

Implementación del RCM II en planta de producción de lingotes de plomo

RCM II implementation on a lead ingots plant production

David Jesús Barros Chaparro¹, Guillermo Valencia Ochoa², Lisandro Vargas Henríquez^{3*}.

¹Ingeniero Mecánico, Grupo de investigación DIMER, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia.

davidjbch@mail.uniatlantico.edu.co

^{2,3}David Jesús Barros Chaparro¹, Guillermo Valencia Ochoa², Lisandro Vargas Henríquez³.

^{2,3}M.Sc. Ingeniero Mecánico, Docente/Investigador, Grupo de investigación DIMER y KAI, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia.

guillermoevalencia@mail.uniatlantico.edu.co

lisandrovargas@mail.uniatlantico.edu.co

Resumen— En este artículo se presenta la aplicación del concepto de RCM II en una fábrica de Baterías, en la sección destinada a la producción de lingotes de plomo. La metodología para la implementación del RCM II involucra el análisis funcional, identificación de los modos de falla (*Causas de las fallas*), Efectos de las Fallas (*Manifestación de las fallas*), Jerarquización del Riesgo (Críticidad), entre otros pasos. Posteriormente, para preservar las funciones del sistema, las tareas de mantenimiento proactivo, son asignadas los modos de falla ya identificados, empleando el Diagrama de Decisión RCM II y bajo el análisis costo-efectivo para cada patrón de falla. Como resultado de este estudio se obtuvo documentos para la Gestión de Mantenimiento (*Hoja de información RCM y Hoja de Decisión RCM en sección de Metalurgia*), Planos RCM (*Relación gráfica entre las Tareas de mantenimiento propuestas y los equipos analizados*), este RCM piloto reveló también condiciones de seguridad operacional y un Rediseño en la configuración de los equipos para la mejora del MTBF. El RCM hace parte del Nivel táctico en la Gestión de Mantenimiento y ha tenido gran acogida en la industria moderna, a saber, la industria de la aviación, la industria minera y manufacturera, la industria energética (Petrolera, hidroeléctrica, nuclear), entre otras.

Palabras clave—RCM; Confiabilidad; Rediseño; Falla funcional, Mantenimiento, Críticidad.

Abstract—This article presents the application of the concept of RCM II at a factory Batteries in the section for the production of lead ingots. The methodology for the implementation of RCM II involves functional analysis, identification of failure modes (Causes of failures), Effects of Failure (Manifestation of faults), nesting Risk (Criticality), among other steps. Then, to preserve the functions of the

system, proactive maintenance tasks are assigned and failure modes identified using RCM Decision Diagram II and under the cost-effective for each failure pattern. As a result of this study was obtained documents for Managing Maintenance (RCM Information Sheet and Decision Sheet Metalworking sectional RCM) RCM Plans (Graphical Relationship between maintenance tasks and equipment proposals analyzed), this pilot RCM revealed also safety conditions and redesign the equipment configuration for improved MTBF. The RCM is part of the tactical level Maintenance Management and has had great success in the modern industry, namely, the aviation industry, mining and manufacturing industry, the energy industry (Oil, hydro, nuclear), among others .

Keywords— RCM, Reliability, Redesign, functional failure, maintenance, Criticality.

I. INTRODUCCIÓN

Toda actividad o tarea realizada sobre los elementos de máquina antes o después de una falla es llamado mantenimiento. Una empresa puede mantener niveles altos de productividad con apropiadas actividades de mantenimiento [1]. El RCM ha sido concebido como un proceso que brinda importantes bondades para la determinación de requisitos de mantenimiento de todos las maquinas en su contexto operativo, que permite determinar cada una de las actividades con el propósito de asegurar que el equipo cumpla su función [2].

Por otro lado, ha sido definido como un proceso para mantener o mejorar la confiabilidad, disponibilidad y seguridad, así como controlar el costo de mantenimiento al

reducir la cantidad de mantenimiento que se requiere, combinando varias técnicas y herramientas que permiten desarrollar el análisis de riesgo, a partir de las hojas de decisión que se fundamentan en el análisis de riesgos y las tareas de mantenimiento que permitan ser aplicado en las áreas problemáticas [3]. El RCM tiene unos alcances más profundos que la ejecución de un conjunto de actividades de mantenimiento.

Por tal motivo, es planificado como una herramienta que permite determinar el rendimiento del sistema en términos del impacto de una falla y la mitigación de los resultados mediante el diseño, la detección o el efectivo mantenimiento [4].

La implementación de los programas RCM han mostrado importantes resultados en las organizaciones que utilizan maquinarias y puede ser incorporado dentro del modelo de negocio organizacional [5]. Sin embargo, para su efectiva y exitosa implementación las compañías deben realizar una profunda revisión de sus actuales planes de mercadeo y negocio [3],[6]. Desde el punto de vista cuantitativo, las técnicas estadísticas de optimización de equipos han mostrado ser una herramienta potencial [7],[8],[9],[10]. Sin embargo, desde el punto de cualitativo a partir un conjunto de información como el estudio del proceso, caracterización operacional de la máquina y registro histórico de las fallas presentadas, es posible definir las funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos de las fallas, y representarlas en hoja de información acorde a la filosofía de RCM II, posteriormente se realiza el análisis de riesgo, que junto a la matriz de decisión permita determinar las tareas de mantenimiento, frecuencia y responsable en la planta. Las tareas de mantenimiento se clasificaron como áreas de mantenimiento planeado (Mantenimiento Proactivo) o no planeado (Mantenimiento Correctivo) [11], como se observa en la Figura 1. Siendo la aplicación de esta técnica en una planta de producción de lingotes de plomo, el principal aporte de este artículo.

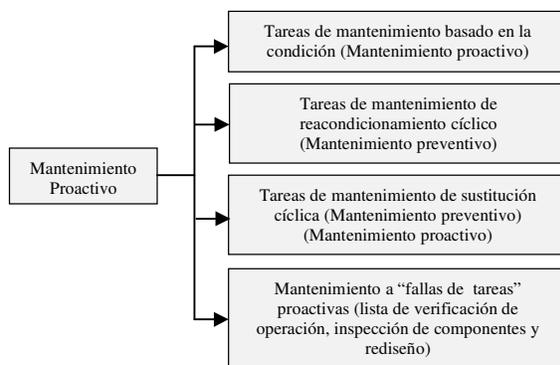


Fig. 1. Esquema de clasificación de Mantenimientos Proactivos

II. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

A. Evolución del mantenimiento centrado en confiabilidad.

El MCC/RCM fue desarrollado por la industria de la aviación civil en los Estados Unidos. La Federal Aviation Administration (FAA) de Estados Unidos comisionó a la empresa United Airlines realizó un estudio de qué tan

eficiente eran las reparaciones generales, basadas en el tiempo, de componentes complejos en los sistemas (*conjunto de equipos*) en las aeronaves civiles. Este estudio confirmaría o no la creencia de que estas reparaciones generales basadas en el tiempo no contribuían mucho para reducir la frecuencia de las fallas y no eran económicas. Este estudio se llevó a cabo en un momento donde se estaban diseñando aeronaves de cuerpo amplio, y la complejidad de los sistemas de los equipos y sus componentes habrían crecido dramáticamente con respecto a los diseños anteriores [12].

B. Terminología del RCM II.

Función: Representa todas las actividades involucradas en la transformación del materia prima, son el porqué se adquiere un activo físico. Se clasifican en funciones primarias y secundarias.

Falla funcional: Es toda aquella negación de las funciones de una máquina. Se clasifican en fallas funciones parciales o totales.

Modo de falla: Representan las causas que dan origen a una falla funcional.

Efecto de la Falla: Representa las condiciones de cómo se manifiesta un modo de falla, si es evidente o no durante la operación y que consecuencias tiene para el medio ambiente, la seguridad del operador y para la operación del proceso.

C. Pasos para la aplicación del RCM II.

La metodología que se muestra en la Figura 2 ha sido empleada como fundamento para elaboración del plan de mantenimiento RCM II en la planta de fundición de lingotes de plomo [13].

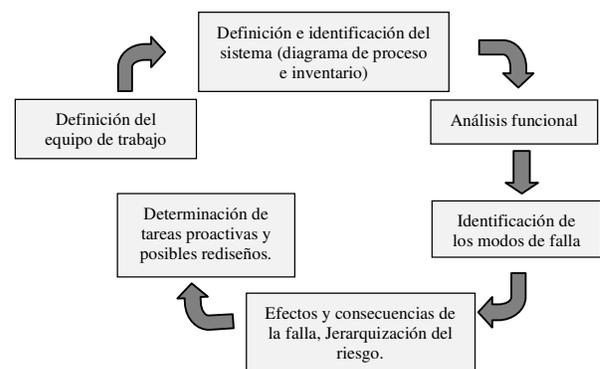


Fig. 2. Diagrama de la metodología de RCM II.

D. Herramientas utilizadas para la caracterización de modos de falla y jerarquización del riesgo.

Para valorar el riesgo de la planta en general, se realizará un análisis del Riesgo, una vez definidos, que ocasionan los modos de falla. Que tan grave o leve es un modo de falla es el resultado del producto de la frecuencia de aparición y las

consecuencias o efectos que éste pueda tener con respecto a: el medio ambiente, la seguridad del operador o la operación del activo físico. De acuerdo a lo anterior, se debe categorizar las frecuencias y consecuencias en unas tablas que servirán priorizar las tareas de mantenimiento, logrando así un mejor empleo de los recursos. Al final del proceso se obtiene una jerarquización del riesgo, cuya finalidad es identificar aquellos modos de falla que tendrán un mayor impacto en la seguridad de la planta. La criticidad es interpretada de la siguiente manera; Riesgo bajo, medio, medio-alto, y alto.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La metodología propuesta fue aplicada a una planta de fundición de lingotes de plomo en la línea de producción de baterías automotriz, cuya tasa de producción es de 600 lingotes por hora. A continuación se muestra de manera detalla cada uno de los resultados obtenido en la implementación de RCMII en la planta en mención.

A. Definición del Equipo de trabajo RCM II.

El grupo de RCM II estuvo conformado por la gerencia de producción y el Departamento de mantenimiento, el cual está conformado por 1 ingeniero de confiabilidad, 1 Supervisor de mantenimiento, 1 supervisor de producción, 2 Operadores de planta, 1 Técnico Mecánico y 1 Técnico Electrónico, quienes desde sus funciones y roles dentro de la compañía trabajaron para obtener las Hojas de Información y de Decisión de RCM en forma ordena y efectiva durante 21 meses.

B. Selección del Sistema y definición del contexto operacional.

El nivel de detalle empleado fue el Nivel sistema, esto se debe a que un AMFE para un nivel de parte de toda una planta resultaría complicado e irrealizable, por otra parte, un AMFE a nivel Planta resultaría superficial o poco eficiente para la gestión de mantenimiento en la organización.

En el área de trabajo seleccionada en la planta de producción de lingotes de plomo, para la implementación del plan de mantenimiento, se funde plomo crudo y se desarrollan aleaciones a diferentes metales para la obtención de una amplia gama de productos, tales como: plomo puro, plomo CaSn, plomo CaSn(+), plomo COS, plomo SbSe, plomo Sb 3.5%, entro otros, que son posteriormente bombeados y vertidos en unas cubas donde son enfriados para obtener el producto a través de un proceso de solidificación.

C. Establecimiento del Diagrama de proceso.

Se verificó el proceso de producción desde la fundición de la materia prima (lingotes de plomo crudo y aleaciones), su respectivo bombeo, transporte y dosificación en cubas de refrigeración, el cual se puede observar en la Figura 3.

D. Realización del inventario de equipos.

La planta de producción de lingotes de plomo, está conformada principalmente por los dos subsistemas:

Crisol de metalurgia, conformada por la bomba Crisol (5 hp), agitador (7.5 hp), crisol de fundición de plomos (32 Ton Max), ventilador de extracción crisol (20 hp) y quemador del crisol (2hp).

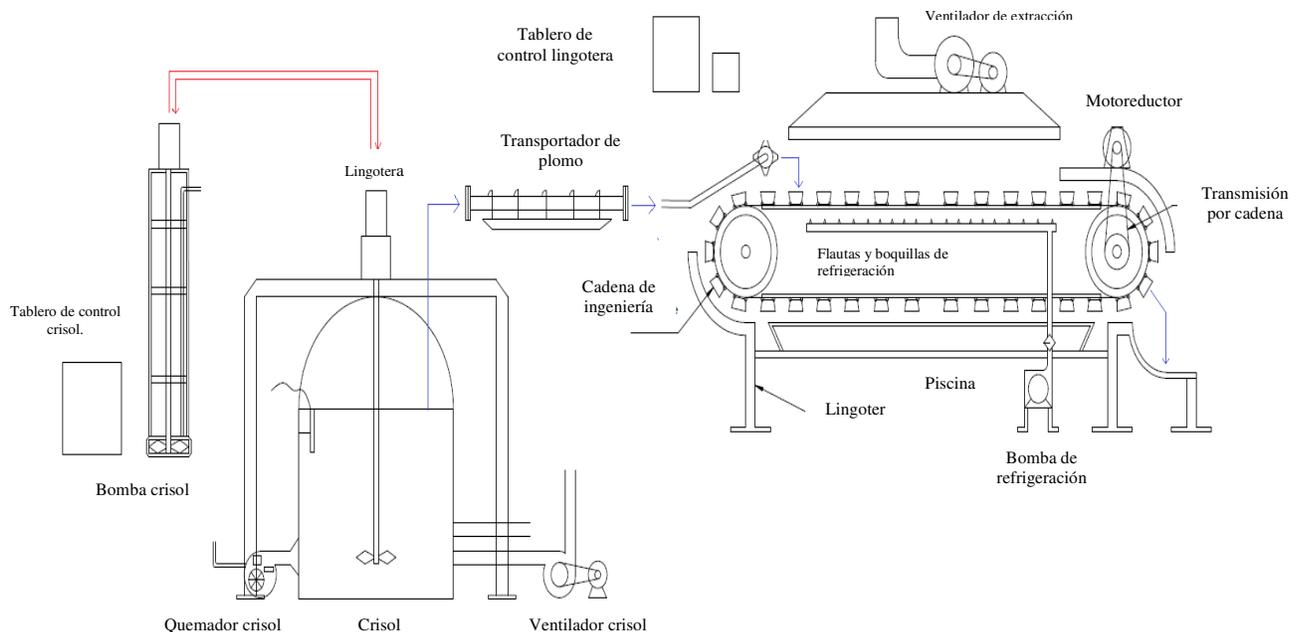


Fig. 3 .Diagrama del proceso planta de producción de lingotes de plomo.

Lingotera de metalurgia, conformada por la lingotera (7.5 hp), Cubas sobre una cadena de ingeniería (4.5m³), Ventilador de extracción lingotera (10 hp), Bomba de refrigeración (1 hp) y flautas de refrigeración.

E. Definición de las funciones de un activo físico (F).

Se identificaron 32 funciones para la sección de Crisol de metalurgia, respondiendo a la pregunta: ¿Para qué se compró el activo físico? Dentro de las principales funciones están:

- Fundir plomo, mediante un quemador (170-850 Kw Kcal) crudo (máximo 32 Ton) desde 33°C hasta 327 °C, sin llegar a fracturarse o romperse, y a 1 atm de presión durante un tiempo promedio de 5 a 6 h. Bajo las normas de seguridad y operación debidamente establecidos.
- Liberar cenizas duras elevando la temperatura desde 380 C hasta 500 C en un tiempo promedio de 1h. En caso de que la fundición contenga elevado porcentaje de Ca.
- Contener mediante la cúpula o cierre del crisol los gases de proceso y ducto que comunica con el ventilador de extracción, toda salpicadura generada de plomo fundido y otros productos generados en todos los procesos allí realizados.
- Bombear el plomo listo para lingotear a las respectivas temperaturas de lingoteo (420-500° C), durante un tiempo promedio de 1.5 a 2.5 h.

- Sustener los pesos del equipo de agitado y de bombeo sin llegar a fracturarse o romperse.

Como parte de este análisis funcional, fue necesario identificar la función principal y secundaria de la sección o sistema en evaluación. Para este caso, la función principal de la sección es la siguiente función:

“Fundir plomo, mediante un quemador (170-850 Kw Kcal) crudo (máximo 32 Ton) desde 33 C hasta 327 C, sin llegar a fracturarse o romperse, y a 1 atm de presión durante un tiempo promedio de 5 a 6 h. Bajo las normas de seguridad y operación debidamente establecidos”

Las funciones restantes, se consideraron como funciones secundarias, no obstante, no por ello son consideradas como menos importantes. Adicionalmente, para la Lingotera de metalurgia se identificaron 4 funciones, dentro de las principales funciones se destacan las siguientes:

- Producir lingotes de plomo a una velocidad de producción de 1100 a 1150 Lingotes entre 1.5 o 2.5 h, a una temperatura final de 80° C. El lingote debe tener una forma similar a la estética de las cubas. Enfriando el plomo transportado del crisol presente en las cubas, desde una temperatura de lingoteo hasta una temperatura 80 C, bajo una presión de bombeo 60 PSI, y la aspersión completa y geométrica del tren de boquillas.

Sección	Modos de falla	Efectos de falla	f	C	Valor	Criticidad
Crisol	Paredes del crisol con grietas debido a los impactos o choques de los lingotes al caer sobre la base.	Las láminas del crisol sobre todo de la base al comienzo del llenado, terminan rompiéndose por fatiga debido a que tienen que absorber los golpes de los lingotes. La fuga inunda el espacio donde está ubicado el quemador. Parada proceso inmediato. Tiempo de reparación 1 día.	1	47	47	B
Crisol	Paredes del crisol con grietas debido a la acción térmica al recibir el calor del quemador.	La expansión y contracción de las láminas de acero debido al calentamiento y enfriamiento, pese a que no es brusco genera concentración de esfuerzos que termina por agrietar la lámina. Por otro lado, la acción siempre directa de la llama tiende a disminuir el espesor de lámina por el efecto fotoeléctrico. La fuga inunda el espacio donde está ubicado el quemador. Parada proceso inmediato. Tiempo de reparación 1 día.	1	47	47	B
Crisol	Las tuberías o dispositivos que conforman la alimentación de gas poseen fuga.	Se percibe un olor a gas en el ambiente de trabajo, la operación transcurre normalmente. Se corre el riesgo de un accidente por incendio. Tiempo de reparación 2 días.	1	47	47	B
Crisol	El blower del crisol extrae los vapores de fundición y preparación de plomos con una composición química que está fuera de especificación.	El proceso se realiza normalmente, no hay ruidos o golpes extraños.	1	47	47	B
Crisol	El ducto que comunica directo el crisol con los techos de la bodega extrae los gases de la fundición y preparación de plomos con una composición química que está fuera de especificación.	El proceso se realiza normalmente, no hay ruidos o golpes extraños.	1	47	47	B
Crisol	La estructura (Plataforma o soportes) están agrietados o doblados por fatiga.	Las uniones pueden cumplir su función, de seguir operando podrían desprenderse las vigas u otros elementos cayendo sobre el área laboral. Tiempo de reparación 3 horas.	1	47	47	B
Lingotera	Sistema de refrigeración tiene varias boquillas tapadas u obstruidas.	El lingote en operación no termina de solidificarse y por ende llega aún líquido al final de proceso ocasionando derrames y salpicaduras peligrosas, por eso se debe disminuir la velocidad de producción, lo que ocasiona baja productividad. La operación de bombeo transcurre normalmente, la presión de bombeo en la carcasa aumenta por encima de 60 PSI. Con el tiempo las boquillas tienden a irse cerrando completamente. Tiempo de reparación 7 horas.	3	31	91	B
Lingotera	El blower extrae los vapores de la refrigeración pero con un fluido cuya composición está fuera de especificación.	El proceso se realiza normalmente, no hay ruidos o golpes extraños.	1	47	47	B
Lingotera	La estructura (Plataforma o soportes) están agrietados o doblados por fatiga.	El sistema de extracción puede operar normalmente, de seguir operando podrían desprenderse los ductos de extracción o estructuras de soporte de la máquina cayendo sobre el área laboral. Tiempo de reparación 3 horas.	1	47	47	B

Tabla. 1. Modos de falla más importantes de la planta de producción de lingotes de acuerdo a su grado de criticidad.

- Contener un promedio de (0.46 M3) 46 L de agua para enfriamiento de cubas del transportador de lingotes, el cual debe mantenerse a unos 19 cm de la superficie de acuerdo con el indicador de nivel o bolla

F. Definición de las Fallas Funcionales (FF).

En este punto se dio respuesta a la pregunta, ¿De qué manera pueden fallar? ¿Puede fallar de una forma total o

parcial?, una vez respondidas se establecieron 78 fallas funcionales para la sección de Crisol de Metalurgia y 14 fallas funcionales para la sección de Lingotera de Metalurgia. A continuación se muestra algunos ver unos ejemplos de acuerdo a las funciones principales descritas anteriormente:

Sección crisol de metalurgia.

- No funde el plomo crudo.

HOJA DE INFORMACIÓN RCM SECCIÓN METALURGIA.					
Hoja de Información RCM.	Sistema/Activo: SECCIÓN DE METALURGIA			Facilitador:	
Nombre de la Planta	Sub-sistema/Componente: CRISOL DE METALURGIA			Colaborador:	
Función	Falla funcional	Modo de falla		Efecto de la falla.	
3	A	No logra liberar cenizas duras.	1	La Materia prima requiere mayor temperatura.	Durante la operación de elevar la temperatura y sostenerla no se logra liberar las cenizas, se procede a elevar temperatura a 420 °C.
			2	El agitador no opera en condiciones normales (Bamboleo), debido a sus uniones del acople en mal estado.	La operación de agitación del plomo fundido se hace con desplazamiento del eje del agitador, generando el movimiento de bamboleo. Posteriormente se desprende el agitador deteniendo el proceso. Tiempo de reparación 45 min.
			3	El agitador no opera en condiciones normales (Bamboleo), debido a piñones deteriorados por desgaste natural.	La operación de agitación del plomo fundido se hace con desplazamiento del eje del agitador, generando el movimiento de bamboleo. Es probable que se escuche internamente roces o golpes entre piñones. Tiempo de reparación 45 min.
			4	El agitador no opera en condiciones normales (Bamboleo), debido a piñones deteriorados por falta de lubricación.	La operación de agitación del plomo fundido se hace con desplazamiento del eje del agitador, generando el movimiento de bamboleo. Es probable que se escuche internamente roces o golpes entre piñones seguido de un aumento excesivo de temperatura por la falta de aceite. Tiempo de reparación 45 min.
	B	Libera cenizas duras pero con fuga.	1	Paredes del crisol con grietas por choques de los lingotes sobre la base o por acción térmica al recibir el calor del quemador.	Debido a los esfuerzos térmicos se produce una fuga de plomo fundido inundando el espacio donde está alojado el quemador. Se para el proceso por completo. Tiempo de reparación 2 días.
			1	El quemador a perdido la calibración aire gas que garantice su poder calorífico.	Se observa una llama de color naranja, también presencia de olores tipo alcohol e irritación en los ojos. Por experiencia, tanto para sostener como para elevar temperatura se tarda más tiempo debido a que hay menos poder calorífico. Tiempo de reparación 30 minutos.
	C	Libera cenizas duras pero fuera del tiempo de especificación.	2	El set point (Controlador) no está enviando señal de control, o falla el sistema de control de quemador.	Por algún componente dañado pese a que se coloca a una temperatura de operación dada esta no aumenta. Por otra parte, se puede dar el caso de que no se observe nada en el set point o que el display esté dañado. Tiempo de para reemplazo 40 min.
			3	El sistema eléctrico del motor (Embobinado) ha fallado por deterioro, sobrecarga, desbalanceo de carga entre fases, sobre voltaje o por voltaje por debajo del nominal.	La carcasa del motor se encuentra muy caliente y el motor opera a bajas revoluciones y potencia. Si se sigue operando bajo estas circunstancias puede causar quemado del equipo, o acortar la vida de operación del mismo. El proceso se ve afectado ya que las rpm del motor del agitador disminuyen por debajo de lo normal. Tiempo de reparación 1 día.

Fig. 4. Hoja de Información sección Crisol de Metalurgia para la función número 3.

- Funde el plomo crudo pero con fuga
- Funde el plomo crudo pero fuera del tiempo de especificación.
- Funde plomo crudo pero con el quemador operando sin seguridad.

Sección de lingotera de metalurgia.

- No produce los lingotes de plomo.
- Produce los lingotes de plomo pero fuera de especificación de calidad, cantidad, tiempo, velocidad o temperatura.
- El plomo bombeado no es enfriado.

G. Definición de los Modos de falla (MF).

Para el desarrollo de esta parte de la implementación se respondió la siguiente pregunta ¿Qué origina la falla? Una vez respondidas se establecieron 149 Modos de falla para la sección de Crisol de Metalurgia y 72 Modos de falla para la sección de Lingotera de Metalurgia. A continuación se observa algunos modos de falla por cada por sección analizada:

Sección crisol de metalurgia.

- No funde el plomo crudo.
- Funde el plomo crudo pero con fuga
- Funde el plomo crudo pero fuera del tiempo de especificación.
- Funde plomo crudo pero con el quemador operando sin seguridad.

Sección de lingotera de metalurgia.

- No produce los lingotes de plomo.
- Produce los lingotes de plomo pero fuera de especificación de calidad, cantidad, tiempo, velocidad o temperatura.
- El plomo bombeado no es enfriado.

Con el ánimo de identificar aquellos modos de falla que tienen un mayor impacto en la integridad de la planta, se muestra los 10 modos de falla con mayor frecuencia en cada sección, ver tabla 1.

HOJA DE DECISIÓN RCM SECCIÓN REJILLADORA.																				
Facilitador:			Sistema/Activo: SECCIÓN DE METALURGIA					Sub-sistema/Componente: CRISOL DE METALURGIA					Tarea propuesta Sección de Metalurgia.	Frecuencia inicial	A realizar por:					
Nombre de la planta.			Colaborador:																	
Caracterización y Jerarquización del Riesgo.							Evaluación de Consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "A falta de"						
F	F.F	M.F	F.r	C.o	Criti.c.	Riesg.o	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4				
3	A	1	1	11	11	D											No hay tareas que eviten este modo de falla que depende directamente de la calidad del producto. Se procede a aumentar de temperatura.	En operación.	Operador	
		2	1	11	11	D	N					N	N	N	S		1. Inspección visual de componentes y ajustes de los mismos.	Mensual	1 Téc. Eléctrico, ó 1 Téc. Mecánico.	
		3	1	11	11	D	N					N	N	N	S		1. Inspección visual en piñonería para verificación de desgaste. 2. aplicación de tinta penetrante para busca de posibles grietas.	Trimestral.	1 Téc. Mecánico.	
		4	1	11	11	D	N					N	N	N	S		1. Reacondicionamiento de aceite o grasa de lubricación.	Mensual	1 Téc. Mecánico.	
	B	1	1	31	31	C	N					S					1. Tomar registro de espesor de la lámina de las paredes del crisol mediante ultrasonido.	Trimestral.	Sub-contratado.	
	C	1	1	11	11	D	S	S				S						1. Inspección visual de la llama.	Inicio del proceso	1. Supervisor de producción.
		2	1	11	11	D	N					N	N	N	S			1. Limpiar externa e internamente el controlador de encendido (Según grado de protección IP) cuidadosamente de todo polvo o suciedad que allí se encuentre. 2. Revisar conexiones y empalmes eléctricos que no hayan sujeciones falsas o rotas.	Cada vez que haya parada del equipo.	1 Téc. Eléctrico.
3		1	31	31	C	N					S						1. Tomar registro de los voltajes y corrientes de línea y fase para la conexión correspondiente del motor (Estrella o Triángulo).	Quincenal	1 Téc. Eléctrico, ó 1 Téc. Mecánico.	

Fig. 6. Hoja de Decisión sección Crisol de Metalurgia para la función número 3.

H. Definición de los Efectos de la Falla (EF).

Una vez establecidos los posibles modos de falla que pueden causar la pérdida de la función, el siguiente paso fue identificar cuáles son los efectos que generan estos modos de fallas en la operación de la máquina. Para tal fin se respondieron las siguientes preguntas: ¿Qué pasa cuando falla? ¿Qué ocurre en la Máquina/Activo físico o componente de ella? ¿Cómo se nos manifiesta la falla?, ¿El modo de falla se hace evidente o no al operador? ¿El modo falla amenaza la seguridad o al medio ambiente, la manera (si las hubiere) en que afecta la producción, las operaciones y los daños físicos (si los hubiera) causados por la falla?

Se identificaron 149 Efectos de falla para la sección de Crisol de Metalurgia y 72 Efectos de falla para la sección de Lingotera de Metalurgia. En la Figura 5, se muestra los efectos de falla para la función 3 del Crisol de metalurgia. Con los efectos identificados, se deberá de evaluar las consecuencias de los mismos. Los efectos son nuestro punto de partida del comportamiento de las fallas y de la forma en la que estas se manifiestan. Ver Figura 4.

I. Jerarquización del Riesgo.

Se desarrolló una tabla en dónde se categorizó las frecuencias de acuerdo a unos rangos de aparición mensual, ver tabla 2.

Categoría	Concepto	Valor
Muy baja.	0 a 1 vez al mes.	1
Baja.	2 a 3 veces al mes.	2
Media.	4 a 5 veces al mes.	3
Alta.	Más de 5 veces al mes.	4

Tabla. 2. Categoría de Frecuencias.

Luego, se elaboró una tabla para la categorización de las consecuencias de los modos de falla identificados anteriormente, ver tabla 3. Posteriormente, se realizó el producto de la frecuencia por la consecuencia con la finalidad de elaborar una matriz de riesgo e identificar las zonas o niveles de criticidad, ver figura 5. Finalmente, la criticidad se agrupó en unos intervalos que dan origen a una clasificación del más crítico al menos crítico respectivamente, acorde al tabla 4.

Categoría	Concepto	Valor
Leve.	Consecuencia leve para el medio ambiente, la seguridad del operador, o la operación de la máquina.	11
Media.	Consecuencia media para el medio ambiente.	21

	la seguridad del operador, o la operación de la máquina.	
Grave.	Consecuencias grave para el medio ambiente, la seguridad del operador, o la operación de la máquina.	31
Muy grave.	Consecuencias muy grave para el medio ambiente, la seguridad del operador, o la operación de la máquina.	47

Tabla 3. Categorías de Consecuencia.

Los modos de falla más importantes de acuerdo al grado de criticidad para ambas secciones de la planta se detallan en la Tabla 1.

Alta	44	84	124	188
Media	33	63	93	141
Baja	22	42	62	94
Muy baja	11	21	31	47
	Leve	Media	Grave	Muy Grave

Fig. 5. Matriz de riesgo para RCM II.

De esta manera se tiene identificados cuáles son los modos de falla que tienen mayor incidencia en la seguridad de la planta, y son estos los que tendrán especial cuidado en la asignación de tareas para un control confiable del riego.

Clasificación.	Intervalo.	Criticidad.
D	11,21,22.	Riesgo bajo.
C	31,33,42.	Riesgo medio.
B	44,47,62,63,84,93.	Riesgo medio-alto.
A	94,124,141,188.	Riesgo alto.

Tabla 4. Interpretación del Riesgo.

J. Determinación de las tareas proactivas.

Con ayuda del Diagrama RCM II y concepto de Costo efectividad de una tarea de mantenimiento se evaluaron cada una las consecuencias de una falla funcional para ambas secciones, determinando así, las Consecuencias de un fallo oculto (H), Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente (S), Consecuencias operacionales (O), y por último se analiza las consecuencias No operacionales (N). De esta forma, se plantearon 61 tareas para la sección del Crisol de Metalurgia y 39 tareas propuestas para sección Lingotera de Metalurgia, ver figura 6.

K. Determinación de posibles tareas de Rediseño.

El RCM recomienda de acuerdo a las funciones descritas y basado en el estudio de las fallas existentes un rediseño en la configuración y soporte de los equipos Bomba y Agitador con respecto al Crisol de Metalurgia; la alta temperatura debida al calor que emite el crisol termina deteriorando los elementos mecánicos de dichos equipos. Como mejora se recomienda el empleo de acoples cardanes los cuales permiten separar el motor y reductor del foco de calor debido al proceso. A continuación la propuesta de mejora:

IV. CONCLUSIONES

Mediante la implementación del RCM II se logró establecer un programa de mantenimiento constituido por tareas proactivas (Predictivas, Preventivas, tareas de chequeo) propuestas para cada uno de los modos de falla definidos anteriormente, una identificación de los componentes por equipo más detallada, unas consideraciones para la seguridad y operación de la máquina que no estaban previstas anteriormente, mayor vida útil de los activos físicos costosos, y un rediseño en un activo físico (Agitador y Bomba crisol) con lo que se espera incrementar la vida útil aún más que la que se obtiene con la configuración actual.

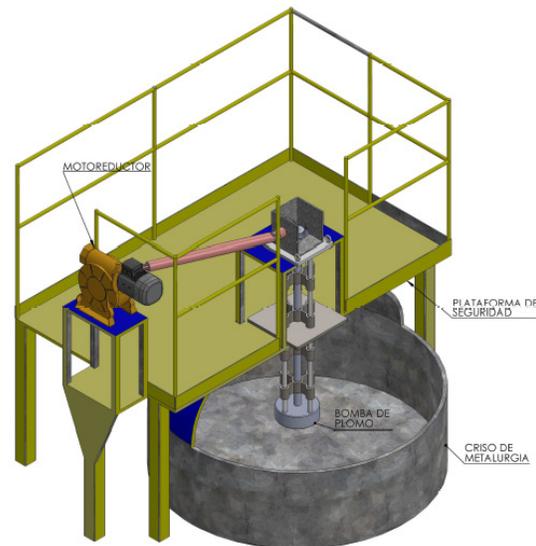


Figura 7. Rediseño en la ubicación de equipos Agitador, Bomba respecto del Crisol de Metalurgia, Vista isométrica.

Se logró una participación del equipo de trabajo RCM II, los cuales aprendieron mucho más de cómo funciona el activo físico, forma correcta de operarlos, la mejor manera de disminuir los accidentes o fallas, cada miembro del grupo intervino en la formulación de los objetivos, en decidir que se debe hacer y quién lo debe hacer, esto conlleva a un mayor sentido de pertenencia. La implementación del RCM II en la sección de Metalurgia logró incrementar la confiabilidad de la sección mediante el análisis del Tiempo medio entre fallas (MTBF), ver tabla 5.

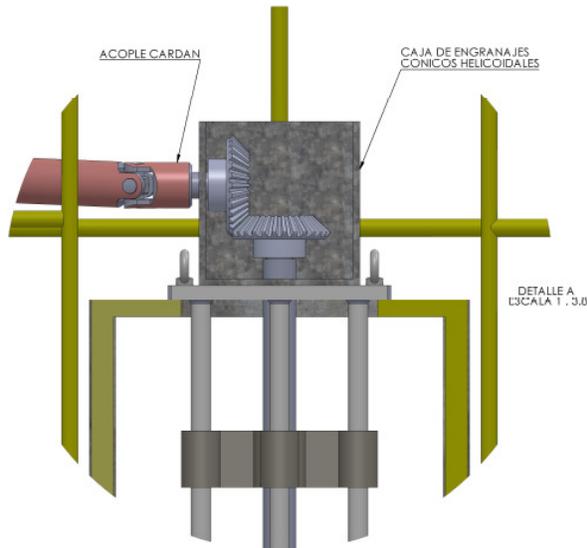


Figura 8. Rediseño en la ubicación de equipos Agitador, Bomba respecto del Crisol de Metalurgia, Vista de Detalle de los engranajes helicoidales cónicos.

Equipo afectado	MTBF (días/No.fallas) antes	MTBF (días/No.fallas) después	Mejora de RCM II (%)
Agitador	53.3	77	44.5
Ventilador	40.5	62	53.1
Crisol Bomba	125	146	16.8
Crisol Termopozo	10	14.4	44

Tabla. 4. Interpretación del Riesgo.

El costo es otro factor importante dentro de la filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad; y es que las tareas propuestas fueron planteadas bajo el análisis costo-beneficio, en otras palabras, la selección de las tareas de mantenimiento se plantearon de acuerdo a la morfología (desde su estado de gestación hasta su estado de falla funcional) o patrones de fallas.

Como se ha mencionado la implementación del RCM II lleva a un entendimiento más preciso de las funciones de los activos físicos que hayan sido evaluados, y una visión mucho más científica acerca de qué se debe hacer para lograr que los equipos cumplan con sus funciones (estudio de Mantenibilidad). La información recopilada, sumado a los datos obtenidos sirven de base para planear las tareas de mantenimiento acordes con las necesidades reales, distribuyendo en una forma más eficiente el personal técnico de mantenimiento, reduciendo costos y optimizando presupuestos.

REFERENCIAS

[1]. V.S. Deshpande, J.P. Modak. Application for safty considerations in a steel plant. Reliability Engineering & System Safety- ELSEVIER. 10: 7 September 2002.

[2]. Mostafa, S. I. 2004. "Implementation of Proactive Maintenance in the Egyptian Glass Company." Journal of Quality in Maintenance Engineering 10, no. 2: 107-122.

[3]. Backlund, F., and Akersten, P. A. 2003. "RCM Introduction: Process and Requirements Management Aspects." Journal of Quality in Maintenance Engineering 9, no. 3: 250-264.

[4]. Wheeler, Paul. 2007. "Reliability-Centered Maintenance." Buildings 101, no. 11: 38.

[5]. Tsang, A. 2002. "Strategic dimension of maintenance management." Journal of Quality Maintenance Engineering 8, no. 1: 7-39.

[6]. Hansson, J., Backlund, F., and Lycke, L. 2002. Managing Commitment: Increasing Odds for Successful Implementation of TQM, TPM or RCM, no. 9: 993-1008.

[7]. Fleming, Susan A. 2006. "FAA's Proposed Plan for Implementing a Reliability Centered Maintenance Process for Air Traffic Control Equipment: GAO-07-81R." GAO Reports 1.

[8]. Hansson, J., Backlund, F., and Lycke, L. 2002. Managing Commitment: Increasing Odds for Successful Implementation of TQM, TPM or RCM, no. 9: 993-1008.

[9]. Pintelon, L., Nagarur, N., and Van Puyvelde, F. 1999. Case Study: RCM-Yes, No Or Maybe?" Journal of Quality in Maintenance Engineering 5, no. 3: 182-191.

[10]. Schein, Edgar. 2004. Organizational Culture and Leadership (3rd ed.). San Francisco, CA: Jossey-Bass Publishers

[11]. Mora, Alberto. Mantenimiento planeación y control. 3a ed. Alfaomega: 2009.

[12]. Duffuaa, Saliho. Sistemas de Mantenimiento planeación y control. 1a ed. Editorial Limusa,SA: 2000.

[13]. Stamatis, D.H. 1995. Failure Mode and Effect Analysis, FMEA from Theory to Execution. ISBN 087389300X. ASQ - American Society of Quality. Milwaukee, Wisconsin, EEUU.