

**DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA
EQUIPOS DE TRATAMIENTO DE CRUDO EN CAMPO MORICHE DE
LA EMPRESA MANSAROVAR ENERGY COLOMBIA LTD (MECL).**

ENRY DWIT MANTILLA MÉNDEZ

HENNER JONATTAN ORTIZ REYES

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

BUCARAMANGA

2015

**DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA
EQUIPOS DE TRATAMIENTO DE CRUDO EN CAMPO MORICHE DE
LA EMPRESA MANSAROVAR ENERGY COLOMBIA LTD (MECL).**

ENRY DWIT MANTILLA MÉNDEZ

HENNER JONATTAN ORTIZ REYES

**MONOGRAFÍA DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
ESPECIALISTAS EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

Director del Proyecto:

EDISON ANTONIO CORDOBA MORENO

Msc / Ingeniero de Producción

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

BUCARAMANGA

2015

DEDICATORIA

A DIOS por ser guía en mi vida y permitirme alcanzar esta nueva meta.

A la memoria de José del Carmen, el hombre que me enseñó a valorar todo lo que me rodea, el hombre que aspiro durante toda mi vida emular: mi papá.

A Elsa María quien gracias a su entrega incondicional, dedicación, comprensión, apoyo, sacrificio y sobre todo amor, puedo hoy alcanzar este nuevo triunfo tan importante para mí, gracias, te amo mami.

A Jennifer quien ha sabido llenar mi vida de mucho amor y comprensión y con quien espero compartir toda mi vida: Mi futura Esposa

A Norman, Karin, Milagritos y Gabrielito quienes siempre han estado conmigo, apoyándome y comprendiéndome, los quiero mucho: mis hermanos y sobrinos

A toda mi familia y amigos porque sé que para ellos este triunfo es tan importante como lo es para mí.

Enry Dwit Mantilla Méndez

DEDICATORIA

*A Dios por concederme aun de la vida y permitirme alcanzar un logro
más en la vida,*

*A mi esposa MARIA ISABEL VASQUEZ H. Quien con su amor y
paciencia me brindó su apoyo de manera incondicional en todo
momento.*

A mis padres por sus sabios consejos.

Henner Jonathan Ortiz Reyes

AGRADECIMIENTOS

A Mansarovar Energy Colombia LTD, quienes nos brindaron la oportunidad de poder poner en práctica los conocimientos que adquirimos en la Especialización de Gerencia de Mantenimiento y en investigaciones propias efectuadas.

A los Ingenieros Edison Córdoba y Juan Carlos Orrego por el incansable apoyo, conocimientos y experiencia que nos brindaron para desarrollar el trabajo.

A los docentes de la Especialización de Gerencia de Mantenimiento de la Universidad Industrial de Santander, quienes nos brindaron sus conocimientos y su espíritu investigador con el fin de que pudiéramos contar con los conocimientos necesarios para llevar a cabo el presente trabajo de grado.

A nuestros compañeros de la Especialización, de quienes aprendimos muchas cosas y lograron fomentar en nosotros el espíritu de ser cada día mejores profesionales.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	16
1.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA M.E.C.L	16
1.1.1 Reseña histórica.....	17
1.1.2 Ubicación geográfica.....	17
1.1.3 Misión de la empresa	18
1.1.4 Visión de la empresa.....	19
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	19
1.2.1 Planteamiento del problema	19
1.2.2 Objetivos	24
1.2.3 Justificación.....	25
2. MARCO TEÓRICO	28
2.1 GENERALIDADES Y TIPOS DE MANTENIMIENTO	28
2.1.1 Objetivos del mantenimiento.....	29
2.1.2 Tipos de mantenimiento	29
2.1.3 Gestión de mantenimiento.	30
2.2 CONFIABILIDAD DE EQUIPOS	32
2.3 RCM – MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD.....	35
3. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA	39
3.1 DESHIDRATACIÓN CON FRECUENCIA DUAL	43
3.1.1 Beneficios del sistema de Frecuencia Dual	46
3.2 UNIDAD DE POTENCIA DF Y CONTROLADOR DE RESPUESTA DE CARGA (LRC).	46
3.3 DISTRIBUIDOR DE ENTRADA	51
3.4 COLECTOR DE ACEITE	54
3.5 ENSAMBLE DE REJILLAS ELECTROSTÁTICAS.....	54
3.6 INTERRUPTOR EXTERNO DE BAJO NIVEL	58

3.7	QUEMADORES.....	58
3.8	TUBO DE FUEGO	61
3.9	SISTEMA DE CONTROL DEL QUEMADOR	62
3.10	MANIFOLD DE SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE.....	62
4.	DESARROLLO DEL TRABAJO	63
4.1	GRUPO DE REVISIÓN RCM	63
4.2	FORMULACIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL DEL EQUIPO A TRATAR	65
4.2.1	Objetivos del tratador EHT – 250A	66
4.2.2	Características generales del EHT – 250A.....	67
4.2.3	Flujo del proceso en el tratador EHT – 250A.....	68
4.2.4	Características de seguridad EHT – 250A.....	70
4.3	ÁRBOL DE EQUIPOS Y SUBSISTEMAS ASOCIADOS AL EHT - 250	70
4.4	REVISIÓN DE LOS HISTÓRICOS DE FALLAS DE COMPONENTES ASOCIADOS AL EHT – 250A.....	74
4.5	ELABORACIÓN DEL ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS DE LOS COMPONENTES ASOCIADOS AL EHT – 250A.....	80
4.6	ELABORACIÓN DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD ASOCIADO AL EHT – 250A	93
4.7	ELABORACIÓN DEL ARBOL LOGICO DE DECISIÓN.....	102
4.8	PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL EHT – 250A.....	113
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	130

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Zona de Operación de M.E.C.L	18
Figura 2. Diagrama de Proceso de Tratamiento de Crudo (Moriche) ..	20
Figura 3. Quemador del Tratador EHT	21
Figura 4. Zona electrostática típica del Tratador EHT.....	21
Figura 5. Valores de MTTR en los años 2011, 2012 y 2013.....	22
Figura 6. Diagrama de Flujo del Proceso RCM.....	37
Figura 7. Internos en 3D del Tratador Electrostático – Dual Frequency– Vista I.....	40
Figura 8. Internos en 3D del Tratador Electrostático – Dual Frequency– Vista II.....	41
Figura 9. Tratador Electrostático – Dual Frequency filtro	41
Figura 10. Campos electrostáticos.....	45
Figura 11. Coalescencia en un campo DC	45
Figura 12. Tecnología electrostática de frecuencia dual.....	47
Figura 13. Dispositivo eléctrico del tratador	48
Figura 14. Unidad de Potencia de Frecuencia Dual y Panel LRC II	49
Figura 15. Unidad de Potencia de Frecuencia Dual.....	50
Figura 16. Patrón de flujo del sistema HiFlo I	52

Figura 17. Patrón de flujo del sistema HiFlo II	53
Figura 18. Detalle de la instalación de rejillas	55
Figura 19. Campos electrostáticos en el sistema de electrodos.	56
Figura 20. Quemador del Tratador Electrostático – Sección trasera ...	60
Figura 21. Quemador del Tratador Electrostático– Sección frontal.....	60
Figura 22. Tubos de fuego de un Tratador Electrostático	61
Figura 23. Grupo de Revisión RCM	64
Figura 24. Árbol Lógico de Decisión.....	103

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Distribución por Tipo de Mantenimiento.....	23
Tabla 2. Distribución por Tipo de Mantenimiento Tratamiento de Crudo vs. Benchmarking	25
Tabla 3. Oportunidades de Ahorro de Mantenimiento Proceso Tratamiento de Crudo según Benchmarking	26
Tabla 4. Ahorros potenciales por optimización del plan de mantenimiento del proceso de Tratamiento de Crudo en Campo Moriche	27
Tabla 5. Aporte de herramientas y metodologías de la confiabilidad...	34
Tabla 6. Especificaciones del Tratador Electrostático – Dual Frequency	42
Tabla 7. Árbol de Equipos Tratador EHT – 250A.....	70
Tabla 8. Histórico de Fallas Tratador EHT – 250A.....	76
Tabla 9. Análisis de Modo y Efecto de Fallas Tratador EHT – 250A ...	81
Tabla 10. Parámetros de Frecuencia para análisis de criticidad.....	93
Tabla 11. Ponderación de Consecuencias para análisis de criticidad .	93
Tabla 12. Parámetros de Consecuencia para análisis de criticidad.....	94
Tabla 13. Ponderación para determinar la criticidad.....	96
Tabla 14. Análisis de Criticidad EHT – 250A	97

Tabla 15. Ponderación de Subsistemas de acuerdo al Análisis de Criticidad EHT – 250A	98
Tabla 16. Análisis de Criticidad LAZO CTRL NIVEL INTERFASE.....	99
Tabla 17. Ponderación de Componentes de acuerdo al Análisis de Criticidad del LAZO CTRL NIVEL INTERFASE	100
Tabla 18. Análisis de Criticidad LAZO CTRL NIVEL CRUDO.....	100
Tabla 19. Ponderación de Componentes de acuerdo al Análisis de Criticidad del LAZO CTRL NIVEL CRUDO	101
Tabla 20. Arbol lógico de Decisión RCM II	104
Tabla 21. Árbol lógico de decisión para los lazos críticos del tratador EHT – 250A	106
Tabla 22. Plan de Mantenimiento sin RCM para el tratador EHT-250A	114
Tabla 23. Plan de Mantenimiento con RCM para el tratador EHT-250A	120

RESÚMEN

TITULO: DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA EQUIPOS DE TRATAMIENTO DE CRUDO EN CAMPO MORICHE DE LA EMPRESA MANSAROVAR ENERGY COLOMBIA LTD (M.E.C.L).¹

AUTORES: ENRY DWIT MANTILLA MÉNDEZ

HENNER JHONATTAN ORTIZ REYES ²

PALABRAS CLAVES: Confiabilidad, Tratador Electrostático, RCM, Plan de Mantenimiento.

CONTENIDO:

Se estima que, de la producción actual de petróleo en Colombia, el 45% corresponde a crudos pesados y que para su venta y comercialización es necesario tener la tecnología adecuada a fin de que los costos asociados a la operación y producción no impacten en los indicadores ni afecten la imagen de la empresa.

Para el caso del tratamiento en el Campo Moriche, en el cual el tipo de crudo con que se trabaja es crudo pesado, el equipo utilizado para su procesamiento y alistamiento para venta es llamado Tratador Electrostático, el cual está conformado por un recipiente que se encuentra dividido en dos secciones, la primera llamada zona térmica o de calentamiento y la segunda llamada zona electrostática o coalescencia.

Para garantizar la operación y la disponibilidad del sistema, y ante la necesidad de la empresa Mansarovar Energy Colombia LTD, se ha desarrollado un Plan de Mantenimiento bajo la metodología RCM para los Tratadores Electrostáticos, implementando todas las etapas, logrando identificar las fallas funcionales, sus modos de falla y sus efectos, sus consecuencias y las tareas de mantenimiento que se recomiendan deben ser realizadas.

Finalmente el documento concluye con el listado de actividades a ejecutar con sus respectivas frecuencias, recursos y tiempos de ejecución.

¹ Monografía de grado.

² Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Edison Antonio Córdoba Moreno.

ABSTRACT

TITLE: MAINTENANCE PLAN DESIGN BASED ON RCM FOR OIL TREATMENT EQUIPMENTS PLACED AT MORICHE FIELD OF MANSAROVAR ENERGY COLOMBIA LTD (M.E.C.L)³

AUTHORS: ENRY DWIT MANTILLA MÉNDEZ

HENNER JHONATTAN ORTIZ REYES ⁴

KEYWORDS: Reliability, Electrostatic Treaters, RCM, Maintenance Plan.

ABSTRACT:

It is considered that from the actual oil production of Colombia, 45% of oil corresponds to heavy oils and for its sale and commercialization, it is important to have the adequate technology in order to prevent the associated costs of operation and production to impact the indicators, and trust, affect the company image.

In the case of the Moriche Field oil treatment, in which one type of crude that is worked with is heavy crude, the equipment that is used for its processing and readiness for sale is called electrostatic treater, which is formed by a container that is divided into two sections, the first is called thermal zone or heating and the second is called electrostatic zone or coalescence.

To guarantee the operation and availability of the system, and given the necessity of the company Mansarovar Energy Colombia LTD, a plan of maintenance has been developed under the RCM method for the electrostatic treaters, implementing all of the steps, allowing to identify functional failures, its modes of failure and their effects, it's consequences and the maintenance tasks that are recommended to be executed.

Finally, the document concludes with the listing of activities to be executed with its respected frequencies, resources and times of execution.

³ Monography.

⁴ School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. Director: Ing.: Edison Antonio Córdoba Moreno.

INTRODUCCIÓN

En prácticamente el cien por ciento de las empresas petroleras, las necesidades de optimizar procesos de producción para aumentar los ingresos a partir del crudo, son las que motivan a estructurar distintos tipos de planes y tácticas gerenciales. De unos años para acá, se ha descubierto que el optimizar el proceso de mantenimiento produce grandes mejoras productivas. Muchas estrategias y tácticas de gerencia de mantenimiento existen y cada una se adapta más a las necesidades de quien las desea implementar.

Después de realizarse por parte de Mansarovar Energy Colombia LTD una identificación de equipos críticos sujetos a múltiples fallas y que requerían una inmediata estrategia de mantenimiento, se encontró que en el Campo Moriche los equipos tipo Tratador Electrostático (EHT-250A) requerían una urgente estrategia de mantenimiento. La estrategia que se analizó podría ser la más acertada era la implementación del Mantenimiento basado en Confiabilidad (RCM) para dichos equipos.

Por tanto, la finalidad de la presente monografía es la de estructurar un plan de mantenimiento basado en RCM para poder cumplir satisfactoriamente con las necesidades que actualmente se tienen con respecto a los tratadores electrostáticos que son usados en el Campo Moriche, manejado por Mansarovar Energy Colombia LTD, buscando ampliar la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del mismo, con el fin de tener procesos más eficientes y efectivos para la empresa.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA M.E.C.L

MANSAROVAR ENERGY COLOMBIA LTD, comúnmente llamada M.E.C.L es una empresa formada por la unión de capitales chinos (SINOPEC – Petrolera Estatal China) e indios (ONGC Videsh Ltd) que explora, explota y transporta crudo pesado, en la zona del Magdalena Medio en el área de influencia del municipio de Puerto Boyacá – Colombia, manteniendo relaciones armónicas con el medio ambiente, sus colaboradores, la comunidad y el Gobierno Nacional

M.E.C.L en asociación con Ecopetrol S.A opera y administra los campos Jazmín, Under River, Nare Sur, Girasol, Moriche, Abarco (de la Asociación Nare) y campo Velázquez (único campo petrolero de inversión privada en Colombia)

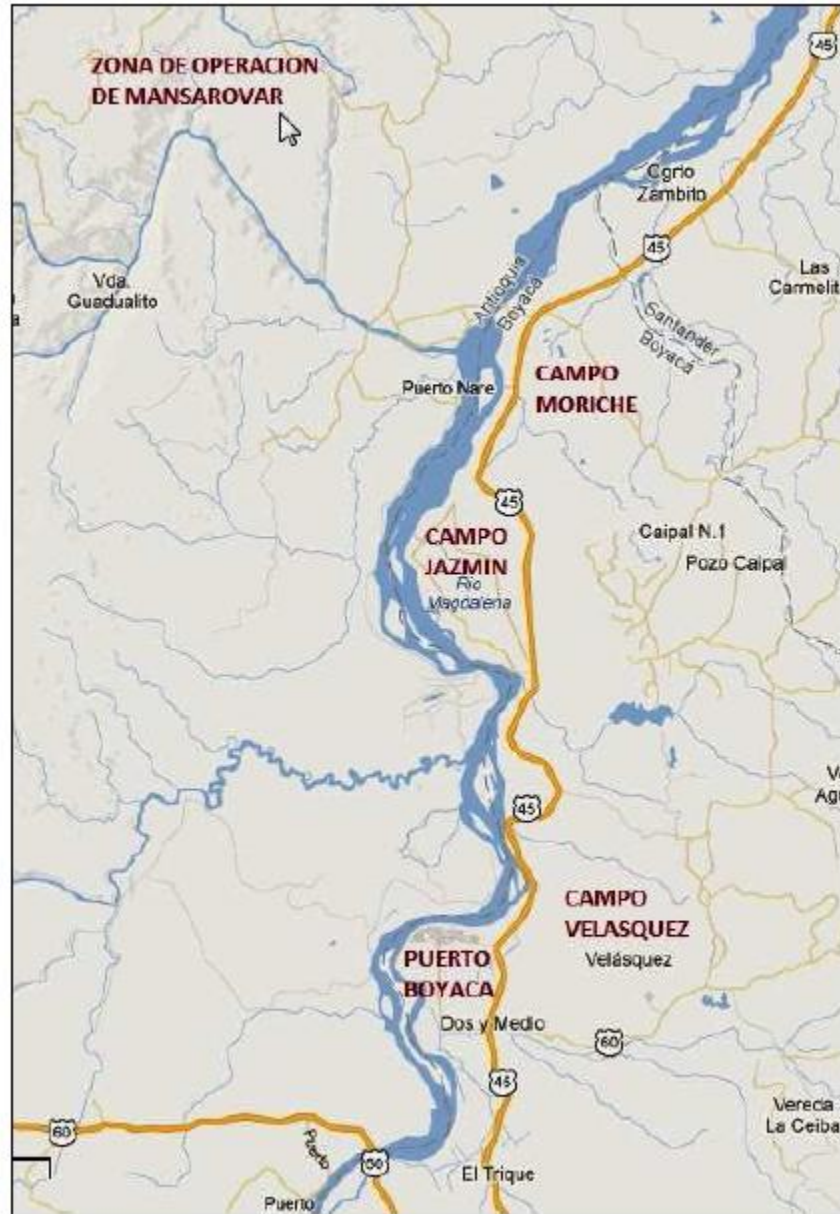
M.E.C.L, en asociación con Ecopetrol S.A. está desempeñando un importante papel en la estrategia del crudo pesado en Colombia debido a:

- Operaciones según los estándares ambientales de clase mundial.
- Examen de reservas de crudo en campos.
- Ensayo y uso de nueva tecnología.
- Inversión de nueva infraestructura y aumento de la categoría de la existente.
- Maximización de la recuperación del crudo pesado.
- Optimización de inversión y costos de producción

1.1.1 Reseña histórica: El origen de la compañía se remonta a la década de 1940 con el descubrimiento y desarrollo del Campo Velázquez (Texas Petroleum Company). Luego en 1994, la compañía petrolera Omimex Resources Inc. (de origen estadounidense) adquirió Campo Velázquez por medio de una licitación internacional. Un año después Omimex de Colombia Ltd adquirió la propiedad del Oleoducto Velázquez – Galán y los derechos de Texaco en los contratos de Asociación Cocorná y Nare suscritos a Ecopetrol. Una década después en la ronda de negocios abierta por Omimex Resources Inc., a finales del 2005 las compañías socios de M.E.C.L deciden emprender sus negocios en Colombia adquiriendo los derechos y propiedades de Omimex, formalizándose así MANSAROVAR ENERGY COLOMBIA LTD., que inicia operaciones en 2006.

1.1.2 Ubicación geográfica: Los campos administrados por M.E.C.L están ubicados a lo largo de la troncal del Magdalena medio (Ruta 45) entre los puntos del “Dos y Medio” y el municipio de Puerto Serviez (2 km antes de los límites de los departamentos de Santander y Boyacá. (Ver Figura 1)

Figura 1. Zona de Operación de M.E.C.L.



Fuente: Página Web Mansarovar

1.1.3 Misión de la empresa: Mansarovar Energy Colombia Limited, es una compañía petrolera, eficiente, viable, productiva y dinámica

que opera por los intereses de sus asociados, dándoles a sus empleados un entorno estimulante.

Mansarovar explora, explota y transporta hidrocarburos, dentro de los estándares internacionales, manteniendo relaciones armónicas con el medio ambiente, sus colaboradores, la comunidad y el Gobierno nacional, propendiendo hacia la generación de riqueza a las diferentes partes y preservando la ética en los negocios y los valores organizacionales.

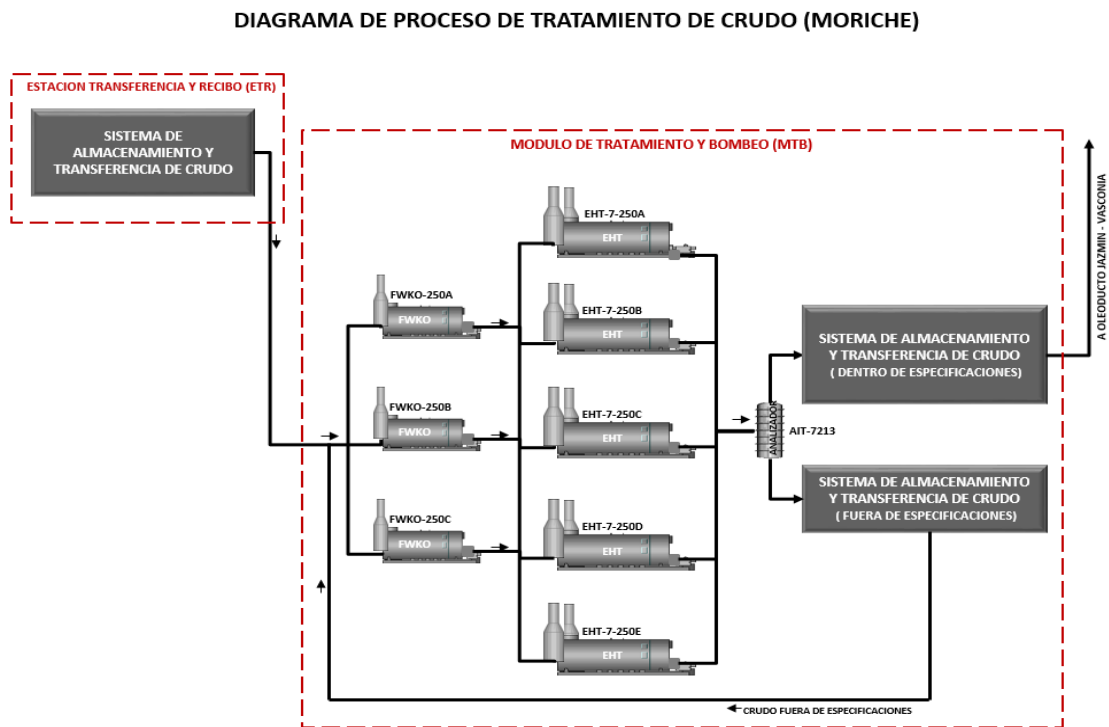
- 1.1.4 Visión de la empresa:** Ser reconocida en Colombia como la compañía líder en la producción de crudos pesados teniendo en producción los yacimientos de hidrocarburos descubiertos, optimizando el recobro de los campos actualmente en producción, y siendo también reconocidos como un aliado estratégico mediante una operación eficiente, rentable y con control total en todos los procesos.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

- 1.2.1 Planteamiento del problema:** Campo Moriche es un campo de la asociación Nare de la compañía petrolera Mansarovar Energy Colombia Ltd. Es un campo cuya producción diaria esta alrededor de los 14000 a 15000 barriles de producción, cuenta con un sistema de tratamiento para tratar alrededor de 22000 bopd el cual está conformado por 5 Tratadores Electroestáticos (EHT) los cuales poseen la capacidad de tratar 4400 bopd max cada uno, bajo

condiciones de Oil Gravity: 12 API, Inlet BS&W: 28 vol% Inlet
Temp: 150 °F (Min). (Ver Figura 2)

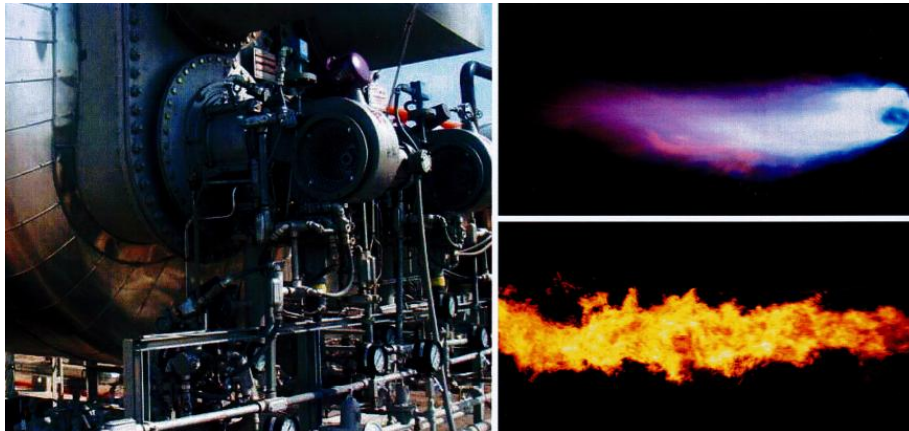
Figura 2. Diagrama de Proceso de Tratamiento de Crudo (Moriche)



Fuente: MANUAL IOM

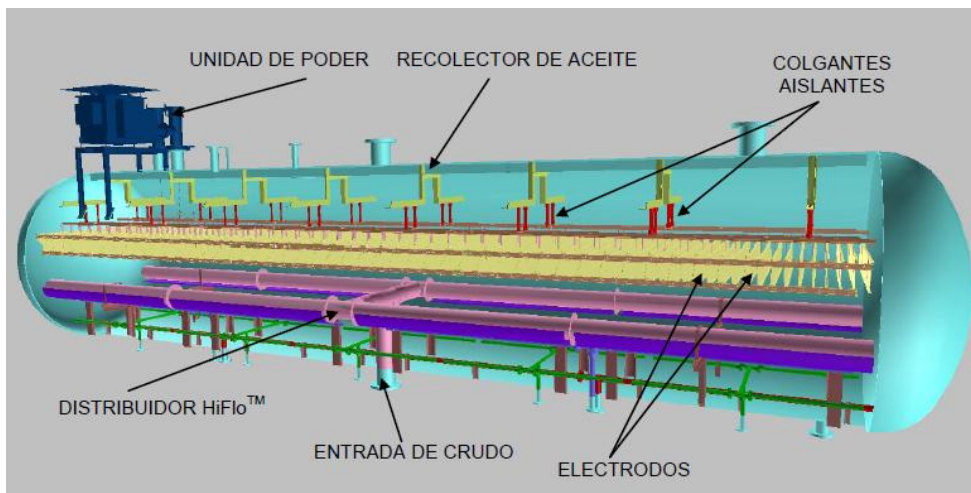
Un tratador electrostático (EHT) está conformado por dos zonas de trabajo: una es la zona de calentamiento (ver Figura 3) y otra es la zona Electrostática (ver Figura 4).

Figura 3. Quemador del Tratador EHT



Fuente: MANUAL IOM

Figura 4. Zona electrostática típica del Tratador EHT



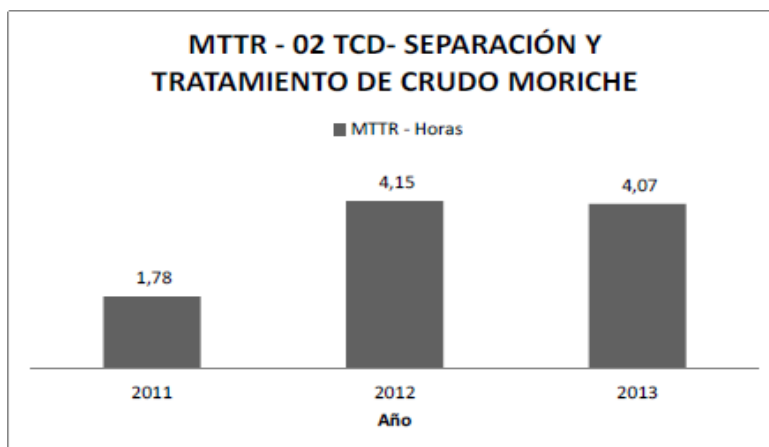
Fuente: MANUAL IOM

Estas zonas están conformados por lazos de control: lazo de control para gas principal, lazo de control para gas piloto, lazo de

control para encendido de quemadores con crudo, lazo para control de nivel de crudo, lazo de control para desarenado y sand jet, lazo para control de nivel de interface, lazo para control de temperatura de proceso, lazo para control de presión de proceso. Los elementos que conforman estos lazos de control son motores eléctricos, quemadores, reguladores de presión, válvulas de control, switch de presión y temperatura, transmisores indicadores de presión y temperatura, válvula de seguridad e indicadores de presión y temperatura, elementos a los cuales les será implementada la metodología RCM.

De acuerdo a un estudio realizado por la empresa contratista Wood Group, los tiempos de atención de eventos relacionados con el proceso de separación y tratamiento de crudo, presentan un desempeño deficiente en campo Moriche, el cual ha venido empeorando, pasando de 1,78 horas en el 2011 a 4,07 horas en el 2013. (Ver figura 5)

Figura 5. Valores de MTTR en los años 2011, 2012 y 2013



Fuente: Sistema de Información MP2

Hasta el 2013, el CMMS empleado por la empresa era el MP2. Wood Group como encargado del mantenimiento de dichos campos inició el uso y administración de la herramienta, tomando esta como soporte para planeación, ejecución y documentación de las actividades en mantenimiento; así como para los cálculos de indicadores de mantenimiento y confiabilidad. Cuando se migra la información a SAP se realizan varios estudios, entre ellos los asociados a la optimización del plan de mantenimiento.

De acuerdo a lo anterior, se realizaron análisis sobre la efectividad y asertividad del plan de mantenimiento aplicado al proceso de Tratamiento en Campo Moriche. Se encontró que dicho mantenimiento se compone de 23.1% de tareas de tipo preventivas, 73.1% de tareas de mantenimiento reactivo, 0.4% tareas a falla, 3,4% de tareas por condición y 0% de tareas relacionadas con el cuidado básico de equipos (BEC). Ver Tabla 1.

Tabla 1. Distribución por Tipo de Mantenimiento

TIPO DE MANTENIMIENTO	2011	2012	2013
BEC	0.0%	0.0%	0.0%
PROGRAMADO	39.1%	17.4%	12.8%
POR CONDICIÓN	9.3%	0.8%	0.0%
A FALLA	1.2%	0.0%	0.0%
MANTENIMIENTO REACTIVO	50.3%	81.8%	87.2%

Fuente: Sistema de Información MP2

El modelo de mantenimiento aplicado al proceso de tratamiento ha tenido un impacto negativo en la disponibilidad del sistema de Tratamiento de Crudo. Este se ha visto, en su momento, reflejado en la producción ya que el no tener un equipo operativo representa el no tratar y vender 180 Barriles de crudo/hora los cuales tienen un costo aproximado de \$ 14,760 USD/ hora. La gran cantidad de mantenimiento reactivo aplicado al proceso, ha hecho que no se tenga control sobre la mantenibilidad del proceso y que los costos de mantenimiento aumenten pasando de \$ 123,698,671 a \$ 198,865,956 anuales por equipo, teniendo un incremento de \$ 75,167,285, es decir un aumento aproximado del 60% en mantenimiento correctivo.

Para disminuir este tipo de pérdidas se plantea aplicar RCM a los equipos de tratamiento a fin de aumentar su disponibilidad y reducir en un 70% el mantenimiento correctivo.

1.2.2 Objetivos

- **Objetivo general:**

Desarrollar un modelo de mantenimiento basado en RCM para equipos de tratamiento electrostático ubicados en el Campo Moriche de la empresa Mansarovar Energy Colombia Ltd. (MECL)

- **Objetivos específicos:**

- ✓ Elaborar planteamiento del análisis.

- ✓ Realizar análisis de criticidad
- ✓ Seleccionar tareas de mantenimiento
- ✓ Implantar recomendaciones
- ✓ Aprobación del plan de mantenimiento propuesto

1.2.3 Justificación: La relación directa existente entre el tipo de mantenimiento aplicado y el nivel de disponibilidad del equipo, se constituye en una oportunidad muy importante de ahorro y optimización de la mantenibilidad de este proceso.

La estrategia de mantenimiento aplicada se ha deteriorado en los últimos tres años, pasando de 50,3% de mantenimiento reactivo en el 2011 a 87,2% en el 2013. Del mismo modo la disponibilidad se ha venido deteriorando paulatinamente al pasar de 99.16% en el 2011 a 98.84% en el 2013, es decir, 1 punto de disponibilidad, la cual considerando la criticidad de este proceso para la producción incremental del campo, se vuelve crítico. Esto contrasta drásticamente con las mejores prácticas de la industria para sistemas de Tratamiento de Crudo, como se puede ver en la tabla 2:

Tabla 2. Distribución por Tipo de Mantenimiento Tratamiento de Crudo vs. Benchmarking

TIPO DE MANTENIMIENTO	BENCHMARKING	MORICHE
BEC	11.00%	0.00%
PROGRAMADO	6.70%	12.80%
POR CONDICION	10.30%	0.00%
A FALLA	72.00%	0.00%
MANTENIMIENTO REACTIVO	0.00%	87.20%

Fuente: Sistema de Información MP2

Es claro, que existen grandes oportunidades de ahorro en el costo total de mantenimiento si se ajusta la estrategia planteada en Campo Moriche con base en las mejores prácticas de la industria, es decir con estrategias de gestión del riesgo, tales como RCM.

Así las cosas, se identifican oportunidades de ahorros por la optimización del plan de mantenimiento del proceso de tratamiento de crudo del Campo Moriche, teniendo en cuenta los costos de ejecución. Estos costos fueron establecidos por cada tipo de mantenimiento, según el benchmarking realizado a las empresas del sector con condiciones similares a las de Mansarovar, así que se estableció un promedio entre los costos de acuerdo al contexto operacional de Campo Moriche y los costos establecidos por otras compañías, se estableció por cada tarea y se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Oportunidades de Ahorro de Mantenimiento Proceso Tratamiento de Crudo según Benchmarking

TIPO DE MANTENIMIENTO	BENCHMARKING - COSTO TAREA (USD)
BEC	1,01
PROGRAMADO	470
POR CONDICIÓN	1773
A FALLA	292,5

Fuente: Sistema de Información MP2

Con base en estos costos, se han calculado los ahorros potenciales por optimización del plan de mantenimiento del

proceso de Tratamiento de Crudo, los cuales se presentan en la
Tabla 4

**Tabla 4. Ahorros potenciales por optimización del plan de
mantenimiento del proceso de Tratamiento de Crudo en Campo
Moriche**

TIPO DE MANTENIMIENTO	BENCHMARK	MORICHE COSTO ACTUAL (USD)	BENCHMARK COSTO (USD) CON IMPLEMENTACIÓN	AHORRO
BEC	11.00%	\$ -	\$ 10,943.79	\$ 264,705.19
PROGRAMADO	6,7	\$ 173,469.39	\$ 80,330.99	
POR CONDICIÓN	10,3	\$ -	\$ 465,861.00	
A FALLA	72.00%	\$ 1,186,530.61	\$ 538,157.00	
MANTENIMIENTO REACTIVO	0.00%	\$ -	\$ -	
COSTO TOTAL DEL PLAN DE MTO EXTR.		\$ 1,360,000.00	\$ 1,095,294.81	

Fuente: Sistema de Información MP2

2. MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES Y TIPOS DE MANTENIMIENTO

Toda empresa generadora de bienes y/o servicios requiere, para cumplir con sus necesidades de operación y de producción, el poder contar con los activos físicos (maquinas, equipos, herramientas, infraestructura y demás) en la mejor condición que sea posible, con muy buen estado de funcionalidad, confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los mismos. Por lo anterior, las empresas deben procurar que la vida útil de sus equipos sea la máxima posible al mínimo costo posible, lo cual es logable mediante una muy buena gestión del mantenimiento como aliado estratégico fundamental de los procesos de producción y operación de la empresa. La forma de maximizar la eficiencia, eficacia y efectividad de los activos es mediante el conocimiento y la aplicación de las leyes que gobiernan la relación entre producción y mantenimiento.⁵

Según Moubrey⁶ la siguiente es la definición de Mantenimiento: *Mantenimiento: Asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan.*

⁵ MORA, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. Editorial Coldi. 2014 p17

⁶ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Aladon LLC. Edición en Español 2004. p7

2.1.1 Objetivos del mantenimiento: Entre los objetivos básicos del mantenimiento se encuentran:

- 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, medio ambiente y legislaciones nacionales e internacionales.
- Maximizar el beneficio global

2.1.2 Tipos de mantenimiento

- **Mantenimiento Correctivo:** Consiste en intervenir un elemento o equipo con una acción de reemplazo de uno o más componentes, cuando el fallo ya se ha producido y el equipo ha perdido su funcionalidad.

Ventajas: Se aprovecha al máximo la vida útil del equipo; No hay necesidad de detener el equipo ni velar por mantenimientos programados establecidos.

Desventajas: Ocurrencia aleatoria de falla, con alta probabilidad de menor disponibilidad, y mayores costos.

- **Mantenimiento Preventivo:** Son las acciones programadas con el objetivo de disminuir las fallas aleatorias con acciones

preventivas. Se introducen nuevos costos, pero se reducen las reparaciones. El mantenimiento preventivo requiere personal más calificado y permanente.

Ventajas: Incrementa en cierta forma la disponibilidad de los equipos y reduce un poco la probabilidad de falla por desgaste de componentes.

Desventajas: El costo que implica las paradas del equipo y los insumos que se usen para cumplir con las actividades preventivas que se programan.

- **Mantenimiento Predictivo:** Consiste en las acciones de mantenimiento que se basan en las condiciones actuales del equipo. Normalmente vienen asociadas al uso de técnicas como, por ejemplo, análisis de vibraciones, termografía, análisis de aceites entre otras.

Ventajas: Se requiere cuando los resultados del diagnóstico así lo requieren. El mantenimiento está basado en las inspecciones programadas y en el monitoreo constante.

Desventajas: elevado costo de los equipos y el personal para el diagnóstico: Por ello a no todo el equipo se le ejecuta y realiza este tipo de mantenimiento. Sólo el 20% de los componentes causan el 80% de las fallas.

2.1.3 Gestión de mantenimiento: La premisa de los departamentos de mantenimiento está basada en la necesidad de mejorar la productividad, la toma de decisiones acertadas. El manejo de un amplio volumen de información y la evaluación eficaz del desempeño de los equipos industriales hace que estos adecuen

sus recursos e implanten nuevos procesos, con el fin de mejorar la gestión de mantenimiento.

Dentro de las funciones Básicas del Proceso de Gestión de Mantenimiento se tienen las siguientes:

- **Planificar** : decidir lo que habrá que hacerse en el futuro e incluye definición de objetivos, las vías para cumplirlas y la mejor manera de utilizar los recursos
- **Organizar** : Se encarga de distribuir las tareas o actividades, agruparlas por áreas y asignar los recursos para realizar el mantenimiento.
- **Dirigir** : Guiar y motivar a sus subordinados para conseguir los objetivos deseados o predeterminados por la empresa.
- **Controlar** : conjuntos de actividades que se utilizan para comprobar si los resultados que se alcanzaron están de acuerdo con los objetivos o metas prefijadas y las causas de dichas desviaciones, permitiendo así tomar las acciones necesarias para mejorar los resultados.

La importancia de la gestión de mantenimiento viene dada, entre otros factores, por:

- La gestión de mantenimiento compromete la rentabilidad de la empresa: de allí que los recursos utilizados deben ser analizados exhaustivamente.
- La calidad de los productos está asociada íntimamente con la gestión de mantenimiento; no se pueden mantener unas

especificaciones técnicas de producción sin una buena gestión de mantenimiento.

- La operatividad y conservación de los equipos son fundamentales para lograr un volumen de producción establecido.
- El desarrollo tecnológico asume equipos más sofisticados y de mayores precios, lo que presume su conservación.

2.2 CONFIABILIDAD DE EQUIPOS

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseña, durante un periodo de tiempo específico y bajo unas condiciones normales de operación, ambientales y de entorno.⁷

La definición de confiabilidad presentada anteriormente muestra que existen 4 factores que deben ser tenidos muy en cuenta: la probabilidad, el desempeño satisfactorio, el período y condiciones específicas:

- Probabilidad: Se define como el resultado de dividir el número de casos que se estudian (que cuentan con una característica similar, favorables, desfavorables, etc.) entre el total de casos que se presentan.
- Desempeño satisfactorio: Se define como los valores, ya sean cuantitativos o cualitativos (o ambos simultáneamente) con que se puede referenciar que equipo cumple con unas características o expectativas propias de funcionamiento, operación y desempeño.

⁷ MORA, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. Editorial Coldi. 2014 p 79-80

- Período: Se define como la duración del funcionamiento del equipo. Puede expresarse en términos de tiempo (segundos-horas-etc.), o de ciclos de funcionamiento.
- Condiciones de operación: Se definen como las circunstancias en las que se espera que el equipo funcione como, por ejemplo, la ubicación climática, altura sobre el nivel del mar, temperatura, humedad, porcentaje de carga, entre otras.

La confiabilidad de los equipos es el resultado de las estrategias que se implementen para la realización de las actividades de mantenimiento. Ella busca evitar el deterioro, los modos de falla y extender el tiempo medio entre fallas (MTBF), lo que se traduce en beneficios para la organización. Dicha confiabilidad depende de varios factores, tanto de los insumos de entrada, como del proceso de transformación y lo que se pretende entregar como producto, sin dejar de lado el personal que está inmerso en cada etapa y que manejan su propio nivel de confiabilidad.⁸

Para implementar estrategias que busquen los objetivos que se quieran en mantenimiento, es posible echar mano de múltiples herramientas, metodologías, filosofías y hasta normas para lograr lo que se desea. En la Tabla 5 se muestran dichas técnicas y metodologías con sus diferentes fortalezas y debilidades y aplicabilidad dependiendo de las expectativas del mantenimiento:

⁸ SILVA, Pedro y ORREGO, Juan. Confiabilidad en la Práctica: Lo que un Gerente de Confiabilidad debe Saber. Copyright los Autores. p 51-52

Tabla 5. Aporte de herramientas y metodologías de la confiabilidad

TÉCNICA \ DESEO	FORMULAR ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO	AUMENTAR CONFIABILIDAD	AUMENTAR MANTENIBILIDAD	REDUCIR GASTOS DE MANTENIMIENTO
RCM	★	★	★	★
TPM o PMO	⊙	⊙	⊙	★
RCA	↓	★	⊙	⊙
RBI	⊙	★	★	★
FMEA y FMEAC	⊙	⊙	⊙	↓
PARETO, LLUVIA DE IDEAS, DIAGRAMA CAUSA EFECTO, 5W + 1H	↓	↓	↓	↓
ANALISIS P – M , BENCHMARKING	↓	⊙	⊙	⊙
ARBOL DE FALLAS	↓	⊙	↓	↓
SIX SIGMA	↓	★	⊙	★
HAZOP	↓	⊙	↓	↓

GRAN APORTE	★
APORTE MEDIO	⊙
SIN APORTE	↓

Fuente: Los autores. Adaptado de Pistarelli, Alejandro ⁹

De la información consignada en la tabla anterior se puede inferir que la metodología llamada RCM (Reliability Centred Maintenance), o en español conocida como Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es la metodología que más se adapta a ser implementada con el fin de lograr los objetivos propuestos en el presente documento.

⁹ PISTARELLI, Alejandro. Manual de Mantenimiento: Ingeniería Gestión y Organización. Editorial Buenos Aires. 2012. Cap 7

2.3 RCM – MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

El RCM (Reliability Centered Maintenance), en español, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad fue originalmente definido por los empleados de la United Airlines Stanley Nowlan y Howard Heap en su informe “Reliability Centered”, informe que dio nombre al proceso. La industria aeronáutica acosada por la alta tasa de accidentalidad se dio a la tarea de definir un proceso organizado y sistemático para realizar las labores de mantenimiento y que desembocó en lo que hoy se conoce como RCM.¹⁰

Moubray define de la siguiente manera el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad: *Un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.*¹¹

El corazón del RCM es una técnica llamada Análisis de Modos y Efectos de Fallas (en inglés FMEA). El RCM es un proceso entonces que se basa en determinar los procesos funcionales o la funcionalidad de los activos, entendiendo como funcionalidad un concepto amplio que involucra no solo lo productivo sino también conceptos de seguridad y medio ambiente, para luego pasar a un riguroso análisis de fallas potenciales y así determinar el mantenimiento a aplicar, pasando desde el mantenimiento preventivo, correctivo hasta el rediseño de los elementos y los equipos.

¹⁰ SILVA, Pedro y ORREGO, Juan. Confiabilidad en la Practica: Lo que un Gerente de Confiabilidad debe Saber. Copyright los Autores. p 57

¹¹ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Aladon LLC. Edición en Español 2004. p 7

Cualquier proceso RCM debe asegurar que se respondan satisfactoriamente todas las siguientes siete preguntas y en esa misma secuencia, según la sección 5 de la norma (SAE JA 1011) “Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)”:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Para la resolución de estas preguntas se cuenta con técnicas de confiabilidad como el FMEA (Análisis de los modos y Efectos de las Fallas) y ALD (Árbol Lógico de Decisión). La primera ayuda a determinar las consecuencias de los modos de falla de cada activo en su contexto operacional, mientras que la segunda permite decidir cuáles son las actividades de mantenimiento más adecuadas. La primera técnica ayuda a responder las cuatro primeras preguntas, y la segunda ayuda a responder las restantes¹².

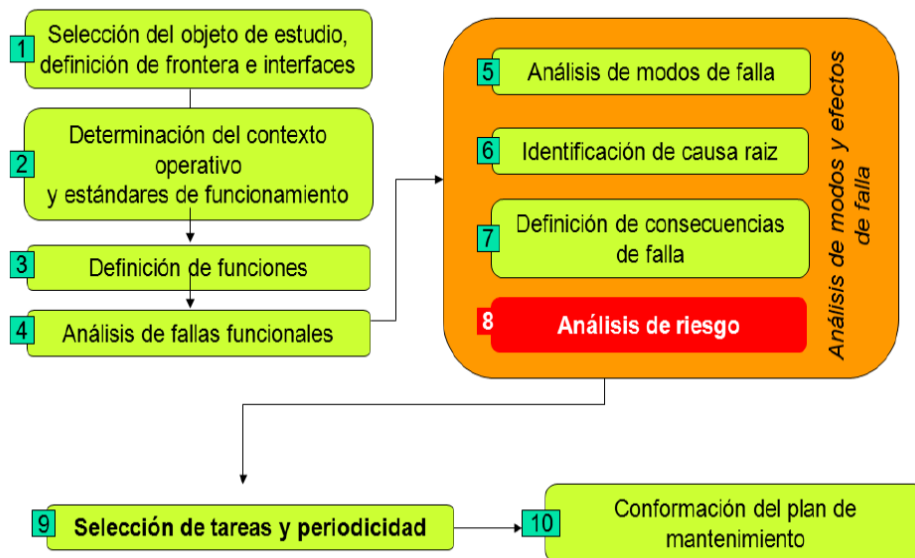
Debido a que el RCM aprovecha los conocimientos de los operadores, diseñadores y mantenedores de equipos, una gran ventaja de la

¹² FONSECA, Oscar y MAFLA, Claudia. Definición de modelo estratégico fundamentado en RCM, basados en el sistema de generación de vapor para el campo petrolero Moriche. Monografía Especialización Gerencia de Mantenimiento. U Antioquia Pág. 18

metodología es que se puede realizar un “Análisis en circunstancias donde existe un escaso o un registro de fallas”, siempre que haya personas con mucho conocimiento y experiencia en la utilización de los equipos a analizar. Esto hace que el RCM sea una herramienta ideal para analizar los requisitos de mantenimiento de sistemas antes de comprarlos. También, se aplica la metodología RCM para afinar las prácticas de mantenimiento de los equipos ya en operación desde el punto de vista de mejorar la disponibilidad, confiabilidad operacional y costos de dichos equipos.

Una representación gráfica en general de un diagrama de flujo del proceso RCM es la siguiente:

Figura 6. Diagrama de Flujo del Proceso RCM.



Fuente: González y Hernández¹³

¹³ (11) GONZÁLEZ, Omar y HERNÁNDEZ. Modelo de mantenimiento para la U- 2950 de la Refinería de Barrancabermeja utilizando metodología RCM. Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. 2012. p 76

Con una adecuada implementación del RCM se puede llegar a lograr lo siguiente¹⁴:

- Mayor seguridad e integridad ambiental
- Mejor funcionamiento operacional (cantidad, calidad del producto y servicio al cliente)
- Mayor costo – eficacia del mantenimiento.
- Mayor vida útil de los componentes costosos.
- Una base de datos global
- Mayor motivación del personal.
- Mejor trabajo en equipo.

¹⁴ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Aladon LLC. Edición en Español 2004. p 19

3. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

El tratador térmico electrostático de frecuencia dual (ver figuras 7, 8 y 9) es un separador horizontal que emplea un patrón de flujo vertical. Las funciones básicas realizadas desde la entrada hasta la salida de crudo limpio son:

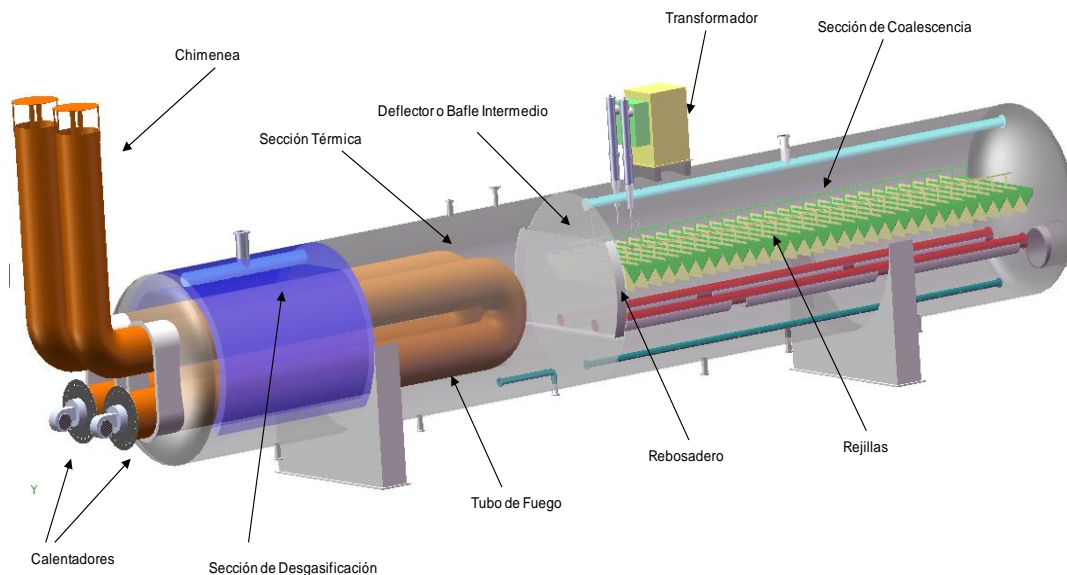
- Desgasificación a la entrada del tratador.
- Sistema de remoción de agua libre.
- Control hidráulico de los fluidos de entrada para un flujo uniforme a través del tubo de fuego.
- Calentamiento tipo baño, sumergido en aceite.
- Desgasificación de aceite caliente.
- Deflector (baffle) intermedio con rebosadero para separar la sección térmica y de coalescencia.
- Sistema de distribución de aceite controlado hidráulicamente con un distribuidor de múltiples orificios.
- Área de coalescencia con electrodos.
- Zona inmóvil de asentamiento.
- Descarga controlada de aceite, agua y gas.

El tratador térmico electrostático de frecuencia dual está equipado con un tubo de fuego tipo – “U” de NATCO.

Los tubos de fuego están localizados en la sección de entrada del tratador. Estos tubos están diseñados para calentar sumergidos en aceite, pero también son apropiados para funcionar sumergidos en agua. El tubo de fuego tipo - “U” de NATCO es adaptable a equipos con encendido a gas o petróleo.

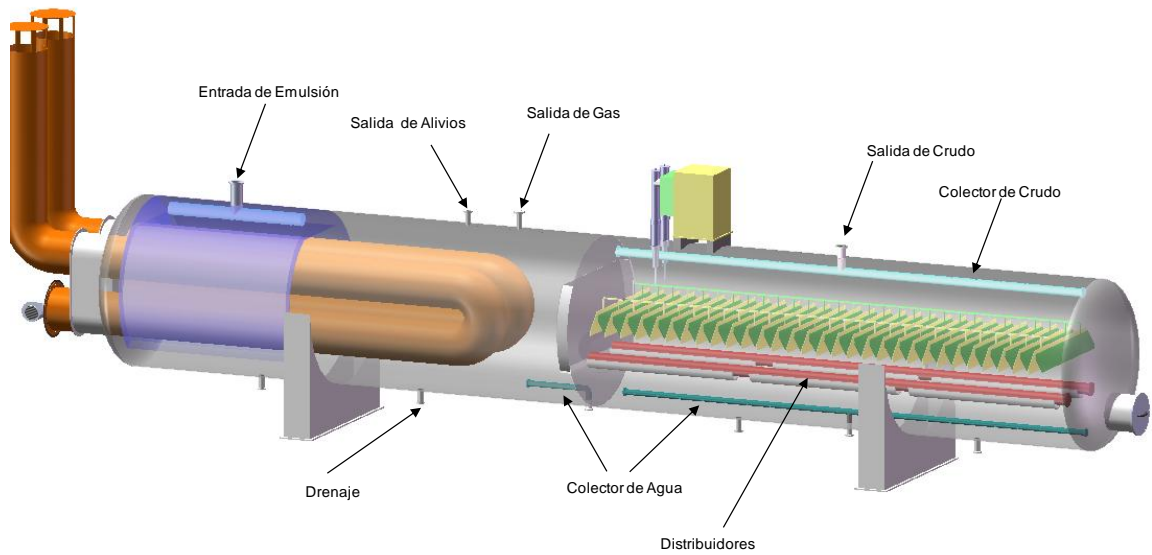
El movimiento de los fluidos a través del tratador de frecuencia dual se controla por un sistema de presiones diferenciales combinado con el uso de cabezas estáticas. La sección de desgasificación en la entrada, emplea una mayor cabeza estática para mover el fluido hacia la sección térmica. La sección térmica del tratador mantiene un nivel de fluido fijo por medio de un instrumento de control de nivel. El nivel de fluido en la sección de desgasificación mantendrá solo unas pocas pulgadas de cabeza necesarias para mover el fluido hacia un área de cabeza constante de la sección térmica. Cuando el nivel de fluido aumenta en la sección térmica, la señal de salida (4-20 mA) del transmisor de nivel incrementa y abre la válvula de descarga de aceite. El diferencial de presión entre el área térmica y la zona de coalescencia del tratador, obliga a que el fluido se dirija hacia la sección de coalescencia. El fluido que ingresa a la sección de coalescencia desplaza el crudo limpio de esta sección a través de la válvula de descarga de crudo

Figura 7. Internos en 3D del Tratador Electrostático – Dual Frequency – Vista I.



Fuente: Manual Tratador Dual Frequency IOM

Figura 8. Internos en 3D del Tratador Electrostático – Dual Frequency– Vista II.



Fuente: Manual Tratador Dual Frequency IOM

Figura 9. Tratador Electrostático – Dual Frequency



Fuente: Manual Tratador Dual Frequency IOM

En la Tabla 6 se muestran las condiciones de diseño y operación del Tratador Electrostático las cuales se encuentran en los “data sheet” del catálogo “Installation, Operation, Maintenance Databook – Electrostatic Heater Treater”.

Tabla 6. Especificaciones del Tratador Electrostático – Dual Frequency

Característica		Referencia
Tipo		Tratador Electrostático
Orientación		Horizontal
Diámetro (ID), pulg.		120”
Longitud de costura a costura, pies		60’
Presión de operación, psig	Máx. / Norm. / Min.	30 / 30 / 25
Temperatura de operación, °F	Máx. / Norm. / Min.	250 / 250 / 245
Flujo de gas, GOR	Máx. / Norm. / Min.	150 / 150 / 150
Flujo de aceite, BPD	Máx. / Norm. / Min.	3.300 / 3.000 / 2.700
Flujo de agua, BPD	Máx. / Norm. / Min.	1.125 / 750 / 675
Presión de diseño, psig		60
Temperatura de diseño, °F		280
Tubos de fuego	Cantidad / Diámetro (ID) / Longitud	2 / 30” / 30’
	MMBTU/hr	9,5 totales para los dos tubos de fuego

Entrada de emulsión	Diám. (ID) / Cantidad	8" / 1
Salida de gas	Diám. (ID) / Cantidad	4" / 1
Salida de alivios (PSV)	Diám. (ID) / Cantidad	3" / 1
Salida de aceite	Diám. (ID) / Cantidad	6" / 1
Drenajes de arena	Diám. (ID) / Cantidad	2" / 12
Salida de agua	Diám. (ID) / Cantidad	4" / 2
Sand Jets	Diám. (ID) / Cantidad	3" / 6
Purga	Diám. (ID) / Cantidad	2" / 1
Muestreo	Diám. (ID) / Cantidad	3/4" / 9
Distribuidor de aceite	Diám. (ID) / Cantidad / Sch	8" x 10" / 2 / sch 20
Colector de aceite	Diám. (ID) / Cantidad / Sch	6" / 1 / sch 40
Colector de agua	Diám. (ID) / Cantidad / Sch	4" / 2 / sch 40
Tipo de Extractor de niebla		VANE
Tolerancia a la corrosión		0,125" press. / 0,0625 no-press.

Fuente: Los autores

3.1 DESHIDRATACIÓN CON FRECUENCIA DUAL

La Frecuencia Dual combina dos modos de modulación de tensión: La Frecuencia Base y la Frecuencia de Modulación. Frecuencia de Base se utiliza para mejorar el crecimiento de la gota y para limitar la

desintegración del campo debido a la conductividad del aceite o al corte de agua. La Frecuencia de Modulación se utiliza para fusionar las gotitas más pequeñas de agua y facilitar el crecimiento de estas a un tamaño suficiente que permita una rápida separación.

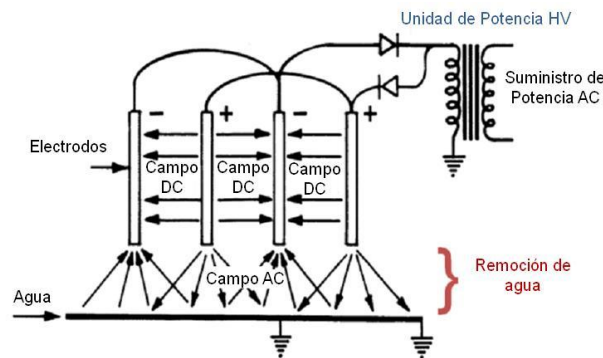
El proceso consta de un recipiente a presión donde la emulsión se distribuye uniformemente en toda la sección de coalescencia por el uso de unos distribuidores patentados. Cuando la emulsión deja los distribuidores ingresa a un campo AC de bajo gradiente que fusiona la mayor parte del agua dispersa. La emulsión asociada con las gotas más pequeñas de agua continúa ascendiendo hacia el campo electrostático modulado de doble frecuencia. Este campo electrostático mejorado es optimizado para cada tipo de crudo.

La unidad de potencia de Frecuencia Dual consiste de tres componentes primarios. En primer lugar, el suministro de potencia está condicionado por el “modulo chopper”, el cual produce una tensión de entrada de frecuencia variable y amplitud variable. En segundo lugar, un “módulo transformador” de frecuencia media, el cual eleva el voltaje de entrada al nivel secundario y el Tercero, en el cual el voltaje secundario es rectificado dentro del “modulo diodo” en salidas positivas y negativas de media onda. Estos voltajes de media onda, polarizados se aplican luego a los electrodos para crear los beneficios de ambos campos AC y DC (Figura 10).

Los pares de placas de electrodos se energizan con carga opuesta y las gotas de agua que entran al campo electrostático existente entre las placas experimentan una elongación y luego son atraídas hacia una u otra placa, aceptando la carga de la placa electrodo hacia la cual se están aproximando. Las gotas con carga opuesta se atraen una hacia la otra y

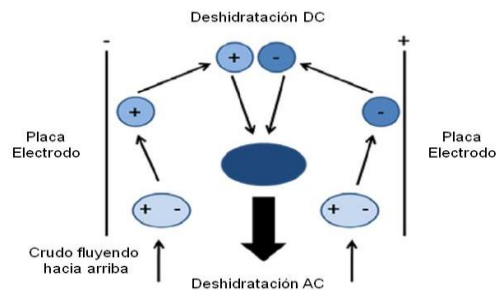
se fusionan en gotas más grandes que se depositan en el fondo de la vasija. En una emulsión que contiene miles de gotas de agua, aproximadamente la mitad aceptará cargas positivas y la otra mitad, cargas negativas. Las partículas son electro-cinéticamente impulsadas hacia la placa de carga opuesta; posteriormente ellas colisionan de frente con gotas de carga estática opuesta y se unen. Cuando las gotas crecen en tamaño, la gravedad supera el campo DC que las suspenden entre las placas, y luego caen hacia la fase agua (figura 11).

Figura 10. Campos electrostáticos



Fuente: Manual Tratador Dual Frequency IOM

Figura 11. Coalescencia en un campo DC



Fuente: Manual Tratador Dual Frequency IOM

3.1.1 Beneficios del sistema de Frecuencia Dual

- Adaptable a los cambios en las mezclas de crudo.
- Puede ser aplicado con crudos húmedos con alta conductividad.
- Incrementa la capacidad de la vasija existente.
- Mejora el desempeño de la deshidratación con todos los tipos de crudo.
- Disminuye los costos de operación.
- Reduce el peso de la vasija.
- Optimiza y reduce los costos de productos químicos.
- Permite disminuir la temperatura de operación.
- Unidad de potencia de tres fases balanceada.
- Proporciona la capacidad de hacer ajustes en condiciones de inestabilidad y malestar.

3.2 UNIDAD DE POTENCIA DF Y CONTROLADOR DE RESPUESTA DE CARGA (LRC).

El Sistema Electrostático de Procesamiento de Crudo de Frecuencia Dual (ver figura 12) utiliza voltaje positivo (+) y negativo (-) en los electrodos opuestos para la coalescencia de las gotas de agua en la fase final del procesamiento. Los electrodos están suspendidos de la parte superior del armazón de la vasija por medio de colgadores aislados que los aíslan eléctricamente del metal conductor de la vasija.

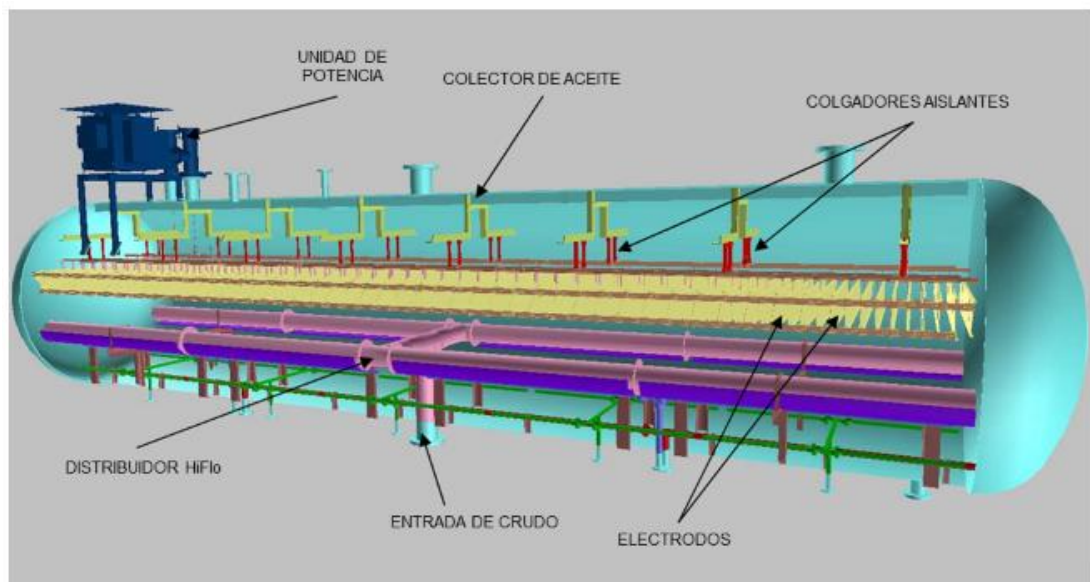
Una Unidad de Potencia montada en la parte exterior, de alto voltaje y sumergida en aceite proporciona la potencia a los electrodos. La Unidad de Potencia es un diseño patentado que utiliza tres fases de alimentación para una carga eléctrica balanceada y reactancia primaria del 10% para

la utilización de la potencia máxima. La Unidad de Potencia de 100 KVA puede suministrar hasta 90 KW al proceso. El secundario de alto voltaje de la Unidad de Potencia está conectado a los electrodos a través de dos bujes de entrada de alto voltaje y especialmente diseñados, ver figura 13.

Otras características estándar incluyen indicador de nivel, indicador de temperatura, indicador de luz e interruptor de alta temperatura. Las opciones incluyen:

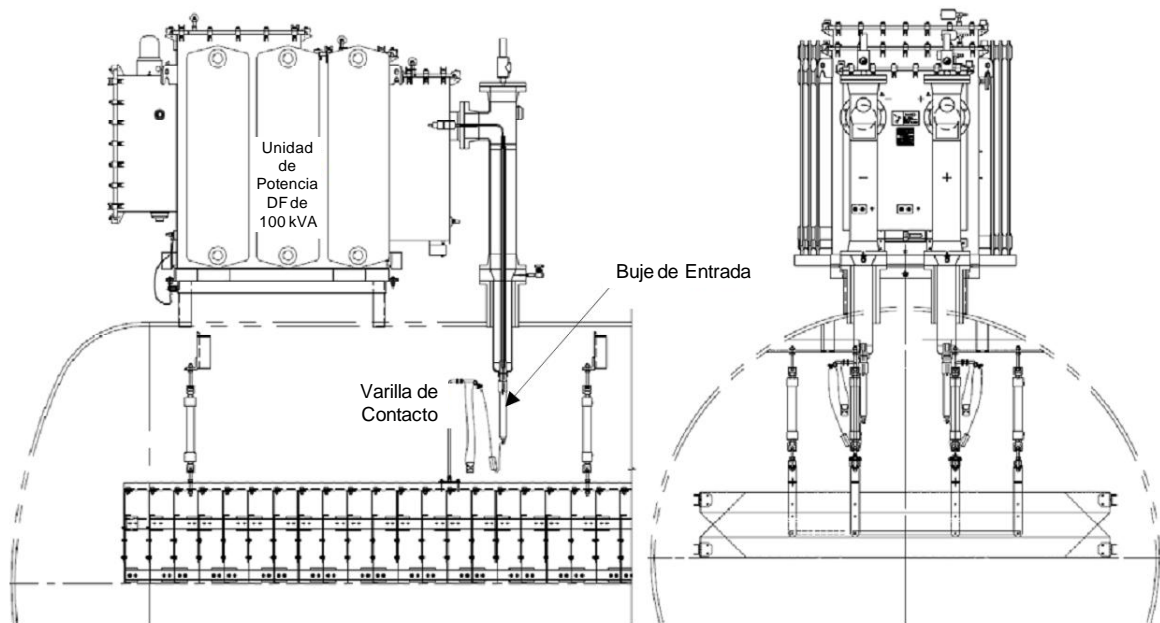
- Tres sistemas de recubrimiento de pintura.
- Tanque en acero inoxidable 316L
- Interruptor de presión
- Interruptor de temperatura
- Interruptor de nivel
- Todos los bobinados de cobre

Figura 12. Tecnología electrostática de frecuencia dual.



Fuente: Manual Tratador Dual Frequency IOM

Figura 13. Dispositivo eléctrico del tratador.



Fuente: Manual Tratador Dual Frequency IOM

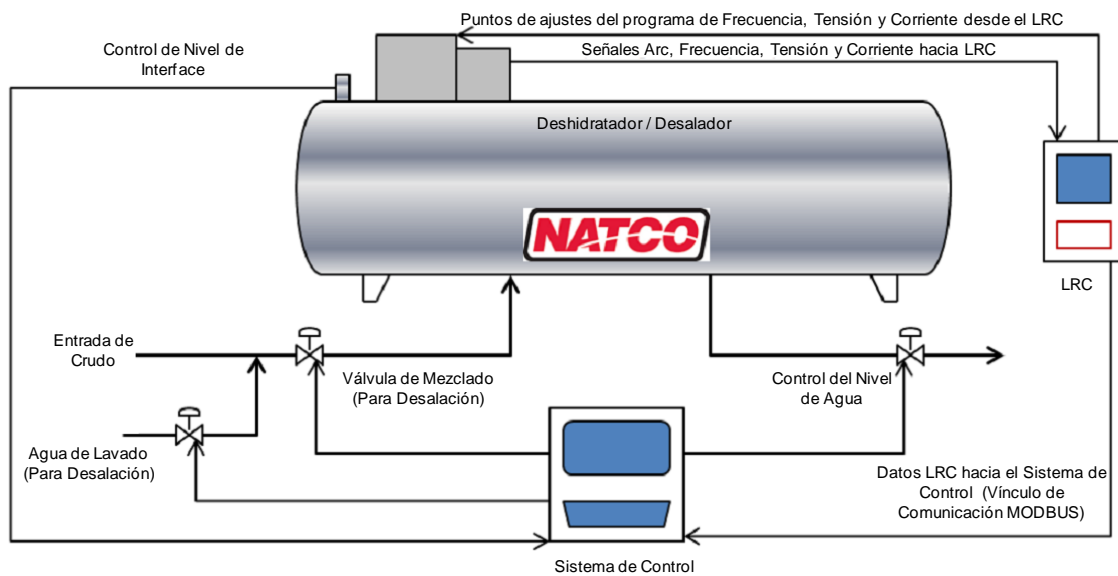
Las certificaciones incluyen UL, CSA y ATEX para uso en un NEC Clase 1, División 2, Grupo C& D Clase de Temperatura T3 o IEC Zona 1, Ex II 2G, EEx o e II T4.

El sistema incluye un microprocesador basado en un controlador (Load Responsive Controller - LRC® II) que permite al operador establecer todos los parámetros de operación para el sistema e interfaces con DCS del cliente. El LRC® II proporciona supervisión, comunicación, reporte y control del sistema de Frecuencia Dual (ver figura 14). El operador ajusta y establece los siguientes parámetros para optimizar el proceso:

- Frecuencia Base
- Frecuencia de Modulaci3n

- Forma de Onda
- Factor de Distorsión (“Skew Factor”)
- Mínima tensión
- Máxima tensión

Figura 14. Unidad de Potencia de Frecuencia Dual y Panel LRC II



Fuente: Manual Tratador Dual Frequency IOM

Ajustando estos parámetros, el operador puede crear una forma de onda única que se optimiza de acuerdo con las propiedades físicas específicas del crudo, para proporcionar todos los beneficios del Sistema de Frecuencia Dual.

Por ejemplo, para crudos húmedos de alta conductividad, la frecuencia base se puede aumentar para maximizar la energía entregada al proceso de deshidratación del petróleo. Esto supera el deterioro de tensión asociada con las unidades convencionales de potencia. El deterioro del voltaje reduce la efectividad del proceso de deshidratación tirando el

voltaje por debajo del nivel de umbral requerido para una deshidratación efectiva.

La Unidad de Potencia de Frecuencia Dual (ver figura 15) incluye los siguientes compartimientos:

Caja de Interconexión de entrada (Input Junction Box): Recibe todos los cables del Panel de Control DF LRC-II y del “Step Start Contractor”. También incluye un compartimiento de tensión y un compartimiento de control/señal de voltaje.

Figura 15. Unidad de Potencia de Frecuencia Dual.



Fuente: Manual Tratador Dual Frequency IOM

Tanque de electrónica de potencia (Power Electronics Tanks): Contiene todas las tarjetas electrónicas de FD, los reguladores de voltaje del control, transductores, paquete de arranque suave, relevadores y el ensamble del interruptor/inversor completamente sumergido en aceite mineral. Dependiendo del tamaño de la Unidad de Potencia puede también contener motores de circulación.

Unidad de Potencia DF (DF Power Unit): Esta sección contiene el cableado secundario de la Unidad de Potencia. Esta sección también tiene un interruptor montado en la parte externa de la Unidad de Potencia. El interruptor permite que el usuario cambie el máximo voltaje derivado del cableado secundario de la Unidad de Potencia.

Caja del Diodos (Diode box): Incluye los diodos y divisores de voltaje. Esta sección también está sumergida en aceite mineral dieléctrico. Los cables de alto voltaje (positivo y negativo) de la Caja del Diodo se conectan a los bujes de aislamiento fuente de poder.

3.3 DISTRIBUIDOR DE ENTRADA

El tratador está dotado de un distribuidor tipo esparcidor tubería/deflector, también llamado distribuidor cubierto con tubería (“shrouded pipe distributor”), en la sección de coalescencia. La longitud del distribuidor, el diámetro y número de agujeros son calculados para lograr el óptimo desempeño.

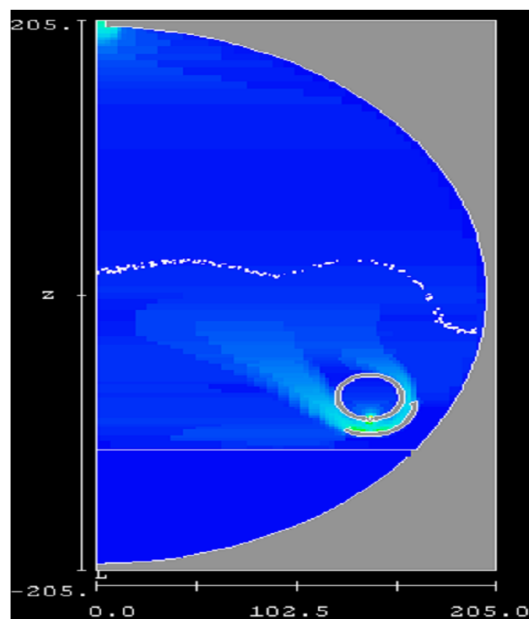
La emulsión agua/aceite ingresa a la vasija a través de la boquilla de entrada y uniformemente se distribuye a través de los distribuidores horizontales que se extienden en toda la longitud del área de proceso. Estos distribuidores están localizados sobre el nivel de la interface agua/aceite y su diseño permite una distribución apropiada de la emulsión. La distribución correcta del flujo es un parámetro crítico en cualquier equipo de separación, para lo cual NATCO, con el uso de software CFD (Computational Fluid Dynamic) (ver figura 16), desarrolló y patentó un dispositivo de entrada para tratadores electrostáticos que

puede absorber el momentum y de esta forma reducir la velocidad del fluido previamente a su descarga de la vasija.

El uso óptimo de la sección de coalescencia de un tratador se obtiene cuando el fluido de proceso se distribuye uniformemente sobre la sección transversal del área de procesamiento instalando este tipo de distribuidor. El esparcidor deflector/tubería ofrece remoción de arena y agua libre junto con una adecuada distribución del fluido. El agua libre puede estar en fase continua o existir como gotas dispersas relativamente grandes, ambas se separan rápidamente de la fase aceite, (ver figura 17). Ya que los orificios están cerca del fondo de la tubería, es posible remover la arena para que no se acumule.

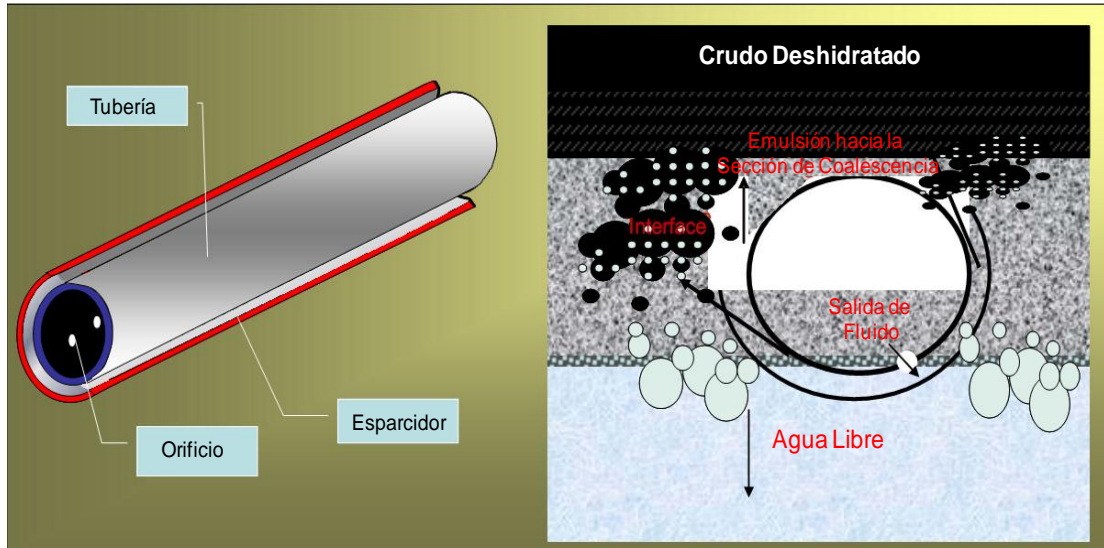
El deflector cumple con dos propósitos. En primer lugar es un amortiguador de momento que reduce la velocidad de entrada del fluido. Esto puede eliminar en gran medida la circulación parasitaria que tiende a reducir el tiempo de residencia.

Figura 16. Patrón de flujo del sistema HiFlo.



Fuente: Manual Tratador Dual Frequency IOM

Figura 17. Patrón de flujo del sistema HiFlo.



Fuente: Manual Tratador Dual Frequency IOM

En segundo lugar el deflector permite dirigir el líquido de entrada a las regiones de tratamiento deseado dentro de la vasija y distribuirlo de manera más uniforme.

Algunas de las ventajas del distribuidor patentado cubierto con tubería de NATCO (HiFlo™ System), son:

- Reducción de la recirculación de flujo dentro del tratador (no más del 5%).
- Incremento de la eficiencia hidráulica en la vasija cercana al 100 %.
- Supresión de la derivación del fluido a través de las secciones de los electrodos.

3.4 COLECTOR DE ACEITE

El colector recoge el fluido uniformemente sobre la longitud del tratador y lo conduce a una sola salida. Las dimensiones del colector, el diámetro y número de agujeros son calculados para lograr el óptimo desempeño.

Los fluidos fluyen verticalmente a través de las placas de electrodos y luego hacia el colector de aceite ubicado en la parte superior del tratador. El colector de aceite consiste en un solo colector dispuesto longitudinalmente a lo largo de la parte superior de la vasija. El colector está provisto de unos orificios que permiten una recolección uniforme del petróleo.

3.5 ENSAMBLE DE REJILLAS ELECTROSTÁTICAS

Los electrodos establecen el campo electrostático dentro de la vasija y proporcionan contacto entre el sistema eléctrico y los fluidos de proceso. El conjunto de electrodos consiste en placas paralelas colgadas verticalmente. Están suspendidas aproximadamente 6" por encima de la línea central de la vasija. (Ver figura 18).

Este esquema eléctrico AC/DC proporciona un campo DC de placa a placa y un campo AC de placa a tierra. De esta manera, las ventajas de la carga de la gota y del movimiento de la gota en un campo DC se combinan con la capacidad de ruptura de la película y resistencia a la corrosión de un campo AC.

Figura 18. Detalle de la instalación de rejillas.



Fuente: Manual Tratador Dual Frequency IOM

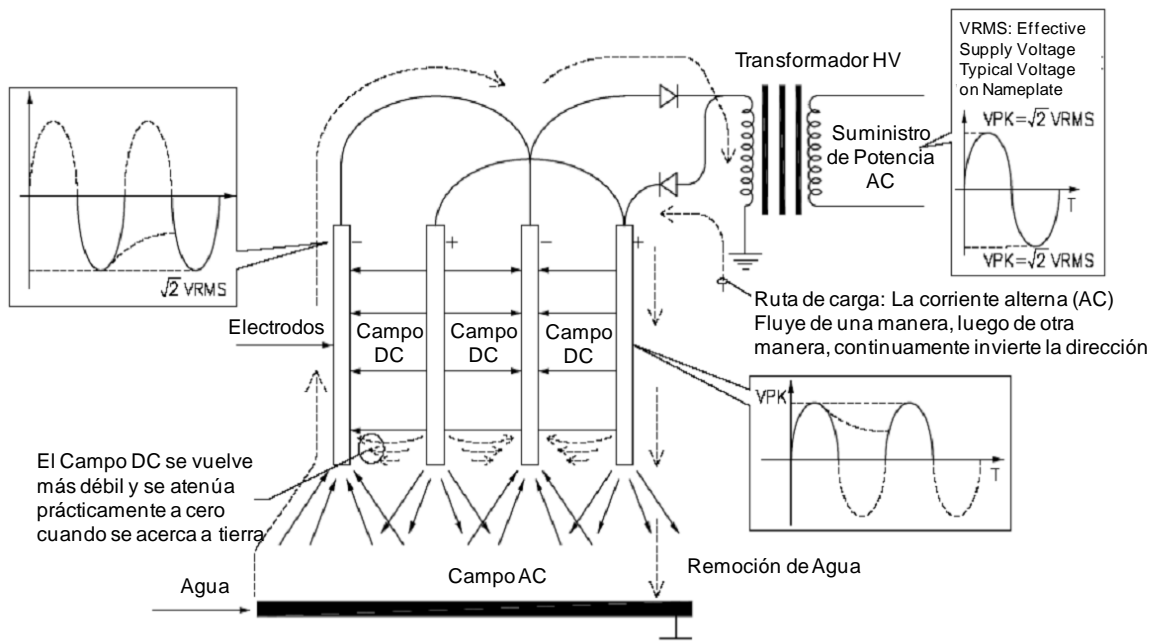
El campo AC es más efectivo en remover gotas grandes que están muy cerca. Las gotas muy pequeñas no son significativamente afectadas por el campo. Por lo tanto el campo AC es más efectivo sobre emulsiones con alto contenido de agua en el distribuidor de entrada y sobre las gotas grandes que se acumulan en la interface Agua/Aceite.

El campo DC permite la coalescencia de gotas residuales muy pequeñas. Estas gotas se aproximan a la placa más cercana, se cargan y son fusionadas con la película de la placa o repelidas hacia la placa opuesta sobre una trayectoria de colisión con gotas de carga opuesta provenientes de esa placa.

Debido a que las placas solo se pueden cargar en medio ciclo alterno, la corriente entre ellas está limitada y es incapaz de producir electrolisis. Estas placas también operan en aceites no conductivos y relativamente secos ya que la deshidratación se ha logrado en el campo AC por debajo de los electrodos.

En la figura 19 se nota que después del medio ciclo de carga, el voltaje en la placa comienza a desviarse y a reponerse en el siguiente medio ciclo de carga. La desviación depende de la conductividad del aceite.

Figura 19. Campos electrostáticos en el sistema de electrodos.



Fuente: Manual Tratador Dual Frequency IOM

Toda la matriz está sumergida en la fase aceite de tal forma que el crudo húmedo fluye entre las placas cargadas. Allí el campo electrostático provoca la fusión de las gotas de agua que están dispersas. Cuando las gotas de agua dispersas dentro de la mezcla se fusionan en tamaños mayores, ellas se sedimentan en sentido contrario al flujo ascendente de petróleo. El crudo se deshidrata cuando el agua arrastrada primero se fusiona por efecto del campo electrostático y luego se separa por gravedad.

La coalescencia electrostática generalmente procede a través de un mecanismo de polarización de la gota, alineación de las gotas polarizadas, y el “encadenamiento” de estas gotas a lo largo de las líneas de fuerza del campo electrostático. Estas cadenas conductivas conllevan a frecuentes descargas eléctricas o arcos entre los electrodos. Los arcos son una parte normal del proceso, y debido a que están sumergidos en aceite, no producen ningún daño.

Sin embargo, un conjunto de electrodos de acero momentáneamente es descargado por un arco, y si los arcos se producen con la suficiente frecuencia (como en una emulsión húmeda), los electrodos pueden ser descargados durante un tiempo suficiente para el deslizamiento de los fluidos de proceso sin que ocurra una exposición adecuada al campo electrostático.

Los Electrodos de placa compuesta pueden utilizarse para aumentar la tolerancia al agua en tales condiciones. Estos electrodos consisten de placas de construcción compuesta (plástico reforzado con fibra) con grafito o carbono incrustado en la parte central de la placa para impartir la conductividad a lo largo de la longitud de la placa.

El resto de la placa contiene materiales de relleno que conducen a la adsorción de una capa de agua sobre la superficie de la placa. Esta capa de agua se convierte en el medio conductor a lo largo de la altura de la placa. Puesto que la capa adsorbida es muy resistente, cualquier arco que se produce es rápidamente extinguido. Como resultado, sólo se descarga el área en las proximidades inmediatas del arco y casi se elimina el deslizamiento.

Ventajas de los electrodos compuestos:

- Tolerancia a dispersiones con alto contenido de agua.
- Tratamiento más efectivo de líquidos conductivos.
- Produce un campo graduado para un mejor crecimiento de la gota.
- Menor deslizamiento de los líquidos de proceso sin tratar debido a los arcos.
- Proporciona mayor tiempo de retención in la zona de electrodos.

3.6 INTERRUPTOR EXTERNO DE BAJO NIVEL

El tratador electrostático viene dotado con dos “Switch” externos de bajo nivel, uno para la sección térmica y otro para la sección de coalescencia.

El propósito del “Switch” localizado en la sección térmica es detener la operación de los tubos de fuego cuando el nivel de líquido total está por debajo del tope de los tubos de fuego. Esto se hace con el fin de proteger los tubos de fuego de posibles daños por sobrecalentamiento.

El “Switch” localizado en la sección de coalescencia hará que el suministro de potencia se apague en caso de activación. Todos los componentes de Teflón del sistema eléctrico están diseñados para funcionar totalmente sumergidos en líquido, la exposición a una fase gaseosa con el sistema encendido puede causar daños a los componentes.

3.7 QUEMADORES

El Tratador Electrostático está equipado con dos quemadores marca North American (ver figura 20 y 21), para dos combustibles (gas/aceite), modelo 6131C-CR de corriente forzada. Cada quemador está instalado sobre un tubo de fuego tipo “U” de 30” de diámetro y 30’ de largo. Cada

tubo de fuego está diseñado para una transferencia de calor de 4,7 MMBTU/HR hacia el proceso con base en un flujo máximo de calor permitido de 10.000 BTU/HR/FT². Si la entrada de calor hacia el proceso excede los 10.000 BTU/HR/FT², se puede dañar el tubo de fuego.

El quemador en un calentador de fuego indirecto que se encuentra ubicado en el tubo de fuego el cual está diseñado para producir un patrón de llama larga y angosta. Estos quemadores constan de tres secciones:

- **Sección Frontal:** Consiste en una platina en fundición de hierro para montaje pesado, con hojuelas alargadas para su montaje, equipado con una cámara de combustión en ladrillo refractario de alta dureza, especialmente diseñado para soportar hasta 2600°F.
- **Sección Central:** Una sección para gas estacionario con entrada para gas en la parte inferior. Un defensor para aire de combustión, una conexión por inyección de gas para el piloto de encendido y un lomo roscado para colocar la varilla de regulación de llama.
- **Sección Trasera:** Montado sobre bisagras, incluyendo el motor del soplador, el impulsor, guarda de entrada, una ventana de observación con vidrio reforzado y con provisión para montar un UV o un detector para llama, a base de sulfato de plomo, la brida para montar el atomizador de combustible y el control manual o motorizado de regulación de combustible. Un sistema de varillas articuladas de control de alta precisión y de eslabones giratorios controlan la entrada principal del aire del combustible y la válvula tipo mariposa de regulación de entrada de gas o una válvula tipo sensitrol de regulación de entrada de combustible para lograr una adecuada mezcla en el quemador, la entrada del combustible a la

válvula sensitrol se hace por una junta escualizable montada sobre bisagras.

Figura 20. Quemador del Tratador Electrostático – Sección trasera



Fuente: Manual Tratador Dual Frequency IOM

Figura 21. Quemador del Tratador Electrostático– Sección frontal



Fuente: Manual Tratador Dual Frequency IOM

3.8 TUBO DE FUEGO

La forma más común del tubo de fuego es la de un tubo en U. Se puede montar sobre una brida en la parte posterior de la vasija, y puede ser removido fácilmente para reparación o reemplazo.

El quemador está ubicado en la entrada del tubo de combustión, y la chimenea se encuentra en el tubo de retorno.

El tubo de fuego usualmente tiene soportes en el fondo para prevenir que toque las paredes de la vasija. Mientras que el tubo este inmerso en el líquido, la temperatura del tubo será aproximadamente la del líquido, aun cuando la temperatura del gas de combustión dentro del tubo pueda ser mayor de 1650°C [3000°F]. Si el tubo toca la vasija, se puede desarrollar un punto caliente que eventualmente ocasionaría una distorsión o fundición del tubo y la vasija (Ver Figura 22).

Figura 22. Tubos de fuego de un Tratador Electrostático



Fuente: Manual Tratador Dual Frequency IOM

3.9 SISTEMA DE CONTROL DEL QUEMADOR

Sobre el patín del Tratador Electrostático se encuentra instalado el panel de control del quemador. El panel fue pre-cableado a los instrumentos y controles del sistema de seguridad y control del quemador de conformidad las instrucciones del fabricante. El panel debe ser alimentado con un suministro de potencia de 120 VAC.

3.10 MANIFOLD DE SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE

Sobre el patín del Tratador Electrostático se encuentra instalado el manifold de suministro para dos combustibles (gas/aceite) y consiste de un cabezal de suministro de gas combustible, un cabezal de suministro y retorno de aceite combustible y un cabezal de suministro de aire atomizado.

Gas combustible:	16.000 SCFH	25 psig	
Aceite combustible:	150 GPH	75 psig	viscosidad máxima 100 ssu
Aire atomizado:	14 SCFH	100 psig	

El aceite combustible se debe proporcionar lo suficientemente caliente para mantener su viscosidad por debajo de 100 ssu. La circulación de aceite combustible se debe mantener a través del cabezal de suministro y retorno con el fin de mantener la temperatura del aceite.

4. DESARROLLO DEL TRABAJO

Con el fin de desarrollar el trabajo lo más pertinentemente posible, se implementó la siguiente metodología de trabajo:

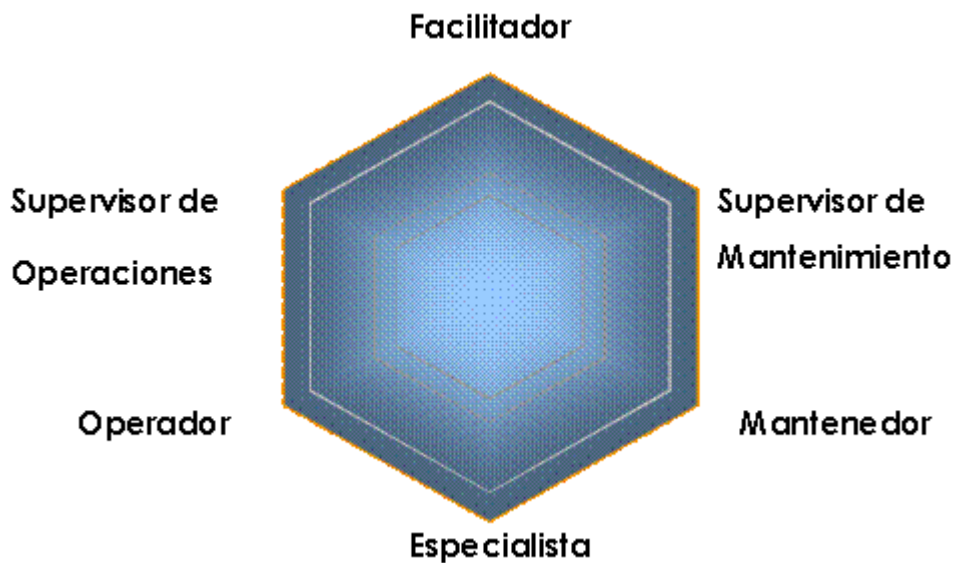
- Formación del Grupo de Revisión RCM.
- Formulación del Contexto Operacional del equipo a tratar.
- Elaboración del Árbol de Equipos y subsistemas asociados al equipo a tratar.
- Revisión de los históricos de fallas de componentes asociados.
- Elaboración del Análisis de Modo y Efecto de Fallas de los componentes asociados al equipo a tratar.
- Elaboración del Análisis de Criticidad.
- Basado en los dos ítems anteriores, se realiza el Árbol Lógico de Decisión.
- Basado en todos los insumos anteriores se elaboran las tareas asociadas, su periodicidad y se propone un plan de mantenimiento.

4.1 GRUPO DE REVISIÓN RCM

Para la consolidación del grupo de talento humano encargado del seguimiento y revisión del RCM, y siguiendo la recomendación que elabora Moubay¹⁵, se propuso el siguiente grupo de personal asociado a la empresa M.E.C.L:

¹⁵ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Aladon LLC. Edición en Español 2004. Pág. 270-281

Figura 23. Grupo de Revisión RCM



Fuente: Autores (Basado en Moubray)

- Facilitadores: Ing. Henner Ortiz – Ing. Enry Mantilla
- Supervisor de Operaciones e Ingeniería: Ing. Marcel Franco
- Supervisor de Mantenimiento: Ing. Luis Ardila
- Operador: Adrián Ariza
- Mantenedor: Cesar Vázquez
- Especialista Externo: Ing. Juan Carlos Orrego

El anterior grupo efectuó 8 reuniones desde octubre del 2014 (periodicidad aproximadamente mensual), donde se trataron los diferentes temas que hacen parte del presente documento.

4.2 FORMULACIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL DEL EQUIPO A TRATAR

El equipo seleccionado para realizar el análisis RCM fue el Tratador Electrostático conocido como EHT-250A. Para la elaboración de este contexto operacional se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos que influyen de manera directa o indirecta sobre el funcionamiento del equipo en el Campo Moriche:

- **Ubicación del activo:** el tratador se encuentra en el Módulo de Tratamiento y Bombeo en Campo Moriche Puerto Boyacá, financieramente se encuentra en la Gerencia de Moriche, de acuerdo a los informes del área.
- **Impacto de fallas:** histórico de mantenimiento del reporte de fallas de producción que se encuentra en el CMMS MP2 hasta Septiembre de 2014 y en el módulo PM de SAP a la fecha.
- **Régimen de marcha:** 4.400 barriles por día de acuerdo a la política de la empresa, demanda según producción.
- **Período de servicio:** 24 horas- 365 días al año. Mantenimiento mayor, posterior después de cada 1,5 año de acuerdo a políticas de operación de la empresa.
- **Alarmas e indicadores:** seguridad en los quemadores, protección por sobre presión PSV y disco de ruptura de 3" vasija presurizada, por lo tanto no requiere estar en un dique de contención
- **Seguridad:** manual de políticas de HSE

- **Factores ambientales:** el clima en esta zona oscila entre los 23°C y los 33°C, con un porcentaje de humedad del 65% aproximadamente, con clima cálido durante el día y eventualmente frío durante la noche. Con relación a aspectos ambientales específicos, se rige de acuerdo al manual de políticas ambientales de la empresa.
- **Política de repuestos:** de acuerdo al manual de listado de repuestos para mantenimiento a 2 años. Materiales catalogados y solicitados por Stock de Bodega.

4.2.1 Objetivos del tratador EHT – 250A: El objetivo fundamental del Tratador Calentador Electrostático es hacer parte de la deshidratación del petróleo crudo, proporcionando la separación del gas, realizar la remoción de agua libre y efectuar la coalescencia de las partículas de agua y sal atrapadas al interior del aceite. De esta forma lograr que el crudo esté en óptimas condiciones y especificaciones para la refinería.

Un tratador Calentador electrostático está dividido en 4 secciones. La primera ocupa aproximadamente el 15% de longitud y es llamada sección de desgasificación. La segunda sección ocupa aproximadamente el 35% de su longitud y es llamada sección de calentamiento. La tercera sección es llamada Sección central o control de nivel o sección diferencial y esta ocupa alrededor del 10% de su longitud ubicada adyacente a la sección de calentamiento. La cuarta sección ocupa el 40% de la longitud del tratador y se denomina Sección de coalescencia del agua suspendida para producir crudo limpio.

4.2.2 **Características generales del EHT – 250A:** Las características generales del equipo son las siguientes:

Tamaño: 10' ID x 60' S/S

Presión de diseño: 60 PSIG

Presión Operacional: 30 PSIG

Temperatura de diseño: 280 F

Temperatura de operación: 250 F

Condiciones de servicio: 4.400 bopd (Máx)

Oil gravity: 12 API

(Moriche): 13,8 API

Inlet BS&W: 28 vol%

Inlet temp: 150 F

Material de construcción: SA- 516 Gr10

Quemadores:

Combustible: gas natural o crudo

C7061 self checking UV flame detector (explosion proof)

Condiciones de servicio: 8.800 SCFH (Max)

Gas SG: 0,559 @ 60°F

BTU/SCF: 961 (Min)

Tasa de flujo de aceite: 55.8 gph

Oil Viscosity: 100 SSU (Max)

Presión oil combustible: 75 psi

Tasa de flujo aire atomización: 7 SCFM

Duty: 7,9 MMBTU/Hr (Cada uno)

Material de construcción: Hierro fundido

Dual Frequency Power Supply

Power rating: 100 KVA Max

Input voltaje: 480V @ 60 Hz, 3 PH

Secondary: 34 KV

Condiciones de servicio:

95 kW Máx power

50 kW Normal power

4.2.3 Flujo del proceso en el tratador EHT – 250A: El Tratador Calentador Electrostático de Frecuencia Dual es un recipiente horizontal que emplea un patrón de flujo vertical. Las funciones básicas realizadas desde la entrada hasta la salida de aceite limpio son:

- **Separación de Gas Inicial:** El fluido producido ingresa a la unidad por arriba de los “firetubes” en la sección de desgasificación de entrada. El gas libre sale de la corriente del flujo y se iguala a través de las áreas de calentamiento y desgasificación del tratador-calentador. La sección de desgasificación se separa de la de calentamiento por medio de mamparas deflectoras. El líquido viaja descendiendo desde el área de desgasificación y entra en la sección de calentamiento debajo de los “firetubes” donde por descarga se libera el agua libre.

- **Eliminación de Agua Libre:** El nivel de agua en la sección de calentamiento se mantiene por el instrumento LIC-2701 que opera la válvula de control de descarga de agua.
- **Calentamiento y Desgasificación Final:** El aceite y el agua arrastrada fluyen ascendentemente alrededor de los “firetubes”, donde se alcanza la temperatura deseada. El aumento de la temperatura del aceite liberará un poco de gas adicional. El gas liberado de calor se une al gas libre desde la sección de entrada y se descarga del tratador a través de una válvula de salida de gas. Esta válvula está controlada por el PIC-2700. El nivel de aceite es controlado por el LIC-2700 que se encuentra en la sección de calentamiento y se activa por el aumento del nivel de líquido entrante. El control opera la válvula de descarga de aceite limpio. Posteriormente el fluido viaja descendiendo hasta cerca del fondo del vertedero donde se encuentran las aberturas para los distribuidores de la sección de coalescencia.
- **Sección de Coalescencia:** El aceite y el agua arrastrada entran en la sección de coalescencia a través de las aberturas de la mampara-media y se distribuye a todo lo largo de la sección de coalescencia. El nivel de agua se mantiene por un control de interface LIC-2702 que opera la válvula de descarga de agua. El aceite y el agua arrastrada fluyen de forma ascendente y se distribuyen uniformemente para utilizar completamente el área transversal de coalescencia. Las partículas grandes de agua caen nuevamente dentro de la fase de agua y el aceite con el agua arrastrada remanente continúa subiendo hasta la parte superior

del tanque donde es recolectado y descargado por medio de la válvula de salida de aceite.

4.2.4 Características de seguridad EHT – 250A: El sistema de manejo del quemador proporciona los siguientes paros por seguridad:

- Falla de la Flama
- Nivel de Líquido Bajo
- Alta Temperatura de Proceso
- Alta Presión de Gas Combustible
- Baja presión de Gas Combustible
- Baja Presión de Aire de Combustión
- Interbloqueo de Bisagra del Quemador
- Baja Presión de Aire de Atomización
- Alta Temperatura de la Chimenea
- Paro Remoto por el Cliente

Otras características de Seguridad:

- Válvula de Alivio de Seguridad PSV-2700/2800
- Ruptura de Disco PSE-2700/2800

4.3 ÁRBOL DE EQUIPOS Y SUBSISTEMAS ASOCIADOS AL EHT - 250

La Tabla 7 muestra los lazos de control por los que están conformados el equipo y el detalle de los subsistemas y componentes que están asociados al tratador EHT-250A y los cuales van a ser sujetos del análisis RCM:

Tabla 7. Árbol de Equipos Tratador EHT – 250A

Equipo	105005		
Denominación	TRATADOR TÉRMICO ELECTROSTÁTICO EHT-250A		
LAZO DE CONTROL ASOCIADO	NÚMERO DE EQUIPO	TAG DEL EQUIPO / ELEMENTO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO / ELEMENTO
105096			SIST AUXI TRATADOR TÉRMICO EHT-250A
	105097	STR2705	FILTRO ENT AIRE INST EHT-250A
	105099	TAFC2701	TABLERO CTRL PPAL EHT-250A
	105100	TAFC2702	TABLERO CTRL QUEM EHT-250A
	105102	TAFC2703	TABLERO CTRL TRASNFO EHT-250A
	105103	PU2700	TRASNFO 100 KVA EHT-250A
105101			LÍNEA GAS PPAL EHT-250A
	105006	STR2700	FILTRO GAS GENERAL EHT-250A
	105105	PSL2701	PRESION GAS Q1 EHT-250A
	105106	SDV2700	CORTE PRIM GAS PPAL Q1 EHT-250 ^a
	105109	SDY2700	AIRE EHT-250 ^a
	105110	XV2718	VENTEO GAS Q1 EHT-250A
	105111	SDV2701	CORTE SEC GAS PPAL Q1 EHT-250A
	105113	SDY2701	AIRE EHT-250 ^a
	105114	PI2701	PRESION GAS PPAL Q1 EHT-250A
	105115	PCV2701	PRESION GAS PPAL Q1 EHT-250A
	105116	PI2702	PRESIÓN ENT GAS PPAL Q1 EHT-250A
	105118	PSH2702	PRESIÓN ENT GAS Q1 EHT-250A
	105119	PSL2704	PRESIÓN ENT GAS Q1 EHT-250A
	105120	TV2700	MODUL GAS Q1 EHT-250A
	105121	TY2700	CORRIENTE A PRESION EHT-250A
	105122	SXV2700N1	CORTE ENCENDIDO Q1 EHT-250A
	105123	SXV2700N2	CORTE MODUL GAS Q1 EHT-250A
	105124	PSL2711	PRESIÓN GAS Q2 EHT-250A
	105125	SDV2710	CORTE PRIM GAS PPAL Q2 EHT-250A
	105126	SDY2710	AIRE EHT-250 ^a
	105127	XV2728	VENTEO GAS Q2 EHT-250A
	105128	SDV2711	CORTE SEC GAS PPAL Q2 EHT-250A
	105129	SDY2711	AIRE EHT-250 ^a
	105130	PI2711	PRESIÓN GAS PPAL Q2 EHT-250A
	105131	PCV2711	PRESIÓN GAS PPAL Q2 EHT-250A
	105132	PI2712	PRESIÓN ENT GAS PPAL Q2 EHT-250A
	105133	PSH2712	PRESIÓN GAS Q2 EHT-250A
	105134	PSL2714	PRESIÓN GAS Q2 EHT-250A
	105135	TV2710	MODUL GAS Q2 EHT-250A
	105136	TY2710	CORRIENTE A PRESION EHT-250A
	105137	SXV2710N1	CORTE ENCENDIDO Q2 EHT-250A
	105139	SXV2710N2	CORTE MODUL GAS Q2 EHT-250A

	105140	PI2720	PRESIÓN GAS PPAL EHT-250A
105108			LÍNEA GAS PILOTO EHT-250A
	105141	PCV2700	PRESIÓN GAS PILOTO EHT-250A
	105142	PI2703	PRESIÓN GAS PILOTO Q1 EHT-250A
	105143	SDV2703	PRIM GAS PILOTO Q1 EHT-250A
	105144	SDV2704	SEC GAS PILOTO Q1 EHT-250A
	105145	PCV2702	PRESIÓN GAS PILOTO Q1 EHT-250A
	105146	PI2704	PRESIÓN GAS PILOTO Q1 EHT-250A
	105158	MIX2700	AIRE Y GAS PILOTO Q1 EHT-250A
	105159	BSL2700	DETECTOR LLAMA Q1 EHT-250A
	105160	PI2713	PRESIÓN GAS PILOTO Q2 EHT-250A
	105161	SDV2713	PRIM GAS PILOTO Q2 EHT-250A
	105162	SDV2714	SEC GAS PILOTO Q2 EHT-250A
	105163	PCV2712	PRESIÓN GAS PILOTO Q2 EHT-250A
	105164	PI2714	PRESIÓN GAS PILOTO Q2 EHT-250A
	105165	BSL2710	DETECTOR LLAMA Q2 EHT-250A
	105166	MIX2710	AIRE Y GAS PILOTO Q2 EHT-250A
105112			LÍNEA CRUDO COMB EHT-250A
	105098	SDV2712	AIRE PURGA Q2 EHT-250A
	105167	STR2701	FILTRO FUEL OIL EHT-250A
	105168	TI2720	TEMP FUEL OIL EHT-250A
	105169	PCV2720	PRES RETORNO FUEL OIL EHT-250A
	105171	PI2708	PRESIÓN FUEL OIL Q1 EHT-250A
	105172	PCV2705	PRESIÓN FUEL OIL Q1 EHT-250A
	105173	PI2709	PRESIÓN REG FUEL OIL Q1 EHT-250A
	105174	TV2701	MODUL CRUDO COMB Q1 EHT-250A
	105175	SDV2706	NEUM PRIM FUEL OIL Q1 EHT-250A
	105176	PCV2706	PRESIÓN AIRE EHT-250A
	105177	SDY2706	AIRE EHT-250 ^a
	105178	SDV2707	NEUM SEC FUEL OIL Q1 EHT-250A
	105179	PCV2707	PRESIÓN AIRE EHT-250A
	105180	SDY2707	AIRE EHT-250 ^a
	105181	PI2718	PRESIÓN FUEL OIL Q2 EHT-250A
	105182	PCV2715	PRESIÓN FUEL OIL Q2 EHT-250A
	105183	PI2719	PRESIÓN REG FUEL OIL Q2 EHT-250A
	105184	TV2711	MODUL CRUDO COMB Q2 EHT-250A
	105198	SDV2716	NEUM PRIM FUEL OIL Q2 EHT-250A
	105201	PCV2716	PRESION AIRE EHT-250A
	105202	SDY2716	AIRE EHT-250 ^a
	105203	SDV2717	NEUM SEC FUEL OIL Q2 EHT-250A
	105204	PCV2717	PRESIÓN AIRE EHT-250A
	105205	SDY2717	AIRE EHT-250 ^a
	105206	STR2702	FILTRO AIRE ATOM EHT-250A
	105207	PI2705	PRESION AIRE ATOM Q1 EHT-250A

	105208	PCV2703	PRESION AIRE ATOM Q1 EHT-250A
	105209	SDV2705	AIRE ATOM Q1 EHT-250A
	105210	PI2706	PRESION REG AIRE ATOM Q1 EHT-250A
	105211	PSL2703	PRESION AIRE ATOM Q1 EHT-250A
	105212	STR2703	FILTRO AIRE ATOM Q1 EHT-250A
	105213	PCV2704	PRESION AIRE PURGA Q1 EHT-250A
	105217	PI2707	PRESION AIRE PURGA Q1 EHT-250A
	105218	SDV2702	AIRE PURGA Q1 EHT-250A
	105222	PI2715	PRESION AIRE ATOM Q2 EHT-250A
	105223	PCV2713	PRESION AIRE ATOM Q2 EHT-250A
	105227	SDV2715	AIRE ATOM Q2 EHT-250A
	105228	PI2716	PRESION REG AIRE ATOM Q2 EHT-250A
	105229	PSL2713	PRESION AIRE ATOM Q2 EHT-250A
	105230	STR2713	FILTRO AIRE ATOM Q2 EHT-250A
	105232	PCV2714	PRESIÓN AIRE PURGA Q2 EHT-250A
	105233	PI2717	PRESIÓN AIRE PURGA Q2 EHT-250A
105117			QUEMADOR No 1 EHT-250ª
	105104	PSL2705	PRESIÓN AIRE COMBUS Q1 EHT-250A
	105107	CBE2700	Q1(CUER, ARAÑA, BOQ, RESIS) 250A
	105199	MECA2700	MOTOR ELEC BLOWER # 1 EHT-250A
105138			QUEMADOR No 2 EHT-250ª
	105200	PSL2715	PRESIÓN AIRE COMBUS Q2 EHT-250A
	105214	CBE2710	Q2(CUER, ARAÑA, BOQ, RESIS) 250A
	105215	MECA2710	MOTOR ELEC BLOWER # 2 EHT-250A
105157			LAZO CTRL NIVEL CRUDO EHT-250A
	105095	AIT2700	ANALIZ BS&W CRUDO TRAT EHT-250A
	105219	FT2700	FLUJO CRUDO TRATADO EHT-250A
	105220	TI2706	TEMP CRUDO TRATADO EHT-250A
	105221	LV2700	NIVEL CRUDO TRATADO EHT-250A
	105224	LT2700	NIVEL CRUDO PROD EHT-250A
	105225	LSL2703	NIV CRUDO PROD ZON TÉRM EHT-250A
	105231	LSL2700	NIV CRUDO PROD ZON ELEC EHT-250A
105170			DESARENADO Y SAND JET EHT-250A
	105186	XV2703	DESARENADORA ZONA TÉRM EHT-250A
	105189	XV2705	DESARENADORA ZONA TÉRM EHT-250A
	105190	XV2700	DESARENADORA ZONA TÉRM EHT-250A
	105191	XV2701	DESARENADORA ZONA TÉRM EHT-250A
	105192	XV2702	DESARENADORA ZONA TÉRM EHT-250A
	105193	XV2704	DESARENADORA ZONA TÉRM EHT-250A
	105196	XV2706	DESARENADORA ZONA ELEC EHT-250A
	105329	XV2707	DESARENADORA ZONA ELEC EHT-250A
	105332	XV2708	DESARENADORA ZONA ELEC EHT-250A
	105333	XV2709	DESARENADORA ZONA ELEC EHT-250A
	105334	XV2710	DESARENADORA ZONA ELEC EHT-250A

	105335	XV2711	DESARENADORA ZONA ELEC EHT-250A
	105336	XV2712	DESARENADORA ZONA ELEC EHT-250A
	105337	XV2713	DESARENADORA ZONA ELEC EHT-250A
	105435	XV2714	DESARENADORA ZONA ELEC EHT-250A
	105454	XV2715	DESARENADORA ZONA ELEC EHT-250A
	105455	XV2716	DESARENADORA ZONA ELEC EHT-250A
	105456	XV2717	DESARENADORA ZONA ELEC EHT-250A
105197			LAZO CTRL NIVEL INTERFASE EHT-250A
	105457	LT2701	NIVEL INTERFAZ ZONA TÉRM EHT-250A
	105458	LV2701	NIVEL INTERFAZ ZONA TÉRM EHT-250A
	105459	FT2701	FLUJO SAL AGUA ZONA TÉRM EHT-250A
	105460	LT2702	NIVEL INTERFAZ ZONA ELEC EHT-250A
	105461	LV2702	NIVEL INTERFAZ ZONA ELEC EHT-250A
	105462	FT2702	FLUJO SAL AGUA ZONA ELEC EHT-250A
105216			LAZO CTRL PRESIÓN EHT-250A
	105463	PT2700	PRESION GAS PROD EHT-250A
	105464	PI2700	PRESION GAS PROD EHT-250A
	105465	PV2700	PRESIÓN GAS PROD EHT-250A
	105466	PSV2700	PRESIÓN GAS PROD EHT-250A
	105467	PSE2700	DISC RUPT PRES GAS PROD EHT-250A
105226			LAZO CTRL TEMP EHT-250^a
	105436	TT2702	TEMP CHIMENEA Q1 EHT-250A
	105437	TI2705	TEMP CHIMENEA Q1 EHT-250A
	105438	TT2712	TEMP CHIMENEA Q2 EHT-250A
	105439	TI2715	TEMP CHIMENEA Q2 EHT-250A
	105440	TT2700	TEMP PROCESO EHT-250A
	105442	TI2703	TEMP PROCESO ZONA TÉRM EHT-250A
	105444	TI2704	TEMP PRCESO ZONA ELEC EHT-250A
	105445	TT2701	TEMP CABEZA EQUIPO Q1 EHT-250A
	105446	TI2707	TEMP CABEZA EQUIPO Q1 EHT-250A
	105447	TT2711	TEMP CABEZA EQUIPO Q2 EHT-250A
	105448	TI2708	TEMP CABEZA EQUIPO Q2 EHT-250A
	105450	TSH2701	TEMP PROCESO EHT-250A

Fuente: Autores

4.4 REVISIÓN DE LOS HISTÓRICOS DE FALLAS DE COMPONENTES ASOCIADOS AL EHT – 250A

Inicialmente la empresa contaba con el software MP2 para para la gestión de mantenimiento y el sistema SPRING para la gestión de compras,

estos dos sistemas fueron reemplazados por el sistema SAP en el mes de agosto del año 2014, esto debido a que el SAP es un software con más herramientas que facilitan la gestión de mantenimiento y la gestión de compras. Todo integrado en un mismo sistema. Por tal razón se tomó el histórico de fallas de 1 año atrás de los eventos registrados en el sistema SAP ya que en el MP2 la información encontrada en este sistema no era muy clara. Basado en la información disponible en el módulo de mantenimiento del sistema SAP, se saca el registro de históricos de fallas del EHT desde septiembre de 2014 a la fecha. En la Tabla 8 se puede evidenciar ese histórico de fallas, componentes fallados y descripción de los mismos.

Tabla 8. Histórico de Fallas Tratador EHT – 250A

Fecha entrada	Inicio programado	Fecha liberación real	Fecha inicio real	Fecha real de fin de la orden	Equipo	Prioridad	Texto breve	Puesto de trabajo responsable
28-ago-14	05-sep-14	29-ago-14	05-sep-14	05-sep-14	105005	3	MTTO ELEC DIARIO	MOELE-B
28-ago-14	05-sep-14	30-ago-14	05-sep-14	05-sep-14	105005	3	REVISAR ESTADO REG GAS PPAL Q#1	MOINS-B
28-ago-14	05-sep-14	30-ago-14	05-sep-14	05-sep-14	105005	3	REVISAR ESTADO REG GAS PPAL Q#2	MOINS-A
03-sep-14	10-sep-14	06-sep-14	10-sep-14	16-sep-14	105005	3	REVISAR DIFUSORES Q#1	MOINS-B
03-sep-14	13-feb-15	06-feb-15	12-feb-15		105005	3	REVISAR DIFUSORES Q#2	MOINS-B
04-sep-14	11-sep-14	06-sep-14	11-sep-14	11-sep-14	105005	3	RETIRO INSTRU CAMBIO DIFUS Q#2	MOINS-B
04-sep-14	12-sep-14	06-sep-14	12-sep-14	12-sep-14	105005	3	PVO RUTINARIO	MOELE-B
10-sep-14	19-sep-14	12-sep-14	19-sep-14	19-sep-14	105005	3	PVO RUTINARIO	MOELE-B
15-sep-14	26-sep-14	20-sep-14	26-sep-14	26-sep-14	105005	3	PVO RUTINARIO	MOELE-B
23-sep-14	04-oct-14	26-sep-14	04-oct-14	03-feb-15	105005	3	PVO RUTINARIO	MOELE-B
25-sep-14	01-oct-14	26-sep-14	01-oct-14	31-ene-15	105005	3	VERIFICAR ESTADO DE DIFUSORES	MOINS-B
01-oct-14	21-ene-15	03-oct-14	22-ene-15	03-feb-15	105215	3	CAMBIAR ROD MOTOR BLOWER Q#2	MOELE-A
01-oct-14	08-oct-14	03-oct-14	08-oct-14	08-oct-14	105005	3	DESCON-CONEXION ELECT. QUEM-1	MOELE-A
02-oct-14	08-oct-14	03-oct-14	08-oct-14	08-oct-14	105005	3	CAMBIAR DIFUSORES Q#1	MOINS-B
02-oct-14	08-oct-14	03-oct-14	08-oct-14	08-oct-14	105115	3	MTTO REG PCV 2701 Q#1	MOINS-B
02-oct-14	07-oct-14	03-oct-14	07-oct-14	07-oct-14	105099	3	MTTO PREV TABLERO CONT	MOINS-B
03-oct-14	10-oct-14	03-oct-14	10-oct-14	10-oct-14	105005	3	PVO RUTINARIO	MOELE-B
03-oct-14	08-oct-14	03-oct-14			105005	3	CAMBIAR DIFUSORES Q#1	MOINS-B
06-oct-14	06-oct-14	06-oct-14	06-oct-14	06-oct-14	105006	3	REVISAR SWITCH BAJO FUEGO Q#1	MOINS-A
06-oct-14	17-oct-14	10-oct-14	17-oct-14	17-oct-14	105005	3	PVO RUTINARIO	MOELE-B
07-oct-14	24-oct-14	17-oct-14			105005	3	PVO MANTO RUTINARIO A EHT	MOELE-B
09-oct-14	14-oct-14	10-oct-14	14-oct-14	14-oct-14	105197	3	CALIBRAR TX INTERFAZ LT2702	MOINS-B
09-oct-14	14-oct-14	10-oct-14	14-oct-14	14-oct-14	105197	3	CALIBRAR TX INTERFAZ LT2701	MOINS-B
15-oct-14	15-oct-14	24-oct-14			105005	3	REVISAR FALLA ELECT. TRANSF	MOELE-A

16-oct-14	20-oct-14	17-oct-14	20-oct-14	20-oct-14	105197	1	CALIBRAR TX INTERFAZ LT2702	MOINS-B
16-oct-14	20-oct-14	17-oct-14	20-oct-14	20-oct-14	105197	1	CALIBRAR TX INTERFAZ LT2701	MOINS-B
23-oct-14	31-oct-14	24-oct-14	31-oct-14	31-oct-14	105005	3	CAL Y LIMPIEZA PCV2700	MOINS-B
23-oct-14	31-oct-14	24-oct-14	31-oct-14	31-oct-14	105141	3	CAL Y LIMPIEZA PCV2700	MOINS-B
23-oct-14	31-oct-14	24-oct-14	31-oct-14	31-oct-14	105144	3	MTTO SDV2704	MOINS-B
23-oct-14	31-oct-14	24-oct-14	31-oct-14	31-oct-14	105145	3	REV Y LIMPIEZA PCV2702	MOINS-B
23-oct-14	26-nov-14	24-oct-14	31-oct-14	26-nov-14	105158	3	REV Y LIMPIEZA MIX2700	MOINS-B
23-oct-14	31-oct-14	24-oct-14	31-oct-14	31-oct-14	105159	3	REV Y LIMPIEZA BSL2700	MOINS-B
23-oct-14	31-oct-14	24-oct-14	31-oct-14	31-oct-14	105161	3	MTTO SDV2713	MOINS-B
23-oct-14	31-oct-14	24-oct-14	31-oct-14	31-oct-14	105162	3	MTTO SDV2714	MOINS-B
23-oct-14	31-oct-14	24-oct-14	31-oct-14	31-oct-14	105163	3	REV Y LIMPIEZA PCV2712	MOINS-B
23-oct-14	31-oct-14	24-oct-14	31-oct-14	31-oct-14	105165	3	REV Y LIMPIEZA BSL2710	MOINS-B
23-oct-14	31-oct-14	24-oct-14	31-oct-14	31-oct-14	105005	3	REV Y LIMPIEZA MIX2710	MOINS-B
12-nov-14	07-dic-14	28-nov-14	07-dic-14	07-dic-14	105005	3	INSTALAR TX FLUJO ENTRADA	MOINS-B
13-nov-14	26-nov-14	21-nov-14	26-nov-14	26-nov-14	105141	3	CAL Y LIMPIEZA PCV2700	MOINS-B
13-nov-14	26-nov-14	21-nov-14	26-nov-14	26-nov-14	105005	3	MTTO SDV2703	MOINS-B
13-nov-14	26-nov-14	21-nov-14	26-nov-14	26-nov-14	105005	3	MTTO SDV2704	MOINS-B
13-nov-14	19-nov-14				105005	3	REV Y LIMPIEZA MIX3100	MOINS-B
13-nov-14	26-nov-14	21-nov-14	26-nov-14	26-nov-14	105005	3	REV Y LIMPIEZA BSL2700	MOINS-B
13-nov-14	26-nov-14	21-nov-14	26-nov-14	26-nov-14	105005	3	MTTO SDV2713	MOINS-B
13-nov-14	26-nov-14	21-nov-14	26-nov-14	26-nov-14	105005	3	MTTO SDV3114	MOINS-B
13-nov-14	26-nov-14	21-nov-14	26-nov-14	26-nov-14	105005	3	REV Y LIMPIEZA BSL2710	MOINS-B
13-nov-14	26-nov-14	21-nov-14	26-nov-14	26-nov-14	105005	3	REV Y LIMPIEZA MIX2710	MOINS-B
13-nov-14	22-nov-14	21-nov-14	26-nov-14	30-nov-14	105197	1	CALIBRAR TX INTERFAZ LT2702	MOINS-A
13-nov-14	21-nov-14	14-nov-14	21-nov-14	21-nov-14	105117	3	MTTO Y CALIB MODULAD GAS Q1	MOINS-B
13-nov-14	03-ene-15	14-nov-14	03-ene-15	03-ene-15	105138	3	MTTO Y CALIB MODULAD GAS Q2	MOINS-B
20-nov-14	27-nov-14	21-nov-14	27-nov-14	27-nov-14	105005	3	VERIFICAR ESTADO DIFUSORES Q1	MOINS-B
20-nov-14	27-nov-14	21-nov-14	27-nov-14	27-nov-14	105005	3	VERIFICAR ESTADO DIFUSORES Q2	MOINS-B
23-nov-14	23-nov-14	25-mar-15			105138	3	Revisión motor Blower quemador 2	MOELE-A
26-nov-14	27-nov-14	26-mar-15	27-nov-14	27-nov-14	105138	3	Revisar quemador 2	MOINS-B

27-nov-14	04-dic-14	28-nov-14	04-dic-14	04-dic-14	105197	3	CALIBRAR VALVULA LV2701	MOINS-B
27-nov-14	04-dic-14	28-nov-14	04-dic-14	04-dic-14	105197	3	CALIBRAR VALVULA LV2702	MOINS-B
04-dic-14	11-dic-14	05-dic-14			105117	3	DESCON Y CONEX ELE QUEMADOR 1	MOELE-B
04-dic-14	23-dic-14	05-dic-14	23-dic-14	23-dic-14	105005	3	CAMBIAR DIFUSORES Q1	MOINS-B
11-dic-14	17-dic-14	15-dic-14	17-dic-14	17-dic-14	105159	3	CAMBIAR CORAZA FOTOCELDA Q1	MOINS-B
11-dic-14	17-dic-14	15-dic-14	17-dic-14	17-dic-14	105107	3	CAMBIAR CORAZA SW COMPUERTA Q1	MOINS-B
11-dic-14	17-dic-14	15-dic-14	17-dic-14	17-dic-14	105138	3	CAMBIAR CORAZA SW COMPUERTA Q2	MOINS-B
11-dic-14	17-dic-14	15-dic-14	17-dic-14	17-dic-14	105165	3	CAMBIAR CORAZA FOTOCELDA Q2	MOINS-B
18-dic-14	23-dic-14	19-dic-14	23-dic-14	23-dic-14	105199	3	DESCONEXION - CONEXION ELCT Q#1	MOELE-B
19-dic-14	25-mar-15	25-mar-15			105215	3	CAMBIO BRG MOTOR BLOWER #2	MOELE-B
19-dic-14	19-dic-14	25-mar-15			105199	3	CAMBIO DE BRG MOTOR BLOWER #1	MOELE-B
25-dic-14	05-ene-15	27-dic-14	03-ene-15	03-ene-15	105005	3	MTTO PLC SISTEMA DE CONTROL	MOCTRL
27-dic-14	10-ene-15	02-ene-15	10-ene-15	10-ene-15	105005	3	CAMBIAR CORAZA PSL2715	MOINS-B
19-ene-15	19-ene-15	19-ene-15	19-ene-15	19-ene-15	105197	1	CALIBRAR LT2701 -	MOINS-B
19-ene-15	19-ene-15	19-ene-15	19-ene-14	19-ene-15	105197	1	CALIBRAR TX INTERFAZ LT2702	MOINS-A
22-ene-15	28-ene-15	27-ene-15	28-ene-15	28-ene-15	105100	3	MANTO TABLERO QUEMADOR	MOINS-B
12-feb-15	16-feb-15	13-feb-15	16-feb-15	16-feb-15	105117	3	MTTO LINEA PILOTO Q#1	MOINS-B
12-feb-15	16-feb-15	13-feb-15	16-feb-15	16-feb-15	105138	3	MTTO LINEA PILOTO Q#2	MOINS-B
09-mar-15	09-mar-15	10-mar-15	09-mar-15		105102	1	REVISAR-DIAGNOSTICA FALLA ELECT	MOELE-B
14-mar-15	20-may-15	14-mar-15	14-mar-15		105117	3	MTTO QUEMADOR #1 MTB	MOINS-A
14-mar-15	14-mar-15	14-mar-15	14-mar-15	14-mar-15	105138	3	Revisar Quemador #2 MTB	MOINS-B
08-abr-15	15-abr-15	10-abr-15	15-abr-15	18-abr-15	105197	3	CALIBRAR LT2701 -	MOINS-B
08-abr-15	13-abr-15	10-abr-15	13-abr-15	18-abr-15	105197	3	CALIBRAR TX INTERFAZ LT2702	MOINS-A
11-abr-15	11-abr-15	11-abr-15	10-abr-15	10-abr-15	105138	1	FALLA SECUENCIA ENCENDIDO Q#2	MOINS-B
15-abr-15	20-abr-15	17-abr-15	20-abr-15	20-abr-15	105005	3	MTTO PID CTRL FLUJO	MOCTRL

Fuente: SAP (Información organizada por los Autores)

A continuación se detalla el significado del encabezado de cada columna Del histórico de fallas.

Fecha de Entrada: es la fecha estimada en la cual se ejecutara la actividad.

Inicio Programado: Es la Fecha Estimada en la cual se ejecutara la Actividad.

Fecha liberación real: Es la Fecha en la cual se autoriza la ejecución de la actividad.

Fecha de Inicio Real: Es la Fecha en la que Inicia la Ejecución de la Actividad.

Fecha Real de Fin de la Orden: Es la Fecha en la cual Finalización la Ejecución de la actividad.

Equipo: es el número (auto numérico) de equipo asignado al activo generador por SAP.

Prioridad: es el tiempo de atención del evento:

- **Prioridad 1 y 2:** es el tiempo de atención de la actividad menor a 7 días.
- **Prioridad 3:** es el tiempo de atención de la actividad de 8 a 14 días.
- **Prioridad 4:** es el tiempo de atención de la actividad de 15 a 21 días.

Texto Breve: Es la descripción de la actividad requerida.

Puesto de trabajo responsable: Disciplina que ejecuta la actividad. (Electricidad, Mecánica, Instrumentación, Cuadrilla de Producción)

Para el caso de estudio, el número asignado por el sistema SAP al Equipo EHT 250 A (Tratador Electrostático 250 A) corresponde al número 105005. Por tal razón algunas de las actividades relacionadas en el histórico de fallas tienen este número de equipo asignado. Es de aclarar que cada lazo de control y componentes que conforman estos lazos del equipo también tienen un número de equipo diferente al mencionado y que por errores en la digitación de la Orden de trabajo estos números de equipos no fueron cargados al equipo a intervenir.

4.5 ELABORACIÓN DEL ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS DE LOS COMPONENTES ASOCIADOS AL EHT – 250A

Basado en la información disponible en los manuales de operación y mantenimiento, más el aporte del grupo de Revisión RCM, más otros técnicos y experimentados en la operación, monitoreo y mantenimiento de equipos de este tipo, se elaboró Análisis de Modos y Efectos de Falla del equipo EHT-250. En la Tabla 9 se puede evidenciar el resultado de dicho análisis.

Tabla 9. Análisis de Modo y Efecto de Fallas Tratador EHT – 250A

AMEF - EHT 250 A							
COMPONENTE		FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE FALLA
			PÉRDIDA DE LA FUNCIÓN		CAUSA DE LA FALLA		QUE SUCEDE CUANDO SE PRODUCE UNA FALLA
1	SISTEMA AUXILIAR TRATADOR TÉRMICO	Limpiar Aire para operación de instrumentos STR2705	A	No Filtra (No Limpia) Aire	1	Filtro Obstruido	No hay paso de aire a los instrumentos,
							No hay apertura y cierre de válvulas de control.
							Genera Parada de Equipo
	SISTEMA AUXILIAR TRATADOR TÉRMICO	Limpiar Aire para operación de instrumentos STR2705	A	No Filtra (No Limpia) Aire	2	El filtro no está en su posición adecuada	No hay paso de aire a los instrumentos
							No hay apertura y cierre de válvulas de control.
							Suministra aire sucio al sistema ocasionando errores en la operación de los instrumentos.
SISTEMA AUXILIAR TRATADOR TÉRMICO	Energizar Tablero de sistema de Control de Instrumentos T AFC2701	A	No suministra energía al Sistema de Control de Instrumentos	4	Disparo de Totalizador	No hay control del equipo.	
						Genera Parada de Equipo	

		Energizar Tablero de Control de Quemadores T AFC2702	A	No suministra energía al Tablero de Control de Quemadores	5	Disparo de Totalizador	No Funcionan quemadores Genera Parada de Equipo
		Energizar Tablero de Control de Transformador T AFC2703	A	No suministra energía al Tablero de Control de Transformador	6	Disparo de Totalizador	No Funciona Transformador
		Energizar Placas Electroestáticas hasta 90 kW para la separación de agua PU 2700	A	No Energiza Placas	7	Daño del Transformador	No Funciona Transformador
						Placas Electroestáticas caídas en interior de equipo	Corto Interno.
							Zona Electroestática Fuera de Operación.
		2	LÍNEA DE GAS PRINCIPAL	Suministrar 8400 scfh a 2.8 "WC de gas para encendido Y operación de quemadores	B	No suministra 8400 scfh a 2.8 "WC de gas	8
9	Regulador Quemador 1 Averiado Cerrado						Baja Presión de Gas
							Genera Parada de Quemador
10	Regulador Quemador 1 Averiado Abierto						Alta Presión de Gas
							Genera Parada de Quemador
11	Regulador Quemador 2 desajustado						No genera la cantidad de gas y presión necesaria para operación de quemador
12	Regulador Quemador 2 Averiado Cerrado	Baja Presión de Gas					

						Genera Parada de Quemador	
					13	Regulador Quemador 2 Averiado Abierto	Alta Presión de Gas Genera Parada de Quemador
					14	Filtro Obstruido	No genera la cantidad de gas y presión necesaria para operación de quemador
					15	Válvulas de Corte de gas Quemador 1 No Operan (Abren)	No hay paso de gas. Genera Parada de Quemador
					16	Válvulas de Corte de gas Quemador 2 No Operan (Abren)	No hay paso de gas. Genera Parada de Quemador
3	LÍNEA DE GAS PILOTO	Suministrar 1.75 PSI de gas para encendido de quemadores	C	No suministra 1.5 PSI de gas	17	Regulador principal desajustado	No genera la cantidad de gas y presión necesaria.
					18	Regulador principal Averiado, Cerrado	Baja Presión de Gas Genera Parada de Quemador
					19	Regulador principal Averiado, Abierto	Alta Presión de Gas Genera Parada de Quemador
					20	Regulador de Quemador 1 desajustado	No genera la cantidad de gas y presión necesaria
					21		Baja Presión de Gas

					Regulador de Quemador 1 y Averiado. Cerrado	Genera Parada de Quemador
				22	Regulador de Quemador 1 Averiado Abierto	Alta Presión de Gas Genera Parada de Quemador
				23	Regulador de Quemador 2 desajustado	No genera la cantidad de gas y presión necesaria
				24	Regulador de Quemador 2 y Averiado. Cerrado	Baja Presión de Gas Genera Parada de Quemador
				25	Regulador de Quemador 2 Averiado Abierto	Alta Presión de Gas Genera Parada de Quemador
				26	Válvulas de Corte de gas Quemador 1 No Operan (Abren)	No hay paso de gas. Genera Parada de Quemador
				26	Válvulas de Corte de gas Quemador 2 No Operan (Abren)	No hay paso de gas. Genera Parada de Quemador
4	LAZO CTRL PRESION	Mantener una presión de Operación de Proceso entre 14.5 a 57 psig	D		Sistema Opera por debajo de la presión atmosférica 14.5 psig	No hay entrada de Fluido y la válvula de Control de Descarga de Gas queda abierta y válvulas de control de nivel quedan cerradas. Colapso de Recipiente Genera Parada de Equipo

			D	Sistema opera por encima de 57 PSIG	28	Hay entrada de Fluido y la Válvula de Control de descarga de gas y nivel de líquidos no abre.	Presiona Equipo Dispara Válvula de Seguridad Daño en Disco de ruptura Derrame y Contaminación
5	LAZO CTRL TEMP	Mantener una temperatura de proceso entre 170 y 220 °F para calentamiento de fluido	E	Mantiene Temperatura por debajo de 170 °F	29	Daño Modulo de PLC	Genera Parada de Equipo
					30	Quemador 1 No enciende Por daño en TT 2702, TT 2700 y TT 2701	No se genera la temperatura necesaria para realizar proceso de separación de agua
							Genera Parada de Quemador
			31	Quemador 2 No enciende Por daño en TT 2712, TT 2700 y TT 2711	No se genera la temperatura necesaria para realizar proceso de separación de agua		
Genera Parada de Quemador							
			E	Mantiene Temperatura por Encima de 220 °F	31	Quemador 1 No Se apaga Por daño en TT 2702, TT 2700 y TT 2701. Señal que transmite es diferente a la temperatura real. Valor de señal por debajo de la real.	Se generan excesos de temperatura cambiando la posición de los niveles de fluido en el equipo

					32	<p>Quemador 2 No Se apaga Por daño en TT 2712, TT 2700 y TT 2711. Señal que trasmite es diferente a la temperatura real. Valor de señal por debajo de la real.</p>	<p>Se generan excesos de temperatura cambiando la posición de los niveles de fluido en el equipo</p>
6	LAZO CTRL NIVEL INTERFASE	Mantener hasta 20 % de concentración de agua en Zona Térmica	F	Mantiene concentraciones de agua por encima del 20 %	33	Válvula de Control de Descarga de Crudo Abre, Válvula de Control de Descarga de Agua Queda Cerrada y válvula de entrada de Fluido Abierta	No hay control de Nivel
						Operación de lazo en Manual	
						Tiempos de Entrega Demorados	
						Crudo fuera de especificaciones	
					34	Desajuste en Sensor de Interface	Control de Nivel desajustado
							Operación de lazo en Manual
					35	Daño en Sensor de Interface	No hay control de Nivel
Operación de lazo en Manual							
		Crudo fuera de especificaciones					
36		Control de Nivel desajustado					

					Válvula Control de descarga de agua Desajustada	Crudo fuera de especificaciones
				37	Válvula Control de descarga de agua Averiadada. Queda Cerrada.	No hay control de Nivel
						Operación de lazo en Manual
						Crudo fuera de especificaciones
	Mantener hasta 20 % de concentración de agua en Zona de Coalescencia	F	Mantiene concentraciones de agua por encima del 20 %	38	Válvula de Control de Descarga de Crudo Abre, Válvula de Control de Descarga de Agua Queda Cerrada y válvula de entrada de Fluido Abierta	No hay control de Nivel
						Operación de lazo en Manual
						Tiempos de Entrega Demorados
						Crudo fuera de especificaciones
				39	Desajuste en Sensor de Interface	Control de Nivel desajustado
						Operación de lazo en Manual
						Crudo fuera de especificaciones
				40	Daño en Sensor de Interface	No hay control de Nivel
						Operación de lazo en Manual
						Crudo fuera de especificaciones
				41	Válvula Control de descarga de agua Desajustada	Control de Nivel desajustado
						Crudo fuera de especificaciones

					42	Válvula Control de descarga de agua Averiada. Queda Cerrada.	No hay control de Nivel Operación de lazo en Manual Crudo fuera de especificaciones
7	LAZO CTRL NIVEL CRUDO	Mantener hasta 80 % de concentración de Crudo en Vasija	G	Mantiene concentraciones de crudo a un valor inferior al 80 %	43	Válvula de Control de Descarga de Crudo Abre, Válvula de Control de Descarga de Agua Queda Cerrada y válvula de entrada de Fluido Abierta	Genera Reprocesos, Operación Manual, Demora en Tiempos de Entrega de Crudo
					44	Desajuste de Transmisor de Nivel	Control de Nivel desajustado
							Operación de lazo en Manual
							Tiempos de Entrega Demorados
45	Daño Transmisor de Nivel de Crudo	No hay control de Nivel Operación de lazo en Manual Tiempos de Entrega Demorados					
8	LÍNEA CRUDO COMBUSTIBLE	Mantener una presión de operación en la línea de crudo entre 40 y 60 PSIG y 80 a 100 Psi en la línea de Aire de atomización para operación de quemadores con Crudo	H	Mantiene una presión en la línea de crudo inferior a 40 PSIG	49	Filtro Obstruido	No Hay presión de crudo para encendido de quemadores Genera Parada de Equipo
					50	Regulador Principal No Funciona. Queda Abierto	No Hay presión de crudo para encendido de quemadores

						Genera Parada de Equipo
				51	Regulador de Quemador 1 No funciona. Queda Cerrado	No Hay presión de crudo para encendido de quemadores Genera Parada de Quemador
				52	Regulador de Quemador 2 No funciona. Queda Cerrado	No Hay presión de crudo para encendido de quemadores Genera Parada de Quemador
			H			
				53	Regulador Principal No Funciona. Queda Cerrado	Hay Sobrepresión Genera Paro de Equipo
				54	Regulador de Quemador 1 No funciona. Queda Cerrado	No hay Fluido para encendido de quemador Genera Parada de Quemador
				55	Regulador de Quemador 2 No funciona. Queda Abierto	No hay Fluido para encendido de quemador Genera Parada de Quemador
			H			
				56	Filtro Obstruido	No Hay presión de Aire para atomización Genera Parada de Equipo
				57	Regulador de presión línea de atomización Quemador 1 No	No Hay presión de Aire para atomización

					funciona. Queda Cerrado	Genera Parada de Quemador		
				58	Regulador de presión línea de atomización Quemador 2 No funciona. Queda Cerrado	No Hay presión de Aire para atomización Genera Parada de Quemador		
				59	Válvula de Corte línea de atomización quemador 1 no abre	No Hay presión de Aire para atomización Genera Parada de Quemador		
				60	Válvula de Corte línea de atomización quemador 2 no abre	No Hay presión de Aire para atomización Genera Parada de Quemador		
			H		Mantiene una presión en la línea de aire de atomización superior a 100 psi	61	Regulador de presión línea de atomización Quemador 1 No funciona. Queda Abierto	Exceso de presión de Aire para atomización Mala Combustión
						62	Regulador de presión línea de atomización Quemador 2 No funciona. Queda Abierto	Exceso de presión de Aire para atomización Mala Combustión
						63	Válvula de Corte línea de atomización	Exceso de presión de Aire para atomización

					quemador 1 Queda Abierta	Mala Combustión
				64	Válvula de Corte línea de atomización quemador 2 Queda Abierta	Exceso de presión de Aire para atomización
						Mala Combustión
9	QUEMADOR No 1	Quemar Gas o Crudo a una velocidad de 3450 rpm	I	No quema Gas o Crudo	65 No Enciende Motor	Quemador Parado
					66 Fococelda Averiada	Quemador Parado
					67 Daño Tubo de Fuego	Quemador Parado
				68	Switch de Alta presión Combustión Averiado	Quemador Parado
10	QUEMADOR No 2	Quemar Gas o Crudo a una velocidad de 3450 rpm	J	No quema Gas o Crudo	69 No Enciende Motor	Quemador Parado
					70 Fococelda Averiada	Quemador Parado
					71 Daño Tubo de Fuego	Quemador Parado
				72	Switch de Alta presión Combustión Averiado	Quemador Parado
11	DESARENADO Y SAND JET	Remover sólidos en el interior de la vasija	K	No remueve sólidos.	73 Daño en módulo PLC	Válvulas de zona de Térmica y Coalescencia fuera de operación.
						Acumulación de Sólidos en Interior de Vasija
						Crudo fuera de especificaciones
				74	Actuadores de válvulas Averiadas	Válvulas de zona de Térmica y Coalescencia fuera de operación.

						Acumulación de Sólidos en Interior de Vasija
						Crudo fuera de especificaciones
				75	Válvulas con Daño en Mecanismo	Válvulas de zona de Térmica y Coalescencia fuera de operación.
						Acumulación de Sólidos en Interior de Vasija
						Crudo fuera de especificaciones

Fuente: SAP (Información organizada por los Autores)

4.6 ELABORACIÓN DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD ASOCIADO AL EHT – 250A

Basado en la información disponible en los manuales de operación y mantenimiento más el aporte del grupo de Revisión RCM más otros técnicos y experimentados en la operación, monitoreo y mantenimiento de equipos de este tipo, se procedió a elaborar el análisis de criticidad al tratador EHT – 250 siguiendo los siguientes parámetros y condiciones. En las Tablas 10-13 se muestran los criterios elegidos y la ponderación de cada uno para desarrollar el análisis de criticidad.

Tabla 10. Parámetros de Frecuencia para análisis de criticidad

FRECUENCIA DE FALLAS		
1	Excelente	0 fallas en el año
2	Baja	Entre 1 y 2 fallas en el año
3	Media	Entre 3 y 4 fallas en el año
4	Alta	Entre 5 o más fallas

Fuente: Autores

Tabla 11. Ponderación de Consecuencia para análisis de criticidad

CONSECUENCIAS	Ponderación
MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD	40%
COSTOS DE MANTENIMIENTO	15%
IMPACTO OPERACIONAL	15%
DISPONIBILIDAD DE MATERIAS PRIMAS Y SUMINISTROS	10%
IMPACTO POR BAJA MANTENIBILIDAD	20%

Fuente: Autores

Tabla 12. Parámetros de Consecuencia para análisis de criticidad

MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD	Valoración
Afecta la seguridad humana y el medio ambiente, produciendo daños severos	40
Provoca incapacidades y viola las normas ambientales	30
Provoca daños menores a las personas	20
Provoca daños menores a las instalaciones y el medio ambiente sin violar las normas ambientales	10
No Afecta el medio ambiente, ni las personas, ni las instalaciones	0
COSTOS DE MANTENIMIENTO	Valoración
La reparación es superior a \$50.000.000	15
Reparación entre \$35'000.000 y \$50'000.000	11
Reparación entre \$10'000.000 y \$35'000.000	7
Reparación entre \$1.000.000 y \$10.000.000	5
Reparaciones inferiores a \$200.000	3
IMPACTO OPERACIONAL	Valoración
Hay paro total de la operación por más de 24 horas	15
Hay paro parcial de la operación por más de 12 horas	11
Hay paro parcial de la operación por menos de 4 horas	7
Hay paro parcial de la operación de hasta una hora	3
No hay paro de operación	0
DISPONIBILIDAD DE MATERIAS PRIMAS Y SUMINISTROS	Valoración
El aprovisionamiento de materias primas y suministros se demora más de 1 mes	10

El aprovisionamiento de materias primas y suministros se demora entre 3 y 4 semanas	8
El aprovisionamiento de materias primas y suministros se demora entre 1 y 2 semanas	6
El aprovisionamiento de materias primas y suministros se demora menos de 1 semana	4
El aprovisionamiento de materias primas y suministros se demora menos de 1 día	2
IMPACTO POR BAJA MANTENIBILIDAD	Valoración
No se cuenta con equipos de respaldo para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes. Más de 9 horas de parada	20
No se cuenta con equipos de respaldo para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística cortos. Tiempo de parada de 4.1 a 9 horas	15
Se cuenta con equipos de respaldo que logran cubrir de forma parcial el impacto de la producción. Tiempos de reparación y logística intermedios. Tiempo de 2.1 a 4 horas de parada.	10
Se cuenta con equipos de respaldo. Tiempos de parada de 1.1 a 2 horas.	5
Se cuenta con equipos de respaldo. Tiempos Cortos de reparación y logística. Tiempo entre 0 a 1 hora de parada.	0

Fuente: Autores

Tabla 13. Ponderación para determinar la criticidad

		CRITICIDAD				
		FRECUENCIA	4			
3						
2						
1						
		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
		CONSECUENCIA				

Crítico	C
Semi-crítico	SC
No crítico	NC

Fuente: Autores

Una vez se han presentado los anteriores criterios para determinar la criticidad de los subsistemas y componentes del tratador EHT – 250A, se realiza ese análisis, del cual se obtiene el lazo crítico, de ahí se obtiene el componente crítico del lazo y a partir de allí se plantea el árbol lógico de decisión. Los resultados de la aplicación son los siguientes:

Tabla 14. Análisis de Criticidad EHT – 250A

EQUIPO EHT 250 A- ANALISIS DE CRITICIDAD											
Criticidad = Frecuencia x Consecuencia											
Consecuencia= medio ambiente y seguridad + costos de mantenimiento+ impacto operacional+ disponibilidad de repuestos+ trazabilidad en los datos											
	SIST AUXI TRATADOR TERMICO	LINEA DE GAS PRINCIPAL	LINEA DE GAS PILOTO	LAZO CTRL PRESION	LAZO CTRL TEMP	LAZO CTRL NIVEL INTERFASE	LAZO CTRL NIVEL CRUDO	LINEA CRUDO COMBUSTIBLE	QUEMADOR No 1	QUEMADOR No 2	DESARENADO Y SAND JET
FRECUENCIA	2	1	2	1	2	3	3	2	2	2	1
Medio ambiente y seguridad	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
Costos de mantenimiento	15	5	5	15	5	3	3	5	7	7	5
Impacto operacional	0	15	15	25	15	0	0	15	15	15	10
Disponibilidad de repuestos	8	10	10	10	8	10	10	8	10	10	6
Impacto por baja mantenibilidad	4	4	4	2	4	10	10	6	10	10	6
CONSECUENCIA	27	34	34	62	32	23	23	34	42	42	27
Criticidad = Frecuencia x Consecuencia	54	34	68	62	64	69	69	68	84	84	27

Fuente: Autores

Tabla 15. Ponderación de Subsistemas de acuerdo al Análisis de Criticidad del EHT – 250A

EQUIPO	CRITICIDAD	ESTADO
SIST AUXI TRATADOR TÉRMICO	54	SC
LINEA DE GAS PRINCIPAL	29	NC
LINEA DE GAS PILOTO	58	SC
LAZO CTRL PRESION	57	NC
LAZO CTRL TEMP	54	SC
LAZO CTRL NIVEL INTERFASE	69	C
LAZO CTRL NIVEL CRUDO	69	C
LINEA CRUDO COMBUSTIBLE	58	SC
QUEMADOR No 1	84	SC
QUEMADOR No 2	84	SC
DESARENADO Y SAND JET	27	NC

Fuente: Autores

Tabla 16. Análisis de Criticidad LAZO CTRL NIVEL INTERFASE

LAZO CTRL NIVEL INTERFASE				
Criticidad = Frecuencia x Consecuencia				
Consecuencia= medio ambiente y seguridad + costos de mantenimiento+ impacto operacional+ disponibilidad de repuestos+ Impacto por Baja Mantenibilidad				
	Válvula de descarga de agua Z. Térmica LV-2701.	Sensor de Interface Z. Térmica LT 2701	Válvula de descarga de agua Z. Coalescencia LV-2702.	Sensor de Interface Z. Coalescencia LT 2702
Frecuencia	2	3	2	3
Medio ambiente y seguridad	0	0	0	0
Costos de mantenimiento	7	7	7	7
Impacto operacional	10	0	10	0
Disponibilidad de repuestos	10	10	10	10
Impacto por baja mantenibilidad	6	10	6	10
TOTAL	33	27	33	27
Criticidad = Frecuencia x Consecuencia	66	81	66	81

Fuente: Autores

Tabla 17. Ponderación de Componentes de acuerdo al Análisis de Criticidad del LAZO CTRL NIVEL INTERFASE

COMPONENTE	CRITICIDAD	ESTADO
Vavlvula de descarga de agua Z. Térmica LV-2701.	66	SC
Sensor de Interfase Z. Termica LT 2701	81	C
Vavlvula de descarga de agua Z. Coalescencia LV-2702.	66	SC
Sensor de Interfase Z. Coalescencia LT 2702	81	C

Fuente: Autores

Tabla 18. Análisis de Criticidad LAZO CTRL NIVEL CRUDO

LAZO CTRL NIVEL CRUDO		
Criticidad = Frecuencia x Consecuencia		
Consecuencia= medio ambiente y seguridad + costos de mantenimiento+ impacto operacional+ disponibilidad de repuestos+Impacto por Baja Mantenibilidad		
	Vavlvula de descarga de Crudo LV-2700	Sensor de Nivel crudo LT 2700
Frecuencia	2	4
Medio ambiente y seguridad	0	0
Costos de mantenimiento	7	7
Impacto operacional	15	0
Disponibilidad de repuestos	10	10
Impacto por baja mantenibilidad	10	10
TOTAL	42	27
Criticidad = Frecuencia x Consecuencia	84	108

Fuente: Autores

Tabla 19. Ponderación de Componentes de acuerdo al Análisis de Criticidad del LAZO CTRL NIVEL INTERFASE

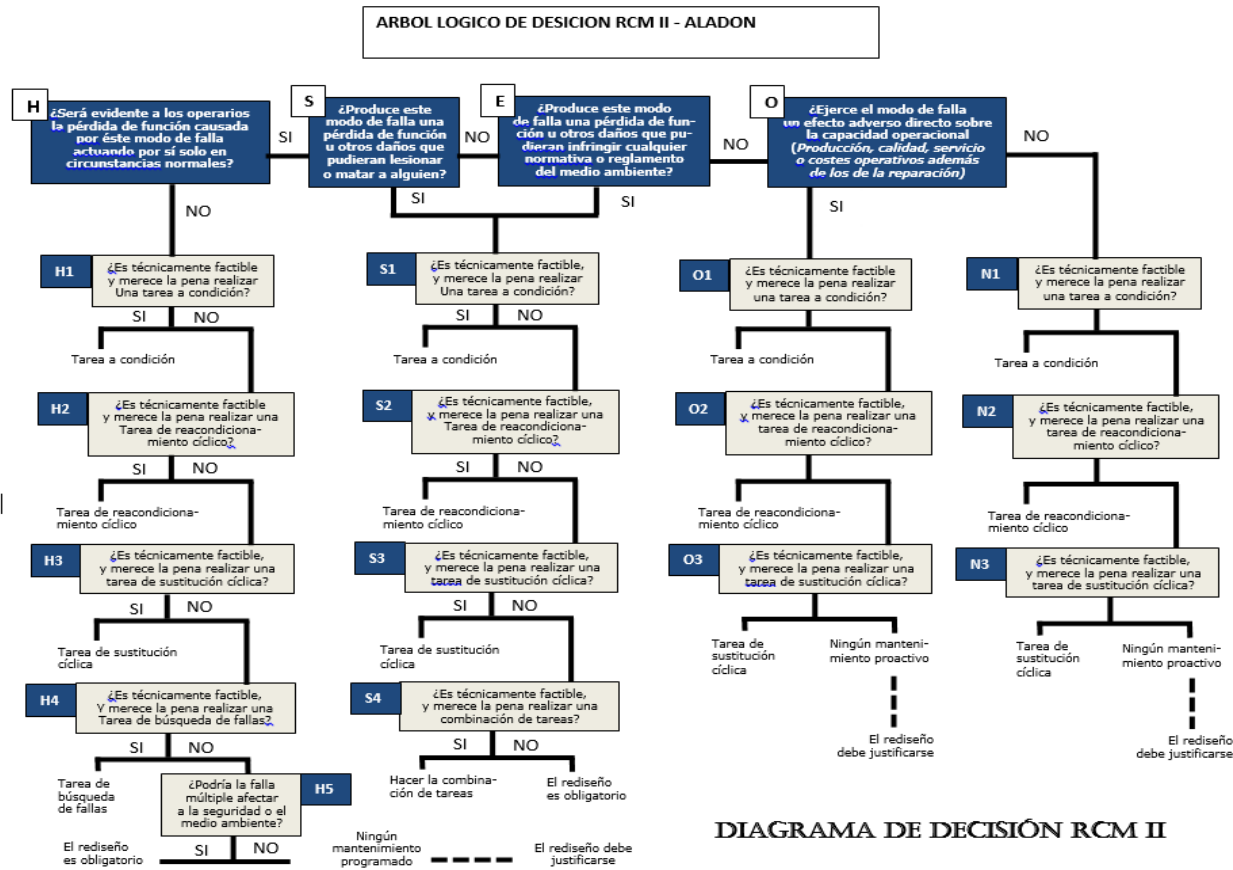
SUB COMPONENTE	CRITICIDAD	ESTADO
Válvula de descarga de Crudo LV-2700	84	SC
Sensor de Nivel crudo LT 2700	108	C

Fuente: Autores

4.7 ELABORACIÓN DEL ARBOL LOGICO DE DECISIÓN

Basado en los análisis de modo y efecto de falla y del análisis de criticidad, se cuenta con los suministros para la elaboración del árbol lógico de decisión (Árbol Lógico de Decisión Figura 24 y Tabla 20.). En la tabla 21 se puede evidenciar el resultado de dicho análisis.

Figura 24. Arbol logico de Decisión



Fuente. Fundamentos de RCM. Orrego Barrera Juan Carlos. Documento digital. Universidad de Antioquia 2012

Tabla 20. Árbol lógico de Decisión RCM II

HOJA DE DECISION RCM II			ELEMENTO							N°	Realizado por:	Fecha	Hoja 001	
			Dispositivo de frenado											
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia inicial Temporio
										H4	H5	S4		
F	FF	MF	H	S	E	O								

HOJA DE DECISION RCM II			ELEMENTO Dispositivo de frenado							N°			Realizado por:		Fecha		Hoja 001			
			COMPONENTE Resorte												Fecha		de			
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas						Frecuencia inicial Temporio	
							S1	S2	S3	O1	O2	O3								
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3											

Fuente. Fundamentos de RCM. Orrego Barrera Juan Carlos. Documento digital. Universidad de Antioquia 2012

Tabla 21. Árbol lógico de decisión para los lazos críticos del tratador EHT-250A

Información Referencia			Evaluación de consecuencias				H1 S1 01 N1	H2 S2 02 N2	H3 S3 03 N3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	PM	CBM	RTF	RED	MOD	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4											
6	F	33	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar estado de Fusibles que no estén abiertos, Revisar salida de tarjeta de PLC que envía señal de abrir válvula.			X				MTTO INST
6	F	34	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar conexionado en sensor, verificar estado de fusibles, verificar condiciones de proceso, Verificar estado de Electrónicas de			X				MTTO INST

														Sensor, Realizar Ajustes de Sensor.							
6	F	35	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N	Verificar conexionado en sensor, verificar estado de fusibles, verificar condiciones de proceso, Verificar estado de Electrónicas de Sensor, Verificar Estado de Sensor. Realizar Cambio de Electrónicas y / o Sensor.			X				MTTO INST
6	F	36	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	Realizar mantenimientos cada 6 meses. Realizar Mantenimiento a diafragma, partes internas de válvula, Realizar	X					6 Meses	MTTO INST

													Mantenimiento a Actuator.							
6	F	37	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar estado de Fusibles que no estén abiertos, Revisar salida de tarjeta de PLC que envía señal de abrir válvula. Realizar Prueba de Recorrido de válvula. Cambiar Válvula			X				MTTO INST
6	F	38	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar estado de Fusibles que no estén abiertos, Revisar salida de tarjeta de PLC que envía señal de abrir válvula.			X				MTTO INST

6	F	39	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar conexionado en sensor, verificar estado de fusibles, verificar condiciones de proceso, Verificar estado de Electrónicas de Sensor, Realizar Ajustes de Sensor.			X				MTTO INST
6	F	40	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar conexionado en sensor, verificar estado de fusibles, verificar condiciones de proceso, Verificar estado de Electrónicas de Sensor, Verificar Estado de Sensor. Realizar Cambio de			X				MTTO INST

7	G	43	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar estado de Fusibles que no estén abiertos, Revisar salida de tarjeta de PLC que envía señal de abrir válvula.			X				MTTO INST
7	G	44	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar conexionado en sensor, verificar estado de fusibles, verificar condiciones de proceso, Verificar estado de Electrónicas de Sensor, Realizar Ajustes de Sensor.			X				MTTO INST
7	G	45	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar conexionado en sensor, verificar estado de fusibles, verificar condiciones			X				MTTO INST

													de proceso, Verificar estado de Electrónicas de Sensor, Verificar Estado de Sensor. Realizar Cambio de Electrónicas y / o Sensor.							
	13	3	0	0	0	10	8	2	0	0	0	0	20	2	0	8	0			13
TOTAL																				
NO OPERACIONAL																				
FALLA OCULTA																				
SEGURIDAD																				
MEDIO AMBIENTE																				
OPERACIONAL																				
A CONDICION																				
REACONDICIONAMIENTO. CICLICA																				
SUSTITUCION CICLICA																				
BUSQUEDA DE FALLAS																				
REDISENO																				
COMBINACION DE TAREAS																				
NINGUN MANTENIMIENTO PREVENTIVO																				
MANTENIMIENTO PREVENTIVO																				
MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN																				
CORRER HASTA LA FALLA																				
REDUNDANCIA INTERVALO INICIAL																				
TAREAS PROPUESTAS MODIFICADAS																				
ANALISIS POR APARTE																				
No. De CONSECUENCIAS HASTA TAREA PROPUESTA																				

Fuente: Autores

4.8 PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL EHT – 250A

A continuación se muestra el plan de mantenimiento del tratador electrostático EHT 250 A con que contaba la empresa antes de realizar el análisis RCM (Tabla 22) y se muestra el plan de mantenimiento después de aplicar la metodología RCM. (Tabla 23)

Tabla 22. Plan de Mantenimiento sin análisis RCM para el tratador EHT-250A

EQUIPO	CANTIDAD EQUIPOS	ACTIVIDAD	TIPO DE MTT O	FRECUENCIA	% POBLACIÓN INTERVENIDA	No INTERVENCIONES POR AÑO	HORAS HOMBRE EJECUTANTE			ALCANCE	TAG
							HORAS HOMBRE	HH AÑO	ESPECIALIDAD		
INTERRUPTORES											
SWITCH MANUAL	2	MANTENIMIENTO PSL XX	MPV P	6 MESES	100%	2	1	4	MOINS B	REALIZAR MANTENIMIENTO Y PRUEBAS DE OPERACIÓN EN TALLER. SI NO FUNCIONA REALIZAR CAMBIO	PSL 2705 PSL 2715
SWITCH DE NIVEL	2	MANTENIMIENTO LSL XX	MPV P	6 MESES	100%	2	2	8	MOINS B	REALIZAR LIMPIEZA Y PRUEBAS DE OPERACIÓN	LSL 2700 LSL 2703
SWITCH DE TEMPERATURA	1	MANTENIMIENTO TSH XX	MPV P	6 MESES	100%	2	2	4	MOINS B	REALIZAR LIMPIEZA, CALIBRACIÓN Y PRUEBAS DE OPERACION	TSH 2701
SWITCH DE PRESIÓN	8	MANTENIMIENTO Y CALIBRACION PSH O PSL XX	MPV P	6 MESES	100%	2	2	32	MOINS B	REALIZAR LIMPIEZA, CALIBRACIÓN Y PRUEBAS DE OPERACION	PSH 2702 - PSH 2712. SET: 6"W.C. PSL 2704 - PSL 2714. SET: 1.5"W.C PSL 2703 - PSL 2713. SET: 20 PSIG PSL 2701 - PSL 2711. SET: 10 PSIG
INDICADORES											
DETECTOR DE LLAMA	2	MANTENIMIENTO DETECTOR DE LLAMA	MPV P	3 MESES	100%	4	2	16	MOINS B	DESMONTAR, LIMPIAR, REVISAR, REALIZAR PRUEBAS DE OPERACIÓN Y MONTAJE.	BSL 2710 BSL 2700

INDICADOR DE PRESIÓN	17	MANTENIMIENTO Y CALIBRACION PI XX	MPV P	1 AÑO	100%	1	1	17	MOINS B	REALIZAR MANTENIMIENTO, LIMPIEZA, CALIBRACIÓN, LLENADO CON GLICERINA (SI APLICA) Y PRUEBAS DE OPERACION	PI 2700 PI 2701 PI 2702 PI 2703 PI 2705 PI 2706 PI 2707 PI 2709 PI 2711 PI 2712 PI 2713 PI 2714 PI 2715 PI 2716 PI 2717 PI 2718 PI 2719
INDICADOR DE TEMPERATURA	8	MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN TI XX	MPV P	1 AÑO	100%	1	2	16	MOINS B	REALIZAR MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y PRUEBAS DE OPERACION	TI 2703 TI 2704 TI 2705 TI 2706 TI 2707 TI 2708 TI 2715 TI 2720
INSTRUMENTOS DE PROCESO											
MEZCLADOR AIRE GAS QUEMADOR	2	MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA	MPV P	6 MESES	100%	2	2	8	MOINS B	DESMONTAR, REVISAR Y LIMPIAR.	
TRANSDUCTOR I / P	4	MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN PY O LY XX	MPV P	6 MESES	100%	1	2	8	MOINS B	REALIZAR LIMPIEZA Y CALIBRACIÓN	PY 2700 LY 2700 LY 2701 LY 2702

REGULADOR DE PRESION	16	MANTENIMIENTO PCV XX	MPV P	6 MESES	100%	2	2	64	MOINS B	LIMPIEZA Y CALIBRACIÓN	PCV 2700. SET: 5 PSIG. PCV 2701 - PCV 2711. SET:2.8"W.C. PCV 2702 - PCV 2712. SET: 1.75 PSIG. PCV 2703 - PCV 2713. SET:25 PSIG. PCV 2704 - PCV 2714. SET: 30 PSIG. PCV 2705 - PCV 2715. SET: 60 PSIG. PCV 2706 PCV 2707 PCV 2716 PCV 2717 PCV 2720. SET: 75 PSIG
FILTROS DE PROCESO	6	LIMPIEZA DE FILTRO STR XX	MPV P	3 MESES	100%	4	1	24	MOINS B	RETIRAR, LIMPIAR, CAMBIO DE FILTRO (SI APLICA), INSTALAR	STR 2700 STR 2701 STR 2702 STR 2703 STR 2705 STR 2713
TRANSMISORES											
TRANSMISOR DE FLUJO	3	MANTENIMIENTO FT XX	MPV P	3 MESES	100%	4	3	36	MOINS A	REALIZAR MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN LIMPIEZA DEL EQUIPO Y TOMAS PROCESO.	FT 2700 FT 2701 FT 2702
TRANSMISOR DE NIVEL	2	CALIBRACION TRANSMISOR DE NIVEL LT XX	MTRF		100%				MOINS A	REALIZAR MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN, LIMPIEZA DEL ELEMENTO CUANDO SE REQUIERA	LT 2700 LT 2701 LT 2702

TRANSMISOR DE PRESIÓN	1	MANTENIMIENTO Y CALIBRACION PIT XX	MPV P	3 MESES	100%	4	3	12	MOINS A	REALIZAR MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN, LIMPIEZA DEL ELEMENTO PRIMARIO	PIT 2700
TRANSMISOR DE TEMPERATURA	5	MANTENIMIENTO Y CALIBRACION TRANSMISOR TT XX	MPV P	6 MESES	100%	4	4	80	MOINS A	REALIZAR MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN	TT 2700 TT 2701 TT 2702 TT 2711 TT 2712
VÁLVULAS											
VÁLVULA DE CONTROL NIVEL	3	MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN VÁLVULA DE CONTROL	MPV P	6 MESES	100%	2	6	36	MOINS A	RETIRAR VALVULA, LLEVAR A TALLER, REVISAR VALVULA (CAMBIAR PARTES SI APLICA), CALIBAR VÁLVULA, LIMPIEZA DE ELEMENTOS REGULADORES, FINALES DE CARRERA, PRUEBAS DE ACCIONAMIENTO.	LV 2700 LV 2701 LV 2702
VÁLVULA DE CONTROL PRESIÓN	1	MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN VÁLVULA DE CONTROL	MPV P	1 AÑO	100%	1	6	6	MOINS A	RETIRAR VALVULA, LLEVAR A TALLER, REVISAR VALVULA (CAMBIAR PARTES SI APLICA), CALIBAR VÁLVULA, LIMPIEZA DE ELEMENTOS REGULADORES, FINALES DE CARRERA, PRUEBAS DE ACCIONAMIENTO.	PV 2700
VÁLVULA DE SEGURIDAD DE PRESIÓN	1	CALIBRACION VÁLVULA DE SEGURIDAD PSV XX	MPV P	1 AÑO	100%	1	6	6	MOINS A	CALIBRAR VÁLVULA	PSV 2700

VÁLVULA SOLENOIDE	40	MANTENIMIENTO Y PRUEBAS DE OPERACIÓN XV O SDV XX	MPV P	1 AÑO	100%	1	3	120	MOINS A	REALIZAR MANTENIMIENTO Y PRUEBAS DE OPERACION	XV 2700.... XV 2717 XV 2718 XV 2728 SXV 2700 N1 - N2 SXV 2710 N1 - N2 SDV 2700 SDV 2701 SDV 2702 SDV 2703 SDV 2704 SDV 2705 SDV 2706 SDV 2707 SDV 2710 SDV 2711 SDV 2712 SDV 2713 SDV 2714 SDV 2715 SDV 2716 SDV 2717
VÁLVULA MODULADORA	2	MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN VÁLVULA MODULADORA	MPV P	1 AÑO	100%	1	3	6	MOINS A	REALIZAR MANTENIMIENTO, PRUEBAS DE OPERACION Y AJUSTE.	
VÁLVULA DESARENADORA - SAND JET	18	MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN VÁLVULA XV XX	MPV P	1 AÑO	100%	1	6	108	MOINS A	REALIZAR MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN VÁLVULA EN TALLER, REVISAR ACTUADOR, VÁLVULA DE BOLA, SOLENOIDE Y FINALES DE CARRERA. (CAMBIAR REPUESTOS SI APLICA) , REALIZAR PRUEBAS FUNCIONALES	XV 2700.... XV 2717
QUEMADORES											

QUEMADOR	2	MANTENIMIENTO QUEMADOR CBE 27XX	MPV P	1 AÑO	100%	1	6	12	MOINS A	REALIZAR LIMPIEZA DE BOQUILLA, REVISION DE DIFUSORES (CAMBIAR SI SE REQUIEREN)	CBE 2700 CBE 2710
MOTORES ELECTRICOS	2	TOMAR PARAMETROS OPERACIÓN MOTOR XX	MPV P	1 SEM	100%	52	1	104	MOELE A	TOMAR PARAMETROS DE OPERACION DE MOTOR	
		MANTENIMIENTO PREDICTIVO MOTOR XX	MPD VO	6 MESES	100%	2	2	8	ING CBM	MONITOREO DE VIBRACIONES Y TERMOGRAFIA	
		MANTENIMIENTO GENERAL MOTOR XX	MPV P	1 AÑO	100%	1	12	24	MOELE A	MANTENIMIENTO EN TALLER, CAMBIO DE RODAMIENTOS, PRUEBAS DE OPERACION	
TRANSFORMADOR											
TRANSFORMADOR	1	MANTO TABLERO DE CONTROL TRANSFO	MPV P	6 MESES	100%	2	2	4	MOELE A	REVISION, LIMPIEZA, AJUSTE DE CABLEADO Y BORNERAS	PU
		MANTO TRANSFORMADOR 100 KVA	MPD VO	6 MESES	100%	2	2	2	ING CBM	REVISION TERMOGRAFIA	
		MANTO TRANSFORMADOR 100 KVA	MPV P	1 AÑO	100%	1	2	1	MOELE A	REVISION DE ACEITE, PRUEBAS RIGIDEZ DIELECTRICA, PRUEBAS DE TRANSFORMADOR	

Fuente: Autores

Este plan de mantenimiento se generó finalizando el año 2013 para implementarlo en el año 2014 teniendo como resultado el 93% de actividades preventivas y 7% de actividades predictivas, este plan se generó como un plan de choque a fin de minimizar la cantidad de mantenimiento reactivo, este plan fue basado en dos modos de mantenimiento sin ningún análisis profundo.

Tabla 23. Plan de Mantenimiento con RCM para el tratador EHT-250A

EQUIPO	CANTIDAD DE EQUIPOS	ACTIVIDAD	TIPO DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	% POBLACIÓN INTERVENIDA	No INTERVENCIÓNES POR AÑO	HORAS HOMBRE EJECUTANTE			ALCANCE	TAG
							HORAS HOMBRE	HH AÑO	ESPECIALIDAD		
INTERRUPTORES											
SWITCH MANUAL	2	MANTENIMIENTO PSL XX	RTF		100%				MOINS B	REALIZAR MANTENIMIENTO Y PRUEBAS DE OPERACIÓN EN TALLER. SI NO FUNCIONA REALIZAR CAMBIO	PSL 2705 PSL 2715
SWITCH DE NIVEL	2	MANTENIMIENTO LSL XX	RTF		100%				MOINS B	REALIZAR LIMPIEZA Y PRUEBAS DE OPERACIÓN	LSL 2700 LSL 2703
SWITCH DE TEMPERATURA	1	MANTENIMIENTO TSH XX	RTF		100%				MOINS B	REALIZAR LIMPIEZA, CALIBRACIÓN Y PRUEBAS DE OPERACION	TSH 2701
SWITCH DE PRESIÓN	8	MANTENIMIENTO Y CALIBRACION PSH O PSL XX	MPVP	6 MESES	100%	2	2	32	MOINS B	REALIZAR LIMPIEZA, CALIBRACIÓN Y PRUEBAS DE OPERACION	PSH 2702 - PSH 2712. SET: 6"W.C. PSL 2704 - PSL 2714. SET: 1.5"W.C PSL 2703 - PSL 2713. SET: 20 PSIG PSL 2701 - PSL 2711. SET: 10 PSIG
INDICADORES											

DETECTOR DE LLAMA	2	MANTENIMIENTO DETECTOR DE LLAMA	RTF		100%				MOINS B	DESMONTAR, LIMPIAR, REVISAR, REALIZAR PRUEBAS DE OPERACIÓN Y MONTAJE.	BSL 2710 BSL 2700
INDICADOR DE PRESIÓN	17	MANTENIMIENTO Y CALIBRACION PI XX	RTF		100%				MOINS B	REALIZAR MANTENIMIENTO, LIMPIEZA, CALIBRACIÓN, LLENADO CON GLICERINA (SI APLICA) Y PRUEBAS DE OPERACION	PI 2700 PI 2701 PI 2702 PI 2703 PI 2705 PI 2706 PI 2707 PI 2709 PI 2711 PI 2712 PI 2713 PI 2714 PI 2715 PI 2716 PI 2717 PI 2718 PI 2719
INDICADOR DE TEMPERATURA	8	MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN TI XX	RTF		100%				MOINS B	REALIZAR MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN Y PRUEBAS DE OPERACION	TI 2703 TI 2704 TI 2705 TI 2706 TI 2707 TI 2708 TI 2715 TI 2720

INSTRUMENTOS DE PROCESO

MEZCLADOR AIRE GAS QUEMADOR	2	MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA	RTF		100%				MOINS B	DESMONTAR, REVISAR Y LIMPIAR.	
TRANSDUCTOR I / P	4	MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN PY O LY XX	MPVP	6 MESES	100%	1	2	8	MOINS B	REALIZAR LIMPIEZA Y CALIBRACIÓN	PY 2700 LY 2700 LY 2701 LY 2702
REGULADOR DE PRESION	16	MANTENIMIENTO PCV XX	RTF		100%				MOINS B	LIMPIEZA CALIBRACIÓN Y	PCV 2700. SET: 5 PSIG. PCV 2701 - PCV 2711. SET:2.8"W.C PCV 2702 - PCV 2712. SET: 1.75 PSIG. PCV 2703 - PCV 2713. SET:25 PSIG. PCV 2704 - PCV 2714. SET: 30 PSIG. PCV 2705 - PCV 2715. SET: 60 PSIG. PCV 2706 PCV 2707 PCV 2716 PCV 2717 PCV 2720. SET: 75 PSIG

FILTROS DE PROCESO	6	LIMPIEZA DE FILTRO STR XX	RTF		100%					MOINS B	RETIRAR, LIMPIAR, CAMBIO DE FILTRO (SI APLICA), INSTALAR	STR 2700 STR 2701 STR 2702 STR 2703 STR 2705 STR 2713
TRANSMISORES												
TRANSMISOR DE FLUJO	3	MANTENIMIENTO FT XX	RTF		100%					MOINS A	REALIZAR MANTENIMIENTO, CALIBRACIÓN LIMPIEZA DEL EQUIPO Y TOMAS PROCESO.	FT 2700 FT 2701 FT 2702
TRANSMISOR DE NIVEL	2	CALIBRACION TRANSMISOR DE NIVEL LT XX	RTF		100%					MOINS A	REALIZAR MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN, LIMPIEZA DEL ELEMENTO CUANDO SE REQUIERA	LT 2700 LT 2701 LT 2702
TRANSMISOR DE PRESIÓN	1	MANTENIMIENTO Y CALIBRACION PIT XX	RTF		100%					MOINS A	REALIZAR MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN, LIMPIEZA DEL ELEMENTO PRIMARIO	PIT 2700
TRANSMISOR DE TEMPERATURA	5	MANTENIMIENTO Y CALIBRACION TRANSMISOR TT XX	MPVP	6 MESES	100%	4	4	80		MOINS A	REALIZAR MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN	TT 2700 TT 2701 TT 2702 TT 2711 TT 2712
VÁLVULAS												
VÁLVULA DE CONTROL NIVEL	3	MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN VÁLVULA DE CONTROL	RTF		100%					MOINS A	RETIRAR VALVULA, LLEVAR A TALLER, REVISAR VALVULA (CAMBIAR PARTES SI APLICA), CALIBAR VÁLVULA, LIMPIEZA DE ELEMENTOS REGULADORES, FINALES DE CARRERA,	LV 2700 LV 2701 LV 2702

										PRUEBAS DE ACCIONAMIENTO..	
VÁLVULA DE CONTROL PRESIÓN	1	MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN VÁLVULA DE CONTROL	RTF		100%				MOINS A	RETIRAR VALVULA, LLEVAR A TALLER, REVISAR VALVULA (CAMBIAR PARTES SI APLICA), CALIBAR VÁLVULA, LIMPIEZA DE ELEMENTOS REGULADORES, FINALES DE CARRERA, PRUEBAS DE ACCIONAMIENTO..	PV 2700
VÁLVULA DE SEGURIDAD DE PRESIÓN	1	CALIBRACION VÁLVULA DE SEGURIDAD PSV XX	MPVP	1 AÑO	100%	1	6	6	MOINS A	CALIBAR VÁLVULA	PSV 2700

VÁLVULA SOLENOIDE	40	MANTENIMIENTO Y PRUEBAS DE OPERACIÓN XV O SDV XX	RTF		100%				MOINS A	REALIZAR MANTENIMIENTO Y PRUEBAS DE OPERACION	XV 2700.... XV 2717 XV 2718 XV 2728 SXV 2700 N1 - N2 SXV 2710 N1 - N2 SDV 2700 SDV 2701 SDV 2702 SDV 2703 SDV 2704 SDV 2705 SDV 2706 SDV 2707 SDV 2710 SDV 2711 SDV 2712 SDV 2713 SDV 2714 SDV 2715 SDV 2716 SDV 2717
VÁLVULA MODULADORA	2	MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN VÁLVULA MODULADORA	RTF		100%				MOINS A	REALIZAR MANTENIMIENTO, PRUEBAS DE OPERACION Y AJUSTE.	
VÁLVULA DESARENADORA - SAND JET	18	MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN VÁLVULA XV XX	RTF		100%				MOINS A	REALIZAR MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN VÁLVULA EN TALLER, REVISAR ACTUADOR, VÁLVULA DE BOLA, SOLENOIDE Y FINALES DE CARRERA. (CAMBIAR REPUESTOS SI	XV 2700.... XV 2717

											APLICA) , REALIZAR PRUEBAS FUNCIONALES	
QUEMADORES												
QUEMADOR	2	MANTENIMIENTO QUEMADOR CBE 27XX	MPVP	1 AÑO	100%	1	6	12	MOINS A	REALIZAR LIMPIEZA DE BOQUILLA, REVISION DE DIFUSORES (CAMBIAR SI SE REQUIEREN)	CBE 2700 CBE 2710	
MOTORES ELECTRICOS	2	TOMAR PARAMETROS OPERACIÓN MOTOR XX	MPVP	1 SEM	100%	52	1	104	MOELE A	TOMAR PARAMETROS DE OPERACION DE MOTOR		
		MANTENIMIENTO PREDICTIVO MOTOR XX	MPDVO	6 MESES	100%	2	2	8	ING CBM	MONITOREO DE VIBRACIONES Y TERMOGRAFIA, DE ACUERDO A RESULTADOS DEL MONITOREO REALIZAR MANTENIMIENTO EN TALLER, CAMBIO DE RODAMIENTOS, PRUEBAS DE OPERACIÓN		
TRANSFORMADOR												
TRANSFORMADOR	1	MANTO TABLERO DE CONTROL TRANSFO	BEC	6 MESES	100%	2	2	4	MOELE A	REVISION, LIMPIEZA, AJUSTE DE CABLEADO Y BORNERAS	PU	
		MANTO TRANSFORMADOR 100 KVA	MPDVO	6 MESES	100%	2	2	2	ING CBM	REVISION TERMOGRAFIA, REVISION DE ACEITE, PRUEBAS RIGIDEZ DIELECTRICA, PRUEBAS DE TRANSFORMADOR		
TUBOS DE FUEGO												

TUBOS DE FUEGO	2	TERMOGRAFIA	MPDVO	12 MESES	100%	1	16	16	ING CBM	REALIZAR PRUEBAS DE TERMOGRAFIA	TF
		ULTRASONIDO	MPDVO	12 MESES	100%	1	16	16	ING CBM	REALIZAR PRUEBAS DE ULTRASONIDO CON EMPRESA EXTERNA	

Fuente: Autores

MPDVO: Mantenimiento Predictivo

BEC: Cuidado Básico de Equipo.

MPVP: Mantenimiento Preventivo

RTF: Run To Fail. Correr a Falla.

Como resultado del análisis de criticidad se identificaron que los componentes críticos del equipo son: el Transmisor de Nivel de Interface Zona Térmica EHT-250A TAG. LT 2701, el Transmisor de Nivel de Interface Zona Electroestática EHT-250A TAG. LT 2702 y el Transmisor de Nivel de Crudo TAG. LT 2700.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los procesos de mantenimiento deben adaptarse al contexto y el entorno de cada empresa, debido a que en ocasiones se incurre en el error de generar expectativas en torno a una gestión que a veces no es posible llevar del papel a la realidad tangible.

La implementación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) permitió desarrollar un proceso ordenado de análisis del plan de mantenimiento, con el cual se lograron identificar lazos críticos lo cual permitió optimizar tiempos y actividades de mantenimiento.

El desarrollo adecuado del proceso de aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), permite integrar conocimientos teóricos y prácticos que fundamentan la construcción de estrategias adecuadas para la optimización del plan de mantenimiento y modificación de las rutinas del tratador de acuerdo a la criticidad de los items mantenibles.

Como resultado del análisis se modificó el plan de mantenimiento en donde el 21% de actividades son preventivas programadas, 14% de actividades de mantenimiento predictivo, 61% de actividades a falla y 4% de actividades BEC, valores cercanos a los del benchmarking

Se recomienda implementar el plan creado en el sistema SAP con el fin de llevar la trazabilidad en la ejecución de mantenimientos, reportes de fallas, tiempos de reparación y restauración de la operación. Se sugiere de cada actividad generada realizar el listado de repuestos que se requiere tener para su ejecución con el fin de incluirla en el sistema y en

futuras intervenciones ya este parametrizada y no se pierda tiempo en la búsqueda y consecución de repuestos.

6. BIBLIOGRAFÍA

FONSECA, Oscar y MAFLA, Claudia. Definición de modelo estratégico fundamentado en RCM, basados en el sistema de generación de vapor para el campo petrolero moriche. Monografía Especialización Gerencia de Mantenimiento. U Antioquia. p. 18-38

GONZÁLEZ, Omar y HERNANDEZ, Juan. Modelo de mantenimiento para la U- 2950 de la Refinería de Barrancabermeja utilizando metodología RCM. Posgrado Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. 2012. p. 45-81

MANSAROVAR. Oil Treatment Equipment Cameron Job#: 10000196 Moriche / Moriche Buffer Iom Data Book. 2011. p 112 - 742

MANSAROVAR. Manual Tratador Dual Frequency IOM. 2013. 135p

MORA, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. Editorial Coldi. Medellín 2014. p 20 - 80

MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Aladon LLC. Edición en Español 2004. 421p

NASA. Reliability Centered Maintenance Guide or Facilities and Collateral Equipment, 2000. 1-50 p.

PISTARELLI, Alejandro. Manual de Mantenimiento: Ingeniería Gestión y Organización. Editorial Buenos Aires. 2012. Cap. 7

SILVA, Pedro y ORREGO, Juan. Confiabilidad en la Practica: Lo que un Gerente de Confiabilidad debe Saber. Copyright los Autores. 153p