

MODELO DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA EL SISTEMA DE
CALEFACCIÓN DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE LA PLANTA
ASFALTO DE CONSOL - TRAMO SUR.

MANUEL JULIAN BARRERA AMOROCHO

RONALD LEANDRO MENA GALVIS

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

2017

MODELO DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA EL SISTEMA DE
CALEFACCIÓN DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE LA PLANTA
ASFALTO DE CONSOL - TRAMO SUR.

MANUEL JULIAN BARRERA AMOROCHO

RONALD LEANDRO MENA GALVIS

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

Director

CARLOS BORRAS PINILLA

Ph.D. INGENIERÍA MECÁNICA.

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

2017

CONENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO EN CONSOL.....	12
1.1 LA EMPRESA CONSOL.....	12
1.2 PROYECTO RUTA DEL SOL – SECTOR II	12
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	19
1.5 OBJETIVOS.....	21
1.5.1 Objetivo general.....	21
1.5.2 Objetivos específicos	21
2. ANÁLISIS DE LA LITERATURA RECOPIADA.....	22
2.1 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO	22
2.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD	26
2.2.1 ¿Qué logra el RCM?.....	31
2.2.2 Filosofía del RCM.	32
2.2.3 Funciones del RCM	34
2.2.4 Pasos y preguntas básicas del RCM.	35
2.2.5 Herramientas para implementar el RCM.....	38
2.2.6 RBI (Risk Based Inspection)..	40
2.2.7 Árbol Lógico de decisiones del RCM..	42
3. DISEÑO Y PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN	43
3.1 SELECCIÓN DEL EQUIPO	43
3.2 TAXONOMIA DEL SISTEMA.....	44
3.3 PREPARACIÓN DE LA INFORMACIÓN	45
3.4 ANÁLISIS FUNCIONAL, DETERMINACIÓN DE MODOS DE FALLA, DETERMINACIÓN DE EFECTOS DE FALLA Y DETERMINACIÓN DE CONSECUENCIA DE FALLA.	48

3.5 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	57
4. PROYECCIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN	63
4.1 ESTRATEGIAS EMPRESARIALES A IMPLEMENTAR.....	63
4.2 PLANEACIÓN ESTRATÉGICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL RCM / ACCIONES A DESARROLLAR EN LOS COMPONENTES CRÍTICOS	64
4.2.1 Programa de mantenimiento preventivo	65
4.1.2 Programa de mantenimiento predictivo o basado en condición.....	67
4.2.2 Programa de administración de recursos.....	68
4.3 PLANEACIÓN / PRESUPUESTO DE LA IMPLEMENTACIÓN	69
5. CONCLUSIONES.....	77
BIBLIOGRAFÍA	78

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Planta de asfalto de CONSOL – tramo sur.....	13
Figura 2. Proceso productivo planta de asfalto.....	14
Figura 3. Sistema de calefacción de la planta.....	15
Figura 4. Caldera.....	16
Figura 5. Esquema caldera INTRAME DSH-30.....	17
Figura 6. Elementos de control Caldera.....	18
Figura 7. Evolución del mantenimiento.....	25
Figura 8. Tareas de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).....	33
Figura 9. Pasos del RCM.....	36
Figura 10. Tabla matriz RBI.....	41
Figura 11. Árbol de decisión del RCM.....	42
Figura 12. Caldera con accesorios.....	44
Figura 13. Taxonomía del sistema.....	45
Figura 14. Valores de criticidad por elemento.....	60
Figura 15. Diagrama de Gantt para la implementación de la metodología RCM al sistema de calefacción de la planta de asfalto CONSOL – Sur.....	69

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Caracterización partes principales planta de asfalto RM120 / CONSOL tramo sur.....	46
Tabla 2. Análisis funcional y definición de fronteras	48
Tabla 3. Análisis RCM	50
Tabla 4. Matriz de riesgos.....	57
Tabla 5. Identificación de colores para criticidad	58
Tabla 6. Cuantificación de valores críticos.....	58
Tabla 7. Descripción de tareas y frecuencia	61
Tabla 8. Planeación estratégica del RCM.....	65
Tabla 9. Tareas del MP.....	65
Tabla 10. Tareas del mantenimiento basado en condición.....	67

RESUMEN

TÍTULO: MODELO DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA EL SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE LA PLANTA ASFALTO DE CONSOL - TRAMO SUR.¹

AUTOR: Manuel Julián Barrera Amorocho, Ronald Leandro Mena Galvis.²

PALABRAS CLAVES: CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD, MANTENIBILIDAD, CONSOL TRAMO SUR.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:

Uno de los proyectos viales más grandes de Colombia es la RUTA DEL SOL, la cual, es una vía que busca comunicar de manera más rápida el centro y la costa atlántica de nuestro país. El sector 2 comprende 528 Km de doble calzada, entre los municipios de Puerto Salgar, Cundinamarca - San Roque, Cesar, y CONSOL es la empresa que está encargada de su construcción.

Los procesos de construcción son muy variados, pero la finalidad de todos estos procesos es la disposición del asfalto para que los vehículos y sus ocupantes puedan transitar por una vía confortable y llegar a sus destinos en tiempos menores a los acostumbrados.

Para la elaboración de dicho asfalto, la empresa cuenta con una planta altamente eficiente, con la cual se puede procesar diariamente una cantidad de material equivalente a 700 m de asfalto terminado por día; ésta planta debe mantener altos índices de disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad, por tal motivo, es objeto de nuestro estudio.

La planta de asfalto INTRAME RM120 es un conjunto de sistemas que trabajan en sinergia para poder elaborar un producto de calidad y poder cumplir con las especificaciones de nuestro contrato. La taxonomía de la planta nos arroja 8 grandes sistemas, como objeto de nuestro estudio tomaremos el sistema de calefacción del asfalto que fluye a lo largo de la planta, para la cual, tomaremos el plan de mantenimiento actual y realizaremos una optimización por medio de la metodología RCM, con la que podremos establecer un control claro y preciso de las tareas que requiere este sistema, que es fundamental para el normal desarrollo de nuestro proceso, aplicando metodologías como FMEA y RBI, con los cuales cuantificaremos las posibles fallas y nos enfocaremos en evitarlas.

¹ Trabajo de grado.

² Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Carlos Borrás Pinilla, PhD. Ingeniero Mecánico.

SUMMARY

TITLE: MODELO DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA EL SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE LA PLANTA ASFALTO DE CONSOL - TRAMO SUR.³

AUTHOR: Manuel Julián Barrera Amorocho, Ronald Leandro Mena Galvis.⁴

KEYWORDS: RELIABILITY, AVAILABILITY, MAINTAINABILITY, OPTIMIZATION, CONSOL TRAMO SUR.

DESCRIPTION OR CONTENTS:

One of the largest road projects in Colombia is the RUTA DEL SOL, which is a route that seeks to communicate more quickly the center and Atlantic coast of our country. Sector 2 comprises 528 km highway, between the municipalities of Puerto Salgar, Cundinamarca - San Roque, Cesar, and CONSOL is the company that is in charge of its construction.

The construction processes are very varied, but the purpose of all these processes is the layout of the asphalt so that the vehicles and their occupants can transit through a comfortable way and reach their destinations in times less than usual.

For the production of this asphalt, the company has a highly efficient plant, with which it can be processed daily a quantity of material equivalent to 700 m of finished asphalt per day; This plant must maintain high levels of availability, maintainability and reliability, for that reason, is the object of our study.

The INTRAME RM120 asphalt plant is a set of systems that work in synergy to produce a quality product and to meet the specifications of our contract. The taxonomy of the plant throws us 8 large systems, as object of our study we will take the asphalt heating system that flows throughout the plant, for which, we will take the current maintenance plan and perform an optimization by means of the RCM methodology, with which we can establish a clear and precise control of the tasks required by this system, which is fundamental for the normal development of our process, applying methodologies such as FMEA and RBI, with which we will quantify possible failures and focus on Avoid them.

³ Work of degree.

⁴ Faculty of Engineering Physics and Mechanics. Mechanical Engineering School. Specialization in Maintenance Management. Director: Carlos Borrás Pinilla, PhD. Mechanical Engineer.

INTRODUCCIÓN

Colombia, en el presente, está en un auge vial, en el cual, se están desarrollando mega proyectos a lo largo y ancho del país. El gran volumen de vehículos que por años han fluido desde el centro a la costa atlántica del país, se han visto afectados por un sin número de retrasos; accidentes, varados, mantenimientos, etc., pero ahora, con el desarrollo de la concesión vial más grande de Colombia, la Ruta del Sol, tendremos una vía que reducirá en gran medida el tiempo de dicho tramo, facilitando a todos los usuarios la llegada a su destino, esta obra es un gran desarrollo para nuestro país.

El consorcio constructor Ruta del Sol es la consolidación de empresas del sector de la construcción y financiero de origen Brasileiro y Colombiano; Constructora Norberto Odebrecht S.A., Odebrecht Participacoes e Investimentos S.A., Estudios y Proyectos del Sol S.A.S. y CSS Constructores S.A.S., empresas que fueron escogidas para realizar las obras del sector 2, comprendido 528 Km, entre los municipios de Puerto Salgar (Cundinamarca) y San Roque (Cesar). El desarrollo de una mega obra del tipo construcción vial, requiere de un grupo interdisciplinario extenso y variado, partiendo desde los trabajos prediales, sociales, ambientales hasta los trabajos de ingeniería de detalle. Para nuestro caso de estudio, nos enfocaremos en el producto final requerido por el proyecto, el asfalto. Nuestro proyecto (Sector 2 - Sur) cuenta con una planta de asfalto activa, la cual, tiene una capacidad nominal de 120 Ton/h, con una producción promedio de 1000 Ton/día, lo que representa hasta 700 m de vía completa instalada por día. Posterior a estos datos, nos damos cuenta que la responsabilidad de mantener disponible esta planta es fundamental para el normal desarrollo de la obra, por lo que desarrollaremos un plan estratégico de mantenimiento mejorado, basado en la metodología RCM, apuntando a conservar de manera óptima dicha planta enfocándonos en uno de sus sistemas principales para posteriormente implementarlo en la planta completa.

1. SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO EN CONSOL

1.1 LA EMPRESA CONSOL

El consorcio constructor Ruta del Sol – CONSOL, es la empresa contratada por la Concesionaria Ruta del Sol – CRDS, para realizar las labores constructivas del Sector 2 del proyecto vial más grande de Colombia en la actualidad, cuya extensión va desde los municipios de Puerto Salgar (Cundinamarca) hasta San Roque (Cesar). El consorcio está constituido por Odebrecht (Socio mayoritario), Episol y CSS.

Debido a la enorme extensión del proyecto, CONSOL decidió dividir los trabajos en 2 grandes tramos, el sector sur, comprendido entre los municipios de Puerto Salgar (Cundinamarca) y la Lizama (Santander) y el sector norte, comprendido entre los municipios de La Lizama (Santander) y San Roque (Cesar).

1.2 PROYECTO RUTA DEL SOL – SECTOR II

El proyecto Ruta del Sol – Sector II es un corredor vial que comprende 528 Km entre los municipios de Puerto Salgar (Cundinamarca) y San Roque (Cesar), Este tramo hace parte de la Ruta Nacional 45 de la red nacional de vías de Colombia.

El proyecto está diseñado para poder transitar con una velocidad promedio de 100 Km en toda su extensión, por lo que se verá reducida drásticamente, el tiempo de recorrido habitual entre en centro y la costa atlántica del país.

Su recorrido impacta 4 departamentos (Cundinamarca, Boyacá, Santander y Cesar), generando empleo y desarrollo a todos los municipios de la zona de influencia.

Para nuestro caso, evaluaremos la planta de asfalto de CONSOL – tramo Sur, ubicada en la cantera la unión, Km 98+300 RN 4510 – Municipio de Puerto Boyacá, Boyacá.

Figura 1. Planta de asfalto de CONSOL – tramo sur.



1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como primera instancia, debemos analizar el proceso productivo que tiene nuestra planta:

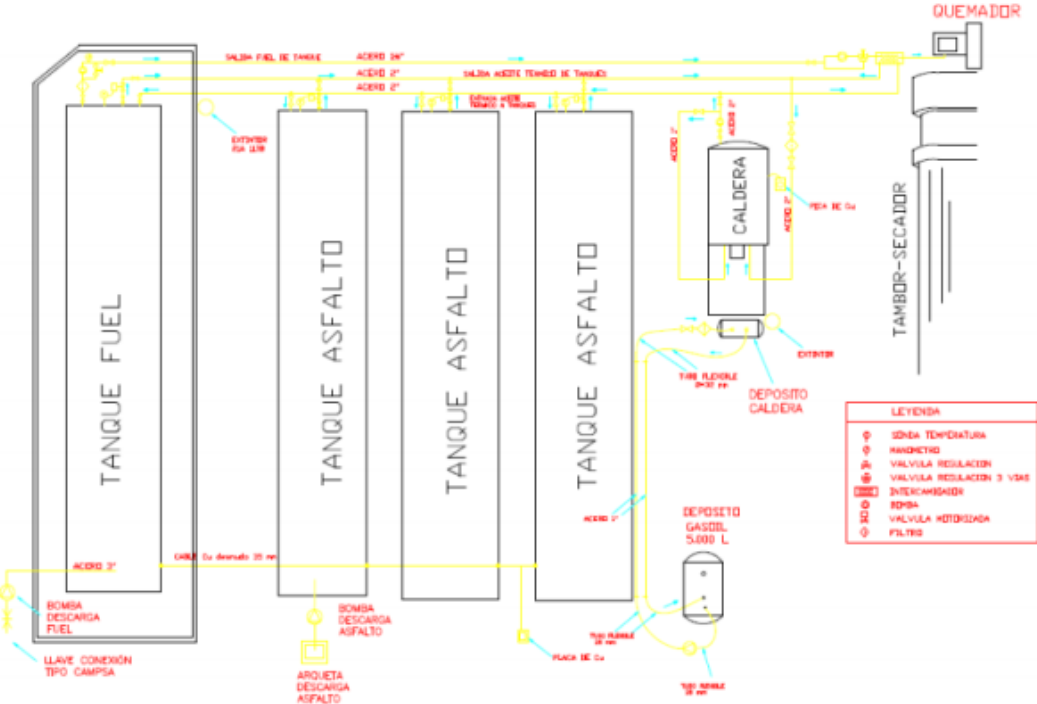
1. Dosificación de los materiales pétreos (gravas) en las tolvas de alimentación.
2. Transporte y deshidratación del material en el secadero (se retiran las partículas más finas (filler) que pasan por un filtro de mangas en donde se dispone del material más fino para ser re-inyectado a la mezcla final y se elimina el agua que contenían las gravas).
3. Transporte del material deshidratado a la criba para su separación.

sus características, no podríamos realizar una mezcla acorde a lo requerido por nuestro cliente, por este motivo, nos enfocaremos en el sistema de calefacción de la planta, el cual, tiene como finalidad principal aumentar la temperatura del fluido almacenado en tanques para que pueda fluir libremente por toda la planta hasta llegar a su destino final, el mezclador.

El sistema de calefacción de los tanques de almacenamiento de la planta de Asfalto de CONSOL – Tramo Sur, está conformado por una caldera y por un sistema de tuberías, válvulas, moto-bombas, sensores y controladores, los cuales realizan el trabajo de mantener una temperatura óptima de 160°C, para que el asfalto baje su viscosidad y fluya libremente por dicha red de tuberías y pueda llegar a dosificarse en el mezclador junto a las gravas y el material llenante o filler, según sea su diseño.

La siguiente imagen nos muestra la conformación del sistema de calefacción de la planta con sus conexiones caldera - tanques.

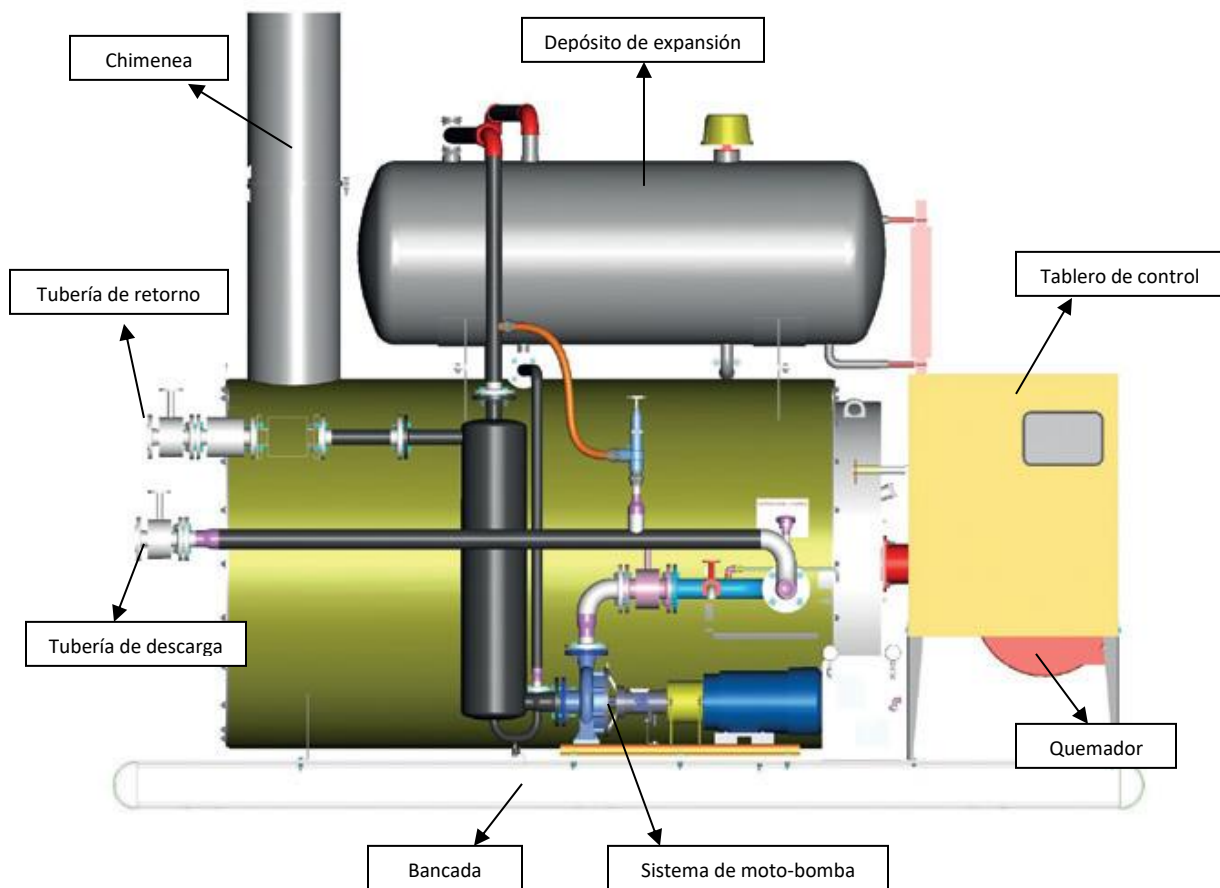
Figura 3. Sistema de calefacción de la planta



La caldera, corazón del sistema de calefacción, está compuesta por:

- Cuerpo, en el cual se encuentra el serpentín doble helicoidal
- Depósito de expansión
- Tablero de control
- Quemador
- Sistema de moto-bomba de la caldera
- Sistema de tuberías de descarga / retorno y accesorios
- Bancada y sistemas de anclaje / transporte.

Figura 4. Caldera

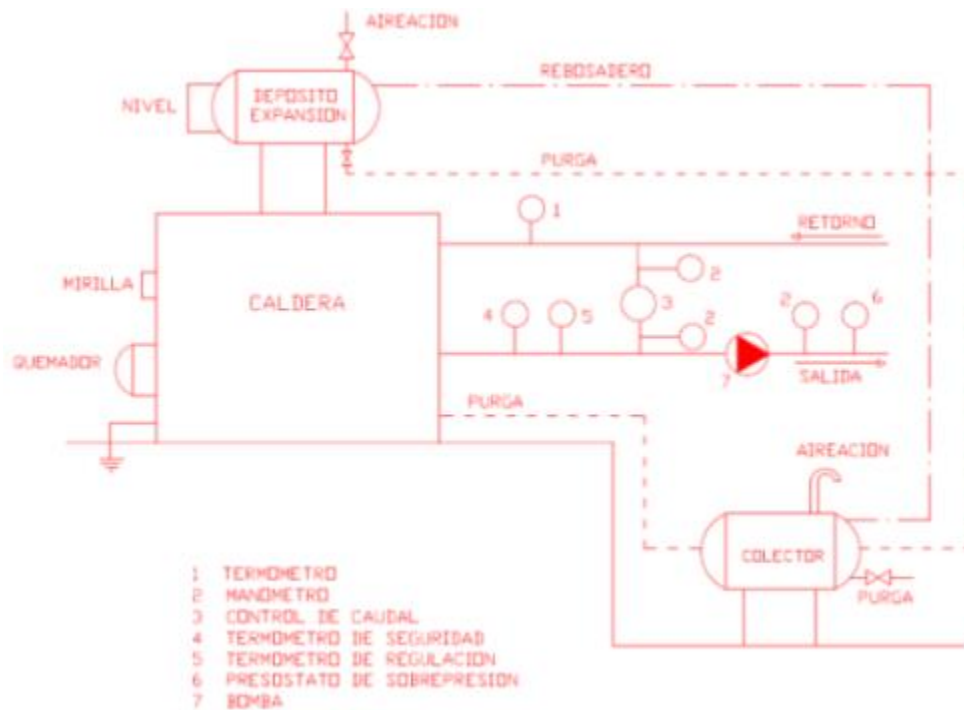


Fuente: INTRAME. <http://www.intrame.com/wp-content/uploads/2015/06/Catalogo-espa%C3%B1ol-Intrame.pdf>

Hay que resaltar que el sistema del quemador de la caldera, posee un sistema independiente de moto – bomba, con el cual inyecta el combustible para ser quemado.

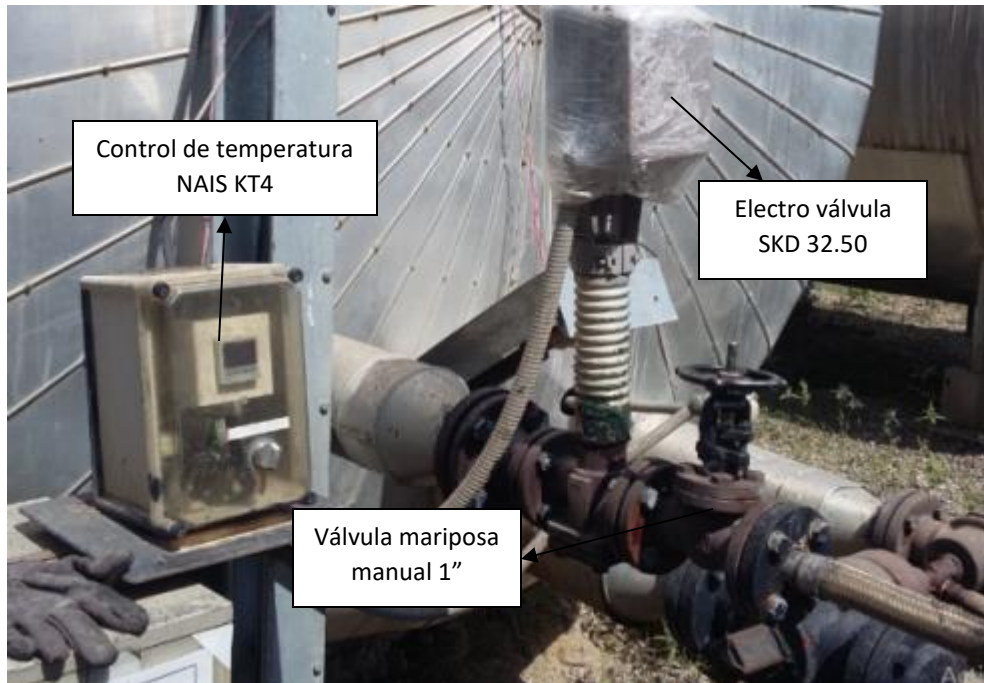
A continuación, tenemos un cuadro esquemático que nos muestra los componentes y accesorios de la caldera INTRAME DSH-30.

Figura 5. Esquema caldera INTRAME DSH-30



Después de tener un conocimiento más amplio de los elementos que componen nuestra caldera, vamos a verificar los elementos de control restantes del sistema.

Figura 6. Elementos de control Caldera



Acá tenemos nuestro sistema de control, el cual está compuesto por:

- Control de temperatura NAIS KT4
- Electro válvula SKD 32.50
- Termocupla PT100

Los cuales, están conectados al PLC de la planta y cuyo funcionamiento se basa en la lectura de la termocupla (dispuesta en un termopozo en cada uno de los tanques de almacenamiento), la cual envía una señal al controlador de temperatura; si la lectura llega al punto programado (165°C), el controlador enviará una señal a la electroválvula para que se active y cierre su compuerta y restrinja por completo el flujo del aceite térmico al serpentín interno del tanque.

El sistema de control es vital para el normal funcionamiento de la planta, ya que si alguno de estos componentes no funciona de manera correcta, podemos seguir

calentando el asfalto hasta la temperatura del aceite térmico (200-210°C), lo cual, generará graves problemas en las características del asfalto.

Revisando el sistema completo, las fallas que se pueden presentar son diversas; fugas por sellos mecánicos en las bombas centrifugas, sobrecarga de los motores de las bombas por alta viscosidad del asfalto, falla en las lecturas de las termocuplas de los tanques, perdida de presión en el sistema de flujo de aceite térmico, falla en el sistema de quemador de la caldera, falla en los controles de dosificación de combustible de la caldera, falla en los sensores de flama de la caldera, falla en los controles multi-etapa del quemador, entre otros.

En los últimos 18 meses de operación de la planta, se han tenido múltiples fallas en los diversos sistemas de la caldera, lo que ha ocasionado paradas de planta importantes y receso en la producción de asfalto, por consiguiente, anormalidad en la continuidad de la obra, incurriendo tanto en importantes pérdidas económicas como en el incumplimiento con el cliente, ANI (Agencia Nacional de Infraestructura), por lo cual, mejoraremos el actual plan de mantenimiento preventivo, enfocados en la metodología RCM.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Durante las últimas décadas, nuestro país ha tenido un auge en las implementaciones de sistemas de transporte más eficientes y versátiles, esto debido al gran flujo de materias primas que se requieren en distintos puntos de nuestro territorio. Las autopistas son y serán el medio más utilizado para nuestra movilidad y para el crecimiento del país, con lo que los materiales para su fabricación se hacen tan indispensables en la industria de la construcción. El concreto asfáltico es la materia primordial para generar dichas obras, con lo que su fabricación se hace vital para el normal desarrollo de una obra. En este trabajo,

queremos hacer énfasis en la importancia que debemos tener en la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de una planta de producción de asfalto, en este caso, nos enfocaremos en el proyecto vial más importante que tenemos en nuestro país, la **Ruta del Sol – sector 2; CONSOL**, quien es el consorcio encargado de la construcción de sus 528 Km. busca generar un corredor vial que minimice el tiempo de recorrido desde Puerto Salgar (Cundinamarca) hasta San Roque (Cesar). El consorcio cuenta con una planta de asfalto INTRAME RM120, la cual se encuentra ubicada en el municipio de Puerto Boyacá.

La baja disponibilidad de la planta de asfalto de CONSOL – Tramo Sur, genera un impacto económico muy elevado, sabiendo que en un día normal, se pueden llegar a producir hasta 1400 Ton de asfalto, con una flota de 36 volquetas y más de 50 personas trabajando en su aplicación directa sobre la vía. Teniendo en cuenta las estrategias actuales de mantenimiento preventivo y control de activos para éste subsistema, requerimos de una metodología como RCM para mejorar la productividad / disponibilidad de nuestra planta; la identificación de los componentes críticos por medio de análisis específicos nos ayudarán a mejorar el flujo de activos y de mantenimientos para alargar los tiempos entre fallas.

El presente trabajo pretende establecer un modelo de mantenimiento que apunte a fortalecer las técnicas aplicadas actualmente en la empresa, para mejorar de manera adecuada el mantenimiento preventivo a través de la metodología del RCM, donde se identifiquen cuáles son los activos que presentan mayores implicaciones en una falla, a cuales elementos se les puede aplicar mantenimientos predictivos y cómo gestionar los diferentes repuestos que sean necesarios para garantizar una alta disponibilidad de la planta.

Se pretende crear un nuevo papel para los gerentes, donde los resultados sean obtenidos por medio de la confiabilidad operacional, estos resultados no solo van

en términos de productividad y rentabilidad mejorada, sino también en términos de motivación, actitudes, seguridad y entendimiento, alcanzando una eficiencia empresarial gracias a las buenas prácticas del mantenimiento.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general.

Desarrollar un modelo de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) para el sistema de calefacción de los tanques de almacenamiento de la planta de asfalto de CONSOL – Tramo Sur.

1.5.2 Objetivos específicos

- Identificar los elementos y definir las funciones de los componentes del sistema de calefacción de los tanques de la planta de asfalto.
- Realizar un análisis de criticidad para identificar los elementos cuya disponibilidad es de vital importancia para el proceso productivo.
- Establecer un modelo gerencial de Mantenimiento, que asegure la confiabilidad operacional de la planta de asfalto CONSOL-tramo sur. Elaborar las directrices, estrategias y tácticas gerenciales para elevar la competitividad, disponibilidad y mantenibilidad de la planta.

2. ANÁLISIS DE LA LITERATURA RECOPIADA

2.1 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

“El concepto de mantenimiento se originó desde el mismo momento en que la sociedad cambió la producción artesanal de bienes por uno a nivel industrial (Revolución industrial), gracias a James Watt con la invención de la máquina de vapor, con la cual era posible sustituir la mano de obra del artesano, este cambio originó que un nuevo grupo social surgiera, este nuevo grupo llamado proletariado era el encargado de operar y mantener las máquinas; a partir de este momento se originó la primera etapa del mantenimiento; durante esta etapa la orientación de operación y mantenimiento era hacia el producto, buscando siempre generar más bienes de consumo, pero esto implicaba que a su vez la tasa de acciones correctivas era elevada, algunos autores sitúan esta primera etapa hasta la década de 1950” (Mora Gutiérrez, 2014).

Durante los pasados 20 años, el mantenimiento cambió, quizás mucho más que cualquier otra disciplina de gerenciamiento. El cambio se debe a un enorme incremento en el número y variedad de bienes físicos (planta, equipos y edificios) que deben ser mantenidos alrededor del mundo, diseños muchos más complejos, nuevas técnicas de mantenimiento y la cambiante ideología con respecto a la organización y nuevas responsabilidades implícitas al mantenimiento.

Estos cambios están poniendo al máximo las actitudes y capacidades en todas las ramas de la industria. El personal se ve obligado a adoptar un nuevo modo de pensar y actuar, tanto ingenieros como gerentes. Al mismo tiempo las limitaciones de los sistemas de mantenimiento se están haciendo más evidentes, no importa cuán computarizados estén.

Esta visión del mantenimiento representa un avance significativo de lo que debe ser el objetivo del mantenimiento; John Moubray, en su libro “Mantenimiento centrado en confiabilidad”, distingue un camino de tres generaciones de mantenimiento al observar cuales eran las prácticas utilizadas en cada época.⁵

Primera generación. Cubre el periodo hasta la segunda guerra mundial. En esa época la industria no era altamente mecanizada, de modo que los tiempos de inactividad no tenían demasiada importancia. Esto significa que la prevención de fallas en equipos no era una prioridad en la mente de la mayoría de los gerentes. Al mismo tiempo la mayoría de los equipos eran muy bien diseñados, esto los hacía confiables y fáciles de reparar. Como consecuencia, no había necesidad de mantenimiento sistemático de ningún tipo, más allá que la limpieza, control y lubricación de rutina. La necesidad de habilidades específicas era inclusive menor de lo que es ahora. Al ser mantenimientos netamente correctivos sus costos son elevados puesto que se generaban una cadena de fallas en la máquina y llegaban a necesitar un cambio total de un sistema por culpa de la falla, la cantidad de stock de herramientas y repuestos era muy elevado.

Segunda generación. Durante la segunda guerra mundial, se vio disminuida la fuerza laboral, por lo que se aumentó abruptamente la mecanización. Ya durante los años 50's había aumentado la cantidad y complejidad de todo tipo de máquinas y la industria cada día dependía más de ellas.

Al depender tan directamente la producción de las máquinas, se empezó a prestar importancia en los tiempos que las máquinas no trabajaban, lo que llevó a la idea que se debía actuar previamente ante las fallas, dando lugar al concepto del mantenimiento preventivo, en los cuales se realizaban cambios de piezas que fallaban con mayor frecuencia o que su vida útil era menor y afectaban la

⁵ Moubray, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. México: Aladon, 2004. P.6

máquina, de esta manera se aumentó la disponibilidad de las máquinas; para poder evitar las fallas e imprevistos, las empresas invertían gran cantidad de capital y recursos en mantener un stock de repuestos y herramientas, con todos los elementos que comprendían las máquinas, conformaban un taller de reparaciones con tornos y fresas en los cuales podían fabricar los repuestos necesarios para poder realizar los mantenimientos. La edad de un dispositivo y la probabilidad de falla estaban estrechamente relacionadas.

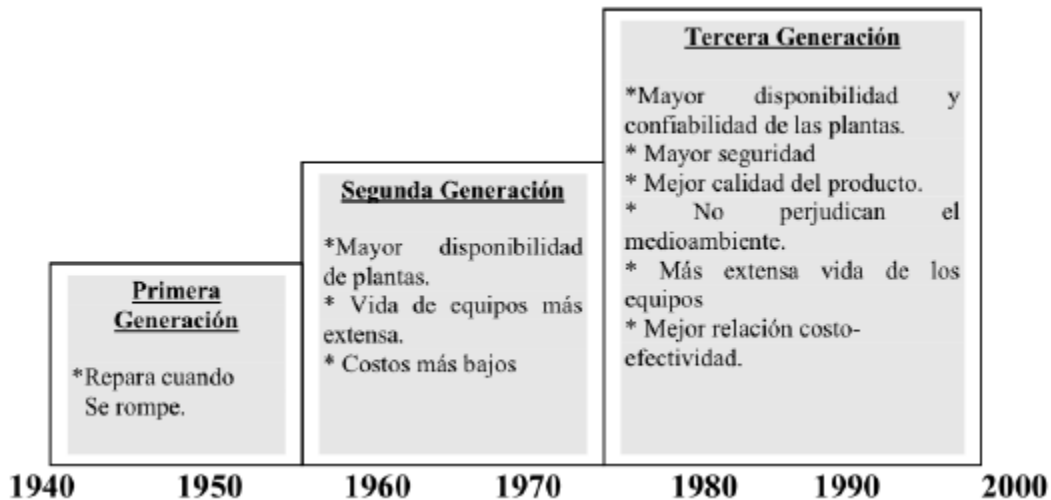
Este tipo de acciones llevaron a incrementar excesivamente los costos de mantenimiento dando lugar al desarrollo de los sistemas de planeación y control que ayudaron a controlarlo y han sido establecidos como una parte del mismo. Finalmente, la cantidad de capital invertido en bienes físicos y los costos crecientes, llevo a que los propietarios buscaran el modo de maximizar la vida de esos bienes.

Tercera generación. En esta generación las empresas venían buscando la manera de equilibrar costos, disponibilidad y mantenimiento de manera en que sea rentable para las empresas; se volvió más prioritario los impactos a la producción por tiempos de parada de las máquinas, agravados por la tendencia mundial a sistemas de producción “Just in time”, en donde una pequeña falla de cualquier equipo probablemente podría causar la parada de toda la planta. Las expectativas del usuario subieron y el mantenimiento debió evolucionar para cumplirlas⁶. De esta manera, gracias a la innovación tecnológica, los sistemas de información, el uso de información y conocimientos multidisciplinarios, herramientas de predicción y monitoreo continuo de equipos, al igual que metodologías como KAISEN, JIT, entre otras, han generado técnicas de mantenimiento como los TPM (Mantenimiento Total Productivo), mantenimiento basado en la condición y RCM (Reliability Centred Maintenance), las cuales han demostrado que dependiendo del enfoque y sector productivo de la organización,

⁶ Moubray, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. México: Aladon, 2004. P7

una u otra es más eficaz y aumenta de gran medida la disponibilidad y confiabilidad de las máquinas.

Figura 7. Evolución del mantenimiento



Fuente: Moubray, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. p7

Nuevas expectativas del mantenimiento. La preocupación por la seguridad y el medio ambiente es otro de los temas que desde hace algunos años tomó fuerza, inclusive por encima de la producción, algunas compañías literalmente deben adecuarse a las expectativas de seguridad y cuidado ambiental o dejar de operar. Aquí es cuando la dependencia a la integridad de los activos (que puedan causar algún impacto) cobra una nueva magnitud que va más allá del costo y que se torna en un ítem de supervivencia de la organización. En muy poco tiempo el mantenimiento pasó de no tener importancia a estar en la más alta prioridad de las organizaciones. Esto llevó a desarrollar nuevas investigaciones que cambiaron muchas de las creencias más profundas en torno al mantenimiento. En particular la generalizada teoría que ligaba la edad de un activo con la probabilidad de falla del mismo, cada día parece tener menos validez, de hecho se han revelado seis patrones de falla distintos; lo que muestra que muchas de las tareas tradicionalmente venían haciéndose en nombre del mantenimiento preventivo no

logren ningún resultado, de hecho pueden llegar a ser contraproducentes aunque se hagan de forma planeada⁷.

2.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

RCM o *Reliability Centred Maintenance*, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una planta industrial y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde los altos costos derivados de la sustitución sistemática de piezas amenazaban la rentabilidad de las compañías aéreas. Posteriormente fue trasladada al campo industrial, después de comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico.

Fue documentado por primera vez en un reporte escrito por *F.S. Nowlan* y *H.F. Heapy*, publicado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América en 1978. Desde entonces, el RCM ha sido usado para ayudar a formular estrategias de gestión de activos físicos en prácticamente todas las áreas de la actividad humana organizada, y en prácticamente todos los países industrializados del mundo. Este proceso definido por *Nowlan* y *Heap*, ha servido de base para varios documentos de aplicación en los cuales el proceso RCM ha sido desarrollado y refinado en los años siguientes. Muchos de estos documentos conservan los elementos clave del proceso original. Sin embargo el uso extendido del nombre “RCM” ha llevado al surgimiento de un gran número de metodologías de análisis de fallos que difieren significativamente del original, pero que sus autores también llaman “RCM”. Muchos de estos otros procesos fallan en alcanzar los objetivos de *Nowlan* y *Heap*, y algunos son incluso contraproducentes. En

⁷ Moubray, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. México: Aladon, 2004. p8

general tratan de abreviar y resumir el proceso, lo que lleva en algunos casos a desnaturalizarlo completamente.

Como resultado de la demanda internacional por una norma que establezca unos criterios mínimos para que un proceso de análisis de fallos pueda ser llamado "RCM" surgió en 1999 la norma *SAE JA 1011* y en el año 2002 la norma *SAE JA 1012*. No intentan ser un manual ni una guía de procedimientos, sino que simplemente establecen, como se ha dicho, unos criterios que debe satisfacer una metodología para que pueda llamarse RCM.

Nacido a finales de los años 60, RCM plantea la necesidad de eliminar todas las averías de consecuencias no tolerables que puedan originarse potencialmente en una instalación. Busca analizar todos los fallos potenciales que puedan originarse en la instalación analizada, estudiar sus consecuencias y determinar qué debe hacerse para que no se produzcan aquellas fallas intolerables; en última instancia, también ayuda a determinar qué debe hacerse para minimizar las consecuencias de los fallos que no se pueden o no se han podido evitar.

Por supuesto, RCM es una técnica para elaborar un plan de mantenimiento. Pero en realidad, el plan de mantenimiento no es más que uno de los productos del profundo análisis que debe efectuarse en la instalación. Además del plan de mantenimiento, se obtienen otra serie de conclusiones:

1. Las modificaciones que es necesario llevar a cabo en la instalación, asumiendo que un buen mantenimiento no soluciona un mal diseño, y por tanto, si la causa raíz de un posible fallo reside en el diseño es esto lo que hay que cambiar.
2. Una serie de procedimientos de operación y mantenimiento que evitan que se produzcan los fallos analizados.

3. Una serie de medidas a adoptar para que en caso de fallo, las consecuencias se minimicen.
4. Una lista del repuesto que es necesario mantener en stock en la instalación, no para evitar el fallo, sino para minimizar el tiempo de parada de ésta y por tanto para minimizar las consecuencias.

El objetivo fundamental de la implantación de un Mantenimiento Centrado en Fiabilidad o RCM en una planta industrial es aumentar la fiabilidad de la instalación, es decir, disminuir el tiempo de parada de planta por averías imprevistas que impidan cumplir con los planes de producción. Los objetivos secundarios pero igualmente importantes son aumentar la disponibilidad, es decir, la proporción del tiempo que la planta está en disposición de producir, y disminuir al mismo tiempo los costes de mantenimiento.

Aguirre y Bravo⁸, desarrollaron un plan de mantenimiento basado en RCM para la planta de asfalto de la empresa CONALVÍAS, ubicada en el Plato, Magdalena, esta iniciativa nace como respuesta a la gran responsabilidad que acarreaban las fallas en la planta y que generaban paradas en la producción de la vía, generando enormes pérdidas económicas y retrasando los planeamientos realizados. Como aporte de los autores hacia RCM, indican: “Es una metodología que nos ayuda a dar mayor confiabilidad a los equipos, tener un amplio conocimiento de las funciones y capacidades, así mismo ser conscientes hasta qué punto las fallas afectan la seguridad y el medio ambiente, busca que cada persona que se involucre en el equipo, se obligue a adoptar maneras de pensar completamente nuevas, ayudando al buen funcionamiento y cuidado del mismo”.

⁸ AGUIRRE RODRIGUEZ, Ángela y BRAVO ZUÑIGA, David Antonio. Diseño y propuesta para la implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para la planta de asfalto de CONALVÍAS equipos ubicada en la regional del Plato, Magdalena. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingeniería Físico-mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica, 2015. 97p. (Recuperado en 22 de Julio de 2016). Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2015/160136.pdf>

El RCM es una técnica desarrollada como una metodología de gran trabajo cuando se desea una alta disponibilidad y confiabilidad de los equipos, buscando siempre la disminución de las actividades reactivas de mantenimiento, entre tanto aumentar las actividades de monitoreo y actividades preventivas, incluyendo o eliminando tareas que no le aporten valor al mantenimiento, de igual manera el RCM busca un aumento en la seguridad no solo de la máquina, sino también del personal operativo, puesto que si una máquina es confiable y segura el trabajador puede realizar sus tareas con la mejor disposición, de igual manera el RCM busca mejorar la calidad de los productos y el cuidado del medio ambiente, pero siempre buscando el mayor costo efectivo posible sin sacrificar ninguno de los aspectos anteriormente mencionados.

El RCM sirve para conformar la estructura de un plan maestro de mantenimiento, estableciendo la continuidad sobre los puntos más importantes del activo en cuestión tratado bajo esta técnica. En este plan maestro debe colocarse la tarea proactiva a realizar, como debe realizarla, la frecuencia con la que debe ser realizada, si se quiere ser más estrictos se busca determinar que herramientas necesita, el tiempo mínimo o máximo por tarea, el costo de los repuestos y mano de obra; cuando un equipo esta fuera de parámetros operacionales óptimos que debe hacerse y como debe hacerse, todas estas tareas buscan evitar los excesos de mantenimientos proactivos, puesto que muchas piezas pueden ser usadas por periodos más largos de tiempo de los que establece el fabricante si se realiza el correcto seguimiento y se dan las bases para poder llevar un RCM de acuerdo a las necesidades de los stakeholders.

No es una actividad desarrollada solo por la gerencia o por un coordinador de mantenimiento, el RCM es una actividad conjunta en la que se implica al personal operativo el cual conoce su máquina, sabe lo que le duele o cuando no está trabajando de la manera correcta, puesto que en todo momento están en presencia de la misma, también se implica al personal de mantenimiento el cual

por la experiencia o por el conocimiento, puede establecer las causas de algunas de las fallas, de igual manera el personal administrativo como ingenieros y jefes de área tienen que hacer parte de la creación de un plan maestro de mantenimiento bajo la técnica de RCM, puesto que al final de las tareas son ellos los que deciden cuando se pueden o no hacer algunas de las actividades debido a temas administrativos, logísticos, económicos o en algunos casos el conocimiento de los mismos; esta técnica se debe desarrollar de una manera interdisciplinaria, puesto que cada grupo tiene puntos de vistas distintos, un ejemplo de esto es el personal de mantenimiento y administrativo, mientras unos quieren hacer mantenimiento a todo momento para que la máquina no falle, los otros en cambio no quieren hacer ningún tipo de mantenimiento para que no afecte la parte económica y se pueda maximizar las ganancias.

Para poder generar los beneficios que trae esta técnica, se debe realizar una revisión sistemática de las funciones de la máquina, para esto se debe determinar las funciones primarias y las funciones secundarias como lo dicen las normas JA1011 y JA1012, la primera norma hace referencia de la determinación de sistemas y subsistemas, al igual que el nivel jerárquico en el que se encuentran los distintos componentes del equipo; la segunda norma es la búsqueda de cobijar el RCM bajo una norma determinando funciones primarias y secundarias de un equipo, evitando realizar demasiada causa raíz gasta minucias que no aportan valor al programa de mantenimiento y solo entorpecen la labor.

Para lograr el aumento de disponibilidad de los quipos el RCM plantea una serie de preguntas con las cuales se evaluará las condiciones operacionales óptimas de trabajo, que se considera falla o pérdida de función, cuando un equipo está dentro del margen de trabajo adecuado y su afectación puede presentar no solo a las personas, sino también al medio ambiente y seguridad industrial, de esta manera se establece un plan maestro de mantenimiento generando rutinas específicas con

las cuales se busca tener una mayor disponibilidad de los equipos y poderse anteponer a la falla de los elementos críticos de cada equipo o sistema.

2.2.1 ¿Qué logra el RCM? Al finalizar el RCM nos debe ofrecer una mayor seguridad al proceso como también en temas de seguridad en el trabajo e impactos ambientales, siendo estos unos elementos claves en el mantenimiento hoy en día, tratando siempre de no generar un fuerte impacto con las huellas de carbono que se pueden producir desde el área de mantenimiento asegurando así la conservación del planeta; además esta técnica debe aumentar la calidad en la producción, puesto que el área de mantenimiento debe verse como un generador de valor y no de costos como habitualmente es considerado en las empresas.

Con el RCM debemos medir el desempeño del mantenimiento, elegir solo aquellas actividades efectivas y centrar los esfuerzos en aquellas tareas que agregan valor al proceso, evitando que todo termine siendo urgente o crítico siendo así más efectivos en el mantenimiento. Al realizar un mantenimiento debe evaluarse su costo y eficiencia, el RCM es una herramienta que al establecer prioridades ayuda a bajar los costos y aumentar la producción, pero no debe pecarse en no costear el área de mantenimiento, puesto que a modo de ejemplo un generador en un complejo petrolero por un periodo de 2 años fue el más costo-eficiente posible por no gastar en mantenimientos. Dejar pasar por largos periodos los mantenimientos proactivos y no realizar las rutinas de inspección necesarias por recortar costos, pero al cabo de esos dos años fue la máquina que más le costó a la empresa, porque en ese momento estaba cobrando todas las actividades que no se realizaron durante los dos años anteriores y puede llegar a ser tanto el daño recibido por esa máquina que el costo total de ponerla a punto puede ser superior a los dividendos dejados en años anteriores. Debido al desgaste de manera excesiva de los elementos más costosos, como lo puede llegar a ser un cigüeñal, el bloque, la culata, los pistones o el generador, como el RCM se evita que estos elementos críticos ya sea por su impacto operacional o su costo, se vean

afectados y se les pueda sacar el mayor provecho posible que es el fin por el que un bien de capital es adquirido.

Después de haber realizado e implementado la técnica de RCM, siempre quedan unas herramientas que posiblemente no se estaban buscando, un claro ejemplo de esto es que al comenzar y terminar de aplicar esta técnica es posible generar una base de datos global de la planta, de un grupo de máquinas o componentes, de los cuales posiblemente solo se tenía una idea general pero no objetiva y completa con los cuales diagnosticar de manera más eficiente una falla, poder reparar o generar una solución con la cual se pueda sortear la falla de manera costo-efectiva.

Otro regalo que deja la aplicación del RCM es el aumento en la motivación del personal de operación y mantenimiento, debido a que los costos podrán realizar sus tareas de manera más eficiente, confiable y segura, mientras que el equipo de mantenimiento se dedicará a realizar más tareas proactivas, aumentan su conocimiento en la máquina y el proceso y sus diagnósticos serán más certeros y oportunos, de esta manera también se rompe esa brecha que siempre ha existido entre operación y mantenimiento, puesto que ambas partes entienden la necesidad de trabajar en equipo de manera multidisciplinaria.

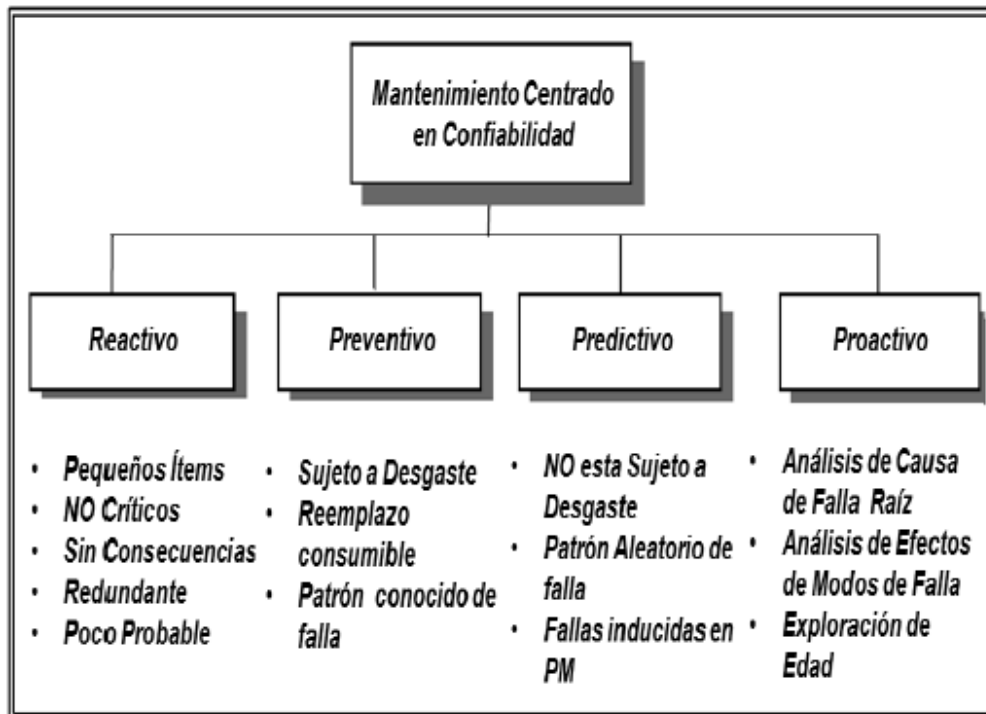
2.2.2 Filosofía del RCM. El mantenimiento centrado en confiabilidad es una filosofía de gestión de mantenimiento que sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes de un contexto operacional. Se fundamenta en:

- Evaluación de los componentes de los equipos, su estado y su función.
- Identificación de los componentes críticos.
- Aplicación de las técnicas de mantenimiento proactivo y predictivo

- Chequeo en sitio y en operación del estado corpóreo y funcional de los elementos mediante permanente revisión y análisis.

Esta no es una fórmula matemática y su éxito se apoya principalmente en el análisis funcional de las fallas de un determinado contexto operacional, realizado por un equipo de trabajo multidisciplinario, el cual desarrolla un sistema de gestión de mantenimiento flexible que se adapta a las necesidades reales de mantenimiento de la organización, tomando en cuenta la seguridad personal, el ambiente, las operaciones y la razón costo-beneficio.

Figura 8. Tareas de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)



2.2.3 Funciones del RCM. El RCM provee un modo totalmente nuevo de definir los objetivos de mantenimiento de cualquier equipo y asegurarse de que este conserve un estado en el cual siga cumpliendo sus funciones siendo un método enfocado al requerimiento del usuario. Para definir los requerimientos del usuario se debe tener claro la importancia y funciones de cada equipo y además del seguimiento y avance de cada uno.

Por eso una de las preguntas esenciales para iniciar con el proceso del RCM es:

¿Cuáles son las funciones y los estándares de desempeño del equipo en su contexto operativo actual?

A partir de esta pregunta podemos obtener como se define el desempeño, las principales funciones de desempeño, las diversas categorías de las funciones y como se debe organizar. Se debe realizar una descripción detallada de cada una de las funciones, estas deben ser claras, entendibles y de fácil comprensión.

EL mantenimiento tiene como objetivo el cumplimiento de las funciones de cada equipo, y el grado en que se espera que un equipo dé resultados, esto puede ser definido como un criterio mínimo de desempeño; es decir, en el momento que un equipo sufra deterioro por el uso diario, a poner en marcha el bien presentado, debe ser capaz de mostrar un nivel de rendimiento mínimo esperado.

De esta forma se puede detectar que el desempeño de cada equipo está dividido de dos maneras:

- Desempeño deseado
- Y el alcance que realmente se obtendrá con el equipo

Para asegurar el desempeño mínimo deseado se debe asegurar que el equipo mantenga su capacidad inicial de rendimiento o de lo contrario restaurándolo para alcanzar la capacidad inicial. Para considerar la reparación, se debe tener en cuenta:

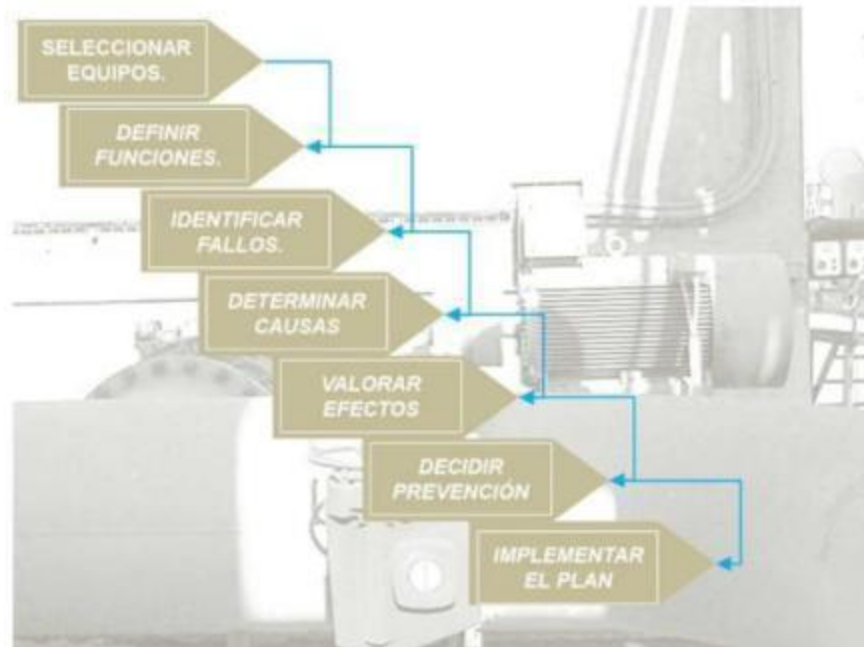
- La capacidad inicial del equipo que está establecida por el diseño, material y la fabricación inicial.
- El mantenimiento solo restaurará el equipo, recuperando la capacidad inicial pero no la superará.

Si un equipo no logra alcanzar el desempeño esperado, el mantenimiento destinado para el equipo no logrará el cumplimiento de las expectativas, con esto se hace referencia a un equipo no favorable. Por lo cual se hace necesario establecer unos criterios con límites de desempeño esperado y límites de capacidad que ayuden al control y mantener un margen de deterioro del equipo desde el punto de vista del mantenimiento.

2.2.4 Pasos y preguntas básicas del RCM. Los pasos a seguir para su implementación serían:

- Identificación del elemento a analizar
- Determinación de las funciones del elemento
- Determinación de lo que constituirá un fallo de esas funciones
- Identificación de las causas de esos fallos funcionales
- Identificación de los efectos de esos fallos
- Utilización de la lógica RCM para seleccionar la estrategia adecuada
- Documentación del programa de mantenimiento y depuración del mismo conforme se adquiere experiencia en la operación del elemento.

Figura 9. Pasos del RCM



Fuente: PORTAL DE INGENIERIA Y GESTION DE MANTENIMIENTO.
<http://www.ingenieriamantenimiento.org/analisis-de-fallos/rcm-mantenimiento>

El RCM basa su finalidad en el proceso de poder resolver siete (7) preguntas, las cuales son básicas para poder determinar las actividades necesarias de mantenimiento, de igual manera las frecuencias y el impacto que puede tener el realizarla o no sobre la máquina. Estas preguntas son:

1. ¿Cuáles son las funciones y estándares de ejecución asociados con el activo, en su actual contexto operacional?

Se busca determinar qué función cumple la máquina, el sistema, subsistema o componente, cual es el punto óptimo de trabajo y en cual punto se considera que se encuentra fuera de rango o tiene pérdida de funcionalidad, se establecen los estándares con los cuales debe funcionar cada equipo, sistema o componente.

2. ¿En qué forma falla el equipo, con respecto a la función que cumple en el contexto operacional?

Se busca que el grupo de mantenimiento y producción establezcan en qué momento un equipo no está cumpliendo con la tarea para la cual fue diseñado o por la que fue adquirido, se establece cuáles son las cualidades de funcionamiento óptimo y en cuales se sale de este rango.

3. ¿Qué causa la falla funcional?

Se busca la razón por la cual el equipo no está cumpliendo de forma adecuada o total con su tarea respectiva, se determina que puede hacer que el equipo salga de su rango operacional y cuál es el orden de acontecimientos que generan la falla.

4. ¿Qué sucede cuando falla?

Se establece como falla el equipo, que indicadores muestra al fallar, se determina si afecta la operación global o solo parcial en un sistema de producción.

5. ¿Qué ocurre si falla?

Al momento de fallar el equipo, se busca mirar cómo afecta aquellos que están conectados o que dependen de este, si es un equipo en una producción en serie o paralelo, si se tiene un equipo en back up en caso de, si puede ser reemplazado con otro o no y su impacto económico.

6. ¿Qué puede hacerse para evitar la falla?

Como se puede prevenir la falla, que actividades del área de mantenimiento pueden realizarse antes de que la falla ocurra, que cambios o mejoras contribuyen o eliminan la aparición de la falla, todas las posibilidades que se puedan dar para evitar una falla.

7. ¿Qué puede hacerse si no se conoce una tarea para evitar la falla?

En caso de no existir una tarea preventiva mínima para evitar una falla se debe mirar que otras opciones pueden resultar en la solución del problema, si una falla no se es contemplada o no existe una forma fácil de solucionar se puede intentar realizar mejoras al equipo, un rediseño o cambio de un sistema siempre mirando el costo beneficio que este traiga.

2.2.5 Herramientas para implementar el RCM. Como toda actividad que se implemente o se desarrolle, esta debe tener unas herramientas o ayudas las cuales permitan dar una mayor agilidad a la solución de un problema, entre estas encontramos:

- FMEA (Failure Mode and Effect Analysis = Análisis de modos y efectos de falla)
- RCA (Root Cause Analysis = Análisis de causa raíz)
- Por qué Por qué
- CBM

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

Esta herramienta es un grupo sistematizado de actividades que buscan reconocer y evaluar fallas potenciales y sus efectos en un producto, máquina o proceso, de igual manera busca identificar las actividades proactivas que reduzcan o eliminen las probabilidades de falla, todos los análisis se documentan con el ánimo de tener una guía en caso de una guía de mantenimiento o de no saber cuál es la razón por la que el equipo está mostrando ciertos síntomas al perder algún tipo de función.

Modo de falla:

Es la forma en que un proceso o producto puede fallar y de esta manera incumplir con ciertas especificaciones de trabajo, normalmente asociado a un defecto.

Efecto de falla:

Es aquel impacto que tiene el modo de falla sobre el proceso y en ultimas la compañía.

¿Cuándo iniciar un FMEA?

Un FMEA debe ser diseñado en el momento en que la empresa diseña sistemas, productos o procesos nuevos, cuando uno de estos ha de ser cambiado por razones de seguridad industrial, ambiental o de calidad, o si ha ocurrido una falla desconocida y se ha podido dar solución a esta, con el fin de evitar que vuelva a ocurrir y no se sepa la razón del por qué.

Para poder desarrollar un FMEA, se debe primero determinar un grupo multidisciplinario el cual sea integrado no solo por el área de mantenimiento, este debe tener personal del área de operación, del área de diseño, de calidad y de ser necesario personal de compras y terceros especialistas en el producto o proceso, con el fin de poder establecer de manera correcta los modos y efectos de falla de una máquina, puesto que el operador y área de producción son aquellos que en todo momento interactúan con la máquina, por eso son los primeros en sentir que le ocurre a la máquina, luego se encuentra el área de mantenimiento que son aquellos con los conocimientos y técnicas necesarias para poder diagnosticar una falla y dar solución a la misma, otros agentes como lo son diseño, visión y objetivos estratégicos de la empresa, el fin último de la empresa cambia.

Las entradas y salidas de la planta, máquina, sistemas o componente deben ser identificadas con el ánimo de poder ingresar correctamente en la matriz RCM los valores óptimos de trabajo, de esta manera se pueden evaluar las entradas y

características de la función requerida para producir la salida, evaluar la interfaz entre las funciones para verificar que todos los posibles efectos sean analizados sin entrar en minucias que no aportan al propósito del RCM; es común utilizar en la realización de un FMEA unos rangos de severidad para poder determinar en la matriz riesgos cualitativo, en la que se ha de evaluar la probabilidad de ocurrencia de una falla vs la consecuencia de esta misma, de manera que se pueda optimizar las inspecciones y tener en cuenta aquellos equipos que por el nivel de ocurrencia, impacto económico, salud, seguridad y medio ambiente puedan afectar en mayor o menor medida la rigurosidad de los mantenimientos.

Teniendo todos los puntos anteriores formados, podemos empezar a construir nuestro FMEA para desarrollar nuestro plan maestro de mantenimiento bajo la técnica de RCM.

2.2.6 RBI (Risk Based Inspection). El RBI (inspección basada en riesgo), es un proceso de mantenimiento muy comúnmente usado en equipo estacionario como las tuberías, intercambiadores de calor, calderas y recipientes a presión de la industria del aceite y gas, examinando todo el sistema de seguridad, salud y medio ambiente, el riesgo del activo y la ocurrencia de la falla, con el ánimo de ponderar en la matriz de riesgo cualitativo la probabilidad de falla vs las consecuencias para la organización.

Figura 10. Tabla matriz RBI

CONSECUENCIAS				CONSECUENCIA		PROBABILIDAD					
HUMANAS	AMBIENTALES	COSTOS	IMAGEN			IMPOSIBLE	IMPROBABLE	REMOTO	OCASIONAL	MODERADO	FRECUENTE
Mas de un muerto	Efectos irreversibles	>100	Internacional	Catastrófico	5						
Incapacidad permanente	Efectos irreversibles en menos de 2 años	ENTRE 100M - 10M	Nacional	Critico	4						
Incapacidad temporal	Efectos reversibles en menos de 6 meses	ENTRE 10 M- 1M	Regional	Marginal	3						
Lesiones	Efectos pueden ser controlados	ENTRE 1M- .05M	Local	Insignificante	2						
Ninguna	No afecta el medio ambiente	<0.05M	Ninguno	Ninguno	1						
						> 10 Años	< 10 Años	< 5 Años	< 2 Años	< 6 Meses	± 1 Mes
						A	B	C	D	E	F

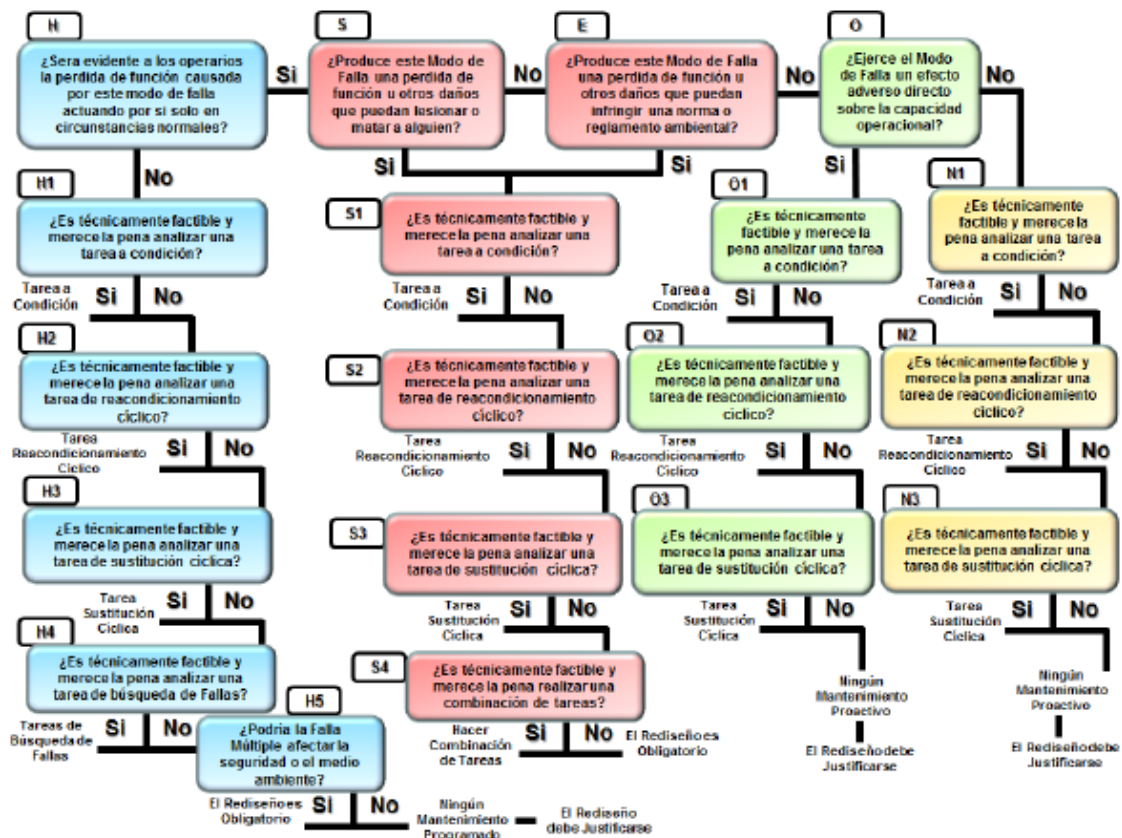
La priorización es importante al momento de realizar RBI, puesto que si todo fuese importante no habría cabida de seleccionar aquellas tareas o inspecciones con las cuales poder determinar si el equipo está trabajando en un mínimo aceptable por la compañía, de esta forma se establecen aquellas tareas que si aportan valor a la organización a la hora de hacer inspecciones o mantenimientos.

El mayor objetivo del RBI es seleccionar aquellos mantenimientos e inspecciones que le generen valor a la organización, pero sin descuidar aquellos aspectos como lo son la seguridad y medio ambiente, este punto lo toma Moubray y lo hace suyo para la realización y ejecución del RCM en su matriz de decisión para cada modo de falla.

2.2.7 Árbol Lógico de decisiones del RCM. Es un diagrama que plantea John Moubray en el que involucra cuatro (4) ítems importantes para la toma de decisiones y selección de tareas, estos ítems son medio ambiente, Humano, Económico y un cuarto que es la imagen de la compañía, bajo estos 4 ítems se puede evaluar que tan fuerte debe ser la rigurosidad con la que se deben efectuar los mantenimientos.

En las empresas de nivel mundial estos cuatro elementos son muy importantes, una demanda por daños al medio ambiente, la muerte de una persona, la destrucción de una máquina vital o el dejar una mala imagen pueden destruir una empresa, por esta razón es necesario tomar medidas para evitar que cualquiera de estos 4 elementos nos afecten.

Figura 11. Árbol de decisión del RCM



Fuente: MOUBRAY, John. Reliability Centered Maintenance RCM II. México: Aladon, 2004. p.8

3. DISEÑO Y PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN

3.1 SELECCIÓN DEL EQUIPO

El objeto de nuestro estudio es la planta de asfalto de CONSOL tramo Sur, la cual está ubicada en el municipio de Puerto Boyacá. La planta de asfalto INTRAME RM120, es una planta modular la cual cuenta con un plan de mantenimiento preventivo básico, como centro de nuestro análisis, nos enfocaremos en el sistema de calefacción del asfalto, el cual consiste en el sistema de caldera, tubería y accesorios.

La problemática que abarcamos es fuerte, ya que nuestra planta genera diariamente entre 1000 – 1250 Ton de material, lo que nos representa un promedio de 700 m de avance de vía completa por día. Al poseer un plan de mantenimiento tan básico, hemos incurrido en muchos mantenimientos correctivos y en el aumento de nuestro stock de materiales, lo que nos ha generado sobre costos y disminución en la disponibilidad de la planta.

En este momento, no contamos con un sistema de información con el cual podamos determinar indicadores precisos, solo contamos con el control de horas que nos arroja el sistema y con el cual controlamos nuestros costos.

El sistema de calefacción de la planta es monitoreado visualmente a diario, ya que la posibilidad de una fuga en el sistema (aceite térmico), sería catastrófico, además, debemos garantizar a todo momento, que el asfalto fluya con una temperatura de entre 155°C – 165°C, si esta temperatura no se mantiene, se verían afectados nuestros sistemas de bombeo, accesorios (fittings) y por supuesto la mezcla final; por tal motivo, seleccionamos este sistema como el más crítico y al que optimizaremos su plan de mantenimiento.

Figura 12. Caldera con accesorios



3.2 TAXONOMIA DEL SISTEMA

Se realizó un estudio detallado de toda la planta para esquematizar sus componentes principales, en este estudio participamos: Operador, Encargado, Ingeniero responsable y Gerente del área de equipos, todo el grupo de trabajo dio su opinión para generar esta división taxonómica llegando a 8 grandes grupos tal y como se muestra en la figura 13.

Cabe resaltar que el esquema muestra las partes más críticas de la planta, cada una de estas posee sub-sistemas que la conforman.

Figura 13. Taxonomía del sistema



3.3 PREPARACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Posterior a la división taxonómica, realizamos una codificación, definición funcional y características principales de los componentes principales de la planta de asfalto. Hacemos el análisis de la planta completa, sabiendo que tenemos que realizar el análisis del sistema de calefacción, el cual está resaltado en el siguiente cuadro.

Tabla 1. Caracterización partes principales planta de asfalto RM120 / CONSOL tramo sur

CARACTERIZACIÓN PARTES PRINCIPALES PLANTA DE ASFALTO RM120 / CONSOL TRAMO SUR					
SISTEMA	SUB-SISTEMA	COMPONENTE	CODIFICACIÓN	FUNCIONES	CARACTERÍSTICAS DEL COMPONENTE
Planta de asfalto RM120	Transporte de material	Tolvas en frío	Tolv	Recibe el material triturado (grava 1/2", 3/4" y arena triturada 3/16")	Conjunto de 4 tolvas, cada una con capacidad de 6m ³ , diseñada con lámina 1/2" anti desgaste para minimizar el daño por abrasión, descarga el material a las bandas extractoras.
		Bandas extractoras	BandExt	Capta el material descargado de la tolva y lo envía a la banda colectora	Banda vulcanizada 3m x 28" x 7/16" - 3 lonas. Cada tolva tiene su propia banda extractora.
		Banda colectora	BandColect	Recibe todo el material de las bandas extractoras y lo deposita en la banda lanzadora 1.	Banda 18m x 32" x 7/16" - 3 lonas. Solo hay una banda colectora.
		Banda lanzadora	BandLanz	Recibe el material de la banda colectora y lo envía a la banda lanzadora 2, la cual, envía en material al interior del drum o tambor de secado.	Banda lanzadora 1: 16m x 32" x 7/16" - 3 lonas. Banda lanzadora 2: 6,5m x 32" x 7/16" - 3 lonas.
		Elevador áridos	ElevArid	Recibe el material caliente y seco (180°C prom.) y lo eleva hasta el nivel 4 de la torre de mezclado (zaranda).	Elevador de cangilones que funciona con un motor de 5HP, trabajo continuo.
		Elevador finos	ElevFin	Recibe el material más fino (filler) previamente extraído en el tambor de secado y es elevado al nivel 2 de la torre de mezclado (mezclador).	Elevador de cangilones que funciona con un motor de 3HP, trabajo continuo.
		Tubería de asfalto	TubAsf	Transportar el asfalto desde los tanques de almacenamiento hasta el mezclador.	Tubería Acero al carbono 3" Sch. STD, enchaquetada con una tubería de 5" Sch. 40 por la cual fluye el aceite térmico para mantener su temperatura. Long. Prom. 60m.
		Tubería de combustible	TubComb	Transporta el combustible (ACPM) desde los tanques de almacenamiento hasta los quemadores (del drum y de la caldera)	Tubería galvanizada 2" Sch. STD, longitud prom. 20m.
	Secado de material	Drum	Drum	Recibir los áridos fríos y con humedad, elevar su temperatura y retirar el máximo de humedad.	Diámetro 3,5m, Longitud 10m 8 puntos de apoyo para distribuir su carga, Velocidad de rotación 35 rpm
		Quemador	QuemDrum	Recibir el combustible, realizar la ignición y transferir la energía al interior del Drum para secar y deshidratar los áridos.	Consumo de combustible 7 L/min Posee válvulas reguladoras para evitar sobrecarga de combustible Control automatizado

Bombeo	Bomba de descarga de asfalto	BombDescAsf	Direccionar el asfalto proveniente de la refinería y transportado por mulas cisterna a los tanques de almacenamiento.	Viking pump Q-34 200 GPM, max. Presión 75psi
	Bomba de elevación de asfalto	BombElevAsf	Recibe el asfalto de los tanques y lo eleva hasta el nivel 2 de la torre de mezclado (báscula de asfalto).	Viking Pump KK225/A 35 gpm, 8HP, 750 rpm
	Bomba de inyección de asfalto	BombInyAsf	Inyecta el asfalto desde la báscula hasta el interior del mezclador.	Viking Pump KK225/A 35 gpm, 8HP, 750 rpm
	Bomba de combustible	BombComb	Envía el combustible desde su punto de almacenamiento hasta los distintos quemadores de la planta (Drum / caldera).	Bomba fuel oil Elias R-17 Engranajes autocebantes, 2CV
Exhaustor	Moto-Ventilador	BombExha	Generar baja presión para succionar la humedad y el material más fino de la mezcla de gravas y arena triturada.	-
	Tubería de succión	TubSucc	Conecta el Drum y el módulo de filtros de mangas.	Diámetro 1,5m, Long. 7m aprox. Posee sensores de presión y temperatura.
	Módulo de filtros de mangas	ModMang	Retener el material más fino (filler) para evitar polución al ambiente.	Manga de poliéster de alta resistencia a la abrasión y temperatura, diámetro 10cm x Long 1,5m.
Torre de mezclador	Zaranda	Zarand	Recibir el material mezclado, caliente y deshidratado para clasificarlo por tamaño, según diseño.	Posee 4 tendidos de mallas de distintos tamaños: 0-5mm, 5-10mm, 10-15mm y 15-20mm.
	Tolvas en caliente	TolvCal	Recibir el material clasificado de la zaranda, realizar el pesado y posterior descarga al mezclador.	Capacidad de hasta 1 ton de material por tolva, poseen 2 celdas de carga de 500Kg con resolución de 0,1Kg.
	Báscula de asfalto	BascAsf	Recibir el asfalto que es bombeado desde los tanques de almacenamiento, pesarlo y dejarlo listo para su inyección al mezclador.	Capacidad de hasta 200 L de asfalto, posee una celda de carga de 200 Kg con resolución de 0,1Kg.
	Mezclador	Mezc	Recibir todos los agregados y asfalto para realizar el proceso de mezclado por un tiempo determinado para posteriormente descargar a la volqueta.	Capacidad máxima de 1500Kg, posee 2 ejes con 16 brazos c/u unidos a 2 unidades motrices de 25HP. El tiempo de mezclado promedio es de 34s.
Almacenamiento	Tanques de asfalto	TanqAsf	Almacenar el asfalto que llega directamente de la refinería.	Capacidad máxima de 50 Ton. Tenemos 4 tanques, 3 de ellos están habilitados para realizar modificaciones de asfalto.

	Tanques de combustible del drum	TanqCombDrum	Almacenamiento del ACPM para suministro del quemador del drum.	Tenemos 2 tanques, uno de 5300 gal y otro de 3500 gal.
	Tanque de combustible de la caldera	TanqCombCald	Almacenamiento del ACPM para suministro del quemador de la caldera.	Capacidad 500 gal.
Calefacción del asfalto	Caldera	Cald	Calentar el aceite térmico hasta 200°C y hacerlo fluir a lo largo del sistema para calentar el asfalto.	Caldera Intrame DSH-30, intercambiador de calor de doble serpentín, capacidad de aceite 2000L, quemador OSA-45.
	Tubería de aceite térmico y accesorios	TubAcTerm	Hacer fluir herméticamente el aceite térmico a lo largo de los tanques y tuberías que transporta el asfalto para mantener una temperatura ideal de 160°C. Controlar la temperatura del asfalto en los tanques y activar/desactivar las electro-válvulas del paso del aceite térmico.	Tubería de 2" Sch STD para los serpentines de los tanques, Long total 240m aprox. Tubería de 4" Sch STD para los enchaquetamientos de la tubería de transporte de asfalto. Controlador de temperatura NAI5 KT4. Electro-válvula SKD32.50 Siemens. Válvula mariposa 2" (Back up).
Sistema de control	Software	Softw	Controlar remotamente todos los sistemas automáticos de la planta.	Asfesp 3.0 - Intrame
	Tablero electrónico motores/variadores	TabMotVar	Controlar remotamente los niveles de carga de los motores y variadores de velocidad de la planta.	-
	Tablero electrónico caldera	TabCald	Controlar desde el sitio, el funcionamiento correcto de la caldera.	-

3.4 ANÁLISIS FUNCIONAL, DETERMINACIÓN DE MODOS DE FALLA, DETERMINACIÓN DE EFECTOS DE FALLA Y DETERMINACIÓN DE CONSECUENCIA DE FALLA.

Tabla 2. Análisis funcional y definición de fronteras

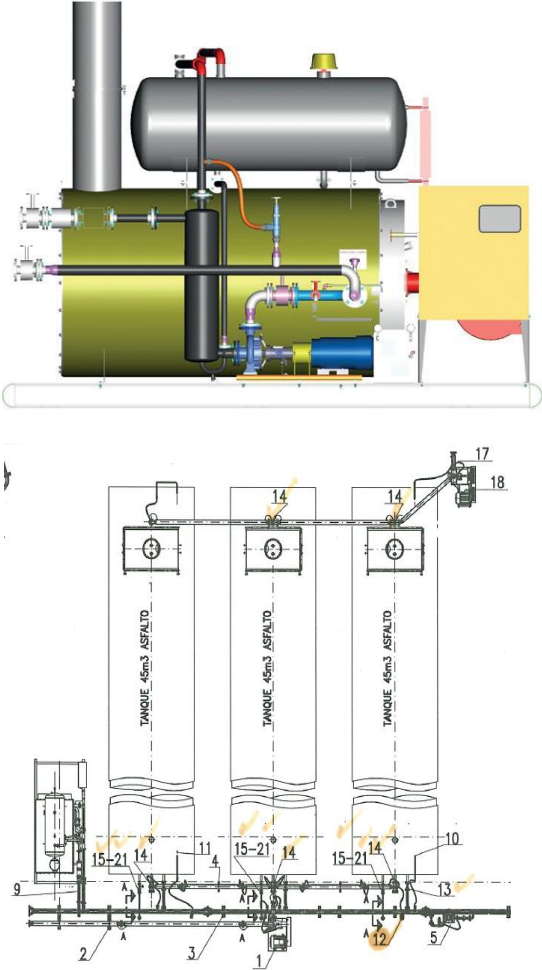
ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	COND. OPER.	COND. AMB.	FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)	FUNCIONES
<p>SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE LA PLANTA DE ASFALTO CONSOL - TRAMO SUR</p>	<p>Caldera: Serie DSH 45 - Marca Intrame Intercambiador de doble serpetín helicoidal Pot. Neta = 300,000 kcal/h Superf. De calent. = 16,1m² Consumo comb. = 35 kg/h Bomba de circulación = 333 L/min @ 7,5HP Vol. Aceite Térmico = 337 L Quemador = OSA45 Santandrea</p> <p>Tubería: Tubería de 4" Sch. Std. para enchaquetar tubería de 3" Sch. Std. Tubería flexometálica de 1" para el paso del aceite térmico entre distintas secciones de tubería de 4". Tubería de 2" Sch. Std. para serpentines internos de los tanques de almacenamiento.</p> <p>Accesorios: Controlador de temperatura NAIS KT4 Electro-válvula Siemens SKD32.50 Sensor de temperatura PT100 Válvula manual tipo mariposa 2" (Back up)</p>	<p>Q = 88 gpm Calentamiento continuo P_trab = 60 psi Visc_fluido = 1500 - 2000 cSt Dens_fluido @160°C = 0,95 g/cm³ Nivel de ruido = 81 dB (A) T_aceite térmico = 220 °C P_aceite térmico = 100 psi</p>	<p>Intemperie Altitud = 145 msnm Hum_amb = 77% (Relativa) T_amb = 35°C</p>		<p>a. Mantener el asfalto a una temperatura constante de 160°C para que pueda fluir desde los tanques de almacenamiento hasta el mezclador. b. Mantener herméticamente sellado el fluido térmico a lo largo de toda la instalación, desde la salida de los tanques hasta la llegada al mezclador. c. Los accesorios automáticos deben: medir, controlar y actuar, según los parámetros establecidos de calentamiento del asfalto (Temp. max. = 165°C)</p>

Tabla 3. Análisis RCM

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULTA	R. Amb	R. Hum	R. Ecom	R. Imag	Valor económ(\$)	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FR. C. (mes)	RECURSOS
a	Mantener el asfalto a una temperatura constante de 160°C para que pueda fluir desde los tanques de almacenamiento hasta el mezclador.	a1	No mantiene la temperatura en 160°C	a1.1	Caldera no trabaja	Es evidente la falla; no supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; no hay daños físicos en la caldera; el quemador no arranca; Verificación en 0,5h (\$ 6.000.000)	SI	A1	E2	D3	E2	6MM	Reacondicionamiento cíclico	Verificar tensión del sistema.	1	Enc, mec, eléct, ayudante
a	Mantener el asfalto a una temperatura constante de 160°C para que pueda fluir desde los tanques de almacenamiento hasta el mezclador.	a1	No mantiene la temperatura en 160°C	a1.2	Caldera no trabaja	Es evidente la falla; no supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en la caldera; el motor del quemador no arranca; Verificación en 1h (\$ 10.000.000)	SI	E2	E2	D4	E2	10MM	Tarea de búsqueda de fallas	Verificar funcionamiento y taraje de los termostatos y presostatos (12 Bar).	0,5	Enc, mec, eléct, ayudante
a	Mantener el asfalto a una temperatura constante de 160°C para que pueda fluir desde los tanques de almacenamiento hasta el mezclador.	a1	No mantiene la temperatura en 160°C	a1.3	Caldera no trabaja	Es evidente la falla; si supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en la caldera; El quemador arranca y se bloquea con la llama encendida; Verificación en 1h (\$ 10.000.000)	SI	E2	E2	D4	E2	10MM	Sustitución cíclica	Verificación del funcionamiento del controlador (LAL 2.25) y/o sensor de llama (QRB3), Revisión de los inyectores, pueden estar sucios o defectuosos.	0,5	Enc, mec, eléct, ayudante

a	Mantener el asfalto a una temperatura constante de 160°C para que pueda fluir desde los tanques de almacenamiento hasta el mezclador.	a1	No mantiene la temperatura en 160°C	a1.4	Caldera no trabaja	Es evidente la falla; no supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en la caldera; El quemador no hace ignición; Verificación en 2h - 3h (\$ 25.000.000)	SI	E1	E3	D4	E2	25M M	Reacondicionamiento cíclico	Verificar el envío de tensión al transformador y su funcionamiento y verificación de la posición de los electrodos (5mm entre ellos y 7mm al inyector).	0,3	Enc, mec, eléct, ayudante
a	Mantener el asfalto a una temperatura constante de 160°C para que pueda fluir desde los tanques de almacenamiento hasta el mezclador.	a1	No mantiene la temperatura en 160°C	a1.5	Caldera no trabaja	Es evidente la falla; si supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en la caldera; El quemador enciende pero con pulsaciones en la llama; Verificación en 3h (\$ 25.000.000)	SI	E2	E4	D4	E2	25M M	Reacondicionamiento cíclico	Control del ingreso del aire comburente.	0,1	Enc, mec, ayudante
a	Mantener el asfalto a una temperatura constante de 160°C para que pueda fluir desde los tanques de almacenamiento hasta el mezclador.	a1	No mantiene la temperatura en 160°C	a1.6	Caldera no trabaja	Es evidente la falla; si supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en la caldera; El quemador está bloqueado, la bomba presenta manchas de combustible; Verificación en 2h (\$ 15.000.000)	SI	E3	E3	D4	E2	15M M	Reacondicionamiento cíclico	Verificación del transformador, electrodos (5mm dist.), presencia de agua en el combustible, presión baja de la bomba (V4RL 2-5), exceso de aire.	0,3	Enc, mec, eléct, ayudante
a	Mantener el asfalto a una temperatura constante de 160°C para que pueda fluir desde los tanques de almacenamiento hasta el mezclador.	a1	No mantiene la temperatura en 160°C	a1.7	Caldera no trabaja	Es evidente la falla; si supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en la caldera; El quemador se bloquea sin inyectar combustible; Verificación en 2h (\$ 15.000.000)	SI	E1	E2	D4	E2	15M M	Reacondicionamiento cíclico	Verificar fases caídas, sentido de rotación del motor, llegada de combustible a la bomba, revisión de bomba (V4RL 2-5), electro-	0,5	Enc, mec, eléct, ayudante

													válvula y válvula de pie y verificar obturación de los inyectores.			
a	Mantener el asfalto a una temperatura constante de 160°C para que pueda fluir desde los tanques de almacenamiento hasta el mezclador.	a1	No mantiene la temperatura en 160°C	a1.8	Caldera no trabaja	Es evidente la falla; si supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en la caldera; El quemador se bloquea con llama; Verificación en 1h (\$ 10.000.000)	SI	E2	E2	D4	E2	10M M	Reacondicionamiento cíclico	Verificación del sensor de llama (QRB3, Limpieza o cambio), revisión del controlador de llama (LAL 2,25).	0, 1	Enc, mec, eléct, ayudante
a	Mantener el asfalto a una temperatura constante de 160°C para que pueda fluir desde los tanques de almacenamiento hasta el mezclador.	a1	No mantiene la temperatura en 160°C	a1.9	Caldera no trabaja	Es evidente la falla; si supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en la caldera; El quemador presenta llama con humo y chispas; Verificación en 2h (\$ 15.000.000)	SI	F2	E4	D4	E2	15M M	Reacondicionamiento cíclico	Verificación de la presión de la bomba (V4RL 2-5) y exceso de aire, revisión de inyectores (sucio o desgastado), conducto de caldera o chimenea obstruidos y agua en el combustible.	0, 3	Enc, mec, ayudante
a	Mantener el asfalto a una temperatura constante de 160°C para que pueda fluir desde los tanques de almacenamiento hasta el mezclador.	a1	No mantiene la temperatura en 160°C	a1.10	Caldera no trabaja	Es evidente la falla; si supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en la caldera; El quemador presenta llama pulsante / no estable; Verificación en 2h (\$ 15.000.000)	SI	E2	E4	D4	E2	15M M	Reacondicionamiento cíclico	Verificación de: aire comburente en exceso, agua / suciedad en el combustible, deflector mal ajustado en medidas.	0, 3	Enc, mec, ayudante

a	Mantener el asfalto a una temperatura constante de 160°C para que pueda fluir desde los tanques de almacenamiento hasta el mezclador.	a1	No mantiene la temperatura en 160°C	a1.11	Caldera no trabaja	Es evidente la falla; si supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en la caldera; La bomba del quemador (V4RL 2-5) presenta ruido excesivo; Verificación en 2h (\$ 15.000.000)	SI	F2	E3	D4	E2	15M M	Reacondicionamiento cíclico / Rediseño	Verificación de: distancia entre el depósito de combustible y el quemador, caída de presión por accesorios en la instalación, diámetro demasiado pequeño en la tubería, toma de aire en la instalación, filtro obstruido, flexibles deteriorados.	0,3	Enc, mec, ayudante
a	Mantener el asfalto a una temperatura constante de 160°C para que pueda fluir desde los tanques de almacenamiento hasta el mezclador.	a1	No mantiene la temperatura en 160°C	a1.12	Caldera no trabaja	Es evidente la falla; si supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en la caldera; La temperatura del aceite térmico solo llega a 100°C parandose en alarma; Verificación en 2d (\$ 120.000.000)	SI	E1	E1	D4	E2	120M M	Tarea a condición	Aceite térmico con agua, regular la temperatura a 90-95°C y evapore todo el agua y suba la temperatura paulatinamente.	1	Enc, mec, ayudante
a	Mantener el asfalto a una temperatura constante de 160°C para que pueda fluir desde los tanques de almacenamiento hasta el mezclador.	a1	No mantiene la temperatura en 160°C	a1.13	Caldera no trabaja	Es evidente la falla; si supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en la caldera; La temperatura del aceite es muy alta pero algún tanque no se calienta; Verificación en 1d (\$ 60.000.000)	SI	E1	E2	D4	E4	60M M	Reacondicionamiento cíclico	Verificar obstrucción en filtros, bolsas de aire en el sistema (purga), verificar válvulas de paso, revisar fugas del sistema y presión de la bomba.	0,5	Enc, mec, ayudante

a	Mantener el asfalto a una temperatura constante de 160°C para que pueda fluir desde los tanques de almacenamiento hasta el mezclador.	a1	No mantiene la temperatura en 160°C	a1.14	Caldera no trabaja	Es evidente la falla; si supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en la caldera; la bomba de la caldera presenta vibración y ruido excesivo, no levanta la presión requerida; Verificación en 1d (\$ 60.000.000)	NO	E2	E2	D4	E2	60MM	Reacondicionamiento cíclico	Verificar acoplamiento motor - bomba, anclaje a la bancada, revisión del funcionamiento de la bomba (V4RL 2-5), fugas a lo largo de la instalación y obstrucción de filtros.	0,2	Enc, mec, ayudante
b	Mantener herméticamente sellado el fluido térmico a lo largo de toda la instalación, desde la salida de los tanques hasta la llegada al mezclador.	b1	No hay hermeticidad en el sistema	b1.1	Fuga en el sistema	No es evidente la falla (interna en la caldera y en los tanques); si supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en la caldera y la instalación de tubería; Pérdida de nivel de aceite térmico en el sistema; Verificación en 1d - 3d (\$ 200.000.000)	SI	E3	E3	D4	E2	200MM	Reacondicionamiento cíclico / Tarea a condición	Inspección de la tubería del serpentín doble helicoidal (interno en la caldera), tubería de alimentación / retorno, tubería del serpentín interno de los tanques.	3	Enc, mec, ayudante
b	Mantener herméticamente sellado el fluido térmico a lo largo de toda la instalación, desde la salida de los tanques hasta la llegada al mezclador.	b1	No hay hermeticidad en el sistema	b1.2	Fuga en el sistema	Es evidente la falla; si supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en la caldera y la instalación de tubería; Acoplamientos y tubería flexo metálica desgastada; Verificación en 4h (\$ 20.000.000)	SI	E3	E4	D4	E2	20MM	Reacondicionamiento cíclico	Verificación de bridas slip on y empaquetaduras (reemplazar), accesorios de acoplamiento y tubería flexo metálica, verificar ajustes y soldadura de las tuberías enchaquetadas.	0,3	Enc, mec, ayudante

c	Los accesorios automáticos deben: sensar, controlar y actuar, según los parámetros establecidos de calentamiento del asfalto (Temp. max. = 165°C)	c1	Los accesorios automáticos no sensan, controlan ni actúan	c1.1	Los sensores de temperatura no funcionan	Es evidente la falla; no supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción no perdida; no puede haber daños físicos en la caldera y la instalación de tubería; Las lecturas de los sensores de temperatura PT100 de los tanques no son correctas ; verificación en 1h (\$ 5.000.000)	SI	D2	E3	D3	E2	5MM	Tarea a condición	Verificación de las conexiones de los sensores y de su integridad (reemplazar), inspección del termopozo. Realizar comparación con otro tipo de sensor (Ej. Infrarrojo)	0,1	Enc, mec, eléct, ayudante
c	Los accesorios automáticos deben: sensar, controlar y actuar, según los parámetros establecidos de calentamiento del asfalto (Temp. max. = 165°C)	c1	Los accesorios automáticos no sensan, controlan ni actúan	c1.2	El controlador de temperatura no funciona	Es evidente la falla; Si supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en la caldera y la instalación de tubería; El controlador no envía la señal a la electro-válvula para el cierre del flujo del fluido térmico; verificación en 3h (\$ 12.000.000)	NO	D2	E2	D4	E2	12MM	Tarea a condición	Revisión del cableado y tensión que llega al dispositivo, verificar programación y calibrar.	0,1	Enc, mec, eléct, ayudante
c	Los accesorios automáticos deben: sensar, controlar y actuar, según los parámetros establecidos de calentamiento del asfalto (Temp. max. = 165°C)	c1	Los accesorios automáticos no sensan, controlan ni actúan	c1.3	La electro-válvula no funciona	Es evidente la falla; Si supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en la caldera y la instalación de tubería; La electro-válvula recibe la señal del controlador de temperatura pero no cierra; verificación en 1d (\$ 200.000.000)	NO	E3	E2	D4	E2	200MM	Tarea a condición	Verificar el funcionamiento de los solenoides, cableado y tensión del sistema.	0,1	Enc, mec, eléct, ayudante
c	Los accesorios automáticos deben: sensar, controlar y actuar, según los parámetros establecidos de calentamiento del asfalto (Temp. max. = 165°C)	c1	Los accesorios automáticos no sensan, controlan ni actúan	c1.4	La válvula manual (back up) no funciona	Es evidente la falla; Si supone amenaza a la seguridad y el medio ambiente; producción perdida; puede haber daños físicos en la caldera y la instalación de tubería; La	NO	E2	E4	D3	E2	5MM	Reacondicionamiento cíclico	Verificar integridad del componente (cambiar), empaques y bridas.	0,1	Enc, mec, eléct, ayudante

	asfalto (Temp. max. = 165°C)				válvula manual no funciona, presenta fuga excesiva; verificación en 1h (\$ 5.000.000)														
--	---------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

3.5 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Posterior a la valoración de criticidad realizada en el cuadro RCM, se realiza la cuantificación de dicha valoración, usando la misma matriz de riesgo y dándole valores a las columnas (las cuales estaban valoradas con las letras A, B, C, D, E y F) tal y como lo indica la siguiente tabla.

Tabla 4. Matriz de riesgos

RIESGOS				CONSECUENCIA	PROBABILIDAD						
HUMANAS	AMBIENTALES	COSTOS	IMAGEN		IMPOSIBLE	IMPROBABLE	REMOTO	OCASIONAL	MODERADO	FRECUENTE	
Más de un muerto	Efectos irreversibles	>100	Internacional	Catastrófico	5	5	10	15	20	25	30
Incapacidad permanente	Efectos irreversibles en menos de 2 años	ENTRE 100M - 10M	Nacional	Critico	4	4	8	12	16	20	24
Incapacidad temporal	Efectos reversibles en menos de 6 meses	ENTRE 10 M- 1M	Regional	Marginal	3	3	6	9	12	15	18
Lesiones	Efectos pueden ser controlados	ENTRE 1M- .05M	Local	Insignificante	2	2	4	6	8	10	12
Ninguna	No afecta el medio ambiente	<0.05 M	Ninguno	Ninguno	1	1	2	3	4	5	6

> 10 Años	< 10 Años	< 5 Años	< 2 Años	< 6 Meses	± 1 Mes
A	B	C	D	E	F
1	2	3	4	5	6

Cada uno de los recuadros posee un valor, con el cual, analizaremos cada una de las fallas funcionales y su correspondiente efecto de falla, para poder generar un criterio de criticidad basado en riesgos: Humanos, Ambientales, Costo e Imagen.

La siguiente tabla nos muestra los criterios y rangos para la identificación de los componentes más críticos del sistema.

Tabla 5. Identificación de colores para criticidad

ANÁLISIS DE CRITICIDAD			
CRITERIO	RANGO		IDENTIFICACIÓN
BAJA	1	24	
MEDIA	25	48	
ALTA	49	120	

Exportamos los datos del cuadro RCM y cuantificamos los valores de la calificación de la matriz de riesgo e identificamos el componente del sistema que se está evaluando, con lo que obtenemos un puntaje parcial (para cada riesgo) y su respectivo total, como lo observamos en la siguiente tabla.

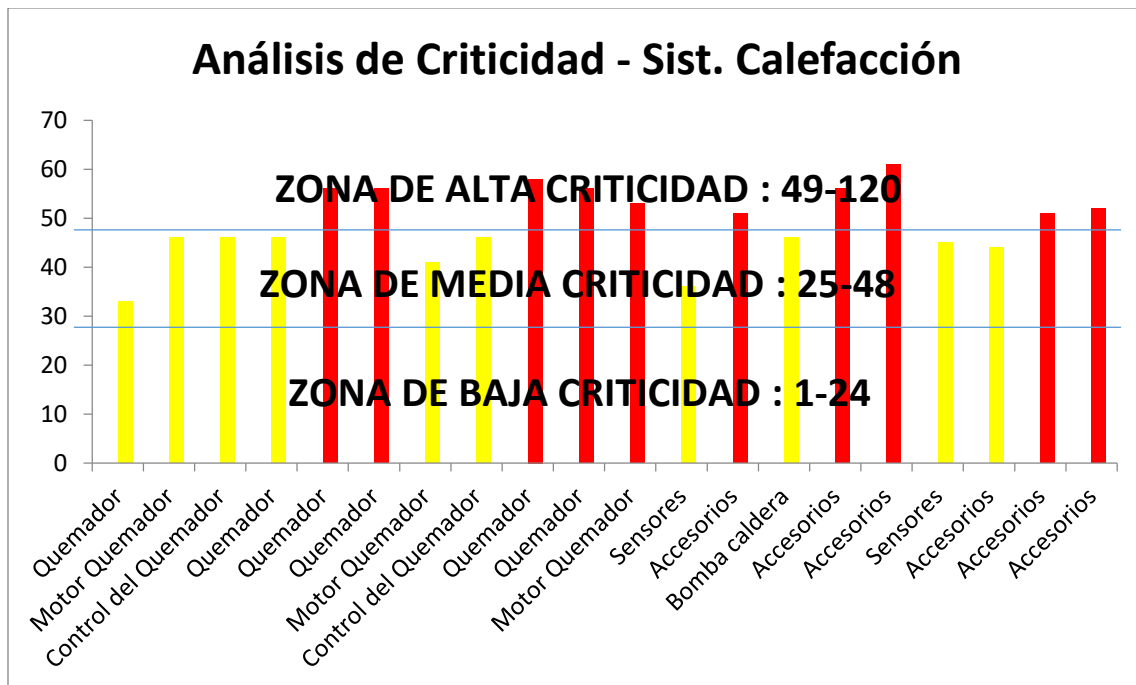
Tabla 6. Cuantificación de valores críticos

Cód. MF	Modo de Falla	Calificación Matriz de Riesgo				Componente	Calificación Análisis de Criticidad				
		R. Amb	R. Hum	R. Económ	R. Imag		R. Amb	R. Hum	R. Económ	R. Imag	Total
a1.1	Caldera no trabaja	A1	E2	D3	E2	Quemador	1	10	12	10	33
a1.2	Caldera no trabaja	E2	E2	D4	E2	Motor Quemador	10	10	16	10	46
a1.3	Caldera no trabaja	E2	E2	D4	E2	Control del Quemador	10	10	16	10	46
a1.4	Caldera no trabaja	E1	E3	D4	E2	Quemador	5	15	16	10	46
a1.5	Caldera no trabaja	E2	E4	D4	E2	Quemador	10	20	16	10	56
a1.6	Caldera no trabaja	E3	E3	D4	E2	Quemador	15	15	16	10	56
a1.7	Caldera no trabaja	E1	E2	D4	E2	Motor Quemador	5	10	16	10	41

a1.8	Caldera no trabaja	E2	E2	D4	E2	Control del Quemador	10	10	16	10	46
a1.9	Caldera no trabaja	F2	E4	D4	E2	Quemador	12	20	16	10	58
a1.10	Caldera no trabaja	E2	E4	D4	E2	Quemador	10	20	16	10	56
a1.11	Caldera no trabaja	F2	E3	D4	E2	Motor Quemador	12	15	16	10	53
a1.12	Caldera no trabaja	E1	E1	D4	E2	Sensores	5	5	16	10	36
a1.13	Caldera no trabaja	E1	E2	D4	E4	Accesorios	5	10	16	20	51
a1.14	Caldera no trabaja	E2	E2	D4	E2	Bomba caldera	10	10	16	10	46
b1.1	Fuga en el sistema	E3	E3	D4	E2	Accesorios	15	15	16	10	56
b1.2	Fuga en el sistema	E3	E4	D4	E2	Accesorios	15	20	16	10	61
c1.1	Los sensores de temperatura no funcionan	D2	E3	D3	E2	Sensores	8	15	12	10	45
c1.2	El controlador de temperatura no funciona	D2	E2	D4	E2	Accesorios	8	10	16	10	44
c1.3	La electroválvula no funciona	E3	E2	D4	E2	Accesorios	15	10	16	10	51
c1.4	La válvula manual (back up) no funciona	E2	E4	D3	E2	Accesorios	10	20	12	10	52

Posterior a la totalización del análisis de criticidad, vamos a plasmar los resultados en un diagrama de barras:

Figura 14. Valores de criticidad por elemento



Este gráfico nos muestra con claridad que estamos hablando de un sistema el cual no tiene componentes de baja criticidad, todos se encuentran en la zona de media y alta criticidad.

Los elementos identificados como críticos son:

- Quemador (Sistema de control, inyectores, electrodos, electro válvulas de 1ra y 2da etapa, sensor de llama, presostato / termostato)
- Motor quemador (Motor – Ventilador – Bomba, servo motor)
- Accesorios (Uniones soldadas de tubería, serpentines caldera / tanques, control de temperatura KT4, electro válvula SKD 32.50, válvulas manuales y sensores de temperatura PT100).

Posterior a la identificación de los elementos más críticos, pasamos a la decisión de las tareas y su frecuencia:

Tabla 7. Descripción de tareas y frecuencia

Cód. MF	Modo de Falla	Componente	Calificación Análisis de Criticidad	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FREC. (mes)
a1.5	Caldera no trabaja	Quemador	56	Reacondicionamiento cíclico	Control del ingreso del aire comburente.	0,1
a1.6	Caldera no trabaja	Quemador	56	Reacondicionamiento cíclico	Verificación del transformador, electrodos (5mm dist.), presencia de agua en el combustible, presión baja de la bomba (V4RL 2-5), exceso de aire.	0,3
a1.9	Caldera no trabaja	Quemador	58	Reacondicionamiento cíclico	Verificación de la presión de la bomba (V4RL 2-5) y exceso de aire, revisión de inyectores (sucio o desgastado), conducto de caldera o chimenea obstruida y agua en el combustible.	0,3
a1.10	Caldera no trabaja	Quemador	56	Reacondicionamiento cíclico	Verificación de: aire comburente en exceso, agua / suciedad en el combustible, deflector mal ajustado en medidas.	0,3
a1.11	Caldera no trabaja	Motor Quemador	53	Reacondicionamiento cíclico / Rediseño	Verificación de: distancia entre el depósito de combustible y el quemador, caída de presión por accesorios en la instalación, diámetro demasiado pequeño en la tubería, toma de aire en la instalación, filtro obstruido, flexibles deteriorados.	0,3
a1.13	Caldera no trabaja	Accesorios	51	Reacondicionamiento cíclico	Verificar obstrucción en filtros, bolsas de aire en el sistema (purga), verificar válvulas de paso, revisar fugas del sistema y presión de la bomba.	0,5
b1.1	Fuga en el sistema	Accesorios	56	Reacondicionamiento cíclico / Tarea a condición	Inspección de la tubería del serpentín doble helicoidal (interno en la caldera), tubería de alimentación / retorno, tubería del serpentín interno de los tanques.	3
b1.2	Fuga en el sistema	Accesorios	61	Reacondicionamiento cíclico	Verificación de bridas slip on y empaquetaduras (reemplazar), accesorios de acoplamiento y tubería flexo metálica, verificar ajustes y soldadura de las tuberías	0,3

					enchaquetadas.	
c1.3	La electro-válvula no funciona	Accesorios	51	Tarea a condición	Verificar el funcionamiento de los solenoides, cableado y tensión del sistema.	0,1
c1.4	La válvula manual (back up) no funciona	Accesorios	52	Reacondicionamiento cíclico	Verificar integridad del componente (cambiar), empaques y bridas.	0,1

4. PROYECCIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN

4.1 ESTRATEGIAS EMPRESARIALES A IMPLEMENTAR

- Generar un trabajo en sinergia entre el personal directo de mantenimiento y las áreas de: producción, costos y suministros, con lo que podremos programar de una manera más controlada sin afectar el normal desarrollo de la obra y controlar los costos y activos de cada uno de los mantenimientos a realizar.
- Mejorar nuestro sistema de información de mantenimiento, del cual, podemos obtener fácilmente los indicadores de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad del equipo, (actualmente solo contamos con datos de disponibilidad mecánica), enfocándonos en los resultados de criticidad realizados en el cuadro RCM.
- Capacitar a las directivas de la empresa para que transformen su mentalidad de mantenimiento = costo y pasen a una mentalidad de mantenimiento = inversión; en este trabajo se realizará un análisis de costos de producción e implementación de la metodología, en el cual, se mostrarán indicadores como la TIR y el PAYBACK para afianzar la viabilidad del proyecto.
- Realizar reuniones estratégicas mensualmente con empleados directos de mantenimiento, ingenieros y nuestro gerente, para transmitir las mejorías en la disponibilidad del sistema al que se implementó el modelo RCM comparando con las proyecciones estipuladas en este trabajo a un periodo de evaluación de 4 meses.
- Vender la idea de la implementación de los planes de mantenimiento basados en RCM a todos los equipos de nuestra empresa (estacionarios y móviles) para verificar el aumento de la producción global.

4.2 PLANEACIÓN ESTRATÉGICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL RCM / ACCIONES A DESARROLLAR EN LOS COMPONENTES CRÍTICOS

Para la planeación estratégica de la implementación del RCM se han definido tres (3) tareas fundamentales para llevar a cabo la posterior ejecución del producto de este trabajo, que lleven a procedimientos más beneficiosos en las relaciones costo-efectividad y producción-mantenimiento, reduciendo los tiempos y aplicando rutinas de mantenimiento mucho más eficaces y eficientes para lograr mejores niveles de confiabilidad de los equipos que fueron tratados en este estudio y así poder extrapolar los resultados obtenidos a más subsistemas de la planta.

Se hace necesario en el plan estratégico definir y delegar las funciones entre los líderes de cada proceso para que cada uno asuma su rol, comprometiéndose para la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad. Para ellos, se trazan objetivos específicos discriminados en cada proceso, reajustando los frentes de trabajo con metas por cumplir y a esto se le añade tareas sencillas de limpieza, lubricación y ajuste; eliminando fallas menores en los equipos, logrando evitar lugares de difícil acceso, pero sobre todo generar estándares de limpieza, donde el operador se vuelva conocedor de cualquier síntoma presente en la máquina.

Las tres (3) tareas fundamentales de la planeación estratégica son:

- Programa de mantenimiento preventivo
- Programa de mantenimiento predictivo o basado en condición
- Programa de administración de recursos

El resumen de la propuesta de la implementación de las tareas fundamentales se muestra a continuación:

Tabla 8. Planeación estratégica del RCM

	Programa de mantenimiento preventivo	Programa mantenimiento predictivo (basado en condición)	Programa de administración de recursos
OBJETIVO GENERAL	Prevenir fallas anticipadamente con rutinas basadas en tiempo.	Detectar fallas potenciales mediante monitoreo de variables.	Disponer de los recursos necesarios para la ejecución de las labores de los programas
DESCRIPCIÓN	Planear y mejorar los procesos de MP, identificando debilidades, realizando mejora continua según el estudio del RCM (fallas repetitivas, vida útil y condiciones operacionales)	Monitoreo constante de la condición o variable de interés para poder anticipar la falla	Gestión de inventario según programas de labores, adquisición y envío a reparación de componentes según ordenes de trabajo
RESPONSABLE DE GESTIÓN	Planeador de MP	Operador/Supervisor	Administrador
RESPONSABLE DE EJECUCIÓN	Operador/Supervisor/Ingeniero	Supervisor/Ingeniero	Gerente

4.2.1 Programa de mantenimiento preventivo

Para realizar los procedimientos de mantenimiento preventivo, es necesario conocer los periodos de tiempos establecidos por el fabricante, de los cuales la empresa obtiene sus procedimientos de MP. Se detectaron fallas en las cuales se pueden ejecutar rutinas preventivas con el fin de anticiparnos a la falla, tareas programadas y la frecuencia se deben realizar estas tareas.

Tabla 9. Tareas del MP

Cód. MF	Modo de Falla	Componente	Calificación Análisis de Criticidad	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FREC. (mes)
a1.1	Caldera no trabaja	Quemador	33	Inspección visual	Verificar tensión del sistema	1
a1.2	Caldera no trabaja	Motor Quemador	46	Mantenimiento preventivo (cumplimiento condiciones de uso)	Verificar funcionamiento y taraje de los termostatos y presostatos (12 Bar).	0,5

a1.3	Caldera no trabaja	Control del Quemador	46	Mantenimiento preventivo (limpieza)	Verificación del funcionamiento del controlador (LAL 2.25) y/o sensor de llama (QRB3), Revisión de los inyectores, pueden estar sucios o defectuosos.	0,5
a1.4	Caldera no trabaja	Quemador	46	Mantenimiento preventivo (restablecer condiciones básicas)	Verificar el envío de tensión al transformador y su funcionamiento y verificación de la posición de los electrodos (5mm entre ellos y 7mm al inyector).	0,3
a1.7	Caldera no trabaja	Motor Quemador	41	Mantenimiento preventivo (restablecer condiciones básicas)	Verificar fases caídas, sentido de rotación del motor, llegada de combustible a la bomba, revisión de bomba (V4RL 2-5), electroválvula y válvula de pie y verificar obturación de los inyectores.	0,5
a1.8	Caldera no trabaja	Control del Quemador	46	Mantenimiento preventivo (restablecer condiciones básicas)	Verificación del sensor de llama (QRB3, Limpieza o cambio), revisión del controlador de llama (LAL 2,25).	0,1
a1.12	Caldera no trabaja	Sensores	36	Mantenimiento preventivo (cumplimiento condiciones de uso)	Aceite térmico con agua, regular la temperatura a 90-95°C y evapore toda el agua y suba la temperatura paulatinamente.	1
a1.14	Caldera no trabaja	Bomba caldera	46	Mantenimiento preventivo (restablecer condiciones básicas)	Verificar acoplamiento motor - bomba, anclaje a la bancada, revisión del funcionamiento de la bomba (V4RL 2-5), fugas a lo largo de la instalación y obstrucción de filtros.	0,2
c1.1	Los sensores de temperatura no funcionan	Sensores	45	Mantenimiento preventivo (cumplimiento condiciones de uso)	Verificación de las conexiones de los sensores y de su integridad (reemplazar), inspección del termo-pozo. Realizar comparación con otro tipo de sensor (Ej. Infrarrojo)	0,1
c1.2	El controlador de temperatura no funciona	Accesorios	44	Mantenimiento preventivo (restablecer condiciones básicas)	Revisión del cableado y tensión que llega al dispositivo, verificar programación y calibrar.	0,1

4.1.2 Programa de mantenimiento predictivo o basado en condición

Este mantenimiento se enfoca hacia acciones cíclicas que se realizan en por ciertos periodos de tiempo para determinar bajo condición, qué medidas tomar cuando se evidencia una falencia que nos ayuda a detectar una condición anormal en la operación y así poder prevenir o eliminar la posible falla.

Tabla 10. Tareas del mantenimiento basado en condición

Cód. MF	Modo de Falla	Componente	Calificación Análisis de Criticidad	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FREC. (mes)
a1.5	Caldera no trabaja	Quemador	56	Acción cíclica/Movimiento mecánico	Control del ingreso del aire comburente.	0,1
a1.6	Caldera no trabaja	Quemador	56	Acción cíclica/Secuencia eléctrica	Verificación del transformador, electrodos (5mm dist.), presencia de agua en el combustible, presión baja de la bomba (V4RL 2-5), exceso de aire.	0,3
a1.9	Caldera no trabaja	Quemador	58	Acción cíclica/Función mecánica	Verificación de la presión de la bomba (V4RL 2-5) y exceso de aire, revisión de inyectores (sucio o desgastado), conducto de caldera o chimenea obstruida y agua en el combustible.	0,3
a1.10	Caldera no trabaja	Quemador	56	Acción cíclica/Función mecánica	Verificación de: aire comburente en exceso, agua / suciedad en el combustible, deflector mal ajustado en medidas.	0,3
a1.11	Caldera no trabaja	Motor Quemador	53	Acción cíclica/Función mecánica	Verificación de: distancia entre el depósito de combustible y el quemador, caída de presión por accesorios en la instalación, diámetro demasiado pequeño en la tubería, toma de aire en la instalación, filtro obstruido, flexibles deteriorados.	0,3
a1.13	Caldera no trabaja	Accesorios	51	Acción cíclica/Función mecánica	Verificar obstrucción en filtros, bolsas de aire en el sistema (purga), verificar válvulas de paso, revisar fugas del sistema y presión de la bomba.	0,5

b1.1	Fuga en el sistema	Accesorios	56	Acción cíclica/Función mecánica	Inspección de la tubería del serpentín doble helicoidal (interno en la caldera), tubería de alimentación / retorno, tubería del serpentín interno de los tanques.	3
b1.2	Fuga en el sistema	Accesorios	61	Acción cíclica/Función mecánica	Verificación de bridas slip on y empaquetaduras (reemplazar), accesorios de acoplamiento y tubería flexo metálica, verificar ajustes y soldadura de las tuberías enchaquetadas.	0,3
c1.3	La electro-válvula no funciona	Accesorios	51	Acción cíclica/Secuencia eléctrica	Verificar el funcionamiento de los solenoides, cableado y tensión del sistema.	0,1
c1.4	La válvula manual (back up) no funciona	Accesorios	52	Acción cíclica/Función mecánica	Verificar integridad del componente (cambiar), empaques y bridas.	0,1

4.2.2 Programa de administración de recursos

Este programa debe tener como función principal la de velar en pro de la metodología RCM, disponer siempre que se necesite de los recursos necesarios para la ejecución de labores de los programas anteriormente mencionados, para lo cual se plantea una gestión de adquisición de materiales, buenas prácticas en la consecución de metas y ejecutar la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad.

Para lograr mejores resultados se debe tener un control apropiado de los recursos, cuantificar repuestos, compras de materiales, reparaciones y poseer las estadísticas necesarias para tomar las decisiones más convenientes dentro del RCM planteado en el presente trabajo.

La mejora continua de la gestión y administración de recursos, será capaz de generar informes y reportes gráficos de consumos, materiales y órdenes de trabajo a ejecutar, todo esto involucrando al RCM para facilitar la acción de toma de decisiones y evitar la indisponibilidad por demoras por falta de recursos

4.3 PLANEACIÓN / PRESUPUESTO DE LA IMPLEMENTACIÓN

- Planeamiento de la implementación de la metodología RCM para el sistema de calefacción de la planta de asfalto de CONSOL – tramo Sur.

Figura 15. Diagrama de Gantt para la implementación de la metodología RCM al sistema de calefacción de la planta de asfalto CONSOL – Sur



Cabe resaltar que este planeamiento va a ser direccionado al personal directo de la planta, al personal de costos, suministros, a la gerencia de equipos y a la dirección del contrato; ya que se trazarán unas metas en las cuales todos deben aportar para el mejoramiento del proceso que se lleva a cabo.

- **Análisis de costos principales del proceso, cálculo de la TIR (Tasa interna de Retorno) y el PAYBACK.**

Costo del re-arranque de la planta (cada vez que se genera una avería, mala planeación o cualquier evento en el cual se deba iniciar el proceso productivo se debe incluir este sobre-costos)

Costo alquiler planta / mes	\$50.000.000
Costo alquiler planta / día	\$ 1.666.667
Costo alquiler planta / hora	\$ 208.333
Costo alquiler planta re-arranque (\$)	\$ 69.444
Consumo de combustible (L / ton)	7
Producción planta (viajes / h)	5
Capacidad volqueta (Ton / viaje)	25
Consumo de combustible (L / h)	875
Costo de combustible para re-arranque (\$)	\$ 601.057

Costo combustible (\$ / gal)	\$ 7.800
Costo combustible (\$ / L)	\$ 2.061

Costos personal directo			
	Mes	Día	Hora
Encargado planta	\$3.500.000	\$116.667	\$ 14.583
Operador planta	\$1.800.000	\$ 60.000	\$ 7.500
Calderista	\$1.100.000	\$ 36.667	\$ 4.583
Ayudante de mtto	\$ 850.000	\$ 28.333	\$ 3.542
Operador cargador	\$1.600.000	\$ 53.333	\$ 6.667

Total costo pers. Dir. (\$ / h)			\$ 36.875
Total costo re- arranque (\$) 0,3h por re-arranque			\$ 12.292

Costos de materiales para re-arranque de planta	
Tiempo de re-arranque (h)	0,3
Agregados requeridos en la planta (Ton / h)	125
Agregados requeridos para re-arranque (Ton)	41,7

Costo agregados (\$ / m3)	\$ 45.000
Densidad agregados (Ton / m3)	1,9
Costo agregados (\$ / Ton)	\$ 23.684
Costo agregados para re-arranque (\$)	\$986.842

COSTOS TOTALES PARA EL RE-ARRANQUE	
Costo alquiler planta re-arranque (\$)	\$ 69.444
Costo de combustible para re-arranque (\$)	\$ 601.057
Costo total personal directo re-arranque (\$)	\$ 12.292
Costo agregados para re-arranque (\$)	\$ 986.842

COSTO TOTAL RE-ARRANQUE	\$1.669.635
--------------------------------	--------------------

	Actual	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4
Cantidad de re-arranques	13	11	8	5	2
Costo	\$ 21.705.255	\$ 18.365.985	\$ 13.357.080	\$ 8.348.175	\$ 3.339.270
Total costo re-arranques	\$ 65.115.766				

Costo de producción promedio mensual

El valor calculado de la ganancia mensual promedio es con un 100% de disponibilidad mecánica, lo cual se tomará como referencia para evaluar con los valores actuales.

En la siguiente tabla, evaluamos los valores actuales y la proyección a un año de la implementación de la metodología RCM, con un objetivo del 98% al finalizar el primer año de ejecución. Siempre tenemos en cuenta que la ganancia del proyecto es de alrededor del 8%.

Cálculos de producción promedio mensual	
Prod. Prom. mensual (m3)	7000
Densidad asfalto suelto (Ton/m3)	1,6
Prod prom mensual (Ton)	11200
Horas de trabajo	240
Prod prom (Ton/h)	46,7
Costo del asfalto suelto instalado (\$/Ton)	\$ 460.000
Costo de la prod mensual prom (\$)	\$ 5.152.000.000
Costo prod (\$/h)	\$ 21.466.667
Ganancia del proyecto (%)	8%

Ganancia mensual por prod promedio	\$ 412.160.000
---	-----------------------

	Actual	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4
Disponibilidad mecánica (DP)	89%	91%	93%	96%	98%
Prod prom mensual afectada por la DP (Ton)	9968	10192	10416	10752	10976
Costo de prod afectada por la DP (\$)	\$ 4.585.280.000	\$ 4.688.320.000	\$ 4.791.360.000	\$ 4.945.920.000	\$ 5.048.960.000
Ganancia afectada por la DP	\$ 366.822.400	\$ 375.065.600	\$ 383.308.800	\$ 395.673.600	\$ 403.916.800
Diferencia costo prod prom / costo prod prom afectado por la DP	\$ 566.720.000	\$ 463.680.000	\$ 360.640.000	\$ 206.080.000	\$ 103.040.000
Valor que se deja de ganar por afectación de la DP	\$ 45.337.600	\$ 37.094.400	\$ 28.851.200	\$ 16.486.400	\$ 8.243.200
Recuperación por producción		\$ 8.243.200	\$ 8.243.200	\$ 12.364.800	\$ 8.243.200
Recuperación total en el primer cuatrimestre por mejoramiento en la DP			\$		37.094.400

Costo de los repuestos requeridos por el análisis de criticidad

Se evaluaron los repuestos más críticos de los sistemas de: quemador de caldera (moto bomba, servomotor, inyectores y controladores) y del sistema de transporte del aceite térmico (controlador de temperatura, electroválvula y sensores de temperatura)

Costos de repuestos requeridos según criticidad

Elemento	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Transformador de tensión Mimaven UT13	1	\$ 3.560.000	\$ 3.560.000
Controlador de temperatura Honeywell UDC 900	1	\$ 2.780.000	\$ 2.780.000
Controlador de llama Landys y GYR LAL2,25	1	\$ 4.850.000	\$ 4.850.000
Interruptor magnético Allen - Bradley 140-MN-1600	2	\$ 890.000	\$ 1.780.000
Inyector 1ra etapa	1	\$ 357.000	\$ 357.000
Inyector 2da etapa	1	\$ 645.000	\$ 645.000
Electroválvula 1ra etapa	1	\$ 875.000	\$ 875.000
Electroválvula 2da etapa	1	\$ 1.268.000	\$ 1.268.000
Sistema Moto - bomba V4RL2-5	1	\$ 5.678.000	\$ 5.678.000
Servomotor	1	\$ 3.650.000	\$ 3.650.000
Controlador de temperatura KT4	1	\$ 7.569.000	\$ 7.569.000
Electroválvula SKD32,50	1	\$ 3.599.000	\$ 3.599.000
Sensores de temperatura PT100	4	\$ 230.000	\$ 920.000
Total Stock mínimo			\$ 37.531.000

Costos de capacitación del personal para la implementación

Costos capacitación del personal

Costos personal directo			
	Mes	Día	Hora
Encargado	\$	\$	\$

planta	3.500.000	116.667	14.583
Operador planta	\$ 1.800.000	\$ 60.000	\$ 7.500
Calderista	\$ 1.100.000	\$ 36.667	\$ 4.583
Ayudante de mtto	\$ 850.000	\$ 28.333	\$ 3.542
Operador cargador	\$ 1.600.000	\$ 53.333	\$ 6.667

Total día		\$ 295.000
Total 8 días		\$ 2.360.000

Calculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) y PAYBACK

Para el cálculo de la TIR vamos a partir de los valores anteriormente calculados, en donde tenemos una inversión inicial, la cual, es el resultado de la suma de los costos de los repuestos requeridos por el análisis de criticidad más el costo de la capacitación del personal y la divulgación de la metodología.

Posteriormente, tenemos los egresos, en los cuales, tenemos el costo de nuestra producción (valor de la producción menos el 8% de la ganancia promedio del proyecto) más los costos de las paradas imprevistas que generan re-arranques de la planta.

Costo inicial de la implementación (Costo de los repuestos críticos + costo de la capacitación del personal)	-\$ 39.891.000
---	-----------------------

Egresos (Costo de la producción afectada por la DP * 0,92) + Costo de los re-arranques	Ingresos (Costo de la producción afectada por la DP)	Ganancia neta del periodo	Ganancia extra bajo implementación del RCM
---	---	----------------------------------	---

del periodo			
\$ 4.240.162.855	\$ 4.585.280.000	\$ 345.117.145	
\$ 4.331.620.385	\$ 4.688.320.000	\$ 356.699.615	\$ 11.582.470
\$ 4.421.408.280	\$ 4.791.360.000	\$ 369.951.720	\$ 13.252.105
\$ 4.558.594.575	\$ 4.945.920.000	\$ 387.325.425	\$ 17.373.705
\$ 4.648.382.470	\$ 5.048.960.000	\$ 400.577.530	\$ 13.252.105

	Datos
Costo inicial	-\$ 39.891.000
Ingresos periodo 1	\$ 11.582.470
Ingresos periodo 2	\$ 13.252.105
Ingresos periodo 3	\$ 17.373.705
Ingresos periodo 4	\$ 13.252.105

Costo Inicial	\$ 39.891.000
Ingresos periodo 1	\$ 11.582.470
Ingresos periodo 2	\$ 13.252.105
Ingresos periodo 3	\$ 17.373.705
PAYBACK (Periodos)	2,87

Calculo TIR	14%
--------------------	------------

La viabilidad del proyecto es inherente al aumento de la disponibilidad y confiabilidad de la planta, ya que si logramos mantener un alto estándar de éste indicador, nuestra producción no se detendrá, cabe resaltar que los parámetros de producción que se usaron para el cálculo de este ejercicio son basados en los datos históricos de los últimos 3 años; además, contamos con un periodo de recuperación de la inversión excelente.

5. CONCLUSIONES

Se identificaron todos los sistemas, subsistemas y componentes de la planta, detallando sus funciones principales y enfocándonos en el sistema de calefacción del asfalto, el cual es el motivo de nuestro estudio.

Se realizó un análisis de criticidad para el sistema de calefacción de la planta en donde se identifican los componentes con alta criticidad y se establecen acciones a realizar de acuerdo al diagrama de decisiones propuesto por John Moubray y sus respectivas tareas.

Se establecieron parámetros para ser llevados a las directivas de la empresa y así concientizar a la alta gerencia con las estrategias y modalidades de mantenimiento como las planteadas en esta monografía, todo con el fin de poder extender la filosofía a todos los equipos de la empresa y aumentar la productividad global.

Se realizó un estudio a fondo de los sistemas, sub-sistemas y componentes de la planta de asfalto INTRAME RM-120, enfocándonos en el sistema de calefacción del asfalto, al cual se le diseñó un plan de mantenimiento mejorado basado en la técnica RCM.

Se implementó el plan de mantenimiento basado en RCM para el sistema de calefacción de la planta de asfalto INTRAME RM-120 Consol – Tramo Sur.

BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE RODRIGUEZ, Ángela y BRAVO ZUÑIGA, David Antonio. Diseño y propuesta para la implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para la planta de asfalto de CONALVÍAS equipos ubicada en la regional del Plato, Magdalena. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingeniería Físico-mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica, 2015. 97p. (Recuperado en 22 de Julio de 2016). Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2015/160136.pdf>

BORRÁS PINILLA., Mantenimiento Preventivo. Bucaramanga: Ediciones UIS, 2016

CERÓN CHACÓN, René y ROJAS MORA, Juan Diego. Diseño de un modelo de gestión de mantenimiento basado en RCM para las instalaciones de producción de la estación Cohembi en el activo suroriente. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingeniería Físico-mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica, 2014. pp.45-63. (Recuperado en 22 de Julio de 2016). Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2014/154077.pdf>

INTRAME. Catalogo en español. [En línea]. Madrid, (Recuperado en 14 Agosto 2016). Disponible en <http://www.intrame.com/wp-content/uploads/2015/06/Catalogo-espa%C3%B1ol-Intrame.pdf>

MORA, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Medellín: AMG, 2009. p.271, 273, 286

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. México: Aladon, 2004. p.6, 7 y 8

PORTAL DE INGENIERIA Y GESTION DE MANTENIMIENTO. RCM mantenimiento centrado en fiabilidad. [En línea]. (Recuperado en 15 de Octubre de 2016). Disponible en: <http://www.ingenieriamantenimiento.org/analisis-de-fallos/rcm-mantenimiento/>

QUINTERO NIÑO, Andrés Leonardo. Diseño de un modelo de gestión de mantenimiento RCM en el centro de diagnóstico automotor Villa del Rosario. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de ingenierías físico-mecánicas, escuela de Ingeniería Mecánica, 2015. 96p