

PROPUESTA DE MEJORA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD PARA DECANTADORAS CENTRIFUGAS EN LA COMPAÑÍA
WEATHERFORD

ANDRÉS MAURICIO LÓPEZ ORTIZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
POSGRADOS EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2022

PROPUESTA DE MEJORA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD PARA DECANTADORAS CENTRIFUGAS EN LA COMPAÑÍA
WEATHERFORD

ANDRÉS MAURICIO LÓPEZ ORTIZ

Monografía de grado presentada como requisito para optar por el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director:

Jabid Eduardo Quiroga.

Doctor

Codirector:

Jonatan Celis Castellanos.

Especialista

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
POSGRADOS EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2022

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

A Dios por permitirme alcanzar este logro que enriquece mi formación personal y profesional.

A mi Madre, mi Esposa y mi Hija, por siempre apoyarme, comprenderme, y acompañarme constantemente para sacar adelante mi propósito.

A los Ingenieros Jabid Quiroga y Jonatan Celis por guiarme con la metodología y experiencia para que este proyecto se ejecutara de la manera correcta y acertada.

A la compañía Weatherford de Colombia, por permitir realizar la monografía dentro de sus procesos y equipos.

A todos gracias por su tiempo y apoyo.

Andres Mauricio Lopez Ortiz

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. WEATHERFORD COLOMBIA LIMITED.....	13
1.1. DESCRIPCION DE LA EMPRESA.....	13
1.2. OBJETIVO PRINCIPAL.....	13
1.3. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL.....	13
1.4. VISIÓN EMPRESARIAL.....	14
1.5. RESEÑA HISTÓRICA	14
1.6. SEDES.....	15
2. MARCO TEORICO	16
2.1. CONTEXTO DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM).....	16
2.2. LA INDUSTRIA PETROLERA EN COLOMBIA Y EL ENFOQUE EN MANTENIMIENTO.....	17
2.3. TIPOS DE MANTENIMIENTO.....	18
2.3.1. Mantenimiento Correctivo.....	19
2.3.2. Mantenimiento Preventivo.....	21
2.3.3. Mantenimiento Predictivo.....	24
2.3.4. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).....	25
2.4. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.....	27
2.4.1. Decantadora Centrífuga.....	27
2.5. INTRODUCCIÓN A LA NORMA ISO 14224.....	29
3. GESTIÓN ACTUAL DE MANTENIMIENTO.....	31

3.1. ASPECTOS IDENTIFICADOS.....	31
3.1.1. Registros.....	31
3.1.2. Software.....	32
3.1.3. Actividades de Mantenimiento.....	32
3.1.4. Mantenimiento Preventivo.....	33
4. CRITICIDAD Y ANALISIS AMEF.....	34
4.1. FUNCIONES DEL EQUIPO.....	34
4.2. MODOS DE FALLA.....	36
4.3. EFECTOS DE LAS FALLAS.....	38
4.4. ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	42
4.4.1. Categoría de frecuencias de Ocurrencia.....	43
4.4.2. Fallas Recurrentes en Decantadoras.....	44
4.4.3. Evaluación de Criticidad.....	45
5. PROPUESTA DE MEJORA PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LAS DECANTADORAS CENTRIFUGAS.....	47
5.1. ÁRBOL LÓGICO DE DECISIONES.....	47
5.2. HOJA DE DECISIONES DE RCM.....	47
5.3. ACTIVIDADES Y FRECUENCIAS DE MANTENIMIENTO.....	48
5.3.1. Tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclica.....	48
5.3.2. Tareas de Monitoreo.....	50
5.3.3. Tareas “A falta de”.....	51
5.4. COSTOS DE MANTENIMIENTO.....	53
5.5. INDICADORES DE MANTENIMIENTO.....	55
6. CONCLUSIONES.....	57

BIBLIOGRAFIA.....58
ANEXOS.....60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la compañía	14
Figura 2. Proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad.....	26
Figura 3. Pasos adicionales propuestos para la metodología de RCM.....	27
Figura 4. Flujo de producto en una decantadora centrífuga.....	28
Figura 5. Información centrada en confiabilidad (ISO 14224)	30
Figura 6. Porcentaje de tipo de Decisiones para la Decantadora Centrífuga	52
Figura 7. Resultado de Procesos del RCM en Decantadoras Centrífugas.....	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Función Principal de componentes Eléctricos	35
Tabla 2. Función Principal de componentes Eléctricos	36
Tabla 3. Modo de Falla para Decantadora Centrifuga de tipo Eléctrico	37
Tabla 4. Modo de Falla para Decantadora Centrifuga de tipo Eléctrico	38
Tabla 5. Efecto de Falla para Decantadora Centrifuga de tipo Eléctrico	40
Tabla 6. Efecto de Falla para Decantadora Centrifuga de tipo Mecánico.....	41
Tabla 7. Tabla de Criterio de Frecuencia	43
Tabla 8. Nivel de Criticidad.....	44
Tabla 9. Resumen de Fallos.....	45
Tabla 10. Evaluación de Criticidad	45
Tabla 11. Matriz de Criticidad	46
Tabla 12. Criticidad por componentes	46
Tabla 13. Tareas de reacondicionamiento y sustitución para los componentes de la decantadora de tipo eléctrico	49
Tabla 14. Tareas de reacondicionamiento y sustitución para los componentes de la decantadora de tipo mecánico	49
Tabla 15. Tareas de monitoreo para los componentes de la decantadora de tipo eléctrico	50
Tabla 16. Tareas de monitoreo, reacondicionamiento y sustitución para los componentes de la decantadora de tipo mecánico.....	51
Tabla 17. Tareas “A falta de” para los componentes de la decantadora	51
Tabla 18. Tipo de Tareas para Decantadoras Centrifugas.....	52
Tabla 19. Costo anual estimado para la implementación de la propuesta.	54
Tabla 20. Costo estimado de situación actual Vs propuesta planteada	55
Tabla 21. Indicadores estimados de situación actual Vs propuesta planteada	56

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Análisis de modos y efectos de las fallas.	60
Anexo B. Hoja de decisiones.	63

RESUMEN

TÍTULO: PROPUESTA DE MEJORA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA DECANTADORAS CENTRIFUGAS EN LA COMPAÑÍA WEATHERFORD.

AUTOR: ANDRES MAURICIO LOPEZ ORTIZ

PALABRAS CLAVES: Mantenimiento, criticidad, confiabilidad, QHSE, fallos, reparación.

DESCRIPCIÓN: Dentro de la Ingeniería de mantenimiento, el análisis de criticidad y el mantenimiento centrado en la confiabilidad son una herramienta utilizada para establecer rangos y estructuras a los equipos o sus componentes con el fin de realizar un estudio efectivo y fácil para definir acciones sobre este, enfocando esfuerzos para mejorar su desempeño y confiabilidad.

Para realizar el análisis de criticidad es necesario recurrir y agrupar factores vitales en su desempeño tales como operación en campo, QHSE, fallos, costos de operación y mantenimiento y el tiempo dedicado a la reparación. Todos estos se analizan bajo una puntuación, lo cual permite estimar criterios para enfocar la gestión hacia la optimización de los recursos y un buen manejo de los tiempos; ya con este es posible establecer unas tareas de mantenimiento enfocadas en la confiabilidad.

Finalmente se establece una ruta centrada en la confiabilidad a un equipo de máxima utilidad dentro de las operaciones en campo. Por medio de los resultados matemáticos permite obtener valores a validar y focalizar el esfuerzo y recurso destinado a la gestión de mantenimiento hacia los componentes con mayor tendencia a la falla.

ABSTRACT

TITLE: PROPOSAL TO IMPROVE A MAINTENANCE PLAN FOCUSED ON RELIABILITY FOR CENTRIFUGAL DECANTERS IN THE WEATHERFORD COMPANY.

AUTHOR: ANDRES MAURICIO LOPEZ ORTIZ

KEYWORDS: Maintenance, criticality, reliability, QHSE, failures, repair.

DESCRIPTION: Within Maintenance Engineering, criticality analysis and reliability-focused maintenance are a tool used to establish ranks and structures to equipment or its components in order to carry out an effective and easy study to define actions on it, focusing efforts to improve its performance and reliability.

To perform the criticality analysis, it is necessary to resort to and group vital factors in its performance such as field operation, QHSE, failures, operation and maintenance costs and time spent on repair. All these are analyzed under a score, which allows estimating criteria to focus management towards the optimization of resources and good time management; already with this it is possible establish maintenance tasks focused on reliability.

Finally, a route focused on reliability is established to a team of maximum utility within field operations. Through the mathematical results it allows to obtain values to validate and focus the effort and resource destined to the maintenance management towards the components with the highest tendency to failure.

INTRODUCCIÓN

Un decantador industrial, es un artefacto de conformación horizontal, que esencialmente consiste en un tornillo sin fin, alojado dentro de un tambor por el cual se conduce el líquido que queremos separar. Es por ello por lo que también se le conoce con el nombre de centrífuga horizontal.

Lo usual es que, a través del eje de rotación del tornillo, se inyecte el fluido; dicho tornillo contiene unos orificios por donde el fluido es impulsado contra el cilindro contenedor. Los sólidos que chocan con el cilindro son barridos y concentrados a medida que el tornillo sin fin gira y el espacio interior se hace más cerrado, para finalmente ser expulsados. El tambor también gira, pero a una velocidad diferente; esto permite gobernar la concentración final de los sólidos según la necesidad. El líquido clarificado es expulsado por el extremo cilíndrico opuesto a la descarga de sólidos; y el grado de clarificación se puede gobernar controlando el nivel de rebose, ya que el aparato se mantiene enlagueado.

1. WEATHERFORD COLOMBIA LIMITED¹

1.1. DESCRIPCION DE LA EMPRESA

La organización Weatherford de Colombia Limited es una compañía que brinda soluciones integradas en todas las etapas de los pozos y dominios del cliente para la industria del petróleo y gas. Ayudamos a nuestros clientes a encontrar soluciones para perforar, completar y producir gas y petróleo de manera segura y sustentable.

1.2. OBJETIVO PRINCIPAL

Ser líderes en la evaluación de formación, perforación, construcción de pozos, terminación y producción. integrar tecnologías confiables con ideas innovadoras para ayudar a terminar los pozos antes y producir por más tiempo. los productores de petróleo y gas enfrentan desafíos únicos todos los días, por lo que Weatherford se centrara en trabajo crear soluciones que mejoren la seguridad, optimicen las operaciones y mantengan el tiempo de actividad para cumplir o superar los objetivos.

1.3. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL.

- La estructura se encuentra definida e diferentes niveles, así:
- Asamblea general de accionistas
- Junta directiva
- Ceo
- Presidente segmento Sam (representante legal)

¹ CAMPETROL. Weatherford Colombia Ltda. En: Servicios de perforación. Cañoneo. Bogotá. 2021. Tomado de <https://campetrol.org/weatherford-colombia-ltda/>

- Controller y líder de área
- Gerencias de línea

1.4. VISIÓN EMPRESARIAL

Consiste en ser la compañía elegida, debido a la amplia gama de productos, servicios y tecnologías que ayudarán a nuestros clientes a producir petróleo en forma más rentable y eficiente. Lograrla a través de anticipar y exceder los requerimientos a corto y largo plazo de nuestros clientes, esperamos alcanzar en forma superior una rentabilidad, un crecimiento y un rendimiento para nuestros accionistas, expandiendo de igual forma las oportunidades para nuestros empleados.

1.5. RESEÑA HISTÓRICA

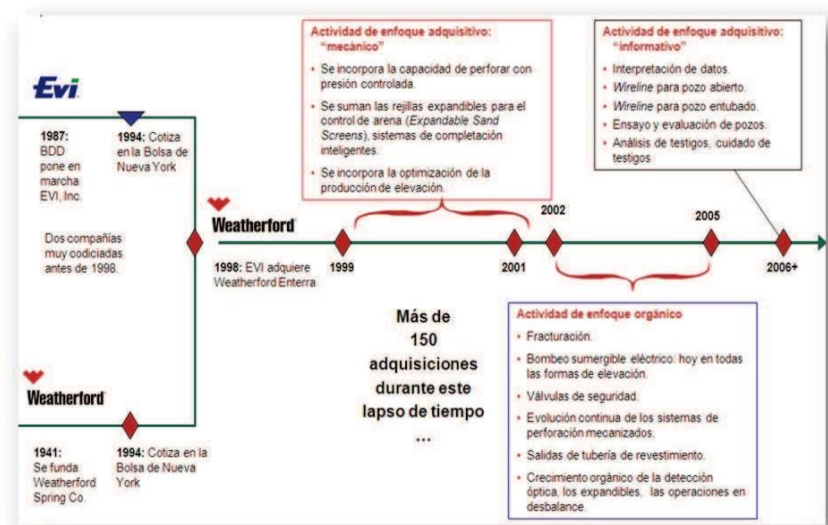


Figura 1. Evolución de la compañía²

² WEATHERFORD. Información histórica general de la compañía. Intranet Weatherford, 2012, p.10. Tomado de <http://www.weatherford.com>

Weatherford es una sucursal de Weatherford South América LLC, una sociedad constituida bajo las leyes el estado de Delaware, Estados Unidos de Norteamérica.

Su objetivo es la prestación de servicios relacionados con el sector hidrocarburífero, el suministro de equipos de perforación, servicios de perforación de pozos y demás actividades relacionadas con el giro del negocio. En la figura 1 se presenta la evolución de la compañía en el transcurso de los años.

1.6. SEDES.

La compañía cuenta con bases que cubren su operación a nivel nacional centrandó sus operaciones administrativas en la ciudad de Bogota. Operando para el área sur del país se encuentra su sede de Palermo, en la ciudad de Neiva (Huila). Para las operaciones en el centro del país la compañía cuenta con su base de Acacias en la ciudad de Villavicencio (Meta). Ya para las áreas norte y occidente del país se encuentran sus bases en las ciudades de Yopal y de Barrancabermeja.

2. MARCO TEORICO

2.1. CONTEXTO DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es una metodología reconocida en el campo del diseño y propuesta de planes de mantenimiento que incluye ámbitos tanto preventivos, como predictivos, de búsqueda de fallas, entre otros.

El recorrido histórico de utilización del RCM marca su inicio en el año 1978. La metodología fue creada para el campo de la industria comercial de aviación en Estados Unidos, fueron los empleados de la United Airlines Stanley Nowlan y Howard Heap los que desarrollaron este método para mejorar la seguridad y confiabilidad de sus equipos. El mantenimiento centrado en la confiabilidad se aplicó más adelante en el campo militar y luego se extendió hasta determinar estrategias para el mantenimiento de activos físicos en casi todas las áreas de trabajo en la mayoría de los países industrializados del mundo. Así mismo, muchos estudios alrededor del tema se han llevado a cabo con el propósito de continuar mejorando la seguridad y confiabilidad en estas y nuevas áreas.

Actualmente, el RCM ha expandido también sus alcances para no solo identificar tareas de mantenimiento, sino también trazar una línea base para analizar el riesgo en equipos, clasificar por importancia los componentes significativos para el mantenimiento o detectar áreas de oportunidad de mejora en la conservación de equipos complejos. Entre otras aplicaciones del RCM que se han estudiado en la academia resalta un notable grupo de trabajos que se inclinan a la aplicación de esta metodología en la industria petrolera (campo donde se ubica también la presente investigación).

2.2.LA INDUSTRIA PETROLERA EN COLOMBIA Y EL ENFOQUE EN MANTENIMIENTO

La industria petrolera es uno de los motores económicos más importantes en Colombia, el petróleo es el principal producto de exportación (55.4 % del total de exportaciones) y el primer contribuyente a las finanzas del Estado. Según la Agencia Nacional de Hidrocarburos “el potencial petrolífero (crudo y gas natural) de Colombia se estima en más de 37.000 millones de barriles de petróleo equivalente, distribuidos en 18 cuencas sedimentarias que abarcan un área de 1.036.400 Kms².”³ Debido a esta importancia del sector petrolero en la economía del país, es cada vez más necesario que las empresas construyan y mantengan la infraestructura necesaria e implementen estrategias de mantenimiento efectivas y confiables. Así mismo, compañías como la tratada en el presente estudio, Weatherford Colombia, encuentran una posibilidad de mejora en el uso de óptimos procesos predictivos, preventivos, de seguridad y confiabilidad de sus equipos.

Según otros estudios que se han realizado entorno al mantenimiento en el sector del petróleo, hasta hace más de veinte años el proceso de mantenimiento de esta industria no tenía un enfoque específico; carecía de procesos de planeación y programación eficaces, resaltaba la falta de organización, el escaso control de los costos de mantenimiento e ineficientes prácticas de manejo e información que permitiera mejorar la gestión. Sin embargo, en los últimos años las búsquedas por construir mejores estrategias de mantenimiento han llevado a una conciencia más amplia de la importancia de contar con sistemas de gestión, información histórica

³ COLOMBIA. AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Banco de Información Petrolera. Colombia Petrolera. Potencial Petrolero. Bogotá: Minenergía, 2019. Tomado de <https://www.anh.gov.co/Banco%20de%20informacion%20petrolera/Colombia%20Petrolera/Paginas/default.aspx>

de equipos, estructuras de costos, estandarización y documentación de prácticas y procedimientos, planeación y programación de trabajos, indicadores de desempeño, entre otras herramientas claves para una mejora continua.

El mantenimiento tiene una gran incidencia sobre la producción, la productividad y la eficacia de los servicios de las organizaciones. Al enfocar las estrategias de mantenimiento se presentan mejoras tanto en la calidad como en la reducción de costos y de pérdidas. El presente proyecto se enfoca en este nuevo contexto de conciencia en la industria del petróleo en Colombia.

2.3. TIPOS DE MANTENIMIENTO

Existen diferentes formas de abordar las fallas y averías en la maquinaria de producción, por tanto, existen diversos tipos de mantenimiento que responden a maneras de corregir, prevenir o predecir los problemas. Es importante comenzar esta conceptualización de los tipos de mantenimiento proponiendo una definición para el propio término de *mantenimiento*. Según la revista digital de mantenimiento, confiabilidad y gestión de activos *Predictiva 21*:

La institución británica de estándares (BSI, 1984) define el mantenimiento como: “una combinación de todas las técnicas y actividades administrativas asociadas para mantener un equipo, instalaciones y otros bienes físicos en las condiciones operativas deseadas o restaurarlas a esa condición”. Entonces, de este concepto podemos definir los 4 objetivos que el mantenimiento industrial busca cumplir: asegurar la funcionalidad del sistema: disponibilidad, eficiencia y calidad del producto; mantener en buenas condiciones el sistema; asegurar y proteger la integridad física de los operadores, intermediarios y consumidores; mantener la seguridad en todo momento.⁴

⁴ INSTITUCIÓN BRITÁNICA DE ESTÁNDARES. 1984. Citado por PREDICTIVA 21. Tipos de mantenimiento correctivo. Tomado de <https://predictiva21.com/tipos-mantenimiento-correctivo/>

2.3.1. Mantenimiento Correctivo.

El primer tipo de mantenimiento es el correctivo, el cual consiste en arreglar los fallos a medida que van surgiendo. Se trata de un conjunto de tareas técnicas, destinadas a corregir los problemas del equipo que demuestren la necesidad de reparación o reemplazo. Este tipo de mantenimiento corrige los errores del equipo que dependen de la intervención para volver a su función inicial. Aproximadamente hasta el tiempo de la Primera Guerra Mundial, este era el único tipo de mantenimiento que se llevaba a cabo, solamente se reparaba la maquinaria que presentaba daños y solo cuando los presentaba.

El mantenimiento correctivo se lleva a cabo, entonces, ante cualquier necesidad de reemplazo de piezas o de reparación de algún tipo.

Primero, se localiza el problema; luego se registra el daño y después se toman las acciones correctivas necesarias. Naturalmente, esas reparaciones se aplican en el día a día, conforme se van dando las averías a lo largo del proceso productivo. Por tanto, su meta es restaurar la fiabilidad del sistema sin perder la esencia original. Este tipo de mantenimiento recurre a herramientas y labores de corrección por parte de los operarios para resolver las incidencias.⁵

Existen dos tipos de mantenimiento correctivo. Esta clasificación responde principalmente a la diferencia en el tiempo de reparación de la falla o avería después de ser detectada. El mantenimiento correctivo programado no se realiza inmediatamente se identifica el problema, sino que se planifica para más adelante; este tipo de mantenimiento se utiliza generalmente en sistemas o maquinaria de baja importancia en la cadena de producción, debido a que pueden tener que

⁵ PREDICTIVA 21. Tipos de mantenimiento correctivo. Mantenimiento correctivo. Tomado de <https://predictiva21.com/tipos-mantenimiento-correctivo/>

permanecer fuera de servicio y esto no debe significar un retraso en el proceso de la empresa. Un ejemplo de este tipo de mantenimiento se da cuando se utiliza una estrategia de *funcionamiento hasta el fallo*. En este, se dispone que una máquina sea utilizada hasta que falle, para luego ser reparada o reemplazada.

El segundo tipo de mantenimiento correctivo es el no programado o de emergencia, el cual se realiza de manera inmediata. Este mantenimiento se utiliza principalmente cuando se produce un fallo inesperado en un equipo de alta importancia para el funcionamiento de los procesos de la empresa. En este caso la reparación es urgente y el mantenimiento suele ser inevitable.

Aunque la principal ventaja del mantenimiento correctivo es que no hay que invertir tiempo en la planificación, esto no siempre es positivo debido a que las fallas pueden significar riesgos para la producción de una empresa. Por lo tanto, hay que tener en cuenta que para solucionar aquellos problemas que puedan surgir es posible que haya que detener o demorar la producción, lo que convierte al mantenimiento correctivo en un método más acorde a empresas con poca carga de trabajo debido a su imposibilidad de brindar estabilidad a largo plazo.

Además de estas desventajas también es necesario contemplar que, debido a que estas intervenciones no dependen de planes de mantenimiento, la posibilidad de que no haya piezas de repuesto en existencia (en el caso de ser necesarias) o técnicos de mantenimiento disponibles para resolver el problema, es alta.

Aunque en algunos casos es inevitable, el mantenimiento correctivo en muchas ocasiones acaba teniendo un mayor impacto financiero en las empresas. Un porcentaje significativo de estas fallas puede evitarse si se aplican planes de mantenimiento preventivo.

Aún con lo anterior, el mantenimiento correctivo también tiene ventajas notorias. Dentro de estas se encuentra el alargamiento de la vida útil de las máquinas (en algunos casos específicos), por ejemplo, el menor coste para la empresa a corto plazo y la posibilidad de un procesamiento más sencillo.

2.3.2. Mantenimiento Preventivo.

El segundo tipo de mantenimiento es el preventivo, también conocido como mantenimiento planificado, que consiste en adelantarse a las posibles averías que puedan surgir. Es la intervención para la conservación de las máquinas de trabajo mediante escaneos y reparaciones que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad antes de una falla que pueda afectar su rendimiento.

El mantenimiento preventivo es aquél que nos permite disminuir el riesgo de daño o pérdida de los equipos. Un ejemplo de este tipo de mantenimiento es aquel que se basa en evitar los fallos por desgaste; la solución que se toma es la de ir reemplazando las piezas o equipos que pudieran sufrir este tipo de problemas relacionados con el paso del tiempo.

La principal ventaja del mantenimiento preventivo es la posibilidad de evitar imprevistos en la producción debido a problemas en las máquinas. Sin embargo, es importante que este tipo de mantenimiento sea implementado de forma organizada puesto que requiere de inspecciones periódicas para las cuales suele necesitarse una pausa en la producción. “Este tipo de mantenimiento sugiere, en la mayoría de los casos, que las actividades o la producción del negocio se detenga para poder analizar en profundidad el funcionamiento de ordenadores, equipos y maquinarias.

Por esta razón, es importante tener un plan de mantenimiento preventivo distribuido correctamente en el tiempo.”⁶

Además de esto, vale la pena resaltar que, con un manejo organizado y bien estructurado, el mantenimiento preventivo ayuda a disminuir el coste de las reparaciones, debido a que se adelanta a los fallos para corregir los problemas que puedan provocarlos.

Existen dos tipos de mantenimiento preventivo:

Por un lado, el mantenimiento pasivo, que se encarga de atender a los equipos de forma externa, ofreciéndoles un excelente ambiente físico y eléctrico para prevenir fallos causados, por ejemplo, por la humedad o la exposición prolongada a la luz solar. El objetivo de este mantenimiento preventivo es cuidar todos los factores externos para prevenir que puedan afectar la operatividad de los equipos.

Por otro lado, está también el mantenimiento activo, que depende del lugar donde se encuentren los equipos, del modelo y de la calidad de los componentes. El objetivo del mantenimiento preventivo activo es limpiar de forma periódica los equipos para evitar su deterioro por causa de factores como el polvo y la suciedad.

Hay una serie de aspectos importantes para tener en cuenta a la hora de aplicar este tipo de mantenimiento en los equipos de una empresa. Según la empresa de procesos informáticos y digitales EINATEC:

Para hacer un mantenimiento preventivo es necesario diseñar un plan de acción que determine, en primer lugar, qué se desea

⁶ EINATEC. Mantenimiento preventivo, qué es y cómo debe hacerse. Barcelona: 2019. Tomado de <https://einatec.com/mantenimiento-preventivo/>

obtener de ese mantenimiento, cuál es su objetivo y qué presupuesto se va a destinar al mismo. También es muy importante tener una ficha de mantenimiento preventivo por cada uno de los equipos que se van a atender. De esta forma se garantiza el cumplimiento de las leyes y normativas que se deben tener en cuenta durante la realización del mantenimiento.

El mantenimiento preventivo es una tarea que debe ser ejecutada por experto, por esta razón, una vez que se hayan revisado los mantenimientos anteriores, en caso de que existieran, será necesario designar un equipo de responsables del mantenimiento preventivo. Este equipo debe revisar los manuales de los equipos para conocer sus especificaciones y tener un conocimiento amplio en el funcionamiento técnico de los mismos para poder ejecutar las tareas del mantenimiento.

Una vez realizado el mantenimiento pasivo y activo, es importante analizar los resultados y hacer un seguimiento del funcionamiento de los equipos para corroborar que el plan de mantenimiento está siendo efectivo. Es por esto que la recolección de datos y el análisis de estadísticas es clave para organizar un plan de mantenimiento preventivo que funcione de acuerdo a las necesidades de la maquinaria usada.

Según el BSG Institute⁷, en la gran mayoría de empresas en Latinoamérica las compañías aplican este concepto de mantenimiento preventivo, pero realmente solo logran una aplicación incipiente. Muchas empresas llaman mantenimiento preventivo a desarrollar intervenciones para prevenir alguna avería sin tener estudios estadísticos y, a pesar de que logran de alguna manera tener menores costos y mayor disponibilidad, la realización de este mantenimiento es escasamente efectiva.

⁷ BSG INSTITUTE. ¿Qué es Mantenimiento Preventivo?. 2020. Tomado de <https://bsginstitute.com/bs-campus/blog/que-es-mantenimiento-preventivo-1133>

2.3.3. Mantenimiento Predictivo.

El tercer tipo de mantenimiento es muy similar al mantenimiento preventivo, pero se diferencia principalmente por establecer el estado de los equipos teniendo en cuenta tanto variables físicas como químicas. También conocido como mantenimiento basado en condiciones, el mantenimiento predictivo se ha utilizado en el mundo industrial desde la década de 1990.

Este tipo de mantenimiento busca detectar posibles problemas de los equipos con anterioridad y permite anticipar errores. El mantenimiento predictivo también incluye una prevención de la falla mediante un mantenimiento correctivo y programado regularmente. Este proceso de revisión continua se soporta en un monitoreo de condiciones en línea, periódico y remoto.

Aunque tienen varias similitudes, y en muchos programas de mantenimiento son usados de forma simultánea, existen varias diferencias entre el mantenimiento predictivo y el preventivo. Mientras que el mantenimiento preventivo se basa en inspecciones y mantenimientos periódicos que se realizan en un plazo de tiempo aún si la maquinaria no lo requiere, el mantenimiento predictivo identifica estos tiempos en función de condiciones preestablecidas y predeterminadas de forma más específica. Por otra parte, el mantenimiento preventivo no hace uso del componente de monitoreo de condiciones y no requiere de una inversión tan grande de capital en tecnología y capacitación.

Este tipo de mantenimiento tiene muchas ventajas que van desde minimizar el tiempo de inactividad de la maquinaria, maximizar la vida útil de un equipo, hasta transformar una organización entera permitiendo que los administradores de los activos mejoren sus resultados y puedan abrir paso a un equilibrio entre rentabilidad y confiabilidad. Sin embargo, esta última diferencia con el mantenimiento preventivo

que se mencionaba anteriormente radica en la principal desventaja del mantenimiento predictivo: para ser implementado un plan de esta naturaleza requiere una gran cantidad de tiempo incluyendo la capacitación del personal para interpretar los análisis. Esto hace que el mantenimiento predictivo sea más costoso incluso si se decide no capacitar y en cambio usar contratistas de monitoreo de condiciones que se especializan en esta área.

2.3.4. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

Según el Instituto Renovetec de Ingeniería del Mantenimiento (IRIM) “RCM o Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad) es una metodología que busca erradicar o al menos limitar las averías que se producen en las instalaciones.”⁸ Este concepto también se define como una “técnica de organización de las actividades y de la gestión del mantenimiento para desarrollar programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos”⁹. En la actualidad se busca mejorar los resultados de esta metodología de mantenimiento por medio de su combinación con otras metodologías como el mantenimiento radical, el mantenimiento basado en la condición y el proceso de jerarquía analítica.

En otros países se han definido criterios normativos específicos que permiten reconocer los límites mínimos que debe cumplir una metodología para ser denominada RCM. Estos criterios manifiestan que cualquier técnica bajo el nombre de RCM debe responder de forma satisfactoria a la secuencia de preguntas que se muestran en la siguiente figura:

⁸ INSTITUTO RENOVETEC DE INGENIERÍA DEL MANTENIMIENTO. Sobre RCM. Madrid: Renove Tecnología, 2016. Tomado de <http://rcm3.org/que-es-rcm>

⁹ MORA-GUTIÉRREZ, Luis Alberto. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. Alfaomega Grupo Editor, 2009.

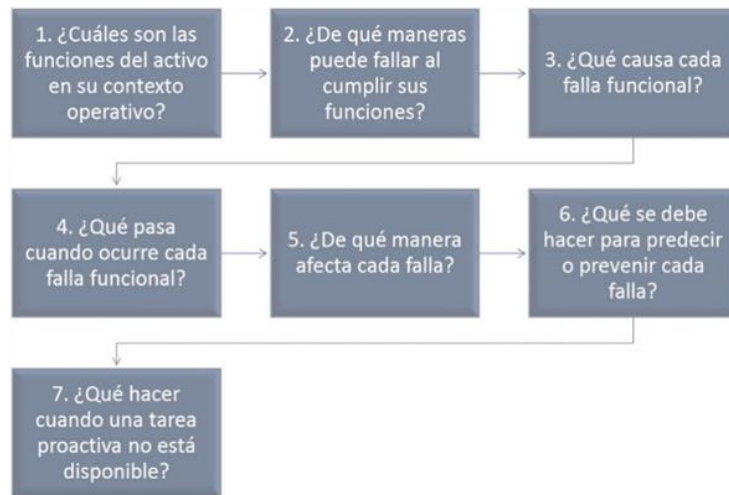


Figura 2. *Proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad*

A la hora de implementar las preguntas a una metodología propuesta es importante contar con toda la información del activo para que sea posible avanzar en la toma de decisiones y las condiciones de implementación de la técnica. Por esta razón, a la hora de definir el RCM debe contemplarse un paso adicional de recopilación y análisis de información.

Un estudio realizado por estudiantes del Instituto Politécnico Nacional de México propuso un procedimiento de implementación de RCM con pasos adicionales para incrementar la calidad del análisis y la efectividad del resultado. Esta metodología se presenta en la figura posterior:

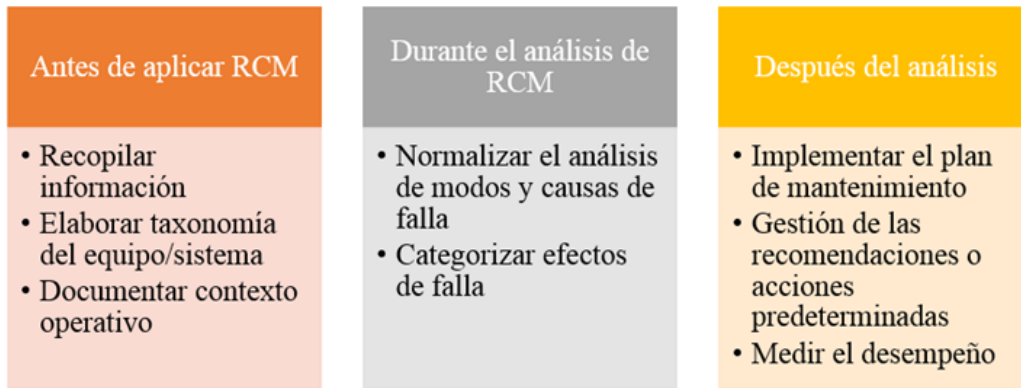


Figura 3. Pasos adicionales propuestos para la metodología de RCM¹⁰

Este amplio espectro de pasos y mejoras que se han realizado en el campo académico al concepto de RCM y su fase de implementación, ayudan a proyectar y centrar la literatura encontrada para el presente proyecto desde diferentes ángulos de análisis.

2.4. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

2.4.1. Decantadora Centrífuga.

Una decantadora centrífuga es un equipo de separación. El proceso que se lleva a cabo con esta herramienta se utiliza para promover la aceleración de partículas por medio de la fuerza centrífuga para separar una mezcla de sólido-líquido. El decantador se usa cuando el contenido de sólidos en la suspensión que debe procesarse es especialmente alto. “Estas máquinas ofrecen una alta eficiencia de

¹⁰ CAMPOS-LÓPEZ, Omar; TOLENTINO-ESLAVA, Guilibaldo; TOLEDO-VELÁZQUEZ, Miguel; TOLENTINO-ESLAVA, René. Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. Científica. México: Instituto Politécnico Nacional, 2019, vol. 23, núm. 1, pp. 51-59.

aclarado y una máxima deshidratación, además de separar líquidos con la extracción simultánea de sólidos.”¹¹

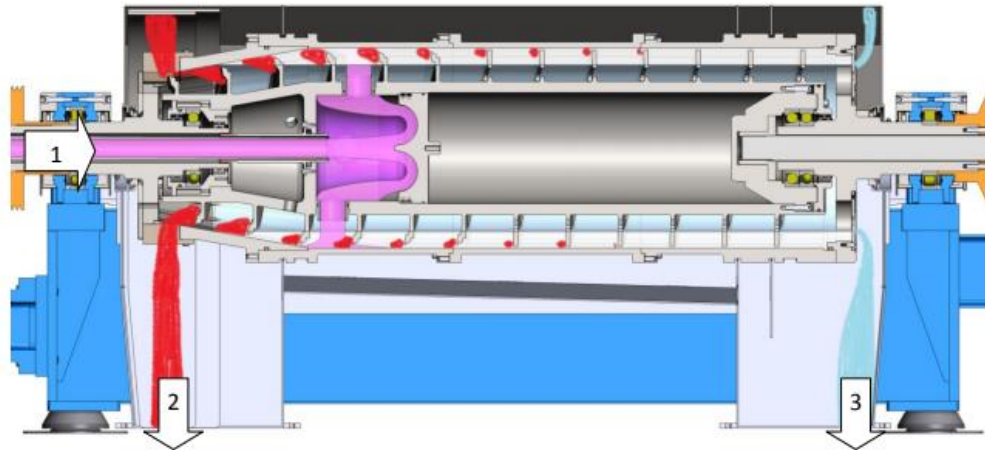


Figura 4. Flujo de producto en una decantadora centrífuga¹²

La centrífuga de esta herramienta de separación se alimenta a través de un tubo estacionario que se encuentra dentro de un eje hueco conectado al transportador helicoidal giratorio (espiral). La mezcla entra en un compartimiento de alimentación y es acelerada a través de ranuras de alimentación dentro de la tina giratoria. Una vez allí, las fuerzas centrífugas aceleran los sólidos pesados y estos se sedimentan en la pared de la tina, mientras que el líquido más ligero llena la tina hasta el nivel del dique de vertido.

Luego de lo anterior, la transportadora se conecta a una caja de engranajes y gira a una velocidad menor que la tina. Al girar de forma ligeramente más lenta y con la

¹¹ GEA. Centrífuga decantadora. 2021. Tomado de <https://www.gea.com/es/products/centrifuges-separation/decanter-centrifuge/index.jsp>

¹² G-TECH BELLMOR. 1656 Decanter Centrifuge Operations Manual. New Zealand: 2010.

hélice en ángulo hacia el diámetro más pequeño (extremo cónico), los sólidos son transportados a lo largo de la pared de la tina hacia el extremo de descarga de sólidos, donde son expulsados. El líquido corre alrededor de la transportadora y sale sobre el dique de vertido que se encuentra en el extremo del diámetro mayor de la tina. Los sólidos ligeros que no se sedimentaron al diámetro interior de la tina (flotadores), son arrastrados hacia afuera con el líquido sobre el dique del vertido.¹³

2.5. INTRODUCCIÓN A LA NORMA ISO 14224.

La norma **ISO 14224** que corresponde a ***Industria de petróleo y gas natural – Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos***, es la norma que brinda las bases en formato estándar para las áreas de perforación, producción, refinación y transporte de petróleo y gas natural.

Esta norma se remonta a los años 80 con una iniciativa realizada por un grupo de compañías petroleras que reconocieron la necesidad de comparar los resultados del uso de sus equipos para mejorar su confiabilidad. Según el estudio en este mismo campo de Paola Juliana Uscátegui Cristancho, “fue así como decidieron asociarse en este proyecto y desarrollaron una gran base de datos que tiene más

¹³ ORTIZ, Perlax. Qué es una Centrifuga Decantadora. 2015. Tomado de [https://www.scribd.com/document/269826418/ Que-es-Una-Centrifuga-Decantadora](https://www.scribd.com/document/269826418/Que-es-Una-Centrifuga-Decantadora)

de 20 años de historia (OREDA), la cual evolucionó hasta convertirse en un estándar que fue publicado en 1998 y revisado en diciembre de 2006.”¹⁴



Fuente. Diplomado en Gestión y control de mantenimiento ACIEM

Figura 5. Información centrada en confiabilidad (ISO 14224)

La información que permite recolectar la norma le da paso al usuario para cuantificar la confiabilidad de un equipo y compararla con la confiabilidad de otros similares. Así mismo, la norma posibilita el diseño y configuración de sistemas, planeación, optimización y ejecución de actividades de mantenimiento en las cuales se clasifica el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). La figura 3 muestra el diagrama de la información según la norma ISO 14224.

¹⁴ USCÁTEGUI CRISTANCHO, Paola Juliana. Propuesta de mejoramiento de gestión de mantenimiento para el departamento de confiabilidad y proyectos en la empresa PetroSantander Colombia (INC). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, 2014.

3. GESTIÓN ACTUAL DE MANTENIMIENTO.

Para iniciar el diagnóstico de la gestión de mantenimiento de las decantadoras centrífugas, se realizó una detallada visualización del del plan actual identificando así condiciones críticas que afectan el desempeño apropiado del equipo.

Para la evaluación antes mencionada de las condiciones críticas que se están presentando en las decantadoras se recurre a las evidencias de acontecimientos presentadas en la operación en campo o en el mantenimiento realizado en base al igual que al historial de fallas que estos equipos incurrir constantemente, no sin descartar la información técnica de operación y mantenimiento suministrado por el fabricante.

3.1. ASPECTOS IDENTIFICADOS.

Después de la revisión realizada se logra identificar:

3.1.1. Registros.

- La compañía cuenta con ficha técnica del equipo, manual de operación y mantenimiento.
- Se posee ficha técnica de la decantadora centrífuga.
- Se tienen registros de ejecución de mantenimiento preventivo y correctivo.
- La ejecución de mantenimiento se realiza parcialmente bajo la asignación de una orden de mantenimiento, algunos se realizan y no se soportan.

- Como soporte de gestión a la orden de trabajo la compañía realiza uso de formatos estandarizados de solicitud de repuesto, mantenimiento correctivo y mantenimiento correctivo.
- Para tener registros y divulgación de acontecimientos de falla, la compañía lo realiza a través de un formato en el cual se expresa la condición del evento, el equipo y sus posibles causas.

3.1.2. Software.

- Para el registro y control de la gestión de mantenimiento, se cuenta con un software que permite la creación de órdenes de trabajo y la asignación de ejecutores y equipos. Cabe mencionar, que esta plataforma no lleva un conteo aplicado de horas de servicio, de cumplimiento de preventivos y de ejecución de rutinas para cada equipo. Adicional, es de libre edición, permitiendo a los usuarios realizar ajustes en cualquier momento.

3.1.3. Actividades de Mantenimiento.

- Diariamente se realiza inspecciones a las decantadoras, las cuales no se soportan en una lista de chequeo.
- La planeación del mantenimiento preventivo se realiza por parte del departamento de mantenimiento el cuál se ejecuta a medida que la operación permita sea realizarse, lo cual no garantiza el buen desempeño del equipo.
- El personal de campo realiza mantenimientos correctivos y preventivos, de los cuales desconocen las rutinas en su totalidad y su buena ejecución.

- Las fallas recurrentes de las decantadoras han ocasionado un costo elevado en reparación.

3.1.4. Mantenimiento Preventivo.

Actualmente la compañía cuenta con un plan de mantenimiento preventivo establecido, el cual se creó a partir de recomendaciones realizadas por el fabricante y por experiencias obtenidas por el departamento de Mantenimiento. Sin embargo, las constantes fallas en los equipos han demostrado que se requiere realizar ajustes puntuales para en algunas de sus actividades con el fin de garantizar el buen funcionamiento y desempeño de las decantadoras centrifugas.

4. CRITICIDAD Y ANALISIS AMEF.

En este capítulo se presenta una propuesta de mejora centrada en la confiabilidad para lograr mejorar la gestión de mantenimiento de las decantadoras centrifugas de la compañía Weatherford, la cual se enfocará en definir la metodología adecuada para realizar las atenciones planificadas a los equipos en mención.

Para realizar un mantenimiento centrado en la confiabilidad es necesario entender y definir las fallas presentes en el equipo. (Anexo A)

4.1. FUNCIONES DEL EQUIPO.

Para la definición de una función es necesario establecer un desempeño adecuado para lo cual fue creado, que a la vez se encuentre dentro de unos vales aceptables o que si de lo contrario se encuentra en unos estándares indeseables y se puede considerar como falla funcional.

En conjunto con el grupo ejecutante de las tareas y textos emitidos por el fabricante se establecieron parámetros y variables que garantizaron la definición de cada componente frente a un funcionamiento adecuado.

A continuación, se definen los componentes del equipo de los cuales se establecieron y definieron sus funciones:

COMPONENTE	FUNCIÓN	
MOTOR WEG	F1	*Transformar energía eléctrica en energía mecánica. *Generar rotación a tambor y tornillo.
BOTON DE EMERGENCIA	F2	Realiza el corte total del flujo eléctrico, aislando el circuito en un determinado punto.
TOTALIZADOR PRINCIPAL	F3	Permite interrumpir la corriente eléctrica cuando dentro del equipo se encuentra presente una falla.
SENSOR	F4	Permite Detectar la posición del tornillo referencia, para de esta forma interrumpir el flujo de corriente si este no se encuentra.
SENSOR	F4	Permite Detectar la posición del tornillo referencia, para de esta forma interrumpir el flujo de corriente si este no se encuentra.
CONTACTOR PRINCIPAL	F5	Realiza el cierre o apertura del circuito eléctrico para que el flujo de corriente fluya hacia el motor principal.
BOTON ENCENDIDO	F6	Permite dar inicio al flujo de corriente proveniente del suministro eléctrico.
CONTACTOR SECUNDARIO	F7	Realiza el cierre o apertura del circuito eléctrico para que el flujo de corriente fluya hacia el motor secundario.
BOTON ENCENDIDO	F6	Permite dar inicio al flujo de corriente proveniente del suministro eléctrico.

Tabla 1. Función Principal de componentes Eléctricos

COMPONENTE	FUNCIÓN	
CAJA DE ENGRANAJES	F7	Transmitir en una relación de 55:1 de torque entregados por el motor al sistema.
EMBRAGUE HIDRAULICO	F8	Permite el arranque del tambor de manera gradual, suavizando el arranque del motor.
EMBRAGUE HIDRAULICO	F8	Permite el arranque del tambor de manera gradual, suavizando el arranque del motor.
POLEA / CORREA	F9	Transmitir velocidad 0.5 RPM de velocidad provenientes del motor eléctrico.
CAJA DE ENGRANAJES	F7	Transmitir en una relación de 55:1 de torque entregados por el motor al sistema.
BASE RODAMIENTOS	F10	*Permite al eje de rotación soportarse sobre ella. *Aloja al rodamiento y lo protege de la Intemperie.
RODAMIENTOS INTERNOS	F11	Permiten la rotación del tambor.
RODAMIENTOS EXTERNOS	F12	Permiten la rotación del tornillo interno.

Tabla 2. Función Principal de componentes Eléctricos

4.2. MODOS DE FALLA.

Para obtener los modos de falla más significativos y potencialmente probables, se consideró históricos de falla de los equipos y las rutinas actuales de mantenimiento preventivo.

Para un análisis de falla adecuado, fue necesario seguir las recomendaciones inscritas en la norma SAE-JA1012, como lo son la Falla Total y parcial y los límites superiores e inferiores.

A continuación, se describe el modelo de falla que ocasionan las posibles fallas funcionales. El desgaste en el equipo es el modo de falla al cual está expuesto.

COMPONENTE	FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLA	
MOTOR WEG	A	Decantadora no energiza	1	Mala alimentación de energía
	A		2	Conexiones de alimentación interrumpidas
BOTON DE EMERGENCIA	A	Decantadora no energiza	3	Botón de parada de emergencia enclavado
TOTALIZADOR PRINCIPAL	A	Decantadora no energiza	4	Falla en totalizador
SENSOR	A	Decantadora no energiza	1	Torque limited activado
SENSOR	A	Decantadora no energiza	2	Tapa de tablero o guarda abierta
CONTACTOR PRINCIPAL	A	Decantadora no energiza	3	Contactador primario enclavados
			4	Falla en controlador lógico zelio
BOTON ENCENDIDO	A	Decantadora no energiza	5	Falla en botón de inicio
CONTACTOR SECUNDARIO	B	El equipo inicia al energizarlo sin oprimir el botón start/stop	1	Contactores secundarios enclavados
BOTON ENCENDIDO	B	El equipo inicia al energizarlo sin oprimir el botón start/stop	2	Falla en botón de inicio

Tabla 3. Modo de Falla para Decantadora Centrifuga de tipo Eléctrico

COMPONENTE	FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLA	
CAJA DE ENGRANAJES	C	Motores inician, pero no se observa giro	1	Falla en sistema de transmisión
EMBRAGUE HIDRAULICO	C	Motores inician, pero no se observa giro	2	Problemas en embrague hidráulico
EMBRAGUE HIDRAULICO	D	Arranque demasiado lento	1	Exceso de fluido en embrague hidráulico
POLEA / CORREA	E	Ruido excesivo en la caja de engranajes	1	Falla en rodamientos de polea
CAJA DE ENGRANAJES	E	Ruido excesivo en la caja de engranajes	2	Falla en rodamientos de engranajes
BASE RODAMIENTOS	E	Ruido excesivo en la caja de engranajes	3	Falla en gs coupling
RODAMIENTOS INTERNOS	F	Rodamientos presentan alta temperatura	1	Falla en rodamientos
RODAMIENTOS EXTERNOS	F	Rodamientos presentan alta temperatura	2	Exceso de lubricación

Tabla 4. Modo de Falla para Decantadora Centrifuga de tipo Eléctrico

4.3. EFECTOS DE LAS FALLAS.

Ya identificados los modelos de falla del equipo, el propósito de los efectos es establecer lo que ocurre cuando estos se presentan en el equipo.

Para establecer dichos efectos es necesario recurrir a históricos de los equipos y en el grupo de mantenimiento de la compañía, los cuales facilitan establecer las consecuencias de cada modo de falla y de esta forma enfocar actividades relacionadas a mantenimiento que busquen eliminar y/o minimizar estas fallas.

Se presentan fallas tales como por causas de sobre tensión o exceso de vibración que se activaran por medio de una alerta (supresión de voltaje / indicador lumínico) y otros que se presentan por funcionamiento y condición de la máquina.

Cabe mencionar, que se también se encuentran efectos de falla causando afectación al medio ambiente o inclusive a la seguridad alineados a la regulación que aplique.

Los efectos en las operaciones en campo que se presenten debido a causa de un modelo de falla definido se describen como efectos operacionales y los cuales se podrán ser principales o causantes de daños secundarios.

A continuación, se describe los efectos de las fallas alineado a sus modelos de falla, contemplando situaciones normales, recurrentes, inesperadas o súbitas; las cuales se definirán fácilmente por el personal de campo y mantenimiento frente a un mal desempeño del equipo.

COMPONENTE	MODO DE FALLA		EFECTOS DE LA FALLA
MOTOR WEG	1	Mala alimentación de energía	*Sistema no inicia, no hay giro de motor *Riesgo por exposición de personas a corrientes parasitas. *Equipo inoperativo, tiempo perdido en operación.
	2	Conexiones de alimentación interrumpidas	*Sistema no inicia, no hay giro de motor *Riesgo por exposición de personas a corrientes parasitas. *Manipulación inadecuada, riesgo por choque eléctrico. *Equipo sin disponibilidad para operaciones.
BOTON DE EMERGENCIA	3	Botón de parada de emergencia enclavado	*Sistema no inicia, motores no encienden *Consumo de energía, sin tener el equipo operando. *Riesgo a las personas, por manipulación de personal inexperto.
TOTALIZADOR PRINCIPAL	4	Falla en totalizador	*Pérdida de energía en sistema. *Sistema inicia, pero se apaga, no continuo protocolo de encendido. *Riego a personas por exposición eléctrica al destapar el tablero. *Pérdida de tiempo en operaciones de campo.

SENSOR	1	Torque limited activado	<ul style="list-style-type: none"> *Pérdida de detección de posición de torque. *Equipo no operativo. *Tiempo perdido en operación de campo. *Riegos al personal por apertura de equipo.
SENSOR	2	Tapa de tablero o guarda abierta	<ul style="list-style-type: none"> *Pérdida de detección de posición de tapa. *Equipo no operativo. *Tiempo perdido en operación de campo. *Riegos al personal por apertura de equipo.
CONTACTOR PRINCIPAL	3	Contactador primario enclavados	<ul style="list-style-type: none"> *Pérdida de energía en motor 1. *Sistema inicia, pero se apaga, no continuo protocolo de encendido. *Riego a personas por exposición eléctrica al destapar el tablero. *Pérdida de tiempo en operaciones de campo.
	4	Falla en controlador lógico zelio	<ul style="list-style-type: none"> *Sistema no inicia, a pesar de estar energizado. *Riego a personas por exposición eléctrica al destapar el tablero. *Pérdida de tiempo en operaciones de campo.
BOTON ENCENDIDO	5	Falla en botón de inicio	<ul style="list-style-type: none"> *Sistema no inicia, motores no encienden *Consumo de energía, sin tener el equipo operando.
CONTACTOR SECUNDARIO	1	Contactores secundarios enclavados	<ul style="list-style-type: none"> *Pérdida de energía en motor 2. *Sistema inicia, pero se apaga, no continuo protocolo de encendido. *Riego a personas por exposición eléctrica al destapar el tablero. *Pérdida de tiempo en operaciones de campo.
BOTON ENCENDIDO	2	Falla en botón de inicio	<ul style="list-style-type: none"> *Sistema no inicia, motores no encienden *Consumo de energía, sin tener el equipo operando.

Tabla 5. Efecto de Falla para Decantadora Centrifuga de tipo Eléctrico

COMPONENTE	MODO DE FALLA		EFECTOS DE LA FALLA
CAJA DE ENGRANAJES	1	Falla en sistema de transmisión	*Presencia de vibración y ruido en la caja de engranajes. *Aumento de consumo de energía en el motor 1. *Pérdida de capacidad en el giro del tambor.
EMBRAGUE HIDRAULICO	2	Problemas en embrague hidráulico	*Aumento de consumo de energía en el motor 2. *Inicio de equipo demasiado alto, no hay despegue suavizado. *Ruptura de correas de transmisión.
EMBRAGUE HIDRAULICO	1	Exceso de fluido en embrague hidráulico	*Aumento de consumo de energía en el motor 2. *Giro excesivamente lento, sobre esfuerzo de motor. *Recalentamiento de motor. *Ruptura de correas de transmisión.
POLEA / CORREA	1	Falla en rodamientos de polea	*Presencia de vibración y ruido en el equipo. *Aumento de consumo de energía en el motor 1. *Distensión de correa de transmisión. *Ruptura de correa de transmisión.
CAJA DE ENGRANAJES	2	Falla en rodamientos de engranajes	*Presencia de vibración y ruido en la caja de engranajes. *Aumento de consumo de energía en el motor 1. *Pérdida de relación de transmisión.
BASE RODAMIENTOS	3	Falla en gs coupling	*Presencia de vibración y ruido en el equipo. *Aumento de consumo de energía en el motor 1. *Distensión de correa de transmisión. *Ruptura de correa de transmisión.
RODAMIENTOS INTERNOS	1	Falla en rodamientos	*Presencia de vibración y ruido en tambor. *Presencia de grasa en material procesado. *Apagado de equipo, alarma visual de exceso de vibración.
RODAMIENTOS EXTERNOS	2	Exceso de lubricación	*Alta temperatura en chumaceras externas. *Ruido excesivo en chumaceras externas. *Apagado de equipo, alarma visual de exceso de vibración.

Tabla 6. Efecto de Falla para Decantadora Centrifuga de tipo Mecánico

4.4. ANÁLISIS DE CRITICIDAD.

El análisis modo y efecto de falla es una metodología que permite identificar errores potenciales y los efectos que este causara dentro de un equipo; buscando así los principales y/o recurrentes y por consiguiente centrar esfuerzos en ellos.

Para ello el análisis se basa en el Modelo de criticidad semicuantitativa “MCR” Matriz de Criticidad por Riesgo, este modelo está basado en la estimación del factor Riesgo a través de:

$$\text{Riesgo} = \text{FF} \times \text{C}$$

Dónde:

FF = Frecuencia de fallos (número de fallas en un tiempo determinado)

C = Consecuencias de los fallos a la seguridad, ambiente, calidad, producción, etc.
(Impacto en Seguridad y Medio Ambiente (SHA) x 0,2) + (Impacto en Calidad (IC) x 0,2) + (Impacto Producción (IP) x 0,2) + (Impacto por Baja Mantenibilidad (BM) x 0,2) + (Costos de Mantenimiento (CM) x 0,2)

Para la jerarquización del proceso o los componentes se tienen los factores de frecuencia y consecuencias de fallos:

4.4.1. Categoría de frecuencias de Ocurrencia

JERARQUIZACIÓN DE LOS FACTORES DE FRECUENCIA Y CONSECUENCIAS DE FALLOS		
Frecuencia de fallas [FF]	1 falla por año	1
	Entre 2 y 3 Fallas por año	2
	Entre 4 y 5 Fallas por año	3
	Entre 6 o más Fallas por año	5
Impacto en QHSE y medio ambiente [SHA]	Bajo	1
	Medio	3
	Alto	5
Impacto operacional [IO]	Pérdida entre 1% y 25%	1
	Pérdida entre 26% y 50%	2
	Pérdida entre 51% y 75%	4
	Pérdida entre 76% y 100%	6
Flexibilidad operacional [FO]	Repuesto listo para instalar	1
	Repuesto en bodega	2
	Repuesto con proveedor local	3
	Repuesto con proveedor extranjero	5
Costo de mantenimiento [CM]	Entre 0 y US\$ 500	1
	Entre US\$ 500 y US\$ 2000	2
	Entre US\$ 2000 y US\$ 5000	3
	Mas de US\$ 5000	5

Tabla 7. Tabla de Criterio de Frecuencia

Los resultados del análisis de los factores descritos se muestran en la matriz de criticidad, donde el eje vertical se forma por las frecuencias de los fallos y en el eje horizontal las consecuencias de estos. La matriz a la vez se representa en cuatro niveles de criticidad:

Frecuencia	5	A	MA	MA	MA	MA
	4	A	A	A	A	MA
	3	M	M	M	A	MA
	2	B	B	B	M	M
	1	B	B	B	M	M
		1	2	3	4	5
Consecuencias						

Tabla 8. Nivel de Criticidad

Zonas de criticidad:

B = Baja criticidad: requiere atención, pero no inmediata ya que su afectación será menor.

M = Media criticidad: Criticidad de bajo impacto, el cual se puede reprogramar y a la vez reducir el impacto con mejoras.

A = Alta criticidad: Requiere investigar y analizar a más detalle, con el fin de reducir la criticidad del equipo.

MA = Muy Alta criticidad: Requiere acción inmediata, sin considerar el costo ya que el equipo se encuentra en riesgo y emergencia.

4.4.2. Fallas Recurrentes en Decantadoras.

Se establece y describe el método para la jerarquía de los componentes de una decantadora centrífuga, permitiendo así separar los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y sencilla.

Semanas evaluadas	105
Total, de eventos	56

Fallas por año	1,875
----------------	-------

COMPONENTE	# DE FALLOS
Rodamientos Polea	11
Rodamientos Motor	3
Contactador Ppal	4
Contactores Sec.	16
Totalizador	12
Sensor	2
Polea / Correa	4
Soporte Rodamiento	4

COMPONENTE	FALLAS x AÑO
Rodamientos Polea	5,867
Rodamientos Motor	1,600
Contactador Ppal	2,133
Contactores Sec.	8,533
Totalizador	6,400
Sensor	1,067
Polea / Correa	2,133
Soporte Rodamiento	2,133

Tabla 9. Resumen de Fallos

4.4.3. Evaluación de Criticidad.

Después de obtener los ponderados de frecuencia de ocurrencia y las fallas causadas en las Decantadoras Centrifugas se realiza la evaluación de Criticidad en los componentes con más tendencia a la falla:

ITEM	COMPONENTE	FF	SHA	IO	FO	CM	C
1	Rodamientos Polea	5	3	6	2	2	13
2	Rodamientos Motor	2	0	6	2	2	10
3	Contactador Ppal	3	5	6	3	3	17
4	Contactores Sec.	5	3	2	2	3	10
5	Totalizador	5	0	1	3	5	9
6	Sensor	2	0	2	3	3	8
7	Polea / Correa	3	3	4	1	1	9
8	Soporte Rodamiento	3	0	4	1	1	6

Tabla 10. Evaluación de Criticidad

MATRIZ DE CRITICIDAD																
Frecuencia	Consecuencias															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
5	5	4	3	2	1	6	5	4	3	2	1	13	12	11	10	
4	4	3	2	1	5	4	3	2	1	11	10	9	8	7	6	
3	3	2	1	4	3	2	1	8	7	6	5	4	3	2	1	
2	2	1	3	2	1	4	3	2	1	6	5	4	3	2	1	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	

Tabla 11. Matriz de Criticidad

De esta forma se determina las partes más críticas de falla en el equipo, y serán los puntos sobre los cuales el Departamento de mantenimiento centrara sus esfuerzos para mejorar el desempeño de estas garantizara un funcionamiento apropiado de las decantadoras en donde se encuentren operando.

ITEM	COMPONENTE	CANT	ESTADO
1	Rodamientos Polea	65	MUY ALTA
3	Contactador Ppal	51	MUY ALTA
4	Contactores Sec.	50	MUY ALTA
5	Protector Fricción	45	ALTA
7	Banda	27	ALTA
2	Rodamientos Motor	20	ALTA
8	Soporte Rodamiento	18	MEDIA
6	Tubo de flujo	16	MEDIA

Tabla 12. Criticidad por componentes

5. PROPUESTA DE MEJORA PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LAS DECANTADORAS CENTRIFUGAS.

A continuación, se establecieron y definieron actividades y frecuencias de mantenimiento con el fin de procurar mejorar el plan de mantenimiento actual y garantizar la confiabilidad de las decantadoras centrifugas en los campos de perforación.

5.1. ÁRBOL LÓGICO DE DECISIONES.

Con el fin de disminuir la tendencia a la falla se hizo necesario recurrir al árbol lógico de decisiones, dentro del cual se categorizaron y distribuyeron las actividades de mantenimiento para cumplir tal fin.

Dentro de la definición de las actividades y su respectiva jerarquización, es viable analizar su factibilidad, es decir debe ser viable técnicamente de realizar y a la vez disminuye o elimina el originador de la falla, creado así un alivio operacional. Al cumplirse esta factibilidad se evaluará si los costos asociados a su implementación se asumen por los resultados obtenidos.

5.2. HOJA DE DECISIONES DE RCM

La función principal de la hoja de decisiones es ingresar los valores y resultados obtenidos a cada una de las preguntas generadas en el árbol de decisiones, para ello es necesario:

- Responder si las actividades de mantenimiento preventivo se enfocan a cubrir la frecuencia y la rutina y a la vez asignando a un responsable.

- Responder si la actividad de mantenimiento no es la correcta.
- Responder si la actividad de mantenimiento no cubre la solución y simplemente se permite a la falla ocurrir.

5.3. ACTIVIDADES Y FRECUENCIAS DE MANTENIMIENTO.

Con el apoyo del personal de mantenimiento y los resultados obtenidos en el árbol lógico de decisiones se lograron establecer actividades y frecuencias de mantenimiento enfocando el esfuerzo a la disminución de fallas. (Anexo B)

Para definir las fallas se enfocó el esfuerzo a las probabilidades de presencia de falla, la factibilidad de esta y su vida útil.

5.3.1. Tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclica.

Las tareas de reacondicionamiento se presentan o ejecutan, particularmente; cuando se tiene una relación entre la vida útil del componente y la probabilidad a la falla, las cuales tienen como principio el reacondicionar la pieza antes de finalizar su vida útil, esto sin contemplar su estado actual o su condición de funcionamiento.

Ahora, por su parte las tareas de sustitución cíclica, se basa en eliminar un componente antes de finalizar su vida útil, al igual que en las tareas de reacondicionamiento esta eliminación, se da sin contemplar su estado actual o su condición de funcionamiento.

Estos remplazos o eliminación de determinados componentes, se da en una frecuencia que depende de su periodo de vida útil, tiempo en el que la pieza demostrara su tendencia a fallar.

A continuación, se describen las actividades de reacondicionamiento y sustitución para los componentes de la decantadora:

COMPONENTE	F	FF	MF	TIPO DE TAREA	FRECUENCIA	ACTIVIDAD	RESPONSBLE
TOTALIZADOR PRINCIPAL	F3	A	4	Reacondicionamiento Cíclico	8 meses	* Limpieza de Contactos * Inspección de resortes y ensamble * Lubricación con Lub. Dieléctrico	R&M Electrical
CONTACTOR PRINCIPAL	F5	A	4	Reacondicionamiento Cíclico	6 meses	* Limpieza de Ensamble * Ajuste de partes * Lubricación con Lub. Dieléctrico * Ajuste de posición	R&M Electrical
CONTACTOR SECUNDARIO	F7	B	1	Reacondicionamiento Cíclico	6 meses	* Limpieza de Ensamble * Ajuste de partes * Lubricación con Lub. Dieléctrico * Ajuste de posición	R&M Electrical

Tabla 13. Tareas de reacondicionamiento y sustitución para los componentes de la decantadora de tipo eléctrico

COMPONENTE	F	FF	MF	TIPO DE TAREA	FRECUENCIA	ACTIVIDAD	RESPONSBLE
CAJA DE ENGRANAJES	F7	C	1	Reacondicionamiento Cíclico	6 meses 2000 Hrs	*Inspección Visual de calidad *Verificación de nivel de aceite	OPS Technical R&M Mechanical
POLEA / CORREA	F9	E	1	Sustitución programada	8 meses	*Reemplazo de Correa	R&M Mechanical
CAJA DE ENGRANAJES	F7	E	2	Reacondicionamiento Cíclico	6 meses 2000 Hrs	*Inspección Visual de calidad *Verificación de nivel de aceite	OPS Technical R&M Mechanical
BASE RODAMIENTOS	F10	E	3	Sustitución programada	7 meses	*Reemplazar Rodamientos	R&M Mechanical
RODAMIENTOS INTERNOS	F11	F	1	Sustitución programada	5 meses	*Reemplazar Rodamientos	R&M Mechanical
RODAMIENTOS EXTERNOS	F12	F	2	Sustitución programada	5 meses	*Reemplazar Rodamientos	R&M Mechanical

Tabla 14. Tareas de reacondicionamiento y sustitución para los componentes de la decantadora de tipo mecánico

5.3.2. Tareas de Monitoreo.

En conjunto con el grupo de mantenimiento de la compañía se buscó identificar y definir las actividades de monitoreo alineado a unas frecuencias de ejecución; identificar y ejecutar estas ayudan a rastrear fallas que pueden desencadenar consecuencias graves en el equipo.

A continuación, se describen las actividades de monitoreo para los componentes de la decantadora:

COMPONENTE	F	FF	MF	TIPO DE TAREA	FRECUENCIA	ACTIVIDAD	RESPONSIBLE
MOTOR WEG	F1	A	1	Monitoreo	8 meses	* Análisis de vibraciones	R&M Electrical
MOTOR WEG	F1	A	2	Monitoreo	6 meses	* Ajuste de conexiones del motor	R&M Electrical
CONTACTOR PRINCIPAL	F5	A	3	Monitoreo	2 meses	*Inspección Visual	OPS Technical R&M Electrical
BOTON ENCENDIDO	F6	A	5	Monitoreo	4 meses	* Limpieza de Ensamble *Ajuste de partes	R&M Electrical
BOTON ENCENDIDO	F6	B	2	Monitoreo	4 meses	* Limpieza de Ensamble *Ajuste de partes	R&M Electrical
BOTON DE EMERGENCIA	F2	A	3	Monitoreo	4 meses	* Limpieza de Ensamble *Ajuste de partes	R&M Electrical
SENSOR	F4	A	1	Monitoreo	4 meses	* Limpieza de Ensamble *Ajuste de partes * Lubricación con Lub. Dieléctrico * Ajuste de posición	R&M Electrical
SENSOR	F4	A	2	Monitoreo	4 meses	* Limpieza de Ensamble *Ajuste de partes * Lubricación con Lub. Dieléctrico * Ajuste de posición	R&M Electrical

Tabla 15. Tareas de monitoreo para los componentes de la decantadora de tipo eléctrico

COMPONENTE	F	FF	MF	TIPO DE TAREA	FRECUENCIA	ACTIVIDAD	RESPONSBLE
EMBRAGUE HIDRAULICO	F8	C	2	Monitoreo	6 meses	*Inspección Visual de calidad *Verificación de nivel de aceite	OPS Technical R&M Mechanical
EMBRAGUE HIDRAULICO	F8	D	1	Monitoreo	6 meses	*Inspección Visual de calidad *Verificación de nivel de aceite	OPS Technical R&M Mechanical

Tabla 16. Tareas de monitoreo, reacondicionamiento y sustitución para los componentes de la decantadora de tipo mecánico

5.3.3. Tareas “A falta de”

Después de una evaluación de las consecuencias de falla, es necesario establecer unas tareas que técnicamente sean viables y deban ser realizadas.

En las tareas “A falta de” encontramos 2 tipos de decisiones para ejecutar; en el primero de los casos se tienen “*Búsqueda de Fallos*”, el cual se llevará a cabo cuando la reducción del riesgo no es posible o la probabilidad de la falla sea latente a que ocurra. Por otro lado, cuando no se identifique una falla pero que será de gran impacto en el desempeño operacional del equipo el tipo de decisión a realizar será “*Mantenimiento No Programado*”, la cual llevara al componente a la falla súbita.

A continuación, se describen las actividades “A Falta de” para los componentes de la decantadora:

COMPONENTE	F	FF	MF	TIPO DE TAREA	FRECUENCIA	ACTIVIDAD	RESPONSBLE
BOTON DE EMERGENCIA	F2	A	3	Búsqueda de Fallos	1 meses	Prueba paro de Emergencia	R&M Electrical
SENSOR	F4	A	1	Búsqueda de Fallos	1 meses	Prueba paro de Emergencia	R&M Electrical
SENSOR	F4	A	2	Búsqueda de Fallos	1 meses	Prueba paro de Emergencia	R&M Electrical
RODAMIENTOS MOTORES	F1	A	1	Mantenimiento no programado	N/A	Falla Súbita	N/A

Tabla 17. Tareas “A falta de” para los componentes de la decantadora

De lo anterior, se puede obtener que para la Decantadora Centrífuga las tareas de mantenimiento por tipo de decisión son:

TIPO DE TAREA	CANT
Reacondicionamiento Cíclico	5
Monitoreo	10
Sustitución programada	4
Búsqueda de Fallos	3
Mantenimiento no programado	1

Tabla 18. Tipo de Tareas para Decantadoras Centrífugas

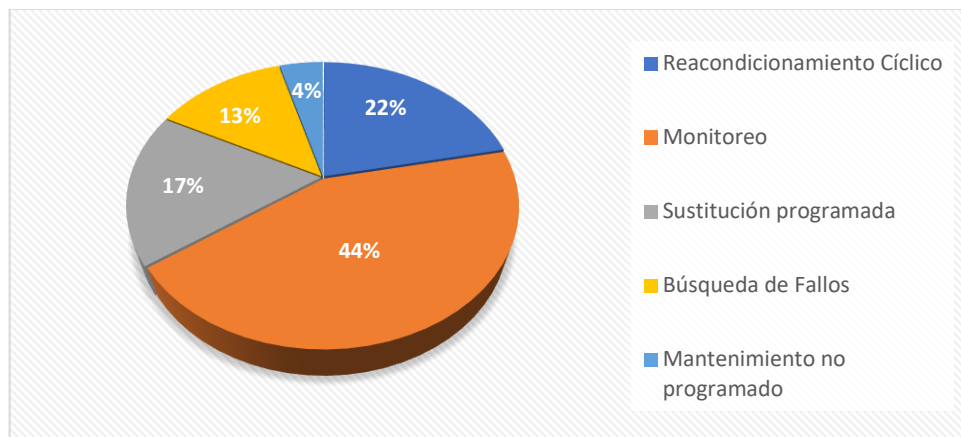


Figura 6. Porcentaje de tipo de Decisiones para la Decantadora Centrífuga

De lo anterior es preciso concluir que las tareas de tipo preventivo encontrándose las actividades de reacondicionamiento y sustitución cubren el **39%** del total de las tareas, mientras que las tareas de tipo predictivo quienes para RCM son actividades de monitores, se tiene un **44%**.

Después de la aplicar la metodología RCM, se puede resumir a continuación el proceso para las Decantadoras Centrifugas:

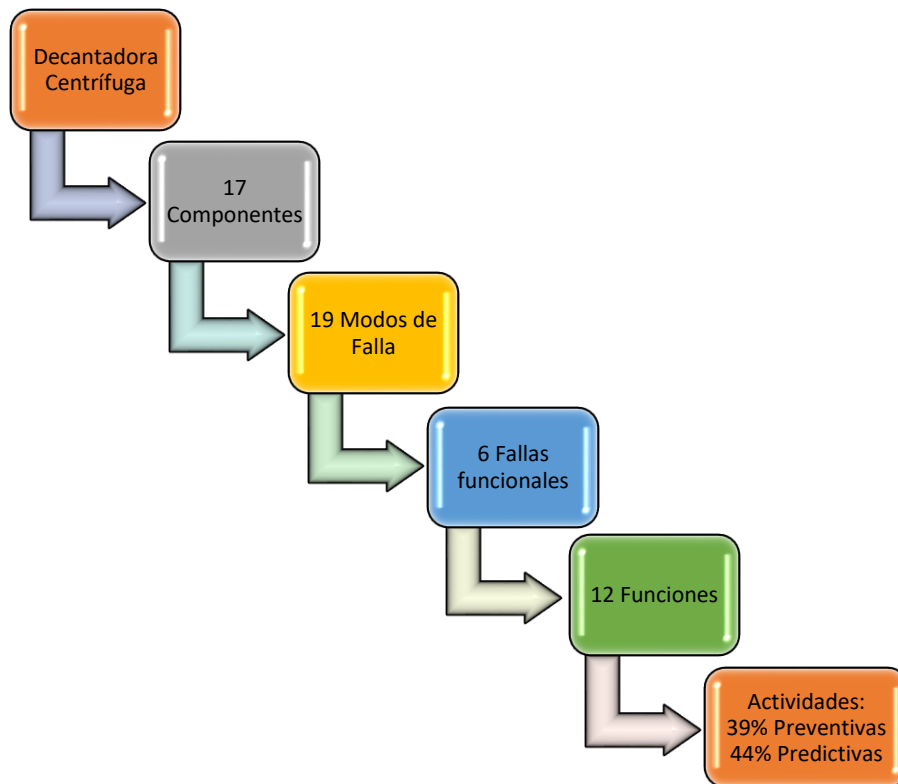


Figura 7. Resultado de Procesos del RCM en Decantadoras Centrifugas

5.4. COSTOS DE MANTENIMIENTO.

Cuando se realiza una mejora al plan de mantenimiento actual, como lo es en esta propuesta para enfocarlo a un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad, se está buscando conseguir una operación de la maquina segura y disponible y a la vez disminuir los costos asociados a su buen desempeño por remplazos de partes o por periodos no operativos.

Para cumplir tal fin, se crean tareas con una baja inversión, pero con un ahorro y mejor desempeño dentro de la gestión de mantenimiento.

A continuación, se describen en detalle los costos asociados a la implementación del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad:

PRESUPUESTO GLOBAL				
GASTOS DE PERSONAL				
ITEM	CANT	\$ / Hr	Hrs	COSTO
1	Personal de A&I, manejo de JDE	\$ 18.750	20	\$ 375.000
				\$ 375.000
EJECUCION DEL PLAN				
ITEM	FINALIDAD	\$ / Hr	Hrs	COSTO
2	R&M Electrical	\$ 16.042	206	\$ 3.304.583
3	R&M Mechanical	\$ 16.042	156	\$ 2.502.500
4	Field Operator	\$ 10.625	136	\$ 1.445.000
				\$ 7.252.083
EQUIPOS				
ITEM	FINALIDAD			COSTO
5	Telurómetro			\$ 10.580.000
6	Pinza Voltiamperimetrica			\$ 1.040.000
7	Analizador de Vibraciones (METER G-FORCE VIBRATION)			\$ 11.800.000
				\$ 23.420.000
MATERIALES				
ITEM	FINALIDAD			COSTO
8	Aceite Hidráulico			\$ 723.460
9	Aceite para Engranajes			\$ 1.357.778
10	Grasa a base Litio			\$ 922.525
11	Repuestos			\$ 3.876.000
				\$ 6.879.763
TOTAL, SIN IMPREVISTOS				\$ 37.926.846
IMPREVISTOS DEL 10%				\$ 3.792.685
TOTAL				\$ 41.719.531

Tabla 19. Costo anual estimado para la implementación de la propuesta.

El tiempo y el costo que se detalla anteriormente hace referencia a todas las decantadoras con las cuales cuenta la línea de servicio, dentro de base o en los distintos campos donde operen, incluido los operadores y los insumos requeridos para las actividades.

Adicional, se indica los costos actuales de la gestión de mantenimiento causados por las fallas presentes en los equipos frente los costos que se esperan sean causados por la Implementación de la propuesta:

DESCRIPCION	PLAN ACTUAL	PLAN PROPUESTO
Costo de mano de Obra actual	\$ 46.200.000	\$ 46.200.000
Costo anual de mantenimiento estimado	\$ 141.080.498	\$ 27.503.891
Costo anual Total	\$ 187.280.498	\$ 73.703.891
Ahorro Estimado	\$ 113.576.607	

Tabla 20. Costo estimado de situación actual Vs propuesta planteada

5.5. INDICADORES DE MANTENIMIENTO.

En la búsqueda de mejorar el comportamiento operacional de las decantadoras centrífugas con la ejecución de tareas enfocadas a un ajuste a la prevención con actividades de reacondicionamiento y sustitución y con un enfoque predictivo con actividades predictivas se logra optimar los indicadores de la línea de servicio de la compañía.

Siendo así, con la disminución en la cantidad de fallas en los equipos se puede mejorar el tiempo medio entre fallas y a la vez disminuir periodos de mantenimiento correctivo garantizando así una disponibilidad más alta de las maquinas.

A continuación, se indica lo que se estima percibir en los indicadores de gestión de la línea de servicio:

DESCRIPCION	PLAN ACTUAL	PLAN PROPUESTO
Técnicos R&M	2	2
Numero de fallos al año	37	8
MTBF (hr)	54,85	216,56
MTTR (hr)	15,82	7,27
Confiabilidad	77,6%	95,1%

Tabla 21. Indicadores estimados de situación actual Vs propuesta planteada

Con la ejecución del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad, se espera que la disponibilidad de las decantadoras centrifugas alcance un 95%, y a la vez este incremento cause una disminución en los costos asociados a mantenimiento del 61%; Lo cual demuestra la factibilidad de la propuesta para la compañía.

Adicional a lo anterior, la propuesta generara tiempos más extensos entre fallas (MTBF) y un tiempo para reparar (MTTR) más corto.

6. CONCLUSIONES.

- La metodología de análisis por criticidad permite validar equipos, componentes o sistemas los cuales fueron ponderados por jerarquías que permitieron definir acciones de forma correcta.
- Con la jerarquización de los componentes del equipo se validan con la ayuda de las expresiones matemáticas para determinar la criticidad de cada uno de los componentes.
- La metodología RCM aplicada a las decantadoras centrifugas de la compañía Weatherford Limited, permite mejorar la gestión de mantenimiento de sus equipos; demostrando muchas características favorables desde campos operacionales y económicos.
- Con las herramientas de RCM tales como análisis de falla y modos de falla, facilitaron la identificación de averías y sus efectos, con esto permitió definir las tareas y sus frecuencias para mejorar esta condición dentro del equipo.
- Una vez establecidas las tareas de tipo preventivo y de tipo predictivo se logró identificar que estas son 39% y 44% respectivamente, con lo cual se procura mejorar los tiempos entre fallas y la cantidad de fallas presentes en los equipos.
- Con la aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad y por medio de sus herramientas, se identifican 19 modos de falla, 6 fallas funcionales con tareas de monitoreo, acondicionamiento y sustitución, que permiten generar un 95.1% en la confiabilidad de las decantadoras.

BIBLIOGRAFIA.

ANER. SUPER USER. ¿Qué es el mantenimiento correctivo? Barcelona: 2020. Tomado de <https://www.aner.com/blog/mantenimiento-correctivo.html>

CAMPOS-LÓPEZ, Omar; TOLENTINO-ESLAVA, Guilibaldo; TOLEDO-VELÁZQUEZ, Miguel; TOLENTINO-ESLAVA, René. Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. Científica. México: Instituto Politécnico Nacional, 2019.

COLOMBIA. AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Banco de Información Petrolera. Colombia Petrolera. Potencial Petrolero. Bogotá: Minenergía, 2019.

EINATEC. Mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo, ¿cuál es mejor? Barcelona: 2018. Tomado de <https://einatec.com/mantenimiento-correctivo-preventivo-y-predictivo/>

INSTITUTO RENOVETEC DE INGENIERÍA DEL MANTENIMIENTO. Mantenimiento correctivo. Madrid: Renove Tecnología, 2016. Tomado de <http://mantenimiento.renovetec.com/135-mantenimiento-correctivo>

INSTITUTO RENOVETEC DE INGENIERÍA DEL MANTENIMIENTO. Sobre RCM. Madrid: Renove Tecnología, 2016. Tomado de <http://rcm3.org/que-es-rcm>

GEA. Centrífuga decantadora. 2021.

MANTENIMIENTO PETROQUÍMICA. INSTITUTO RENOVETEC DE INGENIERÍA DEL MANTENIMIENTO. Mantenimiento productivo total (TPM): descripción

general. Madrid: Renove Tecnología, 2021. Tomado de <https://www.mantenimientopetroquimica.com/tpm.html>

MANTENIMIENTO PETROQUÍMICA. INSTITUTO RENOVETEC DE INGENIERÍA DEL MANTENIMIENTO. Explicación del Mantenimiento Predictivo. Madrid: Renove Tecnología, 2021. Tomado de <https://www.mantenimiento petroquimica.com/mantenimientopredictivo.html>

ORTIZ, Perla. Qué es una Centrifuga Decantadora. 2015.

PREDICTIVA 21. Tipos de mantenimiento correctivo. Mantenimiento correctivo. Tomado de <https://predictiva21.com/tipos-mantenimiento-correctivo/>

RODRÍGUEZ MACHADO, Antonio. Manual de Gestión de Mantenimiento. Santa Clara: Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo, Departamento Ingeniería Industrial, 2012, p. 118-123. Tomado de <https://1library.co/article/ventajas-y-desventajas-del-mantenimiento-productivo-total.y8g3pj0z>

USCÁTEGUI CRISTANCHO, Paola Juliana. Propuesta de mejoramiento de gestión de mantenimiento para el departamento de confiabilidad y proyectos en la empresa PetroSantander Colombia (INC). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, 2014.

ANEXOS.

Anexo A. Análisis de modos y efectos de las fallas.

SISTEMA	FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE LA FALLA			
MOTOR WEG	F1	*Transformar energía eléctrica en energía mecánica. *Generar rotación a tambor y tornillo.	A	Decantadora no energiza	1	Mala alimentación de energía	*Sistema no inicia, no hay giro de motor *Riesgo por exposición de personas a corrientes parasitas. *Equipo inoperativo, tiempo perdido en operación.
		A	2		Conexiones de alimentación interrumpidas	*Sistema no inicia, no hay giro de motor *Riesgo por exposición de personas a corrientes parasitas. *Manipulación inadecuada, riesgo por choque eléctrico. *Equipo sin disponibilidad para operaciones.	
BOTON DE EMERGENCIA	F2	Realiza el corte total del flujo eléctrico, aislando el circuito en un determinado punto.	A	Decantadora no energiza	3	Botón de parado de emergencia enclavado	*Sistema no inicia, motores no encienden *Consumo de energía, sin tener el equipo operando. *Riesgo a las personas, por manipulación de personal inexperto.
TOTALIZADOR PRINCIPAL	F3	Permite interrumpir la corriente eléctrica cuando dentro del equipo se encuentra presente una falla.	A	Decantadora no energiza	4	Falla en totalizador	*Pérdida de energía en sistema. *Sistema inicia, pero se apaga, no continuo protocolo de encendido. *Riesgo a personas por exposición eléctrica al destapar el tablero. *Pérdida de tiempo en operaciones de campo.
SENSOR	F4	Permite Detectar la posición del tornillo referencia, para de esta forma interrumpir el flujo de corriente si este no se encuentra.	A	Decantadora no energiza	1	Torque limited activado	*Pérdida de detección de posición de torque. *Equipo no operativo. *Tiempo perdido en operación de campo. *Riesgos al personal por apertura de equipo.
SENSOR	F4	Permite Detectar la posición del tornillo referencia, para de esta forma interrumpir el flujo de corriente si este no se encuentra.	A	Decantadora no energiza	2	Tapa de tablero o guarda abierta	*Pérdida de detección de posición de tapa. *Equipo no operativo. *Tiempo perdido en operación de campo. *Riesgos al personal por apertura de equipo.

CONTACTOR PRINCIPAL	F5	Realiza el cierre o apertura del circuito eléctrico para que el flujo de corriente fluya hacia el motor principal.	A	Decantadora no energiza	3	Contactador primario enclavados	*Pérdida de energía en motor 1. *Sistema inicia, pero se apaga, no continuo protocolo de encendido. *Riego a personas por exposición eléctrica al destapar el tablero. *Pérdida de tiempo en operaciones de campo.
					4	Falla en controlador lógico zelio	*Sistema no inicia, a pesar de estar energizado. *Riego a personas por exposición eléctrica al destapar el tablero. *Pérdida de tiempo en operaciones de campo.
BOTON ENCENDIDO	F6	Permite dar inicio al flujo de corriente proveniente del suministro eléctrico.	A	Decantadora no energiza	5	Falla en botón de inicio	*Sistema no inicia, motores no encienden *Consumo de energía, sin tener el equipo operando.
CONTACTOR SECUNDARIO	F7	Realiza el cierre o apertura del circuito eléctrico para que el flujo de corriente fluya hacia el motor secundario.	B	El equipo inicia al energizarlo sin oprimir el botón start/stop	1	Contactores secundarios enclavados	*Pérdida de energía en motor 2. *Sistema inicia, pero se apaga, no continuo protocolo de encendido. *Riego a personas por exposición eléctrica al destapar el tablero. *Pérdida de tiempo en operaciones de campo.
BOTON ENCENDIDO	F6	Permite dar inicio al flujo de corriente proveniente del suministro eléctrico.	B	El equipo inicia al energizarlo sin oprimir el botón start/stop	2	Falla en botón de inicio	*Sistema no inicia, motores no encienden *Consumo de energía, sin tener el equipo operando.
CAJA DE ENGRANAJES	F7	Transmitir en una relación de 55:1 de torque entregados por el motor al sistema.	C	Motores inician, pero no se observa giro	1	Falla en sistema de transmisión	*Presencia de vibración y ruido en la caja de engranajes. *Aumento de consumo de energía en el motor 1. *Pérdida de capacidad en el giro del tambor.
EMBRAGUE HIDRAULICO	F8	Permite el arranque del tambor de manera gradual, suavizando el arranque del motor.	C	Motores inician, pero no se observa giro	2	Problemas en embrague hidráulico	*Aumento de consumo de energía en el motor 2. *Inicio de equipo demasiado alto, no hay despegue suavizado. *Ruptura de correas de transmisión.
EMBRAGUE HIDRAULICO	F8	Permite el arranque del tambor de manera gradual, suavizando el arranque del motor.	D	Arranque demasiado lento	1	Exceso de fluido en embrague hidráulico	*Aumento de consumo de energía en el motor 2. *Giro excesivamente lento, sobre esfuerzo de motor. *Recalentamiento de motor. *Ruptura de correas de transmisión.
POLEA / CORREA	F9	Transmitir velocidad 0.5 RPM de velocidad provenientes del motor eléctrico.	E	Ruido excesivo en la caja de engranajes	1	Falla en rodamientos de polea	*Presencia de vibración y ruido en el equipo. *Aumento de consumo de energía en el motor 1. *Destensión de correa de transmisión. *Ruptura de correa de transmisión.

CAJA DE ENGRANAJES	F7	Transmitir en una relación de 55:1 de torque entregados por el motor al sistema.	E	Ruido excesivo en la caja de engranajes	2	Falla en rodamientos de engranajes	*Presencia de vibración y ruido en la caja de engranajes. *Aumento de consumo de energía en el motor 1. *Pérdida de relación de transmisión.
BASE RODAMIENTOS	F10	*Permite al eje de rotación soportarse sobre ella. *Aloja al rodamiento y lo protege de la Intemperie.	E	Ruido excesivo en la caja de engranajes	3	Falla en gs coupling	*Presencia de vibración y ruido en el equipo. *Aumento de consumo de energía en el motor 1. *Destensión de correa de transmisión. *Ruptura de correa de transmisión.
RODAMIENTOS INTERNOS	F11	Permiten la rotación del tambor.	F	Rodamientos presentan alta temperatura	1	Falla en rodamientos	*Presencia de vibración y ruido en tambor. *Presencia de grasa en material procesado. *Apagado de equipo, alarma visual de exceso de vibración.
RODAMIENTOS EXTERNOS	F12	Permiten la rotación del tornillo interno.	F	Rodamientos presentan alta temperatura	2	Exceso de lubricación	*Alta temperatura en chumaceras externas. *Ruido excesivo en chumaceras externas. *Apagado de equipo, alarma visual de exceso de vibración.

Anexo B. Hoja de decisiones.

COMPONENTE	F	F F	MF	TIPO DE TAREA	FRECUENCIA	ACTIVIDAD	RESPONSIBLE
TOTALIZADOR PRINCIPAL	F3	A	4	Reacondicionamiento Cíclico	8 meses	* Limpieza de Contactos * Inspección de resortes y ensamble * Lubricación con Lub. Dieléctrico	R&M Electrical
CONTACTOR PRINCIPAL	F5	A	4	Reacondicionamiento Cíclico	6 meses	* Limpieza de Ensamble * Ajuste de partes * Lubricación con Lub. Dieléctrico * Ajuste de posición	R&M Electrical
CONTACTOR SECUNDARIO	F7	B	1	Reacondicionamiento Cíclico	6 meses	* Limpieza de Ensamble * Ajuste de partes * Lubricación con Lub. Dieléctrico * Ajuste de posición	R&M Electrical
CAJA DE ENGRANAJES	F7	C	1	Reacondicionamiento Cíclico	6 meses 2000 Hrs	* Inspección Visual de calidad * Verificación de nivel de aceite	OPS Technical
POLEA / CORREA	F9	E	1	Sustitución programada	8 meses	* Reemplazo de Correa	R&M Mechanical
CAJA DE ENGRANAJES	F7	E	2	Reacondicionamiento Cíclico	6 meses 2000 Hrs	* Inspección Visual de calidad * Verificación de nivel de aceite	OPS Technical
BASE RODAMIENTOS	F10	E	3	Sustitución programada	7 meses	* Reemplazar Rodamientos	R&M Mechanical
RODAMIENTOS INTERNOS	F11	F	1	Sustitución programada	5 meses	* Reemplazar Rodamientos	R&M Mechanical
RODAMIENTOS EXTERNOS	F12	F	2	Sustitución programada	5 meses	* Reemplazar Rodamientos	R&M Mechanical
MOTOR WEG	F1	A	1	Monitoreo	8 meses	* Análisis de vibraciones	R&M Electrical
MOTOR WEG	F1	A	2	Monitoreo	6 meses	* Ajuste de conexiones del motor	R&M Electrical
CONTACTOR PRINCIPAL	F5	A	3	Monitoreo	2 meses	* Inspección Visual	OPS Technical R&M Electrical
BOTON ENCENDIDO	F6	A	5	Monitoreo	4 meses	* Limpieza de Ensamble * Ajuste de partes	R&M Electrical
BOTON ENCENDIDO	F6	B	2	Monitoreo	4 meses	* Limpieza de Ensamble * Ajuste de partes	R&M Electrical
BOTON DE EMERGENCIA	F2	A	3	Monitoreo	4 meses	* Limpieza de Ensamble * Ajuste de partes	R&M Electrical

SENSOR	F4	A	1	Monitoreo	4 meses	* Limpieza de Ensamble *Ajuste de partes * Lubricación con Lub. Dieléctrico * Ajuste de posición	R&M Electrical
SENSOR	F4	A	2	Monitoreo	4 meses	* Limpieza de Ensamble *Ajuste de partes * Lubricación con Lub. Dieléctrico * Ajuste de posición	R&M Electrical
EMBRAGUE HIDRAULICO	F8	C	2	Monitoreo	6 meses	*Inspección Visual de calidad *Verificación de nivel de aceite	OPS Technical R&M Mechanical
EMBRAGUE HIDRAULICO	F8	D	1	Monitoreo	6 meses	*Inspección Visual de calidad *Verificación de nivel de aceite	OPS Technical R&M Mechanical