
1c) $F > 3$	7

Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS) en horas en un año:

2a) $MTFS \leq 4$	
2b) $4 < MTFS \leq 8$	
2c) $MTFS > 8$	97,85

Disponibilidad de Repuestos (DR) en un Año:

3a) $DR \geq 80\%$	
3b) $50\% \leq DR < 80\%$	
3c) $DR < 50\%$	42,85

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

4a) $75\% \leq \text{CMP} \leq 100\%$	
4b) $50\% \leq \text{CMP} < 75\%$	50
4c) $0\% \leq \text{CMP} < 50\%$	

Confiabilidad (R_t) en un año:

5a) $R_t \geq 90\%$	92,31
5b) $75\% \leq R_t < 90\%$	
5c) $50\% \leq R_t < 75\%$	

Tipo de Conexión:

6a) Sistema Paralelo	
6b) Combinación	
6c) Sistema Serie	X

Costo de Producción en el año:

7a) Igual a la Meta	
7b) Menor a la meta	X
7c) Mayor a la Meta	

Seguridad del personal, equipos y/o ambiente:

8a) Sin Consecuencias	
8b) Efecto Temporal sobre la Seg. y/o Amb.	X
8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	

Tabla 4.61 Matriz de criticidad, motor eléctrico ME-P-002. Área de Mantenimiento

 Matriz de Criticidad de Equipos basados en la Metodología D.S.						
Equipo: Motor eléctrico	:	Posición Técnica: Equipo Dinámico				
Código: ME-P-002		Sistema: Bombeo				
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio seleccionado	Puntos
1) Cantidad de Fallas ocurridas en el período a evaluar.	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio Fuera de servicio (MTFS) en horas en el período a evaluar.	2a) $MTFS \leq 4$			1	2c	3
	2b) $4 < MTFS \leq 8$			2		
	2c) $MTFS > 8$			3		
3) Disponibilidad de Repuestos (DR) en el período a evaluar	3a) $DR \geq 80\%$			1	3c	3
	3b) $50\% \leq DR < 80\%$			2		
	3c) $DR < 50\%$			3		
4) Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el período a evaluar.	4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$			1	4b	2
	4b) $50\% \leq CMP < 75\%$			2		
	4c) $0\% \leq CMP < 50\%$			3		
5) Confiabilidad (R_t) en el Período a Evaluar	5a) $R_t \geq 90\%$			1	5^a	1
	5b) $75\% \leq R_t < 90\%$			2		
	5c) $50\% \leq R_t < 75\%$			3		
Total puntos obtenidos en el área de mantenimiento						12

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.62 Matriz de criticidad, motor eléctrico ME-P-002 Área Operacional

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.				
Equipo: Motor eléctrico	Posición Técnica: Equipo Dinámico			
Código: ME-P-002	Sistema: Bombeo			
ÁREA OPERACIONAL				
Factor a Evaluar	Criterios	Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
6) Tipo de Conexión	6a) Sistema Paralelo	1	6c	3
	6b) Combinación	2		
	6c) Sistema Serie	3		
7) Costo de Producción en el Período a evaluar	7a) Igual a la Meta	1	7b	2
	7b) Menor a la meta	2		
	7c) Mayor a la Meta	3		
8) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	8a) Sin Consecuencias	1	8b	2
	8b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.	2		
	8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	3		
Total puntos obtenidos en el área operacional				7

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.63 Calculo de criticidad e intervalos de evaluación, motor eléctrico ME-P-002

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.		
Criticidad del equipo = $[0,0333 (12) + 0,0555 (7)] \times 100$		
Criticidad del equipo = 78,81 %		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con X
	Crítico (Ponderación Total > 90%)	
	Semi-Crítico ($50 \leq$ Ponderación total $\leq 90\%$)	X
	No Crítico ($33 \leq$ Ponderación total < 50%)	

Fuente: El autor (2015)

18) Equipo: Tanque de almacenamiento

Código: TK-001

- Cantidad de Fallas Ocurridas= 6
- Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS)

MTFS: 27,07 Horas

Disponibilidad de Repuestos (DR)

Cantidad Satisfecha: 37

Cantidad Demandada: 93

DR: 39,78%

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

ODT Ejecutadas: 2

ODT Emitidas: 6

CMP: 3,33%

Confiabilidad (R_t):

Número de Fallas: 6

Horas Totales de Operación: 980

R_t : 72,74

- Tipo de Conexión= Acoplados en serie
- Costo de Producción en el año= Mayor a la meta
- Seguridad del personal, equipos y/o ambiente= Efecto Permanente sobre la Seguridad y/o Ambiente.

✓ Hoja de Recolección de Datos para el Análisis de Criticidad

Cantidad de Fallas Ocurridas en el año:

1a) $0 \leq F \leq 1$	
1b) $1 < F \leq 3$	
1c) $F > 3$	13

Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS) en horas en un año:

2a) $MTFS \leq 4$	
2b) $4 < MTFS \leq 8$	
2c) $MTFS > 8$	27,07

Disponibilidad de Repuestos (DR) en un Año:

3a) $DR \geq 80\%$	
3b) $50\% \leq DR < 80\%$	
3c) $DR < 50\%$	39,58

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$	
4b) $50\% \leq CMP < 75\%$	
4c) $0\% \leq CMP < 50\%$	40

Confiabilidad (R_t) en un año:

5a) $R_t \geq 90\%$	
5b) $75\% \leq R_t < 90\%$	
5c) $50\% \leq R_t < 75\%$	72,74

Tipo de Conexión:

6a) Sistema Paralelo	
6b) Combinación	
6c) Sistema Serie	X

Costo de Producción en el año:

7a) Igual a la Meta	
7b) Menor a la meta	
7c) Mayor a la Meta	X

Seguridad del personal, equipos y/o ambiente:

8a) Sin Consecuencias	
8b) Efecto Temporal sobre la Seg. y/o Amb.	
8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	X

Tabla 4.64 Matriz de criticidad, tanque de almacenamiento TK-001. Área de mantenimiento

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.						
Equipo: : Tanque de Almacenamiento	Posición Técnica: Equipo Dinámico					
Código: TK-001	Sistema: Bombeo					
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio seleccionado	Puntos
1) Cantidad de Fallas ocurridas en el período a evaluar.	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio Fuera de servicio (MTFS) en horas en el período a evaluar.	2a) $MTFS \leq 4$			1	2c	3
	2b) $4 < MTFS \leq 8$			2		
	2c) $MTFS > 8$			3		
3) Disponibilidad de Repuestos (DR) en el período a evaluar	3a) $DR \geq 80\%$			1	3c	3
	3b) $50\% \leq DR < 80\%$			2		
	3c) $DR < 50\%$			3		
4) Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el período a evaluar.	4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$			1	4c	3
	4b) $50\% \leq CMP < 75\%$			2		
	4c) $0\% \leq CMP < 50\%$			3		
5) Confiabilidad (R_t) en el Período a Evaluar	5a) $R_t \geq 90\%$			1	5c	3
	5b) $75\% \leq R_t < 90\%$			2		
	5c) $50\% \leq R_t < 75\%$			3		
Total puntos obtenidos en el área de mantenimiento						15

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.65 Matriz de criticidad, tanque de almacenamiento TK-001. Área Operacional.

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.				
Equipo: : Tanque de Almacenamiento	Posición Técnica: Dinámico	Equipo		
Código: TK-001	Sistema: Bombeo			
ÁREA OPERACIONAL				
Factor a Evaluar	Criterios	Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
6) Tipo de Conexión	6a) Sistema Paralelo	1	6c	3
	6b) Combinación	2		
	6c) Sistema Serie	3		
7) Costo de Producción en el Período a evaluar	7a) Igual a la Meta	1	7c	3
	7b) Menor a la meta	2		
	7c) Mayor a la Meta	3		
8) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	8a) Sin Consecuencias	1	8c	3
	8b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.	2		
	8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	3		
Total puntos obtenidos en el área operacional				9

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.66 Calculo de criticidad e intervalos de evaluación, tanque de almacenamiento TK-001

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.		
Criticidad del equipo = $[0,0333 (15) + 0,0555 (9)] \times 100$		
Criticidad del equipo = 94,35 %		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con X
	Critico (Ponderación Total > 90%)	X
	Semi-Critico ($50 \leq$ Ponderación total $\leq 90\%$)	
	No Critico ($33 \leq$ Ponderación total $< 50\%$)	

Fuente: El autor (2015)

19) Equipo: Tanque de almacenamiento

Código: TK-002

- Cantidad de Fallas Ocurridas= 6
- Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS)

MTFS: 63,16 Horas

Disponibilidad de Repuestos (DR)

Cantidad Satisfecha: 49

Cantidad Demandada: 104

DR: 47,12%

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

ODT Ejecutadas: 1

ODT Emitidas: 5

CMP: 0%

Confiabilidad (R_t):

Numero de Fallas: 6

Horas Totales de Operación: 1200

R_t : 81,87

- Tipo de Conexión= Acoplados en serie
- Costo de Producción en el año= Menor a la meta
- Seguridad del personal, equipos y/o ambiente= Efecto Temporal sobre la Seguridad y/o Ambiente.

✓ Hoja de Recolección de Datos para el Análisis de Criticidad

Cantidad de Fallas Ocurridas en el año:

1a) $0 \leq F \leq 1$	
1b) $1 < F \leq 3$	
1c) $F > 3$	6

Media de Tiempo Fuera de Servicio (MTFS) en horas en un año:

2a) $MTFS \leq 4$	
2b) $4 < MTFS \leq 8$	
2c) $MTFS > 8$	63,16

Disponibilidad de Repuestos (DR) en un Año:

3a) $DR \geq 80\%$	
3b) $50\% \leq DR < 80\%$	
3c) $DR < 50\%$	47,12

Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo (CMP):

4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$	
4b) $50\% \leq CMP < 75\%$	
4c) $0\% \leq CMP < 50\%$	20

Confiabilidad (R_t) en un año:

5a) $R_t \geq 90\%$	
5b) $75\% \leq R_t < 90\%$	
5c) $50\% \leq R_t < 75\%$	81,87

Tipo de Conexión:

6a) Sistema Paralelo	
6b) Combinación	
6c) Sistema Serie	X

Costo de Producción en el año:

7a) Igual a la Meta	
7b) Menor a la meta	X
7c) Mayor a la Meta	

Seguridad del personal, equipos y/o ambiente:

8a) Sin Consecuencias	
8b) Efecto Temporal sobre la Seg. y/o Amb.	X
8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	

Tabla 4.67 Matriz de criticidad, tanque de almacenamiento TK-002. Área de Mantenimiento

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.						
Equipo: : Tanque de Almacenamiento		Posición Técnica: Equipo Dinámico				
Código: TK-002		Sistema: Bombeo				
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio seleccionado	Puntos
1) Cantidad de Fallas ocurridas en el período a evaluar.	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	1	1c	3
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	3		
2) Tiempo Promedio Fuera de servicio (MTFS) en horas en el período a evaluar.	2a) $MTFS \leq 4$			1	2c	3
	2b) $4 < MTFS \leq 8$			2		
	2c) $MTFS > 8$			3		
3) Disponibilidad de Repuestos (DR) en el período a evaluar	3a) $DR \geq 80\%$			1	3c	3
	3b) $50\% \leq DR < 80\%$			2		
	3c) $DR < 50\%$			3		
4) Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el período a evaluar.	4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$			1	4c	3
	4b) $50\% \leq CMP < 75\%$			2		
	4c) $0\% \leq CMP < 50\%$			3		
5) Confiabilidad (R_t) en el Período a Evaluar	5a) $R_t \geq 90\%$			1	5b	2
	5b) $75\% \leq R_t < 90\%$			2		
	5c) $50\% \leq R_t < 75\%$			3		
Total puntos obtenidos en el área de mantenimiento						14

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.68 Matriz de criticidad, tanque de almacenamiento TK-002. Área Operacional

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.				
Equipo: : Tanque de Almacenamiento		Posición Técnica: Equipo Dinámico		
Código: TK-002		Sistema: Bombeo		
ÁREA OPERACIONAL				
Factor a Evaluar	Criterios	Ponderación	Criterio Seleccionado	Puntos
6) Tipo de Conexión	6a) Sistema Paralelo	1	6c	3
	6b) Combinación	2		
	6c) Sistema Serie	3		
7) Costo de Producción en el Período a evaluar	7a) Igual a la Meta	1	7b	2
	7b) Menor a la meta	2		
	7c) Mayor a la Meta	3		
8) Seguridad (seg.) del personal, equipos y/o Ambiente (Amb.)	8a) Sin Consecuencias	1	8b	2
	8b) Efecto temporal sobre la Seg. y/o Amb.	2		
	8c) Efecto Permanente sobre la Seg. y/o Amb.	3		
Total puntos obtenidos en el área operacional				7

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.69 Calculo de criticidad e intervalos de evaluación, tanque de almacenamiento

 Matriz de Criticidad de Equipos basado en la Metodología D.S.		
Criticidad del equipo = $[0,0333 (14) + 0,0555 (7)] \times 100$		
Criticidad del equipo = 85,47 %		
Evaluación Obtenida	Criticidad del Equipo	Seleccionar con X
	Crítico (Ponderación Total > 90%)	
	Semi-Crítico ($50 \leq$ Ponderación total $\leq 90\%$)	X
	No Crítico ($33 \leq$ Ponderación total < 50%)	

Fuente: El autor (2015)

A continuación se presenta en la tabla 4.78 los índices de criticidad de los equipos estudiados en el desarrollo de la presente investigación:

Tabla 4.70 Índices de criticidad de los equipos0

ÍNDICES DE CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE LA UNIDAD DE PLANTA DE AGUA SANTA ROSA, PDVSA GAS ANACO			
Equipo	Código	Índice de Criticidad	Nivel de Criticidad
Bomba Electrosumergible	P-001	78,81	Semi-critico
	P-002	91,02	Critico
Bomba Centrifuga	BC-001	71,04	Semi-critico
	BC-002	94,35	Critico
Filtro	FT-001	78,81	Semi-critico
	FT-002	96,57	Critico
	FT-003	82,14	Semi-critico
Válvula de Compuerta	VC-001	96,57	Critico
	VC-002	75,48	Semi- Critico
	VC-003	82,14	Semi-Critico
Válvula Antirretorno (Check)	VCK-01	96,57	Critico
	VCK-02	78,81	Semi-Critico
	VCK-03	75,48	Semi-Critico
Motor Eléctrico	MEC-001	93,24	Critico
	MEC-002	75,48	Semi-Critico
	ME-P-001	96,57	Critico
	ME-P-002	78,81	Semi-Critico
Tanque de Almacenamiento	TK-001	94,35	Critico
	TK-002	85,47	Semi-Critico

Fuente: El autor (2015)

El análisis de criticidad arrojo un total de ocho (8) equipos críticos cuyo nivel de criticidad supera el 90%, estos equipos serán estudiados en el desarrollo de los

siguientes objetivos. Todo ello, se debe a que en esos equipos y en el resto, se puede apreciar un nivel bajo de disponibilidad de repuestos y a un nivel medio en el cumplimiento de los mantenimientos preventivos asociado a la causa anterior, lo que eleva dichos niveles.

4.3 Análisis de modos y efectos de falla (AMEF) a los equipos críticos de la planta potabilizadora

Una vez determinados los equipos críticos, se le aplicó el Análisis de Modos y Efecto de Fallas, el cual consistió en determinar las funciones, causas y las consecuencias de las fallas. Para el desenvolvimiento de esta etapa se utilizaron técnicas de revisión bibliográfica y entrevistas con el personal (ver tabla 4.71 a 4.77).

Tabla 4.71 Análisis de Modos y Efectos de Fallas en Bomba Electrosumergible

		HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF) PLANTA POTABILIZADORA SANTA ROSA				Código: P-002
						Hoja: 1/1
						Fecha: Julio 2015
Sistema: Bombeo		Modo de Operación: Accionada por motor eléctrico		Realizado Por: ENT	Revisado por: Pedro Orta	Aprobado por: José Blanco
Subsistema:				Firma:	Firma:	Firma:
Equipo: Bomba Electrosumergible						
Función		Falla Funcional		Modo de Falla		Efecto de Falla
1	Transferencia de agua cruda desde bombeo #01 hasta almacenamiento #01	A	No enciende/o se apaga	1	Excesiva o baja carga de voltaje del motor, fuera del rango (440-480v)	Desgaste de los componentes principales de la bomba. Voltajes bajos o no balanceados. Sobre o subdimensionamiento de la bomba. Afecta la producción
		B	Deterioro de los componentes de la bomba por efecto de materiales abrasivos o al tiempo de funcionamiento.	1	Vibraciones de la bomba	Genera fallas en el protector, lo cual puede generar fracturas de los sellos de cerámica, produciendo fugas de aceite. Corrosión de los componentes de la bomba. Afecta la producción

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.72 Análisis de Modos y Efectos de Fallas en Bomba Centrífuga

		HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF) PLANTA POTABILIZADORA SANTA ROSA			Código: BC-002	
					Hoja: 1/2	
Sistema: Bombeo		Modo de Operación:		Realizado Por:	Revisado por:	Aprobado por:
Subsistema:		Accionada por motor eléctrico		ENT	Pedro Orta	José Blanco
Equipo: Bomba Centrífuga		Función		Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de Falla
1	Trasladar el líquido de los tanques de almacenamiento #01 hasta los filtros para el tratamiento y filtrado del agua, y el bombeo #03 cuya función es extraer el agua ya procesada y filtrada de los tanques de almacenamiento #02 para su respectiva distribución hacia el Centro operativo Santa Rosa, campo los pilones y comunidades aledañas	A	No traslada el líquido de los tanques de almacenamiento #01 hasta los filtros para el tratamiento y filtrado del agua, y el bombeo #03 y filtrado del agua, y el bombeo #03	1	Entrada de aire por sello mecánico	Ocasiona pérdida de presión interna Produce burbujas de vapor en el seno del líquido, causada por las variaciones que este experimenta en su presión. Afecta la producción
				2	Obstrucción del impulsor	No bombea, daña el eje de la bomba y el motor acoplado a esta Afecta la producción
				3	Entrada de aire por la tubería	Produce cavitación, pierde presión interna, afecta la producción
		B	Caudal Insuficiente	1	Entrada de aire por la tubería	Ocasiona cavitación, produce pérdida de presión. Afecta la producción
				2	Entrada de aire por sello mecánico	Ocasiona pérdida de presión interna Produce burbujas de vapor en el seno del líquido, causada por las variaciones que este experimenta en su presión. Afecta la producción
				3	Obstrucción del impulsor	No bombea, daña el eje de la bomba y el motor acoplado a esta Afecta la producción

Fuente: El autor (2015)

Continuación Tabla 4.72 Análisis de Modos y Efectos de Fallas en Bomba Centrífuga

		HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF) PLANTA POTABILIZADORA SANTA ROSA			Código: BC-002	
					Hoja: 2/2	
					Fecha: Julio 2015	
Sistema: Bombeo		Modo de Operación:		Realizado Por:	Revisado por:	Aprobado por:
Subsistema:		Accionada por		ENT	Pedro Orta	José Blanco
Equipo: Bomba Centrífuga		motor eléctrico		Firma:	Firma:	Firma:
Función		Falla Funcional		Modo de Falla		Efecto de Falla
2	Bombear a una presión de 45 psi	A	No bombea a la presión que se requiere	1	Giro invertido	No bombea en el sentido correcto, produciendo vibración y ruido, afectando directamente la producción.
				2	Esta dañado el impulsor	No tiene el caudal requerido, ocasiona daños a otros componentes.
				3	Sello mecánico defectuoso	Fugas de fluido y pérdida de presión interna, afecta la producción

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.73 Análisis de Modos y Efecto de Fallas en Válvula de Compuerta

		HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF) PLANTA POTABILIZADORA SANTA ROSA				Código: VC-001
						Hoja: 1/1
						Fecha: Julio 2015
Sistema: Bombeo		Modo de Operación: Manual. Impulsión		Realizado Por:	Revisado por:	Aprobado por:
Subsistema:				ENT	Pedro Orta	José Blanco
Equipo: Válvula de compuerta				Firma:	Firma:	Firma:
Función		Falla Funcional		Modo de Falla	Efecto de Falla	
1	Regular el caudal o en sus efectos restringir el mismo.	A	No regula ni restringe el caudal del liquido	1	Ruptura del disco o compuerta	Paso libre del fluido. Afecta la producción. Reemplazar esta pieza
				2	El pin de acople presenta desgaste	No opera la válvula desde su exterior. Reemplazo de este componente, afecta la producción
				3	Vástago fracturado	No opera la válvula desde su exterior., Reemplazo de este componente, afecta la producción
				4	Ruptura del sello de goma	La válvula no cierra de forma hermética, lo que ocasiona que el fluido pase a través de la misma. Reemplazo de este componente. Afecta la producción

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.74 Análisis de Modos y Efectos de Fallas en Válvula antirretorno (Check)

		HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF) PLANTA POTABILIZADORA SANTA ROSA				Código: Vck-01
						Hoja: 1/1
Sistema: Bombeo		Modo de Operación: Dirección del fluido		Realizado Por:	Revisado por:	Aprobado por:
Subsistema:				ENT	Pedro Orta	José Blanco
Equipo: Válvula antirretorno (Check)				Firma:	Firma:	Firma:
Función		Falla Funcional		Modo de Falla		Efecto de Falla
1	Impedir que el flujo de descarga regrese	A	Deja que el flujo de descarga regrese	1	Exceso de sedimento	La válvula no cierra herméticamente, ocasionando el retorno del fluido, genera vibración y ruido. Reemplazo de este componente, afecta la producción
				2	Desgaste en la lengüeta	La válvula no cierra herméticamente, ocasionando el retorno del fluido, también produce el daño a los equipos adyacentes a ella.
				3	El pin de acople está roto	La válvula no cierra o no abre. Reemplazo de este componente, afecta la producción
				4	El área de asiento de la clapeta presenta corrosión	La válvula no cierra herméticamente, ocasionando el retorno del fluido, también produce el daño a los equipos adyacentes a ella. Afecta la producción

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.75 Análisis de Modos y Efectos de Fallas en Motor eléctrico

		HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF) PLANTA POTABILIZADORA SANTA ROSA			Código: MEC-001/ME-P-001
					Hoja: 1/1
Sistema: Bombeo		Modo de Operación:	Realizado Por:	Revisado por:	Aprobado por:
Subsistema:		Accionado por energía eléctrica	ENT	Pedro Orta	José Blanco
Equipo: Motor eléctrico		Firma:	Firma:	Firma:	
Función		Falla Funcional		Modo de Falla	Efecto de Falla
1	Transmitir energía mecánica al eje de la bomba acoplada	A	No transmite energía	1 Eje atascado	Daños a los componentes del motor, es un factor de riesgo para el sistema y el personal que labora en el área. Afecta la producción.
				2 El sistema de protección del motor se activa	El motor se apaga automáticamente. Afecta la producción.
				3 Los rodamientos no están lubricados	Recalentamiento del motor por la fricción de sus elementos y desgaste de los mismos, consume más energía gracias a que el motor es forzado.
		B	No enciende	1 Voltaje bajo	No arranca el motor. Afecta la producción.
				2 Caída de las fases	No arranca el motor. Afecta la producción.
				3 Bobinas quemadas	No arranca el motor. Afecta la producción.

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.76 Análisis de Modos y Efectos de Fallas en Tanque de almacenamiento

		HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF) PLANTA POTABILIZADORA SANTA ROSA				Código: TK-001
						Hoja: 1/1
Sistema: Almacenamiento #01		Modo de Operación:		Realizado Por:	Revisado por:	Aprobado por:
Subsistema:				ENT	Pedro Orta	José Blanco
Equipo: Tanque de Almacenamiento				Firma:	Firma:	Firma:
Función		Falla Funcional		Modo de Falla		Efecto de Falla
1	Almacenamiento de agua cruda	A	Incapaz de almacenar líquidos	1	Las paredes y piso presenta corrosión	Fugas del líquido, afecta calidad del mismo, disminución en la estabilidad del tanque y puede desplomar el tanque
				2	Presenta agujeros en paredes y piso del tanque	Pérdida del líquido, afecta la producción.

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.77 Análisis de Modos y Efectos de Fallas en Filtro

		HOJA DE INFORMACIÓN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF) PLANTA POTABILIZADORA SANTA ROSA			Código: FT-002	
					Hoja: 1/1	
Sistema: Filtrado		Modo de Operación: Filtrado		Realizado Por:	Revisado por:	Aprobado por:
Subsistema:				ENT	Pedro Orta	José Blanco
Equipo: Filtro				Firma:	Firma:	Firma:
Función		Falla Funcional		Modo de Falla		Efecto de Falla
1	Permiten purificar este líquido al pasar por los filtros, este atrapa las partículas que el agua trae, algunos de estos elementos son arena, barro, oxido, polvo, hierro, altas cantidades de cloro y bacterias, entre otros.	A	Incapaz de filtrar el agua	1	No están removiendo el contenido de partículas en su totalidad del liquido	Aumento de flujo ocasionando turbulencia en los filtros. Reemplazo de este componente, afecta la producción
				2	Excesiva turbulencia por un aumento en el flujo de agua, lo que explica que en vez de bajar, aumente la presencia de sólidos suspendidos.	Causando que el carbón activado pierda capacidad de adsorción. Reemplazo de este componente, afecta la producción
		B	Filtro obstruido	1	Disminución del caudal durante el bombeo de agua.	Reemplazo del filtro.

Fuente: El autor (2015)

4.4 Determinación de las tareas y técnicas frecuentes de mantenimiento a los equipos críticos de la planta potabilizadora, realizando un árbol lógico de decisión (ALD)

Para determinar tareas y técnicas frecuentes de mantenimiento a los equipos críticos de la planta potabilizadora, se realizaron a través de la metodología objetivo mediante la filosofía del MCC, elaborando árbol lógico de decisión (ALD), para lo cual es necesario dividir el proceso en dos partes, la primera consta de definir las tareas de mantenimiento para los equipos críticos además de las frecuencias a las que se va a realizar cada actividad, esto se obtiene con la aplicación del Árbol Lógico de Decisión (ALD). Y la segunda parte consiste en elaborar la planificación del mantenimiento en el formato creado para tal fin, con la aplicación del AMEF, y habiendo definido cada uno de los modos de falla que pueden afectar a los equipos, se proceden a contestar las últimas 3 preguntas de la filosofía con el ALD, permitiendo buscar la acción de mantenimiento más adecuado a cada modo falla.

Para el desarrollo de este Diagrama de Decisión propuesto por el MCC, se utilizó el flujograma de preguntas. A fin de asignar las acciones de mantenimiento más adecuadas en base al contexto operacional de los equipos, se recurrió a la revisión de los manuales de los equipos y a reuniones con el Equipo Natural de Trabajo conformado por el personal de experiencia en los equipos. El estudio consistió en realizarle las preguntas a cada modo de falla, siguiendo el flujograma y asentando las respuestas en la Hoja de Decisión propuesta por el MCC, hasta conseguir una acción de mantenimiento determinante y factible.

En este sentido, se presenta a continuación la aplicación de las Hojas de Decisión de los equipos críticos de la planta potabilizadora (tabla 4.78 al 4.84)

Tabla 4.78 Hoja de Decisión Árbol Lógico de Decisiones (ALD) Bomba Electrosumergible

 													HOJA DE DECISIÓN ÁRBOL LÓGICO DE DECISIÓN (ALD) PLANTA POTABILIZADORA SANTA ROSA		Hoja: 1/8 Fecha: Julio 2015	
Sistema: Bombeo							EQUIPO:			Realizado Por:	Revisado por:	Aprobado por:				
Función							Bomba Electrosumergible			ENT	Pedro Orta	José Blanco				
Transferencia de agua cruda desde bombeo #01 hasta almacenamiento #01										Firma:	Firma:	Firma:				
Referencia			Evaluación de Consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas de Mantenimiento Propuestas	Frecuencia		
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4				
1	A	1	N	N	N	S	S						Tarea de RC: Reemplazar los elementos que no cumplen con las especificaciones de diseño	6 meses		
1	B	1	S	N	N	S	S						Tarea de RC: Mantener lubricados los acoples y rodamientos para evitar recalentamiento o sobreesfuerzo de trabajo.	Mensualmente		

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.79 Hoja de Decisión Árbol Lógico de Decisiones (ALD) Bomba Centrífuga

													HOJA DE DECISIÓN ÁRBOL LÓGICO DE DECISIÓN (ALD) PLANTA POTABILIZADORA SANTA ROSA				Hoja: 2/8
Sistema: Bombeo							EQUIPO: Bomba Centrífuga			Realizado Por:		Revisado por:	Aprobado por:				
Función Trasladar el líquido de los tanques de almacenamiento #01 hasta los filtros para el tratamiento y filtrado del agua, y el bombeo #03 cuya función es extraer el agua ya procesada y filtrada de los tanques de almacenamiento #02										ENT		Pedro Orta	José Blanco				
Referencia			Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas “a falta de”			Tareas de Mantenimiento Propuestas	Frecuencia			
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4					
1	A	1	S	N	N	S	S	S					Tarea de RC: Reemplazar sello mecánico en condiciones normales	Anualmente			
													Tarea de RC: Reemplazar sello mecánico en condiciones rudas de trabajo	Frecuentemente			
1	A	2	S	N	N	S	S	S					Tarea Basada en Condición: Una revisión completa del impulsor, por donde va pasar el líquido, cuidando que no exista obstrucciones.	Trimestralmente			
1	A	3	N	N	N	S	S	S					Tarea Basada en Condición: Inspeccionar la tubería para ver donde se encuentra la discontinuidad o anomalía	Semanalmente o cuando se presente pérdida de presión en la bomba			
1	B	1	N	N	N	S	S	S					Tarea Basada en Condición: Probar presión de tubería y eliminar las fugas.	Anualmente			
1	B	2	S	N	N	S	S	S					Tarea de RC: Reemplazar sello mecánico en condiciones normales	Anualmente			
													Tarea de RC: Reemplazar sello mecánico en condiciones rudas de trabajo	Frecuentemente			

Fuente: El autor (2015)

Continuación, Tabla 4.79 Hoja de Decisión Árbol Lógico de Decisiones (ALD) Bomba Centrífuga

 													Hoja: 3/8	
HOJA DE DECISIÓN ÁRBOL LÓGICO DE DECISIÓN (ALD) PLANTA POTABILIZADORA SANTA ROSA													Fecha: Julio 2015	
Sistema: Bombeo							EQUIPO: Bomba Centrífuga			Realizado Por:	Revisado por:	Aprobado por:		
Función Trasladar el líquido de los tanques de almacenamiento #01 hasta los filtros para el tratamiento y filtrado del agua, y el bombeo #03 cuya función es extraer el agua ya procesada y filtrada de los tanques de almacenamiento #02										ENT	Pedro Orta	José Blanco		
Referencia			Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tareas de Mantenimiento Propuestas	Frecuencia
F	FF	FM	H	S	E	O			H4	H5	S4			
1	B	3	S	N	N	S	S	S				Tarea Basada en Condición: Inspeccionar la tubería para ver donde se encuentra la discontinuidad o anomalía Cambiar las condiciones de trabajo de la bomba en la instalación.	Semanalmente o cuando se presente pérdida de presión en la bomba	
2	A	1	S	N	N	S	S	S				Tarea de RC: Cambio de conexiones de motor eléctrico	Semanalmente o cuando se presente pérdida de presión en la bomba	
2	A	2	S	N	N	S	S	S				Tarea de RC: Reemplazar sello mecánico	Semanalmente o cuando se presente pérdida de presión en la bomba	
2	A	3	S	N	N	S	S					Tarea Basada en Condición: Desairar el líquido o evitar su entrada en la bomba	Semanalmente	

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.80 Hoja de Decisión Árbol Lógico de Decisiones (ALD) Válvula de compuerta

										HOJA DE DECISIÓN ÁRBOL LÓGICO DE DECISIÓN (ALD) PLANTA POTABILIZADORA SANTA ROSA				
Sistema: Bombeo							EQUIPO: Válvula de compuerta			Realizado Por: ENT	Revisado por: Pedro Orta	Aprobado por: José Blanco		
Función Regular el caudal o en sus efectos restringir el mismo										Firma:	Firma:	Firma:		
Referencia			Evaluación de Consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas de Mantenimiento Propuestas	Frecuencia
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4		
1	A	1	S	N	N	S	S		S				Ningún Mantenimiento Preventivo: Reemplazar esta pieza	Cada vez que se requiera
1	A	2	S	N	N	S	S		S				Ningún Mantenimiento Preventivo: Reemplazo de este componente	Cada vez que se requiera
1	A	3	S	N	N	S	S		S				Ningún Mantenimiento Preventivo: Reemplazo de este componente	Cada vez que se requiera
1	A	4	S	N	N	S	S		S				Ningún Mantenimiento Preventivo: Reemplazo de este componente	Cada vez que se requiera

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.81 Hoja de Decisión Árbol Lógico de Decisiones (ALD) Válvula Antirretorno (Check)

 													HOJA DE DECISIÓN ÁRBOL LÓGICO DE DECISIÓN (ALD) PLANTA POTABILIZADORA SANTA ROSA		Hoja: 5/8 Fecha: Julio 2015	
Sistema: Bombeo							EQUIPO: Válvula Antirretorno (Check)			Realizado Por:		Revisado por:		Aprobado por:		
Función Impedir que el flujo de descarga regrese										ENT		Pedro Orta		José Blanco		
Referencia			Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas “a falta de”			Tareas de Mantenimiento Propuestas		Frecuencia	
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4				
1	A	1	N	N	N	S	S	S					Verificar si existe acumulación de sedimentos en el asiento de la lengüeta. Ningún Mantenimiento Preventivo: Reemplazar esta pieza	Mensualmente Cada vez que se requiera		
1	A	2	N	N	N	S	S	S					Verificar si la lengüeta presenta mucha corrosión Reemplazar este componente	Mensualmente Mensualmente		
1	A	3	N	N	N	S	S	S					Comprobar las superficies interiores y exteriores de la válvula. Ningún Mantenimiento Preventivo: Reemplazar este componente	Mensualmente Cada vez que se requiera		
1	A	4	S	N	N	S	S	S					Tarea Basada en Condición: Comprobar que el mecanismo de la clapeta funciona correctamente, y que las superficies de cierre están en buen estado. Ningún Mantenimiento Preventivo: Sustituir la válvula en caso necesario.	Mensualmente Cada vez que se requiera		

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.82 Hoja de Decisión Árbol Lógico de Decisiones (ALD) Motor eléctrico

										HOJA DE DECISIÓN ÁRBOL LÓGICO DE DECISIÓN (ALD) PLANTA POTABILIZADORA SANTA ROSA				Hoja: 6/8	
Sistema: Bombeo										EQUIPO: Motor Eléctrico			Realizado Por: ENT	Revisado por: Pedro Orta	Aprobado por: José Blanco
Función Transmitir energía mecánica al eje de la bomba acoplada										Firma:			Firma:	Firma:	
Referencia			Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tareas de Mantenimiento Propuestas	Frecuencia	
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4			
1	A	1	N	S	S	S	S						Tarea Basada en Condición: Inspeccionar elementos internos en busca de características que no cumplan con las especificaciones de diseño	Cada 6 meses	
1	A	2	S	N	N	S	S						Tarea Basada en Condición: Esperar a que se enfríe el dispositivo de sobrecarga o relé y volver a probar a arrancar.	Frecuentemente	
1	A	3	N	N	N	S	S						Tarea de RC: Reemplazar los elementos que no cumplen con las especificaciones de diseño	Cada vez que se requiera	
													Tarea de RC: Mantener el acople y los rodamientos lubricados	Mensualmente	
1	B	1	S	N	N	S	S						Comprobar si las características del motor corresponden a la de la línea de alimentación.	Frecuentemente	
1	B	2	S	N	N	S	S						Parar el motor y probar a arrancar de nuevo. El arranque no podrá realizarse con una sola fase	Frecuentemente	
1	B	3	S	N	N	S	S		S				Tarea Basada en Condición: Localizar la bobina en cortocircuito y reemplazar	Cada vez que se requiera	

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.83 Hoja de Decisión Árbol Lógico de Decisiones (ALD) Tanque de almacenamiento

 													HOJA DE DECISIÓN ÁRBOL LÓGICO DE DECISIÓN (ALD) PLANTA POTABILIZADORA SANTA ROSA		Hoja: 7/8 Fecha: Julio 2015	
Sistema: Bombeo							EQUIPO: Tanque de Almacenamiento			Realizado Por:		Revisado por:		Aprobado por:		
Función Almacenamiento de agua cruda										ENT		Pedro Orta		José Blanco		
										Firma:		Firma:		Firma:		
Referencia			Evaluación de Consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas de Mantenimiento Propuestas		Frecuencia	
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4				
1	A	1	S	N	N	S	S							Tarea de RC: Inspeccionar la parte externa del tanque.	Cada 5 años	
														Tarea de RC: Aplicar revestimiento protector	Cada 6 meses	
1	A	2	S	N	N	S	S							Tarea de RC: Sustituir la parte que presenta agujeros	Frecuentemente	

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.84 Hoja de Decisión Árbol Lógico de Decisiones (ALD) Filtro

 HOJA DE DECISIÓN ÁRBOL LÓGICO DE DECISIÓN (ALD) PLANTA POTABILIZADORA SANTA ROSA 										Hoja: 8/8							
Sistema: Filtrado										Realizado Por: ENT		Revisado por: Pedro Orta		Aprobado por: José Blanco			
Función Permiten purificar este líquido al pasar por los filtros, este atrapa las partículas que el agua trae, algunos de estos elementos son arena, barro, oxido, polvo, hierro, altas cantidades de cloro y bacterias, entre otros.										EQUIPO: Filtro		Firma:		Firma:		Firma:	
Referencia			Evaluación de Consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas de Mantenimiento Propuestas		Frecuencia		
F	FF	FM	H	S	E	O	1	2	3	H4	H5	S4					
1	A	1	S	N	N	S	S		S				Ningún Mantenimiento Preventivo: Reemplazo de este componente		Cada vez que se requiera		
1	A	2	S	N	N	S	S		S				Ningún Mantenimiento Preventivo: Reemplazo de este componente		Cada vez que se requiera		

Fuente: El autor (2015)

4.5 Elaboración de los procedimientos de ejecución de mantenimiento a los equipos de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco

Para la elaboración de los procedimientos de ejecución de mantenimiento a los equipos de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco, se tomaron en cuenta las actividades establecidas en el ALD, las cuales son plasmadas en el formato establecido para la planificación del mantenimiento, especificando el nivel de la actividad, la disciplina que debe ejecutar el mantenimiento, la frecuencia, el tiempo estimada para la elaboración de la actividad, cantidad de trabajadores y el procedimiento de trabajo de referencia que puede usarse para guiarse en el desempeño de la actividad, todo esto, basándose en la Norma Técnica PDVSA-SI-S-20 “Procedimientos de Trabajo”. Por lo tanto, a continuación se presenta la tabla 4.85, donde se refleja la planificación de mantenimiento para los equipos de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco.

Tabla 4.85 Planificación de Mantenimiento Bomba Electrosumergible

		PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA SANTA ROSA PDVSA GAS ANACO					
Equipo: Bomba Electrosumergible		Ubicación :		Elaborado Por: ENT	Revisado Por: Pedro Orta	Aprobado Por: José Orta	Fecha:
Código: P-001 y P-002		Planta potabilizadora de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco		Firma:	Firma:	Firma:	
N°	Actividad	Disciplina Ejecutora	Frecuencia de ejecución	Nivel	Tiempo Estimado	Cantidad de Trabajadores	Instructivo de Mantenimiento de referencia
1	Inspección General del Equipo	Gerencia de mantenimiento	Diariamente	I	15 min	1	PDVSA MM-01-01-01 “Definiciones de Mantenimiento y Confiabilidad”, PDVSA MM-01-01-03 “Niveles de Mantenimiento”, PDVSA MM-02-02-04 “Guía de Actividades Asociadas a los Niveles de Mantenimiento” y PDVSA SI-S-20 “Procedimientos de Trabajo”.
2	Limpieza de áreas adyacentes al equipo	Gerencia de operaciones	Diariamente	I	10 min	1	
3	Inspección del sello mecánico	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	II	2 horas	2	
4	Reemplazar sello mecánico en condiciones de trabajo normales	Gerencia de mantenimiento	Semestralmente	II	2 horas	2	
5	Reemplazar sello mecánico en condiciones de trabajo rudo	Gerencia de mantenimiento	Frecuentemente	II	2 horas	2	
6	Ajustar sello mecánico en caso de fugas	Gerencia de mantenimiento	Frecuentemente	II	1 hora	2	
7	Lubricar los rodamientos	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	II	30 min	1	
8	Mantener lubricados los rodamientos en caso de recalentamiento o sobreesfuerzo de trabajo.	Gerencia de mantenimiento	Frecuentemente	II	2 horas	1	
9	Mantener lubricados los acoples en caso de recalentamiento o sobreesfuerzo de trabajo.	Gerencia de mantenimiento	Frecuentemente	II	10 min	1	
10	Lubricar los acoples	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	II	10 min	1	
11	Reemplazar los elementos que no cumplen con las especificaciones de diseño	Gerencia de mantenimiento	Cada 6 meses	II	1 hora	2	

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.86 Planificación de Mantenimiento Bomba Centrífuga

 PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA SANTA ROSA PDVSA GAS ANACO 							
Equipo: Bomba Centrífuga		Ubicación :		Elaborado Por: ENT	Revisado Por: Pedro Orta	Aprobado Por: José Orta	Fecha:
Código: BC-001 y BC-002		Planta potabilizadora de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco		Firma:	Firma:	Firma:	
Nº	Actividad	Disciplina Ejecutora	Frecuencia de ejecución	Nivel	Tiempo Estimado	Cantidad de Trabajadores	Instructivo de Mantenimiento de referencia
1	Inspección General del Equipo	Gerencia de mantenimiento	Diariamente	I	15 min	1	PDVSA MM-01-01-01 “Definiciones de Mantenimiento y Confiabilidad”, PDVSA MM-01-01-03 “Niveles de Mantenimiento”, PDVSA MM-02-02-04 “Guía de Actividades Asociadas a los Niveles de Mantenimiento” y PDVSA SI-S-20 “Procedimientos de Trabajo”.”
2	Limpieza de áreas adyacentes al equipo	Gerencia de operaciones	Diariamente	I	10 min	1	
3	Inspección del sello mecánico	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	II	2 horas	2	
4	Reemplazar sello mecánico en condiciones de trabajo normales	Gerencia de mantenimiento	Semestralmente	II	2 horas	3	
5	Reemplazar sello mecánico en condiciones de trabajo rudo	Gerencia de mantenimiento	Frecuentemente	II	2 horas	3	
6	Ajustar sello mecánico en caso de fugas	Gerencia de mantenimiento	Frecuentemente	II	1 hora	2	
7	Lubricar los rodamientos	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	II	30 min	1	
8	Control externo y lubricación de cojinetes y rodamientos por aceite y grasa según el tipo.	Gerencia de mantenimiento	Frecuentemente	II	2 horas	3	
9	Mantener lubricados los acoples en caso de recalentamiento o sobreesfuerzo de trabajo.	Gerencia de mantenimiento	Frecuentemente	II	10 min	1	
10	Cambio de grasa de los rodamientos si fueren lubricados por grasa sin desmontaje, expulsando por presión de un engrasador tipo dé pistola toda la grasa antigua.	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	II	30 min	3	

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.87 Planificación de Mantenimiento Válvula de compuerta

		PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA SANTA ROSA PDVSA GAS ANACO						
Equipo: Válvula de compuerta		Ubicación :		Elaborado Por: ENT	Revisado Por: Pedro Orta	Aprobado Por: José Orta	Fecha:	
Código: VC-001, VC-002 y VC-003		Planta potabilizadora de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco		Firma:	Firma:	Firma:		
N°	Actividad	Disciplina Ejecutora	Frecuencia de ejecución	Nivel	Tiempo Estimado	Cantidad de Trabajadores	Instructivo de Mantenimiento de referencia	
1	Realización de inspección completa de las áreas de trabajo y puntos de atención a la válvula,	Gerencia de mantenimiento	Semanalmente	I	10 min	1	PDVSA MM-01-01-01 “Definiciones de Mantenimiento y Confiabilidad”, PDVSA MM-01-01-03 “Niveles de Mantenimiento”, PDVSA MM-02-02-04 “Guía de Actividades Asociadas a los Niveles de Mantenimiento” y PDVSA SI-S-20 “Procedimientos de Trabajo”.	
2	Registrar en formatos de reporte el estado físico de las partes externas, tales como mecanismos actuadores, bridas, tornillería, desfogue y purga, estado físico de tapones y conexiones, protección anticorrosiva, partes faltantes, daños provocados por terceros, condiciones de riesgo visibles, etc.	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	II	1 hora	1		
3	Verificar si la válvula presenta corrosión en la parte externa de la carcasa	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	I	5 min	1		
4	Verificar el contenido de grasa en el vástago	Gerencia de mantenimiento	Semanalmente	II	10 min	1		
5	Evitar exceso de grasa y suciedad en el vástago de la válvula	Gerencia de mantenimiento	Semanalmente	II	10 min	1		
6	Limpieza y revisión de válvula y cabeza de acoplamiento, efectuando el desincrustado y desengrasado de los mismos con medios manuales y/o químicos.	Gerencia de mantenimiento	Trimestralmente	II	15 min	1		

Fuente: El autor (2015)

Continuación, Tabla 4.87 Planificación de Mantenimiento Válvula de compuerta

		PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA SANTA ROSA PDVSA GAS ANACO					
Equipo: Válvula de compuerta		Ubicación :		Elaborado Por: ENT	Revisado Por: Pedro Orta	Aprobado Por: José Orta	Fecha:
Código: VC-001, VC-002, VC-003		Planta potabilizadora de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco		Firma:	Firma:	Firma:	
N°	Actividad	Disciplina Ejecutora	Frecuencia de ejecución	Nivel	Tiempo Estimado	Cantidad de Trabajadores	Instructivo de Mantenimiento de referencia
7	Comprobación de sello interno de la esfera, cuando esta se encuentre en posición cerrada	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	II	30 min	1	PDVSA MM-01-01-01 “Definiciones de Mantenimiento y Confiabilidad”, PDVSA MM-01-01-03 “Niveles de Mantenimiento”, PDVSA MM-02-02-04 “Guía de Actividades Asociadas a los Niveles de Mantenimiento” y PDVSA SI-S-20 “Procedimientos de Trabajo”.
8	Identificación y cuantificación de fuentes de emisiones fugitivas en válvulas	Gerencia de mantenimiento	Trimestralmente		30 min	1	
9	Eliminar fugas o emisiones externas e internas con prueba de hermeticidad, optimizar la seguridad en la operación de la válvula y sus componentes	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	II	1 hora	1	
10	Reemplazar los elementos que no cumplen con las especificaciones de diseño	Gerencia de mantenimiento	Cada 6 meses	II	1 hora	2	

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.88 Planificación de Mantenimiento Válvula Antirretorno (Check)

 PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA SANTA ROSA PDVSA GAS ANACO 							
Equipo: Válvula Antirretorno (Check)		Ubicación :		Elaborado Por: ENT	Revisado Por: Pedro Orta	Aprobado Por: José Orta	Fecha:
Código: VCK-01, VCK-02, VCK-03		Planta potabilizadora de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco		Firma:	Firma:	Firma:	
N°	Actividad	Disciplina Ejecutora	Frecuencia de ejecución	Nivel	Tiempo Estimado	Cantidad de Trabajadores	Instructivo de Mantenimiento de referencia
1	Inspección General del Equipo	Gerencia de mantenimiento	Diariamente	I	15 min	1	PDVSA MM-01-01-01 “Definiciones de Mantenimiento y Confiabilidad”, PDVSA MM-01-01-03 “Niveles de Mantenimiento”, PDVSA MM-02-02-04 “Guía de Actividades Asociadas a los Niveles de Mantenimiento” y PDVSA SI-S-20 “Procedimientos de Trabajo”.
2	Limpieza de áreas adyacentes al equipo	Gerencia de operaciones	Diariamente	I	10 min	1	
3	Cambiar el disco de goma insertada completa de la válvula antirretorno	Gerencia de mantenimiento	-	II	30 min	1	
4	Limpiar el asiento del disco de goma en la válvula antirretorno	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	II	30 min	1	
5	Compruebe que las uniones atornilladas están bien apretadas.	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	II	10 min	1	
6	Verificar si existe acumulación de sedimentos en el asiento de la lengüeta.	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	I	10 min	1	
7	Comprobar que el mecanismo de la clapeta funciona correctamente, y que las superficies de cierre están en buen estado.	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	II	15 min	1	
8	Comprobar las superficies interiores y exteriores de la válvula.	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	II	15 min	1	
9	Verificar si la lengüeta presenta mucha corrosión	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	II	15 min	1	
10	Sustituir la válvula en caso necesario.	Gerencia de mantenimiento	-	II	2 horas	2	

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.89 Planificación de Mantenimiento Motor Eléctrico
PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO
PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA SANTA ROSA
PDVSA GAS ANACO



							
Equipo: Motor Eléctrico		Ubicación :		Elaborado Por: ENT	Revisado Por: Pedro Orta	Aprobado Por: José Orta	Fecha:
Código: MEC-001, MEC-002, ME-P-001 y ME-P-002		Planta potabilizadora de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco		Firma:	Firma:	Firma:	
N°	Actividad	Disciplina Ejecutora	Frecuencia de ejecución	Nivel	Tiempo Estimado	Cantidad de Trabajadores	Instructivo de Mantenimiento de referencia
1	Verificar si el motor presenta ruidos, vibraciones o corrosión en la parte externa de la carcasa mediante observación directa	Gerencia de mantenimiento	Diariamente	I	10 min	1	PDVSA MM-01-01-01 "Definiciones de Mantenimiento y Confiabilidad", PDVSA MM-01-01-03 "Niveles de Mantenimiento", PDVSA MM-02-02-04 "Guía de Actividades Asociadas a los Niveles de Mantenimiento" y PDVSA SI-S-20 "Procedimientos de Trabajo".
2	Confirmar si existe algún objeto extraño en los alrededores del motor	Gerencia de mantenimiento	Diariamente	I	10 min	1	
3	Mantener el acople y los rodamientos lubricados para evitar desgaste y recalentamiento del motor	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	II	20 min	2	
4	Lubricar el motor, con el aceite adecuado, manteniendo el nivel tolerable de lubricante	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	II	5 min	1	
5	Mantener el acople y los rodamientos lubricados	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	II	10 min	2	
6	Esperar a que se enfríe el dispositivo de sobrecarga o relé y volver a probar a arrancar.	Gerencia de mantenimiento	Frecuentemente	II	30 min	1	

Fuente: El autor (2015)

Continuación Tabla 4.89 Planificación de Mantenimiento Motor Eléctrico

 PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA SANTA ROSA PDVSA GAS ANACO 							
Equipo: Motor Eléctrico		Ubicación :		Elaborado Por: ENT	Revisado Por: Pedro Orta	Aprobado Por: José Orta	Fecha:
Código: MEC-001, MEC-002 ME-P-001 y ME-P-002		Planta potabilizadora de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco		Firma:	Firma:	Firma:	
N°	Actividad	Disciplina Ejecutora	Frecuencia de ejecución	Nivel	Tiempo Estimado	Cantidad de Trabajadores	Instructivo de Mantenimiento de referencia
7	Localizar la bobina en cortocircuito y reemplazar	Gerencia de mantenimiento	-	II	15 min	1	PDVSA MM-01-01-01 “Definiciones de Mantenimiento y Confiabilidad”, PDVSA MM-01-01-03 “Niveles de Mantenimiento”, PDVSA MM-02-02-04 “Guía de Actividades Asociadas a los Niveles de Mantenimiento” y PDVSA SI-S-20 “Procedimientos de Trabajo”.
8	Reemplazar los elementos que no cumplen con las especificaciones de diseño	Gerencia de mantenimiento	-	II	1 hora	1	
9	Parar el motor y probar a arrancar de nuevo. El arranque no podrá realizarse con una sola fase	Gerencia de mantenimiento	Frecuentemente	II	1 hora	1	
10	Comprobar si las características del motor corresponden a la de la línea de alimentación.	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	II	1 hora	2	
11	Inspeccionar elementos internos en busca de características que no cumplan con las especificaciones de diseño	Gerencia de mantenimiento	Cada seis meses	II	4 hora	3	

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.90 Planificación de Mantenimiento Tanque de Almacenamiento

 PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA SANTA ROSA PDVSA GAS ANACO 							
Equipo:	Tanque de Almacenamiento	Ubicación :		Elaborado Por: ENT	Revisado Por: Pedro Orta	Aprobado Por: José Orta	Fecha:
Código:	TK-001 y TK-002	Planta potabilizadora de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco		Firma:	Firma:	Firma:	
N°	Actividad	Disciplina Ejecutora	Frecuencia de ejecución	Nivel	Tiempo Estimado	Cantidad de Trabajadores	Instructivo de Mantenimiento de referencia
1	Inspeccionar la parte externa del tanque por parte de un inspector calificado	Gerencia de operaciones	Cada 5 años	I	1 hora	3	PDVSA MM-01-01-01 “Definiciones de Mantenimiento y Confiabilidad”, PDVSA MM-01-01-03 “Niveles de Mantenimiento”, PDVSA MM-02-02-04 “Guía de Actividades Asociadas a los Niveles de Mantenimiento” y PDVSA SI-S-20 “Procedimientos de Trabajo”.
2	Inspección y limpieza interna del tanque	Gerencia de operaciones	Anualmente	II	8 horas	8	
3	Verificar espesor de las láminas del tanque	Gerencia de mantenimiento	Anualmente	II	3 horas	1	
4	Aplicar revestimiento protector	Gerencia de operaciones	Cada 6 meses		2 horas	2	
5	Sustituir la parte que presenta agujeros	Gerencia de mantenimiento	Frecuentemente		3 horas	2	

Fuente: El autor (2015)

Tabla 4.91 Planificación de Mantenimiento Filtro
PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO
PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA SANTA ROSA
PDVSA GAS ANACO

							
Equipo:	Filtro	Ubicación :	Elaborado Por: ENT Revisado Por: Pedro Orta Aprobado Por: José Orta Fecha:				
Código:	FT-001 y FT-002	Planta potabilizadora de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco Firma:	Firma: Firma: Firma:				
N°	Actividad	Disciplina Ejecutora	Frecuencia de ejecución	Nivel	Tiempo Estimado	Cantidad de Trabajadores	Instructivo de Mantenimiento de referencia
1	Inspección y limpieza del componente	Gerencia de mantenimiento	Diariamente	I	1 hora	1	PDVSA MM-01-01-01 “Definiciones de Mantenimiento y Confiabilidad”, PDVSA MM-01-01-03 “Niveles de Mantenimiento”, PDVSA MM-02-02-04 “Guía de Actividades Asociadas a los Niveles de Mantenimiento” y PDVSA SI-S-20 “Procedimientos de Trabajo”.”
2	Medir nivel de agua en la cámara de entrada al filtro.	Gerencia de mantenimiento	Diariamente	II	30 min	1	
3	Lavar el filtro cuando la pérdida de carga sea mayor que el valor esperado al finalizar la carrera de filtración.	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	II	30 min	1	
4	Lavar cámaras de entrada y salida	Gerencia de mantenimiento	Semanalmente	II	30 min	1	
5	Ajustar la velocidad de filtración en los otros filtros	Gerencia de mantenimiento	Cada 3 meses	II	15 min	1	
6	Extraer el material flotante	Gerencia de mantenimiento	Diariamente	II	30 min	1	
7	Drenar el agua sobrenadante	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	II	1 hora	1	
8	Control del flujo	Gerencia de mantenimiento	Mensualmente	II	30 min	1	
9	Monitoreo de la calidad del agua	Gerencia de mantenimiento	Diariamente	I	10 min	1	

Fuente: El autor (2015)

4.5.1 Elaborar los procedimientos de ejecución de mantenimiento

Para complementar las acciones de mantenimiento planificadas, se elaboraron los procedimientos de trabajo a los equipos de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, con todas las posibles actividades para atacar el mantenimiento de los mismos, además de que son un requisito fundamental a la hora de realizar un trabajo en el campo, ya que se debe constar con un documento que refleje las secuencias de trabajo a realizar para llevar a cabo una acción de mantenimiento de cualquier índole.

Para la realización de estos procedimientos se utilizó como base la Norma Técnica PDVSA SI-S-20 “Procedimientos de Trabajo”, la cual explica cómo debe estar formado el documento, además de consultas con el ENT, especialmente con los trabajadores de Mecánica de Alta e instrumentación, consultas de los manuales del fabricante de los equipos y por la experiencia propia del trabajo con los equipos.

En el anexo A, se mostraran los procedimientos de trabajo, todos ensamblados bajo la misma estructura:

- Portada: Muestra un encabezado con el nombre de la empresa, posteriormente una imagen del equipo, además, el código, fecha, área de trabajo y el título.
- Objetivos: explican el fin del procedimiento, indica la actividad que se va a realizar y el equipo, además de una explicación de los que se espera.
- Alcance: especifica a que equipos está orientado el procedimiento, o para cuales equipos se puede usar como referencia el documento.
- Personal involucrado y roles: Muestra quienes y la cantidad de personal que debe realizar la actividad y además, una breve descripción de la función de cada uno.

- Herramientas, equipos y sustancias: especifica los recursos necesarios para poder llevar a cabo la actividad de mantenimiento.
- Secuencia de actividades: señala cuales son los pasos para poder llevar a cada el trabajo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- » El aporte principal de esta investigación fue la descripción de la situación actual de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco. Lo que permitió realizar el diagnóstico preciso de los factores involucrados en la metodología de mantenimiento empleada, arrojando que la mayoría de los equipos se encontraban operativos, pero presentaban malas condiciones, corrosión vibración y ruido, además, del persistente problema de la entrada a las bombas de sedimentos, piedras o algunos otros elementos, lo que ocasionaba frecuentemente fallas en las válvulas de compuerta y válvula antirretorno.

- » A través de la aplicación del análisis de criticidad se logró identificar los equipos críticos de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gs Anaco, obteniendo como resultado ocho (8) equipos en estado crítico. Entre los cuales se encuentran: (a) Bomba Electrosumergible P-002, (b) Bomba Centrifuga BC-002, (c) Filtro FT-002, (d) Válvula de Compuerta VC-001, (e) Válvula Antirretorno-Check Vck-01, (f) Motor eléctrico MEC-001, (g) Motor eléctrico ME-P-001 y (g) Tanque de Almacenamiento TK-001.

- » En la realización del análisis de modos y efectos de falla (AMEF) a los equipos críticos de la planta potabilizadora se logró determinar que para la bomba Electrosumergible existen 1 función, 03 fallas funcionales y un efecto de falla para cada falla funcional. En el caso de la bomba centrifuga, hay dos funciones, dos fallas funcionales para la primera función y una para la segunda, y cada falla

funcional presenta tres modos de falla. Por otra parte, para la válvula de compuerta existe una sola función, una falla funcional y cuatro modos de fallas. La válvula antirretorno (Check) presenta una función, una falla funcional y cuatro modos de fallas. Para el caso de los motores eléctricos, se hallaron una función, dos fallas funcionales y tres modos de fallas por cada falla funcional. El tanque de almacenamiento, muestra una función, una falla funcional y dos modos de falla. Y por último, el filtro presenta una función, una falla funcional y dos modos de falla.

- » En la determinación de las tareas y técnicas frecuentes de mantenimiento a los equipos críticos de la planta potabilizadora, se realizó a cada equipo un árbol lógico de decisión (ALD), de lo cual se logró escoger la actividad de mantenimiento más razonable para cada modo de fallo de los mismos y de acuerdo a su contexto operacional y a la realidad de disponibilidad de repuestos, arrojando un total de dos (2) tareas para la bomba Electrosumergible, once (11) tareas para la bomba centrífuga, cuatro (4) tareas de mantenimiento para la válvula de compuerta, ocho (8) tareas para Válvula Antirretorno (Check), siete (7) tareas propuestas para los motores, tres (3) tareas para los tanques de almacenamiento y dos (2) para los filtros.

- » En la elaboración de los procedimientos de ejecución de mantenimiento a los equipos de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco, se tomaron en cuenta las actividades definidas en el ALD, las cuales están establecidas para la planificación del mantenimiento, todo esto, basándose en la Norma Técnica PDVSA-SI-S-20 “Procedimientos de Trabajo”. Igualmente, con la aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), se obtuvo la elaboración de las propuestas de mantenimiento para los equipos de la planta objeto de estudio, asignando actividades que estén de

acuerdo a la realidad operativa de la planta potabilizadora Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco.

5.2 Recomendaciones

- » Implementar las actividades propuestas para los equipos críticos: (a) Bomba Electrosumergible P-002, (b) Bomba Centrifuga BC-002, (c) Filtro FT-002, (d) Válvula de Compuerta VC-001, (e) Válvula Antirretorno-Check Vck-01, (f) Motor eléctrico MEC-001 y (g) Tanque de Almacenamiento.
- » Aplicar los planes de mantenimiento diseñados y propuestos en este trabajo de grado, para lograr reestablecer la operatividad óptima de los equipos que presentan fallas y están en malas condiciones, y por otra parte mantener el buen estado de los equipos que no están críticos.
- » Elaborar un registro del funcionamiento y fallas de los equipos en el que se incluyan las siguientes variables: cantidad de fallas, tiempo fuera de servicio, disponibilidad de repuestos, cumplimiento del mantenimiento preventivo y confiabilidad de los equipos.
- » Elaborar una evaluación cuantitativa del Análisis de Modos y Efectos de Fallos (AMEF).
- » Programar y llevar a cabo actividades de adiestramiento y capacitación a las personas encargadas del mantenimiento e los equipos de la planta.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Acuña, J. (2003). Ingeniería de Confiabilidad. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Amendola, L. (2006). Gestión de Proyectos de Activos Industriales. Valencia: Editorial de la UPV, Venezuela.

Arias F, (2006). El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica (5ta ed.). Caracas, Venezuela: editorial Episteme.

Baieli, L., Daparo, D., y Preyra, M., (2006). Experiencia de bombas electrosumergible de bajo caudal. Mexico.

Betancourt, E., (2012). Diseño de planes de mantenimiento preventivo a los equipos de bombeo de la sala A del patio de tanques oficina PDVSA-San Tome. Universidad de Oriente (UDO), Anzoátegui, Venezuela.

Brazón, A. (2014). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos dinámicos y estáticos de la planta de agua, PDVSA Gas Anaco. Universidad de Oriente (UDO), Anzoátegui, Venezuela.

Creus A. (2005). Fiabilidad y seguridad (2ª ed.). Cataluña, España.

COVENIN 2634-02. Aguas naturales, industriales y residuales. (2ª ed.).Caracas, Venezuela.

COVENIN 1653-92. Válvulas de compuerta en acero. (2ª ed.).Caracas, Venezuela.

Fidias, A. (2006). El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica (5ª ed.). Caracas, Venezuela: Editorial Epísteme.

Garcia, S. (2009). Ingeniería de mantenimiento. Madrid, España.

Gelviz, F. (2013). Diseño de planes de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) para los tratadores térmicos y calentadores del área operacional Campo Mata de PDVSA Producción Gas Anaco. Universidad de Oriente (UDO), Anzoátegui, Venezuela

Hurtado Federico (2003). Gestión y auditoria de la calidad para las organizaciones públicas. Argentina.

International Standard (1999). “ISO 14224 – Petroleum and natural gas industries, collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment”

Lopez, J. (2003). “Proyectos de ingeniería mecánica”. Mexico.

Meneses, L. (2010). “Propuesta de un sistema de tratamiento para los efluentes de producción generados en el centro operativo morichal de PDVSA”. Trabajo de Grado no publicado, Universidad de Oriente (UDO), Barcelona, Venezuela.

Milano, T (2005). “Planificación y gestión del mantenimiento industrial”. Editorial Panapo de Venezuela, Venezuela.

Mott R. (1996). *Mecánica de los Fluidos Aplicada* (4ta ed.). Atlacomulco, México: Prentice Hall Hispanoamericana.

Moubray, J. (1999). “El RCMII – Reliability Centered Maintenance (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad)”, Aladon LTD, EE.UU.

Moya, F. (2010). “Propuesta de acciones de Mantenimiento Centrado en confiabilidad para equipos rotativos, Caso: Nueva Sección de Destilación de Metanol, Proyecto de Expansión METOR S.A.” Trabajo de Grado no publicado, Universidad de Oriente (UDO), Barcelona, Venezuela.

Ojeda, A. (2009). "Propuesta de estrategias para el mejoramiento del comportamiento de equipos rotativos críticos basado en el mantenimiento en acción". Trabajo de Grado no publicado, Universidad de Oriente (UDO), Barcelona, Venezuela.

PDVSA (1989). “FC-201-PRT – Separador API”. Caracas, Venezuela.

PDVSA (2006). “SI-S-20 – Procedimientos de trabajo”. Caracas, Venezuela.

PDVSA (2008). “MA-01-02-04 – Manejo de aguas de producción”. Caracas, Venezuela.

PDVSA (2010). “MM-01-01-03 – Niveles de mantenimiento”. Caracas, Venezuela.

PDVSA (2010).”MA-01-02-06 – Saneamiento integral de fosas”. Caracas, Venezuela.

PDVSA (2011). "MA-01-02-08 – Inyección subterránea de desechos de las actividades de exploración y producción de hidrocarburos". Caracas, Venezuela.

PDVSA (2013). "MM-01-01-01 – Definiciones de mantenimiento y confiabilidad". Caracas, Venezuela.

Rivas, I. (2009). "Propuesta de elaboración de procedimientos de mantenimiento preventivo al sistema de generación de potencia eléctrica del taladro de perforación pdv-02 de 1000 hp, ubicado en PDVSA distrito-San Tomé". Trabajo de Grado no publicado, Universidad de Oriente (UDO), Barcelona, Venezuela.

Salazar, A. (2010). Evaluación del sistema de tratamiento de la planta de inyección de agua salada (PIAS) del campo Santa Rosa, PDVSA-Gas Anaco. Universidad de Oriente (UDO), Barcelona, Venezuela.

Sampieri, R. (1997). Metodología de la Investigación. Naucalpan de Juárez, México: McGraw Hill Interamericana de México.

Tillero, E. (2009). "Elaboración de un plan de mantenimiento basado en la filosofía actual que más se adapte al taladro de servicios a pozos H-643". Trabajo de Grado no publicado, Universidad de Oriente (UDO), Barcelona, Venezuela.

ANEXOS

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

TÍTULO	PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA FILOSOFÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC) A LA PLANTA POTABILIZADORA DE LA UNIDAD DE PLANTA DE AGUA SANTA ROSA, PDVSA GAS, UBICADA EN ANACO, ESTADO ANZOÁTEGUI
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CVLAC / E MAIL
Rodríguez O., Freddy J.	CVLAC: 18.519.168 E MAIL: Rodriguezfredd@gmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALABRAS O FRASES CLAVES

Plan, Mantenimiento, MCC, Planta, equipos, agua.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Industrial

RESUMEN (ABSTRACT):

El objetivo de esta investigación es diseñar un plan de mantenimiento basado en la filosofía de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) a la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa, PDVSA Gas, ubicada en el estado Anzoátegui, con la finalidad de elaborar los procedimientos de ejecución de mantenimiento a los equipos de la planta potabilizadora de la unidad de planta de agua Santa Rosa. Enmarcada dentro de una investigación del tipo descriptiva con diseño de campo, utilizando como técnica de recolección de datos, la observación directa, entrevistas no estructurada y la revisión bibliográfica. En esta investigación, se describió la situación actual de la planta, identificando los equipos en estado crítico, realizando un análisis de modos y efectos de fallas (AMEF), lo que permitió determinar las tareas y técnicas frecuentes a partir de un ALD. Con este estudio se logró la elaboración de las propuestas de mantenimiento para los equipos, asignando treinta y cinco actividades que estén de acuerdo a la realidad operativa de la planta potabilizadora Santa Rosa, PDVSA Gas Anaco. Recomendando, aplicar los planes de mantenimiento diseñados y propuestos en este trabajo de grado, para lograr reestablecer la operatividad óptima de los equipos que presentan fallas

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Ing. Ledezma, Melchor	ROL	CA	AS X	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Ing. Ibañez, Edwil	ROL	CA	AS	TU X	JU
	CVLAC:	.			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Ing. Iguaro, Fabiola	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
MSc. Bousquet, Juan C.	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2016	11	21
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA FILOSOFÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC) A LA PLANTA POTABILIZADORA DE LA UNIDAD DE PLANTA DE AGUA SANTA ROSA, PDVSA GAS, UBICADA EN ANACO, ESTADO ANZOÁTEGUI.doc	Application/msword

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

ALCANCE:

ESPACIAL Dpto. Mantimento / Planta de agua Santa Rosa (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

Cumaná, 04 AGO 2009

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

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC 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.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR [Firma]
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

[Firma]
JUAN A. BOLAÑOS CUNPEL
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/YGC/marija

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

DERECHOS

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

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

Rodríguez O., Freddy J.

AUTOR

AUTOR

AUTOR

Ing. Ledezma, Melchor

TUTOR

Msc. Bousquet, Juan C.

JURADO

Ing. Iguaro, Fabiola

JURADO

Ing. Valderrama, Rita

POR LA COMISIÓN DE TESIS