

**GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA EL NUEVO SISTEMA DE
CALENTAMIENTO DE LA EMPRESA MUNDIAL DE TAMBORES LTDA.**



LUIS ALCIDES ARIAS PÉREZ

LUIS GERMÁN BARRIOS GUZMÁN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**LÍNEA DE PROFUNDIZACIÓN EN GESTIÓN DE MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL**

BARRANQUILLA - ATLÁNTICO

2014

**GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA EL NUEVO SISTEMA DE
CALENTAMIENTO DE LA EMPRESA MUNDIAL DE TAMBORES LTDA.**

LUIS ALCIDES ARIAS PÉREZ

LUIS GERMÁN BARRIOS GUZMÁN

**Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar el título de
Ingeniero Mecatrónico**

Asesor Disciplinar:

Ing. Esp. Antonio Manuel Saltarín Jiménez

Asesor Metodológico:

Ing. Kelvin De Jesús Beleño Sáenz, Msc.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**LÍNEA DE PROFUNDIZACIÓN EN GESTIÓN DE MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL**

BARRANQUILLA - ATLÁNTICO

2014

Nota de Aceptación:

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Barranquilla, Enero del 2014.

AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto de grado es un esfuerzo en el cual participaron varias personas directa o indirectamente leyendo, opinando, corrigiendo, teniéndonos paciencia, dándonos ánimo, acompañando en los momentos duros y en los momentos felices.

Agradezco a Dios que es que todo lo puede a nuestra universidad especialmente en el programa de Ing. Mecatrónica, a su director de programa el Ing. Mauricio Barrios por haber confiado en mi persona y por apoyarnos en el transcurso de la carrera dándonos la confianza y el apoyo para seguir adelante en nuestro proyecto de vida. A nuestro asesor metodológico el Ing. Kelvin De Jesús Beleño Sáenz por los consejos, el apoyo y el ánimo que nos brindó, a nuestro asesor disciplinar el Ing. Antonio Manuel Saltarín Jiménez quien nos brindó su conocimiento en la línea de gestión de mantenimiento también por tomarse el tiempo de corregir nuestro trabajo, a nuestra profesora Ing. Stephany Berrio por estar monitoreando nuestro proyecto de grado y, por último pero no menos importante, al Dr. Pablo Bonaveri quien fue nuestro director de la facultad y nos apoyó en todo lo que necesitábamos y también a todos los profesores que nos aportaron para estar en este gran momento de nuestras vidas.

Gracias también a mis queridos compañeros, que me apoyaron y me permitieron entrar en su vida durante estos 5 años de convivir dentro y fuera del salón de clase. Gracias.

A nuestros padres y hermanos que me acompañaron en esta aventura que significa el derecho a ser ingeniero, que de forma incondicional, entendieron mis ausencias y mis malos momentos.

LUIS ARIAS PÉREZ.

Primero que todo le doy las gracias a Dios, que nos llena de vida cada día y nos da fuerzas para alcanzar nuestras metas, a mi papá Luis Barrios Hernández y a mi mamá Mercedes Guzmán Buelvas por todo el apoyo y cariño ante las adversidades y en el día de hoy ante nuestros triunfos.

A mis compañeros y amigos que me apoyaron y me ayudaron en cada paso durante esta etapa de mi vida llena de retos, desafíos y triunfos además por las palabras de aliento que me ayudaron a levantar en los momentos difíciles.

Al grupo de profesores que en estos años nos acompañaron día a día y nos brindaron todo su conocimiento y por ultimo pero no menos importante a nuestro asesor disciplinar el Ing. Antonio Saltarín Jiménez quien nos permitió realizar este proyecto bajo su cargo.

LUIS GERMÁN BARRIOS GUZMÁN.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	3
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2. PREGUNTA PROBLEMA.....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN	5
2. OBJETIVOS	6
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	6
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
3. DISEÑO METODOLÓGICO	7
4. MARCO REFERENCIAL	9
4.1. MARCO TEÓRICO.....	9
4.1.1. Historia del Mantenimiento.....	9
4.1.2. Evolución del Mantenimiento.	10
4.1.3. Tipos de Mantenimiento	13
4.1.3.1. Mantenimiento Correctivo	14
4.1.3.2. Mantenimiento Preventivo.....	14
4.1.3.3. Mantenimiento Predictivo o a Condición	17
4.1.4. Metodologías de Mantenimiento Para Ayudar a Crear Planes y Programas de Mantenimiento	18
4.1.4.1. Metodología TPM (mantenimiento productivo total) en el mantenimiento preventivo	18
4.1.4.2. Metodología RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad) en el mantenimiento preventivo.....	22

4.1.4.3. Mecanismos de Falla	37
4.2. MARCO CONCEPTUAL.....	38
5. DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	40
5.1. DISEÑO CONCEPTUAL DEL EQUIPO	40
5.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	45
5.3. COMPONENTES Y SUS FUNCIONES EN EL SISTEMA.....	48
5.3.1. Suministro Eléctrico.....	51
5.3.2. Sistema de Control.....	51
6. ANÁLISIS TPM Y RCM DEL SISTEMA CALENTADOR	52
6.1. PLAN DE MANTENIMIENTO	57
6.1.1. Plan de Mantenimiento Preventivo.....	59
6.1.1.1. Sistema de Paneles Solares Fotovoltaicos	59
6.1.1.2. Regulador.....	60
6.1.1.3. Acumulador.....	61
6.1.1.4. Sistema de Control.....	62
6.1.1.5. Resistencias Eléctricas	63
7. DOCUMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO	65
7.1. FICHA TÉCNICA.....	65
7.2. SOLICITUD DE SERVICIO	66
7.3. ORDEN DE TRABAJO (CÁLCULOS DE MTBF, MTTR Y DISPONIBILIDAD)	66
7.4. HOJA DE VIDA.....	69
7.5. PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO	69
7.6. CONTROL DE LA MANTENIBILIDAD (INSTRUMENTACIÓN)	71

7.7. MANUAL DE MANTENIMIENTO.....	71
7.8. REFERENTE ECONOMICO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	72
8. CONCLUSIONES.....	76
BIBLIOGRAFÍA.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolución del Mantenimiento	10
Figura 2. Relación entre fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.	12
Figura 3. Diagrama de decisión RCM.	32
Figura 4. Nuevo sistema calentador JIL13.....	46
Figura 5. Esquema estructural del sistema parte a.	47
Figura 6. Esquema estructural del sistema parte b.	47
Figura 7. Diagrama de componentes y sus relaciones.	49

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Matriz RCM para generar conocimiento base para mantenimiento.	26
Tabla 2. Matriz para decisión del tipo de fuente energética primaria.....	41
Tabla 3. Matriz de comparación para decidir entre energía primaria solar o eólica.	43
Tabla 4. Matriz de comparación para decidir entre conversión directa y fotovoltaica.....	45
Tabla 5. Descripción de etapas del sistema en análisis.	50
Tabla 6. Hoja de información para el proceso RCM a nivel de componentes.	53
Tabla 7. Hoja de información RCM nivel de sistema calentador.	55
Tabla 8. Hoja de decisión RCM.....	57
Tabla 9. Ficha técnica del equipo calentador de soda caustica diluida.	65
Tabla 10. Solicitud de servicios.	67
Tabla 11. Orden de trabajo para la empresa.	68
Tabla 12. Hoja de vida de Mantenimiento del equipo calefactor.	70
Tabla 13. Materiales y tiempos de mantenimiento.	74
Tabla 14. Costos totales Anuales.....	75
Tabla 15. Guía para definir el nivel de severidad asociado con consecuencias operacionales para aplicar el proceso RCM.	80
Tabla 16. Guía para definir escala para asignar probabilidades de ocurrencia de fallas en equipos o componentes para aplicar el proceso RCM.	81

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. TABLA NIVEL SEVERIDAD PROCESO RCM.....	79
ANEXO B. TABLA ESCALA PROCESO RCM.....	81
ANEXO C. MANUAL DE MANTENIMIENTO	82

GLOSARIO DE TÉRMINOS

EPP: EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL.

ISO: INTERNACIONAL ESTÁNDAR ORGANIZATION.

ICONTEC: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS.

MTBF: MEAN TIME BETWEEN FAILURES.

MTTR: MEAN TIME TO REPAIR.

NPR: NUMERO PRIORITARIO DE RIESGO.

RCM: RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE. (MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD).

SP: SISTEMAS PRODUCTIVOS.

TPM: TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL).

URE: USO RACIONAL DE ENERGÍA.

RESUMEN

En este proyecto de grado se propone el plan de mantenimiento para el nuevo sistema de calentamiento que utilizará la empresa Mundial de tambores en su proceso de reacondicionamiento de tambores los cuales son utilizados para el almacenamiento y transporte de diversas sustancias. Para ello se tiene en cuenta en primera instancia los componentes que hacen parte del nuevo sistema como son el modulo de calentamiento, válvula de control, tubo de inmersión, quemador, accesorios y demás, identificando las características de cada uno de ellos, sus periodos de uso y el funcionamiento del proceso de calentamiento, para así estimar los posibles tiempos en los que han de desarrollarse los mantenimientos tanto preventivos como correctivos logrando un uso más eficiente del sistema y una mayor durabilidad del mismo. El diseño del plan de mantenimiento está basado en el mantenimiento RCM con el que se busca aumentar la disponibilidad y disminuir los costos del mantenimiento, analizando las posibles fallas que pueda presentar el sistema de calentamiento ya sea tanto por los componentes inherentes como por actos personales e implementando los mecanismos para evitarlos. Se presentarán cada uno de las fases correspondientes al plan de mantenimiento junto con los formatos que han de diligenciarse durante el desarrollo de todo el proceso. Finalmente se diseñará un manual de mantenimiento el cual será utilizado por la empresa Mundial de Tambores para realizar los mantenimientos de su nuevo sistema de calentamiento.

Palabras Claves: RCM, Plan de mantenimiento, Sistema de Calentamiento, Tambores.

ABSTRACT

In this graduation project the maintenance plan for the new heating system company used the Mundial de Tambores in drum reconditioning process which are used for storage and transport of various substances is proposed. This is taken into account in the first instance the components that are part of the new system such as the heating module, control valve, dip tube, burner, accessories and other identifying characteristics of each of them, their periods use and operation of the heating process, so as to estimate the possible time when both preventive and corrective maintenance must be developed making the system more efficient use and durability thereof. The design of the maintenance plan is based on the maintenance RCM team which seeks to increase the availability and reduce maintenance costs, analyzing the possible failures that can present the heating system either both inherent components such as personal documents and implementing mechanisms to avoid them. He presented each of the phases corresponding to the maintenance plan along with the formats to be filled out during the development of the whole process. Finally a maintenance manual which will be used by the Mundial de Tambores Company for the maintenance of your new heating system will be designed.

Keywords: RCM, Maintenance Plan, Heating System, Drums.

INTRODUCCIÓN

En un mundo globalizado como el que se vive en este momento, las empresa deben crear ventajas competitivas si desean mantenerse a flote en los mercados actuales que requieren calidad, flexibilidad, adaptación y un enfoque a satisfacer las cada vez más exigentes necesidades y deseos de sus clientes.

La función empresarial de mantenimiento, cada vez muestra de manera evidente su capacidad para aportar a la competitividad de las empresas, al poder aportar en los procesos de mejoramiento continuo, en aspectos como la seguridad, la calidad, la productividad, que son factores claves para que una empresa sea competitiva¹.

La empresa Mundial de tambores, específicamente su directiva ha entendido el entorno actual de los negocios y por esto recurre al apoyo de estudiantes de ingeniería para desarrollar estudios que le permitan tener datos e información relevante que facilite su proceso de mejora tecnológica en sus operaciones de reacondicionamiento de tambores usados como medios de depósito de sustancias diversas por el sector industrial de la región Caribe. Este trabajo propone un plan de mantenimiento, integrado con un sistema de documentación que active y controle el desarrollo del mismo, basados en las metodologías RCM y TPM. Con esto se mejoran los procesos de mantenibilidad y confiabilidad desde la fase de diseño del producto, utilizando el enfoque de ingeniería concurrente.

¹ GARCIA Mayra, *et al.* Globalización y Competitividad. Facultad de Comercio Administración y Ciencias Sociales. Universidad de Málaga [En línea]. España. Disponible en: <<http://www.eumed.net/ce/2012/gshcss.html>>

El trabajo tiene un primer capítulo que trata sobre las generalidades del proyecto, un segundo capítulo que trata las bases teóricas y conceptuales del mismo y un tercer capítulo que presenta las fases de consecución de los objetivos específicos propuestos.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa MUNDIAL DE TAMBORES Ltda., es una entidad dedicada al reacondicionamiento de tambores utilizados para el almacenamiento y transporte de diferentes sustancias que son de uso común en distintos procesos dentro del sector industrial. Ésta cuenta con una propuesta de rediseñar el actual sistema de calentamiento de una mezcla diluida de soda cáustica y agua, desde la temperatura ambiente hasta una temperatura de proceso entre 90º y 95ºC. La empresa MUNDIAL DE TAMBORES Ltda., plantea eliminar la problemática presente en el actual proceso de calentamiento de la soda cáustica diluida, en el cual se aprecia el uso de combustibles no renovables provenientes de madera y materiales de desecho, los cuales ocasionan contaminación ambiental e inseguridad para los operarios en el curso del proceso, además de que también se presenta un cuello de botella productivo a causa de la velocidad con que este proceso opera, la cual es lenta y no alcanza el tope productivo que esta empresa desea. Una posible ventaja del actual sistema es su facilidad de mantenimiento, dado que el hogar de quema es un simple fogón de leña típico de la región.

Al tener en cuenta las características de del sistema actual que posee el fogón o sistema de calentamiento utilizado por MUNDIAL DE TAMBORES Ltda., las necesidades y problemática actual, se hace necesario el diseño de un nuevo sistema de calentamiento el cual debe ser desarrollado por un grupo de trabajo que la empresa destinará para tal propósito. Los autores de este proyecto, complementariamente y concurrentemente, tienen como objetivo general, desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para el diseño de ese nuevo sistema de calentamiento, dado que el sistema que se requiere desarrollar, será de tipo automático, lo cual incrementa la complejidad del mismo y entonces se

necesita un plan de mantenimiento que justificadamente muestre su capacidad de mantener una alta disponibilidad operativa del sistema propuesto, desde la fase de diseño, mediante la aplicación del concepto de mantenibilidad, requisito fundamental para poder aprovechar su mayor capacidad productiva, asegurando alta disponibilidad, mediante el control de la confiabilidad y de la mantenibilidad factores determinantes de la misma.

1.2. PREGUNTA PROBLEMA

¿Cómo diseñar un plan de mantenimiento que satisfaga los requerimientos de mantenimiento tanto preventivo como correctivo para el nuevo sistema de calentadores de la empresa Mundial de Tambores Ltda.?

1.3. JUSTIFICACIÓN

El uso de los calentadores es de vital importancia en la vida cotidiana y en el campo industrial, ya que estos brindan la utilidad de poder elevar la temperatura de fluidos que posteriormente se acoplan con otros procesos con el fin obtener un producto final. Por consiguiente este proyecto se basa en la aplicación de unas técnicas o metodologías de estudio que ayudan a planificar de forma adecuada las intervenciones a la maquinaria, con motivo de aumentar al máximo la disponibilidad y confiabilidad, controlando el presupuesto de mantenimiento.

Sería importante aplicar un plan de mantenimiento preventivo, ya que nos ayuda a evitar que la máquina llegue a fallar, aumentar su tiempo de vida, el tiempo de producción, lograría una gran economía en reparación y evitaría tener en el almacén piezas extras por la incertidumbre de las fallas que pueda presentar en su periodo de trabajo. Todo lo anterior beneficia a la empresa en su capacidad productiva y por lo tanto debe mejorar su competitividad industrial, lo cual es un beneficio no solo interno, dado que además los trabajadores, los proveedores, los clientes y otros, se benefician con el buen desempeño de la empresa.

En el aspecto académico, los resultados del proyecto, crean una base de conocimiento en el programa y la aplicación logra ante el sector industrial de la región, evidenciar la capacidad de resolver problemas y mejorar la competitividad, paralelo al control de la calidad y de la seguridad industrial. Además, para los estudiantes del programa de Mecatrónica y afines, se puede tener como ejemplo de trabajo concurrente para resolver los problemas de ingeniería. Finalmente por el tipo de proyecto, el mismo puede contribuir a la línea de investigación en energía del programa de ingeniería mecánica.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un plan de mantenimiento basado en el enfoque RCM al nuevo sistema de calentamiento de la empresa Mundial de Tambores Ltda, para garantizar la máxima disponibilidad y productividad del equipo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir un plan de mantenimiento y programar las actividades pertinentes basadas en el enfoque RCM para garantizar la seguridad, correcto uso y prolongar el tiempo de vida útil del equipo.
- Desarrollar la documentación de mantenimiento, necesaria para controlar el desempeño del plan propuesto.
- Establecer los procedimientos de seguridad, operación y mantenimiento que el sistema requiere para garantizar el correcto uso y desempeño.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

El proyecto se realiza con el fin de diseñar un plan de mantenimiento basado en el nuevo proceso del calentador industrial propuesto a la empresa Mundial de Tambores Ltda., además teniendo en cuenta la línea de profundización en gestión de mantenimiento. De todo el conocimiento adquirido en el diseño de la nueva configuración del calentador industrial se procede a idear una serie de fases las cuales permitan ayudar al usuario a evitar usos inadecuados del equipo y concientizar a la empresa de que los mantenimientos preventivos deben realizarse para evitar molestias y prevenir daños totales en el equipo.

Además concientizar a la empresa que el mantenimiento preventivo a la maquina rediseñada debe realizarse para evitar pérdidas por fallas y mantener una óptima producción.

Fase 1: Planificación para la seguridad, correcto uso y prolongación de la vida útil del equipo

De acuerdo con la técnica organizativa RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) procedemos a analizar estricta y profundamente las distintas formas de fallo o averías posibles, estudiando el modo y forma en que se pueden producir dichos fallos y como estos se traducen en repercusiones al equipo con el fin de idear mecanismos y formas de correcto uso que eviten fallas en el equipo y así mantener en buen estado la máquina y prolongar su vida útil.

Fase 2: Creación de documentación de mantenimiento para controlar el desempeño del plan propuesto.

En esta fase procedemos a realizar el documento de mantenimiento que establece las pautas de trabajo a seguir, imprescindibles para una adecuada organización y control del plan de mantenimiento.

Fase 3: Planificación de seguridad y correcto uso para el desempeño del equipo.

Establecer las recomendaciones de seguridad de obligado cumplimiento, basándose en el conocimiento intrínseco que se conoce del nuevo diseño, que deben ser utilizadas para la manipulación de la máquina con motivo de prevenir los riesgos durante el proceso, así como también indicar el modelo de uso de la máquina para alcanzar el desempeño deseado de esta².

² BELLEN ABELLA, María. Mantenimiento Industrial [En línea]. Departamento de Ingeniería Mecánica, UNIVERSIDAD DE CARLOS III. Madrid (España), 2008. Disponible en: <<http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/teoriademaquinas/lecturas/MantenimientoIndustrial.pdf/view> >

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. MARCO TEÓRICO

4.1.1. Historia del Mantenimiento

El mantenimiento hace referencia a la forma en cómo el ser humano tiene la habilidad de conservar de manera correcta y continúa el uso de equipos y maquinarias. Todo deriva de la revolución industrial en donde a raíz de tantas pérdidas ocasionadas por las primeras calderas y las aseguradoras las cuales exigían más control y seguridad a la hora de trabajos, conlleva a crear los primeros talleres mecánicos. Es entonces en 1925 cuando la industria americana se ve en la necesidad de llevar a cabo la idea de estructurar de forma organizada y de manera preventiva donde a conveniencia se intervenían equipos o maquinarias antes que ocurra un desgaste o se fracturen piezas³.

A partir de los años 60 mediante el desarrollo electrónico, espacial y aeronáutico es donde aparece el mantenimiento predictivo en donde la intervención de la maquinaria ya no depende del tiempo operativo, sino que depende de la condición efectiva del estado o elementos y se puede mejorar la fiabilidad del sistema.

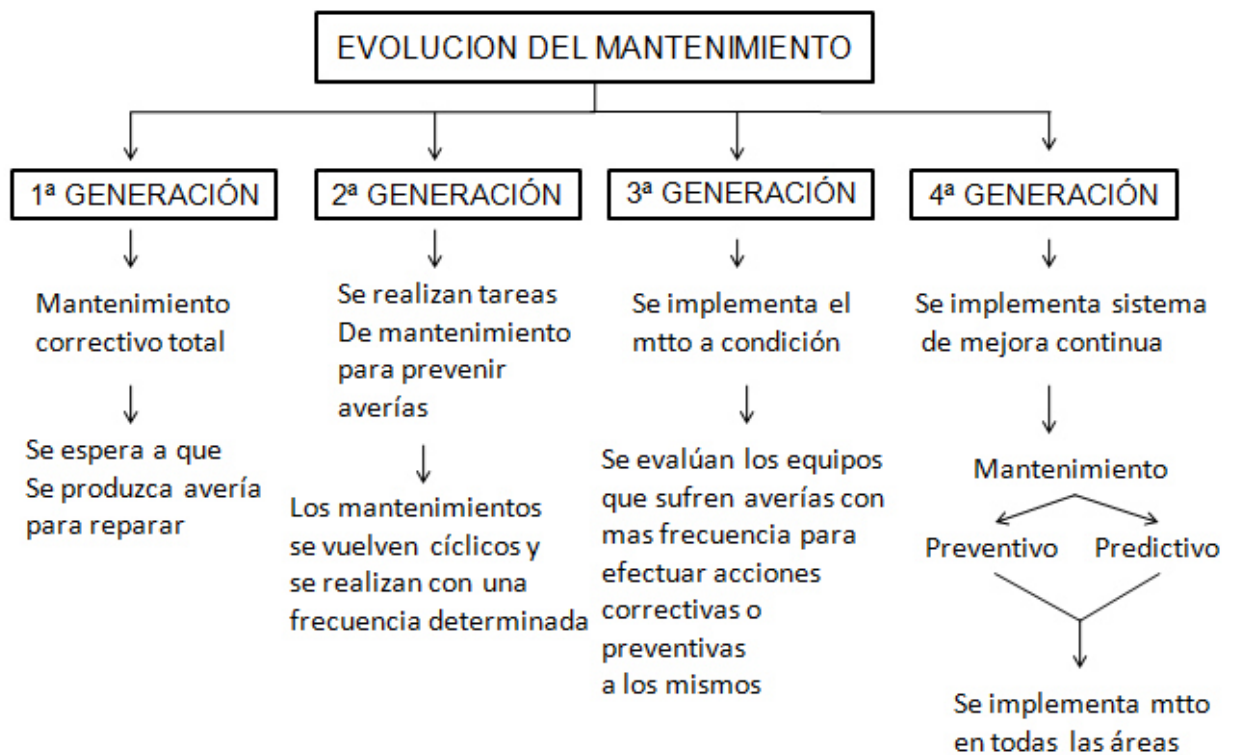
Actualmente el mantenimiento está en otra etapa debido al crecimiento y evolución, en donde por medio de equipos electrónicos podemos monitorear el estado o condición del equipo, determinando cuando se debe realizar una intervención de mantenimiento en el sistema. Estas mediciones se realizan en forma continua (On line) y/o periódica y son sumamente fiables. Los parámetros

³BELLEN ABELLA, María. Mantenimiento Industrial [En línea]. Departamento de Ingeniería Mecánica, UNIVERSIDAD DE CARLOS III. Madrid (España), 2008. Disponible en: <<http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/teoria-de-maquinas/lecturas/MantenimientoIndustrial.pdf>>

usados para ayudar a establecer la condición técnica son tales como: vibraciones, ruidos, temperaturas, análisis físico, químicos, ultrasónicos, etc. Todo esto genera una acumulación de datos que generan patrones de comportamiento relacionados con un estado operativo predictivo, de cómo se comporta la máquina y como se comportara durante un ciclo de vida.

4.1.2. Evolución del Mantenimiento.

Figura 1. Evolución del Mantenimiento



Fuente: Autores.

El mantenimiento desde la visión técnica tiene como objetivos claves el evitar y disminuir las fallas, las reparaciones, paradas innecesarias de producción, accidentes e incidentes, aumentando la seguridad y la vida útil al trabajar con equipos de tipo industrial.

Hay términos que están asociados al mantenimiento tales como:

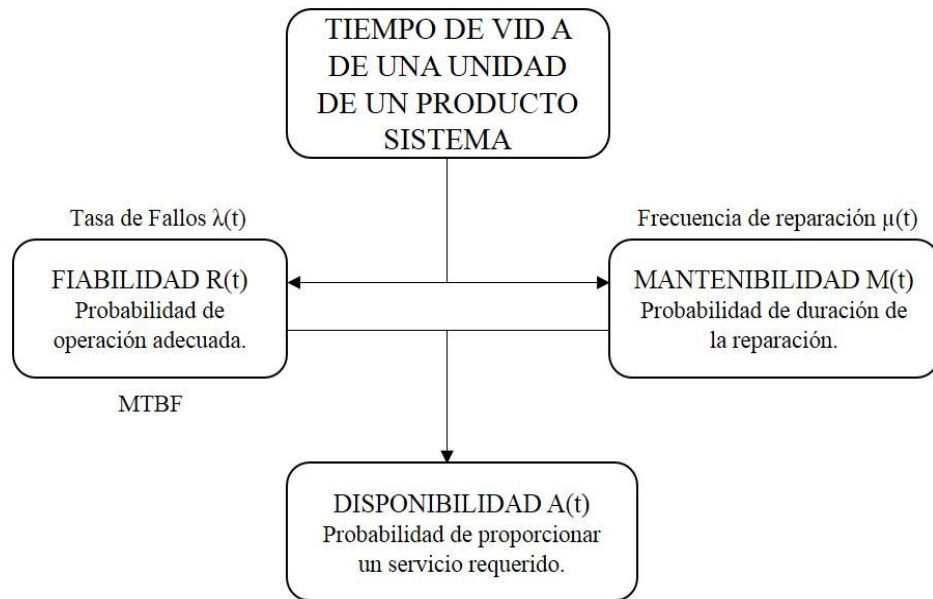
- **Confiabilidad o fiabilidad:** Es la capacidad de una maquina o componente medida en términos de probabilidad de tiempo de uso normal, para realizar una función requerida bajo condiciones operativas dadas o especificadas⁴.
- **La mantenibilidad:** es la capacidad medida en términos de probabilidad de tiempo para resolver fallas, que tiene el sistema de mantenimiento y la maquinaria para recuperarse de las falla en un periodo de explotación.
- **La disponibilidad:** es el porcentaje de tiempo de trabajo productivo que tiene un equipo respecto al tiempo calendario definido para producción, dando un desempeño esperado sin presentar fallas.

Los tres conceptos anteriores están interrelacionados de tal manera que las variables de entrada son la confiabilidad y la mantenibilidad y la variable de salida o de respuesta es la disponibilidad. La figura 1, pretende visualizar las relaciones comentadas.

La disponibilidad (D), es un concepto que sirve como indicador de planeación y de control en la gestión de mantenimiento. La ecuación 1 define el concepto de tal manera que pueda ser cuantificado periódicamente, por ejemplo mes a mes, para el departamento de mantenimiento.

⁴Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad, entendiendo sus diferencias [En línea]. Disponible en: <<http://maintenancela.blogspot.com/2011/10/confiabilidad-disponibilidad-yy.html>>

Figura 2. Relación entre fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.



Fuente: Autores.

$D_{mtto} = (\text{tiempo calendario del periodo} - \text{tiempo dedicado a realizar mantenimientos preventivos más mantenimientos correctivos en ese periodo}) / \text{tiempo calendario para el periodo}.$

Disponibilidad Mantenimiento: $(TT - MT)/TT$

Ecuación 1

Donde:

TT= Tiempo Total.

MT= Tiempo de Mantenimiento.

La anotación responsabilidad de mantenimiento se resalta porque puede ocurrir tiempo perdido por efecto de la responsabilidad de otros departamentos como producción, finanzas, logística, que no deben ser cargados a mantenimiento.

El factor clave en la ecuación 1 en relación a la responsabilidad de mantenimiento para maximizar la disponibilidad, es minimizar el tiempo dedicado a realizar los mantenimientos preventivos y correctivos en cada uno de los periodos. Para alcanzar esta meta, entonces debemos tener equipos de buena confiabilidad, alcanzada mediante diseños robustos que generan bajo número de fallas y equipos y departamento de mantenimiento con buena mantenibilidad, alcanzada mediante diseños fáciles de realizar acciones preventivas y correctivas de mantenimiento, junto con personal, herramientas y equipos y sistemas de diagnóstico, que localicen rápidamente las piezas con fallas en las operaciones correctivas y realicen de manera rápida y sistemática las operaciones preventivas.

Por lo anterior, es fácil ver el gran y positivo o negativo impacto del proceso de diseño en la confiabilidad y mantenibilidad y por ende en la disponibilidad durante el ciclo de vida útil del activo productivo, condición necesaria para alcanzar la productividad y competitividad requerida.

4.1.3. Tipos de Mantenimiento

El origen del mantenimiento se debe a la imperiosa necesidad de dominar las fallas, causantes de la pérdida de disponibilidad. Las fallas normalmente siguen un proceso en el tiempo, dado que el deterioro (ver marco conceptual) se inicia y se desarrolla hasta llegar al nivel de fallas. Por lo tanto las intervenciones de mantenimiento pueden enfocarse desde varios frentes, como son: controlar los factores causantes de deterioro mediante acciones preventivas si este criterio de acción es rentable y es lo que se conoce como mantenimiento preventivo. Otro criterio de acción, es esperar a que ocurra el estado de falla y proceder a realizar las reparaciones que se necesiten y es lo que se conoce como mantenimiento correctivo. Por lo tanto los criterios posibles son correctivo que impone una sola línea de acción y preventiva que facilita varias líneas de acción, como son:

preventivo basado en frecuencia o tiempos, preventivo basado en condición, preventivo basado en oportunidad, preventivo basado en detección, preventivo mejorativo y similares.

4.1.3.1. Mantenimiento Correctivo

Desde el comienzo de los tiempos, se utilizaba este método para reemplazar las piezas que resultaban con fallas, por otras nuevas o en mejor estado. Estas solo fallan por un deterioro total que sufren los componentes al ser sometidos a cargas extremas o al exralimitar los componentes de los equipos, produciendo una falla de piezas o un daño total de la máquina. Hasta donde se conoce, este método solo es utilizado por personas que piensan en ahorrar costos, en invertir capital para una bodega de piezas o por aquellas que poseen maquinaria muy antigua debido a que consideran que por las características de las maquinas les es imposible predecir con exactitud las fallas que pueden presentarse⁵.

El enfoque correctivo, entonces es de tipo reactivo ante las fallas, que pueden ser de carácter determinista o estocástico. En todo caso, el mantenimiento correctivo debe pretender ser eficiente y ello se logra con un equipo de mantenimiento preparado para resolver en el menor tiempo posible las averías imprevistas.

4.1.3.2. Mantenimiento Preventivo

Con el desarrollo tecnológico el hombre se vio en la necesidad de realizar mantenimientos a las máquinas y equipos para que estos no presentasen fallas. Pero al ver que las fallas siempre eran constantes, en ocasiones periódicas y que todas eran de tipo correctivo, lo llevaron a diseñar un método con el cual lograr una mejorar la calidad de las máquinas, a un bajo precio y de forma anticipada a

⁵Ibid, P. 10

las fallas. Fue entonces cuando un grupo de ingenieros japoneses, emprendieron seguir las recomendaciones que les daba el fabricante de los equipos acerca de las operaciones y mantenimientos que debían brindarle a las máquinas para protegerlas y preservarlas. Esta metodología fue llamada como mantenimiento preventivo, y fue aplicada por muchas empresas para todas las áreas donde estuviera en operación una máquina, equipo, etc. para prevenir futuros daños en los equipos interviniéndolos a tiempo y con anterioridad a la falla⁶.

Para asegurar que se necesita establecer este sistema es importante establecer:

- Partes u objetos que serán parte del mantenimiento.
- La vida útil y los trabajos a los que están sometidos.

El enfoque preventivo es de naturaleza proactiva ante las fallas, lo que implica realizar acciones que se anticipen al estado de falla, que intenten el control y permanencia del estado funcional normal del equipo, realizando actividades como son: limpiezas, inspecciones, ajustes, lubricaciones, cambios de piezas y otros, que logren aspectos como: identificación del inicio de efectos de las fallas sin llegar al colapso e identificación de causas en desarrollo de problemas futuros, como son: pequeñas grietas iniciales, desgastes fuera de tolerancia, ruidos anormales, temperaturas fuera de rango y otros.

El problema de cualquier enfoque proactivo, es definir las actividades profilácticas a aplicar y la frecuencia con que se realizan las mismas. A este fin se definen intervalos basados en datos de componentes fallados, asumiendo algún criterio como: duración mínima, duración promedio, duración para determinada

⁶Ibip, P. 10.

probabilidad. Donde la duración puede ser medida en horas, kilometro u otra medida conveniente.

Objetivos del mantenimiento Preventivo

- El objetivo general del mantenimiento preventivo consiste en aumentar al máximo la disponibilidad y confiabilidad del equipo, llevando a cabo un mantenimiento planeado.
- Mantener un equipo confiable el cual tenga la probabilidad de que esté en funcionamiento en todo momento.
- La disponibilidad de un equipo depende de la probabilidad de que un equipo sea capaz de funcionar siempre que se le necesite.
- El mantenimiento preventivo se basa en las condiciones o en datos históricos de fallas del sistema⁷.

El mantenimiento preventivo tradicional, es el basado en tiempo de uso para realizar acciones de mantenimiento que incluyen cambio de piezas e incluso la reparación general, de manera programada. El tiempo se puede definir mediante datos de tiempo de vida útil en relación a condiciones normales de operación. Otra opción es generar patrones estadísticos de fallas y definir la probabilidad de falla deseada para establecer los tiempos de mantenimiento preventivo, lo cual puede ofrecer mejor control del problema de definir los tiempos para las intervenciones activas. De todos modos los enfoques explicados poseen una debilidad en relación al costo normalmente elevado dado que se cambian muchos componentes con una gran vida residual.

⁷CASTELLANOS, Kleyber. Mantenimiento Preventivo, Ventajas y Desventajas [En línea]. Disponible en: <<http://www.slideshare.net/blacksaturn/mantenimiento-preventivo-1819125>>

La justificación para realizar una tarea preventiva de cambio cíclico de piezas solo es posible si se conoce cuál es el tiempo que debe transcurrir para que se dispare la probabilidad de falla.

4.1.3.3. Mantenimiento Predictivo o a Condición

Es un enfoque que utiliza tecnología de diversa complejidad para medir el estado de ciertas variables o parámetros de un equipo y basados en lo anterior establecer su real estado operativo y el nivel de deterioro sufrido por el uso. Con lo anterior se tienen datos e información para tomar decisiones acerca de aplicar acciones de mantenimiento preventivo específicas según la condición monitoreada.

Es utilizado actualmente por numerosas industrias, ya que es la forma más fácil de definir y establecer futuras causas de un fallo, con la monitorización de equipos. Las fallas ocurren debido a que se omiten ruidos y comportamientos extraños de piezas que están próximas a fallos, esto es lo que utiliza el mantenimiento predictivo para realizar el análisis de la maquinaria, evaluando condiciones, ruidos, o su estructura interna, revelando el diagnóstico del sistema en presente y futuro del funcionamiento del equipo.

Todo esto se da mediante la medición y control de parámetros como temperaturas, presión, velocidad lineal, velocidad angular, resistencia eléctrica, etc. En otras palabras se trata de seguir la evolución de los futuros fallos. Esto permite crear y seguir un registro histórico para analizar, programar reparaciones, y tener paradas programadas de los equipos.

La justificación para realizar una tarea predictiva se presenta cuando es posible tener un síntoma de falla medible u observable y que el tiempo entre el síntoma y la falla funcional sea lo suficientemente largo para que puedan realizarse acciones de mantenimiento controladas.

4.1.4. Metodologías de Mantenimiento Para Ayudar a Crear Planes y Programas de Mantenimiento

En el contexto de este trabajo, las metodologías deben verse como guías para definir decisiones y acciones correspondientes. En relación al mantenimiento, las metodologías deben guiar en las decisiones que se tomen para establecer un plan de mantenimiento preventivo a un equipo, instalación, sistema o similar. Además la gestión de mantenimiento necesita manejar aspectos humanos, administrativos y técnicos de manera conjunta, por lo cual se tienen metodologías. En el caso de la metodología llamada “mantenimiento productivo total”, (TPM por sus siglas en ingles), la misma enfatiza aspectos administrativos y de manejo de personal, junto con aspectos técnicos generales. En el caso de la metodología llamada mantenimiento basado en la confiabilidad, (RCM por sus siglas en ingles), la misma enfatiza fuertemente en aspectos técnicos para ayuda a definir un plan de mantenimiento ajustado a las necesidades del equipo, en el contexto operacional del mismo.

A continuación se detallan mejor estas metodologías.

4.1.4.1. Metodología TPM (mantenimiento productivo total) en el mantenimiento preventivo

La metodología TPM se origina en Japón y el instituto japonés de normas JIT lo define así: “Es una metodología que se orienta a crear un sistema corporativo que

maximiza la eficiencia de todo el sistema productivo, estableciendo un sistema que previene las pérdidas en todas las operaciones de la empresa. Esto incluye cero accidentes (énfasis en seguridad), cero defectos (énfasis en calidad) y cero fallos (énfasis en productividad) en todo el ciclo de vida del sistema productivo. Se aplica en todos los sectores, incluyendo producción desarrollo y departamentos administrativos. Se apoya en la participación de todos los integrantes de la empresa, desde la alta dirección hasta los niveles operativos. La obtención de cero pérdidas se logra a través del trabajo de pequeños equipos”.

Incorpora una serie de nuevos conceptos entre los cuales cabe destacar el Mantenimiento Autónomo, el cual es ejecutado por los propios operarios de producción, la participación activa de todos los empleados, desde los altos cargos hasta los operarios de planta.

Con su uso se pretende:

- Maximizar la eficacia del equipo. (Mejorar la eficacia total).
- Desarrollar un sistema de mantenimiento productivo para la vida útil del equipo.
- Implicar a todos los departamentos que planifican, diseñan, utilizan o mantienen los equipos TPM.
- Implicar a todos los empleados.

En relación a su ayuda para establecer planes de mantenimiento, se tienen los siguientes conceptos fundamentales:

Anormalidad: síntomas o señales que presenta una máquina que se desvían de una condición de referencia establecida.

Condiciones básicas: son actividades básicas y sencillas de mantenimiento, que incluyen: limpieza, lubricación y ajustes que permiten prolongar la vida útil de las máquinas en condiciones óptimas de operación.

Deterioro: proceso de cambio de la condición o estado de un activo, desde el funcionamiento normal hasta otro estado, que lo lleva con el tiempo a no cumplir la función esperada a cabalidad.

Deterioro natural: proceso controlado del cambio de condición o estado de un activo, que se logra cuando se aplican las condiciones básicas de mantenimiento, lo cual permite tener una vida útil larga y productiva.

Deterioro forzado: proceso acelerado del cambio de condición o estado de un activo, que ocurre cuando no se mantienen las condiciones básicas y resulta en una vida útil corta e improductiva.

Falla o avería: estado avanzado de deterioro de un activo donde el mismo no es capaz de cumplir la función esperada.

Basados en los anteriores conceptos TPM propone que realizando las actividades básicas de limpieza, lubricación y ajustes, la gestión de mantenimiento puede controlar el deterioro acelerado y por lo tanto también ocurrencia de las fallas, de tal manera que se mejora la eficiencia de uso y se maximiza la rentabilidad del activo productivo. Este enfoque se aplicará a este trabajo de grado.

Otro aspecto fundamental de TPM a utilizar que se complementa con el anterior concepto, es el enfoque de las 5s. Que son:

Seiri, significa organizar las cosas. Implica definir de lo existente en un lugar, que se usa para tenerlo y que no se usa para eliminarlos del lugar de trabajo. Con esto se simplifica el lugar de trabajo.

Seiton, significa ordenar las cosas. Implica identificar los lugares para cada cosa, de tal manera que sea fácil su ubicación y uso.

Seiso, significa limpieza. Implica limpiar y eliminar las fuentes de suciedad y similares. Esto asegura mantener las condiciones básicas.

Seiketsu, significa control visual. Implica crear un sistema que facilita identificar condiciones anormales de las normales. Esto ayuda a que las tres primeras condiciones se estandaricen y mantengan.

Shitsuke, significa trabajar según normas. Implica la concientización y entrenamiento del personal para que respete y aplique las normas creadas.

Con la aplicación de las 5s se pretende mejorar los aspectos organizacionales del sistema actual de mantenimiento.

Una desventaja del enfoque TPM en relación a la manera como se aprecian las fallas, es que fundamentalmente considera que todas deben ser eliminadas y esto

puede llegar a ser prohibitivo económicamente. Debe realizarse algún tipo de priorización para racionalizar los recursos asignados al mantenimiento.

4.1.4.2. Metodología RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad) en el mantenimiento preventivo.

La metodología RCM se origina en estados unidos, en la industria aeronáutica. El enfoque de la misma es que en la medida en que se conoce el funcionamiento de la máquina, se tiene un mejor conocimiento para realizar una operación y un mantenimiento efectivo. Por lo tanto la metodología se expone de tal manera que los que la apliquen conocerán sus equipos mejor que antes de la aplicación. Con este conocimiento mejorado, la metodología expone las herramientas que deben aplicarse hasta llegar a elaborar un plan de mantenimiento acorde con el uso que se le da al equipo. Una idea fundamental del RCM que le da valor al enfoque, es que los planes de mantenimiento no deben crearse para controlar las fallas por sí mismas, más bien se quiere controlar es las consecuencias de las fallas, que pueden afectar la seguridad, el medioambiente, la calidad, la productividad, lo cual servirá como medio de priorización sobre que probables fallas deben y no deben atenderse con el plan de mantenimiento.

El Objetivo de RCM y las fases del proceso

El objetivo fundamental de la implantación de un Mantenimiento Centrado en Fiabilidad o RCM en una planta industrial es aumentar la disponibilidad y disminuir costos de mantenimiento. El análisis de una planta industrial según esta metodología aporta una serie de resultados⁸:

⁸RENNOVATEC. Objetivo del RCM [En línea]. Disponible en: <<http://mantenimientoindustrial.wikispaces.com/Objetivo+del+RCM>>

- Mejora la comprensión del funcionamiento de los equipos y sistemas
- Analiza todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales.
- Determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta.

Las acciones de tipo preventivo que evitan fallos y que por tanto incrementan la disponibilidad de la planta son de varios tipos:

- Tareas de mantenimiento, que agrupadas forman el Plan de Mantenimiento de una planta industrial o una instalación.
- Procedimientos operativos, tanto de Producción como de Mantenimiento
- Modificaciones o mejoras posibles.
- Definición de una serie de acciones formativas realmente útiles y rentables para la empresa.
- Determinación del stock de repuesto que es deseable que permanezca en Planta.

El mantenimiento centrado en fiabilidad se basa en el análisis de fallos, tanto aquellos que ya han ocurrido, como los que se están tratando de evitar con determinadas acciones preventivas, como por último aquellos que tienen cierta probabilidad de ocurrir y pueden tener consecuencias graves. Por lo tanto el enfoque RCM puede aplicarse desde la fase de diseño, hasta a equipos usados a los cuales quiera mejorárseles el plan de mantenimiento actual, porque los resultados obtenidos no son los esperados. Durante el análisis de fallos debemos contestar a seis preguntas claves:

- ¿Cuáles son las funciones y los estándares de funcionamiento en cada sistema?
- ¿Cómo falla cada equipo?
- ¿Cuál es la causa de cada fallo?
- ¿Qué consecuencias tiene cada fallo?
- ¿Cómo puede evitarse cada fallo?
- ¿Qué debe hacerse si no es posible evitar un fallo?

La metodología en la que se basa RCM supone ir completando una serie de fases para cada uno de los sistemas que componen la planta, a saber:

Fase 0: Codificación y listado de todos los subsistemas, equipos y elementos que componen el sistema que se está estudiando. Recopilación de esquemas, diagramas funcionales, diagramas lógicos, etc.

Fase 1: Estudio detallado del funcionamiento del sistema. Listado de funciones del sistema en su conjunto. Listado de funciones de cada subsistema y de cada equipo significativo integrado en cada subsistema.

Fase 2: Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos. Listado de las posibles fallas que pueden ocurrir por el funcionamiento y características de trabajo del equipo.

Fase 3: Determinación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior.

Fase 4: Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo. Clasificación de los fallos en críticos, importantes o tolerables en función de esas consecuencias.

Fase 5: Determinación de medidas preventivas que eviten o atenúen los efectos de los fallos.

Fase 6: Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías. Elaboración del Plan de Mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación y procedimientos de operación y de mantenimiento.

Fase 7: Puesta en marcha de las medidas preventivas. Se pone en ejecución el plan de mantenimiento respetando el cronograma a seguir.

- **Herramientas de RCM**

Las herramientas de RCM a utilizar en el trabajo son: la matriz funcional, el análisis de modos y efectos de las fallas (método FMEA y FMECA por sus siglas en ingles), y el diagrama de decisión RCM.

- **Matriz RCM**

La tabla 1, presenta el esquema de una matriz funcional RCM para elaborar la base de conocimiento con la cual crear un plan de mantenimiento.

Tabla 1. Matriz RCM para generar conocimiento base para mantenimiento.

Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de la falla	Consecuencia de la falla	Probabilidad de detección	Probabilidad de ocurrencia	NPR	Acciones de mtto a implementar

Fuente: Autores.

Donde NPR significa Número prioritario de riesgo.

El significado de los encabezados para cada columna de la matriz en la tabla 1, para los fines de este trabajo de grado son los siguientes:

Función: Es lo que se espera que realice técnicamente un componente o modulo del activo productivo.

Falla funcional: Estados indeseables del sistema o componentes, relacionados con el no cumplimiento de la función esperada. Una falla funcional identifica un estado de falla no la causa de la misma.

Modo de falla: Posibles causas por las que un equipo puede llegar a un estado de falla. Debe identificarse en lo posible la causa raíz que no siempre tiene porque ser de tipo técnico, porque puede ser el ambiente, el personal operativo y de mantenimiento u otros.

Un modo de falla es cualquier evento que cause una falla funcional. La descripción del modo de falla debe consistir de un sustantivo y un verbo, además debe contener los detalles suficientes para poder seleccionar una estrategia de manejo de falla apropiada, pero no demasiados dado que ya se pierden grandes

cantidades de tiempo en el proceso de análisis por sí solo. Igualmente deben ser registrados los modos de fallas que tengan posibilidades razonables en ese determinado contexto.

Una lista de modos de falla razonable debe incluir los siguientes:

- Fallas que han ocurrido antes en los equipos (o similares).
- Modos de falla que ya son objeto de rutina de mantenimiento proactivo y que ocurrirían si no se hiciera mantenimiento proactivo.
- Cualquier otro modo de falla que no haya ocurrido todavía, pero que se considere como una posibilidad real.

Si las consecuencias tiene probabilidad de ser realmente severas aún fallas más remotas deben registrarse y ser sometidas a análisis.

Efecto de la falla: Es la descripción de lo que pasa cuando ocurre una falla funcional. Esta descripción debe incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de falla, tal como:

- Que evidencia existe (si la hay) de que la falla haya ocurrido.
- De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si es que la representa).
- De qué manera afecta la producción o las operaciones (si las afecta).
- Que daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla.
- Que debe hacerse para remediar la falla.

El proceso de identificar funciones, fallas funcionales, modo de falla y efectos de falla trae asombrosas oportunidades de mejorar el desempeño y la seguridad y eliminar el desperdicio.

Consecuencia de la falla: es una clasificación del efecto de una falla en una de las cinco categorías siguientes: seguridad, medio ambiente, operacionales, no operacionales y ocultas.

Un análisis detallado en la empresa probablemente muestre entre 10 y 1000 modos de falla. Cada una de estas fallas afecta a la organización de algún modo, pero en cada paso, los efectos son diferentes. Pueden afectar operaciones, la calidad del producto, el servicio al cliente, la seguridad o el medio ambiente. Y todas toman tiempo y costará dinero repararlas.

Son estas consecuencias las que influyen en el intento de prevenir cada falla. Por otro lado, si tiene consecuencias leves o no las tiene, quizás decidamos no hacer más mantenimiento de rutina que una simple limpieza y lubricación básicas.

Un punto fuerte de RCM es que reconoce que las consecuencias de las fallas son más importantes que sus aspectos técnicos. De hecho reconoce que la única razón para hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es evitar la falla sino reducir las consecuencias de las fallas. El proceso RCM clasifica estas consecuencias en cuatro grupos, de la siguiente manera:

- Consecuencias de las fallas no evidentes: se les da prioridad a las fallas que no sean evidentes, pero expone la organización a otras fallas con

consecuencias serias y hasta catastróficas. (La mayoría están asociadas a sistemas de protección sin seguridad inherente).

- Consecuencias ambientales y para la seguridad: Una falla tiene consecuencias para la seguridad si es posible que cause daño o la muerte a alguna persona. Tiene consecuencias ambientales si infringe alguna normativa o reglamento ambiental tanto corporativo como regional, nacional o internacional.
- Consecuencias operacionales: Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (cantidad, calidad del producto, atención al cliente, o costos operacionales) además del costo directo de la reparación.
- Consecuencias No-Operacionales: Las fallas que caen en esta categoría no afectan la seguridad ni la producción. Sólo se relacionan con el costo directo de la reparación.

El proceso RCM hace uso de éstas categorías como la base de su marco de trabajo estratégico para la toma de decisiones en el mantenimiento. Al establecer una revisión obligada de las consecuencias de cada modo de falla en relación a las categorías recién mencionadas, integra a los objetivos operacionales, ambientales, y de seguridad de la función del mantenimiento.

El proceso de evaluación de las consecuencias también cambia el énfasis de la idea de que toda falla es negativa y debe ser prevenida. De esta manera focaliza la atención sobre las actividades de mantenimiento que tienen el mayor efecto sobre el desempeño de la organización, y resta importancia a aquellas que tienen escaso efecto.

Escala de detección: Para cada falla, sea en su efecto o causa se tiene determinada posibilidad de detección. Se puede entonces crear una escala de la dificultad o facilidad de detectar el deterioro en un nivel en el tiempo para cada falla.

Frecuencia de ocurrencia: se sabe que no todas las fallas ocurren con la misma frecuencia, por lo tanto basados en la frecuencia de ocurrencia de cada falla, se puede hacer una escala de las mismas para un equipo.

NPR (numero prioritario de riesgo): se puede entonces crear una escala para medir la consecuencia de la falla por cada modo de falla. Una escala para medir la detección y otra escala para medir la frecuencia de ocurrencia. Todas las escalas poseen números del uno hacia arriba. El número prioritario de riesgo para cada modo de falla, resulta de multiplicar su valor de consecuencia por el de detección por el de ocurrencia, dando un resultado mayor que uno. Por lo tanto se tendrá un valor de NPR para cada modo de falla y entonces se puede construir una priorización de los modos de fallas y filtrar las fallas que realmente deben atenderse en el contexto operacional para controlar la seguridad, la calidad, la productividad y el medio ambiente, de tal manera que se realizan las actividades que se deben hacer y no las que se puedan hacer.

Acciones de mantenimiento a implementar: definidos según el NPR cuales modos de fallas se deben atender, entonces se determinan las acciones de mantenimiento a aplicar, que caen en alguna de las siguientes categorías: correctiva, preventiva, predictiva, de detección, mejorativas.

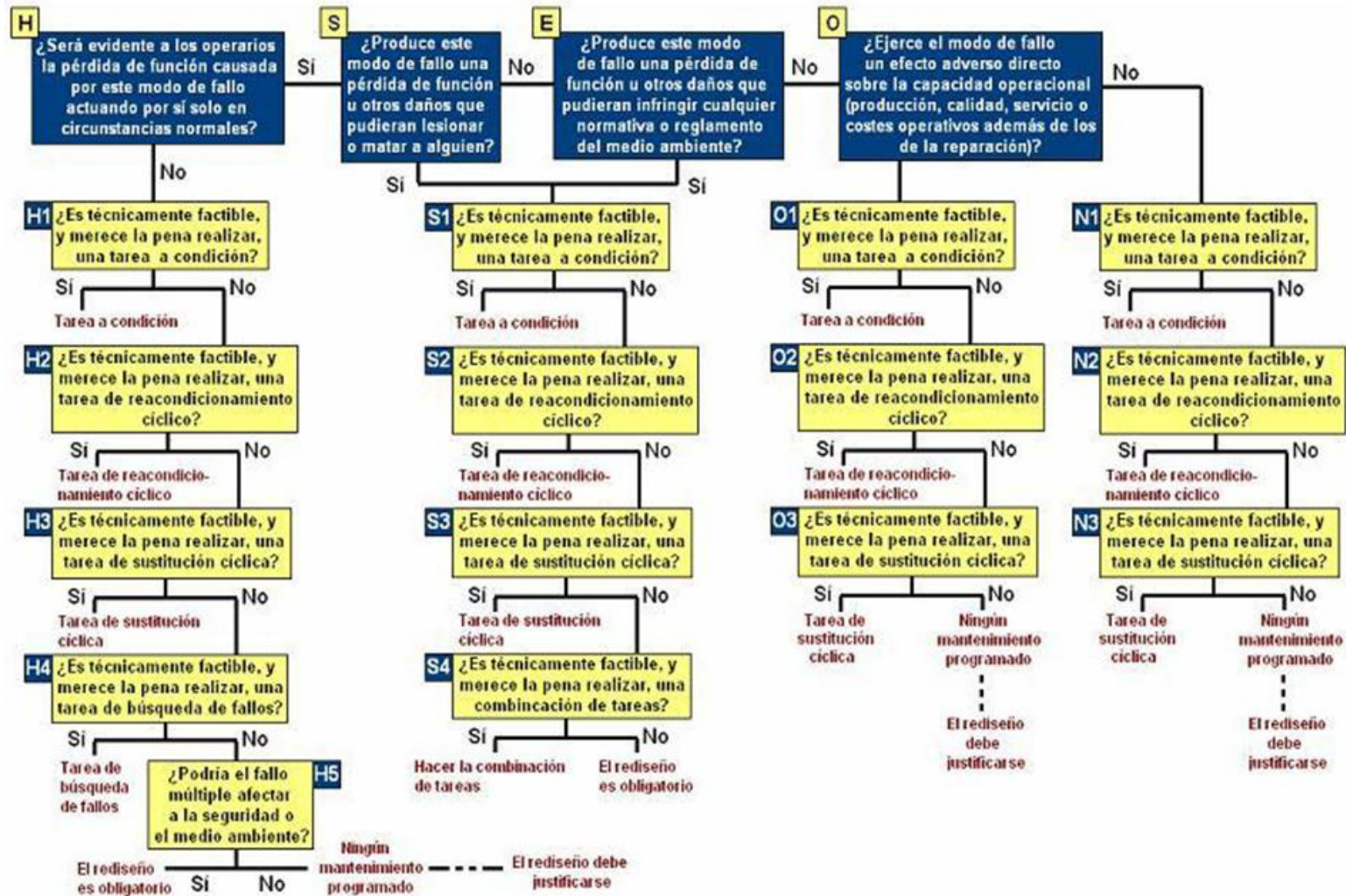
- **Diagrama de decisión RCM.**

Es una herramienta conceptual, que basada en preguntas que inicia en la columna identificada con la letra H en la figura 3, procede a moverse por las opciones sí o no según aplique hasta llegar al extremo de alguno de los posibles caminos, que definirá si la acción de mantenimiento a aplicar es de tipo correctivo, preventivo, predictivo, de detección o mejorativas. Por lo tanto el diagrama RCM ayuda identificar el tipo de acción de mantenimiento que mejor controla cada modo de falla.

Las acciones de detección se justifican si existe en el equipo elementos de control para garantizar la seguridad, que deben actuar cuando el sistema llega a sobrepasar un límite que representa peligro y el elemento debe trabajar. Por lo tanto mientras el sistema opere lejos del límite de peligro, el elemento de detección no funciona y si se daña en estas circunstancias, no se nota este estado de peligro latente (se dice que su falla está oculta), que llegará a ser un accidente o incidente en el momento que el sistema por alguna razón camina hacia el imite, lo sobrepasa y ocurra la falla y los problemas derivados.

Las acciones mejorativas se justifican si se presentan fallas de tipo crónica. Entonces mediante un análisis de causa – raíz de la falla, es posible determinar cuál es la verdadera causa original, que no necesariamente es de naturaleza técnica. Si la naturaleza de la falla es técnica, puede procederse a modificar el diseño original para mejorar el desempeño, pero antes debe asegurarse que el diseño original es deficiente para la función esperada y que otra solución técnica que no sea el rediseño no es factible.

Figura 3. Diagrama de decisión RCM.



Fuente: Moubray J. RCM II. 2ed. New York. Industrial press. Año 1997. P 200.

Donde la primera columna hace referencia a la Consecuencia de falla oculta, la segunda columna Consecuencia para la seguridad o el Medio Ambiente, la tercera Consecuencia Operacionales y la cuarta columna Consecuencia no Operacionales.

El diagrama RCM II, es una herramienta que integra en una sola hoja todos los procesos de decisión RCM en un marco de trabajo estratégico. Mediante preguntas del tipo “sí” o “no” guía al grupo de análisis a responder puntualmente a las tres últimas preguntas del proceso RCM:

¿De qué manera y cómo importa cada falla?

Tipo de Consecuencia.

¿Qué puede hacerse para prevenir cada falla?

Tipo de tarea proactiva.

¿Qué debe hacerse si una tarea proactiva conveniente no puede encontrarse?

Tipo de tarea “a falta de”.

Las primeras cuatro preguntas horizontales del diagrama responden el tipo de consecuencia asociado al modo de fallo que presenta el equipo:

Pregunta uno, identificado con una **H** del inglés Hidden que significa oculto, evalúa si la consecuencia de la falla es evidente, si la respuesta es afirmativa, se pasa a la pregunta número 2.

Pregunta dos, identificado con una **S** del inglés Security que significa seguridad, evalúa si la consecuencia de la falla afecta la seguridad del individuo, si la respuesta es no entonces se pasa a la pregunta número 3.

Pregunta tres, identificado con una **E** del inglés environment que significa medio ambiente, evalúa si la consecuencia de la falla tiene un efecto adverso sobre el medio ambiente, si la respuesta es no entonces se pasa a la pregunta número 4.

Pregunta cuatro, identificado con una **O** del inglés operational que significa operacional, evalúa si la consecuencia de la falla tiene un efecto adverso sobre la capacidad operacional, si la respuesta es no entonces se clasifica como un modo de fallo con consecuencias no operacionales.

Una vez determinada el tipo de consecuencia, se aborda entonces el árbol de manera vertical, para responder que debe o no hacerse.

- **Proceso de decisión para consecuencias de modo de falla oculto.** Si a la respuesta uno es no, entonces se trata de un modo de falla oculto.

El siguiente paso es el proceso de selección de tareas, mediante las preguntas H1, H2, H3, se determina el tipo de tarea que debe realizarse. Si no se puede

encontrar una tarea proactiva para tratar la falla, se debe tomar una acción “a falta de”, revisando la función oculta periódicamente para saber si continúa funcionando; esta revisión es llamada “búsqueda de falla” H4.

En caso de ser poco proactivo realizar la búsqueda, se debe evaluar si dicho modo de falla afecta la seguridad o el medio ambiente H5, en caso de afectarlo, es obligatorio rediseñar. Por el contrario si no afectan ninguno de esos dos aspectos, se puede optar por no realizar ningún mantenimiento o considerar el rediseño, evaluado en términos económicos.

- **Proceso de decisión para consecuencias para la seguridad y el medio ambiente.** Si se responde positivamente las preguntas S ó E, se está tratando entonces con un modo de falla que tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente, en ambos casos el proceso de decisión es el mismo.

El siguiente paso, luego de haber determinado el tipo de consecuencia, es el proceso de selección de tareas S1, S2, y S3. Si no se puede encontrar una tarea que por sí sola sirva para tratar el modo de falla, es posible realizar una combinación de tareas, S4.

En caso de no hallarse una tarea que logre prevenir la falla, se debe tomar una decisión “a falta de “. Para este caso el RCM no introduce el tema económico. Si no es seguro, se tiene la obligación de hacerlo seguro, es decir, si no se logra encontrar una tarea adecuada, el rediseño es obligatorio.

- **Proceso de decisión para consecuencias operacionales.** Si se determina que un modo de falla tiene consecuencias operacionales O, se debe buscar una tarea proactiva que sea costo-eficaz, es decir, que a lo largo de un período de tiempo, cueste menos que el costo de las consecuencias operacionales más el costo de reparar la falla O1, O2, O3.

Si no se logra encontrar una tarea que cumpla con esa condición, se debe optar por una acción “a falta de”, la cual generalmente es ningún mantenimiento programado, aunque en algunos casos, en los cuales las consecuencias de la falla sean inaceptable, se puede rediseñar, justificándolo económicamente.

- **Proceso de decisión para consecuencias no operacionales.** Las consecuencias de una falla evidente que no ejerce un efecto adverso directo sobre la seguridad, medio ambiente, o la capacidad operacional, son clasificadas como no operacionales. Las únicas consecuencias asociadas con estas fallas son los costos de reparación. Entonces estas consecuencias son también económicas.

Esto sugiere que sólo vale la pena tratar de prevenir este tipo de falla, si, a lo largo de un período de tiempo, el costo de la tarea proactiva es menor al costo de reparar la falla cuando ocurre N1, N2, N3. Si no lo es, entonces no vale la pena realizar mantenimiento programado, o, en algunos casos poco comunes podría justificarse el rediseño por razones similares a las que aplican a fallas con consecuencias operacionales.

Un plan de mantenimiento entonces puede ser creado, basado en el uso de la metodología RCM, específicamente con la aplicación de la matriz funcional y el diagrama de decisión RCM:

4.1.4.3. Mecanismos de Falla

Los modos de fallo de un sistema dependen de la disposición funcional de sus Componentes y de la naturaleza de los mismos. Aunque los modos de fallo varían en gran medida debido a la arquitectura funcional, los eventos iniciales de fallo, los modos de fallo de componentes, pueden ser clasificados así:

Los aparatos electrónicos tienen básicamente tres modos de fallo diferentes: cortó circuito, circuito abierto y que el rendimiento sea menor al normal. Los mecanismos de falla de dispositivos electrónicos no son muy bien comprendidos, pero según Tom Denton de la Universidad del reino unido (UK), en su libro sobre técnicas de diagnóstico avanzadas en la industria del automóvil, por lo general los mecanismos de falla en piezas electrónicas, implican la electro mitigación, la inestabilidad de iones y otro fenómenos no bien entendidos aun. La duración de la vida útil de los componentes electrónicos es muy larga y la tasa de fracaso se considera constante, si se controlan los sobre voltajes, lo que se constituye en una sólida base para planear y ejecutar acciones de mantenimiento preventivo, como limpiezas apropiadas por ejemplo, que eliminen polvo, sales, corrosión, malos contactos y sobrecalentamientos, factores causantes de degradación acelerada.

Los componentes de los dispositivos mecánicos e incluso electromecánicos presentan fallas generalmente asociadas con mecanismos de envejecimiento o mecanismos de daño acumulativo, tales como la fatiga, el desgaste y la corrosión. Los componentes suelen fallar cuando el daño excede el nivel de resistencia del

componente. La duración de los componentes mecánicos es constante durante su vida útil y se incrementa después de superar un nivel de uso según el componente específico.

4.2. MARCO CONCEPTUAL

Deterioro: desviación de las características de un equipo, respecto a los márgenes definidos por el diseño, que ocasionan leve o moderada disminución en aspectos como calidad, productividad y seguridad de los resultados dados por el equipo.

Falla: estado de un equipo, donde el nivel de deterioro a avanzado y supera un umbral, donde los resultados del equipo en términos de calidad, seguridad y productividad son inaceptables.

Falla oculta: Estado de falla que no es evidente que ha ocurrido y que necesita de otra falla que sea evidente o de un proceso de detección para revelarla.

Mantenimiento de Avería ó Reparación: Se define como la atención a un sistema de producción cuando aparece una falla. Su objetivo es mantener en servicio adecuadamente dichos sistemas, minimizando sus tiempos de parada. La atención a las fallas debe ser inmediata y por tanto no da tiempo a ser "programada" pues implica un aumento en costos y de paradas innecesarias de personal y equipos.

Mantenimiento Circunstancial: Este tipo de mantenimiento es una mezcla entre Rutinario, Programado, Avería y Correctivo ya que por su intermedio se ejecutan

acciones de rutina pero no tienen un punto fijo en el tiempo para iniciar su ejecución, porque los sistemas atendidos funcionan de manera alterna.

Mantenimiento Programado: Toma como base las instrucciones técnicas recomendadas por los fabricantes, constructores, diseñadores, usuarios y experiencias conocidas, para obtener ciclos de revisión y/o sustituciones para los elementos más importantes de un SP a objeto de determinar la carga de trabajo que es necesario programar.

Mantenimiento Rutinario: Es el que comprende actividades tales como; lubricación, limpieza, protección, ajustes, calibración, etc., su objetivo es mantener y alargar la vida útil de los Sistemas Productivos (SP) evitando su desgaste.

Vida residual: intervalo de tiempo que aún le queda a un componente para completar su vida útil.

Vida útil: Intervalo de tiempo total que posee un componente antes de que tenga que ser reparado o cambiado.

5. DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

5.1. DISEÑO CONCEPTUAL DEL EQUIPO

Se anota por parte de los autores de este proyecto, que su participación en la fase de diseño, en relación con el tema de la mantenibilidad y confiabilidad se desarrolla de la siguiente manera:

- a. Para establecer el criterio de confiabilidad del diseño. Se define como alta confiabilidad en el diseño, aquellos conceptos de sistemas seleccionados que cumplen la condición de poseer una estructura simple y robusta, cuantificada mediante la confiabilidad de cada uno de sus elementos y el conjunto.
- b. Para establecer el criterio de mantenibilidad. Se define como alta mantenibilidad en el diseño, aquellos conceptos de sistemas que cumplen la condición de fácil armado, desarme y pruebas para resolver problemas de fallas.

Con los anteriores criterios de mantenimiento para aplicar al diseño. De manera concurrente con el grupo encargado del rediseño del sistema calentador, se define las configuraciones con posibilidad técnica de resolver el problema de calentar la mezcla de agua y soda cáustica.

Las opciones energéticas disponibles para desarrollar el proceso de calentar la mezcla líquida, después de un proceso de lluvias de ideas, de revisión bibliográfica, de observación de sistemas de calentamiento existentes, teniendo en cuenta su real factibilidad técnica de implementación, fueron:

- Energía calórica a partir del uso de combustibles, entre los cuales se tienen: madera, bagazo y gas natural.
- Energía calórica a partir de energía eléctrica: entre las cuales se tienen: energía eléctrica convencional, energía eléctrica por tecnología eólica, energía eléctrica por uso del sol.
- Combinación de las anteriores opciones.

La primera decisión es establecer si utilizar combustible o energía eléctrica. Para ayudar en tomar una decisión de ingeniería se crea la tabla 2. En esta tabla se tiene una matriz conceptual de comparación para decidir el tipo de fuente energética primaria.

Tabla 2. Matriz para decisión del tipo de fuente energética primaria.

Alternativa /// Criterios de comparación	Combustible	Energía eléctrica
Sin emisiones contaminantes	1	5
Sin emisiones toxicas	1	5
Facilidad de mantenimiento	4	3
Vida útil	4	5
Seguridad operativa	4	5
Confiabilidad operativa	4	5
Costo estimado del ciclo de vida	4	5
Alta productividad	4	5
Puntaje total	26	38

Fuente: Autores.

Cada criterio se cuantifica con una escala del 1 al 5, donde 1 es mínimo cumplimiento y 5 máximo cumplimiento. Los criterios medio ambientales, se ingresan por requerimientos de la empresa y de los autores, por ser factores determinantes de la calidad de las instalaciones industriales, según normas

ambientales europeas y americanas. También para seguir los lineamientos del ministerio de minas y energía en Colombia con su programa URE (uso racional de la energía), que auspician el uso de fuentes energéticas de tipo renovable, como medio de mitigar el terrible impacto ambiental sostenido que impone la actual civilización a nuestro planeta. Con base en lo anterior, se define que se utiliza energía eléctrica a partir de fuentes renovables como son la solar y la eólica, factibles en nuestra región.

Al utilizar energía eléctrica, la conversión disponible más sencilla, robusta y confiable es la resistencia eléctrica. La opción de calentamiento por inducción de corrientes parasitas no aplica, dada la baja conductividad eléctrica del líquido a calentar, comparada con materiales sólidos como el acero y el aluminio. El análisis entonces deriva en una conversión de energía solar o eólica a energía eléctrica que fluirá por una resistencia eléctrica o un grupo de estas, con una potencia por definir, además de otras características eléctricas como voltaje, corriente y tipo de flujo (alterno o continuo).

Para decidir entre energía solar y eólica, se crea la tabla 3, que es una matriz de comparación que servirá de ayuda en la toma de decisión.

Los factores considerados se escalan del 1 al 5, donde 1 es cumplimiento mínimo y 5 cumplimiento máximo.

El factor facilidad de operación y control, incluye la opción de funcionamiento con control automático que es más fácil y robusta para el caso de energía solar, por tenerse menores factores de perturbación. En el caso solar es la nubosidad que puede manejarse con el uso de acumuladores de energía eléctrica, que igual serían necesarios con energía eólica. La noche no es problema porque no se

tienen en esta franja horarios de trabajo. Para el tipo eólico, las perturbaciones por oscilación del viento y por requerir valores mínimos del mismo, no siempre disponibles en el día, hace que la disponibilidad del recurso sea mínima, o que requerirá instalaciones grandes para compensar esta deficiencia.

Tabla 3. Matriz de comparación para decidir entre energía primaria solar o eólica.

Alternativa /// Factores de comparación	Energía eólica	Energía solar
Disponibilidad del recurso primario de forma regular durante el año	3	4
Tamaño de la instalación conversora	3	5
Facilidad de mantenimiento	3	5
Facilidad de operación y control	3	5
Susceptibilidad a variación del recurso primario	1	4
Costo estimado del ciclo de vida	4	4
Seguridad operativa	3	5
Puntaje total	20	32

Fuente: Autores.

De la tabla anterior, se expresa que los valores de escala de 1 a 5 son aleatorios, que el tomador de decisiones define, para tener una escala cuantitativa (la escala pudo ser por ejemplo de 1 a 50) sin embargo, dada que la comparación es relativa, se ha demostrado, con el uso de estas herramientas, que lo importante, es realizar la comparación relativa de manera racional, esto es apoyarse en datos referentes al factor, sea la información adquirida de manera directa o indirecta. Por ejemplo, en lo referente a la disponibilidad del recurso, la información indirecta se deriva de consultar con los trabajadores, la permanencia de vientos veloces durante el día y época del año, contra la permanencia durante el día de la luz

solar. Ellos mencionan que los vientos con velocidades útiles (5 m/s o mayores), solo aparecen en los meses de diciembre, enero y febrero, los demás meses solo son apreciables por la noche, donde para el sistema en desarrollo, no son útiles. Básicamente solo disponible solo 25 % del año. Para el caso de sol, la temporada de lluvias y nubosidad, lo afecta según IDEAM, en 90 días / año en promedio, por lo que la disponibilidad solar, se espera sea de 75 %. Lo anterior demuestra que la alternativa solar, debe tener en relaciona disponibilidad, un valor mayor, respecto a la alternativa eólica⁹.

De la tabla 3, se concluye que la opción con mejor perfil a la luz de los criterios establecidos es la de energía solar (32 puntos, contra 20 de la energía eólica). Los valores otorgados a cada uno de los parámetros son dados a consideración por las personas encargadas de desarrollar el plan de mantenimiento.

Dentro de la tecnología de energía solar, existen variantes a considerar para definir finalmente el tipo de configuración a utilizar, que vislumbre mejor aceptación en los aspectos de seguridad, control, confiabilidad, mantenibilidad y productividad.

Las variantes basadas en tecnología solar son:

- a. Conversión solar directa calor mediante el uso de espejos de concentración de rayos solares de tipo parabólicos.
- b. Conversión solar a eléctrica, con el uso de paneles fotovoltaicos.

⁹ Climatología de los Principales Puertos del Caribe Colombiano – Barranquilla. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe [En línea]. Escuela Naval “Almirante Padilla”. Armada Nacional (Colombia). Disponible en: <http://www.cioh.org.co/index.php/component/docman/doc_download/840-climatologia-barranquilla-junio-2009>

Para decidir entre las dos variantes planteadas, se crea la matriz de comparación mostrada en la tabla 4.

Donde la energía solar directa hace referencia al aprovechamiento de la luz solar sin transformarla en otro tipo de energía.

El proceso de filtrado hacia la opción con mejor perfil técnico, ha llevado a la decisión de proponer un diseño de un sistema de calentamiento basado en energía solar fotovoltaica, con un módulo de acumuladores para estabilizar las variación del recurso energético primario. Con elemento calefactor del tipo resistencia eléctrica.

Tabla 4. Matriz de comparación para decidir entre conversión directa y fotovoltaica.

Alternativa ///	Solar directa	Solar fotovoltaica
Factores de comparación		
Posibilidad de acumulación energética	1	5
Facilidad de mantenimiento	3	4
Necesidad de potencia de flujo de la mezcla	1	5
Sensibilidad de Control operativo	4	5
Total puntaje	9	19

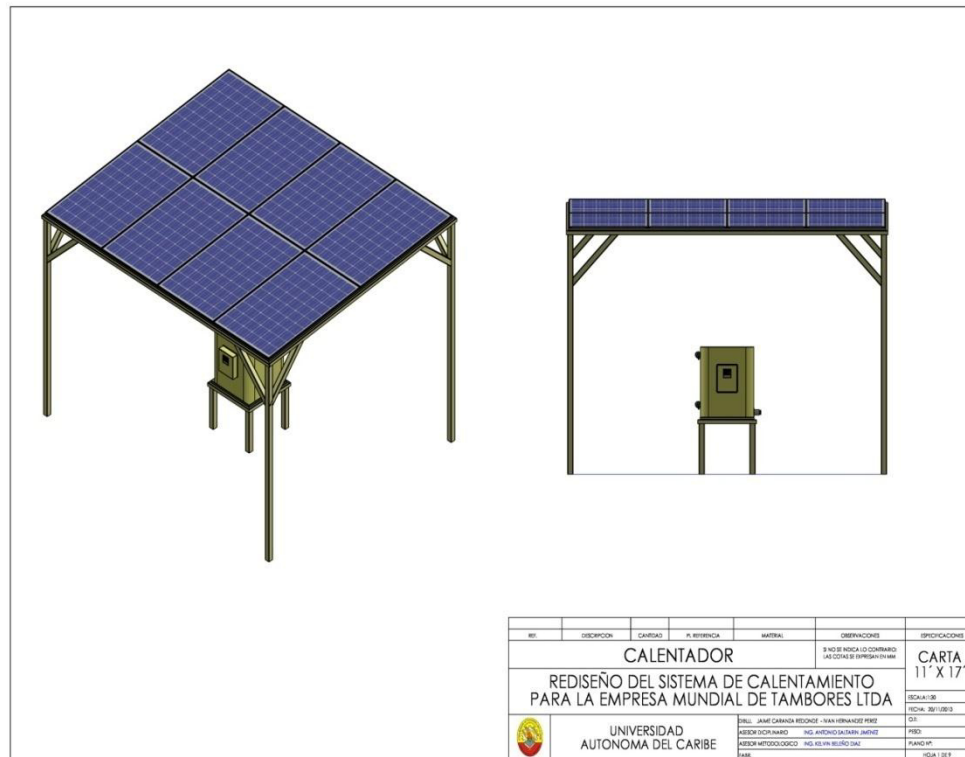
Fuente: Autores.

5.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema al cual se propone el plan de mantenimiento a desarrollar, es el equipo encargado de calentar la sustancia de limpieza, una mezcla de agua y soda caustica, por medio de resistencias eléctricas la cual tendrá dos formas de alimentación, la energía solar que será la fuente principal y la energía eléctrica convencional que sería utilizada en caso de que se presente algún inconveniente con la alimentación principal, con lo que se maximiza la confiabilidad operacional

del sistema. El sistema calentador descrito, corresponde a un proceso de diseño desarrollado por un grupo, de forma paralela a este proyecto, el cual complementa la fase de diseño, con la fase de operación y mantenimiento.

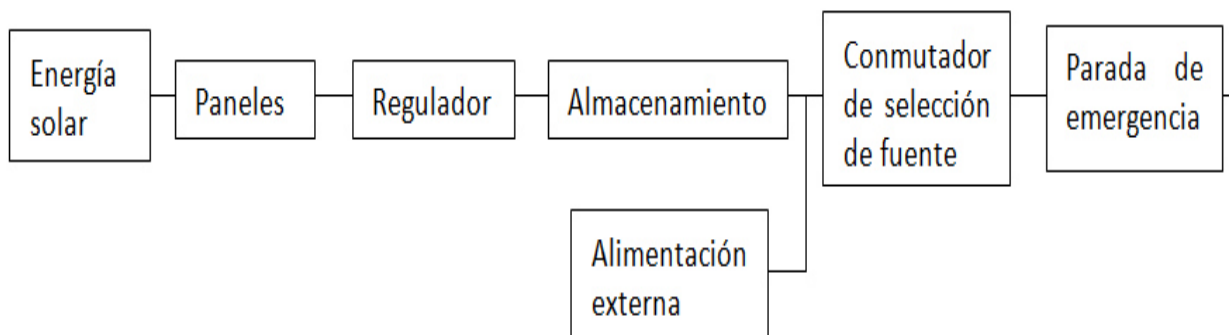
Figura 4. Nuevo sistema calentador JIL13.



Fuente: Autores.

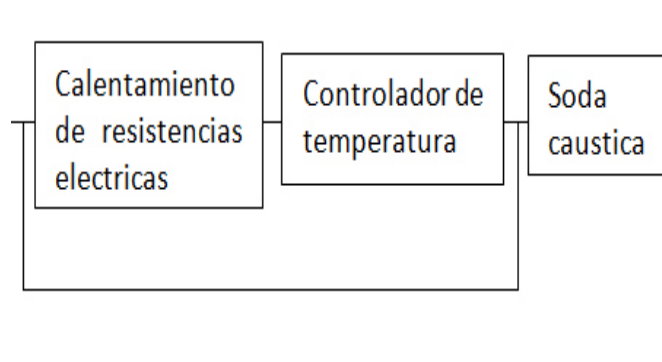
En la figura 5, se puede observar paso a paso el esquema funcional del sistema, en el cual se destaca la utilización como fuente de la energía principal de unos paneles solares, para así llegar al propósito general del sistema que es el calentamiento de la soda caustica.

Figura 5. Esquema estructural del sistema parte a.



Fuente: Autores.

Figura 6. Esquema estructural del sistema parte b.



Fuente: Autores.

La función global del sistema de calentamiento mostrado en la figura 5, es transformar la energía solar en energía eléctrica, mediante la cual pueda causarse la elevación y control de la temperatura de una mezcla de agua con soda cáustica.

Las figuras 5 y 6, muestran entonces el esquema funcional, donde se visualizan desde el proceso de diseño, diferentes módulos y componentes que debe poseer el sistema para poder realizar la función global pretendida. El bloque correspondiente a alimentación externa, se justifica en razón a varias situaciones operativas excepcionales como son: problemas operativos de los módulos de conversión solar a energía eléctrica, fuentes alternas con mayor ventaja técnica –

económica o ambiental, no disponibilidad de luz solar o la misma es insuficiente durante ciertas épocas del año.

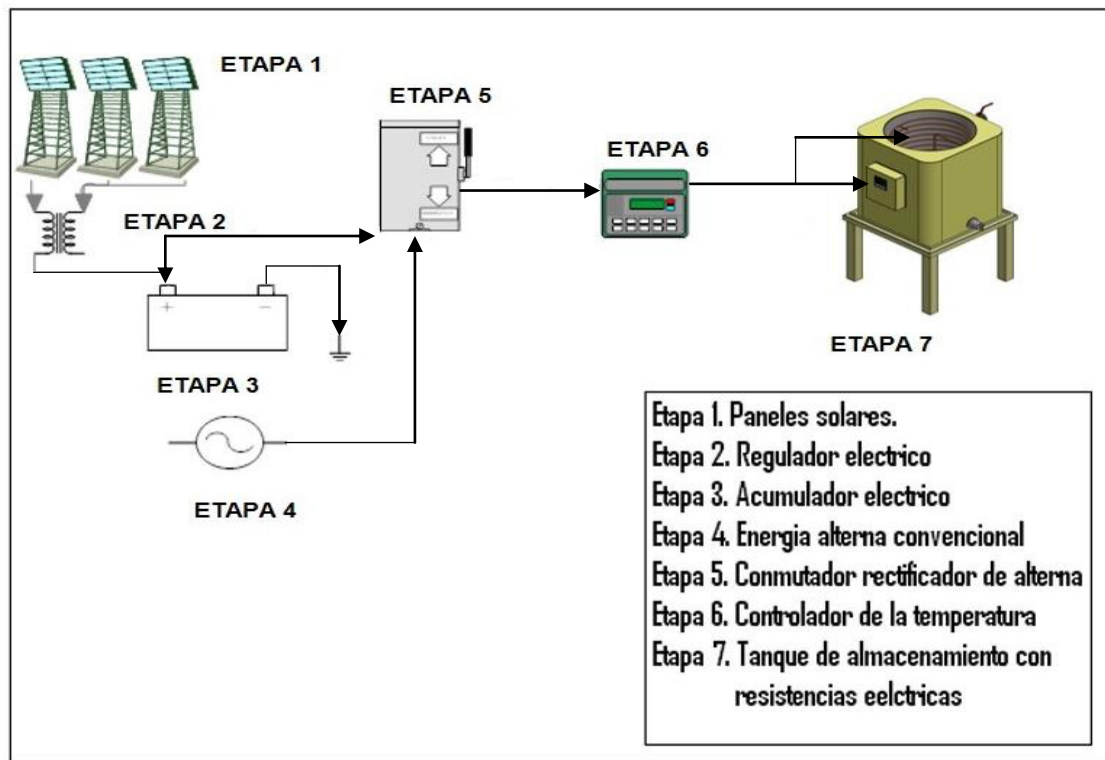
La energía solar será tomada por medio de un sistema solar fotovoltaico el cual consta con una serie de elementos como son los paneles solares que se encargan de captar la energía solar para luego mandarla al regulador que es el encargado de mandar la energía eléctrica de tipo continua necesaria para por una parte cargar al acumulador, que se encarga de almacenar la energía eléctrica para así utilizarla en momentos en que la energía consumida sea mayor a la generada y por otro lado mantener un flujo de corriente eléctrica estable para facilitar el control operativo.

Luego de elegir el tipo de energía a utilizar se procede a disolver el agua con la soda cáustica y después encender el equipo para que inicie el proceso de calentamiento que tendrá una temperatura máxima de 95°C y una mínima de 90°C y que será regulado por el controlador Autonics TK4L el cual tiene un tiempo de muestreo de 5 ms (milisegundos), el cual permite que se tome una mayor cantidad de datos. Además tiene un consumo de energía de 8 mV lo cual nos demuestra que es muy ahorrativo.

5.3. COMPONENTES Y SUS FUNCIONES EN EL SISTEMA

En la figura 7 se muestra el diagrama esquemático de cada uno de los componentes y sus relaciones para configurar el sistema.

Figura 7. Diagrama de componentes y sus relaciones.



Fuente: Autores.

Para los fines del proyecto de crear un plan de mantenimiento para el sistema de calentamiento, se define los componentes del sistema a analizar así:

1. Grupo de 14 paneles solares. De potencia unitaria 130 W, operando a 12 voltios corriente continua.
2. Grupo Acumulador eléctrico.
3. Regulador eléctrico. 2 kw de potencia, operando a 12 voltios, corriente máxima de 30 amperios
4. Resistencia eléctrica.

5. Depósito de soda diluida.
6. Sistema de Control de temperatura
7. Elementos de seguridad.

En la tabla 5 se muestra la descripción de cada una de las etapas del sistema, mostrado en la figura 7.

Tabla 5. Descripción de etapas del sistema en análisis.

ETAPA	NOMBRE	DESCRIPCIÓN FUNCIONAL
1	Adquisición de energía	Se encarga de tomar la energía solar para transformarla en eléctrica y enviarla al regulador.
2	Regulador de energía eléctrica	Es el encargado de recibir la energía de corriente continua de los paneles y regularla para luego enviarla al acumulador controlado.
3	Almacenamiento de energía por acumulador eléctrico	Se encarga de acumular la energía eléctrica de corriente continua proveniente de los paneles y el regulador.
4	Energía convencional de tipo alterna	Es la energía de la red eléctrica de la empresa, en caso de que la energía solar fotovoltaica tenga alguna falla.
5	Rectificación y Conmutación de las fuentes eléctricas (renovable y convencional).	Es el encargado de seleccionar la energía que se desea utilizar y rectificar la corriente alterna a continua para enviarla al regulador.
6	Controlador	Es el encargado de alcanzar los parámetros deseados para efectuar el control de temperatura, controlando la intensidad de energía eléctrica desde el acumulador a las resistencias eléctricas.
7	Calentador	Es el depósito, incluyendo el elemento calefactor eléctrico (Resistencia), donde se

		realiza el calentamiento de la sustancia. Además permite su extracción al girar el tambor calentador sobre un eje pivote.
--	--	--

Fuente: Autores.

5.3.1. Suministro Eléctrico

La fuente de energía utilizada en el sistema es la energía solar fotovoltaica la cual se encarga de realizar el calentamiento de las resistencias eléctricas para luego proceder a tener el producto terminado que es la soda caustica a alta temperatura. Los elementos principales de este subsistema son: panel solar, regulador y acumulador.

5.3.2. Sistema de Control

Este es el sistema encargado de mantener regulada la temperatura necesaria para realizar el calentamiento de la sustancia (soda cáustica), la cual se utiliza para realizar proceso de limpieza de los tambores que se deseen reacondicionar.

6. ANÁLISIS TPM Y RCM DEL SISTEMA CALENTADOR

En este proyecto se propone una mezcla de aspectos de TPM con aspectos de RCM para llegar a establecer un plan de mantenimiento, que sea racional, operativo y efectivo en el control de las fallas y por lo tanto en garantizar una alta disponibilidad como es requerida para la fase de calentamiento del sistema de recuperación de tambores, dado que esta actividad es fundamental y cuello de botella para el sistema productivo.

De las actividades básicas planteadas por el enfoque TPM, se tienen limpiezas, lubricaciones y ajustes como parte básica de un programa de mantenimiento. Este tipo de actividades se tendrá presente en lo que defina el enfoque TPM cuando sea aplicado.

En la tabla 6 se muestra las posibles fallas que se pueden presentar en el sistema y los efectos que se pueden producir durante la producción según el proceso RCM.

Los paneles se configuran en serie con lo que el voltaje total es la suma de los voltajes individuales, en conexión de corriente directa o continua. Los dos terminales del grupo de paneles, con el polo positivo y el polo negativo conectados al regulador de voltaje. También se conecta al regulador el positivo de la batería. La carga de la batería cuando se conecta el circuito, pasa a través de la resistencia eléctrica y el sistema de control.

El enfoque RCM se aplica en este análisis a nivel de componentes modulares del sistema calentador propuesto. La vida útil especificada en la tabla 6 es tomada de datos del fabricante del componente y del distribuidor respectivo de la marca.

Tabla 6. Hoja de información para el proceso RCM a nivel de componentes.

FUNCIÓN	FALLA		DESCRIPCIÓN DE EFECTOS
	Tasa de falla esperada	Vida útil esperada	
<p>1. PANELES SOLARES.</p> <p>Convertir luz solar en energía eléctrica de tipo continua.</p>	<p>No entregan energía eléctrica</p> <p>Tasa de fallas constante</p> <p>Vida útil mínima de 12 años.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ♦ No hay luz solar. ♦ Paneles tapados. ♦ Paneles desconectados. ♦ Paneles dañados. ♦ Paneles sucios. ♦ Paneles viejos. ♦ Paneles rotos 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ No hay potencial eléctrico entre los terminales eléctricos del grupo de paneles.
<p>2. REGULADOR DE VOLTAJE</p> <p>Mantener un nivel de 26 voltios entre postes del acumulador eléctrico.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. el regulador no entrega voltaje. 2. El regulador entrega menos de 26 voltios. 3. El regulador entrega más de 26 voltios. <p>Tasa de fallas constante</p> <p>Vida útil mínima de 2 años.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. <ul style="list-style-type: none"> ♦ Problemas en los paneles solares. ♦ Daño del regulador. ♦ Fusible de protección del regulador roto. 2. <ul style="list-style-type: none"> ♦ Daño en el regulador. 3. <ul style="list-style-type: none"> ♦ Daño en el regulador. 	<p>El voltaje del regulador no se mantiene estable en 26 voltios.</p>
<p>3. ACUMULADOR ELÉCTRICO.</p> <p>Mantenerse cargada para entregar un flujo eléctrico estable a la carga eléctrica del circuito.</p>	<p>No recibe o no mantiene la carga eléctrica.</p> <p>Tasa de fallas constante</p> <p>Vida útil mínima de 2 años</p>	<ul style="list-style-type: none"> ♦ El acumulador tiene electrolito bajo. ♦ El acumulador tiene postes eléctricos sulfatados. ♦ Las conexiones eléctricas a la batería están rotas o sulfatadas. ♦ El acumulador está dañado. ♦ Los cables de conexión eléctrica están rotos y/o 	<p>El voltaje entre terminales del acumulador es inferior a 24 voltios.</p>

		sulfatados o corroídos.	
<p>4. ENERGÍA ELÉCTRICA CONVENCIONAL</p> <p>Entregar energía eléctrica controlada al sistema eléctrico del equipo calentador en caso de falla del sistema fotovoltaico.</p>	<p>No entrega flujo eléctrico cuando es requerido.</p> <p>Tasa de fallas constante</p> <p>Una falla / año.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Fuente convencional desconectada. ♦ Conmutador no realiza la función de cambio de fuente eléctrica. ♦ Cables del circuito de energía convencional rotos. ♦ Fusible de protección roto. 	<p>No llegan 120 voltios de corriente alterna al elemento calefactor cuando debe trabajar la fuente eléctrica convencional.</p>
<p>5. CONMUTADOR DE FUENTES</p> <p>Mantener conectada la fuente de energía fotovoltaica en todo momento, siempre que el voltaje regulado entregado por la misma sea de 26 voltios. En caso que no se cumpla esta consigna desconectar la fuente eléctrica fotovoltaica y conectar la fuente eléctrica convencional.</p>	<p>No realiza la transferencia de una fuente a la otra cuando se cumple la condición establecida.</p> <p>Tasa de fallas constante</p> <p>Vida útil de 4 años</p>	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Conmutador desconectado. ♦ Fusible del conmutador roto. ♦ Conmutador desconectado. ♦ Conmutador apagado. ♦ Conmutador dañado. ♦ Cables eléctricos del circuito de conmutado rotos y/o sulfatados. 	
<p>6. CONTROLADOR DE TEMPERATURA</p> <p>Mantener la temperatura de la mezcla diluida de soda caustica entre 90 y 95 °C según punto de consigna establecido por el controlador del proceso.</p>	<p>No controla la temperatura en el rango establecido.</p> <p>Tasa de fallas constante</p> <p>Vida útil de 6 años</p>	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Controlador desconectado. ♦ Controlador apagado ♦ Fusible del controlador roto. ♦ Controlador dañado. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La temperatura no sube. ➤ La temperatura sube y sobrepasa el valor de referencia establecido. ➤ La temperatura no llega al valor de consigna.
<p>7. RESISTENCIA ELÉCTRICA</p> <p>Convertir energía eléctrica en calor.</p>	<p>No genera calor.</p> <p>Tasa de fallas creciente</p> <p>Vida útil mínima de un año.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ♦ No llega corriente eléctrica. ♦ El voltaje entre terminales es nulo o inferior a 15 voltios. ♦ La resistencia internamente está en circuito abierto. 	<p>No calienta la mezcla de soda caustica diluida.</p>

		<ul style="list-style-type: none"> ♦ Los cables del circuito correspondiente están rotos. ♦ El fusible protector está roto. 	
--	--	---	--

Fuente: Autores.

De la tabla 6, es claro que el elemento más débil de la cadena de componentes del equipo calefactor es la resistencia eléctrica usada para calentar la mezcla diluida. La vida útil de este componente es de un año mínimo, donde este término significa 99 % de probabilidad mínima de tener esa duración trabajando de manera continua 8 horas por día. Como el uso real estimado es de 4 horas por día para cumplir los requerimientos de producción mejorados, es claro que se espera una duración de este componente de al menos dos años. Observe que estos valores son confiables, en la medida que el daño es de tipo acumulado en razón al tiempo de uso.

La tabla 7 muestra un proceso de información RCM pero a nivel del equipo calefactor y las correspondientes fallas funcionales. Las tablas 6 y 7 entonces se complementan para facilitar identificar las acciones de mantenimiento a definir en el plan para controlar los procesos de degradación y fallas en el equipo calefactor.

Tabla 7. Hoja de información RCM nivel de sistema calentador.

FALLA	POSIBLE CAUSA DE FALLA	DESCRIPCIÓN DE EFECTOS
EL SISTEMA NO CALIENTA	<ul style="list-style-type: none"> *El sistema está apagado. * Las conexiones eléctricas están sulfatadas. * El acumulador o batería esta descargado. * Avería en los paneles. * Los paneles son obstruidos y no captan la 	*No hay producción.

	<p>energía solar suficiente.</p> <ul style="list-style-type: none"> * Polaridad invertida en los acumuladores. * Cortocircuito en el sistema de energía fotovoltaica. * Las resistencias están averiadas. * El sistema de control de temperatura no tiene los parámetros adecuados. * Acumulador esta sulfatado. * Acumulador no está cargado lo suficiente. * Sobrecarga en los circuitos de alimentación. * Temperatura de los acumuladores es demasiado alta. 	
EL SISTEMA SOBREPASA LA TEMPERATURA DESEADA	<ul style="list-style-type: none"> * El sistema de control de temperatura no tiene los parámetros adecuados. * Sobrecarga en los circuitos de alimentación. 	<ul style="list-style-type: none"> * Perdidas en la sustancia calentada.
EI SISTEMA NO LLEGA A LA TEMPERATURA DESEADA	<ul style="list-style-type: none"> * El sistema fotovoltaico no suministra la potencia suficiente. * El sistema de control de temperatura no tiene los parámetros adecuados. * Avería en los paneles. * El acumulador o batería no está cargado completamente. * Los paneles son obstruidos y no captan la energía solar suficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> * Demora en el proceso * Baja producción

Fuente: Autores.

La tabla 8 muestra que existen consecuencias operacionales y de seguridad. Consecuencias relacionadas con el medio ambiente no se consideran porque el único evento relacionado es el derramamiento de la soda cáustica diluida y ello no debe ocurrir ni siquiera accidentalmente, dado que el tanque de almacenamiento se prueba con agua caliente antes de su uso normal y que el sistema de pivoteo impide el derramamiento descontrolado de la soda diluida.

Para el equipo analizado la consecuencia de la falla se mide en base a la afectación de seguridad y operacional. Solo operacional es un 1 y operacional y de seguridad es un 3.

Para el equipo analizado la probabilidad de detección de cada uno de los componentes fallados se define en una escala del 1 hasta el 10 en números enteros. Donde a mayor dificultad de detección mayor es el número en la escala, dado que la afectación sería mayor al sistema.

Tabla 8. Hoja de decisión RCM.

ITEM	Consecuencia de la falla		Probabilidad de detección	Probabilidad de ocurrencia	NPR	Acciones de mtto a implementar
1	O	1	8	2	16	Preventiva y detección
2	O y S	3	2	6	36	Preventiva
3	O y S	3	2	10	60	Preventiva
4	O	1	2	2	4	Detección
5	O	1	2	6	12	Preventiva
6	O	1	8	4	32	Preventiva
7	O	1	2	10	20	Correctiva

Fuente: Autores.

Donde O significa Operacional (Evaluar si la consecuencia de la falla tiene un efecto adverso sobre la capacidad operacional) y S significa Seguridad (Evalúa si la consecuencia de la falla afecta la seguridad del individuo).

La probabilidad de ocurrencia de fallas en la tabla 8 se escala así: se define una escala de 1 hasta 10 en números enteros. A mayor probabilidad de fallas medida por vida útil de menor duración tomada de los datos de la tabla 6, mayor es el número correspondiente en la escala.

6.1. PLAN DE MANTENIMIENTO

El primer aspecto a tratar en el plan de mantenimiento es la seguridad. Esto se tendrá en cuenta con las siguientes consideraciones:

- Los paneles solares se calientan durante el funcionamiento normal. Por lo tanto cuando se trabaje cerca de ellos, se debe tener guantes, ropa de protección y gafas de tipo ultravioleta para proteger los ojos.
- Para dar servicio a los paneles, los trabajos deben realizarse en horas de la mañana antes de las 9 a.m. o en horas de la noche, lo que mejor se pueda aplicar.
- Abra eléctricamente los circuitos eléctricos antes de revisarlos para comprobaciones de resistencia eléctrica.
- Para revisar los circuitos eléctricos se deben utilizar multímetros apropiados en las escalas de uso que conviene. Nunca mida valores de resistencia con circuitos cerrados. Puede causar problemas de corto circuito y daño personal.
- Nunca pruebe la batería colocando sus dos postes en cortocircuito. Puede causar una explosión y daño personal. Tenga cuidado con el líquido de la batería, es una mezcla diluida de ácido sulfúrico que puede causar quemaduras graves y ceguera permanente si se pone en contacto con los ojos.
- Nunca pruebe componentes electrónicos conectados al circuito puede causar cortos, daño permanente y daño personal. Pruebe cada componente con el equipo de prueba adecuado.

Se podrá observar cómo debería ser el mantenimiento del sistema de calentamiento JIL13 para preservar y optimizar piezas claves y su funcionamiento con el fin de obtener resultados durante un día de producción.

Basados en el proceso RCM se define el siguiente plan de mantenimiento.

6.1.1. Plan de Mantenimiento Preventivo

El plan de mantenimiento preventivo para el sistema se realiza con el fin de aumentar al máximo la disponibilidad y confiabilidad del equipo llevando a cabo un mantenimiento planeado.

6.1.1.1. Sistema de Paneles Solares Fotovoltaicos

Los paneles solares son el sistema de alimentación eléctrica del calentador, debido a esto, se debe seguir una serie de actividades para que tener en óptimas condiciones y así facilitar el buen funcionamiento del sistema.

Los paneles son los elementos fundamentales del sistema solar fotovoltaico, su misión es captar la energía solar para luego generar energía eléctrica. El mantenimiento para garantizar el óptimo funcionamiento es el siguiente:

➤ Mantenimiento mensual¹⁰

- Leer y aplicar las recomendaciones de seguridad, manipulación y limpieza que el fabricante de los paneles expresa en su manual. De todos modos evitar golpes a los paneles y caídas de los mismos. Nunca usar elementos con filos sobre los vidrios de los paneles.
- Se debe limpiar el cristal de los colectores solares, este trabajo genérico debe hacer con agua a presión de suministro del acueducto para retirar el polvo acumulado sobre los paneles, luego usando una extensión que tenga en su punta una escoba o esponja humedecidos con agua o un agente de limpieza débil de tipo alcalino, sin agentes abrasivos ni instrumentos metálicos, se frota suavemente sobre los espejos, después enjuagarlo con

¹⁰ Ing. Esp. Antonio Saltarín Jiménez. Entrevista "frecuencias de mantenimiento"

una manguera con agua limpia del acueducto y dejar secar al sol. Esto evita la acumulación de hollín y polvo en la superficie del cristal, permitiéndole al colector aprovechar al máximo la radiación solar. La limpieza de los paneles se debe realizar preferiblemente fuera de las horas centrales del día, para evitar cambios bruscos de temperatura y así evitar un shock térmico y causar daños irreversibles.

- Verificar que los paneles no tengan degradaciones (deformaciones, grietas, etc).
- Lavar con el chorro de agua los soportes metálicos de los paneles y observar si se inician procesos de corrosión. En tal caso lijar y pintar para controlar el incipiente deterioro. Observar los remaches y tornillos que no estén oxidados ni flojos. Además verificar que los miembros a tensión y compresión no estén doblados u oxidados.

6.1.1.2. Regulador

Los reguladores tienen como función asegurar una correcta y eficiente carga de las baterías de un sistema solar y evitar por el otro lado que la batería pueda ser descargada más allá del límite permitido para una descarga profunda. El mantenimiento debe ser el siguiente:

➤ Mantenimiento quincenal

- Leer y aplicar lo que exprese el fabricante en su manual de operación. Respetando primero que todas las reglas de seguridad enunciadas.

- Asegurarse que el regulador tenga protección por sobrecarga adecuada, para lo cual siempre debe poseer el fusible eléctrico recomendado y nunca uno de mayor amperaje.
- Observar que el regulador funcione normalmente. Esto es al momento de tener las baterías cargadas el mismo debe limitar la corriente o amperaje de carga a las baterías. Del cálculo de la capacidad de carga de los paneles se tiene lo siguiente:

Los paneles conectados en configuración serie / paralelo suministran 10 amperios de carga continua controlada. Para cargar:

- Por lo tanto desde la conexión del sistema para cargar el acumulador, debe esperarse un tiempo de una hora antes de conectar la resistencia calefactora, para observar el descenso del amperaje de carga por carga total de los acumuladores, indicando el normal funcionamiento del regulador.
- Verificar conexiones y cableado del equipo para que estén apretadas y sin signos de recalentamiento u oxidación. En caso de tener estos problemas, desconectar, lijar y reapretar según aplique.
- Verificar los valores de voltaje y amperaje para las diferentes condiciones operativas según indique el manual del fabricante.

6.1.1.3. Acumulador

Los acumuladores o baterías sirven para acumular la energía que los paneles generan diariamente, y así utilizarla en momentos donde la energía consumida es

superior a la generada. Las actividades de mantenimiento que se deben realizar al acumulador es el siguiente:

➤ **Mantenimiento quincenal**

- Comprobar el nivel del electrolito, debe mantenerse dentro del margen comprendido. El nivel debe ser 20 mm por encima del protector de separadores, si está por debajo de este parámetro rellenar con agua destilada o desmineralizada, pero sin sobrepasar el nivel indicado.
- Comprobar el estado de las terminales de la batería. En caso de estar sulfatadas limpiarlas y además cubrir con vaselina neutra todas las conexiones.
- Apretar todas las conexiones del acumulador.
- Medir la densidad del electrolito (se debe utilizar un densímetro): con el acumulador totalmente cargado, la densidad debe ser de $1,240 \pm 0,01$ a 20°C . Las densidades deben ser similares en todos los vasos. Diferencias importantes en un elemento es señal de avería.
- Comprobar la toma a tierra y la resistencia de paso al potencial de tierra.
- Comprobar temperatura de funcionamiento. Debe ser menor a 40°C .

6.1.1.4. Sistema de Control

Dentro de los sistemas de control se encuentra ubicado el control de temperatura y el control de nivel. El primero respectivamente indica el tiempo en el que se tiene

que encender o apagar el sistema de calentamiento y el segundo nos indica que resistencia va a encender para calentar la sustancia. Teniendo en cuenta lo anterior se procede a definir el plan de mantenimiento de los controles.

➤ **Mantenimiento mensual**

- Verificar que el sistema esté dentro del rango deseado.
- Verificar las conexiones a tierra.

➤ **Mantenimiento trimestral**

- Verificar que las resistencias estén recibiendo la potencia necesaria para su buen funcionamiento.

➤ **Mantenimiento semestral**

- Verificar que las conexiones eléctricas no estén sulfatadas.
- Realizar limpieza general del equipo.

6.1.1.5. Resistencias Eléctricas

Para este componente el enfoque es correctivo por lo que se debe tener elementos de remplazo en caso de daños. Afortunadamente el costo es de los más bajos de todos los componentes y esto falta mantenerlo en inventario.

Hay que tener en cuenta que si el operario en el trabajo diario se percata de que las resistencias poseen algún objeto extraño debe proceder a retirar el mismo. Estos objetos pueden ser polvo u otros materiales que se adhieren a la

resistencia, estos en algunos casos se cristalizan y forman costras encima de la superficie de la resistencia eléctrica.¹¹

¹¹Rubén Ramos Heredia, José Camejo Juan, Soe Márquez Montoya, Mantenimiento de sistemas solares fotovoltaicos. [En línea]. Disponible en:
<<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo02.htm>>

7. DOCUMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO

La documentación actual que posee la empresa en relación a la gestión de mantenimiento se limita al archivado de las facturas de compra de los repuestos para los diversos equipos del sistema de producción. La finalidad de esos registros es contable pero en ningún caso sirve para propósitos de gestionar el mantenimiento de los equipos productivos. No pueden calcularse tiempos promedios operativos y de reparaciones para estimar la disponibilidad periódica y su evolución mensual. Tampoco es claro el totalizado e identificación de los costos en relación con el sistema productivo, que debe asignarse como responsabilidad y mantenimiento, con lo que no se detallan los factores de costos que podrían permitir mejorar el control del presupuesto que se asigne a mantenimiento. Los documentos propuestos son: la ficha técnica, la hoja de vida, la solicitud de servicio y la orden de trabajo, en ese orden.

7.1. FICHA TÉCNICA

Es un documento que describe las características de interés de un producto. Para el caso de rediseño del calentador, la tabla 9 describe lo referente al mencionado equipo. NA en la tabla significa que el concepto no aplica.

Tabla 9. Ficha técnica del equipo calentador de soda caustica diluida.

Componente	Marca	Características
Paneles solares		135 vatios por unidad, dimensiones 1414x1414x36 mm
Controlador de temperatura	Autonic TK4L	Voltaje:110-240 V, 2 Alarma, consumo de energía 8 VA
Termocupla o transductor de	Autonic pt 100	Rango desde – 25º hasta 110

temperatura		°C.
Regulador de voltaje	Nicomar	Consumo: 1000 VA, FP: 0.4, Amperaje: 4,2 A, Voltaje: 90-140 V, Dimensiones: 140x70x160mm.
Acumulador eléctrico	Mac	850 amperios – hora.
Conmutador electrónico	Autonic	Trabaja desde 40 hasta 240 voltios a.c / d.c
Resistencia eléctrica	Electricquipos	De 3 kw de potencia, operando en voltajes desde 24 hasta 240 voltios ac / dc

Fuente: Autores.

7.2. SOLICITUD DE SERVICIO

La tabla 10 muestra la solicitud de servicio propuesta para mantenimiento en la empresa. La función es facilitar los requerimientos de mantenimiento por parte de los operarios.

7.3. ORDEN DE TRABAJO (CÁLCULOS DE MTBF, MTTR Y DISPONIBILIDAD)

Es el documento básico para propósitos de planear, ejecutar y controlar un trabajo de mantenimiento.

El propósito con estos documentos, es que el jefe de mantenimiento o el cargo similar, pueda registrar la información base de conocimiento de los componentes del sistema calefactor en la ficha técnica con datos e información de los fabricantes y en la hoja de vida ese conocimiento de los componentes y el sistema completo, así como aprendizaje derivado de resolver problemas de mantenimiento difíciles que ameritan el registro para lograr la posterior mejora.

La tabla 11 muestra la orden de trabajo propuesta para el mantenimiento en la empresa mundial de tambores.

Tabla 10. Solicitud de servicios.

SOLICITUD DE SERVICIOS			
FECHA: _____		SOLICITANTE _____	
EQUIPO _____		UBICACIÓN _____	
DESCRIPCION DEL PROBLEMA O EFECTO OBSERVADO			
RUIDO _____	OLOR _____	VIBRACION _____	TEMPERATURA _____
PRESION _____	PH _____	OTRO _____ CÚAL _____	
DECISION DE MANTENIMIENTO			
FECHA REVISION _____		FECHA PROCESADO _____	
FIRMA RESPONSABLE MTTO _____			

Fuente: Autores.

Tabla 11. Orden de trabajo para la empresa.

ORDEN DE TRABAJO		
Nº ORDEN _____	FECHA _____	ACTIVO Nº _____
LOCALIZACIÓN _____	TURNO _____	CENTRO DE COSTO _____
DESCRIPCION DEL PROBLEMA O EFECTOS OBSERVADOS		PRIORIDAD EMERGENCIA ___ URGENCIA ___ NORMAL ___
DESCRIPCION DEL TRABAJO		
CAUSA PROBABLE	PIEZAS A REPARAR	PIEZAS A CAMBIAR _____ _____
TECNICO(S) ASIGNADO(S)	TIEMPO ESTIMADO (HRS) _____ TIEMPO REAL (HRS) _____	COSTO TOTAL MATERIALES _____ REPUESTOS _____ MANO DE OBRA _____
FIRMAS DE TECNICOS _____ _____ _____	FIRMA DE JEFE MTTO _____	FECHA ENTRADA A REPARACION _____ FECHA DE SALIDA A TRABAJO _____ DÍAS EN TALLER _____

Fuente: Autores.

7.4. HOJA DE VIDA

La ficha técnica normalmente es parte de la hoja de vida, sin embargo en este trabajo se manejan de manera complementaria. La función de la hoja de vida es llevar registro de eventos importantes relacionado con el equipo, en asuntos como operación, mantenimiento, traslados, ubicación y otros. La tabla 12 muestra la hoja de vida del equipo calefactor de soda caustica.

7.5. PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO

El siguiente procedimiento se propone para resolver el problema de no funcionamiento del equipo calefactor por daño inesperado de alguno varios componentes.

1. Leer y entender las reglas de seguridad antes de intervenir el equipo.
2. Asegúrese que el equipo está en modo de activación (Interruptores en posición ON).
3. Observe los bombillos de indicación de estado operativo de los componentes que lo poseen. Bombillos apagados indican daño en el mismo o componente no funcionando. Verifique cual es el caso.
4. Si observa que todos los componentes tienen energía eléctrica, observe los cables de conexión. Guíese por olores, colores de recalentamiento y temperaturas elevadas para localizar el componente fallado.
5. Si todo está correcto vaya a la resistencia eléctrica y cámbiela, pero antes desconecte la activación eléctrica y mida la resistencia. De todos modos puede probar el correcto funcionamiento de la resistencia conectándola directamente a una fuente y observar si calienta y la velocidad con que lo hace. Si no pasa todas las pruebas cámbiela por una nueva o en buen estado.

Tabla 12. Hoja de vida de Mantenimiento del equipo calefactor.

Nombre de equipo _____	Fecha Inicio de operaciones del equipo _____
Numero de Mantenimientos correctivos generales _____	Fecha Inicio de operaciones después de reparado _____
Tipo de mantenimiento	Observaciones
Fecha _____	Número de registro _____
Quincenal	Realizado _____ No realizado _____ explicación _____ _____
Mensual	Realizado _____ No realizado _____ explicación _____ _____
Trimestral	Realizado _____ No realizado _____ explicación _____ _____
Semestral	Realizado _____ No realizado _____ explicación _____ _____
Realizado por: _____	Revisado por: _____

Fuente: Autores.

7.6. CONTROL DE LA MANTENIBILIDAD (INSTRUMENTACIÓN)

Para el proceso de diseño, la parte final complementaria desarrollada por el grupo, tiene que ver con la instrumentación, señalizaciones, protecciones y otros, que el equipo debe tener para facilitar los procesos de diseño. El punto de partida es la señalización y comprende lo siguiente:

- Como el equipo opera con energía eléctrica, cuando este encendido el mismo, todos los componentes electrónicos poseen un bombillo que se prende cuando están conectados e indican su disponibilidad funcional. Si al estar conectados los bombillos de entrada no prenden, revisar los fusibles de protección del componente. Si al remplazar el fusible y conectar nuevamente el mismo vuelve a quemarse, indica problemas de corto circuito en el componente y el mismo debe cambiarse.
- Cuando operan normalmente, las salidas de los equipos electrónicos poseen bombillos de estado operativo correcto. Por lo tanto bombillos apagados correspondientes a la salida, indican que están quemados o lo más probable que el componente tiene fallas.

Con los aspectos mencionados, se controla la mantenibilidad y la confiabilidad, garantizando alta disponibilidad operativa y control de los costos operacionales y de mantenimiento.

7.7. MANUAL DE MANTENIMIENTO

El manual de mantenimiento propuesto pretende ser un material complementario e independiente del cuerpo del proyecto, de tal manera que los usuarios del equipo puedan usarlo sin necesidad de leer el trabajo de grado.

Los aspectos organizados en este documento se refieren a los temas de seguridad, operación y mantenimiento preventivo. Para lograr la pretendida independencia, el manual se anexa al proyecto degradado para evitar su marcación con los numerales del cuerpo del trabajo de grado.

7.8. REFERENTE ECONOMICO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Todo plan de mantenimiento preventivo, debe tener un soporte económico, que al menos contemple el aspecto de costos, aunque será preferible la inclusión de aspectos de ingeniería económica para el ciclo de vida, si ello es posible. Para el caso en análisis, el énfasis se aplica en evaluación de costos, teniendo como referente, la opción alterna de no aplicar un plan preventivo, lo que deja como una opción el enfoque correctivo, que entonces se convierte en el referente a utilizar.

Dada la amplia variedad de acciones preventivas planteadas en el plan de mantenimiento preventivo propuesto, en este numeral se consideran casos puntuales de ese plan, manejados con criterios a explicitar, de tal manera, que los usuarios de la empresa, tengan una herramienta de toma de decisiones, en vez de un esquema rígido, aspecto que no puede manejarse en un sistema de mantenimiento, dadas las eventualidades que siempre ocurren, lo que requiere flexibilidad y procedimientos de manejo, en vez de esquema inmóviles.

Por ejemplo, para el caso de mantenimiento de las resistencias eléctricas, el criterio preventivo es limpiarlas periódicamente, cada día al inicio de operaciones, trabajo realizado por el mismo operario. La base técnica de la limpieza, es que el mismo operario retira polvo y otros materiales que se adhieren a la resistencia, estos materiales en algunos casos se cristalizan y forman costras encima de la superficie de la resistencia eléctrica, con lo cual aumentan la resistencia térmica al

flujo de calor de la misma al medio ambiente, con lo que la temperatura estable de trabajo aumenta, reduciendo la vida útil de este componente del sistema. Aquí el costo de la acción de mantenimiento es totalmente nulo, dado que solo utiliza un raspador, instrumento ya existente en la empresa y unos cinco minutos de tiempo del operario, que se cubren con el costo del día laboral. Por lo tanto realizar el preventivo tiene un costo nulo, pero no realizarlo puede reducir en promedio la vida de la resistencia desde lo normal de un año a 8 meses en promedio, según datos del almacén donde son fabricadas a pedido. Teniendo en cuenta que por su forma la fabricación es personalizada, entonces al fallar la misma y no poder repararse, la opción que queda es el cambio por una nueva o en buen estado, lo cual si no se tiene a mano, puede significar un día perdido mientras la misma se adquiere e instala. Un día perdido en la empresa, puede significar en términos económicos dos millones menos en producción. Entonces el criterio a utilizar para establecer esta acción de mantenimiento y las demás acciones propuestas, definido por los investigadores es “la acción de mantenimiento preventivo en términos económicos se aplica siempre que el costo de la misma sea menor al costo de la falla correctiva que la misma controla, más el lucro cesante derivado”.

También queda claro desde el punto de vista técnico, que la acción preventiva se define en relación a una o más fallas que se pretenden controlar con la acción propuesta. Por lo tanto, técnicamente cada acción preventiva propuesta en el plan tiene una clara intención de control de fallas para cada componente al que se aplica, teniendo cuidado de que la misma sea sencilla, rápida de realizar y de bajo e incluso nulo costo. De tal manera que el criterio económico propuesto siempre quede justificado económicamente, sin posibilidades de objeción. Por lo tanto el plan de mantenimiento propuesto, direccionado con los dos criterios expuestos (técnico y económico), se justifica, con ventaja económica para la empresa, siendo flexible para las necesidades de la empresa, con una advertencia final, en relación a componentes electrónicos tipo modular. Los cuales al fallar, deben ser

cambiados y no reparados, por lo que de ser necesario, se recomienda recurrir a outsourcing, con proveedores reconocidos para resolver rápidamente el problema, para que la mantenibilidad se mantenga baja y la disponibilidad siempre este alta, que es lo que se quiere, sin que ello implique aumentar costos.

Aunque se puede realizar un estimado de los costos de mantenimiento que realiza el operario, teniendo en cuenta el salario que este devenga.

Tabla 13. Materiales y tiempos de mantenimiento.

Elemento	FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO				Cantidad	Tiempo
	Quincenal	Mensual	Trimestral	Semestral		
Panel solar		Detergente Agua Limpia vidrios			195 gr 2 m ³ 1	120 min
Acumulador	Multímetro Limpiador de contactos				1 1	40 min
Regulador	Multímetro Limpiador de contactos				1 1	50 min
Controlador		Inspección visual	Multímetro	Brocha Multímetro Limpiador de contactos	1 1 1	15 min
Tanque con resistencias eléctricas		Agua Detergente				20 min

Fuente: Autores.

En la tabla N°13 describe la frecuencia de mantenimiento de los elementos del calentador, mostrando así los materiales necesarios para realizar el

mantenimiento preventivo. A continuación se muestra los precios de materiales y mano de obra:

- Minuto operario: 41.91 pesos
- Gramo detergente: 5.12 pesos
- 1 m³ Agua: 1428.04
- Brocha, manguera, multímetro y demás materiales que se puedan utilizar, están siempre presentes en la empresa.

Tabla 14. Costos totales Anuales.

ELEMENTO	FRECUENCIA	TIEMPO	\$ MINUTO	TOTAL
Panel Solar	12	120 minutos	41.91	\$ 60.350,4
Acumulador	24	40 minutos	41.91	\$ 40.233,6
Regulador	24	50 minutos	41.91	\$ 50,292
Controlador	12	15 minutos	41.91	\$ 7.543.8
Tanque con resistencias eléctricas	12	20 minutos	41.91	\$ 10.058.4
			Costo Total	\$ 168.468,292

Fuente: Autores.

En la tabla 14 se puede observar los costos anuales de cada elemento del equipo donde tenemos un total multiplicando frecuencia, tiempo y minutos.

8. CONCLUSIONES

Al finalizar este trabajo podemos expresar que se ha cumplido con los objetivos específicos. Se ha desarrollado un plan de mantenimiento aplicando la metodología RCM como guía fundamental. Lo anterior ha derivado en que no solo se establecen acciones preventivas, si no que se han aplicado acciones de detección y acciones correctivas que no son comunes cuando se utilizan otros enfoques para definir un plan de mantenimiento.

El proceso de desarrollo del plan se ha realizado concurrentemente con el proceso de rediseño del equipo y puede verse como esta unión mejora el control de la mantenibilidad y la confiabilidad desde el diseño, lo cual finalmente favorece el proceso de explotación de cualquier equipo, dado que se mantiene mayor tiempo en producción y se resuelven los problemas de mantenimiento y control de la degradación en menores tiempos. Para tener alta mantenibilidad se ha colocado un énfasis desde el diseño en el enfoque modular y el fácil acceso a los componentes, su desmontaje y montaje, así como también en el diagnóstico de los componentes fallados. Por lo cual se logra detectar rápidamente que componente está malo y rápidamente se puede realizar su cambio con lo que los tiempos dedicados a mantenimiento se minimizan y se tendrá alta disponibilidad como lo requiere la ecuación 1.

Se han propuesto unos formatos para que se den las acciones de mantenimiento planeadas y pueda tenerse un control de este proceso. En esto la orden de trabajo captura las fechas de entrada y salida del equipo de los talleres de mantenimiento con lo cual pueden calcularse los tiempos de mantenibilidad y los de operación, con lo que puede tenerse inicialmente el indicador de disponibilidad por cada mes trabajado. De esta manera puede observarse el desempeño de mantenimiento y

las debilidades que puedan observarse lo cual es normal y es la oportunidad de mejora continua que debe aprovecharse.

Finalmente el proceso RCM debe adaptarse a cada entorno empresarial y es el origen del trabajo de ingeniería que debe desarrollarse para tener altas probabilidades de éxito.

BIBLIOGRAFÍA

BELLEN ABELLA, María. Mantenimiento Industrial [En línea]. Departamento de Ingeniería Mecánica, UNIVERSIDAD DE CARLOS III. Madrid (España), 2008. Disponible en: <<http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/teoria-de-maquinas/lecturas/MantenimientoIndustrial.pdf/view>>

CASTELLANOS Kleyber. Mantenimiento Preventivo, Ventajas y Desventajas [En línea]. Disponible en: <<http://www.slideshare.net/blacksaturn/mantenimiento-preventivo-1819125>>

Climatología de los Principales Puertos del Caribe Colombiano – Barranquilla. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe [En línea]. Escuela Naval “Almirante Padilla”. Armada Nacional (Colombia). Disponible en: <http://www.cioh.org.co/index.php/component/docman/doc_download/840-climatologia-barranquilla-junio-2009>

Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad, entendiendo sus diferencias [En línea]. Disponible en: <<http://maintenancela.blogspot.com/2011/10/confiabilidad-disponibilidad-yy.html>>

FERNÁNDEZ EDITORES. Mantenimiento Preventivo [En línea]. México. Disponible en: <<http://www.tareasya.com.mx/index.php/padres/aprende-algo-util-hoy/educacion-para-el-trabajo/5428-man>>

Robert C. Rosaler, James O. Rice, "Manual de Mantenimiento Industrial" tomo II, 1 ed. Mexico: editorial "McGRAW-HILL". Abril de 1995.

GARCIA Mayra, *et al.* Globalización y Competitividad. Facultad de Comercio Administración y Ciencias Sociales. Universidad de Málaga [En línea]. España. Disponible en: <<http://www.eumed.net/ce/2012/gshcss.html>>

MORA Enrique. Historia y Evolución del Mantenimiento [En línea]. TPOonline.com. Estados Unidos. 2011. Disponible en: <http://www.leanexpertise.com/TPMONLINE/articles_on_total_productive_maintenance/tpm/tpmprocess/maintenanceinhistorySpanish.htm>

RENNOVATEC. Objetivo del RCM [En línea]. Disponible en: <<http://mantenimientoindustrial.wikispaces.com/Objetivo+del+RCM>>

Rubén Ramos Heredia, José Camejo Juan, Soe Márquez Montoya, Mantenimiento de sistemas solares fotovoltaicos. [En línea]. Disponible en: <<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo02.htm>>

Ing. Esp. Antonio Saltarín Jiménez. [Entrevista]: "frecuencias de mantenimiento "atlantico, barranquilla noviembre 23 de 2013.

Asturio Baldin, Luciano Furlanetto, Antonio Robersi, Francesco Turco, "Manual de Mantenimiento de Instalaciones Industriales". 3 ed. Barcelona, España: Editorial Gustavo Gili, S.A, 1982.

ANEXO A. TABLA NIVEL SEVERIDAD PROCESO RCM

Tabla 15. Guía para definir el nivel de severidad asociado con consecuencias operacionales para aplicar el proceso RCM.

Relative severity criteria for hazardous events classification				
Description	Set			
	Personal	Facilities	Environment	
Insignificant	I	No significant harm to people, without removal of staff in the interior of the installation	No significant harm to installation	No significant harm to installation, contamination of environment in minimum concentration
Minor	II	Slight harm to people in installation, no significant harm to people outside installation	Minor damage or degradation of the installation, with repair at low cost	Contamination of environment below maximum concentration, though, concentration between minimum and medium
Major	III	Serious harm to people in installation and/or slight harm to people outside installation	Major damage or degradation of the installation, with possible repair	Contamination of environment below maximum concentration, though, concentration between medium and maximum
Catastrophic	IV	Single fatality or multiple severe harm to people inside and outside of installation	Damage or degradation without possible repair or repair take a long time to do	Contamination of environment above maximum concentration

Fuente: Souza G, Carazas F. termal powerplant. Editorial springerverlag. Año 2012. Page 136.

ANEXO B. TABLA ESCALA PROCESO RCM

Tabla 16. Guía para definir escala para asignar probabilidades de ocurrencia de fallas en equipos o componentes para aplicar el proceso RCM.

Frequency/probability for hazardous events classification			
Description	Definition		
Extremely remote	A	More than 1 in 100.000 years	Extremely unlikely to occur during an activity, but should not exclude the existence of the hazard
Remote	B	More than 1 in 1,000 years	Highly unlikely to occur during an activity, but should not exclude the existence of the hazard
Less probable	C	More than 1 in 30 years	Possibly happened once during an activity
Probable	D	More than 1 in 10 years	Possibly happened more than once during an activity
Frequent	E	More than 1 in 1 year	Frequently happened during an activity

Fuente: Souza G, Carazas F. thermal powerplant. Editorial springerverlag. Año 2012. Page 137.

ANEXO C. MANUAL DE MANTENIMIENTO

MANUAL DE MANTENIMIENTO

ASPECTOS DE SEGURIDAD

Para operar y mantener el sistema calefactor operado por energía solar a partir de paneles fotovoltaicos, se deben tener en cuenta las siguientes reglas de seguridad:

1. Toda persona que opere el sistema calefactor de la soda caustica diluida primero debe poseer entrenamiento sobre los aspectos de seguridad y operación del equipo, para encenderlo, mantenerlo operativo y apagarlo.
2. Toda persona que opere el equipo debe poseer los elementos básicos de un equipo de protección personal (E.P.P), como son: vestido apropiado, botas de seguridad, gafas de seguridad, guantes y herramientas de trabajo.
3. Para trabajos en altura como es el caso de lavar los paneles a más de 1.5 metros de alto, el lavador debe estar montado en una rampa tipo escalera de 2 metros de altura con apoyos antideslizantes (pies de caucho antideslizantes) con cuatro patas de soporte según muestra la Imagen 1.
4. La manguera de lavado debe poseer todos los aditamentos y el extremo debe tener regulación de la presión según muestra la Imagen 2. No regular la presión con la mano porque no se controla correctamente la trayectoria del chorro.
5. Asegúrese que todos los circuitos eléctricos están debidamente aterrizados antes de realizar cualquier intervención eléctrica. Además utilice medidores

de voltaje de un equipo medidor tipo multímetro para asegurarse del potencial eléctrico de los puntos a contactar.

6. No realice pruebas de cortocircuito en los circuitos eléctricos porque es posible que dañe los componentes eléctricos y/o electrónicos. Tampoco desconecte componentes energizados porque los picos de voltaje y corriente generados pueden destruirlos.

Imagen 1. Escalera de seguridad para trabajos a dos metros de altura.



Imagen 2. Manguera de lavado a presión de acueducto.



7. Nunca pruebe el estado de los acumuladores colocando en cortocircuito sus dos terminales, puede originarse una explosión o un daño a los acumuladores. Utilice medidores de voltaje e hidrómetros.
8. Para probar individualmente los componentes eléctricos y electrónicos, siga las recomendaciones del fabricante. En todo caso utilice equipos de prueba y/o multímetros apropiados.
9. Si utiliza PLC para los sistemas de control, realice la programación y ajustes siguiendo las recomendaciones del fabricante.

ASPECTOS DE OPERACIÓN

La Imagen 3 presenta los componentes del equipo y los respectivos controles.

La operación del sistema mostrado es como sigue:

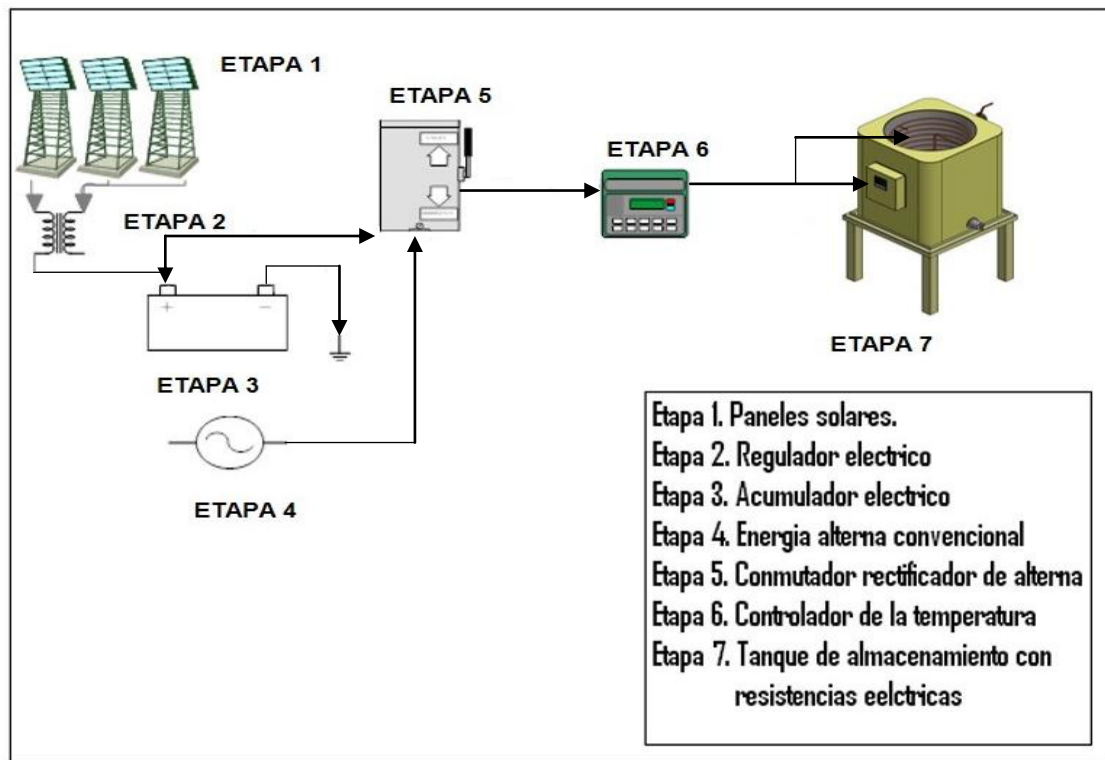
1. Los paneles solares genera corriente continua a partir de la incidencia el sol durante el día en que esto ocurra. Se selecciona la potencia del grupo generador para que cargue la batería o grupo acumulador en una hora máximo. Por lo tanto el resto de horas con sol, en promedio seis horas, deja cinco horas para operar directamente con el flujo de los paneles sin utilizar el acumulador.
2. La corriente continua no puede fluir de manera permanente hacia el grupo acumulador, porque una vez cargado 100% el mismo, cualquier corriente adicional lo recalienta y daña permanentemente incluso quemándolo irremediablemente. Por lo tanto se necesita la etapa de 2 del regulador de corriente hacia el acumulador para tenerlo cargado totalmente para que en

caso de no tener energía solar de manera ocasional, el sistema pueda operar de manera estable con el grupo acumulador.

3. El acumulador siempre envía la corriente continua al conmutador que normalmente debe conectar la fuente de los paneles. La energía almacenada está calculada para operar un día completo sin carga de los paneles. Una vez agotado el grupo acumulador debe entrar a operar la energía alterna convencional de la red eléctrica pública.

En caso de falla total del grupo de paneles solares, el conmutador envía la corriente alterna a un rectificador interno que a su vez la envía al regulador del grupo acumulador para continuar la operación normal del sistema calefactor.

Imagen 3. Estructura del equipo.



Fuente: Autores.

Con el esquema operativo comentado lo que resta es controlar la temperatura creada por las resistencias eléctricas para lo cual se utiliza el controlador de temperatura. La Imagen 4 muestra el controlador seleccionado por el grupo de diseño y mantenimiento.

Imagen 4. Controlador de temperatura del sistema calefactor.



Fuente: Autores.

El modo de operación final queda así:

1. El grupo de montaje del equipo conecta todos los componentes según el esquema estructural de la figura 3 y se asegura que todo funcione según se espera.

2. Para encender el equipo se tienen dos interruptores. Uno para conectar (posición on) o desconectar (posición off) los paneles solares y el otro para conectar o desconectar el controlador de temperatura. Para el caso de conectar los paneles solares se garantiza el flujo de corriente eléctrica continua al grupo acumulador. Si está desconectado el interruptor de temperatura el sistema no calienta. Para el caso de conectar primero los paneles solares y después el controlador de temperatura, el sistema opera normalmente.
3. Para apagar el equipo se desconectan los dos interruptores. Se recuerda que existen dos bombillos uno para cada interruptor que permanecen encendidos si los interruptores están activos. Por lo tanto se tiene el aviso de conexión o desconexión. Se debe chequear que si el sistema funciona y alguno o los dos bombillos están apagados con los interruptores activos, es indicación que los mismos están quemados y debe procederse a su remplazo que debe realizarse con los interruptores mencionados en posición de desconexión (off).

ASPECTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El correcto mantenimiento preventivo se inicia por realizar un buen montaje de cada componente del sistema, por lo cual se detallan a continuación los aspectos a tener en cuenta en este sistema.

MONTAJE

Para el montaje de cada uno de los componentes deben seguirse las recomendaciones del fabricante respectivo. La marca seleccionada para los

componentes electrónicos es Autonic para tener un único proveedor y compatibilidad de conexiones.

La recomendación de los autores para garantizar la mantenibilidad del sistema es la siguiente:

- Utilizar cables de color rojo y negro para flujos de corriente continua, con calibre según tablas de amperaje respectivo.
- Utilizar cables de color salmón para flujos de corriente alterna, con calibre según tablas de amperaje respectivo.
- Utilizar cables de colores para conectar los componentes electrónicos identificando cada cable con la letra L y un número consecutivo desde el 1 hasta donde se finalicen las conexiones eléctricas del sistema. Para cada cable marcado con una letra y un número, por ejemplo L1 se realiza la misma marcación en el lugar de conexión al componente respectivo. Con esto se asegura saber en dónde se conecta cada cable porque de realizar conexiones equivocadas, no solo no funciona el sistema. Sino que además lo más probable es que se dañen los componentes electrónicos del sistema.
- Colocar fusibles eléctricos de amperaje apropiado en todas las líneas de suministro eléctrico.
- Resolver problemas de tipo eléctrico y/o electrónico usando equipo de pruebas como multímetros o analizadores.
- Leer y entender el funcionamiento del sistema y las reglas de seguridad antes de entrar a operarlo o mantenerlo.

PROCEDIMIENTO PARA MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El siguiente procedimiento se propone para resolver el problema de no funcionamiento del equipo calefactor por daño inesperado de alguno varios componentes.

1. Leer y entender las reglas de seguridad antes de intervenir el equipo.
2. Asegúrese que el equipo está en modo de activación (suiches en posición on).
3. Observe los bombillos de indicación de estado operativo de los componentes que lo poseen. Bombillos apagados indican daño en el mismo o componente no funcionando. Verifique cual es el caso.
4. Si observa que todos los componentes tienen energía eléctrica, observe los cables de conexión. Guíese por olores, colores de recalentamiento y temperaturas elevadas para localizar el componente fallado.
5. Si todo está correcto vaya a la resistencia eléctrica y cámbiela, pero antes desconecte la activación eléctrica y mida la resistencia. De todos modos puede probar el correcto funcionamiento de la resistencia conectándola directamente a una fuente y observar si calienta y la velocidad con que lo hace. Si no pasa todas las pruebas cámbiela por una nueva o en buen estado.

VIDA ÚTIL DE PIEZAS CRÍTICAS

En base a las características de cada uno de los elementos dadas por el fabricante y su tiempo de funcionamiento, se tiene que la vida útil para cada uno de los elementos pertenecientes al sistema será:

ELEMENTO	VIDA UTIL (Meses)	Recomendaciones
Controlador	6	Verificar conexiones y realizar monitoreo.
Paneles Solares	240 a 300	Ajustar posición de los paneles tener una mayor cobertura solar
Aislante Térmico	36	Reemplazo total
Tanque	-	Reparar el punto afectado

Fuente: Autores.