

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO BASADO EN RCM
PARA LA ESTACIÓN DE ARMADO NO.1 EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE
LAMINADOS DE LA EMPRESA **PR1MADERA** S.A.S.

MIGUEL ANGEL SEPULVEDA CARO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION DE GERENCIA EN MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2017

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO BASADO EN RCM
PARA LA ESTACIÓN DE ARMADO NO.1 EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE
LAMINADOS DE LA EMPRESA **PR1MADERA** S.A.S.

MIGUEL ANGEL SEPULVEDA CARO

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

Director

Ing. DANIEL ORTIZ PLATA, Esp.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION DE GERENCIA EN MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2017

Dedicatoria

A Dios por la bendición de la vida, la familia, el hogar, la vida espiritual y las grandes personas que nos rodean.

A mi familia, motor de todo proyecto. Mi mamá y su incondicional amor, Andrés, Jaime y Carolina, su respaldo infinito. Mi papá que en el cielo guarda de mí en todo momento.

Johana P. mi novia, por su respaldo y amor, en los momentos que más lo necesito.

Vincente, José Celis, Anselmo, sus grandes consejos en mi vida.

A todos ellos mi dedicatoria.

AGRADECIMIENTOS

El autor de este trabajo de grado le expresa sus más sinceros agradecimientos a:

El Ing. Daniel Ortiz Plata, Director de la monografía, quien brindo sus conocimientos para que este proyecto se cumpliera, dando su tiempo, confianza y colaboración para dicho propósito.

A PRIMADERA SAS, por permitir el tiempo y espacio, para el desarrollo del proyecto.

A los docentes de la Especialización de Gerencia de Mantenimiento, ya que nos aportaron muchos conocimientos y en muchos de los casos, cambiaron nuestra forma de ser profesionales.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	13
1. MARCO CONTEXTUAL	14
1.1 Misión	14
1.2 Visión.....	14
1.3 Productos.....	15
1.3.1 Primaplex	15
1.3.2 Primalit.....	15
1.3.3 Primacore	15
2. Planteamiento del Problema	16
3. Objetivos.....	20
3.1 Objetivo General.....	20
3.2 Objetivos específicos	20
4. Análisis de la literatura recopilada.....	21
4.1 Marco teorico.....	21
4.2 Marco conceptual: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.....	21
5. Proceso de producción.....	26
5.1 Generalidades.....	26
5.2 Proceso de producción laminados.....	29
5.3 Mantenimiento actual del proceso	32
6. Modelo RCM para la estación de armado 1	35
6.1 Sistemas	35
6.2 Funciones	36
6.3 Fallas funcionales.....	37
6.4 Modos de falla.....	38
6.5 Efectos de falla	39
6.6 Matriz de riesgo	40
6.6.1 Factor humano	40
6.6.2 Factor ambiental	41
6.6.3 Factor económico	41
6.6.4 Factor imagen.....	41

6.7 Tipos de decisión.....	42
6.7.1 Reacondicionamiento.....	42
6.7.2 Monitoreo:	42
6.7.3 Búsqueda de fallas:	42
6.7.4 Rediseño:	42
7. Elaboracion del plan de mantenimiento	43
8. Manufactura visual.....	48
9. Mantenimiento predictivo	49
10. Actualización del árbol de perdidas.....	51
11. Conclusiones.....	54
Bibliografía	56

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. FRONTERAS DE LOS SISTEMAS.	35
TABLA 2. FUNCIONES DE CADA SISTEMA.	36
TABLA 3. FALLAS FUNCIONALES.	37
TABLA 4. MODOS DE FALLA PARA SENSORES.	38
TABLA 5. PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA LA ESTACIÓN DE ARMADO 1.	47

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. TIEMPOS DE PARADAS NO PROGRAMADAS EN EL 2016 POR MANTENIMIENTO MECÁNICO Y ELÉCTRICO.....	17
FIGURA 2. TIEMPOS DE PARADA NO PROGRAMADA POR DEPARTAMENTO.	18
FIGURA 3. TIEMPOS DE PARADA NO PROGRAMADA POR ZONA.....	18
FIGURA 4. MATERIAL RECICLADO TRITURADO.....	26
FIGURA 5. ENTRADA A MOLINOS REFINADORES.....	27
FIGURA 6. LÍNEA DE FORMACIÓN, CONTROL.....	28
FIGURA 7. PROCESO DE FINALIZADO.	28
FIGURA 8. ENTRADA PROCESO LAMINADOS.	30
FIGURA 9. ESTACIÓN DE ARMADO 1.	30
FIGURA 10. PRENSA LAMINADOS.....	31
FIGURA 11. ZONA CALIDAD LAMINADOS.....	31
FIGURA 12. LISTADO DE INSTRUMENTACIÓN.	32
FIGURA 13. ESTÁNDAR DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO. ELECTROVÁLVULAS.	33
FIGURA 14. CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	33
FIGURA 15. FORMATO DE ANÁLISIS 5 POR QUÉ.....	34
FIGURA 16. MODOS DE FALLA MF1, MF2 Y MF3. ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
FIGURA 17. DESCRIPCIÓN DE TAREAS PARA LOS MODOS DE FALLA EN SENSORES.....	44
FIGURA 18. TAREAS DE MANTENIMIENTO PARA MOTORES.	46
FIGURA 19. MANUFACTURA VISUAL.	48
FIGURA 20. FORMATO MANTTO PREDICTIVO (PARTE 1).	49
FIGURA 21. CUADRO DE TERMOGRAFÍAS Y CORRIENTES.....	50
FIGURA 22. GRAFICAS DE COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS Y CORRIENTES EN EL TIEMPO.	50

FIGURA 23. TIEMPOS DE PARADAS NO PROGRAMADAS DE MANTTO
MECÁNICO Y ELÉCTRICO EN EL 2017.52

FIGURA 24. TIEMPOS POR DEPARTAMENTO EN 2017.....53

FIGURA 25. TIEMPOS DE PÉRDIDA EN PROCESO EN EL 2017.53

LISTADO DE ANEXOS.

(Ver anexos adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la Base de datos de la biblioteca UIS)

Anexo A. Diagrama proceso de produccion Laminados (medio magnetico).

Anexo B. Diseño y plan de mantenimiento basado en RCM para la estacion de armado 1 (medio magnetico).

INTRODUCCION

Primadera SAS nació a principios del año 2012 en el municipio de Gachancipa, ubicado en las afueras de Bogotá hacia la salida a Boyacá, por la necesidad creciente de tableros aglomerados más económicos, de mejores propiedades mecánicas y, sobre todo, que piense más en el medio ambiente por su inclusión de materiales reciclados.

Bajo la inversión y dirección del grupo Sandford, Primadera SAS adquiere líneas de producción continuas de la marca Siempelkamp, provenientes de Alemania e Irlanda, siguiendo los lineamientos que han hecho de este grupo uno de los más grandes de Colombia, utilizando líneas de producción de segunda y realizando un overhauling completo a estas, colocándolas a punto, innovando con tecnología que es nueva para Colombia y ampliando la oferta laboral para los sectores colombianos.

Tras ya 5 años de montaje, arranque y operación, PRIMADERA SAS pretende abarcar el gran mercado colombiano de tableros aglomerados de media densidad, innovando con tableros de medidas según el cliente, colores según aplicación, resinas que brinden resistencias mecánicas mayores al estándar, propiedades antibacterianas para la fabricación de cocinas, entre otros.

De esta manera, PRIMADERA SAS se proyecta en el mercado colombiano, como una empresa que piensa en el medio ambiente, rentable y familiar.

1. MARCO CONTEXTUAL

1.1 MISIÓN

“Somos una organización manufacturera dedicada a la fabricación de tableros de madera aglomerada MDP (“Medium Density Particle Board” en inglés) o tableros de partículas de madera de densidad media, en diferentes espesores, tamaños y acabados decorativos.

Nos distingue nuestro compromiso con el suministro de un producto de alta calidad, enfocado a atender y a sobrepasar las expectativas de los clientes con una oferta variada y llamativa, que refleja las últimas tendencias mundiales en diseño.

Creemos en nuestra responsabilidad de contribuir a la comunidad, no solo al desarrollo del Municipio de Gachancipá, sino también al de la región y del país.”¹

1.2 VISIÓN

“Primadera será reconocida como la principal marca de tableros de madera aglomerada “Premium” del país. Nuestra amplia gama de opciones novedosas y llamativas reflejará las últimas tendencias y nuestro compromiso con la innovación. Nuestros productos serán parte fundamental en la carpintería arquitectónica, buscando introducir nuevas dinámicas en la categoría.

Los arquitectos, constructores, diseñadores de interior, carpinteros, distribuidores y los demás implicados en la cadena de uso de los tableros aglomerados verán la oferta de Primadera como una solución innovadora a sus requerimientos.

¹ PRIMADERA SAS (Online). <http://www.primadera.com/nosotros/quienes-somos>.

Por la naturaleza de nuestro negocio, Primadera será un actor pionero en el desarrollo de la madera urbana, en la re-utilización de la misma y será reconocida como una de las compañías que más aporta a su conservación y extensión en su ciclo de vida útil.”²

1.3 PRODUCTOS

1.3.1 Primaplex

Este es el nombre comercial para el tablero aglomerado crudo, es decir, que no tiene recubrimiento de papel melamínico en ninguna de sus dos caras. Este tablero es especial para trabajos donde el acabado superficial es dado por el cliente, donde se pinta, lamina o enchapa directamente por el carpintero. Este tablero está disponible tanto en la presentación estándar “CR” y la resistente al agua “RH” en espesores de hasta 45mm.

1.3.2 Primalit

Esta es la presentación de tablero aglomerado delgado, el cual puede ir desde 2.7mm hasta 5.5mm. Aun cuando es delgado, sus propiedades mecánicas son altas, su acabado es fino y la variedad de formatos permite al carpintero, generar planes de corte donde la pérdida de material es mínima. Este producto se puede encontrar al igual que el Primaplex, crudo en RH o CR. También podemos encontrarlo laminado con Finish Foil en gran variedad de colores.

1.3.3 Primacore

² PRIMADERA SAS (Online). <http://www.primadera.com/nosotros/quienes-somos>

Esta es la presentación de tablero de altos espesores, con papel melamínico decorativo en las mismas presentaciones que los anteriores productos (RH y CR). El papel decorativo es adherido bajo alta temperatura y presión, lo cual otorga al tablero una superficie resistente y durable en todos los colores y texturas que el portafolio de PR1MADERA SAS ofrece.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

PR1MADERA S.A.S. es una empresa del Grupo Sandford, que nace a principios del año 2012 en el municipio de Gachancipa, por la necesidad a nivel nacional de un tablero MDP económico y de buena calidad, aprovechando el recurso natural tan grande que tiene Colombia a nivel de bosques y la fuerte iniciativa de sus propietarios de usar material reciclado, utilizando tecnología apropiada para su tratamiento y disposición.

Para cumplir este objetivo, la empresa esta dimensionada con 5 diferentes procesos que cubren tres tipos de productos (PRIMAPLEX, PRIMACOR, PRIMALIT), los cuales se diferencian por su espesor o por traer papel melaminico.

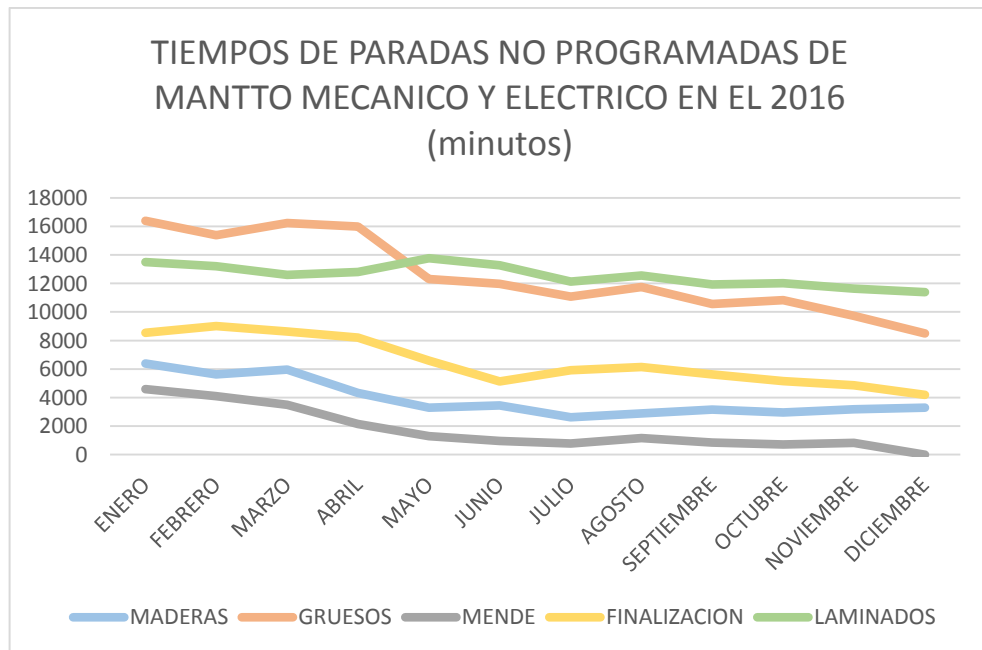
En este orden de ideas, PR1MADERA S.A.S. realiza los siguientes 5 procesos de producción:

1. Proceso Maderas, la cual produce la materia prima (Chips) triturando troncos de madera de hasta 30cm de diámetro y secándolos para dejarlos a máximo 3% de humedad.
2. Proceso Mende, la cual tiene una calandra como prensa y produce el tablero MDP delgado (**PRIMALIT**, hasta 8 mm).

3. Proceso Gruesos, la cual tiene una prensa continua de 13 marcos para fabricación del tablero MDP grueso (**PRIMAPLEX**, hasta 45mm).
4. Proceso Finalización, que tiene 6 agregados (lijadoras) que pulen los tableros para luego ser cortados en dos diferentes sierras modulares a lo largo y ancho del tablero, consiguiendo cualquier medida que el cliente solicite.
5. Proceso Laminados, el cual, por medio de presión y temperatura, adhieren papel melamínico al tablero (**PRIMACOR**). Este último proceso maximiza en un 70% el precio del tablero, comparado con un tablero crudo.

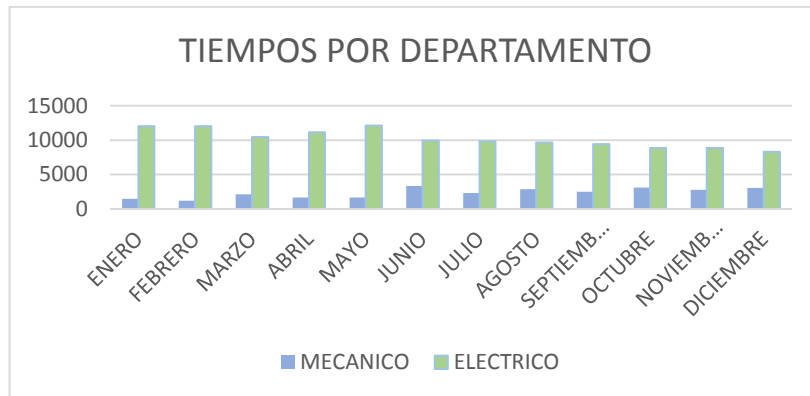
Durante todo el año 2016 y como se ve en la siguiente figura (paradas no programadas), se observa que el proceso que más paradas no programadas tuvo fue el proceso de Laminados.

Figura 1. Tiempos de paradas no programadas en el 2016 por mantenimiento mecánico y eléctrico.



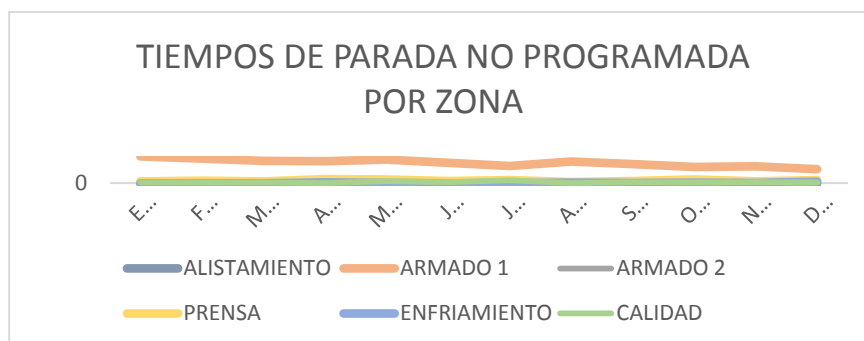
Ahora bien, si se desglosan estos tiempos puntualmente por departamento, podemos verlo de la siguiente manera (Figura 2), donde se ve enmarcado el impacto a nivel eléctrico dentro de las paradas de producción en el proceso de laminados.

Figura 2. Tiempos de parada no programada por departamento.



Al estar el proceso Laminados construido para trabajo en forma continua (ver Anexo A) y no tener equipos que sirvan de by-pass, cualquier falla en cualquiera de los puntos diferentes a la entrada de la línea hace que esta se detenga por completo. Como se ve en la siguiente figura, que es puntual del proceso laminados del año 2016, es la estación de armado No. 1 la que presenta más paradas de producción, por perdidas de ciclo en automático, sensores que no detectan, entre otros.

Figura 3. Tiempos de parada no programada por zona.



La estación de armado No. 1, cuenta con los equipos más antiguos y la parte del proceso más complicada en cuanto a programación, por la ubicación de los tableros con el papel de manera milimétrica. Por lo tanto, el siguiente proyecto, diseña un plan de mantenimiento netamente eléctrico basado en confiabilidad para la maquina más crítica de la línea, la cual es la estación de armado No. 1, con el fin aumentar la disponibilidad del proceso Laminados.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Aumentar la disponibilidad del proceso Laminados, realizando el diseño de un plan basado en la metodología RCM para los equipos de la estación de armado No. 1.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis de modos y efectos de fallas en la estación de armado No. 1.
- Realizar un análisis de criticidad de los equipos de la estación de armado No.1.
- Diseño de la metodología RCM en la estación de armado No.1.
- Actualización del árbol de fallas y tareas de mantenimiento de la estación de armado No.1

4. ANÁLISIS DE LA LITERATURA RECOPIADA

4.1 MARCO TEORICO

El mantenimiento data desde el inicio del pensamiento y habilidades del hombre, y se le dio una mayor importancia desde los inicios de las plantas industriales de producción masivas, donde se empezó con mantenimiento netamente correctivo y con el tiempo fue evolucionado en las hoy diferentes ramas o metodologías de mantenimiento, usadas en pro de la mantenibilidad de los activos.

En el año 1978 nace una de estas metodologías con el propósito de ayudar en el aseguramiento de la rentabilidad de la industria de la aviación. Después de ver los buenos resultados que tuvo esta estrategia, fue implementada en otras industrias dando resultados favorables. Por darle la importancia que cada elemento perteneciente a un sistema tiene, viéndolo desde el punto de vista de su función y como el sistema puede llegar a falla por perder esta función, esta metodología fue llamada Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM.

4.2 MARCO CONCEPTUAL: MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

“Un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.”³ Según esta definición, el RCM pretende mantener la funcionalidad de cada activo físico, basándose en como este podría llegar a perder su función y en qué forma. El RCM lista todas estas posibles fallas y sus consecuencias, para que con base en esto se determine la criticidad de los

³ MOUBRAY. John. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc. 1997. 421p.

equipos y, de esta recopilación de información, se pueda lograr el diseño óptimo del plan de mantenimiento.

El RCM se basa en 7 preguntas básicas donde se aborda el sistema a estudiar de la siguiente manera:

- **¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?**

Esta pregunta busca conocer las funciones del activo en el contexto operacional y los parámetros en los que estas funciones se cumplen. El libro de Moubray sugiere dividir las funciones en primarias y secundarias. Se resalta que en algunos ejemplos de implementación de RCM prefieren priorizar todas las funciones como primarias, para no caer en el error de pensar que una función secundaria no es tan relevante como la primaria.

La siguiente es la definición de función primaria y secundaria tomada del libro de RCM II de Moubray:

“Funciones primarias, que en primera instancia resumen el porqué de la adquisición del activo. Esta categoría de funciones cubre temas como velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, cantidad de producto y servicio al cliente.

Funciones secundarias, la cual reconoce qué se espera de cada activo, que haga más que simplemente cubrir sus funciones primarias. Los usuarios también tienen expectativas relacionadas con las áreas de seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales y hasta la apariencia del activo.”⁴

⁴ MOUBRAY. John. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc. 1997. 421p.

- **¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?**

Básicamente se dice que un activo no desempeña su función porque entró en falla. El RCM identifica qué falla puede ocurrir en dos niveles. Inicialmente identifica las circunstancias que llevaron a la falla y segundo, intenta analizar los eventos que llegan a causar dichas fallas.

Cuando el activo sale de sus parámetros de funcionamiento, inclusive parcialmente, se le denomina falla funcional ya que pierde por completo su función o lo hace parcialmente de manera inaceptable en el contexto operacional.

- **¿Cuál es la causa de cada falla funcional?**

En este paso, se pretende buscar los hechos que pueden causar el estado de falla. Este análisis se puede basar en la experiencia o intuición, es decir, podemos basarnos en historiales de fallas de equipos similares o los propios, o inclusive fallas que se considerarían posibles de ocurrir en el contexto del equipo.

Por lo general dichas fallas son listadas por causas de deterioro o desgaste en el uso normal del equipo, pero, para ser más exactos, en la resolución de la mayor cantidad de posibles fallas, es importante añadir a la lista las fallas causadas por errores humanos y errores de diseño. De igual manera, es bueno describir de la mejor y más corta manera la causa de la falla, para no perder tiempo tratando síntomas y no causas de falla.

- **¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?**

En este paso se realiza un listado de los efectos de falla, los cuales muestran qué ocurre en cada modo de falla. Esta información debe ser corta, concisa, tratando de describir de la mejor manera el efecto de la falla.

“El proceso de identificar funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos de falla trae asombrosas y, muchas veces, apasionantes oportunidades de mejorar el rendimiento y la seguridad, así como también de eliminar el desperdicio.”⁵

- **¿En qué sentido es importante cada falla?**

Los modos de falla pueden ser diversos y afectar de manera independiente varias áreas como el medio ambiente, las operaciones, la seguridad y/o la calidad del producto. La metodología del RCM determina la criticidad de cada falla, evaluando la gravedad de cada consecuencia y los clasifica en 4 tipos:

Consecuencia de falla oculta: Las fallas ocultas son fallas que no tienen un impacto directo, pero puede evolucionar en una consecuencia grave para la organización.

Consecuencias ambientales y para la seguridad: fallas que infringen normativas ambientales nacionales o internacionales y que afecten la seguridad, causando lesiones y hasta la muerte de una persona.

Consecuencias operaciones: fallas que afectan la producción.

Consecuencias no-operacionales: estas fallas no afectan la producción ni la seguridad, pero implican un costo para la organización.

- **¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?**

El RCM en este paso olvida los conceptos convencionales de mantenimiento, en los que se pensaba que entre más rápido se cambiaran piezas en un equipo,

⁵ MOUBRAY. John. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc. 1997. 421p

menos iba a fallar. Cuando las consecuencias de las fallas son menores, podemos eliminar el mantenimiento preventivo.

Para prevenir, predecir y disminuir las consecuencias de falla, el RCM clasifica tres tipos de tareas, así:

Tareas de reacondicionamiento: Se re-fabricar o reparar un componente sin importar de que llegue a su límite de edad.

Tareas de sustitución cíclica: Se sustituye un componente antes de que llegue a su límite de edad, sin importar su estado actual. Muy utilizado en la aviación.

Tareas de condición: teniendo en cuenta que toda falla da siempre indicios que van a ocurrir, se denominan tareas a condición, porque el equipo se deja operativo a condición de que continúe alcanzando los parámetros de funcionamiento adecuados. Estas tareas pueden ser predictivas, basadas en condición o monitoreo basado en condición.

- **¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?**

En este paso, cuando cualquier tarea proactiva que se pudiera manifestar en el plan de mantenimiento no es efectiva, se dice que se debe realizar una nueva búsqueda de fallas, rediseño o mantenimiento a rotura.⁶

⁶ VIZCARRO PEDRET, Laia. Aplicación del modelo Reliability-Centred Maintenance (RCM) en líneas de distribución de Alta Tensión. Universitat Politècnica de Catalunya. Catalunya, 2009.

5. PROCESO DE PRODUCCIÓN

5.1 GENERALIDADES

PR1MADERA SAS está estructurada en 5 procesos de producción, que empiezan con la recepción y tratamiento de la madera y terminan con la laminación de tableros crudos, de la siguiente madera.

En el primer proceso de producción, denominado Maderas, tenemos la recepción de material verde y reciclado. El material verde pasa por un triturador de 315 Kw, el cual entrega el chip en un tamaño menor, para lograr ser manejado en la siguiente parte del proceso. El material reciclado debido a que es más pequeño y seco, pasa por otro tipo de triturador de 210Kw, para que de igual manera que el material verde, se deje un tamaño óptimo para su manejo.

Figura 4. Material reciclado triturado.



El material en este momento, pasa por unos molinos que refinan el tamaño a uno que es el que realmente se utiliza para la fabricación del tablero aglomerado. Este material es almacenado en silos denominados de “madera húmeda”. De aquí se sobreentiende que el siguiente paso es eliminar la humedad de los chips, ya que

esta impide la adherencia de la resina con la madera. Para lograr esto, pasamos el material por un gran tambor que está inundado de gases a alta temperatura. Esto hace que la madera quede con máximo 3% de humedad, lo cual es lo óptimo para que las reacciones químicas den lugar a enlaces internos de gran calidad.

Figura 5. Entrada a molinos refinadores



Este material ya seco, es tamizado en zarandas de 8 toneladas de capacidad por hora, para poder escoger los tamaños de partícula óptimos, para definir las dos capas que contiene un tablero MDP. Estos chips son almacenados en grandes silos denominados de “madera seca”. De allí son entregados al siguiente proceso de producción, Contirrol. Allí, por medio de máquinas formadoras, se fabrica un colchón de madera el cual está ya mezclado con los aditamentos químicos que le dan las propiedades mecánicas al tablero.

Figura 6. Línea de formación, Control.



Este colchón es enviado por medio de una banda de manera continua, a una prensa que actúa en forma de cuña, comprimiendo el colchón de manera continua también, donde por medio de presión y temperatura, se cura el colchón y produciendo tablero MDP. Este tablero debe ser enfriado y almacenado, antes de poder ser enviado al próximo proceso de producción, el cual se denomina Finalización.

Figura 7. Proceso de Finalizado.



En el proceso de finalización y por medio de la orden de producción, se definen los espesores y medidas finales que el cliente desea. Por medio de bandas transportadoras, el tablero Master es dirigido a las lijadoras, las cuales definen el perfecto acabado superficial del tablero y por supuesto, el espesor del mismo. Después de esto, el tablero es cortado de manera longitudinal y/o transversal, dando las medidas que el cliente desea. Finalmente, el tablero es almacenado en pallets de hasta 45 tableros.

Si el tablero debe ser laminado con papel melaminico, este ingresa al proceso laminados, para tal propósito. Esta línea, básicamente recibe los tableros crudos por un lado y por el otro el papel melaminico. En las estaciones de armado, hacen lo que se denomina el Sandwich, un papel por debajo, un tablero en el medio y un tablero arriba. Este ingresa a una prensa, en donde por medio de presión y temperatura, el papel queda adherido al tablero.

5.2 PROCESO DE PRODUCCIÓN LAMINADOS

Los equipos que componen el proceso de producción Laminados, fueron adquiridos por el grupo Sandford en el 2012 en Alemania, a una empresa que estaba en proceso de renovación tecnológica. Estos equipos datan de más o menos 30 años atrás, por ende, la tecnología usada para su automatización, es bastante antigua. El proceso cuenta con sistemas de aceite térmico para la prensa, Sistemas hidráulicos, Aire comprimido, sistemas de vacío, mesas de rodillos, bandas transportadoras, Sistemas eléctricos de 440AC, 220AC, 110 AC entre otros.

Básicamente el proceso se basa en la recepción de tablero aglomerado crudo por un lado y paralelo a este, un sistema de recepción de papel melaminico se encarga de alinearlos y disponerlos en una banda donde inmediatamente se

colocará el tablero encima. Esta parte es la que denominamos Estación de armado 1 y es el objeto de estudio de este proyecto.

Figura 8. Entrada proceso Laminados.



Después de esto, el conjunto papel inferior y tablero, es ubicado en una segunda banda donde será ubicado el papel superior. Por medio de generadores de estática, se adhiere el papel al tablero con una potencia de 60Kva que son inyectados por medio de las barras de estática al sándwich. El objetivo principal de esta tarea, es que cuando se suelte dicho sándwich dentro de la prensa, el papel no se corra ni se rompa fácilmente.

Figura 9. Estación de armado 1.



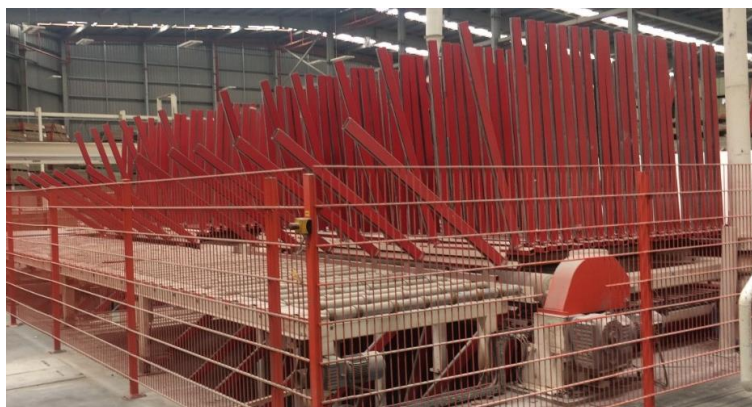
Como se mencionó, el tablero con los dos papeles (inferior y superior), es llevado a la prensa, donde con una temperatura promedio de 190°C y una presión de 220 Bar, con un tiempo de prensado de 38 segundos. Bajo estas condiciones, los aditamentos que contiene el papel, más la resina que contiene el tablero, reaccionan químicamente y hacen que el papel se adhiera por completo al tablero.

Figura 10. Prensa Laminados.



Finalmente, a la salida de la prensa, los tableros melaminicos son transportados por bandas hasta una estación de calidad, donde se evaluará si es primera, segunda o tercera calidad. La disposición de la maquinaria se puede observar mejor en el Anexo A.

Figura 11. Zona calidad Laminados.



5.3 MANTENIMIENTO ACTUAL DEL PROCESO

Como se mencionó anteriormente, la maquinaria adquirida es de segunda y no contiene manuales de operación y/o mantenimiento que permitan tener una base para realizar estas labores. Para poder diseñar un plan de mantenimiento piloto, el equipo de mantenimiento realizo un barrido total al proceso, para conocer la instrumentación que se tiene en campo.

Esta primera lista contiene información detallada de la instrumentación y motores que tiene cada equipo, donde se indica el tipo de instrumento y el tag del mismo, para poder ubicarlo en los planos eléctricos. Este primer listado fue aprovechado por el planeador de mantenimiento, para verificar los sensores especiales, que normalmente deben ser importados por que tienen funciones especiales, o porque simplemente no son muy comerciales y se hacen únicamente bajo pedido.

Figura 12. Listado de instrumentación.

E.1.PRENSA	Sensor de Temperatura	01-B11	1
		01-R1PT	1
		01-R2PT	1
		63-R3PT	1
		63-R4PT	1
		63-R5PT	1
		63-R6PT	1
	Sensor Filtro	01B16	1
		01B18	1
	Reguladores de Presion	02-B5.1	1
		02-B5.2	1
		02-B6.1	1
		02-B6.2	1
		02-B7.1	1

Como segunda medida, se crean estándares de mantenimiento preventivo, donde se describe paso a paso como se debe realizar la tarea y cual herramienta se debe utilizar. Esto con el fin de controlar las acciones realizadas por lo técnicos y de minimizar el tiempo de realización de las tareas, realizándolas de una manera más segura.

En lo que respecta al mantenimiento correctivo, la labor se lleva a cabo hasta recuperar la función del equipo. El departamento de producción por medio de órdenes de trabajo direccionadas al grupo de mantenimiento, llevan a cabo la labor de restablecer el funcionamiento de los equipos. Estas órdenes de trabajo sirven para llevar un historial de tiempos de producción y/o fallas, tiempos de reacción del grupo de mantenimiento, entre otras, con el objetivo de generar un árbol de fallas, donde se expone qué área necesita más gestión y que fallas son más repetitivas en el periodo de tiempo. Después de esto, se genera una investigación de la falla con la metodología de los 5 porque y se genera lección de un punto, donde se busca que la parte operativa y de mantenimiento, sepan por qué ocurrió la falla y como llegar a prevenirla. La figura 15, muestra parte del formato del análisis de 5 porque, donde ingresamos los datos del problema que ocurrió. El propósito de esta metodología, es profundizar 5 veces en la falla ocurrida y encontrar la solución definitiva de la misma, ahondando en la real causa de la falla. Esta metodología es muy utilizada en la empresa, por ser fácil, participativa y eficiente.

Figura 15. Formato de análisis 5 por qué.

PRIMADERA				REGISTRO No.		
				JEFE DE EQUIPO	LIDER	NOMBRE
FORMATO DE ANALISIS 5 POR QUÉ						
LINEA		PROBLEMA				
SISTEMA						
FECHA DEL EVENTO		TIEMPO REPARACION		CATEGORIA	<input type="checkbox"/> Esporádico	
FECHA RESTAURACION		TIEMPO PERDIDO			<input checked="" type="checkbox"/> Crónico	
5W s 1H		HECHOS OBSERVADOS	DIFERENCIA CON LO NORMAL?	FRECUENCIA (CUANTOS)?		
	QUE					
	CUANDO					
	DONDE					
	QUIEN					
	CUAL					
COMO						

6. MODELO RCM PARA LA ESTACIÓN DE ARMADO 1

6.1 SISTEMAS

El equipo de estudio como se mencionó anteriormente es la estación de armado 1, que pertenece al proceso de producción Laminados (Marca Siempelkamp y referencia Short cycle C320). Potencia instalada 80Kw, Sistema neumático de aire comprimido de hasta 4Bar de capacidad. Aproximadamente transporta 240 tableros por hora.

Tabla 1. Fronteras de los sistemas.

SISTEMA 1	SISTEMA 2
FRONTERAS	
Sistema eléctrico de la mesa de almacenamiento # 25 (únicamente zona de carga superior)	PLC 414 PN DP
Sistema eléctrico mesa basculante # 22 y mesa alineadora de papel # 79	Red de profibus del PLC
Sistema eléctrico de la banda transportadora de tableros #26	Pantalla de control
Sistema eléctrico de la mesa de transporte y ubicación # 20 y 21	
Sistema eléctrico del carro transportador de tableros #19	

Se definen dos sistemas, los cuales comprenden la instrumentación y motores del equipo como tal y, por otro lado, los equipos que componen su automatización, como lo es el PLC, esclavos de comunicación y pantalla de operación. Como se ve en la tabla 1.

6.2 FUNCIONES

Para realizar el estudio de Confiabilidad basado en la metodología RCM y con la ayuda del equipo de mantenimiento eléctrico, se definen las funciones que cumple cada sistema. Para el sistema 1, se definen teniendo en cuenta que al sistema le ingresa como tal, tablero aglomerados crudos, papel melaminico y este a su vez, le entrega a la estación de armado 2, el tablero crudo con el papel melaminico inferior. Las demás funciones que se puedan llegar a pensar, como transportar el tablero de un lado a otro, o centrar el papel en la mesa 26, son internas del sistema y se solucionaran directamente, si se garantiza que las funciones citadas se cumplan a cabalidad.

Las funciones del sistema dos, se basan en la característica fundamental de un PLC, la cual es procesar los datos que fueron diseñados en el programa del equipo y convertirlos en señales que determinaran los movimientos de los mecanismos de la estación de armado 1, para lograr entregar el tablero con papel a la estación de armado 2. Estas funciones se pueden observar en la tabla 2.⁷

Tabla 2. Funciones de cada sistema.

SISTEMA 1	SISTEMA 2
FUNCIONES	
Entregar tablero crudo ubicado dentro del área que abarca el papel melaminico en perfecto estado a la estación de armado 2.	Traducir el programa de PLC, en el correcto funcionamiento automático de la estación de Armado # 1.
Recibir papel melaminico de la estiba de papel	Realizar la comunicación entre todos los esclavos de la red profibus

⁷ ALBARRACIN JAIME, Yesid Alfonso. LIENDO ROMERO, Lucas Augusto. modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (rcm) para maquinas fabricadora de hielo polares p-180. UIS, Bucaramanga, 2014.

Recibir tableros crudos de las
mesas de apilamiento

Permitir al operador la
operación de la estación de
Armado # 1

6.3 FALLAS FUNCIONALES

Con base en las funciones de los dos sistemas establecidos, se formulan las siguientes fallas funcionales:

Tabla 3. Fallas funcionales.

Cod. Falla Funcional	FALLA FUNCIONAL
FF1	No entrega tablero ubicado dentro del área que abarca el papel melaminico a la estación de armado 2.
FF2	Entrega el tablero a la estación de armado 2 pero con el papel corrido
FF3	Entrega el tablero a la estación de armado 2 pero con el papel despegado
FF4	No recibe tableros crudos de las mesas de apilamiento
FF5	No recibe papel melaminico de la estiba de papel
FF6	No traduce el programa de LADDER
FF7	No realiza comunicación entre los esclavos de la red profibus
FF8	No permite al operador, maniobrar la estación de Armado # 1

Estás buscan describir como las funciones de nuestros sistemas se llegan a perder, sin tener en cuenta como la función por ejemplo de la pantalla de operación, es brindarle un sistema visual y esquemático al operario, para

maniobrar la estación de armado. Por lo tanto, se define la falla funcional FF8, como “no permite al operador, maniobrar la estación de Armado # 1”.

6.4 MODOS DE FALLA

Se determina con el equipo de mantenimiento, que todos los sensores de la estación de armado, tienen en común 5 modos de falla.

Tabla 4. Modos de falla para sensores.

Cod. Modo	Modo de Falla
MF1	El sensor 21B03 quemado
MF2	El sensor 21B03 presenta corto circuito
MF3	El sensor 21B03 fuera de posición
MF4	Señal del sensor 21B03 intermitente
MF5	El sensor 21B03 desenergizado

Como tal el sensor puede llegar a dañarse por completo, puede funcionar de manera variable y generando un corto circuito en el barraje de 24 voltios, puede que este fuera de posición y haga que los mecanismos se choquen, por haber salido de su posición de trabajo. En muchas de las ocasiones, por temas de desgaste y vibración, los cables llegan a soltarse generando señales intermitentes que detienen también el ciclo automático. Finalmente, el grupo de mantenimiento determina que, en muchas de las ocasiones, los sensores llegan a estar desenergizados, por problemas en los barrajes de 24 Voltios.

De esta manera, se determinan 28 modos de falla para las 8 fallas funcionales que se mostraron en la tabla 3 y que fueron determinadas por la experiencia del grupo de mantenimiento. Esta información se puede encontrar dentro del anexo 2, donde el diseño del plan de mantenimiento basado en RCM para la estación de armado 1.

6.5 EFECTOS DE FALLA

Los efectos de falla describen las consecuencias negativas de cada modo de falla y que terminan en la mayoría de las ocasiones, con la pérdida de la función del equipo. A continuación, se presentan una breve descripción de los efectos de falla, los cuales son encontrados en el anexo 2, donde se encuentra todo el plan del equipo basado en RCM.

Cuando se habla de sensores, la consecuencia inminente es la pérdida del automático del equipo, deteniendo la línea. Las tareas correctivas, resultantes de dicha falla, por lo general son el cambio del sensor, retorqueo de cableado y en el peor de los casos, la revisión del cableado de control para encontrar cortos en dichas líneas. Estas labores correctivas pueden llegar a demorarse más, cuando el personal técnico no tiene conocimiento de los sensores, de la ubicación en almacén. Es importante mantener al grupo de mantenimiento, totalmente informado del inventario de repuestos de la instrumentación existente de la línea.

En el caso de los motores, la acción correctiva es mucho más larga. Se debe verificar si el daño proviene de algún corto en potencia o si la protección está dañada. Se deben revisar las líneas de potencia y realizar retorqueo en todos los puntos de conexión desde el barraje de potencia, hasta llegar al motor. Mecánicamente el motor debe ser retirado del mecanismo y reemplazado por uno nuevo. En el caso de que el motor tenga un variador, este debe ser nuevamente configurado. Realmente es poco probable que un equipo de estos se llegue a

dañar, pero como acción preventiva, se están realizando toma de corrientes mensual, con el fin de proyectar en el tiempo, posibles desgastes en alguna de las bobinas.

En equipos electrónicos como el generador de estática y el PLC, tienen un tratamiento totalmente diferente. El hecho de que un equipo de estos este dañado, es muy difícil de controlar. La electrónica es en muchas ocasiones, demasiado sensible a fluctuaciones en la alimentación y esto hace que el diagnostico sea prácticamente imposible. Las tareas correctivas en estos casos se resumen a cambiar el equipo, cargar los programas y/o configuración y realizar el arranque de línea. Como acciones preventivas, se revisa continuamente el aterrizaje de estos equipos, se realizan retorqueros y limpiezas. Actualmente se está instalando una UPS al PLC, para suplir ausencia de energía, pero sin control de picos de voltaje, ya que esto lo hace un DPS.

En resumen, siendo este sistema una secuencia muy lineal, todos los instrumentos se convierten tan esenciales para la continuidad del automático, que cualquier problema en un solo elemento, repercute en la pérdida del ciclo en la estación de armado. También se logra identificar que el lucro cesante en la mayoría de los casos, es mucho mayor que el costo del repuesto.

6.6 MATRIZ DE RIESGO ⁸

El diseño de la matriz de riesgo se determina en cuanto a los siguientes aspectos:

6.6.1 Factor humano

La escala promedio de las matrices de riesgo investigadas, muestran un riesgo nivel 5 para fatalidades y nivel 0 para no lesiones. Los puntos

⁸ ROJAS PAREDES, Deivis. Diseño de una estrategia de mantenimiento basada en rcm para la impregnadora marca tocchio de la empresa lamitech s.a.s. UIS, Bucaramanga, 2014.

intermedios, son riesgos donde el impacto es progresivo empezando desde la no lesión, pasando por una lesión leve, lesión menor, incapacidad mayor a 1 día, incapacidad permanente y finalmente la fatalidad. Dentro del estudio se observa, que el riesgo de lesiones al ser humano es relativamente bajo, donde el mayor riesgo que se puede llegar a tener, es realizando alguna revisión al generador de estática o cuando los sensores pierden la posición y los mecanismos chocan con las estructuras o stops mecánicos.

6.6.2 Factor ambiental

De igual manera, la escalización del riesgo ambiental y que fue utilizada para el proyecto, describe como menor riesgo “Ningún efecto al medio ambiente” y aumentando progresivamente hasta llegar a contaminación irreparable. Dentro de lo observado en el proyecto, solo llegamos a tener efectos leves, cuando un equipo se daña y tenemos que realizar la disposición de este. Gracias a un proyecto interno de la empresa con un tercero, la disposición de RAEEES se realiza bajo norma. De esta manera, el riesgo que se designó para las situaciones mencionadas es nivel 1, Efecto leve.

6.6.3 Factor económico

La escalización de este factor se realizó en base al costo de los repuestos más el lucro cesante por la falla en la operación.

6.6.4 Factor imagen

Los niveles designados en este factor, implican en el nivel más bajo, si la falla no genera ninguna clase de impacto, o por lo contrario, la falla llega a tener consecuencias que salen de la empresa y llegan a verse a nivel internacional. En lo que respecta al estudio realizado, vemos que lo más

alto que puede llegar este factor, es a un nivel 1 donde la imagen se ve afectada únicamente a nivel interno de la planta.

6.7 TIPOS DE DECISIÓN ⁹

6.7.1 Reacondicionamiento

Para el caso de estudio, el reacondicionamiento es la acción en la que devolvemos la condición básica del instrumento o actuador. Generalmente este reacondicionamiento se resume en labores de mantenimiento donde se hacen retorqueos de cables de potencia y control, retorqueo de bases de soportes entre otras.

6.7.2 Monitoreo:

En esta labor, se busca predecir por medio de toma de corrientes, temperaturas o inspecciones visuales posibles fallas que puedan afectar la correcta operación de la línea.

6.7.3 Búsqueda de fallas:

Esta tarea consiste en realizar la investigación de una falla que es oculta o no evidente, bajo circunstancias normales de operación del equipo.

6.7.4 Rediseño:

En estos casos, se realiza una tarea de rediseño cuando no se logra encontrar una tarea de mantenimiento que permita eliminar la falla.

Con la ayuda de la matriz de riesgo expuesta en el literal 6.6 y el árbol de decisiones de la norma SAE JA 1012 del 2002, se definen las acciones a tomar para prevenir cada modo de falla. En resumen, se observa que todos los modos de falla se podrían llegar a prevenir con monitoreos y

⁹ BERNAL LOPEZ, Pablo Martin. modelo estratégico de mantenimiento para las subestaciones y redes eléctricas de media tensión de una planta siderúrgica basado en la metodología rcm. UIS, Bucaramanga, 2014.

reacondicionamientos de los equipos. Ya que todas las fallas son “no ocultas”, no se ve viable el uso de la tarea “búsqueda de fallas”. En cuanto al rediseño, no es viable por costos y por qué las tareas de reacondicionamiento y monitoreo, suplen las necesidades iniciales del proyecto.

7. ELABORACION DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Con base en el estudio realizado a la estación de armado, y teniendo en cuenta la experiencia del personal operativo y de mantenimiento del proceso, se diseña un plan que busca crear un cronograma de actividades de monitoreo y reacondicionamiento de los equipos que componen el sistema, buscando aumentar su confiabilidad.

Este plan se basó en dos actividades, monitoreo como acción predictiva y reacondicionamiento como preventiva. En general podemos ver, que todos los sensores tienen 5 tipos diferentes de falla, y que su prevención se puede dar con simplemente revisar la correcta ubicación del mismo, verificación de alimentaciones, retorqueo de cableados, entre otras.^{10 11}

¹⁰ ANGEL SUAREZ, Carlos Arturo. Modelo de organización y gestión para el mantenimiento de sistemas instrumentados de seguridad aplicando rcm. UIS, Bucaramanga, 2014.

¹¹ RACEDO MATERON, Manuel Francisco, VELASQUEZ OSPINA, Jonathan, Plan de mantenimiento basado en un estudio de confiabilidad para las válvulas de seguridad de las plantas de polietileno I y II de la refinería Barrancabermeja Ecopetrol SA, UIS, Bucaramanga, 2010.

Figura 16. Modos de falla MF1, MF2 y MF3

Cod. Func.	FUNCION	Cod. Falla Func.	FALLA FUNCIONAL	Cod. Modo Falla	Modo de Falla	Valor economico del Riesgo	Decision
F1	Entregar tablero ubicado dentro del area que abarca el papel melaminico a la estacion de armado 2.	FF1	No entrega tablero ubicado dentro del area que abarca el papel melaminico a la estacion de armado 2.	MF1	El sensor 21B03 quemado	\$10,672,483	-Reacondicionamiento
F1	Entregar tablero ubicado dentro del area que abarca el papel melaminico a la estacion de armado 2.	FF1	No entrega tablero ubicado dentro del area que abarca el papel melaminico a la estacion de armado 2.	MF2	El sensor 21B03 presenta corto circuito	\$15,583,724	-Reacondicionamiento

De esta manera se generaliza, que para todos los sensores se deben llevar a cabo las siguientes tareas de monitoreo y reacondicionamiento, con la ayuda del operador y con las secuencias mostradas en la tabla 5.

Figura 17. Descripción de tareas para los modos de falla en sensores.

Elemento	Tipo de tarea	Descripcion de tarea	Recursos
Sensor	Reacondicionamiento	Realizar retorqueo de los cables de control del sensor. Verificar la posicion de la base del sensor y ajustarla. Realizar limpieza general.	1 Tecnico Electrico, caja de herramientas, EPP's.
	Monitoreo	Medir tension de 24 Vdc en el barraje y en la fuente.	1 Tecnico Electrico, caja de herramientas, EPP's.
	Monitoreo	Realizar inspeccion visual de la posicion del sensor.	1 Operador de estacion de armado, EPP's.

Se define entonces, que el técnico de mantenimiento realizara la labor de reacondicionamiento general del sensor 1 vez al mes, donde revisara el cableado de control y realizara retorqueos a los mismos. De igual manera, revisara el estado de la base del sensor. Parte del mes de agosto, se realizó esta parte del plan interviniendo máquina. Como se expuso anteriormente, el lucro cesante por detener la maquina es mucho más alto que el costo de los repuestos y la

administración de la línea, no cuenta con mucho tiempo en la semana, para darle al grupo de mantenimiento para realizar estos preventivos. El tiempo que le dieron al grupo fue de tan solo una hora y no fue suficiente. Teniendo en cuenta estas restricciones, se tiene planeado el primer cambio al plan de mantenimiento, para que todo o parte del grupo de mantenimiento (5 técnicos), realicen la actividad programada mensualmente. La decisión de programar más técnicos para realizar la labor, se tomó en vez de modificar la frecuencia, por el lucro cesante por detener la máquina. No se deja de lado, el hecho de que el técnico encargado de la línea, aprovecha los tiempos muertos de producción para realizar ajustes, inclusive llamando a parte del equipo para realizar labores que están dentro del cronograma, adelantando dichas labores o atacando posibles fallas que se detectan con el predictivo.

Para los sensores, también se definen actividades de monitoreo, donde el operador tiene una gran responsabilidad ante la disponibilidad de máquina. El técnico de mantenimiento encargado de la línea, revisa dos veces a la semana los barrajes de 24Vdc, con el fin de determinar si hay una caída de tensión que pueda influir negativamente en la operación de los sensores. También se puede pronosticar si hay algún deterioro en las fuentes de 24Vdc y de esta manera llegar a reemplazarlas.

Cuando se habla de un motor y sus protecciones, son más determinantes las tareas de monitoreo, ya que con la medición de corrientes se puede llegar a saber si el motor esta deteriorándose, o si un cable esta suelto en algún punto de conexión en el recorrido de la potencia. En este orden de ideas, se plantean las tareas de monitoreo de corrientes y temperaturas, 2 veces al mes igual que los reacondicionamientos. En esta labor, se tuvo la particularidad de que, como las secuencias en los motores son muy cortas, tomar la corriente en las tres fases del motor toma un gran tiempo.

Figura 18. Tareas de mantenimiento para motores.

		sensor.	armado, EPP's.
Motor	Reacondicionamiento	Realizar retorqueo de cables de potencia, en motor y borneras.	1 Tecnico Electrico, caja de herramientas, EPP's.
	Monitoreo	Realizar seguimiento de corrientes, tres fases del motor. Realizar termografia.	1 Tecnico Electrico, caja de herramientas, EPP's.
		Realizar retorqueo de cables de control en	1 Tecnico Electrico, caja de

Como se muestra en el siguiente cuadro resumido y que pertenece al plan general de mantenimiento, se proponen ciertas frecuencias para las actividades de reacondicionamiento y monitores para los elementos que componen los dos sistemas. Las frecuencias y recursos se encuentran en evaluación, ya que como se explicó, el tiempo que la administración está brindando al grupo de mantenimiento para realizar dichas labores es muy reducido.

Tabla 5. Plan de mantenimiento basado en RCM para la estación de armado 1.

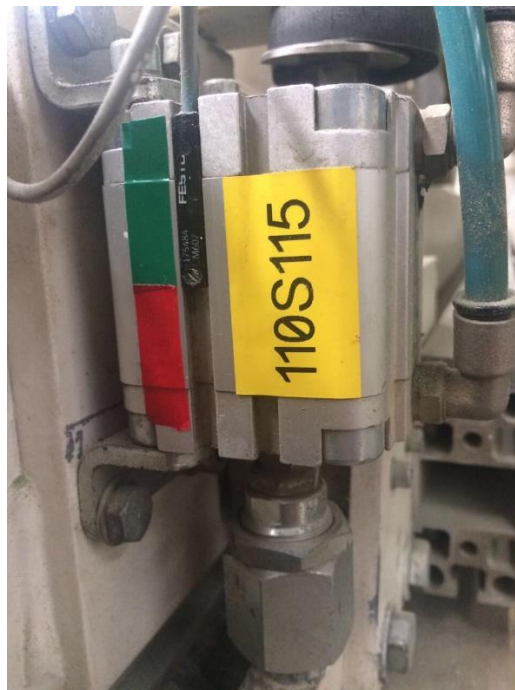
PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD PARA LA ESTACION DE ARMADO 1					AGO.				SEPT.				OCT.				NOV.				DIC.						
Elemento	Tipo de tarea	Descripción de tarea	Recursos	Frec. mes	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
Sensor	Reacondicionamiento	Realizar retorqueo de los cables de control del sensor. Verificar la posición de la base del sensor y ajustarla. Realizar limpieza general.	1 Técnico Eléctrico, caja de herramientas, EPP`s.	1	x						x					x						x					
	Monitoreo	Medir tensión de 24 Vdc en el barraje y en la fuente.	1 Técnico Eléctrico, caja de herramientas, EPP`s.	2		x		x		x		x		x		x		x			x		x		x		x
	Monitoreo	Realizar inspección visual de la posición del sensor.	1 Operador de estación de armado, EPP`s.	4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Motor	Reacondicionamiento	Realizar retorqueo de cables de potencia, en motor y borneras.	1 Técnico Eléctrico, caja de herramientas, EPP`s.	2		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x	
	Monitoreo	Realizar seguimiento de corrientes, tres fases del motor. Realizar termografía.	1 Técnico Eléctrico, caja de herramientas, EPP`s.		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		
Válvula	Reacondicionamiento	Realizar retorqueo de cables de control en conector.	1 Técnico Eléctrico, caja de herramientas, EPP`s.	1		x					x				x						x				x		
	Monitoreo	Realizar termografía a válvula conector.	1 Técnico Eléctrico, caja de herramientas, EPP`s.	1			x				x				x						x				x		
Generador de estática	Reacondicionamiento	Revisar el aterrizaje del equipo, retorquear de cables de potencia y control.	1 Técnico Eléctrico, caja de herramientas, EPP`s.	1		x					x				x						x				x		
	Monitoreo	Termografía del equipo	1 Técnico Eléctrico, caja de herramientas, EPP`s.	1			x				x				x						x				x		
	Monitoreo	Revisar la configuración del equipo	1 Operador de estación de armado, EPP`s.	4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

8. MANUFACTURA VISUAL

Gracias a un error en el concepto de modo de falla, el grupo llego a pensar que es un gran problema el hecho de que todos los modos de falla son ocultos, aunque no lo son así. Pensando que esto es un error grave, el grupo de mantenimiento realizo lo que en muchas de las compañías de clase mundial denominan manufactura visual, donde se marcan para este caso, la posición de los sensores con cintas verdes y rojas, para indicar dónde debe estar ubicado el sensor y prevenir con inspecciones visuales que no detienen la línea, posibles pérdidas de automático por el desajuste de las bases de los sensores, la cual es una de las 5 fallas expuestas para la instrumentación.

Como se observa en la figura 19, el sensor sobre el cilindro tiene marcas que indican el rango en el que debería estar el instrumento.

Figura 19. Manufactura visual.



Actualmente, los operarios realizan la labor diaria de inspección a toda la máquina y dan aviso al personal de mantenimiento para realizar los ajustes pertinentes. Esto ha ayudado no solo a aumentar el indicador de disponibilidad, sino que también, ha afianzado el compromiso del grupo operativo en mantener el equipo en un estado donde su función está intacta y permite la operación en automático.¹²

9. MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Con el objetivo de llevar un seguimiento de los monitoreos propuestos en el actual plan de mantenimiento, se crea el siguiente formato exclusivo para motores, el cual contiene los datos de placa del motor. Se resalta también, que este formato contiene la referencia de los rodamientos del motor y tendrá un espacio en donde se ingresara la fecha en la que se cambiaron, el cual nos permitirá realizar seguimiento al proveedor de los rodamientos, la calidad de los mismos, e inclusive se podrían llegar a predecir fallas mecánicas.

Figura 20. Formato mantto predictivo.

19M01	Banda de rodillo entrada de tableros	MANTENIMIENTO PREDICTIVO - PRIMADERA SAS			ULTIMO CAMBIO DE ROD.			
					FECHA	FRONTAL	TRASERO	
		MARCA	SEW					
		REFERENCIA						
		CLASE	TIPO F	150	9c			
		ROD. DELANTERO	63102Z C3					
		ROD. TRASERO	63102Z C3					
		POTENCIA	7	KW				
		CORRIENTE NOM.	11	AMPERIOS				
		ELECTROFRENO	NO					
		CONEXIÓN	ESTRELLA INTERNA					
		TIPO DE ARRANQUE	VARIADOR					
		CODIGO EN ALMACEN						
		STOCK	NO					

También se diseñó un espacio en el que se consignarán las corrientes y temperaturas tomadas en los predictivos. Estos se comparan (figura 21) con la corriente nominal del equipo y se ven en periodos de tiempo largos, con el objetivo

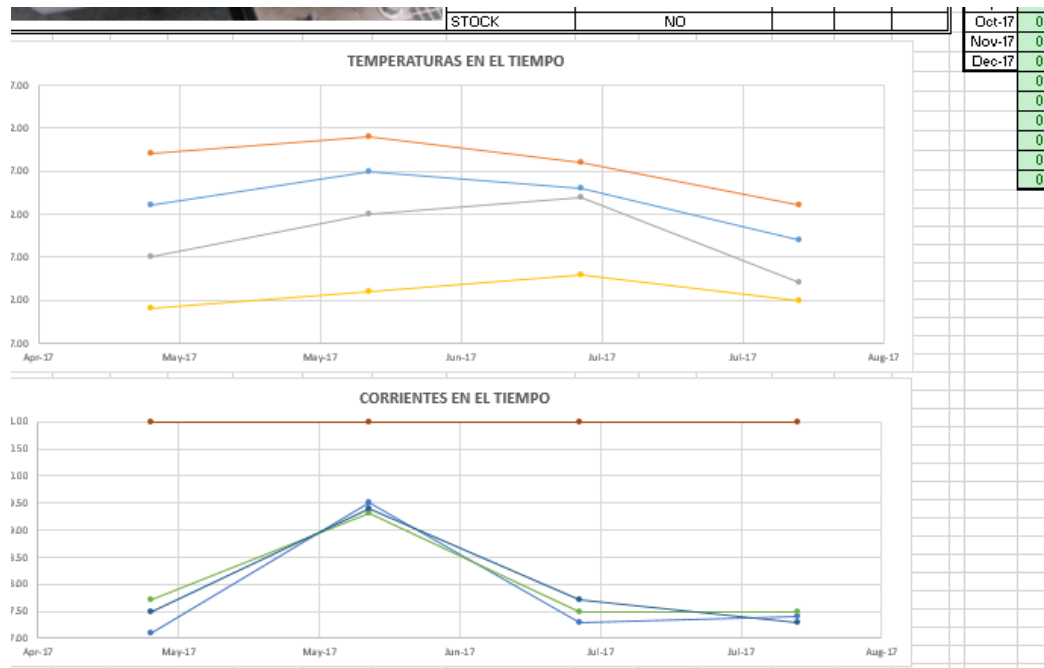
¹² BETANCOURT CORONADO, Yamid Efren. RCM para un sistema de transmisión de potencia para los camiones de reparto de coca cola femsa. UIS, Bucaramanga, 2014.

de predecir si el equipo viene deteriorándose, perdiendo aislamiento y las temperaturas nos ayudarán también a ver el estado de los devanados, estado de rodamientos, entre otras cosas.

Figura 21. Cuadro de termografías y corrientes

FECHA	TERMOGRAFIAS				CORRIENTES			NOMINAL	ESPES TABLE
	TEMP. CARC.	TEMP. ROD. FR.	TEMP. ROD. TR.	TEM. GUARD.	FASE 1	FASE 2	FASE 3		
Jan-17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11	
Feb-17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11	
Mar-17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11	
Apr-17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11	
May-17	43.00	49.00	37.00	31.00	7.10	7.70	7.50	11	
Jun-17	47.00	51.00	42.00	33.00	9.50	9.30	9.40	11	
Jul-17	45.00	48.00	44.00	35.00	7.30	7.50	7.70	11	
Aug-17	39.00	43.00	34.00	32.00	7.40	7.50	7.30	11	
Sep-17	0.00	0.00	0.00	0.00				11	
Oct-17	0.00	0.00	0.00	0.00				11	
Nov-17	0.00	0.00	0.00	0.00				11	
Dec-17	0.00	0.00	0.00	0.00				11	
	0.00	0.00	0.00	0.00				11	
	0.00	0.00	0.00	0.00				11	
	0.00	0.00	0.00	0.00				11	
	0.00	0.00	0.00	0.00				11	
	0.00	0.00	0.00	0.00				11	
	0.00	0.00	0.00	0.00				11	
	0.00	0.00	0.00	0.00				11	

Figura 22. Graficas de comparación de temperaturas y corrientes en el tiempo.



Por medio de estas gráficas y sin tener que ver todos los datos en una tabla, se puede ver la tendencia de las corrientes en las tres fases del motor y compararlas con la nominal. En el ejemplo mostrado en la figura 22, se observa que la corriente está por debajo de la nominal, muy seguramente porque el tablero que se está fabricando no tiene una dimensión tal que exija esa corriente al motor. Igualmente se observa que las corrientes son muy parecidas, pero hay que revisar los casos en los que tiene cierta dispersión, ya que, si esta diferencia llega a aumentar, se puede llegar a descompensar el motor.^{13 14}

10. ACTUALIZACIÓN DEL ÁRBOL DE PERDIDAS

El plan de mantenimiento basado en RCM y diseñado para la estación de armado¹, no solo ha servido para generar un cronograma de actividades que prevengan las fallas de una manera óptima. Sin todavía haber implementado completamente esta metodología, el equipo de mantenimiento ha visto lo importante que es reducir los tiempos del correctivo, ya que el lucro cesante por dejar de producir, así sea unos minutos, en muchos casos es más alto que el mismo repuesto. Esto ha hecho que, por gestión del grupo, se decidió tener más repuestos en los centros de control de motores, ya que antes había que ir hasta el almacén, retirarlos e instalarlos.

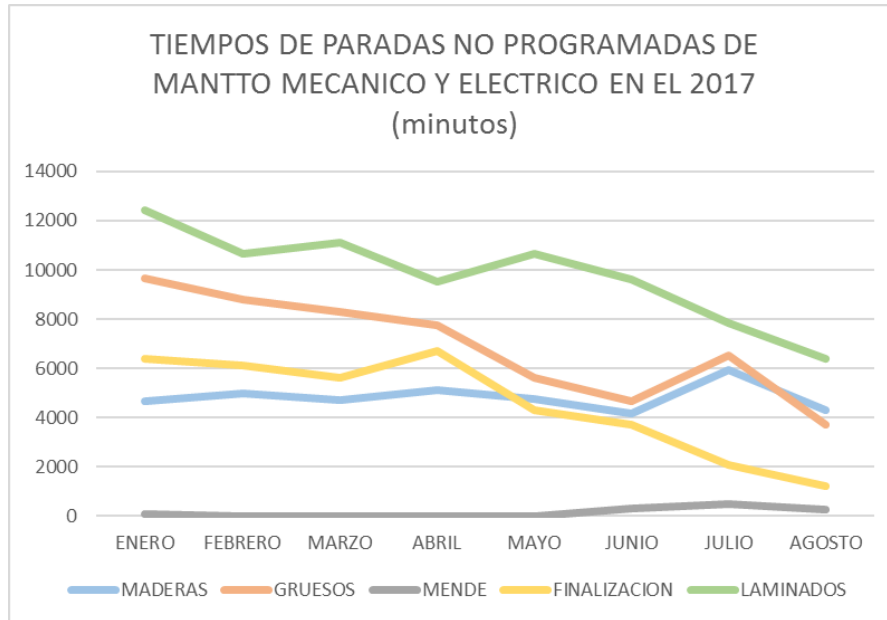
La mencionada manufactura visual y el compromiso del personal operativo y mantenimiento han hecho que los tiempos de parada se hayan bajado considerablemente en los últimos meses. Como se ve en la figura 23, mes a mes, los tiempos de paradas no programadas en las líneas en general, han estado disminuyendo drásticamente, por el conocimiento que ha adquirido el personal de

¹³ URIBE ARDILA, Mayra Andrea. Plan de mantenimiento preventivo y predictivo basado en confiabilidad rcm ii para los molinos de cemento 1 y 2 de la planta cemex s.a Bucaramanga. UIS, Bucaramanga, 2014.

¹⁴ Diseño e implementación de un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad (rcm ii) para el departamento de mantenimiento de la empresa concentrados espartaco s.a. NINO BONILLA, Diego Alexander. SOTO DIAZ, William Andres. UIS, Bucaramanga, 2014.

producción y mantenimiento. Como se puede observar, en los tres últimos meses en el proceso laminados, los tiempos disminuyeron con una pendiente mucho más alta.

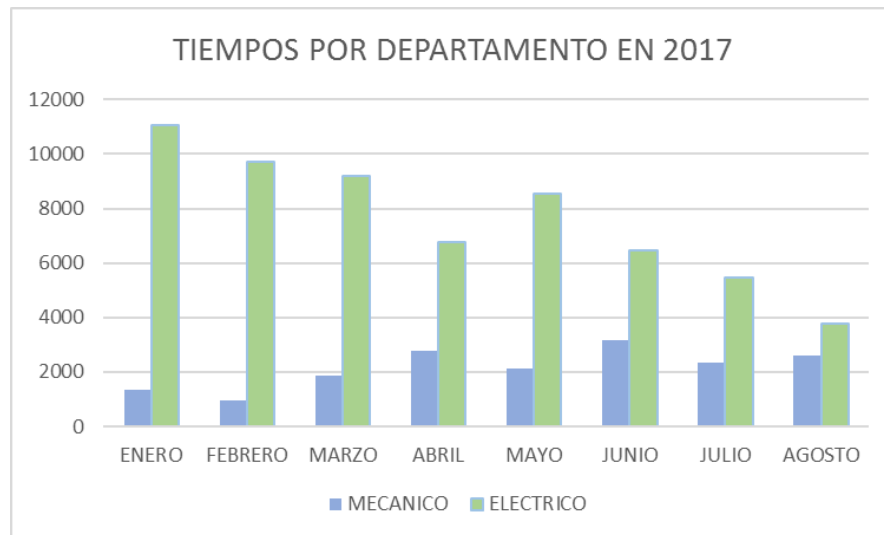
Figura 23. Tiempos de paradas no programadas de manto mecánico y eléctrico en el 2017.



Cuando se separan los tiempos por departamento y únicamente viendo el proceso de laminados (figura 24), el cual es el objeto de estudio del proyecto, se puede notar la mejoría en la disponibilidad de máquina. Esto también se puede justificar por la terminación de proyectos de automatización que se estaban llevando a cabo en los equipos, la definición de estándares de calidad en los procesos y por supuesto, la gestión de mantenimiento enfocada en mantener la función de los equipos, que hasta el día de hoy se encuentra en un proceso de adaptación y aceptación por parte de la administración y operación.¹⁵

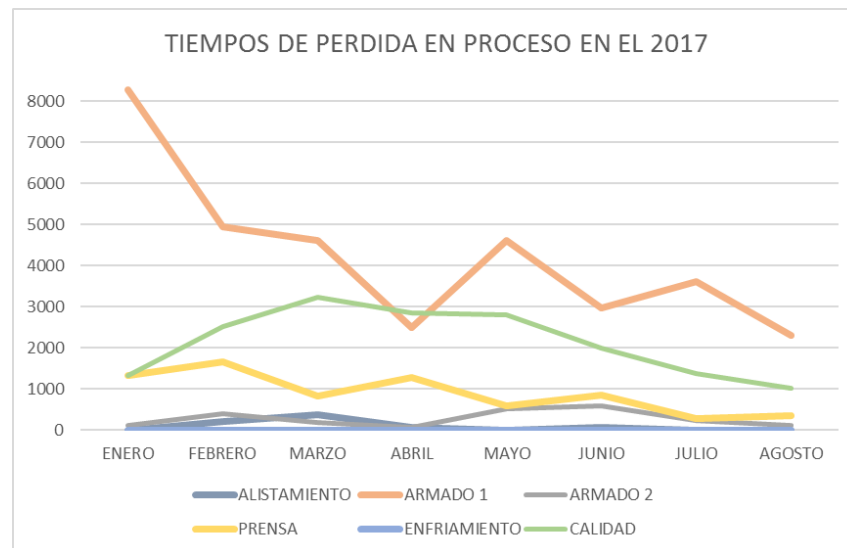
¹⁵ CANO SANCHEZ, Oscar. Propuesta para implementación de rcm en la planta diaco muna. UIS, Bucaramanga, 2009.

Figura 24. Tiempos por departamento en 2017.



En cuanto al árbol de fallas del proceso laminados y que pertenecen al grupo de Mantenimiento Eléctrico, podemos ver la reducción en los tiempos en el área de la estación 1 y el aumento de fallas en la zona de calidad, los cuales pertenecen a la adaptación e instalación de los nuevos equipos de clasificación de tablero.

Figura 25. Tiempos de pérdida en proceso en el 2017.



11. CONCLUSIONES

- ✓ El objetivo principal de diseñar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la estación de armado 1 se cumplió, el cual está siendo implementado y actualizado. ·
- ✓ El análisis en RCM permitió identificar las labores relevantes, para la solución de las fallas en el equipo. La periodicidad y los recursos de estas labores serán actualizados mes a mes, con la ayuda del equipo de mantenimiento, buscando la optimización de tiempos y la disponibilidad del equipo.
- ✓ Se identifica la necesidad de generar planes de acción, donde los repuestos estén mucho más cerca de la línea, con las herramientas pertinentes para llegar a realizar reemplazos de equipos y disminuir el tiempo de parada por un correctivo.
- ✓ Se identificaron las fallas más frecuentes que pueden ocurrir en la estación de armado y que pueden generar un riesgo ambiental, humano, económico y/o de imagen. ·
- ✓ El proyecto logro identificar las tareas o actividades más relevantes, que podrían llegar a resolver los modos de falla estudiados y mantener la función del equipo. Estas tareas están basadas en monitoreo y reacondicionamientos. No se deciden hacer cambios en los equipos, ya que las tareas de mantenimiento escogidas, logran resolver las fallas presentadas. ·
- ✓ Se observa que al introducir más al operario del equipo en la disponibilidad de la línea y delegando responsabilidades sobre ellos, como lo son los

monitoreos o inspecciones visuales de los sensores, hace que mejoren valores en las personas que están a cargo de los equipos, aumentando la confianza y el compromiso para mantener la línea operativa y produciendo tableros de calidad.

- ✓ El éxito de un plan de mantenimiento radica en la inclusión de todas las partes que afectan de manera directa los equipos, ya que de todas las personas se recibirán conceptos totalmente diferentes. Trabajando en equipo, se pueden llegar a tener mejores resultados.

- ✓ El plan diseñado para la estación de armado 1 y gestionado desde el departamento de mantenimiento eléctrico, ha arrojado buenos resultados sin tener una completa implementación. Para brindar un mejor resultado, hacia la proyección que tiene la empresa en ventas y calidad, se propone que el método para optimizar el plan de mantenimiento sea extensivo hacia las demás áreas de mantenimiento que influyen en el proceso, como lo son, el área de servicios y mecánica.

- ✓ Se logró parte de la implementación de plan de mantenimiento basado en la metodología en RCM. Actualmente se realizan tareas de monitoreo predictivo, en las que las mediciones de corriente y temperatura, ayudan a ver el estado de los motores. Los monitoreos realizados por el personal de producción, fue la primera actualización que se realizó en el plan y que hasta el momento ha dado muy buenos resultados, con la ayuda de la manufactura visual implementada en la instrumentación del equipo. De igual manera se observó, que una sola persona realizando los reacondicionamientos en el tiempo que la administración del proceso brinda, no es suficiente y se piensa modificar.

BIBLIOGRAFÍA

ALBARRACIN JAIME, Yesid Alfonso. LIENDO ROMERO, Lucas Augusto. modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (rcm) para maquinas fabricadora de hielo polares p-180. UIS, Bucaramanga, 2014.

ANGEL SUAREZ, Carlos Arturo. Modelo de organización y gestión para el mantenimiento de sistemas instrumentados de seguridad aplicando rcm. UIS, Bucaramanga, 2014.

BERNAL LOPEZ, Pablo Martin. modelo estratégico de mantenimiento para las subestaciones y redes eléctricas de media tensión de una planta siderúrgica basado en la metodología rcm. UIS, Bucaramanga, 2014.

BETANCOURT CORONADO, Yamid Efren. RCM para un sistema de transmisión de potencia para los camiones de reparto de coca cola femsa. UIS, Bucaramanga, 2014.

CANO SANCHEZ, Oscar. Propuesta para implementación de rcm en la planta diaco muna. UIS, Bucaramanga, 2009.

Diseño e implementación de un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad (rcm ii) para el departamento de mantenimiento de la empresa concentrados espartaco s.a. NINO BONILLA, Diego Alexander. SOTO DIAZ, William Andres. UIS, Bucaramanga, 2014.

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Mexico: Aladon, 2004.

MOUBRAY. John. Reliability-Centered Maintenance RCM II. New York: Industrial Press Inc. 1997. 421p.

PRIMADERA SAS (Online). <http://www.primadera.com/nosotros/quienes-somos>.

RACEDO MATERON, Manuel Francisco, VELASQUEZ OSPINA, Jonathan, Plan de mantenimiento basado en un estudio de confiabilidad para las válvulas de seguridad de las plantas de polietileno I y II de la refinería Barrancabermeja Ecopetrol SA, UIS, Bucaramanga, 2010.

ROJAS PAREDES, Deivis. Diseño de una estrategia de mantenimiento basada en rcm para la impregnadora marca tocchio de la empresa lamitech s.a.s. UIS, Bucaramanga, 2014.

URIBE ARDILA, Mayra Andrea. Plan de mantenimiento preventivo y predictivo basado en confiabilidad rcm ii para los molinos de cemento 1 y 2 de la planta cemex s.a Bucaramanga. UIS, Bucaramanga, 2014.

VIZCARRO PEDRET, Laia. Aplicación del modelo Reliability-Centred Maintenance (RCM) en líneas de distribución de Alta Tensión. Universitat Politècnica de Catalunya. Catalunya, 2009.