

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM EN LA APLICACIÓN DE
SELLOS MECÁNICOS PARA CENTRIFUGAS DESLODADORAS UTILIZADAS
EN PLANTAS EXTRACTORAS DE ACEITE DE PALMA

ANDRES JULIAN CAMARGO CARRASQUILLA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2019

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM EN LA APLICACIÓN DE
SELLOS MECÁNICOS PARA CENTRIFUGAS DESLODADORAS UTILIZADAS
EN PLANTAS EXTRACTORAS DE ACEITE DE PALMA

ANDRES JULIAN CAMARGO CARRASQUILLA

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

Director:

Júlio Leonardo Castellanos Barajas
Especialista Alta Gerencia

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2019

DEDICATORIA

La concepción de este proyecto está dedicada primero que todo a Dios quien me dio la fuerza, fortaleza, sabiduría y entendimiento para sacar adelante esta monografía, a mi familia que me apoyaron siempre y en todo momento durante el desarrollo de la especialización.

Andres Julian Camargo Carrasquilla

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad industrial de Santander y cada uno de los docentes que fueron cultivadores de conocimientos e ideas, y todo lo necesario para que hoy por hoy este proyecto se hiciera realidad.

A la planta extractora INDUSTRIAL ACEITERA DEL CASANARE S.A por servir de apoyo y aportar información valiosa para para la documentación de la metodología impactada.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. OBJETIVOS	15
1.1 OBJETIVO GENERAL	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2. MARCO TEORICO	16
2.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	18
2.1.1 Método del RCM	20
2.1.2 Marco legal	26
2.2 CENTRIFUGA DESLODADORA	26
2.2.2 Descripcion de la centrifuga deslodadora	27
3. ESTRATEGIA METODOLOGICA	33
3.1 BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE SELLOS MECÁNICOS EN CENTRIFUGAS DESLODADORAS	33
3.1.1 Desventajas del sello prensa estopa	34
3.1.2 Ventajas sello mecánico	35
3.1.3 Relación costo beneficio	35
3.2 IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM	39
3.2.1 Revisión y análisis de los datos existentes en el departamento de mantenimiento de IACSA	40
3.2.2 Definición de fronteras	42
3.2.3 Contexto operacional	42
3.2.4 Definición de funciones	45
3.2.5 Fallas funcionales	46
3.2.6 Falla	47

3.2.7 Modo y efecto de falla	47
3.2.8 Análisis de criticidad	48
3.2.9 Descripción de las tareas	52
4. DESARROLLO DEL DIAGRAMA DE DECISIÓN	55
5. CONCLUSIONES	56
BIBLIOGRAFÍA	58

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Beneficios del RCM	22
Tabla 2. Pasos del procedimiento individual RCM.	23
Tabla 3. Etapas de implementación del RCM.	24
Tabla 4. Capacidad de la centrifuga en función del diámetro de la boquilla	30
Tabla 5. Nombre partes sección zona punta hueca bowl de la centrifuga	32
Tabla 6. Disminución de costos en consumo de energía.	37
Tabla 7. Disminución de costos en repuestos.	37
Tabla 8. Aumento en el índice de TonRFF / Hr de centrifugas	37
Tabla 9. Ahorro al no utilizar agua para el sistema del sello.	38
Tabla 10. Ahorro en tratamiento de efluentes por disminución de flujo	38
Tabla 11. Cotizaciones de implementación sellos mecánicos	38
Tabla 12. Relación Costo / Beneficio	39
Tabla 13. Condiciones Operacionales Centrifuga de lodos.	43
Tabla 14. Factores de Consecuencia y frecuencia.	49
Tabla 15. Matriz de criticidad	50
Tabla 16. Calculo de criticidad componentes prensa estopa	51
Tabla 17. Análisis de modo de falla, efecto y criticidad	53
Tabla 18. Actividades de Mantenimiento propuestas	55

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Siete preguntas relacionadas con el equipo o sistema que se intenta revisar.	20
Figura 2: Típico Grupo de revisión RCM.	21
Figura 3. Desarrollo de los talleres, Roles	25
Figura 4. Entrada y Salida de Componentes mezcla de aguas lodosas.	30
Figura 5. Sección zona punta hueca bowl de la centrifuga	32
Figura 6. Disminución en m3 de efluente / Ton RFF procesado.	36
Figura 7. Disminución en horas centrifugas / Ton RFF.	36
Figura 8. Pareto equipos involucrados en las paradas área de clarificación	40
Figura 9. Porcentaje de fallos por sistemas, en centrifuga de lodos.	41
Figura 10: Conformación equipo RCM IACSA	41
Figura 11. Taxonomía Centrifugas deslodadoras IACSA	42
Figura 12. Cromatografía Yopal (Casanare)	45
Figura 13. Resultados Análisis de criticidad	52

RESUMEN

TITULO: IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM EN LA APLICACIÓN DE SELLOS MECÁNICOS PARA CENTRIFUGAS DESLIDADORAS UTILIZADAS EN PLANTAS EXTRACTORAS DE ACEITE DE PALMA.*

AUTOR: ANDRES JULIAN CAMARGO CARRASQUILLA.* *

PALABRAS CLAVES: Plantas extractoras, mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), plan de mantenimiento, aceite de palma, sello, centrifuga deslidadora.

DESCRIPCIÓN:

La presente monografía plasma el desarrollo de la metodología RCM para la creación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad, que mejore la disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad, optimizando los costos de mantenimiento en las centrifugas deslidadoras de la empresa INDUSTRIAL ACEITERA DEL CASANARE S.A (IACSA).

En el desarrollo de este proyecto se pretende estudiar la viabilidad de instalar un sistema que permita mejorar la eficiencia de las centrifugas deslidadoras utilizadas en el proceso de clarificación dinámica en plantas extractoras de aceite de palma, por medio de la sustitución del sello prensa estopa por sello mecánico. El proyecto busca, proponer una solución factible que permita poder reducir los costos de mantenimiento, de mano de obra y de uso ineficiente de agua en el proceso de clarificación dinámica de CPO, lo anterior permitirá a su vez demostrar en términos de la relación costo beneficio lo que se podría llegar a ahorrar la empresa al realizar un eficiente y oportuno mantenimiento en el equipo al reemplazar los sellos prensa estopa por sellos mecánicos, todo encaminado a mejorar la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del equipo.

El resultado es la elaboración del plan maestro de mantenimiento donde se puede ver los periodos de tiempo programados entre cada una de las intervenciones a los equipos las cuales se definieron de acuerdo a recomendaciones de fabricantes, proveedores y de acuerdo a la experiencia del departamento de mantenimiento de la empresa.

* Monografía

** Facultad de ingenierías físico – mecánicas. Escuela de ingenierías mecánicas. Especialización en gerencia de mantenimiento. Director: Júlío Leonardo Castellanos Barajas, especialista Alta Gerencia.

ABSTRACT

TITLE: IMPLEMENTATION OF THE RCM METHODOLOGY IN THE APPLICATION OF MECHANICAL SEALS FOR SLIDING CENTRIFUGES USED IN PALMA OIL EXTRACTOR PLANTS.*

AUTHOR: ANDRES JULIAN CAMARGO CARRASQUILLA.* *

KEY WORDS: Extraction plants, reliability centered maintenance (RCM), maintenance plan, palm oil, seal, deslodadora centrifuge.

DESCRIPTION:

This monograph reflects the development of the RCM methodology for the creation of a maintenance plan based on reliability, which improves availability, maintainability and reliability, optimizing maintenance costs in the deslodadoras centrifuges of the company INDUSTRIAL ACEITERA DEL CASANARE SA (IACSA).

In the development of this project, we intend to study the feasibility of installing a system that allows to improve the efficiency of the deslodadoras centrifuges used in the process of dynamic clarification in palm oil extractor plants, by means of the replacement of the bast press seal by seal mechanic. The project seeks to propose a feasible solution that allows to reduce maintenance costs, labor and inefficient use of water in the dynamic clarification process of CPO, the above will in turn demonstrate in terms of the cost-benefit ratio what could save the company by performing an efficient and timely maintenance on the equipment by replacing the bast press seals with mechanical seals, all aimed at improving the reliability, availability and maintainability of the equipment.

The result is the development of the maintenance master plan where you can see the periods of time programmed between each of the interventions to the equipment which were defined according to recommendations of manufacturers, suppliers and according to the experience of the maintenance department of the company.

* Degree Paper

* * Faculty of physical and mechanical engineering. School of mechanical engineering. Specialization in maintenance management. Director: Júlio Leonardo Castellanos Barajas, Senior Management Specialist.

INTRODUCCIÓN

Los cambios constantes de la economía del país, la alta competencia de precios en el mercado, la variabilidad que presenta el costo del barril de petróleo, el cumplimiento en los estándares de exportación del producto y la amenaza de posible aparición de cultivos y productos sustitutos en la industria del aceite de palma, condicionan a las empresas del gremio a realizar grandes inversiones para mantener sus niveles de rentabilidad, dando como resultado empresas con grandes costos en el departamento de producción y de mantenimiento, para de esta manera lograr una alta eficiencia y los mejores niveles de extracción de aceite del fruto procesado.

INDUSTRIAL ACEITERA DE CASANARE S.A es una planta extractora de aceite de palma ubicada en el municipio de Orocué (Casanare) que inició su actividad productiva a finales del año 2016, actualmente, la empresa cuenta con una capacidad de procesamiento de 36 toneladas de racimo de fruta fresca (RFF) por hora, pero afronta un problema que afecta la continuidad del proceso, que en ocasiones se ve interrumpido por problemas en el área de clarificación, consecuencia de las fallas ocasionadas en las centrifugas deslodadoras. La principal causa de las fallas en estos equipos se presenta por problemas relacionados con el sello prensa estopa, el cual durante su funcionamiento ocasiona constantemente fallas en rodamientos y bujes del eje hueco, además de afectar la eficiencia del equipo por desperdicio y filtraciones de agua al interior del bolt.

Por todo lo expuesto anteriormente se hace necesario que a la empresa se le realicen estudios de optimización en la operación de los equipos, buscando la viabilidad de utilizar metodologías que ayuden a realizar un uso eficiente de los recursos, lo cual abrirá camino a garantizar el éxito de la actividad.

Este proyecto tiene su alcance en el estudio de uno de los procesos más importantes en plantas extractoras como lo es la clarificación dinámica por medio de centrifugas desladoras el cual es el equipo más importante a tener en cuenta para el control de pérdidas de CPO (aceite crudo de palma), ya que en ella se realiza la etapa de recuperación del aceite contenido en las aguas lodosas provenientes de los clarificadores primarios.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar la metodología RCM en la aplicación de sellos mecánicos para centrifugas deslodadoras utilizadas en plantas extractoras de aceite de palma

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la relación Costo/Beneficio y la viabilidad del sistema a implementar.
- Implementar la metodología RCM a partir de la sustitución de sellos prensa estopa por sellos mecánicos en centrifugas deslodadoras.
- Realizar una actualización del plan de mantenimiento del equipo en estudio.

2. MARCO TEORICO

La variable crítica a controlar en una centrifuga desladora, es el sistema de sellado por prensa estopa ya que interviene en el funcionamiento y eficiencia del equipo, debido a que involucra la capacidad de centrifugado y el control de pérdidas de aceite, esta guía brinda un método de implementación para un sistema que ayude a mitigar esta problemática en la utilización del equipo.

Con la información recabada y evaluada en relación con las actividades de mantenimiento que son ejecutadas, se observó que no existe una planificación de actividades proactivas específicas que permitan prevenir o predecir cualquier fallo funcional y garanticen la confiabilidad y disponibilidad requeridas para estos equipos. Además, la información sobre los fallos ocurridos no tiene un criterio unificado. Es fundamental en toda empresa que las actividades de mantenimiento estén coordinadas bajo una unificación de criterios, ya que esto permite realizar evaluaciones de los fallos de una manera más rápida y efectiva para implementar programas de mejora en los equipos. Por eso, se trabajó en una propuesta que pretende incorporar mejoras en el programa de mantenimiento con actividades proactivas y unificar criterios sobre los modos de fallo para recabar una información más confiable y precisa, con la finalidad de mejorar la confiabilidad y la disponibilidad de las desladoras^{1 2}

Aumentar la disponibilidad de una centrifuga desladora en servicio, es un elemento clave para la continuidad del proceso productivo en una planta

¹ DIAZ, M. Confiabilidad en mantenimiento. Caracas: IESA. 1992

² PUENTE, G. Introduccion al mantenimiento productivo total. Obtenido de Introduccion al mantenimiento productivo total. 2018. Obtenido de: <http://www.tpmonline.com>

extractora de aceite de palma y para la previsión de las inversiones destinadas a la reposición de elementos mecánicos, a cualquier empresa extractora o de la industria y en especial a su gerente de mantenimiento, le interesaría aproximarse lo mejor posible al tiempo óptimo de intervención de los equipos con el fin de planear con efectividad sus acciones de inversión y prevenir contingencias.

Todas las tareas que se pretenden incluir en el programa propuesto deben producir resultados tangibles, con impacto en la disponibilidad y confiabilidad de las máquinas desladoras. Aunque la cuantificación real de la mejora en los índices de disponibilidad y confiabilidad se podrán conocer sólo luego de transcurrido un lapso de tiempo después de la implementación del programa propuesto, dada la eficacia que han presentado los enfoques de mantenimiento proactivos en máquinas rotatorias similares a las estudiadas en este trabajo, no hay dudas de que estos índices deben incrementarse apreciablemente³.

En la operación de una centrifuga desladora en servicio, inciden variables que afectan la disponibilidad del equipo, tales como: su instalación, los tipos de sistemas utilizados en el diseño, el mantenimiento, las practica de operación, el mantenimiento primario, la lubricación, los tiempos de arranque y paro, entre otras.

Quienes han estudiado sobre los tipos de fallos más comunes en centrifugas, coinciden en afirmar que el tipo de sello utilizado en el diseño del equipo es el elemento clave a analizar para determinar y mejorar la disponibilidad, la mantenibilidad y la confiabilidad de la centrifuga desladora.

Otros tipos de fallos como los ocasionados en las platinas anti-desgaste, y el desbalanceo en el bolt, son muy importantes a tener en cuenta para mejorar la disponibilidad del equipo en estudio, pero no serán tratados en este artículo.

³ SOTUYO. Optimizacion integral de Mantenimiento. Obtenido de Revista Club de Mantenimiento. 2018. Obtenido de: <http://www.mantenimientomundial.com>

Este proyecto desarrolla una metodología para aplicar la técnica del RCM como una comparación aplicada a la relación costo/beneficio de implementación del sistema en estudio, buscando una mejor aproximación a la eficiencia y disponibilidad máxima.

Algunas de las actividades que se propondrán deberán ser ejecutadas por los operadores, por lo que ellos deberán ser convenientemente capacitados para que puedan asumir las nuevas tareas que se les asignarán como resultado de la próxima aplicación del programa de mantenimiento propuesto^{4 5}.

Las tareas que deberán ser contenidas en la propuesta serán seleccionadas a partir de criterios de factibilidad técnica y efectividad. Por otra parte, el hecho de que algunas de las tareas deban ser ejecutadas por los propios operadores incorpora elementos de mantenimiento autónomo característicos del Mantenimiento Productivo Total (TPM). La incorporación de estos aspectos a la estrategia propuesta permite afirmar que se están introduciendo técnicas que están en sintonía con las buenas prácticas de mantenimiento empleadas en la actualidad⁶ y que resultan novedosas para el entorno de la empresa propietaria de la máquina analizada.

2.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

⁴ LEFLAR. Practical TPM. Obtenido de The method for success at Agilent Technologies. 2018. Obtenido de: <http://www.tpmonline.com>

⁵ JAPAN INSTITUTE OF PLANT MAINTENANCETPM for Every Operator. Obtenido de Shop floor Series. 2018. Recuperado de: <http://www.tpmonline.com>

⁶ PUENTE, G. Introduccion al mantenimiento productivo total. Obtenido de Introduccion al mantenimiento productivo total. 2018. Obtenido de: <http://www.tpmonline.com>

En los últimos años el mantenimiento ha recibido brillantes aportes provenientes del campo de la estadística y de la teoría de la confiabilidad. El mantenimiento de aeronaves ha sido el motor que ha activado los mejores planteamientos dentro del mantenimiento. Para comprender el concepto de RCM se debe retomar al concepto de mantenimiento, se establece que cuando se dispone mantener algo, se debe responder por lo mínimo estas dos preguntas, ¿Qué es lo que se desea causar que continúe?, ¿Cuál es el estado existente que se desea preservar?; la respuesta a estas preguntas está dado por el hecho que de todo activo físico es puesto en funcionamiento por que alguna persona quiere que realice algo, visto de otra manera, se espera que cumpla una función o ciertas funciones específicas. Por ende, el mantener un activo, el estado que se debe preservar es aquel el que continúe haciendo aquello que los usuarios quieran que haga. Mantener es asegurar que los activos físicos continúen haciendo las funciones para las cuales se crearon y fueron diseñados en algún momento⁷.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es un proceso utilizado para establecer que tareas y procedimientos se deben llevar a cabo en un determinado equipo para asegurar que cualquier activo físico continúe cumpliendo con sus funciones definidas previamente por sus usuarios en su contexto operacional actual.

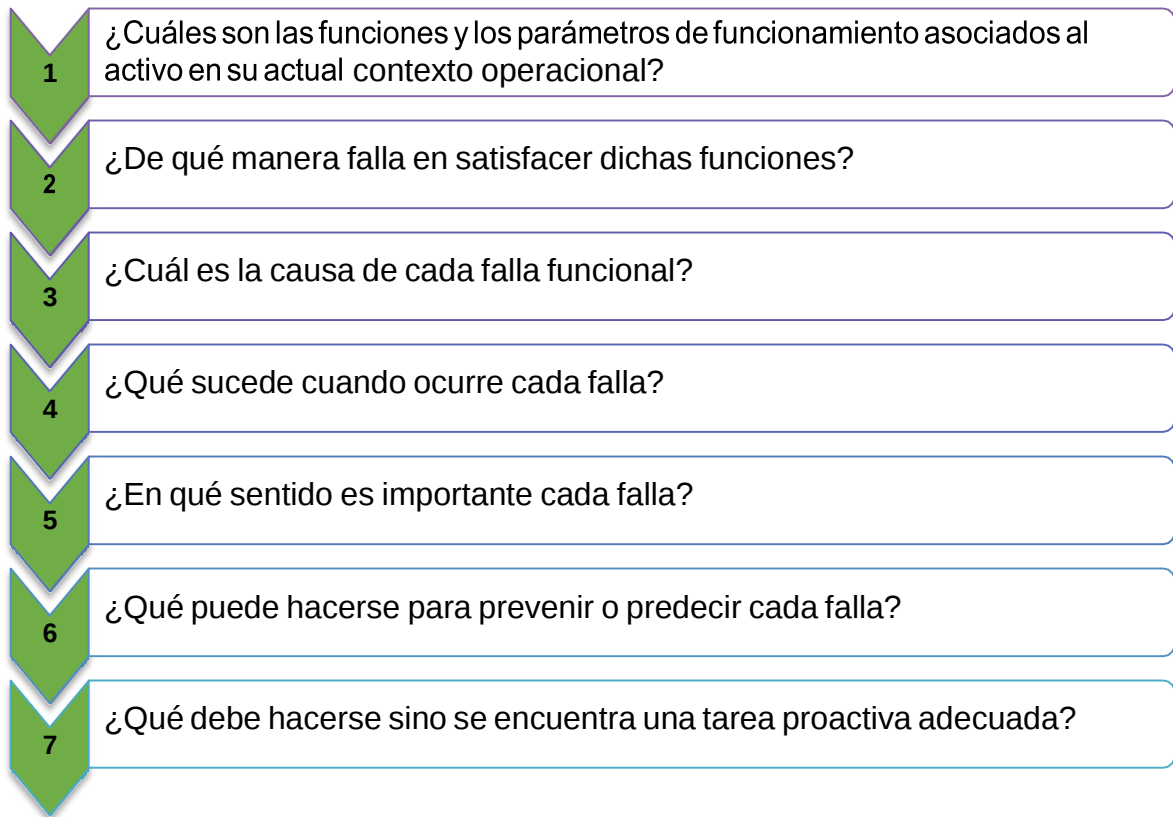
Es una metodología de alta aplicación en las empresas que tiene como objetivos lograr mayor seguridad e integridad ambiental, un mejor funcionamiento operacional, obtener mayor costo-eficacia del mantenimiento, una mayor vida útil de los componentes costosos, una base de datos global, mayor motivación del personal y, en definitiva, un mejor trabajo de equipo⁸.

⁷ JHON, MAUBRAY. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press. 1997.

⁸ MOUNBRAY. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM 2. Reino unido: Aladon Ltd. 2004

2.1.1 Método del RCM. El desarrollo del método de RCM implica dar respuesta a siete preguntas relacionadas con el equipo o sistema que se intenta revisar.

Figura 1. Siete preguntas relacionadas con el equipo o sistema que se intenta revisar.



Si es aplicado correctamente, RCM logra mejoras en la efectividad del mantenimiento, y a menudo lo hace sorprendentemente rápido, sin embargo, la aplicación exitosa de RCM depende de un meticuloso planeamiento y preparación. Los elementos centrales importantes del proceso de planeamiento son:

- Decisión acerca de los activos que se beneficiaran con el proceso.
- Evaluar los recursos requeridos para la aplicación del proceso a los activos seleccionados.
- Decidir detalladamente que persona será la encargada de realizar y auditar cada análisis cuando los beneficios justifiquen la inversión.

- Tener total certeza sobre el contexto operacional de cada activo físico.

Aun así, el personal de mantenimiento no puede solo con las siete preguntas planteadas por RCM, por esta razón la revisión de los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo deberá ser llevado a cabo en pequeños grupos que incluyan al menos a una persona de la función de mantenimiento, y una de la función de operaciones. Se plantea realizar el siguiente equipo:

Figura 2: Típico Grupo de revisión RCM.



Fuente: JHON, MAUBRAY. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press. 1997. p.17.

El uso de estos grupos no solo permite a los gerentes un acceso sistemático al conocimiento y la experiencia de cada miembro del grupo, sino que los mismos miembros del grupo incrementan marcadamente su entendimiento del activo físico en el contexto operacional.

Una buena implementación de RCM logra a la organización que la acoja mayor seguridad e integridad ambiental ya que este método le da la importancia que se merece y por ende las mismas personas de los equipos se relacionan con este tema. Por otra parte, se consigue un mejor funcionamiento operacional, disminución de un 70 % de las tareas de mantenimiento rutinarias en los equipos bajando los costos de mantenimiento a una cifra acogedora para cualquier gerente. Logra además mayor vida útil de los componentes costosos debido al cuidadoso énfasis en el uso de técnicas de mantenimiento a condición. Entre otros logros se encuentra el trabajo en equipo, la motivación para el personal, control de repuestos críticos en stock etc. El resultado es un mantenimiento más costo eficaz, más armonioso y más exitoso⁹.

Tabla 1: Beneficios del RCM

Calidad	Tipo de Servicio	Costo	Tiempo	Riesgo
Aumenta la disponibilidad en al menos un 8%, por el sólo hecho de implementar. Elimina las fallas crónicas y elimina las causas raíces. Aumenta la flexibilidad operacional. La programación de mantenimiento se basa en hechos reales. Proporciona el completo conocimiento de las fallas reales y potenciales de las máquina, así como de sus causas.	Proporciona un mejor clima organizacional para el trabajo en equipo. Ayuda a entender mejor las necesidades y los requerimientos de los clientes. Disminuye las paradas imprevistas. Genera un ambiente de investigación y desarrollo alrededor de los análisis de fallas.	Reduce los niveles de mantenimiento al menos en un 40%. Optimiza los programas de mantenimiento. Reduce los costos planeados o no de mantenimiento al menos en un 40%. Alarga la vida de los equipos para propósitos especiales. Todas las actividades de mantenimiento se analizan en un contexto de costo / beneficio.	Mejora los tiempos medios de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad al menos en un 25%. Aumenta los tiempos de funcionalidad de los equipos al menos en un 150% en promedio. Reduce o elimina los tiempos de demora en suministros o búsqueda de recursos o repuestos. Jerarquiza las actividades de mantenimiento, logrando su reducción en el tiempo.	Brinda seguridad e integridad ambiental en todo el desarrollo del proceso, a niveles muy superiores de los que se tienen antes de implementarlo. Las fallas con consecuencias sobre el medio ambiente o la seguridad son las que más se atacan y eliminan. Reduce al mínimo la posibilidad de fallas en cadena o superpuestas. Su razón de calificación al riesgo la hace como una de las tácticas más seguras.

Fuente: Alberto Mora. Mantenimiento industrial Efectivo. p.311.

⁹ MOUNBRAY. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM 2. Reino unido: Aladon Ltd. 2004

Las siguientes son algunas acciones que se pueden diferenciar dentro del RCM:

- Acción correctiva: reparación o reemplazo sobre las fallas. El costo de control o detección de fallas excede los beneficios.
- Acción preventiva: reparación o reemplazo sobre tiempos o ciclos.
- Acción predictiva: se emplean condiciones de monitoreo para detectar fácilmente etapas de falla. Reemplazo o reparación sobre condición.
- Además de estas acciones, el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), combina algunas actividades del mantenimiento proactivo para detectar y analizar la presencia de algunas causas de falla reduciéndolas en un período determinado.

El desarrollo para la aplicación del RCM se logra al ejecutar uno a uno los siguientes pasos dentro del proceso individual.

Tabla 2: Pasos del procedimiento individual RCM.

1. Enumere la tabla del RCM
2. Ingrese Código Activo
3. Defina Prioridad del Activo
4. En la Hoja 1 Funciones Primaria Secundaria introduzca todas las funciones relevantes a evaluar
5. En la Hoja 2 - Fallas Funcionales asigne todas las Fallas funcionales a cada Función descrita
6. En la Hoja 3 - Modos de Fallas asigne estos a cada Falla Funcional enunciada
7. En la Hoja 4 - Cálculos asigne las calificaciones respectivas de Severidad y Ocurrencia desde la columna H hasta la O inclusive, siguiendo las tablas y opciones mostradas, en las selecciones múltiples de cada casilla, valore esto para todos los modos de falla de cada falla funcional en todas las funciones
8. En la Columna R de la Hoja 4 - Cálculos asigne la clase de Falla según las opciones OREDA descritas en la opción múltiple dentro de la casilla
9. Ejecute la Macro Priorizar de la columna U de la Hoja 4 - Cálculos. El resultado obtenido es el Plan de Acción jerarquizado con base en el valor del Riesgo
10. Organice el Árbol lógico de Reparaciones y Mantenimientos a ejecutar sobre las Fallas, en la zona entre las columnas AA hasta AK de tal manera que se pueda realizar en forma lógica y coherente, acorde a los recursos disponibles
11. Una vez ejecutadas todas las acciones de mantenimiento, se debe volver a calificar los criterios de Severidad y Ocurrencia desde la columna AN hasta AU, luego se ejecuta la Macro Priorizar de la columna BA de la Hoja 4 - Cálculos, para conocer los nuevos valores de riesgo
12. Se asignan los valores de Costos y de CMD en las columnas BF a BM de la Hoja 4 - Cálculos para determinar los parámetros estratégicos y encontrar los beneficios obtenidos con el RCM
13. Reinicia el proceso después de un tiempo prudencial

Fuente: Alberto Mora. Mantenimiento industrial Efectivo. p.312.

El RCM utiliza los cuatro tipos de acciones (correctivas, modificativas, predictivas, preventivas) descritas anteriormente (nivel dos de mantenimiento), utiliza la mayoría de los instrumentos avanzados específicos de orden técnico y se apoya en la mayoría de herramientas básicas y avanzadas genéricas, esta es la gran diferencia con el TPM, este último es de enfoque social humanista mientras que el RCM es básicamente de corte técnico, el TPM es más humano mientras que el RCM es más frío y mucho más técnico.

Se resume con un enfoque más generalizado acerca de las etapas que la compañía debe tener en cuenta en el momento que decida iniciar con la filosofía del mantenimiento centrado en confiabilidad, en el departamento de mantenimiento.

Tabla 3: Etapas de implementación del RCM.

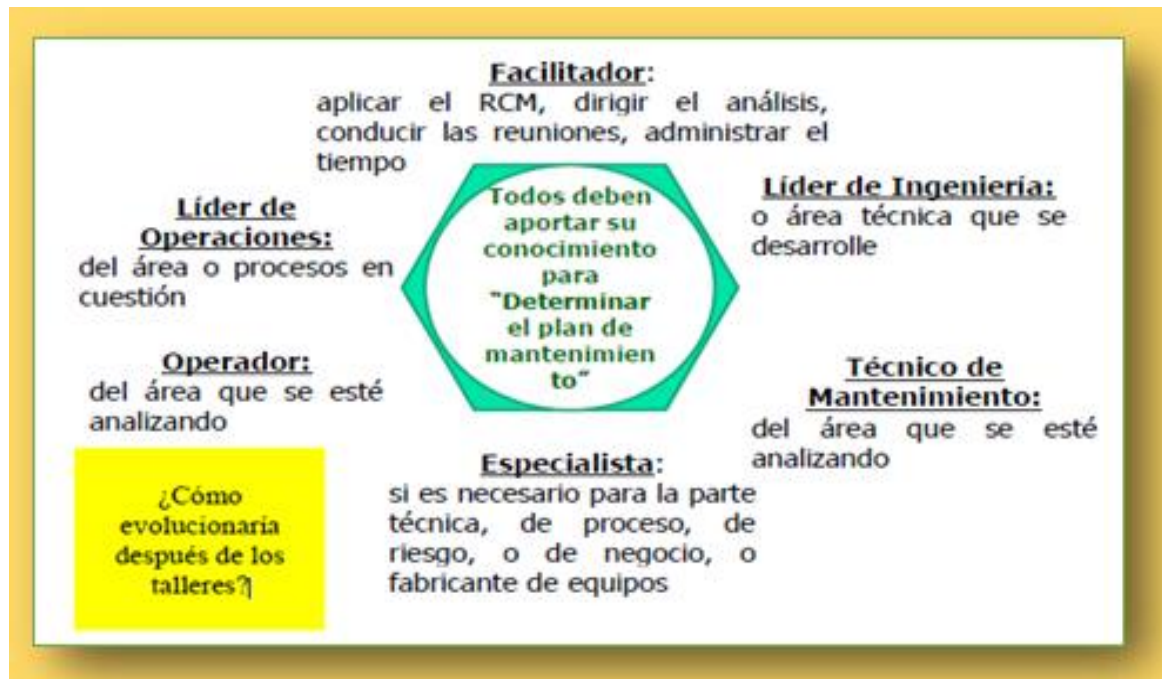
Planeación	1. Activos físicos a trabajar bajo RCM
	2. Definir recursos físicos y humanos requeridos
	3. Definir cronograma de entrenamiento, realización, análisis, fecha y lugar de las Personas
	4. Estudiar integral y específicamente cada activo
2. Grupos de Realización y Revisión	1. Debe haber personal de operación, mantenimiento e ingeniería de fábricas y de otras dependencias que soporten el proceso.
	2. Los núcleos o grupos primarios deben al menos tener seis personas: ingeniero supervisor de mantenimiento, ingeniero supervisor de producción, operario, mantenedor, experto externo y facilitador (preferiblemente externo)
3. Facilitadores	1. Análisis exhaustivo y excluyente con todo: funciones, fallas funcionales, modos de falla, tareas, etc. en todos los equipos críticos y elementos claves
	2. RCM entendido por todos
	3. Método del Vaticano por consenso en forma rápida y ágil, con dosis motivacional
	4. Calendario de trabajo con cumplimientos
4. Resultados de análisis RCM	1. Planes de mantenimientos y reparaciones a ser efectuados
	2. Rediseño de procesos de operación, validados, entendidos y practicados por quienes ejecuten
	3. Involucrar los mantenimientos en el CMMS o programas manuales.
	4. Tareas descritas a cabalidad con conocimiento de causa de quienes las practican y practicarán.
	5. Modificaciones, con cálculos y estudios, responsables y fechas.
	6. Control de seguimiento de tareas y operaciones nuevas o rediseñadas en frecuencia
5. Auditoría e implementación	1. Revisión integral de nivel gerencial por cada activo terminado
	2. Auditoría, costos, CMD
	3. Revisión a la luz de las normas internacionales SAE JA1011, SAE JA1012, OREDA, Military Standard 2173 y British Norm Standard 3188
	4. Beneficios, limitaciones, cambios y su nueva aplicación
	5. Revisión cada dos años de los activos con modificación o cambios en calidad repuestos, bajo control de la curva de Davies o de la Bañera

Fuente: Alberto Mora. Mantenimiento industrial Efectivo. p.314.

La aplicación del RCM es muy útil en empresas con un gran clima organizacional, donde el recurso humano es motivado y consciente de la importancia del trabajo en equipo de mantenimiento y producción alrededor de las máquinas. Esto hace posible aplicar el RCM sin tener que haber desarrollado en forma previa el TPM, pero se requiere ese componente humano muy desarrollado en la empresa donde se desea aplicar el RCM sin el TPM. Es muy recomendable que la organización esté madura en los niveles uno y dos de mantenimiento con al menos unos cinco años de experiencia para luego proceder a instalar alguna táctica.

Complementando un poco el rol que debe ejercer el equipo de RCM como tal, nombrado anteriormente, se observa el siguiente diagrama donde todos deben aportar su conocimiento para “Determinar el plan de mantenimiento”.

Figura 3. Desarrollo de los talleres, Roles



Fuente: Presentación Implementación RCM, Daniel Ortiz.

Algunos resultados reales obtenidos en implementación del RCM muestra una disminución de actividades cuando el estado del arte de mantenimiento es bajo,

pero se tiene un programa de mantenimiento, aumento de actividades de monitoreo y preventivas con reducción adicional de las reactivas cuando el estado del arte de mantenimiento es muy bajo (carece de programas oficiales y las fallas son continuas), optimización del programa, incluye o elimina actividades según las técnicas de monitoreo que se estén aplicando y optimización de los tiempos de los monitores y reacondicionamientos periódicos.

2.1.2 Marco legal. Norma SAE JA011. La norma nos habla de criterios de evaluación para proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), es que un proceso específico identificaba las políticas que deben llevarse a cabo para manejar los modos de fallo que podrían causar el fallo funcional de cualquier recurso físico en un contexto de operación dado. Se piensa que este documento es usado para evaluar cualquier proceso que pretende ser un proceso de RCM para determinar si es un verdadero proceso de RCM. Este documento apoya (Norma ISO 14224, 2006), tal una evaluación especificando el criterio mínimo que un proceso debe tener para ser un proceso de RCM¹⁰.

2.2 CENTRIFUGA DESLODADORA

La desladora es una centrifuga separadora de lodos (mezcla de agua, aceite y partículas sólidas), que ha sido diseñada para la recuperación del aceite de palma que se encuentra en las calientes aguas lodosas, procedentes del clarificador estático. Sus características de diseño y construcción hacen que la máquina necesite un mantenimiento estricto debido a la importancia que representa para la continuidad del proceso productivo y el control de pérdidas¹¹.

¹⁰ MORA. Norma SAE JA1011. Medellín: Coldi Limitada. 2003

¹¹AVM. Revision de Operaciones y Controles Operativos de la Centrifuga Desladora. Bucaramanga: Amarista. 2002

El cuerpo de la máquina está fabricado de hierro fundido y consta de dos partes, una inferior y otra superior. La parte inferior es sujeta a la base de concreto, ésta soporta al rotor e, internamente, tiene un canal para la descarga del agua residual. La parte superior está montada sobre la parte inferior y a su vez cubre la caja del rotor, en su parte superior tiene una boca de visita que permite inspeccionar las boquillas internas para realizar mantenimiento e indica el sentido de giro del rotor¹²..

El objetivo principal de las centrifugas desladoras es recibir las aguas lodosas provenientes del separador primario; recuperar y separar el agua y cuerpos sólidos del aceite que aún contienen dichas aguas y enviarlo a un tanque de recuperación para posteriormente retornarlo al proceso de clarificación¹³..

2.2.2 Descripción de la centrifuga desladora.

2.2.2.1 Objetivo. Recibir las aguas lodosas y desarenadas provenientes del tanque pulmón alimentador de centrifugas; separar el agua y cuerpos sólidos del aceite que aún contienen dichas aguas.

2.2.2.2 Generalidades. En el proceso de extracción de aceite de palma africana, es de vital importancia aumentar la eficiencia de la producción de aceite en cada uno de los procesos, y por tanto minimizar las pérdidas de aceite en los productos de desecho.

Para ello, se debe tener especial atención a las condiciones de operación de cada una de los equipos y llevar un seguimiento y control continuo sobre la eficiencia de la planta para la extracción de aceite de palma africana.

¹² AVM. Catalogo de la Maquina Desladora. Bucaramanga: Amarista. 1990

¹³ AVM. Ficha Técnica y Controles Operativos de la Centrifuga Desladora 6000L con Prensa Estopa. Bucaramanga: Amarista. 2015

Durante gran parte del proceso productivo de aceite, es indispensable el uso de vapor, e incluso de agua para facilitar operaciones como la digestión, el prensado, e incluso el transporte de los productos. Dicha agua, junto con lodos, y cierta cantidad de aceite son llevados por diferentes procesos a las centrifugas, las cuales son el objeto de estudio en la presente monografía.

En la centrifuga se reciben las aguas lodosas calientes, las cuales están conformadas por agua, lodos y aceite, las aguas lodosas, mediante la acción de fuerzas centrifugas, originadas por el movimiento de rotación del rotor, se logra una separación del aceite, el cual se deposita en la parte central del rotor, y es extraído por el tubo de descarga (tubo aceite recuperado). Los demás elementos, son residuos del proceso que salen por las boquillas y son llevados hasta el tanque pulmón florentino y a las piscinas de oxidación.

Además, posee una entrada de agua, a temperatura ambiente, la cual principalmente realiza la tarea enfriamiento de los empaques que realizan la tarea de sellado (prensa estopa)¹⁴

2.2.2.3 Funcionamiento. La centrifuga deslodadora es una máquina esencial en una planta de extracción de aceite de palma africana, pues el uso de ésta reduce considerablemente las pérdidas de aceite que va disuelto en las aguas lodosas. El proceso de separación del aceite y las demás impurezas se explica a continuación:

Las partículas suspendidas en el agua lodosa aceitosa caliente (90°C – 95°C) son impulsadas bajo presión, por un conducto de suministro (tubo alimentación, fabricado en acero Inoxidable.), al centro del rotor en movimiento, que tiene forma

¹⁴ Ibid, p. 7

de estrella (bowl). Aparte de partículas de agua, arena y otras impurezas, el agua lodosa caliente proveniente del tanque primario, contiene aceite de palma, el objetivo principal de las centrifugas es recuperar ese aceite existente en las aguas lodosas.

Con el rotor girando y a su máxima capacidad, el agua lodosa caliente es sometida, por la acción de la fuerza centrífuga, a aceleraciones tanto axiales como radiales cuyo grado dependerá del peso específico de los elementos que componen la mezcla. Las partículas de agua y la arena recibirán una mayor aceleración que las partículas que contiene el aceite debido a que poseen un mayor peso específico. Por consiguiente, las partículas más pesadas serán expulsadas hacia las puntas del rotor siendo evacuadas por las toberas (boquillas) y por la descarga del armazón para ser conducidas a un canal colector.

Las partículas más livianas en las que se encuentra aceite de palma, estarán sometidas a una menor aceleración, permaneciendo en el centro del rotor y pueden ser evacuadas como aceite a través del tubo de descarga o aceite recuperado para pasar a un tanque de recuperado de centrifugas y posteriormente al tanque primario o clarificador (clarificador estático)

La centrifuga deslodadora tiene gran versatilidad al momento de operar, pues con un cambio de boquillas, varía la capacidad de trabajo. Esta variación, como ya se dijo puede regularse aumentando o disminuyendo los orificios de las toberas descargas del rotor.

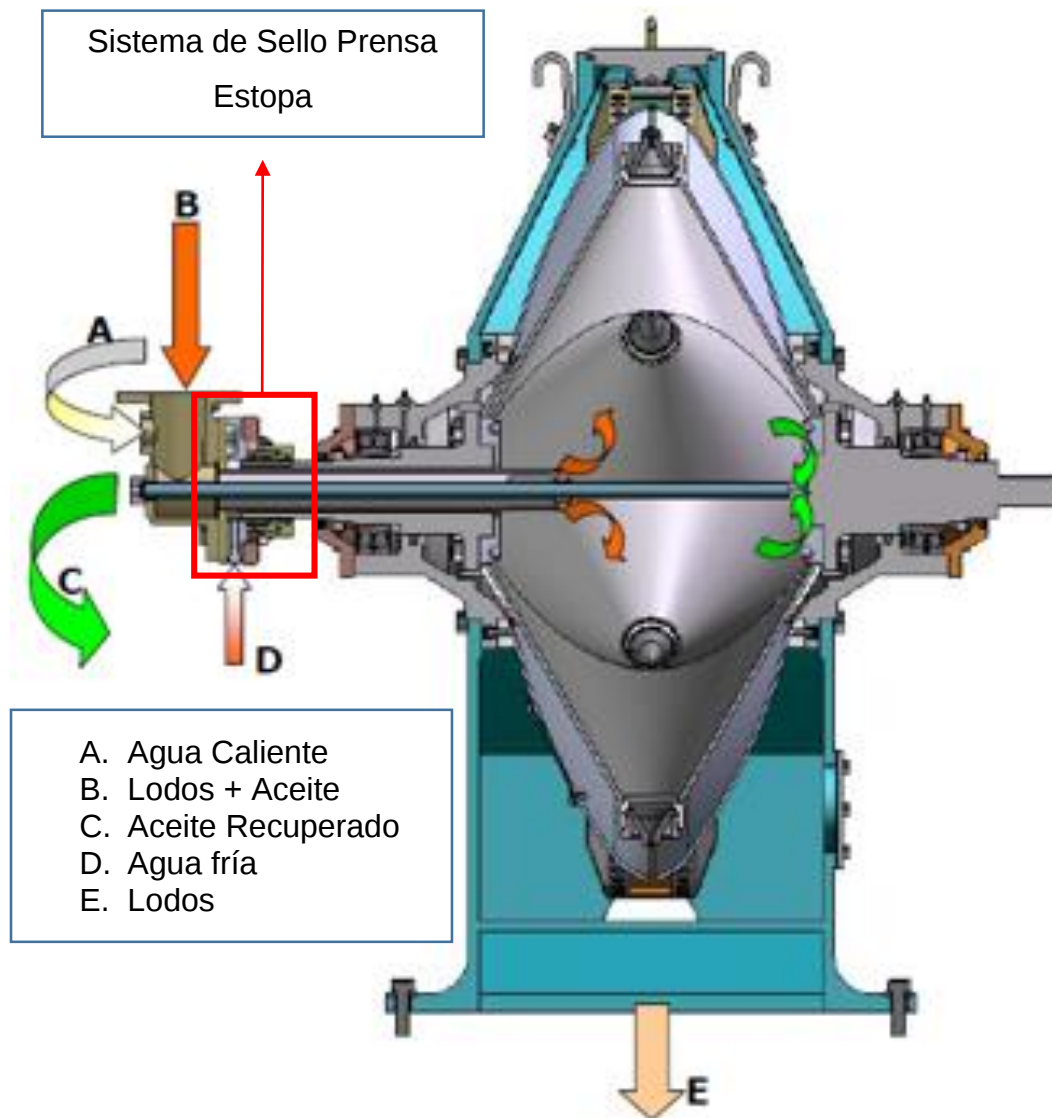
En el cuadro descrito a continuación se especifica la capacidad del equipo en función del diámetro de la boquilla, estos valores se cumplen para una velocidad de rotación final del equipo estándar de 1450 rpm.; las posibilidades de regulación son:

Tabla 4. Capacidad de la centrifuga en función del diámetro de la boquilla

Diametro de la Boquilla en Milímetros	Capacidad en Litros / Hora
1.7	5000
1.9	5700
2	6000

Fuente: Industrias AVM Ltda, Ficha técnica y controles operativos de la centrifuga deslodadora, 2015, Pág. 8.

Figura 4. Entrada y Salida de Componentes mezcla de aguas lodosas.



2.2.2.4 Bowl y sistema prensa estopa centrifuga desladora. Una de las fases más importantes en el proceso de extracción de aceite, es la recuperación del aceite que poseen las aguas lodosas, dicha recuperación es realizada con ayuda de la centrifuga desladora, la cual posee un bowl (rotor) fabricado en acero inoxidable, al cual ingresan por uno de sus extremos las aguas lodosas y agua caliente a través de un codo de entrada, de allí, a través del tubo de alimentación, ingresan al bowl, el cual posee doce puntas, y en cada punta se encuentra una boquilla, donde por acción de las fuerzas centrifugas originadas por el movimiento de rotación del bowl son expulsados los elementos con mayor peso específico. En cambio, el aceite, al ser menos denso, se deposita en la parte central del bowl, y de allí sale de la centrifuga a través del tubo de recuperación o de descarga (fabricado en acero inox.). Ingresando agua caliente por dicho tubo se logra limpiar la centrifuga desladora.

Debido a que el bowl debe tener una libre rotación, posee en sus lados cajas porta-rodamientos fabricadas en fundición gris, su función es darle al sistema el apoyo necesario con rodamientos de rodillos a rótula; cuenta con su respectivo sistema de lubricación (conexiones de 1/4" NPT). Dicha lubricación juega un papel muy importante en los cuidados y tareas de mantenimiento del equipo.

El equipo está diseñado con un sistema de sello para lograr la hermeticidad requerida. Posee un sistema de empaques con su respectivo sistema de prensa estopa, el cual permite garantizar un óptimo sello y reducción de las fuerzas de fricción. Debido al material de dichos empaques, estos durante su funcionamiento están sometidos a un calentamiento gradual debido a su constante fricción, para resolver esta situación la centrifuga cuenta una entrada de agua por la parte inferior del codo de entrada, esta lubricación permite el enfriamiento de los empaques y del sistema prensa estopa¹⁵.

¹⁵ Ibid p.13

Figura 5. Sección zona punta hueca bowl de la centrifuga

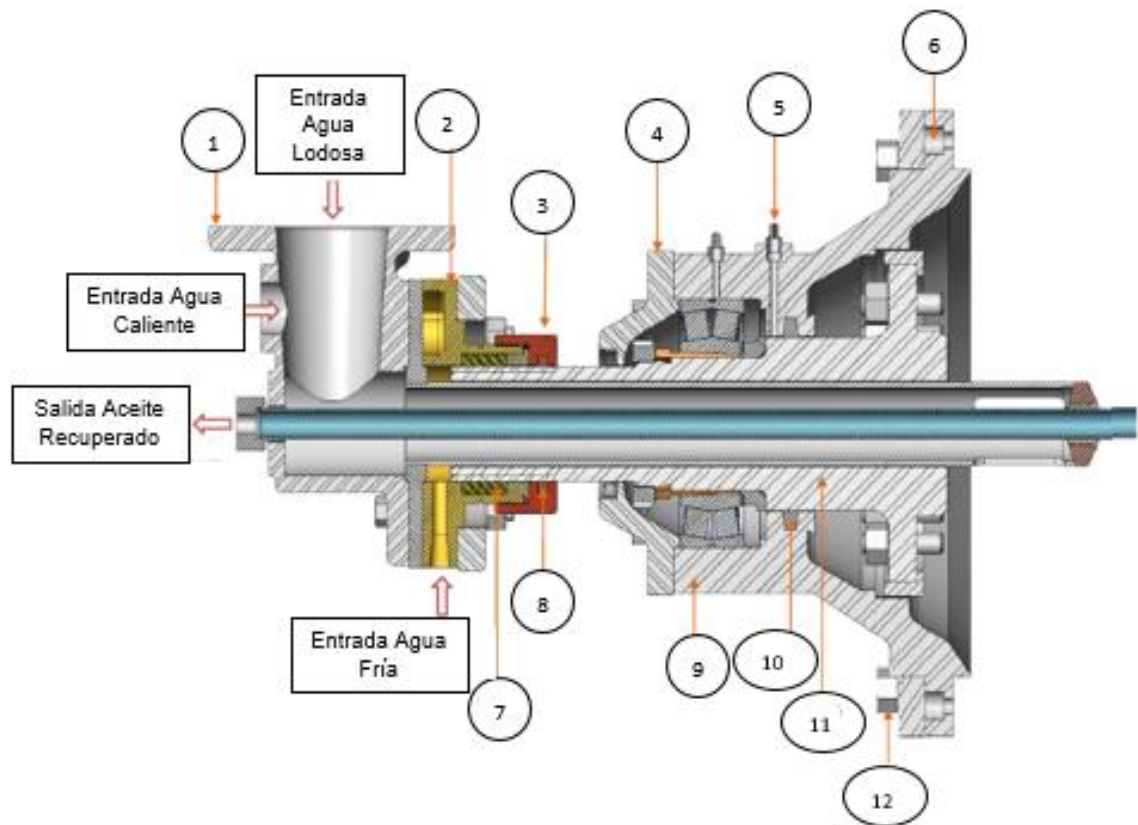


Tabla 5. Nombre partes sección zona punta hueca bowl de la centrifuga

No	Descripción	No	Descripción
1	Codo de Entrada	7	Cordón Estilo Chesterton
2	Casquillo de Bronce Prensa Estopa	8	Anillo de Feltro tuerca prensa Estopa
3	Tuerca de Prensa Estopa	9	Caja Porta Rodamientos
4	Pieza Intermedia con Tapa	10	Anillo de Feltro
5	Grasera Recta de 1/4	11	Punta Hueca
6	Tornillo Bristol	12	Tornillo Cabeza Hexagonal

Fuente: Autor

3. ESTRATEGIA METODOLOGICA

3.1 BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE SELLOS MECÁNICOS EN CENTRIFUGAS DESLODADORAS

En el marco del mejoramiento del proceso de extracción de aceite de palma, se han venido desarrollado tecnologías y prácticas de procesamiento para aumentar la eficiencia de procesamiento de racimos de fruta fresca (RFF). Con base en esto algunas extractoras de aceite de palma han implementado técnicas que les han permitido demostrar beneficios en cuanto a sus rendimientos de extracción y disminución de costos de procesamiento¹⁶.

Estas mejoras se han debido principalmente a avances en la reducción del consumo energético, optimización del proceso de clarificación y mantenimiento en centrífugas deslodadoras, entre otras. En esta monografía se presenta una revisión de la implementación de mejores prácticas de operación en planta de beneficio, resaltando las mejoras en la productividad y en la reducción de costos de procesamiento¹⁷

En la extractora Industrial Aceitera del Casanare S.A no va nada al florentino antes de que pase por las centrífugas deslodadoras, hasta el lavado de la planta. En ocasiones se riega un poco de aceite porque ocurren fallas en los equipos de la planta tales como fugas, rebose de tanques, etc.

Por lo general las centrífugas tienen el sello con prensa estopa y con agua, Para este caso se propone implementar el mecánico de un solo resorte o de múltiple

¹⁶ PELAEZ, C. M. Buenas Practicas de procesamiento en plantas de beneficio. Fedepalma, 10. 2010

¹⁷ Ibid p.4

resorte; existen estudios realizado hace muchos años en Aceites S.A en donde se implementa este tipo de sello en donde se logra aumentar al máximo la capacidad de las centrífugas¹⁸.

3.1.1 Desventajas del sello prensa estopa.

1. Empleo de agua de balance.

Función: Evitar que los lodos aceitosos tratados en la centrifuga salgan a través de la camisa de desgaste. Las desventajas asociadas al empleo de agua de balance son:

- El agua de balance desplaza lodos y entra a la máquina reduciendo su capacidad.
- Aumento del consumo de agua general de la planta por tonelada de fruta procesada en una jornada laboral.
- El agua de balance cambia la composición de los lodos en la desladoras.

2. Empaquetadura tipo laberinto.

Este tipo de empaquetadura requiere de un área de contacto grande entre el cordón de empaquetadura y la pieza rotaria de sellar (eje). Las desventajas asociadas al empleo de este tipo de sellado son:

- Aumento de la potencia al freno de la máquina debido a la fricción generada por el cordón.
- Desgaste de la camisa de la punta hueca de la centrifuga Cuando se presentan goteos por el natural desgaste del cordón se debe apretar éste último, incrementando la fricción.

¹⁸ Ibid p.8

- Pérdida de lodos a medida que el cordón se desgasta.
- Atención permanente al trabajo de la empaquetadura.

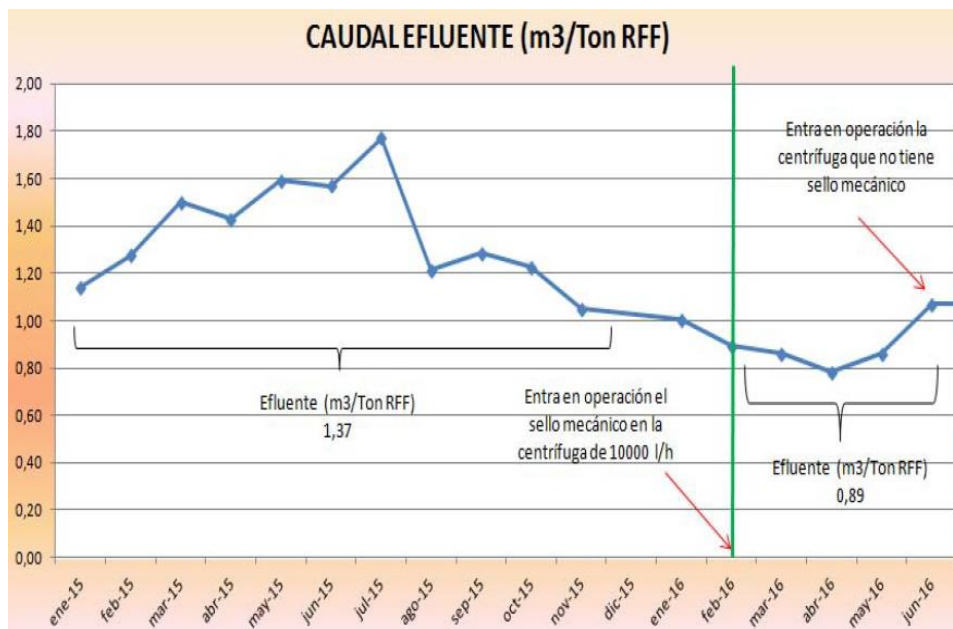
Los sellos mecánicos de tipo mono-resorte son ampliamente empleados en las aplicaciones de sellado en bombas y otros equipos que requieren un nivel de confiabilidad alto en la operación y prevención en la pérdida de producto.

3.1.2 Ventajas sello mecánico.

- Eliminación del agua de balance ya que los sellos mecánicos no requieren de agua para su operación.
- Poca fricción; ya que el área de contacto entre las pistas estacionaria y rotativa del sello es muy pequeña en comparación con la requerida en los sistemas de prensa estopa. La graduación de la presión del resorte permite un adecuado sellado con un mínimo de fricción entre las caras.
- No desgaste de la camisa de la punta hueca; no existe fricción alguna entre la camisa de desgaste de la punta hueca y el sello.
- Bajo mantenimiento; Instalado adecuadamente, el sello mecánico prácticamente no requiere de mantenimiento alguno.

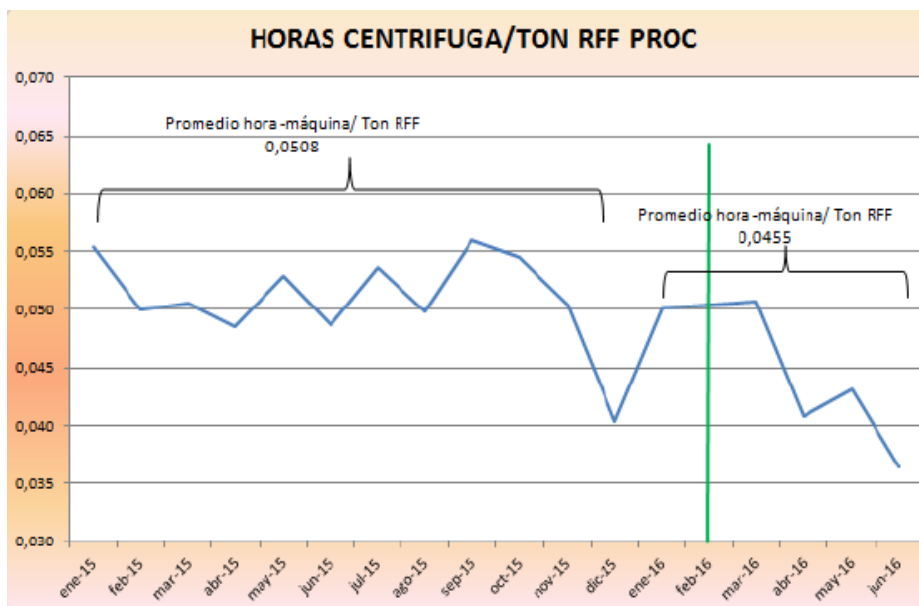
3.1.3 Relación costo beneficio. A continuación, se muestran algunas tablas y graficas sobre aplicaciones e investigaciones realizadas en la implementación de sellos mecánicos en otras plantas extractoras de aceite de palma, en donde además se muestran datos obtenidos los cuales serán tenidos en cuenta y servirán como guía para el desarrollo de la presente investigación.

Figura 6. Disminución en m3 de efluente / Ton RFF procesado.



Fuente: Industrias AVM S.A, Aplicación del sello mecánico en centrifugas deslodadoras, Presentación 2017.

Figura 7: Disminución en horas centrifugas / Ton RFF.



Fuente: Industrias AVM S.A, Aplicación del sello mecánico en centrifugas deslodadoras, Presentación 2017.

Tabla 6. Disminución de costos en consumo de energía.

EQUIPO	CONSUMO			ENERGIA			VALOR	Anual
	Antes	Despues	Diferencia	Antes	Despues	Diferencia	\$ / kwh	
	Amp	Amp	Amp	KWh	KWh	KWh	\$ 180,00	
Centrifuga #1	55	49,5	5,5	16,35	14,7	1,65	\$ 297,0	\$1.500.663
Centrifuga #2	62,4	56,5	5,9	18,55	16,8	1,75	\$ 315,0	\$1.609.802
Centrifuga #3	61	51	10	18,13	15,2	2,93	\$ 527,4	\$2.728.478
Total Ahorro								\$5.838.943

Fuente: Aceites S.A, Implementación de sellos mecánicos en centrifugas deslodadoras, Ing. José Granados – Ing. Edwin Marsiglia, Presentación 2005.

Tabla 7. Disminución de costos en repuestos.

	Año 1		Año 2		Año 3	
	Cantidad	Costo	Cantidad	Costo	Cantidad	Costo
Camisa Desgaste	6	\$ 870.000	5	\$ 725.000	0	\$ -
Rodamientos	8	\$ 7.840.000	3	\$ 2.940.000	0	\$ -
Total	\$ 8.710.000		\$ 3.665.000		\$ -	
Total Ahorro	\$ 5.045.000					

Fuente: Aceites S.A, Implementación de sellos mecánicos en centrifugas deslodadoras, Ing. José Granados – Ing. Edwin Marsiglia, Presentación 2005.

Tabla 8. Aumento en el índice de TonRFF / Hr de centrifugas

Año	TON RFF / Hr. CENTRIFUGA	Hr. CENTRIFUGADO AÑO	DIFERENCIA Hr AÑO	AHORRO
Año 1	35,591	3653		
Año 2	37,394	3476	176	\$ 1.426.534
Año 3	41,169	3158	319	\$ 2.582.100
Total Ahorro				\$ 4.008.634

Fuente: Aceites S.A, Implementación de sellos mecánicos en centrifugas deslodadoras, Ing. José Granados – Ing. Edwin Marsiglia, Presentación 2005.

En la siguiente tabla se muestra la disminución de agua que se obtendría al utilizar sellos mecánicos.

Tabla 9. Ahorro al no utilizar agua para el sistema del sello.

	m3 Efluente / Ton RFF	m3 agua /Ton RFF	Costo m3 Agua	Ton RFF Año	Total Ahorro
Antes	0,8	0,17	\$ 1.200	140000	\$ 28.560.000
Despues	0,63				

Tabla 10. Ahorro en tratamiento de efluentes por disminución de flujo

	m3 Efluente / Ton RFF	m3 Efluente /Ton RFF	Costo de Tratar 1m3	Ton RFF Año	Total Ahorro
Antes	0,8	0,17	\$ 2.840	140000	\$ 67.592.000
Despues	0,63				

Fuente: Autor

Tabla 11. Cotizaciones de implementación sellos mecánicos

Detalle	Reduccion	Cotizaciones de Implementacion	
		Cotizacion #1	Cotizacion #2
Costo de Mantenimiento	\$ 5.045.000	\$ 10.034.437	\$ 11.000.000
Costo de Energia	\$ 5.838.944		
Costo por Capacidad	\$ 4.009.633		
Costo por uso de Agua	\$ 28.560.000		
Costo por Tratamiento de Efluentes	\$ 67.592.000		
Total Ahorro	\$ 111.045.577		

Una vez determinados y calculados los datos con la reducción de costos en operación y utilización que se podrían dar al implementar sellos mecánicos en las centrifugas deslodadoras de la planta extractora Industrial Aceitera del Casanare S.A, con una planta capacidad de procesamiento promedio de 40 Ton RFF / hora, a continuación se muestra en la siguiente tabla el consolidad de los datos obtenidos donde se evidencian los costos de implementación, la reducción total de costos y el tiempo teórico en la recuperación de la inversión.

Tabla 12. Relación Costo / Beneficio

<i>Numero de Centrifugas</i>	<u><u>6</u></u>
<i>Costo Instalacion sello Mecanico C/U</i>	<u><u>\$ 11.000.000</u></u>
<i>Total Inversion</i>	<u><u>\$ 66.000.000</u></u>
<i>Total Ahorro Anual</i>	<u><u>\$ 111.045.577</u></u>
<i>Tiempo de Recuperacion Inversion (Meses)</i>	<u><u>7,13</u></u>

3.2 IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM

Como base de datos principal para el análisis de las metodologías a implementar en la presente monografía se obtiene información de las centrifugas desladoras mediante manuales de partes y operación entregadas por proveedores, esto con el fin de conocer las condiciones de operación del sistema de sellos utilizados, con lo anterior se plantea realizar un modelo de un mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) implementando la metodología de análisis de modo de falla, efecto y criticidad (FMECA o AMFEC).

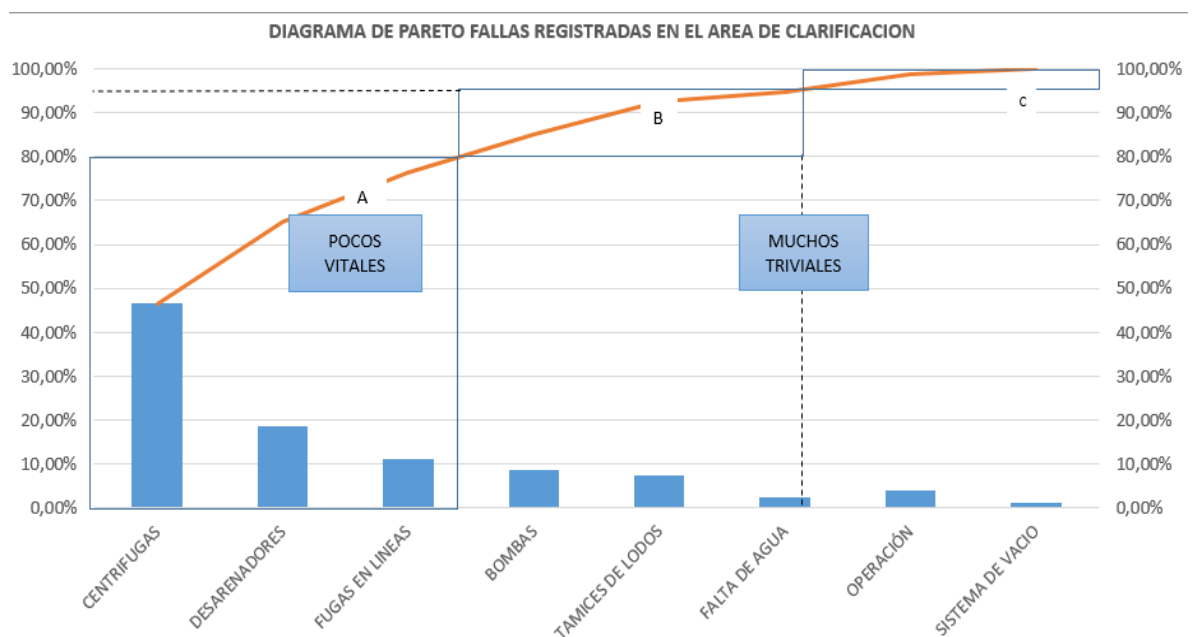
Se establecen los límites del sistema de sello de aguas lodosas en las centrifugas de lodo, organizando cada sub sistema con sus entradas y salidas para de esta forma determinar la criticidad de los componentes.

Como último paso, se establece los modos de falla y efectos, se plantean las tareas que se deben ejecutar y la frecuencia en las que se deben realizar dichas tareas, esto con base a los datos obtenidos del histórico de fallas los vehículos de la planta INDUSTRIAL ACEITERA DEL CASANARE S.A (IACSA), con el fin de evitar que los componentes fallen.

3.2.1 Revisión y análisis de los datos existentes en el departamento de mantenimiento de IACSA.

En la actualidad ninguno de los equipos de la empresa cuenta con un plan de mantenimiento preventivo basado en confiabilidad. Luego de realizar un seguimiento y análisis a los datos se encontró que el área de la planta extractora que más paradas de producción tiene es el área de clarificación, basados en esta información se construyó el siguiente diagrama de Pareto, el cual se centra en los sistemas y equipos protagonistas de tales paradas.

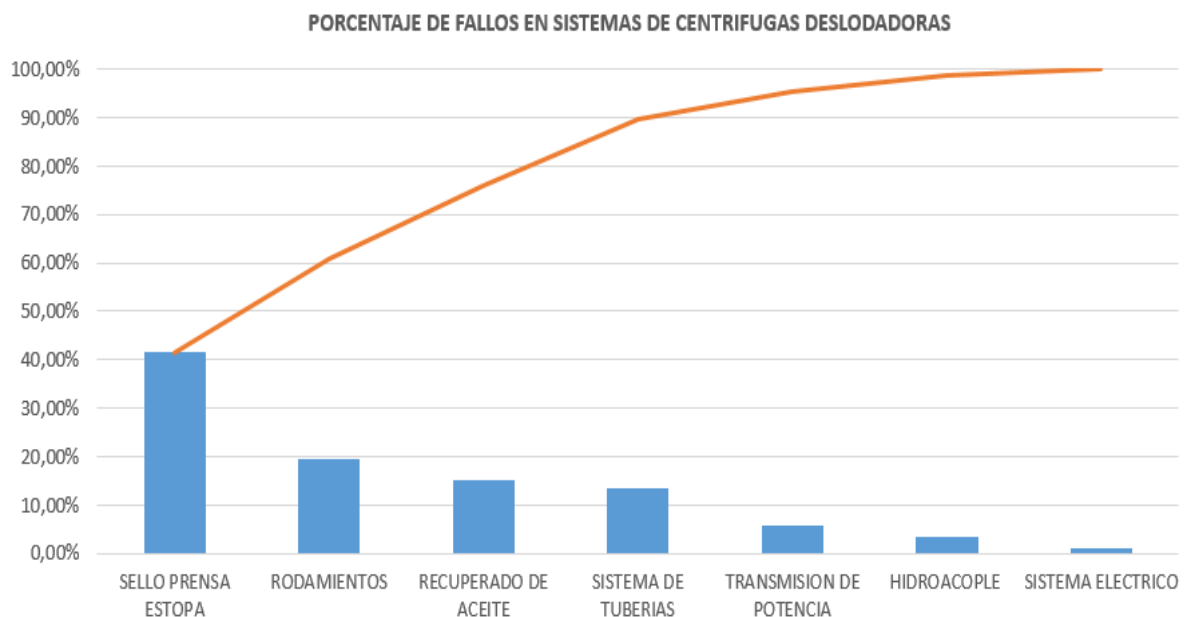
Figura 8. Pareto equipos involucrados en las paradas área de clarificación



Al observar la gráfica anterior, se identifica que las centrifugas deslodadoras son los equipos que más horas de paradas por fallos registran en el historial de paradas de planta con una participación de 46,49% de eventos, los cuales como consecuencia dejaron 25.48 horas de paradas de producción. El desarrollo de esta monografía se centra solo en el análisis de las fallas ocasionadas en las centrifugas, dejando para una segunda oportunidad el análisis de desarenadores y las fugas de las líneas

Con base en lo anterior las centrifugas deslodadoras son la mayor oportunidad de mejora; por lo tanto, se procede a identificar qué tipo de sistema de las centrifugas ha generado el mayor número de fallos y por consiguiente paradas de planta en la empresa.

Figura 9. Porcentaje de fallos por sistemas, en centrifuga de lodos.

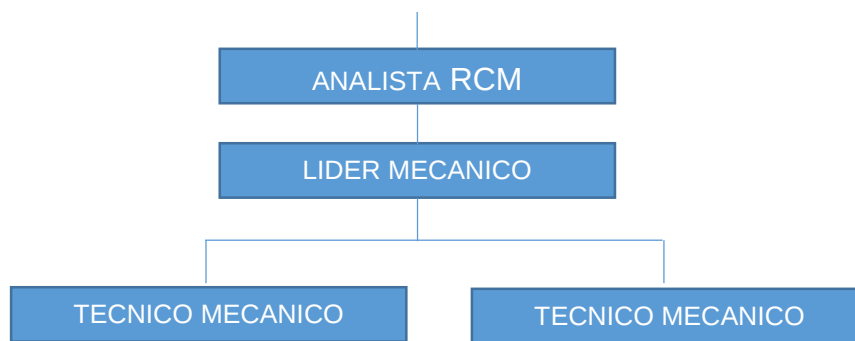


Fuente: Autor

Con base a los resultados obtenidos en las gráficas anteriores se procede a realizar el diseño para la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) utilizando la herramienta de análisis de modo de falla, efecto y criticidad; para llevar a cabo esta metodología se seleccionó el siguiente equipo de trabajo constituido por trabajadores de la empresa pertenecientes al departamento de mantenimiento.

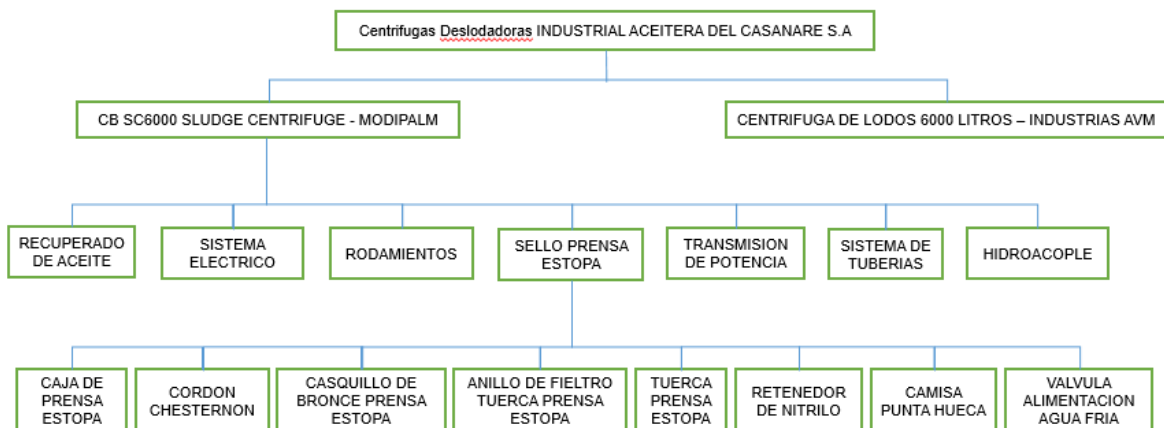
Figura 10: Conformación equipo RCM IACSA





3.2.2 Definición de fronteras. Teniendo como base los datos obtenidos anteriormente en donde se encontró como oportunidad de mejora el sistema de sellos prensa estopa de las centrifugas desladoras se procede con la definición de fronteras del sistema, en la siguiente figura se establece la taxonomía de las centrifugas con las que cuenta la empresa.

Figura 11. Taxonomía Centrifugas desladoras IACSA



3.2.3 Contexto operacional. Las centrifugas desladoras utilizadas para la clarificación dinámica del aceite de palma en la empresa INDUSTRIAL ACEITERA DEL CASANARE S.A son empleadas para separar el aceite contenido en las aguas aceitosas provenientes del clarificador primario por medio de la fuerza centrífuga ejercida sobre el lodo.

Las partículas de que consta el agua lodosa aceitosa caliente es impulsada bajo presión atmosférica dependiente de una cabeza de altura a la cual se encuentra el tanque alimentador, por un conducto de suministro, al centro del rotor en movimiento, que tiene forma de estrella (bowl).

Aparte de partículas de agua, arena y otras impurezas, el agua lodosa caliente, que viene del tanque primario contiene aceite de palma que debe ser recuperado. Con el rotor girando total mente lleno, el agua lodosa caliente es sometida, por la acción de la fuerza centrífuga, a aceleraciones tanto axiales como radiales cuyo grado dependerá del peso específico del flujo (aguas lodosas aceitosas) de alimentación

Las partículas más livianas en las que se encuentra aceite, estarán sometidas a una menor aceleración, permaneciendo en el centro del rotor y pueden ser evacuadas como aceite a través del tubo de descarga C para pasar a un tanque de aguas grasosas y posteriormente al tanque primario o clarificador.

3.2.3.1 Condiciones Operacionales. El siguiente análisis de las condiciones operacionales del equipo se realiza en base al uso de las centrifugas deslodadoras de la planta extractora teniendo en cuenta horas de funcionamiento, terrenos, capacidad, Velocidades de giro, consumo promedio de energía, etc.

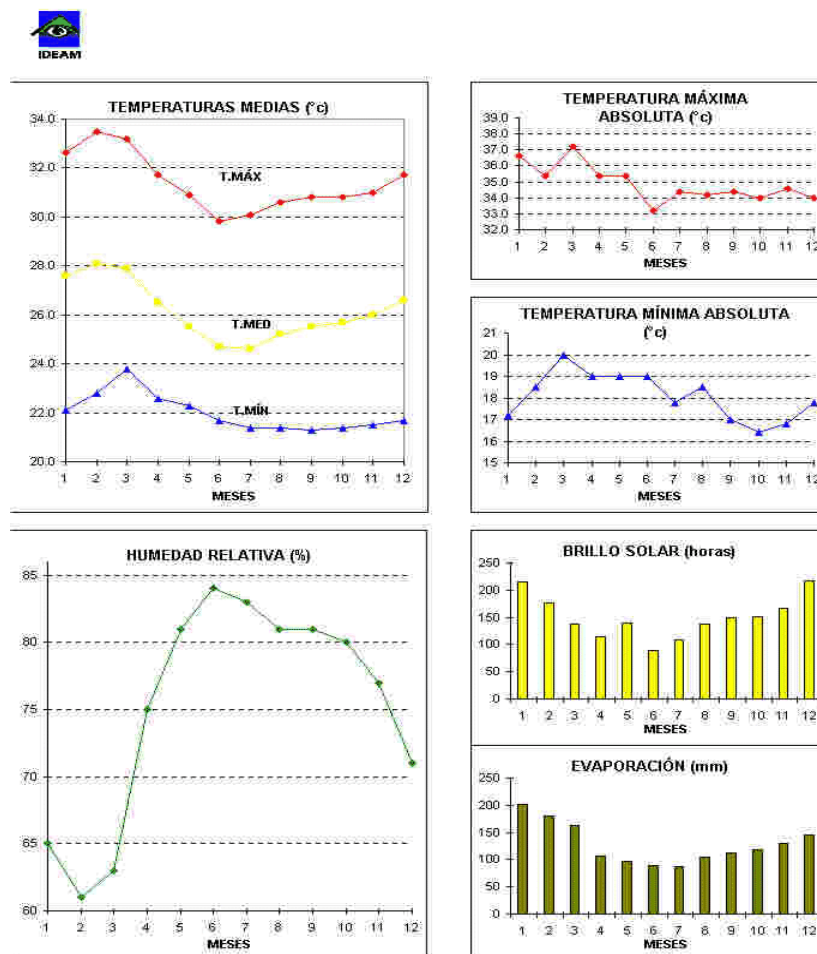
Tabla 13. Condiciones Operacionales Centrifuga de lodos.

ACTIVIDAD	CANTIDAD	UNIDAD
Capacidad de procesamiento de lodos	6000	Litros / hora
Velocidad máxima rotor (bowl)	1450	RPM
Numero de boquillas	6	Unidades
Temperatura entrada de lodo	95 - 100	°C
Promedio horas trabajadas	18	Horas/Día
Tamaño Boquillas de lodos	1.7	mm

Cantidad de Centrifugas deslodadoras	6	Unidades
Potencia Motor	22	KW
Velocidad Motor	1750	RPM

3.2.3.2 Condiciones ambientales. El equipo de estudio está ubicado en la planta extractora INDUSTRIAL ACEITERA DEL CASANARE S.A Ubicada en el Kilómetro 90 vía Yopal (Casanare – Orocué). La población más cercana al área donde está ubicada la planta extractora es la Ciudad de Yopal capital del departamento colombiano de Casanare, ubicada cerca del río Cravo Sur, en el piedemonte de la cordillera Oriental. Por su topografía el municipio presenta tres pisos térmicos, en la siguiente grafica se puede observar la descripción general de Yopal para hacer referencia a la ubicación del equipo en estudio.

Figura 12. Cromatografía Yopal (Casanare)



Fuente: Información suministrada por la Subdirección de Meteorología del IDEAM, 2019.

3.2.4 Definición de funciones. Para definir las funciones de esta monografía existen dos tipos de funciones: las funciones específicas, que están relacionadas con una especificación del ítem objeto de estudio (planta, área, sistema, subsistema o equipo) y las funciones generales, una serie de funciones que en general los ítems deben cumplir relación con la seguridad, el aspecto visual, etc. y que normalmente no están basadas en una especificación.

Para poder definir las funciones generales, previamente hay que analizar las especificaciones o estándares que debe cumplir el ítem analizado, ya sea un equipo, y subsistema, un sistema, un área o la planta en su conjunto; estas

especificaciones pueden encontrarse normalmente en los manuales de los equipos de fabricante, en las pruebas de aceptación, en los proyectos de ingeniería o son valores de referencia de operación. En ocasiones no se dispone de documentación detallada, por lo que hay que recurrir bien a buscar dicha información por otras vías, a estimarlas o incluso a saltarse este paso.

Hay que recordar que las especificaciones se requieren para detallar las funciones, pero si es posible detallarlas con mayor o menor precisión sin necesidad de indicar las especificaciones es una buena solución saltarse este ítem en algunos o en todos los ítems a analizar en la presente monografía. Esta solución quitará precisión y rigor al estudio, pero en cambio hará ganar tiempo y evitará quedarse estancado justo al principio del proceso, cuando se requiere algo más de velocidad.

Las especificaciones son en general de cuatro tipos: relacionadas con suministros que el ítem requiere, relacionadas con condiciones de funcionamiento, con operaciones internas que el ítem realiza o con los productos o “salidas” del ítem analizado.

Las funciones derivan de las especificaciones. Para cada especificación hay asociada una y solo una función. Si en algún caso aparente haber dos funciones asociadas a una especificación, en realidad se trata de dos especificaciones diferentes de las que derivan dichas funciones, y habrá que detallar ambas¹⁹.

3.2.5 Fallas funcionales. Para poder determinar las fallas funcionales, se debe tener en cuenta la taxonomía de las centrifugas desludadoras, a continuación, se presentarán las condiciones que deben cumplir dichas fallas para posteriormente analizarlas.

¹⁹ RCM3. Especificaciones y funciones. Obtenido de Especificaciones y funciones. 2019. Obtenido de: <http://rcm3.org/especificaciones-y-funciones>

3.2.6 Falla. Falla es el estado de un activo en el cual no cumple con la función para la cual fue creado y diseñado. Son todos los estados indeseables del sistema o equipo.

3.2.6.1 Tipos de falla.

- **Fallas potenciales:** Es un evento donde se detecta una pequeña degradación visible del activo, pero cumple con la función, es decir aun no afecta el requerimiento. Estos tipos de falla normalmente pasan desapercibidos por el personal técnico y operarios, aquí juegan un rol muy importante los mantenimientos predictivos.
- **Falla funcional:** Se presenta cuando el activo **deja** de cumplir con la función para la cual fue diseñado, sin embargo, no necesariamente significa que el activo deja de funcionar. Aquí es muy importante definir los requerimientos de desempeño. Son resultado de la incapacidad de los equipos para dar su nivel de desempeño esperado. Son un síntoma o evento observable por el personal de operación y mantenimiento; por lo tanto, es de vital importancia que se realicen los respectivos reportes para corregir estas fallas potenciales tan pronto sea posible²⁰.

3.2.7 Modo y efecto de falla. Para determinar los modos y efectos de falla se debe tener en consideración lo siguiente.

- **Modo de falla:** Se define como la manera en que una parte o ensamble puede potencialmente fallar en cumplir con los requerimientos de liberación de ingeniería o con requerimiento específicos del proceso o función para la cual

²⁰ ORGE, MEDINA. Confiabilidad RCM. Obtenido de Blog especializado en la confiabilidad operativa y su implementación. 2019. Obtenido de: <https://confiabilidadrcm.wordpress.com/2016/08/21/paso-2-fallos-funcionales/>

fue diseñado. Se hace una lista de cada modo de falla potencial para la operación en particular; para identificar todos los posibles modos de falla, es necesario considerar que estos pueden caer dentro de una de cinco categorías:

- a. Falla total
- b. Falla parcial
- c. Falla intermitente
- d. Falla gradual
- e. Sobre funcionamiento.

- **Efectos de falla:** Se identifica las consecuencias potenciales del modo de falla; ésta actividad debe de realizarse a través de la tormenta de ideas y una vez identificadas estas consecuencias, deben introducirse en el modelo diseñado como efectos de falla²¹.

3.2.8 Análisis de criticidad. Para determinar la criticidad de los componentes del sistema de sello prensa estopa de las centrifugas deslodadoras, se realizó una calificación de riesgo utilizando como variables la consecuencia y frecuencia de ocurrencia, Ver Tabla 14, para los diferentes componentes dentro de los entornos de riesgo

- Ambiental
- Humano
- Económico
- Imagen

²¹ HIDALGO, ARMANDO. Manual AMEF Analisis de modo y efecto de fallas potenciales . Obtenido de ARMANDO HIDALGO. Manual AMEF Análisis de modo y efecto de fallas potenciales. 12 de Abril de 2019. [En línea][recuperado el 1 febrero 2019] Obtenido de: <https://www.gestiopolis.com/manual-amef- analisis-de-modo-y-efecto-de-fallas-potenciales/>

A continuación, en la tabla 14 se puede observar los factores de consecuencia y frecuencia:

Tabla 14. Factores de Consecuencia y frecuencia.

Consecuencia ambiental (CA)	Ponderación
Efectos irreversible	5
Efectos reversibles en menos de 2 años	4
Efectos reversibles en 6 meses	3
Efectos controlados	2
No afecta el medio ambiente	1
Consecuencia Humana(CH)	Ponderación
De uno a más muertos	5
Accidente con Incapacidad permanente	4
Accidente con incapacidad temporal	3
Accidente leve sin incapacidad	2
Ninguna	1
Consecuencia Económico(CE)	Ponderación
Gastos mayores a 100 M	5
Gastos de 10 a 100 M	4
Gastos de 1 a 10 M	3
Gastos de 0,5 a 1 M	2
Gastos menores a 0,5 M	1
Consecuencia Imagen(CI)	Ponderación
Internacional	5
Nacional	4
Regional	3
local	2
Ninguna	1
Factor de Frecuencia (FF)	Ponderación
De 6 a más eventos en el año	5
De 4 a 5 eventos en el año	4
De 2 a 3 eventos en el año	3
1 evento en el año	2
Ninguno	1

Fuente: Autor

Para realizar el cálculo de la criticidad se debe realizar a partir de los factores de frecuencia y consecuencia plasmados en la tabla 14, esta metodología o procedimiento para el cálculo de la criticidad consiste en el producto entre la

frecuencia y la ponderación de las consecuencias, según la cantidad de fallos presentados en los equipos o componentes de equipo y su posterior relación dentro de la matriz de criticidad (tabla 15).

Es importante mencionar que la cantidad de fallos tomados para este análisis está sujeta a los equipos que presentaron los fallos más relevantes. Ver Tabla 15.

Tabla 15. Matriz de criticidad

FRECUENCIA	5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	4	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80
	3	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
	2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
CONSECUENCIA																					

La criticidad de los equipos con fallos de mayor relevancia se relaciona en la tabla 16, en donde la ponderación de los factores de consecuencia está dada por la sumatoria de los valores asignados de acuerdo con la calificación de cada uno de los fallos según los factores especificados relacionados en la tabla 16 como CO. Posteriormente la criticidad se obtiene al multiplicar este valor encontrado con la frecuencia de las fallas (FF).

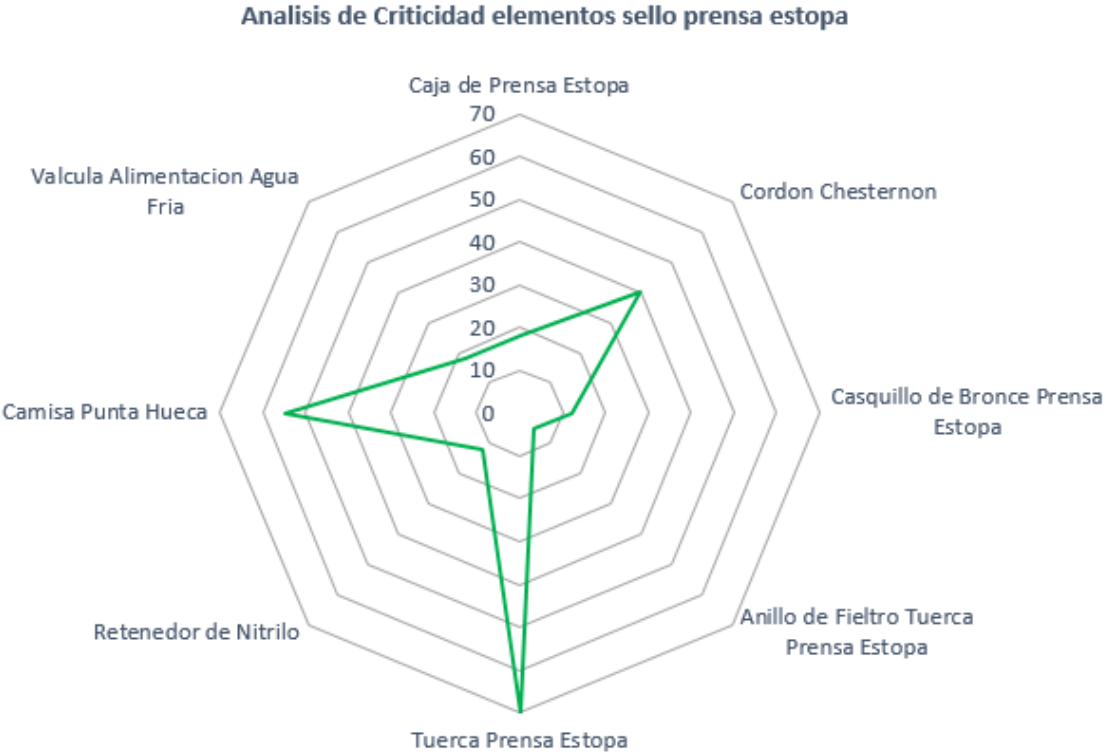
Al relacionar este valor con la matriz presentada en la tabla 15, se obtiene el valor numérico de criticidad. Ver Tabla 16. Esta ponderación también ubica los equipos dentro de un rango de colores y valores según se especifica a continuación:

Tabla 16. Calculo de criticidad componentes prensa estopa

CALCULO DE LA CRITICIDAD							
COMPONENTE	FF	CA	CH	CE	CI	CO	CRITICIDAD
Caja de Prensa Estopa	2	2	3	1	3	9	18
Cordon Chesternon	5	4	1	2	1	8	40
Casquillo de Bronce Prensa Estopa	2	2	1	2	1	6	12
Anillo de Filtro Tuerca Prensa Estopa	1	1	1	2	1	5	5
Tuerca Prensa Estopa	5	4	4	3	3	14	70
Retenedor de Nitrilo	2	2	1	1	2	6	12
Camisa Punta Hueca	5	2	2	4	3	11	55
Valcula Alimentacion Agua Fria	3	3	1	1	1	6	18

Como lo indica la tabla 16, el elemento de mayor criticidad dentro del sistema de sellos prensa estopa de las centrifugas deslodadoras son la tuerca prensa estopa, por la cantidad de fallos presentados y las consecuencias ambientales debido al desperdicio de agua. Las estrategias de mantenimiento a efectuar para estos elementos se relacionan al finalizar el libro en las recomendaciones de mantenimiento establecidas.

Figura 13. Resultados Análisis de criticidad



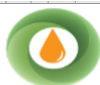
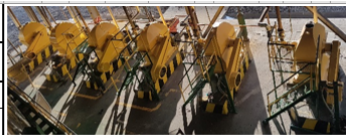
3.2.9 Descripción de las tareas. A continuación, se presentará el análisis de mantenimiento basado en confiabilidad

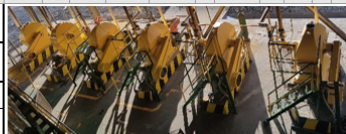
Tabla 17. Análisis de modo de falla, efecto y criticidad

 INDUSTRIAL Aceitera de Casanare				ANALISIS RCM INDUSTRIAL ACEITERA DEL CASANARE S.A SISTEMA: CLARIFICACION DINAMICA SUB SISTEMA: CENTRIFUGAS DE LODOS																
Elemento de estudio	Descripción de elemento de estudio	Cod.	Funcion	Cod.	Descripción falla funcional	Cod.	Modo de falla	Descripción efectos	Factor de frecuencia	R. Amb	R. Hum	R. Eco	R. Ima	Criticidad	Valor Económico del riesgo	Tipo de Decisión	Descripción tarea	Frecuencia (hr)	Recurso Humano	Cod. Tarea
Caja de Prensa Estopa	Base de bronce donde encaja el cordon Chesternon	1	Contener el cordon y encajar todos los elementos del sistema del sello	1.1	Dejar salir el cordon del sello	1.1.1	Fractura del cuerpo del elemento	Debido a que se fractura la base que contiene el cordon, se produce fuga del producto y por lo tanto se pierde la funcion del sello	2	2	3	1	3	18	\$ 300.000	Tarea Bajo Condicion	Verificar el estado fisico de la caja del prensa estopa, cambiar si es necesario	2000	Tecnico Mecanico	T1
Cordon Chesternon	Cordon de asbesto con grafito encargado de hacer el sello	2	Encargado de realizar el sello entre el lodo y el agua	2.1	No realiza el sello del lodo	2.1.1	Desgaste del anillo del cordon por la pista interna, debido al roce con la camisa del eje	En el momento de abrir flujo hacia de bowl el cordon permite el paso de lodos por el sello ocasionando la fuga	5	4	1	2	1	40	\$ 200.000	Reacondicionamiento	Desmontar el sistema del sello y cambiar el cordon Chesternon	400	Tecnico Mecanico	T2

 INDUSTRIAL Aceitera de Casanare				ANALISIS RCM INDUSTRIAL ACEITERA DEL CASANARE S.A SISTEMA: CLARIFICACION DINAMICA SUB SISTEMA: CENTRIFUGAS DE LODOS																
Elemento de estudio	Descripción de elemento de estudio	Cod.	Funcion	Cod.	Descripción falla funcional	Cod.	Modo de falla	Descripción efectos	Factor de frecuencia	R. Amb	R. Hum	R. Eco	R. Ima	Criticidad	Valor Económico del riesgo	Tipo de Decisión	Descripción tarea	Frecuencia (hr)	Recurso Humano	Cod. Tarea
Casquillo de Bronce Prensa Estopa	Soporte guía de bronce	3	Precionar el cordon para realizar un sello uniforme	3.1	No ejercer presion suficiente sobre el cordon	3.1.1	desgaste del borde interno	Al no ejercer la fuerza uniforme mente sobre el cordon fugas de producto	2	2	1	2	1	12	\$ 450.000	Tarea bajo Condicion	Desmontar el sistema del sello y cambiar el casquillo de bronce	2500	Tecnico Mecanico	T3

 INDUSTRIAL Aceitera de Casanare				ANALISIS RCM INDUSTRIAL ACEITERA DEL CASANARE S.A SISTEMA: CLARIFICACION DINAMICA SUB SISTEMA: CENTRIFUGAS DE LODOS																
Elemento de estudio	Descripción de elemento de estudio	Cod.	Funcion	Cod.	Descripción falla funcional	Cod.	Modo de falla	Descripción efectos	Factor de frecuencia	R. Amb	R. Hum	R. Eco	R. Ima	Criticidad	Valor Económico del riesgo	Tipo de Decisión	Descripción tarea	Frecuencia (hr)	Recurso Humano	Cod. Tarea
Anillo de Filtro Prensa Estopa	Anillo de bronce con pequeñas perforaciones	4	Canalizar y distribuir el agua utilizada para el sello de la prensa estopa	4.1	Alta temperatura del agua de goteo del sistema	4.1.1	Impurezas o elementos extraños en el agua suministrada al sistema	Al no circular el agua por los orificios del anillo se ocasiona altas temperaturas el el sello lo cual aumenta el desgaste de los demas elementos del sello	1	1	1	2	1	5	\$ 800.000	Inspeccion	Verificar la temperatura del agua de salida del prensa estopa, la cual debe estar a temperatura ambiente, si esta por fuera del parametro desmontar el sistema y verificar el estado del anillo de filtro, cambiar si es necesario	800	Tecnico Mecanico	T4

 INDUSTRIAL Aceitera de Casanare			ANALISIS RCM																	
			INDUSTRIAL ACEITERA DEL CASANARE S.A																	
			SISTEMA: CLARIFICACION DINAMICA																	
			SUB SISTEMA: CENTRIFUGAS DE LODOS																	
Elemento de estudio	Descripción de elemento de estudio	Cod.	Funcion	Cod.	Descripción falla funcional	Cod.	Modo de falla	Desciption efectos	Factor de frecuencia	R. Amb	R. Hum	R. Eco	R. Ima	Criticidad	Valor Economico del riesgo	Tipo de Decisión	Descripcion tarea	Frecuencia (hr)	Recurso Humano	Cod. Tarea
Tuerca Prensa Estopa	Tuerca en bronce rosca milimetrica	5	Ajustar y calibrar el goteo de agua del sistema	5.1	No ejercer presion sobre el sello para el control del goteo	5.1.1	Deterioro de la rosca	Al no ejercer presion sobre el sistema del sello se ocasionan fugas de producto y desperdicios de agua	5	4	4	3	3	70	\$ 1.000.000	Inspeccion	Desmontar el sistema del sello y verificar el estado de la rosca, cambiar tuerca si es necesario	2500	Tecnico Mecanico	T5
Retenedor de Nitrilo	Proteccion de entrada de lodos o agua a los rodamientos	6	Proteger los rodamientos de la entrada de agua e impurezas	6.1	Permite el paso de flujos provenientes del sello a los rodamientos	6.1.1	Deterioro del nitrilo	Al permitir el paso de flujos hacia los radamientos, acelera el deterioro del rodamiento del eje hueco de la cecntrifuga	2	2	1	1	2	12	\$ 300.000	Inspeccion	Verificar existencia de fugas de grasa en el retenedor y existencia de impurezas en el rodamiento, cambiar retenedor si es necesario	250	Tecnico Mecanico	T6

 INDUSTRIAL Aceitera de Casanare			ANALISIS RCM																	
			INDUSTRIAL ACEITERA DEL CASANARE S.A																	
			SISTEMA: CLARIFICACION DINAMICA																	
			SUB SISTEMA: CENTRIFUGAS DE LODOS																	
Elemento de estudio	Descripción de elemento de estudio	Cod.	Funcion	Cod.	Descripción falla funcional	Cod.	Modo de falla	Descripción efectos	Factor de frecuencia	R. Amb	R. Hum	R. Eco	R. Ima	Criticidad	Valor Económico del riesgo	Tipo de Decisión	Descripción tarea	Frecuencia (hr)	Recurso Humano	Cod. Tarea
Camisa Punta Hueca	Camisa de recubrimiento antidesgaste del eje	7	Proteger el eje de desgastes ocasionados por el sistema	7.1	No protege el eje hueco de la centrifuga	7.1.1	Desgaste de la camisa	Al desgastarse la camisa del eje de la punta hueca, se empieza a desgastar tambien el eje, lo cual aumenta las tolerancias del sistema, provocando fugas de agua y lodo	5	2	2	4	3	55	\$ 450.000	Reacondicionamiento	Desmontar el sistema y cambiar el buje o camisa del eje hueco de la centrifuga	1000	Tecnico Mecanico	T7
Valvula Alimentacion Agua Fria	Valvula 1/2" de bola	8	Controlar la presion y caudal de agua de entrada sistema de sellado	8.1	No permite el control de agua hacia el sistema del sello	8.1.1	Desgaste bola de la valvula	Al no permitir un adecuado control en el agua de entrada, ocasiona fugas en el sistema del sello	3	3	1	1	1	18	\$ 120.000	Inspeccion	Verificar desgaste de la bola de la valvula, cambiar si es necesario	2000	Tecnico Mecanico	T8

4. DESARROLLO DEL DIAGRAMA DE DECISIÓN

Una vez realizado el análisis de modo de falla, efecto y criticidad (FMECA o AMFEC), de los componentes que conforman el sistema de sello prensa estopa de las centrifugas deslodadoras, las cuales son objeto de estudio se plantea la adición de las siguientes actividades a él plan de mantenimiento actual según las tareas y frecuencias propuestas para el equipo. En la siguiente tabla presentan las actividades mencionadas.

Tabla 18. Actividades de Mantenimiento propuestas

CODIGO TAREA	DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	FRECUENCIA - HORAS						RESPONSABLE
		250	400	800	1000	2000	2500	
T1	Verificar el estado fisico de la caja del prensa estopa, cambiar si es necesario					X		Tecnico Mecanico
T2	Desmontar el sistema del sello y cambiar el cordon Chesternon		X					Tecnico Mecanico
T3	Desmontar el sistema del sello y cambiar el casquillo de bronce						X	Tecnico Mecanico
T4	Verificar la temperatura del agua de salida del prensa estopa, la cual debe estar a temperatura ambiente, si esta por fuera del parametro desmontar el sistema y verificar el estado del anillo de fieltro, cambiar si es necesario			X				Tecnico Mecanico
T5	Desmontar el sistema del sello y verificar el estado de la rosca, cambiar tuerca si es necesario						X	Tecnico Mecanico
T6	Verificar existencia de fugas de grasa en el retenedor y existencia de impurezas en el rodamiento, cambiar retenedor si es necesario	X						Tecnico Mecanico
T7	Desmontar el sistema y cambiar el buje o camisa del eje hueco de la centrifuga				X			Tecnico Mecanico
T8	Verificar desgaste de la bola de la valvula, cambiar si es necesario					X		Tecnico Mecanico

Fuente: Autor

5. CONCLUSIONES

La implementación de sellos mecánicos en las centrifugas deslodadoras representa importantes beneficios para el proceso de clarificación dinámica como lo son: eliminación del agua de balance, con su consecuente reducción en los efluentes totales de la planta, aprovechamiento total de la capacidad de centrifugación al no tener que emplear agua al balance, reducción del número de horas de operación al reducir el volumen de líquido a procesar como consecuencia del no uso de agua de balance, reducción de los costos de mantenimiento al no tener que reemplazar empaquetaduras y camisas de desgaste, disminución en los costos de operación al reducirse el número de horas de operación de la máquina, al llevar todo esto a costos de implementación se obtiene una reducción significativa y un tiempo de recuperación de inversión relativamente corto.

Como resultado de la implementación de la metodología, se desprende el desarrollo de unas tareas de mantenimiento para las centrifugas deslodadoras en donde se muestran la descripción de tareas y responsables de la misma, con la finalidad de mitigar o en su defecto eliminar las fallas ocurridas en el sistema de sello de las aguas lodosas.

La implementación de la metodología RCM se pretende desarrollar con grupo técnico de la planta extractora, debido a la necesidad que presentaba el sistema para las centrifugas, dado lo anterior es bueno resaltar que se deja una oportunidad de mejora para la implementación de esta metodología en las demás plantas ya que es de vital importancia para la optimización y continuidad de los procesos productivos.

El desarrollo de la presente monografía se pretende compartir y dar a conocer a los gerentes de la planta extractora Industrial Aceitera del Casanare S.A lo cual

servirá como avances en el seguimiento al comportamiento de los elementos que componen los sistemas de la planta, luego se presentará el plan de mantenimiento obtenido a través de un análisis basado en la confiabilidad de los elementos y se realizará una descripción de la metodología de análisis de modo de falla, efecto y criticidad (FMECA o AMFEC).

BIBLIOGRAFÍA

- AVM. Catalogo de la Maquina Deslodadora. Bucaramanga: Amarista. 1990
- AVM. Revision de Operaciones y Controles Operativos de la Centrifuga Deslodadora. Bucaramanga: Amarista. 2002
- AVM. Ficha Tecnica y Controles Operativos de la Centrifuga Deslodadora 6000L con Prensa Estopa. Bucaramanga: Amarista. 2015
- HIDALGO, ARMANDO. Manual AMEF Analisis de modo y efecto de fallas potenciales . Obtenido de ARMANDO HIDALGO. Manual AMEF Análisis de modo y efecto de fallas potenciales. 12 de Abril de 2019. [En línea][recuperado el 1 febrero 2019] Obtenido de: <https://www.gestiopolis.com/manual-amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-fallas-potenciales/>
- JHON, MAUBRAY. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press. 1997.
- LEFLAR. Practical TPM. Obtenido de The method for success at Agilent Technologies. 2018. Obtenido de: <http://www.tpmonline.com>
- DIAZ, M. Confiabilidad en mantenimiento. Caracas: IESA. 1992
- JAPAN INSTITUTE OF PLANT MAINTENANCETPM for Every Operador. Obtenido de Shop floor Series. 2018. Recuperado de: <http://www.tpmonline.com>
- MORA. Norma SAE JA1011. Medellin: Coldi Limitada. 2003
- MOUNBRAY. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM 2. Reino unido: Aladon Ltd. 2004
- MURILLO, ROCHA. Plan de Implantacion General del RCM. 2018. Obtenido de <http://www.mantenimientomundial.com>
- ORGE, MEDINA. Confiabilidad RCM. Obtenido de Blog especializado en la confiabilidad operativa y su implementación. 2019. Obtenido de: <https://confiabilidadrcm.wordpress.com/2016/08/21/paso-2-fallos-funcionales/>

- Pelaez, C. M. Buenas Practicas de procesamiento en plantas de beneficio. Fedepalma, 10. 2010
- PUENTE, G. Introduccion al mantenimiento productivo total. Obtenido de Introduccion al mantenimiento productivo total. 2018. Obtenido de: <http://www.tpmonline.com>
- RCM3. Especificaciones y funciones. Obtenido de Especificaciones y funciones. 2019. Obtenido de: <http://rcm3.org/especificaciones-y-funciones>
- SOTUYO. Optimizacion integral de Mantenimiento. Obtenido de Revista Club de Mantenimiento. 2018. Obtenido de: <http://www.mantenimientomundial.com>