

**MEJORA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS
CRITICOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN 1 DE LA EMPRESA COTECMAR
MEDIANTE LA METODOLOGÍA RCM**



**MARÍA FERNANDA LOMBANA MIRANDA
BENJAMÍN JOSÉ ZARANTE GONZÁLEZ**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN INDUSTRIAL
CARTAGENA DE INDIAS D. T. y C. BOLÍVAR
2018**

**MEJORA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS
CRITICOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN 1 DE LA EMPRESA COTECMAR
MEDIANTE LA METODOLOGÍA RCM**

**MARÍA FERNANDA LOMBANA MIRANDA
BENJAMÍN JOSÉ ZARANTE GONZÁLEZ**

**ELMER DE JESÚS FAJARDO OSPINO
ASESOR**

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN INDUSTRIAL
CARTAGENA DE INDIAS D. T. y C. BOLÍVAR**

2018

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Cartagena de Indias, 05 de septiembre de 2018

Tabla de Contenidos

1.	RESUMEN.....	1
2.	INTRODUCCIÓN.....	3
3.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	4
3.1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
3.2.	JUSTIFICACIÓN	6
4.	MARCO DE REFERENCIA	8
4.1.	MARCO TEÓRICO.....	8
4.1.1.	LA FUNCION DEL MANTENIMIENTO	8
4.1.2.	ANALISIS DE CRITICIDAD	9
4.1.3.	ANÁLISIS MODAL DE FALLAS Y EFECTOS (AMFE).....	11
4.1.5.	RCM: MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.....	15
4.1.6.	PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM.....	20
4.1.7.	INDICADORES DE GESTION.....	21
4.2.	MARCO CONCEPTUAL.....	22
	Mantenimiento correctivo.....	22
5.	OBJETIVOS	25
5.1.	OBJETIVO GENERAL.....	25
5.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
6.	DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	26
6.1.	DELIMITACIÓN ESPACIAL.....	26
7.	METODOLOGÍA.....	26
7.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	26
7.2.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	26
7.3.	FUENTES DE RECOLECCIÓN.....	27

7.4. POBLACION Y MUESTRA.....	28
8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	28
9. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS.....	30
9.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS EQUIPOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN 1 DE LA EMPRESA COTECMAR, A TRAVÉS DE ENCUESTAS Y REVISIÓN DOCUMENTAL Y DE CAMPO.....	30
9.1.1. Mantenimiento preventivo.....	30
9.1.2. Mantenimiento de rutina.....	32
9.1.3. Mantenimiento de Correctivo programado.....	33
9.2. JERARQUIZACIÓN DEL RIESGO DE LOS EQUIPOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN 1 DE LA EMPRESA COTECMAR MEDIANTE MATRICES SEMICUANTITATIVAS QUE CONTEMPLAN FRECUENCIA E IMPACTO DE LOS FALLOS.....	35
9.3. DISEÑO DEL NUEVO PLAN DE MANTENIMIENTO MEDIANTE LA IDENTIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES PREVENTIVAS – PREDICTIVAS, SIGUIENDO LA METODOLOGÍA RCM (MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD) DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN 1 DE LA EMPRESA COTECMAR.....	43
9.3.1. IDENTIFICACIÓN DE TAREAS RCM.....	46
9.3.2. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	48
9.4. PROPONER INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD Y GESTIÓN, QUE MIDAN LA CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN 1 DE LA EMPRESA COTECMAR.....	49
10. CONCLUSIONES.....	51
11. RECOMENDACIONES.....	53
12. REFERENCIAS.....	54
Anexos.....	55

Lista de Tablas

Tabla 1 Índice de Severidad	14
Tabla 2 índice de la frecuencia de fallo.....	15
Tabla 3 Índice de Detectabilidad.....	15
Tabla 4 Cronograma de Actividades.....	28
Tabla 5 Factores de frecuencia y del factor de consecuencia.....	41
Tabla 6 Matriz de riesgo para los elementos críticos	43
Tabla 7 Jerarquización de la causa de falla en función del NPR.....	44
Tabla 8 Instrumento de recolección de información	50

Tabla de figuras

Figura 1 Diagrama de decisión RCM	20
Figura 2 Gráfica 1 de porcentaje de cumplimiento de aspectos mínimos para el mantenimiento preventivo.....	31
Figura 3 Grafica 2 porcentaje de cumplimiento de aspectos mínimo para el Mantenimiento de rutina	32
Figura 4 Gráfica 3 porcentaje de cumplimiento de aspectos mínimos para el Mantenimiento Correctivo programado	33
Figura 5 Gráfica 4 de cumplimiento de aspectos en recursos del mantenimiento	34
Figura 6 Gráfica 5 de no cumplimiento de mantenimiento preventivo, rutinario y correctivo.	35
Figura 7 Puente grua de 5t gekon 201 Imocom	36
Figura 8 Mesa de corte CNC para corte de lámina CNC OmniMat I 6000.....	36
Figura 9 Mesa de Corte CNC para corte de lámina CNC OmniMat I 6000 en mantenimiento en las instalaciones de COTECMAR	37
Figura 10 Mesa de Corte CNC Ermaksan EPL 25120-130XD	37
Figuras 11 y 12 Falla en la consola de selección y consola de dosificación.....	38
Figura 13 Fallas de tablero eléctrico	39
Figuras 14 y 15 Inspección de sistema de antorcha, verificación de tuberías de gases,..	39
Figuras 16 y 17 Corrección de fallas en el anclaje de motor eléctrico trifásico en sistema de extracción,	39
Figura 18 Frecuencia de criticidad	40
Figura 19 Gráfica 6 Modos y Causas de fallas por componentes	45
Figura 20 Tipos de Mantenimiento por componentes	48

1. RESUMEN

En el devenir de un mundo globalizado, en el que se incrementan considerablemente las competencias tecnológicas, se hacen necesarias industrias estructuradas que estén a la vanguardia, con ventajas y estrategias competitivas que contribuyan al posicionamiento de un país con miras al desarrollo sostenible. La gerencia de la ciencia, tecnología e Innovación de la empresa a rigor, está orientada a la dirección, planificación, articulación, ejecución y control de los procesos relacionados con la gestión de la innovación y las actividades de investigación y desarrollo tecnológico que le permitan mantener su liderazgo, desarrollando capacidades científicas y tecnológicas a través de la innovación en productos, servicios y procesos, dirigidos a satisfacer de forma integral las necesidades del país y del mundo.

Es por ello que se propone la mejora al Plan de Mantenimiento Preventivo de los equipos críticos de la línea de producción 1 de la empresa COTECMAR mediante la metodología RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad), cuya investigación se desarrolló bajo un carácter mixto, donde se plasma una revisión bibliográfica que permite contextualizar el trabajo con bases teóricas, comparándolo incluso las que indirectamente con praxis que involucran cualquier variable que se implementó.

Para el logro de este objetivo, en primer lugar, se realizó un diagnóstico de la situación actual de los equipos mediante la recopilación de información a través de una encuesta estructurada y visita de campo, y de esta forma, evidenciar el tipo de mantenimiento que se le aplica, así como también las características y el funcionamiento de los equipos claves en función del contexto operacional.

Posteriormente utilizando la matriz de riesgo que contempla la frecuencia de fallas y los impactos de éstas en la producción, seguridad y mantenimiento, se logró determinar, que de los equipos críticos de la línea de producción 1, el más predominante es la Mesa de Corte CNC Ermaksan EPL 25120-130XD cuya función es el corte de lámina con alta precisión, y su detención tiene impacto negativo muy significativo en el proceso de ensamble, ya que éste alimenta a la zona de armado previo, soldadura previa, armado de mamparo y paneles.

Consecutivamente se ejecutó un Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMFE), donde se establecieron las fallas, modos de fallas y causa de fallas de los doce componentes principales de la Mesa de Corte CNC Ermaksan EPL 25120-130XD identificando un total de 19 modos de fallas y 40 causa de fallas, proceso en el cual se jerarquizaron los problemas en base al número de prioridad de riesgo, definiendo las actividades preventivas que mitigan o impiden su ocurrencia.

Luego, con la aplicación del Árbol Lógico de Decisión (ALD), se determinó el tipo de actividades de mantenimiento basado en el RCM a desarrollar. Se determinó que las tareas a condición constituyen un 45% del total de tarea, donde se incluyen actividades como inspecciones visuales para evidencias fugas, desgaste, sulfatación o aflojamiento de conexiones eléctricas. Las actividades de reacondicionamiento cíclico que constituyen un 55% del total de tarea incluyen acciones de conservación como la lubricación y engrase, las limpiezas de filtros, limpiezas de boquillas, etc.

En el nuevo plan de mantenimiento Predictivo/Preventivo se identificaron las tareas y se clasificaron según metodología RCM, una vez identificadas la actividad específica por cada componente mantenible, se identifica su frecuencia y responsables, ello para tratar de disminuir la ocurrencia de las fallas, los costos por mantenimiento correctivo, el tiempo de indisponibilidad del sistema, así como controlar los recursos económicos garantizando así la confiabilidad.

Con el objetivo de llevar un control de la gestión de mantenimiento, se propone el uso de indicadores como la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, donde la empresa a rigor debe calcular los parámetros planteados, en base a una recolección de información histórica de tiempo operativo y tiempo fuera de servicio para cada uno de los equipos, además, para disminuir el margen de error, se debe especificar los tipos de fallas y el componente que sufrió las mismas.

2. INTRODUCCIÓN

El sistema de producción de una empresa está compuesto por diversos elementos fundamentales como son la maquinaria, sus instalaciones y el recurso humano, por medio de los cuales se pueden fabricar productos u ofrecer servicios. Cuando uno de los elementos falla, la confiabilidad del sistema de producción se ve afectada y por ende el cumplimiento a los compromisos pactados, lo cual a su vez redundará en insatisfacción por parte de los clientes y pérdidas económicas para la empresa.

La Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval, Marítima y Fluvial - COTECMAR es una entidad de participación mixta, de carácter científico, técnico y tecnológico sin fines de lucro, cuyo objeto es el desarrollo y ejecución de la investigación, transferencia y aplicación de tecnología para la industria naval, marítima y fluvial. Su actividad comercial se encuentra en las áreas de diseño, construcción, reparación, y mantenimiento de motonaves y artefactos marítimos y fluviales.

COTECMAR ha encontrado que tiene falencias muy notorias en los equipos con que cuenta actualmente en las líneas de producción 1. Ésta línea está compuesta por el área de almacenamiento de materia prima (laminas y perfiles), el área de fabricación de outfitting y fabricación de tuberías, el área de corte de lámina, dobladora de perfiles y mecanizado de piezas.

La empresa cuenta con un plan de mantenimiento preventivo basado en la inspección, seguimiento e intervención de los equipos bajo el lineamiento definido por recomendaciones de los fabricantes o la experiencia del personal de mantenimiento. Sin embargo, viene presentando paros continuos en los equipos de área de corte de lámina, lo que conlleva a realizar un gran número de acciones correctivas que afecta la producción.

Ante ésta necesidad, surge el presente proyecto que tiene como objetivo realizar mejoras al plan de mantenimiento actual, ello con el fin de generar estrategias que permitan maximizar la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de los equipos, reduciendo al mínimo las suspensiones de trabajo por fallas imprevistas, lo cual está afectando directamente la capacidad de producción. Para estas tareas se propone la metodología RCM o *Reliability Centred Maintenance* ((Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad).

3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de las principales estrategias establecidas en el Plan Regional de Bolívar-Cartagena 2008-2032, un ejercicio técnico, metodológico y participativo, liderado por la Cámara de Comercio de Cartagena y la Gobernación de Bolívar se establece la consolidación de Cartagena como alternativa tecnológica en las soluciones integrales de la industria naval, marítima y fluvial. Estas actividades astilleras comprenden la apuesta productiva de diseño, construcción y reparaciones navales, la cual comprende la reparación y mantenimiento de embarcaciones en áreas de metalmecánica, soldadura, arenado y pintura.

En la capital del departamento de Bolívar, los Astilleros más importantes son: Industrias ASTIVIK y COTECMAR, dedicados al diseño, construcción y reparación de embarcaciones para la Armada Nacional y aquellas de uso comercial que transportan contenedores o carga general (al granel o líquidos como petróleo). (Comisión Regional de Competitividad de Cartagena y Bolívar, 2008)

En Colombia el sector de Construcción y Reparación de Buques (CRB) pasó de tres empresas en 2010 a 6 en 2014, mientras que para el sector de Investigación y Desarrollo Experimental (IDE) el incremento fue de 8 a 21 empresas, respectivamente (COTECMAR, 2016). En ese sentido, es difícil que las empresas mantengan altos niveles de rentabilidad de las inversiones salvo que mejoren la eficiencia productiva por medio del desarrollo de conocimiento y gestión de sus activos, lo que garantiza estar disponibles cuando sean requeridos.

El año 2016 representó para la corporación un periodo de diagnóstico, análisis y sensibilización general de cada una de sus gerencias y coordinaciones, con el fin de identificar estrategias de mejora corporativa que contribuyeran a la mitigación del impacto ejercido por las variables macroeconómicas en la industria de astilleros nacional, regional y mundial.

Durante este período se desarrolló un proceso de observación, análisis y valoraciones en temas relacionados con la productividad y su impacto en la competitividad, el cual desarrolló

una expectativa de cambios enfocados en la mejora continua de todos los procesos internos de COTECMAR.

Uno de los puntos que han evidenciado falencias es la línea de producción 1, la cual, como se observa en el plano (ver anexo), se compone de área de almacenamiento de láminas y perfiles, área de fabricación de Outfitting, área de fabricación de isométricos de tuberías, corte de lámina, área de prueba de tuberías, dobladora de perfiles, mecanizado de piezas y corte de perfiles. Ésta línea suministra componentes a la zona de armado de previas, soldadura de previas, armado de mamparos y paneles, y el ensamble final.

La mesa de corte por plasma controlada por computador de la marca Ermaksan, que se encuentra ubicada en el área de corte de lámina, viene presentando fallas que afectan su desempeño normal; éste equipo es el encargado del corte de lámina con alta precisión, y su detención tiene impacto significativo en el proceso de ensamble, ya que éste alimenta a la zona de armado previo, soldadura previa, armado de mamparo y paneles. A pesar de contar con un plan de mantenimiento preventivo definido por recomendaciones del fabricante, las fallas que se han presentado han generado retraso en el cumplimiento del programa de producción, generando lucros cesantes, quejas de los clientes y sobrecosto por pagos de tiempos extras en las áreas de corte y ensamble.

Todas estas situaciones generan preocupación en la gerencia de construcciones, ya que las falencias que se vienen presentando podrían traducirse en penalizaciones por incumplimiento de los tiempos pactados en los proyectos de construcción o entrega de diseño, y con el tiempo, disminuir el número de clientes que solicitan sus servicios.

Teniendo en cuenta lo anterior, y con el fin de aportar una solución para el problema descrito, se plantea el siguiente interrogante ¿Cómo la mejora del plan de mantenimiento que se ejecuta actualmente, mediante la metodología RCM o *Reliability Centred Maintenance* (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiability) contribuirá a reducir las fallas imprevistas de los equipos de corte de la línea de producción 1 y que de esta forma se reduzcan los sobrecostos en la fabricación y ensambles, evitando también quejas y/o penalización por parte de los clientes?

3.2. JUSTIFICACIÓN

Los problemas presentados en línea de producción 1 de la empresa COTECMAR permiten ver con cierta claridad la ineficiencia del plan de mantenimiento preventivo que se lleva en la actualidad, razón por la cual se debe generar una mejora en la definición de las actividades o tareas a realizar en términos de factibilidad técnica y económica, y en la frecuencia de ejecución de la misma.

La determinación de las acciones sobre los equipos críticos se vuelve necesaria para la empresa, dado las implicaciones de sobrecosto y pérdida de imagen que produce el incumplimiento a los clientes en las fechas pactadas de trabajo y los proyectos de diseño de embarcaciones que se llevan a cabo.

La pérdida de clientes sería grave y altamente riesgosa debido a que se ponen en peligro empleos directos e indirectos, acarreando también efectos negativos sobre los proveedores que suministran materias primas e insumos para las diferentes actividades.

Es inminente poseer una metodología que permita el alcance de los objetivos propuestos, por lo tanto, la justificación obedece al uso de una metodología de mantenimiento conocida como RCM (Reliability Centred Maintenance).

RCM (Reliability Centred Maintenance) requiere de un cambio de cultura en la organización en cuanto a la forma de trabajar por objetivos comunes. Está fundamentado en un equipo natural de trabajo y se define dentro del contexto del RCM, como un conjunto de personas de diferentes funciones de la organización que trabajan juntas por un período de tiempo determinado en un clima de potenciación de energía, para analizar problemas comunes de los distintos departamentos, apuntando al logro de un objetivo común.

Para lograr eficiencia, se deben jerarquizar los equipos de la línea de producción, la cual será determinada según el riesgo que implican las fallas de los mismos en aspectos como la producción, el costo de mantenimiento, el tiempo de mantenimiento, el impacto en la calidad del producto y/o servicio, y las implicaciones en la seguridad y el medio ambiente. Posteriormente, deben identificarse no solo los modos de fallas que han presentado los equipos críticos, sino también las que debido a su función, pueden ser o provocarlos modos

de fallas potenciales.

Para cada modo de fallas se deben identificar las causas, sus efectos y su jerarquización debido a la probabilidad de ocurrencias, el impacto en los sistemas, y la facilidad o dificultad de detectar los modos de fallas o la causa de fallas antes de que se presenten. Las tareas de mantenimiento para evitar la ocurrencia de las causas de fallas deben ser objeto de análisis minuciosos que permitan valorar las consecuencias de la aparición de las mismas y la identificación de las estrategias de mantenimiento que sean técnicas y económicamente factibles de implantar.

Por último, se valoraran las actividades del plan actual de mantenimiento, se propondrán mejoras basadas en la metodología RCM (Reliability Centred Maintenance) al plan de mantenimiento actual y se establecerán indicadores de gestión que permitirán medir de forma periódica el impacto de estas implementaciones en la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de los equipos.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1. MARCO TEÓRICO

4.1.1. LA FUNCION DEL MANTENIMIENTO

Se define habitualmente *mantenimiento* como el conjunto de técnicas destinado a preservar los equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible y con el máximo rendimiento (Garrido S. G., 2009). Según éste mismo autor, para determinar las tareas de mantenimiento más convenientes para cada equipo e incorporarla a un Plan de Mantenimiento, es necesario estudiar cada uno de ellos con cierto nivel de detalle, determinando así cuales son rentables y cuáles no lo son. Cabe recordar que cada equipo ocupa una posición distinta en un proceso industrial y tiene unas características propias que lo hacen diferente del resto, incluso de otros equipos similares.

Durante la industrialización, que se inició desde finales del siglo XIX el cuidado de los equipos era responsabilidad de los propios operadores quienes ejecutaban las tareas correctivas una vez presentada la falla. Con la exigencia de la mejora de la productividad, las empresas adquirieron equipos más complejos, por lo que, para poder mantenerlos, se requería de conocimiento específicos y se dio la necesidad de tener personal dedicado a esas tareas (Cárcel Carrasco, 2014).

El concepto de confiabilidad aparece entre la Primera y segunda Guerra Mundial y generó un cambio en las estrategias de mantenimiento, ya que establece como objetivo la prevención de las fallas antes de que se presenten en el equipo y afecte su funcionalidad e incremente los costos directos e indirectos producido por las mismas. (Cárcel Carrasco, 2014)

Esto genera la creación de un personal cuya función es estudiar qué tareas de mantenimiento deben realizarse para evitar las fallas. El personal indirecto, que no está involucrado directamente en la realización de las tareas, aumenta, y con él los costes de mantenimiento.

Posteriormente aparece el Mantenimiento Preventivo, el Mantenimiento Predictivo, el Mantenimiento Proactivo, la Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador, y el Mantenimiento Basado en Fiabilidad (RCM). El RCM como estilo de gestión de

mantenimiento, se basa en el estudio de los equipos, en el análisis de los modos de fallo y en la aplicación de técnicas estadísticas y tecnológicas de detección. Podríamos decir que RCM es una filosofía de mantenimiento básicamente tecnológica. (García, 2003).

Según (Joisa, 2014) el mantenimiento productivo total (del inglés total productive Maintenance, TPM) es una filosofía originaria de Japón que se enfoca en la eliminación de pérdidas asociadas con paros de calidad y costo en los procesos de producción industrial. Esta filosofía se fundamenta en la disciplina y el trabajo constante, exigiendo compromiso en su gestión y elevando el nivel de conocimiento de los trabajadores. Los operadores de los equipos se dedican a las actividades rutinarias como las limpiezas, ajuste de elemento de sujeción, la lubricación e inspecciones sensoriales como primeras líneas de defensa para evitar paros catastróficos, por otro lado, el personal especializado de mantenimiento se dedica a llevar a cabo el programa de mantenimiento preventivo y predictivo y las reparaciones planificadas y las no planificadas.

TPM y RCM no son formas opuestas de dirigir el mantenimiento, sino que ambas conviven en la actualidad en muchas empresas. En algunas de ellas, RCM impulsa el mantenimiento, y con ésta técnica se determinan las tareas a efectuar en los equipos; después, algunas de las tareas son transferidas a producción en el marco de una política de implantación de TPM.

4.1.2. ANALISIS DE CRITICIDAD

Las técnicas de análisis de criticidad son herramientas que permiten identificar y jerarquizar por su importancia los activos de una instalación sobre los cuales vale la pena dirigir recursos (humanos, económicos y tecnológicos). En otras palabras, el proceso de análisis de criticidad ayuda a determinar la importancia y las consecuencias de los eventos potenciales de fallos de los sistemas de producción dentro del contexto operacional en el cual se desempeñan (Woodhouse, 2000)

El término “crítico” y la propia definición de criticidad pueden tener diferentes interpretaciones dependiendo del objetivo que se está tratando de jerarquizar. El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en

la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de un proceso de producción complejo, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable. (Parra & Crespo, Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos, 2012)

Varias de las metodologías de análisis de criticidad a ser evaluadas están constituidas por métodos de priorización que generan resultados de criticidad sustentados en la teoría del riesgo, concepto que mezcla el factor fiabilidad (frecuencia de fallos) y el factor severidad/consecuencia del fallo (impacto de los fallos en: seguridad, ambiente, calidad, producción, etc.) (Jones, 1995). (Richard, 1995)

Es importante mencionar que los resultados que se obtienen con la aplicación de las técnicas de criticidad, representan la materia prima con la cual se debe dar inicio a cualquier proceso de optimización basado en la aplicación de técnicas de ingeniería de fiabilidad y mantenimiento.

El modelo de Criticidad Total por Riesgo (CTR), es un proceso de análisis semi-cuantitativo, bastante sencillo y práctico, soportado en el concepto del riesgo, entendido como la consecuencia de multiplicar la frecuencia de un fallo por la severidad del mismo (ver el concepto PRN: Probability Risk Number, en Jones, 1985). Este método ha sido ampliamente desarrollado por consultoras y empresas internacionales (Woodhouse, 1996) y adaptado a un número importante de industrias. En este modelo, la selección de los factores ponderados se realiza en reuniones de trabajo con la participación de las distintas personas involucradas en el contexto operacional del activo en estudio (operaciones, mantenimiento, procesos, seguridad y ambiente). Posteriormente, se seleccionan los sistemas a priorizar y se genera una tormenta de ideas en la que se le asignan a cada equipo los valores correspondientes a cada uno de los factores que integran la expresión de Criticidad Total por Riesgo, donde:

CTR: Criticidad total por Riesgo

FF: Frecuencia de fallos (rango de fallos en un tiempo determinado (fallos/año))

C: Consecuencias de los eventos de fallos

Donde se supone además que el valor de las consecuencias (C), se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA \quad (5.2)$$

Siendo:

IO = Factor de impacto en la producción

FO = Factor de flexibilidad operacional

CM = Factor de costes de mantenimiento

SHA = Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente

Así, la expresión final del modelo de priorización de CTR será la siguiente:

$$CTR = FF \times ((IO \times FO) + CM + SHA)$$

4.1.3. ANÁLISIS MODAL DE FALLAS Y EFECTOS (AMFE)

AMFE (Análisis de modo y efectos de fallas), es una técnica sistematizada que permite evaluar los bienes y servicios que ofrece una organización objetivamente con la finalidad de identificar las causas, efectos y elementos que ocasionan fallas en los procesos para así poder evitar su ocurrencia. En la utilización de esta herramienta es necesario tener un registro documentado de todas las actividades que se hagan en la misma para no incurrir en los mismos errores. El manejo adecuado de AMFE permite diseñar productos, servicios, procesos y facilita la capacitación del personal. (Socconini, 2010)

Para el desarrollo óptimo de esta herramienta se debe realizar una recolección de información que permita desarrollar una taxonomía del equipo, donde se muestre de manera gráfica los componentes del equipo, luego, se forma un grupo de trabajo que identifique las funciones y fallos funcionales de los equipos en cuestión, sus fallas, determinar sus efectos con sus causas y los controles preventivos y correctivos necesarios, finalizando con la priorización de los modos de fallas y la identificación de las acciones a seguir con los responsables asignados (Salazar, 2016)

Los objetivos básicos del AMFE:

- Análisis de las consecuencias y los fallos que puedan afectar a un producto o un sistema
- Identificar los modos de fallo que tienen consecuencias importantes respecto a diferentes criterios: disponibilidad, seguridad, etc.
- Precisar para cada modo de fallo los medios y procedimientos de detención. Así, se

asegura de que cada modo de fallo dispone de los medios de detención previstos (detectores, ensayos o inspecciones periódicas).

- Poner en evidencia los fallos de modo común.

La valoración de cada modo de fallo en un AMEF se conoce como NPR, que significa Número de prioridad de riesgo, y es el resultado de multiplicar tres factores: Severidad (S), ocurrencia(O) y detectabilidad (D), es decir: $NPR = S \cdot O \cdot D$

Según la norma NPT 679 Ministerio de trabajo de España 2004, se podrían definir estos factores de la siguiente manera:

- **Severidad:** Determina la importancia o severidad del efecto del modo de fallo potencial para el sistema, el índice aumenta en función de la degradación de las prestaciones esperadas y el coste de reparación.
- **Ocurrencia:** Se define como la probabilidad de que una causa específica se produzca y dé lugar al modo de fallo.
- **Detectabilidad:** Se trata de averiguar cuan probable es que no se detecte, pasando a etapas posteriores, generando problemas y llegando en último término a afectar al sistema.

4.1.4. PASOS PARA LA ELABORACIÓN DEL ANALISIS MODAL DE FALLAS Y EFECTOS

Éste método básico de análisis, introduce de manera más precisa la especial gravedad de las consecuencias de los fallos, y aunque principalmente es aplicado en el estudio de un producto o proceso en su fase de diseño, ésta técnica es válida para cualquier tipo de proceso o situación, teniendo en cuenta que los procesos repercuten en todos los ámbitos de la empresa, desde el diseño y montaje, hasta la fabricación, comercialización y la organización propia de las diversas áreas organizacionales. (Bestratén, Orriols, & París., 2004).

Es por ello que, a pesar de su simplicidad, es utilizado en acontecimientos clave, en donde las consecuencias de los fallos puedan tener repercusiones imperativas en los resultados

esperados. Es así como el AMFE define su objetivo, resaltar los puntos críticos con el fin de eliminarlos o prevenirlos mediante un sistema, para evitar así su aparición o reducir el margen de consecuencias, lo cual lo convierte en un procedimiento riguroso de detección de defectos potenciales si se aplica de manera sistemática (Bestratén, Orriols, & París., 2004). Por tanto, a continuación, se definen los pasos a seguir para la elaboración adecuada del AMFE:

- **Describir el equipo objeto de estudio.** Se debe describir el equipo incluyendo todos los subconjuntos y los componentes que forman parte del mismo. Es útil complementar tal identificación con códigos numéricos que eviten posibles confusiones al definir los componentes.
- **Enunciar la operación o la función del componente:** Describir todas las funciones (principales o secundarias) que cumple el componente.
- **Identificar los modos de fallo:** Cómo el componente pudiera fallar potencialmente a la hora de prestar el servicio. Los modos de fallo se deben describir en términos “físicos” o técnicos, no como síntoma detectable por el cliente (Operador de los equipos).
- **Indicar los(el)efecto(s) del fallo:** Describir cómo repercute en el sistema o proceso, es decir, describir las consecuencias no deseadas del fallo que se puede observar o detectar, y siempre debe indicarse en términos de rendimiento o eficacia del proceso.
- **Determinar cuáles son las causas del modo de fallo:** Relacionar con la mayor amplitud posible todas las causas de fallo concebibles que pueda asignarse a cada modo de fallo. Normalmente un modo de fallo puede ser provocado por dos o más causas encadenadas.
- **Determinar el índice de severidad del efecto del modo de fallo:** Valora el nivel de consecuencias del modo de fallo. El valor del índice aumenta en función del impacto en el sistema o proceso, la degradación de las funciones y los costos de reparación. En la tabla 1 se indica los criterios y el valor asignado.
- **Determinar el índice de la frecuencia de fallo:** Mide la probabilidad de que una causa potencial de fallo (causa específica) se produzca y dé lugar al modo de fallo. Puede ser una evaluación subjetiva, por lo cual es recomendable el uso de datos históricos de fallas. En la tabla 2 se indica los criterios y el valor asignado.

- **Determinar el índice de la detectabilidad del fallo:** Mide la probabilidad de que la causa y/o modo de fallo, supuestamente aparecido sea detectado con antelación suficiente para evitar daños, a través de los “controles actuales” existentes a tal fin. En la tabla 3 indica los criterios y el valor asignado.
- **Priorización de los modos de fallos (Índice de Prioridad de Riesgo (IPR):** Es el producto de los tres factores que lo determinan. Debe ser calculado para todas las causas de fallo.
- **Identificar los controles actuales:** se deben reflejar todos los controles existentes actualmente para prevenir las causas del fallo y detectar el efecto resultante.
- **Acción correctora:** Describir la acción correctora propuesta, que para efecto del mantenimiento se puede centrar en el incremento del control de inspección o en la actividad de mantenimiento.
- **Responsable y plazo:** Se deberá indicar quien es el responsable de cada acción y las fechas previstas de implantación.

Tabla 1 Índice de Severidad

Fuente: NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Baja Repercusiones imperceptibles	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observará un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable	2-3
Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema	4-6
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7-8
Muy Alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10	9-10

Tabla 2 Índice de la frecuencia de fallo

FRECUENCIA	CRITERIO	VALOR
Muy Baja Improbable	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos , ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos . Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2-3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4-5
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6-8
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.	9-10

Tabla 3 Índice de Detectabilidad

DETECTABILIDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2-3
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente . Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción	4-6
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final	9-10

Fuente: NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE

4.1.5. RCM: MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

RCM (Reliability Centred Maintenance) es un proceso usado para determinar sistemática y científicamente qué se debe hacer para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios desean que hagan. Ampliamente reconocido por los profesionales de mantenimiento como la forma más “costo-eficaz” de desarrollar estrategias de mantenimiento de clase mundial; RCM lleva a mejoras rápidas, sostenidas y sustanciales en la disponibilidad y confiabilidad de planta, calidad de producto, seguridad e integridad ambiental. (Moubray, 2004)

Según (Bloom, 2006) y (Barreda & Chulví, 2015), la metodología RCM (Reliability Centred Maintenance), propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de

mantenimiento de los activos en su contexto operacional, a partir del análisis de las siguientes siete preguntas:

1. ¿Cuál es la función del activo?

Si el objetivo de mantenimiento es asegurar que el bien puede continuar cumpliendo con estas funciones, entonces todas ellas deben ser identificadas en forma conjunta con los respectivos niveles de desempeño deseados. Las funciones se dividen en dos categorías principales (función primaria y secundaria); las funciones primarias son generalmente fáciles de reconocer, en realidad, el nombre de la mayoría de los bienes industriales está basado en sus funciones primarias. Por ejemplo, la función primaria de una maquina empacadora, es empacar, la de una aplanadora, aplanar algo y así sucesivamente.

2. ¿De qué manera puede fallar?

Una falla funcional se define como la incapacidad de todo bien, de cumplir una función a un nivel de desempeño aceptable por el usuario. La definición exacta de falla en cualquier equipo depende en gran medida de su contexto operativo. Esto significa que del mismo modo que no debemos generalizar las funciones de bienes idénticos, tenemos que ser cuidadosos de no generalizar las fallas funcionales

3. ¿Qué origina la falla?

Un modo de falla es una posible causa por la cual un equipo puede llegar a un estado de falla. Al identificar los modos de falla de un equipo o sistema, es importante listar la “causa raíz” de la falla.

La descripción debería contener detalles suficientes para que sea posible seleccionar una estrategia apropiada para el manejo de fallas, pero no una cantidad tal que se pierda una enormidad de tiempo en el proceso de análisis.

Lo ideal es encargarse antes de que las fallas ocurran o al menos tener decidido cómo se procederá en caso de que ocurran. De manera que, si queremos aplicar el mantenimiento proactivo a cualquier bien físico, debemos tratar de identificar todos los modos de falla que pueden llegar a afectar a dicho bien. Lo ideal será identificarlos antes de que sucedan, o si

esto no fuera posible, antes de que vuelvan a suceder.

4. ¿Qué pasa cuando falla?

Una vez que cada modo de falla fue identificado, se hace posible considerar qué sucede cuando se presenta, ello para evaluar sus consecuencias y decidir (de ser posible) qué se debe hacer para anticiparlo, prevenirlo, detectarlo o corregirlo- o hasta para rediseñarlo.

Los modos de falla pueden ser clasificados en uno de tres grupos:

- Cuando la capacidad cae por debajo del desempeño deseado.
- Cuando el desempeño deseado supera la capacidad inicial.
- Cuando el bien no es capaz de cumplir la función esperada desde un comienzo.

La falla de un equipo puede afectar a sus usuarios de distintas formas:

- Poniendo en riesgo la seguridad de las personas (“consecuencias de seguridad”)
- Afectando al medio ambiente (“consecuencias de medio ambiente”)
- Incrementando los costos o reduciendo el beneficio económico de la empresa (“consecuencias operacionales”)
- Ninguna de las anteriores (“consecuencias no operacionales”)

Cada modo de falla identificado en el análisis de RCM debe ser clasificado en una de éstas categorías. El orden en el que se evalúan las consecuencias es el siguiente: seguridad, medio ambiente, operacionales y no operacionales, previa separación entre fallas evidentes y ocultas.

5. ¿Importa si falla?

Los efectos de una falla describen qué sucede cuando se presenta una falla, mientras que las consecuencias describen cómo y cuánta es la importancia. Si se logra reducir los efectos de cualquier falla, en lo que respecta a frecuencia y/o severidad, también reduciremos las consecuencias.

Si la falla presenta solo consecuencias menores, es posible que no se adopte ninguna acción proactiva, sino que la falla simplemente se corrija cada vez que se presenta.

Éste enfoque en las consecuencias implica que RCM comienza el proceso de selección de tareas, evaluando los efectos de cada modo de falla y calificando las consecuencias en una de cuatro amplias categorías. El segundo paso es investigar si es físicamente posible realizar una tarea proactiva que reduzca o permita acciones tendientes a reducir las

consecuencias de las fallas a un grado que pueda ser aceptable para el propietario o usuario del bien. Si se encuentra tal tarea, se la considera *Técnicamente Posible*. (Moubray, 2004)

6. ¿Se puede hacer algo para prevenir la falla?

Si una acción es técnicamente posible, el siguiente paso es preguntarse si realmente reduce las consecuencias de la falla a un grado tal que justifique los costos directos e indirectos de llevarla a cabo. (Los costos directos son los de mano de obra o material necesario para realizar esta tarea y cualquier trabajo de corrección relacionado).

Ésta pregunta se encarga del criterio utilizado para decidir si una tarea proactiva es técnicamente posible. Una tarea es técnicamente viable, si tiene la posibilidad física de reducir o permitir que la acción seleccionada disminuya, las consecuencias del modo de falla asociado a un grado que sea aceptable para el propietario o usuario del bien.

7. ¿Qué pasa si no podemos prevenir la falla?

Las tareas proactivas se realizan antes de que ocurra una falla, ello para prevenir que el equipo entre en estado fallido y abarcan lo que se conoce tradicionalmente como mantenimiento “preventivo” y “predictivo”. El RCM utiliza los términos mantenimiento a condición, restauración cíclica y sustitución cíclica.

Si no se logra encontrar una tarea proactiva que implique un costo menor que la falla con consecuencias operativas, la decisión de default inicial es que **se realice mantenimiento programado**. Si esto ocurre, y las consecuencias operativas siguen siendo inaceptables, entonces la segunda decisión de default será el rediseño.

El proceso de decisión de RCM

Según (Barreda & Chulví, 2015) La planilla de decisión de RCM busca consolidar las respuestas a las preguntas en *el Diagrama de Decisión* de la figura 1, y en la luz de estas respuestas, registrar:

- Qué rutina de mantenimiento se va a realizar, con qué frecuencia y quien la va a llevar a cabo.
- Qué fallas son lo suficientemente serias como para garantizar el rediseño.

El diagrama de decisión está dividido en:

- **Información de referencia.**
 - Función
 - Fallas funcionales
 - Modos de Fallos

- **Consecuencias de las fallas para cada modo de falla**
 - Ocultas (H)
 - Seguridad (S)
 - Ambiental (E)
 - Operacional (O)

- La columna encabezada H1/S1/ O1/ N1 se utiliza para registrar si pudiera encontrarse una tarea en-condición apropiada para anticipar el modo de falla, con suficiente tiempo para evitar, eliminar o minimizar las consecuencias.
- La columna encabezada H2/S2/O2/N2 se utiliza para registrar si se identificó una tarea de restauración programada para prevenir las fallas.
- La columna encabezada H3/S3/O3/N3 se utiliza para registrar si se encontró una tarea de sustitución programada para prevenir las fallas.
- Las columnas encabezadas H4, H5 y S4 en la planilla de decisión se utilizan para registrar las respuestas a las tres preguntas búsqueda de falla.

Si una tarea proactiva o una tarea de búsqueda de fallas ha sido seleccionada durante el proceso de toma de decisiones, se debería registrar una descripción de la tarea en la columna titulada “tarea propuesta”. (Moubray, 2004)

La elaboración del Plan de Mantenimiento requiere de las siguientes fases:

- Realizar un análisis de equipos, fase en la que se busca elaborar una lista ordenada de los equipos que hay en ella
- Descomponer la planta en equipos o subprocesos y cada uno de ellos en elementos básicos.
- Realizar una ficha de cada uno de los equipos que componen el proceso
- Determinación de los fallos funcionales de los sistemas que componen cada uno de los equipos y para cada uno de ellos identificar los modos de fallo potenciales y reales .
- Estudio de las consecuencias de un fallo: clasificación de fallos, en fallos a evitar y fallos a amortiguar.
- Determinación de medidas preventivas que eviten o amortigüen los efectos de los fallos.
- Selección de las tareas de mantenimiento que se ajustan al modelo de mantenimiento determinado para cada sistema.
- Determinación de las frecuencias óptimas para cada tarea.
- Agrupación de las tareas en rutas y gamas de mantenimiento; elaboración del plan inicial de mantenimiento.
- Puesta en marcha de las rutas y gamas; correcciones al plan inicial.
- Redacción de procedimientos de realización de las rutas y gamas.

4.1.7. INDICADORES DE GESTION

Según (Garrido S. G., 2009-2012), para la filosofía del RCM, el control de la gestión del mantenimiento está relacionada con tres indicadores básicos: disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad. A continuación, se presentan los parámetros a ser utilizados en el cálculo de estos índices, según su autoría.

Disponibilidad: Es la proporción de tiempo que un equipo se encuentra apto para cumplir su misión, en condiciones dadas, respecto al tiempo que debió haber cumplido su misión y no lo hizo. Este parámetro relaciona los tiempos de reparación de fallas (MTTR) y los tiempos operativos entre fallas (MBTF).

Mantenibilidad: Indica la probabilidad de que el equipo sea restaurado a su condición después de la aparición de una falla, utilizando procedimientos de mantenimiento preestablecido. Ésta está relacionada con el diseño y la complejidad del equipo, con el personal calificado que realice el mantenimiento, con herramientas disponible y con los procedimientos de mantenimiento. El parámetro fundamental para calcular la mantenibilidad lo constituye el tiempo promedio para la reparación de fallas (MTTR).

Confiabilidad: Mide la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de operación determinadas en un periodo determinado.

De los tres conceptos mencionados anteriormente, (Heredia, 2013) la disponibilidad constituye el parámetro cuya información es la más representativa y útil para la gestión del mantenimiento. El cálculo de la disponibilidad es más sencillo, en comparación con el cálculo de los otros dos parámetros, y relaciona a su vez, a la confiabilidad y a la mantenibilidad.

4.2. MARCO CONCEPTUAL

Mantenimiento: Es un conjunto de recursos físicos, tierra, capital, equipos, recursos humanos, tecnología e información que acoplados buscan mejorar la eficiencia del sistema de producción disminuyendo los paros, aumentando la confiabilidad del equipo y garantizando la seguridad y un nivel de costo rentable todo ello dentro del marco de desarrollo propio de la empresa y del país. (Jaramillo, 1992)

Mantenimiento correctivo. El mantenimiento correctivo consiste en ir reparando las averías a medida que se van produciendo, el personal encargado de avisar de las averías es el propio usuario de las maquinas o equipos, y el encargado de realizar las reparaciones es el personal de mantenimiento. (Biglieri, 2010)

Mantenimiento preventivo. El mantenimiento preventivo mantiene en funcionamiento los equipos mediante la supervisión de planes a realizarse en puntos específicos. Este mantenimiento también es conocido como mantenimiento planificado, mantenimiento proactivo o mantenimiento basado en el tiempo pues se trabaja con datos de los fabricantes o con estadísticas sobre las fallas más comunes en los equipos, aquí el término “planificado” es la base del significado del mantenimiento preventivo. (Smith & Hinchcliffe, 2005)

Mantenimiento predictivo. El mantenimiento predictivo se puede definir como la supervisión periódica de los equipos, centrada en el diagnóstico de sus posibles fallos, con el fin de establecer tendencias y un mantenimiento planificado. Se basa por lo tanto en la condición de los equipos, ya que se establecen intervalos de inspección mediante los cuales se determina la necesidad y el periodo de reparación. (Garrido S. G., 2009)

Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). RCM (Reliability Centred Maintenance) es un proceso usado para determinar sistemática y científicamente qué se debe hacer para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios desean que hagan. Ampliamente reconocido por los profesionales de mantenimiento como la forma más “costo-eficaz” de desarrollar estrategias de mantenimiento de clase mundial, RCM lleva a mejoras rápidas, sostenidas y sustanciales en la disponibilidad y confiabilidad de planta, calidad de producto, seguridad e integridad ambiental. (Moubray, 2004)

Análisis de Criticidad. Es una metodología que permite establecer jerarquías entre las instalaciones, los sistemas, equipos y los elementos de un equipo. Evalúa el impacto que tiene cada sistema en flexibilidad operacional, los costos de reparación en el equipo y el sistema al cual pertenece.

Función. Son la razón principal de porque es adquirido y existe el activo. Las funciones se dividen en dos categorías principales: funciones primarias y secundarias.

Fallos funcionales. Puede ser una pérdida total de una función o también puede ser en las que el comportamiento funcional queda al margen de los parámetros de funcionamiento establecidos.

Modos de fallos. Cualquier evento que causa una falla funciona. La descripción correcta de un modo de falla debe consistir de un sustantivo y un verbo

Causa de fallas. La causa o causas del modo de fallo están en el origen del mismo y constituye en el indicio de una debilidad del diseño cuya consecuencia es el propio modo de fallo

Efectos de las fallas Describe los efectos no deseadas del fallo que se puede observar o detectar, y siempre deben indicarse en términos de rendimiento o eficacia del producto/proceso

Frecuencia de fallos. Mide la repetitividad potencial u ocurrencia de un determinado fallo, es lo que en términos de fiabilidad o de prevención llamamos la probabilidad de aparición del fallo. (AMFE)

Contexto operacional. Indica las condiciones de operación del activo, y afecta a todo el proceso de formulación de estrategias de mantenimiento, comenzando por la definición de funciones.

Tareas a condición. Conocidas como mantenimiento predictivo, ya que se evalúa el estado del componente y se decide cuál acción tomar.

Tareas de reacondicionamiento cíclico. El reacondicionamiento cíclico consiste en actuar periódicamente para reacondicionar a su condición original una pieza o componente existente

Tareas de sustitución cíclica. Consisten en descartar un elemento o componente antes de, o en el límite de edad específico, independiente de su condición en el momento.

Tiempo medio entre fallas (MTBF) o confiabilidad. Este indicador permite medir la frecuencia entre fallas promedio transformándose en una medida de la confiabilidad de los equipos.

Disponibilidad de un equipo o activo. Se define como el porcentaje de tiempo en que está operativo, o disponible a funcionar en cualquier instante.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Propuesta de mejora del plan de mantenimiento preventivo de los equipos de la línea de producción¹ de la empresa COTECMAR, mediante la metodología RCM (Reliability Centred Maintenance) con el fin de reducir los fallos imprevistos, incrementado la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diagnóstico de la situación actual de los equipos de la línea de producción 1 de la empresa COTECMAR, a través de encuestas, revisión documental y de campo.
2. Jerarquización del riesgo de los equipos de la línea de producción 1 de la empresa COTECMAR mediante matrices semi-cuantitativas que contemplen frecuencia e impacto de los fallos.
3. Diseño del nuevo plan de mantenimiento mediante la identificación de las actividades preventivas – predictivas, siguiendo la metodología RCM (Mantenimiento centrado en la confiabilidad) de los equipos críticos de la línea de producción 1 de la empresa COTECMAR.
4. Proponer indicadores de productividad y gestión, que midan la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos de la línea de producción¹ de la empresa COTECMAR.

6. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La delimitación del problema se dividió en delimitación espacial y temporal.

6.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL

El presente proyecto se realizó en la ciudad de Cartagena de Indias, en las instalaciones de la empresa COTECMAR.

7. METODOLOGÍA

7.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que se implementó en este proyecto es de tipo descriptivo y aplicado, donde inicialmente se realizó el diseño de una encuesta para la recolección de información referente al estado actual de los equipos y la gestión de mantenimiento y de esta forma realizar un análisis previo de todo el sistema en estudio, es decir, se evaluó, plasmó y describió la situación actual de la línea de producción 1 de la empresa COTECMAR, de tal manera que se conocieron todas las etapas de preparación de los materiales, las características de los productos o trabajos que se realizan, los tiempos de fabricación, tiempos de paro de los equipos y las fallas encontradas en el mismo; y así se logró llegar a la aplicación de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad **RCM**, lo que permitió proponer mejoras al plan de mantenimiento, lo cual le permitirá a la empresa un mejoramiento continuo de sus operaciones, incrementando la disponibilidad y confiabilidad de los mismos.

7.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación es de tipo inductivo, puesto que, a través de la percepción e identificación de algunas de las personas encargadas de los procesos de la organización, se pudieron determinar las condiciones de trabajo, los inconvenientes y tipos de desperdicios presentes a lo largo de la línea de producción 1 y demás problemas que atraviesa la misma, de la empresa COTECMAR en la actualidad, además de algunas posibles soluciones a éste tipo de inconvenientes.

Para realizar éste proyecto se comenzó realizando una investigación preliminar sobre aspectos específicos de la empresa COTECMAR, los cuales son prestación del servicio, las áreas o departamentos que la conforman, la estructura organizacional, las características del plan de mantenimiento actual y el estado de maquinaria y equipo, con el

fin de poder realizar un diagnóstico de la situación actual en las que se encuentran estos aspectos.

En segundo lugar, se aplica una matriz semi-cuantitativa que permitió jerarquizar los equipos críticos en base a la frecuencia de fallos y su impacto, midiendo factores tales como flexibilidad operacional, impacto operacional, mantenibilidad, costo de mantenimiento e impacto en la seguridad y medio ambiente, y calidad.

A partir de la información recolectada anteriormente se establecieron los equipos críticos, para posteriormente aplicar la metodología que incluye la realización de la taxonomía de los equipos, ejecución de análisis modal de fallas y efectos (AMFE) para identificar modos de fallas potenciales y reales, y su priorización. Luego se aplicó un diagrama de decisión que determinó las tareas adecuadas de mantenimiento en base a lo anterior, y al contexto operacional.

Finalmente se optó por proponer unos indicadores de gestión que midan la disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad de los equipos críticos, para evaluar la eficacia del plan propuesto.

7.3. FUENTES DE RECOLECCIÓN

7.3.1. Fuentes Primarias

La información necesaria para el desarrollo de este proyecto se obtuvo a través de la observación, encuestas estructuradas y notas de campo tomadas en las visitas realizadas a las instalaciones de la línea de producción 1 en la empresa COTECMAR

7.3.2. Fuentes Secundarias

- Información suministrada por el personal administrativo y operativo de la línea de producción 1 en la empresa COTECMAR
- Información documentada, tales como planes de mantenimiento, fichas técnicas y registros de fallas de los equipos de la líneas de producción1 en la empresa COTECMAR

7.3.3. Instrumentos

Para la recolección de información se realizaron encuestas y entrevistas, las cuales fueron herramientas fundamentales que permitieron realizar preguntas precisas para conseguir información deseada por parte el encuestado o entrevistado. Además, se complementó con la observación directa del lugar de trabajo para detectar en realidad la labor que se está

realizando y no lo que se dice realizar.

7.4. POBLACION Y MUESTRA

Para nuestro caso de estudio se tomó la totalidad de los empleados que intervienen en los procesos críticos de la línea de producción 1 de la empresa COTECMAR. El personal operativo es menor a los 50.

8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 4 Cronograma de Actividades

Actividades	Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Presentación de propuesta																				
Presentación de anteproyecto																				
Objetivo específico 1																				
Objetivo específico 2																				
Objetivo específico 3																				
Objetivo específico 4																				
Finalización Proyecto																				

Fuente: Elaboración de los autores

Etapas de la Investigación

- **Objetivo específico 1**

- Diseño de encuesta para recolección de información referente al estado actual de los equipos y la gestión del mantenimiento
- Aplicación de la encuesta a personal operativo y de mantenimiento de los equipos de la línea de producción1
- Recopilación de documentación técnica de los equipos
- Tabulación y análisis de los resultados

- **Objetivo específico 2**

- Identificación de la frecuencia de fallos anuales de los equipos
- Cuantificar el impacto operacional, de calidad, de seguridad y mantenimiento de los equipos
- Jerarquizar el riesgo de fallas de los equipos y seleccionar los más críticos

- **Objetivo específico 3**

- Describir las funciones y las fallas funcionales de los componentes de los equipos críticos de la línea de producción 1
- Identificar los modos de fallas, sus causas y sus consecuencias, de los componentes de los equipos críticos de la de la línea de producción 1
- Aplicar matriz de decisión RCM e identificar las tareas de mantenimiento (a condición, reacondicionamiento cíclico y sustitución cíclica)
- Determinar las frecuencias y los recursos para aplicar las tareas de mantenimiento seguir matriz de decisión RCM

- **Objetivo específico 4**

- Diseñar formato para la recolección de información y tabulación de los indicadores de confiabilidad.

9. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS

De acuerdo a lo planteado en la metodología de trabajo, y contando con la atención del personal y la disposición de la maquinaria requerida para poder desarrollar los análisis anteriormente descritos, se han obtenido los resultados finales juntos con sus respectivos análisis, presentados a continuación:

9.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS EQUIPOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN 1 DE LA EMPRESA COTECMAR, A TRAVÉS DE ENCUESTAS Y REVISIÓN DOCUMENTAL Y DE CAMPO.

Para poder identificar la situación actual de los equipos de la línea de producción 1, primero se realizó una encuesta para evidenciar cómo se realiza la gestión de mantenimiento a los mismos. En las líneas de producción 1 se realizan cuatro tipos de mantenimiento, un mantenimiento de averías o más conocido como **correctivo de emergencias**, que se ejecuta una vez se presenta una falla imprevista, el **mantenimiento correctivo programado** que surge de la identificación de anomalías en actividades de inspección durante la ejecución de un mantenimiento preventivo, el **mantenimiento rutinario** que consiste en actividades de limpiezas, ajustes y conservación mediante la lubricación; y un **mantenimiento preventivo** que se ejecuta a intervalos prefijados, normalmente establecido por recomendaciones del fabricante del equipo. También se analizó lo relativo a los equipos, herramientas y repuesto que se requiere para desarrollar las actividades preventivas, correctivas o rutinarias.

Las encuestas estructuras consisten en una serie de preguntas relacionadas con lo que se quiere evaluar y se enmarcan en tres opciones: Cumple, no cumple o cumple de forma parcial (ver anexo 2, 3, 4). Y los resultados se muestran en una gráfica circular indicando el porcentaje de cada uno.

9.1.1. Mantenimiento preventivo.

La gráfica muestra que el 60% de los aspectos mínimos necesarios para asegurar el buen cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo, no se cumple y el otro 40% se cumple de forma parcial. Los aspectos que no se cumplen y que tienen impacto son:

- No se cuenta con el apoyo de los diferentes recursos de las diversas áreas para determinar los indicadores de gestión del mantenimiento, y los de los equipos, como es el caso de la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.
- No se tienen estudios estadísticos para determinar la frecuencia de las revisiones y sustitución de piezas.
- No se llevan registros de datos necesarios para determinar los tiempos de paradas y tiempos entre fallas de los equipos; y el personal no tiene formación para poder llevar a cabo esos registros.
- Las actividades de mantenimiento preventivo están programadas de forma que no existe holgura para el ajuste de la programación en caso de que se presenten factores como paradas imprevistas o ajustes a la programación de la producción.
- Los planes y políticas para la programación del mantenimiento preventivo no se ajustan a la realidad de la empresa ni al contexto operacional donde se encuentra el equipo.
- No existen mecanismos idóneos para medir la eficiencia de los resultados a obtener en el mantenimiento preventivo.
- La falta de recopilación de la información no permite la evaluación de mantenimiento preventivo basado en los recursos utilizados, tampoco su incidencia en el sistema, ni la comparación con los demás tipos de mantenimiento.

En la tabla 1 anexa se describen todos los aspectos analizados.

Gráfica 1 de porcentaje de cumplimiento de aspectos mínimos para el Mantenimiento Preventivo.



Figura 2 Gráfica 1 de porcentaje de cumplimiento de aspectos mínimos para el mantenimiento preventivo

Fuente: Información suministrada por la empresa

9.1.2. Mantenimiento de rutina.

La gráfica muestra que el 75% de los aspectos mínimos necesarios para asegurar el buen cumplimiento del plan de mantenimiento rutinario se cumplen parcialmente, mientras que el 25% de esos aspectos, no se cumple. Los aspectos que no se cumplen y que tienen impacto son:

- No se cuenta con un stock de materiales y herramientas de mayor uso para la ejecución del mantenimiento rutinario.
- La frecuencia de mantenimiento rutinario (limpiezas, ajustes, calibración y lubricación) no están asignadas a momentos específicos de la semana.
- No se tiene establecida una supervisión para el control de la ejecución de las actividades del mantenimiento rutinario.
- No hay un personal encargado de las labores de recepción y archivo de la información con el fin de realizar evaluaciones periódicas para este tipo de mantenimiento.
- Los resultados de la evaluación del mantenimiento rutinario no permiten identificar los recursos utilizados y la incidencia en el sistema.

(En la tabla 2 anexa se describen todos los aspectos analizados)



Figura 3 Grafica 2 porcentaje de cumplimiento de aspectos mínimo para el Mantenimiento de rutina

Fuente: Información suministrada por la empresa

9.1.3. Mantenimiento de Correctivo programado

La gráfica muestra que solo el 18% de los aspectos mínimos necesarios para asegurar el buen cumplimiento del plan de mantenimiento correctivo programado se cumple, y tiene que ver con que:

- Se llevan registros de la ejecución de cada operación del mantenimiento correctivo programado.
- Se llevan registros de la utilización de materiales y repuestos en la ejecución del mantenimiento correctivo programado.

En cuanto al no cumplimiento que corresponde a un 27,3% resaltamos aspectos como:

- No se llevan registros por escrito de aparición de fallas para ser actualizadas y evitar su futura aparición.
- La distribución de las labores de mantenimiento correctivo programado no es analizada, a fin de que, según la complejidad y dimensión de la actividad a ejecutar, se tome la decisión de detener una actividad y emprender otra que tenga más importancia.
- No existe una buena distribución de tiempo para hacer el mantenimiento correctivo programado.

El otro 54,5% corresponde a aquellos aspectos evaluados que se cumplen parcialmente. Entre ellos están:

- Parcialmente se clasifican las fallas para determinar cuales se va a atender o eliminar por medio de la corrección programada.
- Se tiene establecida una programación de ejecución de las acciones de mantenimiento correctivo

En la tabla 3 anexa se describen todos los aspectos analizados.

Figura 4 Gráfica 3 porcentaje de cumplimiento de aspectos mínimos para el Mantenimiento



También se revisó el estado de instructivos de mantenimiento y recursos (tabla 4 anexa), encontrando los siguientes aspectos:

- No se cuenta con instructivos de registro de fallas que permitan el análisis de las averías ocurridas en cierto periodo.
- Los parámetros de operación, mantenimiento y capacidad de los equipos no son conocidos.
- No se cuenta con las herramientas necesarias para que el personal de mantenimiento opere eficientemente.
- El personal de mantenimiento tiene poco acceso a información (Catálogos, revistas u otros) sobre diferentes alternativas tecnológicas de los instrumentos y herramientas.
- No se ha establecido cuales repuestos tener en stock y cuales comprar de acuerdo a pedidos.
- Se conoce los mínimos y máximos de repuesto para cada equipo.



Figura 5 Gráfica 4 de cumplimiento de aspectos en recursos del mantenimiento
Fuente: Información suministrada por la empresa.

En la gráfica 5, que se muestra a continuación, se indica el consolidado porcentual del NO CUMPLIMIENTO de los mantenimientos preventivos, rutinarios y correctivos programados.

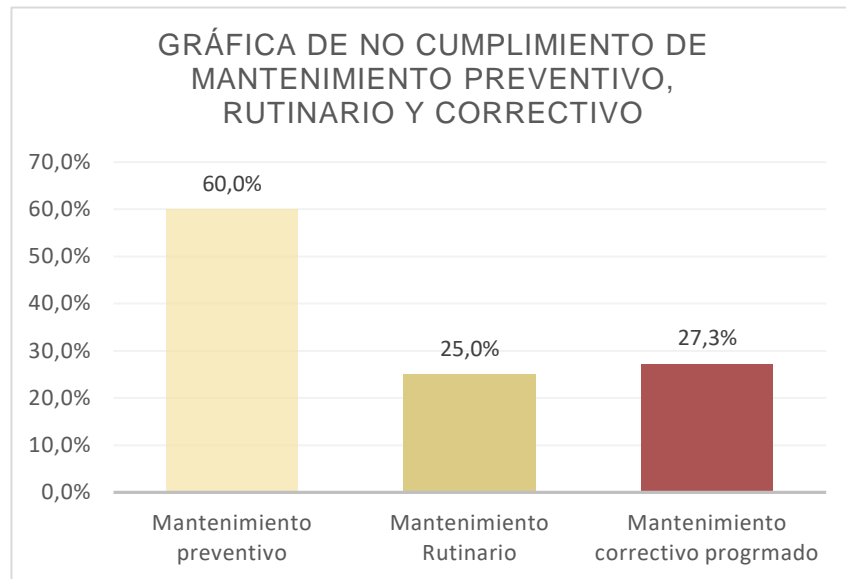


Figura 6 Gráfica 5 de no cumplimiento de mantenimiento preventivo, rutinario y correctivo.

Fuente: Elaboración de los autores de acuerdo a información suministrada por la empresa

Con esto se puede comprobar que al no cumplirse a cabalidad ninguno de los anteriores tres tipos de mantenimiento, que es lo recomendable para una empresa de esta especialidad, la empresa opta por reparaciones urgentes cuando ocurre una falla, cuyas particularidades atribuidas al mantenimiento de averías o correctivo de emergencia.

9.2. JERARQUIZACIÓN DEL RIESGO DE LOS EQUIPOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN 1 DE LA EMPRESA COTECMAR MEDIANTE MATRICES SEMICUANTITATIVAS QUE CONTEMPLAN FRECUENCIA E IMPACTO DE LOS FALLOS

La línea de producción 1 de la empresa COTECMAR está compuesta por el área de Almacenamiento de láminas y perfiles, el área de fabricación de Outfitting, área de fabricación de isométricos de tuberías, el área de corte de lámina, el área de prueba de tuberías, el área de dobladora de perfiles, mecanizado de piezas y corte de perfiles. Ésta línea suministra componentes a la zona de armado de previas, soldadura de previas, armado de mamparos y paneles, y el ensamble final.

Dentro del área de corte de lámina se encuentran tres equipos fundamentales:

- Puente grúa de 5 toneladas gecon-201
- Mesa de corte CNC para corte de lámina CNC Omnimat I6000
- Mesa de Corte CNC Ermakasan EPL 25120-130XD

El puente grúa de 5 toneladas gecon-201 cumple la función de trasladar, montar las láminas de acero a la mesa de corte y de retirar las partes que son cortadas. Entre las fallas que se han presentado se tienen las siguientes:

- Fuga de aceite en el polipasto del lado de acople motor caja reductores
- Falla de bloque de contacto en la botonera principal
- Cambio de disco de freno por desgaste
- Cambio de cable de la botonera



Figura 7 Puente grúa de 5t gecon 201 Imocom
Fuente: productos y servicios IMOCOM

En el tiempo en que el puente grúa está inactivo por fallos, se utilizan montacargas de 5 Ton para ejecutar las operaciones que realiza el puente grúa. En lo referente al mantenimiento preventivo, éste es ejecutado por la empresa Imocom, empresa que suministró el puente grúa, y mensualmente realiza las actividades: Revisión de voltaje de entrada, Estado de la botonera, Estado del gancho de izaje, Verificación de sistema eléctrico y Verificación estado de viga carrileras.

La Mesa de corte CNC para corte de lámina CNC OmniMat I 6000, cumple las funciones de corte de piezas en láminas y perfiles. Los fallos más frecuentes son:



Figura 8 Mesa de corte CNC para corte de lámina CNC OmniMat I 6000
Fuente: Productos OmniMat

- Desajuste de guías niveladoras
- Golpe y desajuste de la antorcha de corte
- Perdida de energía eléctrica debido a fallas en relés y contactores
- Fallas en circuito de elemento de suministro de potencias

El mantenimiento que se le ejecuta se hace con el personal de mantenimiento de Cotecmar y consiste en actividades rutinarias de inspección y limpieza de los diferentes componentes.



Figura 9 Mesa de Corte CNC para corte de lámina CNC OmniMat I 6000 en mantenimiento en las instalaciones de COTECMAR

Fuente: Foto tomada por autores en un recorrido en la empresa COTECMAR

La Mesa de Corte CNC Ermaksan EPL 25120-130XD cumple la función de cortar las láminas de mayores dimensiones que la mesa de corte CNC Omnimat I6000, y con más alta precisión, mientras alimenta la zona de armado previo, soldadura previa, armado de mamparo y paneles, así las cosas, cuando la máquina falla y/o se detiene, genera un impacto significativo en el proceso de ensamble.



Figura 10 Mesa de Corte CNC Ermaksan EPL 25120-130XD

Fuente: Base de datos de maquinaria COTECMAR

Ésta máquina cuenta con un mantenimiento preventivo rutinario, realizado por la empresa Imocom que lo ejecuta mensualmente y se centra más específicamente en los componentes electrónicos y CNC; las demás actividades de mantenimiento rutinario mecánico son ejecutadas por el personal de COTECMAR.

Ahora bien, cuando se detectan anomalías imprevistas que no pueden ser resueltas por el personal de COTECMAR, se recurre al contratista Imocom, cuya sede se encuentra en la ciudad de Barranquilla en el departamento de Atlántico, con un tiempo mínimo de respuesta de cuatro (4) horas. Es decir, el mantenimiento correctivo programado es ejecutado por el personal de COTECMAR con apoyo y asesoría de la empresa contratista Imocom.

A pesar de contar con un plan de mantenimiento preventivo definido por recomendaciones del fabricante, las fallas que se han presentado han generado un retraso en el cumplimiento del programa de producción, lucros cesantes, quejas de los clientes y sobrecosto por pagos de tiempos extras en las áreas de corte y ensamble. Algunas de las fallas más comunes que se ha presentado son:

- Daños irreparables en los sistemas electrónicos y eléctricos del equipo generador plasma Hyperthem por la acumulación de polvos metálicos.
- Aflojamiento de los tornillos de anclaje del motor blower en el sistema extractor de gases. causados por excesiva vibración.
- Bloque de las guías longitudinales y transversales, guías en cabezal de corte plasma por falla en la lubricación.
- Fallas en el sistema neumático en bloques de electro-válvulas neumáticas, accesorios de conexión plug and play, estado de solenoides y conexión de cables, y líneas de control.



Figuras 11 y 12 Falla en la consola de selección y consola de dosificación

Fuente: Base de datos rep COTECMAR



Figura 13 Fallas de tablero eléctrico principal mesa de corte plasma
Fuente: Base de datos rep COTECMAR



Figuras 14 y 15 Inspección de sistema de antorcha, verificación de tuberías de gases, tubo de refrigeración y estado de consumibles
Fuente: Base de datos rep COTECMAR



Figuras 16 y 17 Corrección de fallas en el anclaje de motor eléctrico trifásico en sistema de extracción, verificación y ajustes a tornillos, limpieza de canastas recolectoras de polvo
Fuente: Base de datos rep COTECMAR

En base a esta información se procede a jerarquizar el riesgo de estos tres equipos mediante el modelo de Criticidad Total por Riesgo (CTR), donde:

CTR: Criticidad total por Riesgo

FF: Frecuencia de fallos (rango de fallos en un tiempo determinado (fallos/año))

C: Consecuencias de los eventos de fallos

Donde se supone además que el valor de las consecuencias (C) (Figura 17), se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA \quad (5.2)$$

Siendo:

IO = Factor de impacto en la producción

FO = Factor de flexibilidad operacional

CM = Factor de costes de mantenimiento

SHA = Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente

Así, la expresión final del modelo de priorización de CTR será la siguiente:

$$CTR = FF \times ((IO \times FO) + CM + SHA)$$

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Figura 18 Frecuencia de criticidad

Fuente: Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento,
Garrido, 2009-2012

Los valores de los factores de frecuencia y del factor de consecuencia se obtienen de la tabla 5.

Tabla 5 Factores de frecuencia y del factor de consecuencia

Factor de Frecuencia de Fallos (FF) (escala 1 - 4)	
CRITERIO	PONDERACIÓN
Pobre mayor a 2 fallas / año	4
Promedio 1 – 2 fallas / año	3
Buena 0,5 – 1 fallas / año	2
Excelente menos de 0,5 falla / año	1
Impacto operacional = IO (escala 1 - 10)	
CRITERIO	PONDERACIÓN
Pérdidas de producción superiores al 75%	10
Pérdidas de producción entre el 50% y el 74%	7
Pérdidas de producción entre el 25% y el 49%	5
Pérdidas de producción entre el 10% y el 24%	3
Impacto operacional = IO (escala 1 - 10)	
CRITERIO	PONDERACIÓN
Pérdidas de producción superiores al 75%	10
Pérdidas de producción entre el 50% y el 74%	7
Pérdidas de producción entre el 25% y el 49%	5
Pérdidas de producción entre el 10% y el 24%	3
Impacto por Flexibilidad Operacional (FO) (escala 1 - 4)	
CRITERIO	PONDERACIÓN
No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes	4
Se cuenta con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios	2

Se cuenta con unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeños	1
Impacto en Costes de Mantenimiento (CM) (escala 1 - 2)	
CRITERIO	PONDERACIÓN
Costes de reparación, materiales y mano de obra superiores a 20.000 dólares	2
Costes de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 20.000 dólares	1
Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA) (escala 1 - 8)	
CRITERIO	PONDERACIÓN
Afecta las instalaciones causando daños o riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catastrófico) que exceden los límites permitidos severos	8
Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud, y/o incidente ambiental de difícil restauración	6
Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable), derrames fáciles de contener y fugas repetitiva	3
No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales	1

Fuente: Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos

Teniendo en cuenta estos criterios, se procede a realizar la matriz de riesgo obteniéndose como resultado que la Mesa de Corte CNC Ermakasan EPL 25120-130XD es la más crítica, y de acuerdo a lo establecido, se le procederá a realizar el análisis modal de fallas y efectos, para identificar las tareas de mantenimiento RCM y definir el plan de mantenimiento (tabla 6).

Tabla 6 Matriz de riesgo para los elementos críticos

#	Descripción de los equipos	Factor de Frecuencia	Factores de Consecuencia				Críticidad total del riesgo		
		FF	IO	FO	CM	SHA	Consecuencias	TOTAL	Jerarquización
		# de Fallas/año					$((IO \times FO) + CM + SHA)$	$FF \times ((IO \times FO) + CM + SHA)$	
1	Ermakasan EPL 25120-130XD	4	10	4	2	6	48	192	Crítico
2	para corte de lámina CNC Omnimat I6000	4	5	2	1	6	17	68	Media Críticidad
3	Puente grúa de 5 toneladas gecon-201	4	5	2	1	8	19	76	Media Críticidad

Fuente: Elaboración de los autores

9.3. DISEÑO DEL NUEVO PLAN DE MANTENIMIENTO MEDIANTE LA IDENTIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES PREVENTIVAS – PREDICTIVAS, SIGUIENDO LA METODOLOGÍA RCM (MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD) DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN 1 DE LA EMPRESA COTECMAR

Para la resolución de éste objetivo, se hizo necesaria la utilización del análisis modal de fallas y efectos (AMFE) como se tenía previsto; y para la aplicación de esta metodología, primero definimos los compontes mantenibles, luego se identificó para cada uno ellos las fallas funcionales o estados de falla que representan todos los estados indeseables del componente. Las fallas funcionales están directamente relacionadas con las funciones deseadas.

Para cada falla funcional se identifican los modos de fallos, es decir, las posibles causas por las cuales un equipo puede llegar a un estado de falla. Cada falla funcional suele tener por lo menos un modo de falla; al identificar los modos de falla de un componente se lista la “causa raíz” de la falla, ya que ello nos da la idea precisa de por qué ocurren la fallas.

Posteriormente para cada modo se indica el efecto o sea la descripción de qué pasa cuando la falla ocurre. Los efectos de fallas indican claramente cuál es la importancia que tiene la falla en caso de producirse.

La identificación de los efectos de fallas incluye toda la información que permite definir las consecuencias de las fallas; éstas pueden ser operacionales, sobre la seguridad humana y ambiental o consecuencias no operacionales.

Se listan los controles existen que reflejan las medidas que tiene la empresa actualmente para asegurarse de que la causa del fallo no se presente. La fiabilidad de tales medidas condicionará a su vez la frecuencia de aparición de los modos de fallo.

El número de prioridad de riesgo (NPR) (tabla 7) es el producto de la severidad, la ocurrencia y la detección, siendo tales factores traducibles a un código numérico adimensional que permite priorizar la urgencia de la intervención, así como el orden de las acciones correctoras. Por tanto, será calculado para todas las causas de fallo.

Con el fin de Jerarquizar las causas de los fallos se utiliza la siguiente tabla en función del valor resultante del número de prioridad de riesgo.

Tabla 7 Jerarquización de la causa de falla en función del NPR

Prioridad de NPR	Jerarquización del Riesgo
401 – 1000	Alto riesgo de falla
201 – 400	Riesgo de falla medio
0 – 200	Riesgo de falla bajo

Fuente: Leansolutions conceptualización del AMFE

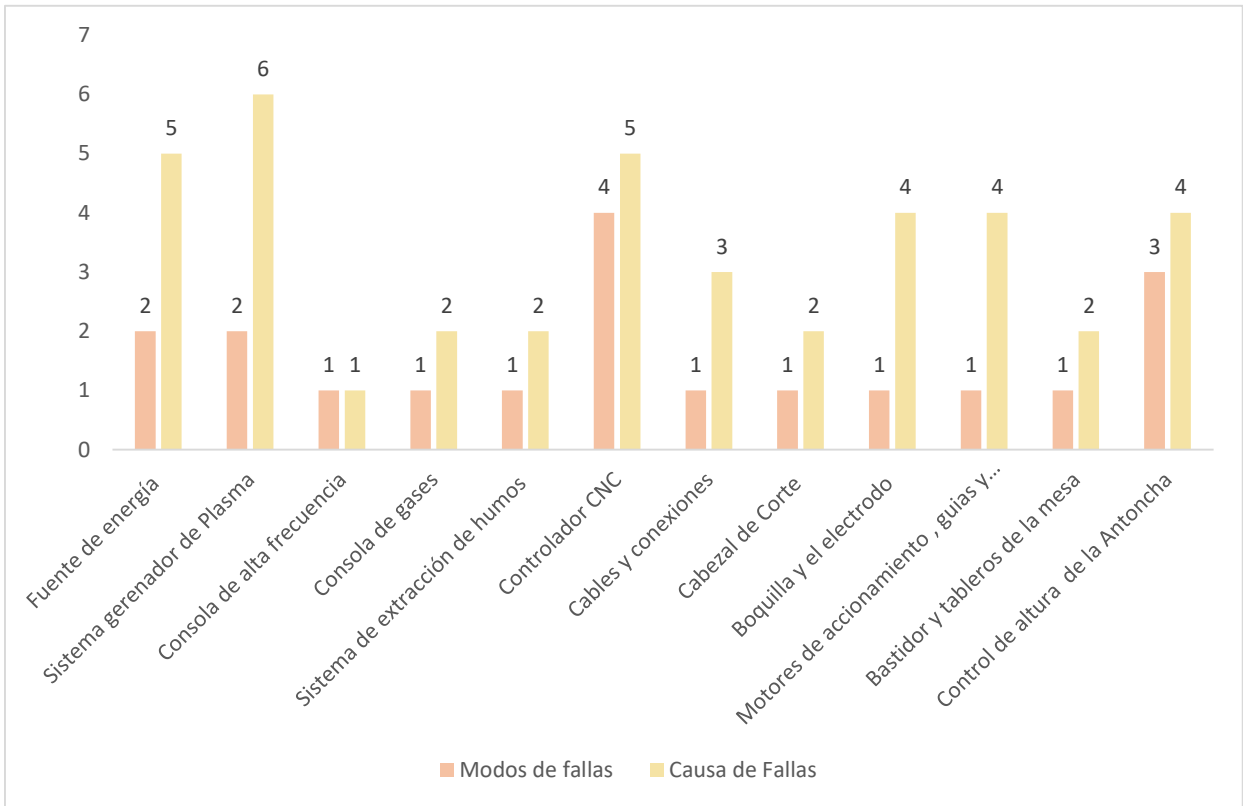
La Mesa de Corte CNC Ermaksan EPL 25120-130XD, se descompone en los siguientes doce (12) elementos fundamentales:

1. Fuente de energía (440V, 2,5 kVa, 3 fase, 40 amperios)
2. Sistema generador de Plasma (Hyperthem Plasma Source 130 x D)
3. Consola de alta frecuencia.
4. Consola de gases.
5. Sistema de extracción de humos de los gases y polvos metálicos.
6. Controlador CNC.
7. Cables y conexiones (Cable tray)
8. Cabezal de Corte.
9. Boquilla y el electrodo.
10. Motores de accionamiento, guías y cremallera (Servomotor and linear guideway and carriage)
11. Bastidor y tableros de la mesa (12.000 mm x 2.280 mm x 750 mm)

12. Control de altura de la Antorcha Hit M 4000 Pcs (Torch Height Control) de 0 a 200 mm)

Al seguir el procedimiento para la aplicación del Análisis Modal de Fallas y efectos AMFE (anexo), se obtuvieron un total de 19 modos de fallas y 40 causas de fallas distribuidas en los componentes como se indica en las gráficas. Se evidencia que los que más causas presentan son:

1. Fuente de energía (440V ,2,5 kVa , 3 fase , 40 amperios
2. Sistema generador de Plasma (Hyperthem Plasma Source 130 x D)
7. Controlador CNC
9. Boquilla y el electrodo
10. Motores de accionamiento, guías y cremallera
12. Control de altura de la Antorcha Hit M 4000 Pcs (Torch Height Control) de 0 a 200 mm)



Fuente: Elaboración de los autores

En base a los valores del número de prioridad de riesgo se obtienen dos causas con alto riesgo de fallas y las restantes con riesgo de falla medio.

Como se aprecia en el registro AMFE (Anexo 6), para cada causa de falla se identificó la actividad para prevenir la aparición de la misma, los responsables y la frecuencia de actuación.

9.3.1. IDENTIFICACIÓN DE TAREAS RCM

Una vez realizado el AMFE, el paso siguiente es seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento que ayude a prevenir la aparición de cada modo de falla. A partir del árbol lógico de decisión, que es una herramienta diseñada por el RMC que permite seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento más adecuada, para evitar la ocurrencia de cada modo de falla o disminuir sus posibles efectos. (Parra & Crespo, 2012)

El primer paso para seleccionar las actividades de mantenimiento, consiste en identificar las consecuencias que generan los modos de fallas. Las categorías de consecuencias son las fallas de un equipo que puede afectar a sus usuarios de distintas formas:

- Poniendo en riesgo la seguridad de las personas (“consecuencias de seguridad”)
- Afectando al medio ambiente (“consecuencias de medio ambiente”)
- Incrementando los costos o reduciendo el beneficio económico de la empresa
- (“Consecuencias operacionales”)
- Ninguna de las anteriores (“consecuencias no operacionales”)

El RCM clasifica las actividades de mantenimiento a ejecutar en cinco grandes grupos, las actividades predictivas, las preventivas, las actividades correctivas, las de rediseño y las de búsqueda de falla; estas tres últimas, se ejecutarán sólo en el caso de no encontrar una actividad efectiva de mantenimiento preventivo.

9.3.1.1. Tareas Predictivas o de Condición

Si la evidencia de este tipo de modos de fallas puede ser detectada bajo condiciones normales de operación, es posible que se puedan tomar acciones programadas en base a la condición del activo, que ayuden a prevenir estos modos de fallas y/o eliminar sus consecuencias (Jaramillo, 1992).

9.3.1.2. Tareas Preventivas (de reacondicionamiento cíclico o de sustitución cíclica)

Las tareas de reacondicionamiento, se refieren a las actividades periódicas que se llevan a cabo para restaurar un activo (sistema, equipo, parte) a su condición original. En este tipo de actividades de mantenimiento preventivo, los componentes son puestos fuera de servicio, se desarman, se desmontan, se inspeccionan de forma general y se corrigen y reemplazan de ser necesario, partes defectuosas, con el fin de prevenir la aparición de posibles modos de fallas.

Las tareas de sustitución cíclica están orientadas específicamente hacia el reemplazo de componentes o partes usadas de un activo, por unos nuevos, a un intervalo de tiempo menor al de su vida útil (antes de que fallen) (Garrido S. G., 2009-2012).

9.3.1.3. Actividades Correctivas

Serán las que se apliquen en el caso de no conseguir ninguna actividad de prevención para un determinado modo de falla, no son técnicamente factibles o no son efectivas (Jaramillo, 1992).

9.3.1.4. Tareas de búsqueda de fallas ocultas

Se aplica a modos de fallas ocultas que no son evidentes bajo condiciones normales de operación, este tipo de fallas no tienen consecuencias directas, pero las mismas propician la aparición de fallas múltiples en un determinado contexto operacional. (Parra & Crespo, 2012).

9.3.1.5. Rediseño

Se aplica en el caso que no se consigan actividades de prevención que ayuden a reducir los modos de fallas que afecten a la seguridad o al ambiente a un nivel aceptable, es necesario realizar un rediseño que minimice o elimine las consecuencias de los modos de fallas (Jaramillo, 1992).

Al aplicar el árbol de decisión RCM a las causas de fallas de la Mesa de Corte CNC Ermaksan EPL 25120-130XD (anexo 7), se determinó que hay 22 tareas predictivas a condición y 18 tareas preventivas de reacondicionamiento o cíclico, las cuales se discriminan en la figura 20.

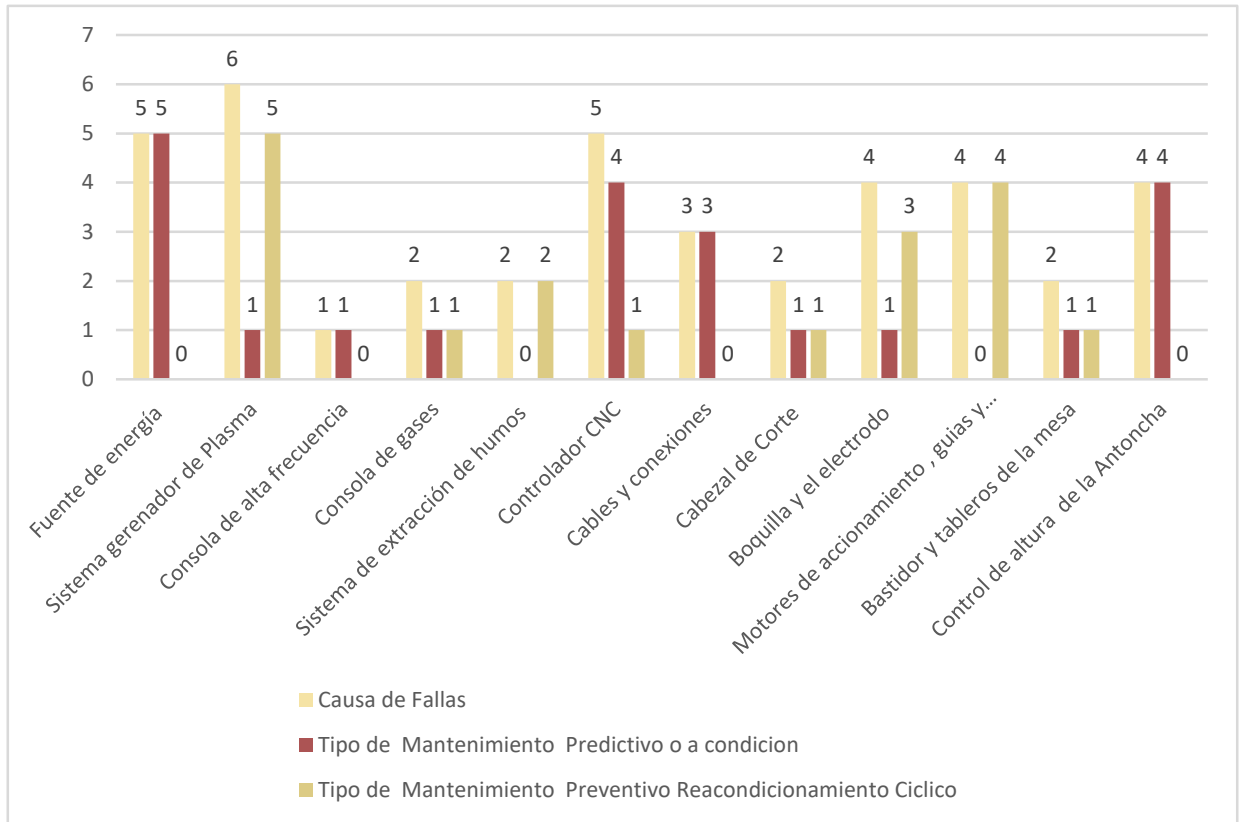


Figura 20 Tipos de Mantenimiento por componentes

Fuente: Elaboración de los autores.

Las tareas a condición, que constituyen 45% del total de tareas, incluyen inspecciones visuales para evidencias fugas, desgastes, sulfatación o aflojamiento de conexiones eléctricas. Por su parte, las actividades de reacondicionamiento cíclico que constituyen 55% del total de las tareas, incluyen actividades de conservación como la lubricación y engrase, las limpiezas de los filtros, limpiezas de boquillas, etc.

9.3.2. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Se puede observar que el plan de mantenimiento actual suministrado por la empresa incorpora 22 actividades, y la clasificación de las mismas no está en función de elementos específicos o actividades específicas, pues no detalla la frecuencia ni los responsables.

En el nuevo plan de mantenimiento Predictivo / Preventivo se identifican las tareas y se clasifican según la metodología RCM, una vez identificadas las actividades específicas por cada componente mantenible, se identifica su frecuencia y sus responsables. Para una mayor efectividad del plan se sugiere ejecutar las actividades por la afinidad de la frecuencia.

9.4. PROPONER INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD Y GESTIÓN, QUE MIDAN LA CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN 1 DE LA EMPRESA COTECMAR

Con el objetivo de llevar un control de la gestión del mantenimiento, se hará uso de indicadores como la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad.

Como se definió previamente en el marco teórico, la mantenibilidad es la probabilidad de que un equipo, pueda ser reparado a una condición específica, en un periodo de tiempo determinado y quedar en condiciones operativas.

La mantenibilidad depende de factores como el estado y características del equipo, la gestión adecuada de inventarios de repuestos, la formación y disciplina del personal, de la gestión de herramientas y elementos de apoyos y de tener definidas las secuencias para poder ejecutar la actividad, sobre todo cuando se ejecuta de forma periódica.

La mantenibilidad se cuantifica con el parámetro tiempo promedio entre fallas o tiempo promedio fuera de servicio (*TPFS*) y se determina al dividir el tiempo total fuera de servicio sobre la cantidad de fallas en un periodo dado. Es importante que en algún caso se clasifiquen los tipos de fallas, por ejemplo, mecánicas, eléctricas o electrónicas para estimar con mayor seguridad la mantenibilidad del equipo.

$$TPFS = \frac{\sum TFS}{\text{Cantidad de Falla}} = \text{horas}$$

La confiabilidad se definió como la probabilidad de que una máquina o equipo funcione satisfactoriamente, durante un tiempo específico y bajo condiciones operativas dadas. La confiabilidad se cuantifica mediante el tiempo promedio entre fallos (*TPEF*).

El *TPEF* mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a su capacidad, sin interrupciones dentro de un periodo considerado y se determina sumando los tiempos operativos y los tiempos fuera de servicio, y el resultado se divide entre la cantidad de fallas, tal como se indica en la ecuación. La confiabilidad es inversamente proporcional al número de fallas

$$TPEF = \frac{\sum TO + \sum TFS}{\text{Cantidad de Falla}} = \text{horas}$$

La disponibilidad es un parámetro asociado al mantenimiento que limita la capacidad de producción y se definió como la probabilidad que un equipo esté dispuesto para su uso en un periodo calendario dado.

Cuando se considera un entorno ideal de soporte logístico, es decir, con la disponibilidad adecuada de repuesto, herramienta, equipos de pruebas y demás, sin considerar ninguna demora logística o administrativa, se usa el termino de disponibilidad inherente A_i , y se determina se la siguiente forma:

$$\text{Disponibilidad Inherente} = \frac{TPEF}{TPEF + TPFS} \times 100 =$$

Cuando se consideran los tiempos de demoras logísticas, retrasos etc. En este caso se habla de disponibilidad genérica A_G

Para poder calcular los parámetros planteados, es necesario la recolección de información (tabla 8) histórica de tiempo operativo y tiempo fuera de servicio para cada uno de los equipos y si queremos ser más precisos debemos especificar los tipos de fallas y el componente que sufrió las fallas.

Tabla 8 Instrumento de recolección de información

Datos	Fecha de Hora de Inicio de falla	Fecha de Hora de Final de Falla	T. O	TFS	Tipo de fallas	Componente
Sumatoria						

Fuente: Herramientas para el ingeniero Industrial. Salazar B.

10. CONCLUSIONES

En correspondencia con los resultados obtenidos, y siendo consecuentes con las especificaciones planteadas en la metodología de trabajo, se han obtenido las siguientes conclusiones:

- Al analizar la gestión del mantenimiento de la líneas de producción 1 de la empresa COTECMAR, a través de la encuesta implementada se evidenció que se llevan a cabo cuatro estrategias de mantenimiento: Preventivo, Rutinario, Correctivo programado y correctivo de emergencia, con unos porcentajes de no cumplimiento de los tres primeros del 60%, 25% y 27,3%, indicando con esto que, al no cumplirse en su totalidad y a cabalidad los mantenimientos correctivo, preventivo y rutinario, el mantenimiento predominante es el correctivo de emergencia. Lo que quiere decir que la empresa opta por el mantenimiento de averías o de emergencia en la inmediatez en que ocurre una falla en la maquinaria.
- Otro aspecto a resaltar en los resultados de la encuesta es que no se cuenta con un instructivo para la ejecución de las labores rutinarias, no se llevan registros de fallas, ni se conoce los repuestos mínimos por cada equipo que garanticen la ejecución eficiente de las actividades.
- Al tomar como referencias los equipos clave para la ejecución de las actividades de disposición de lámina en la línea de producción 1: Puente grúa de 5 toneladas gecon-201, la Mesa de corte CNC para corte de lámina CNC Omnimat I6000 y la Mesa de Corte CNC Ermaksan EPL 25120-130XD, se determinó la matriz de riesgos total; ésta última es la más crítica. Se tomó como base la información suministrada por la empresa para seleccionar los factores de riesgo y las frecuencias de fallas.
- Se aplicó el AMFE a los once (12) componentes principales de la Mesa de Corte CNC Ermaksan EPL 25120-130XD, definiendo para cada uno sus funciones, las fallas funcionales, los modos de fallas, causa de las fallas, efectos de las fallas y las actividades de índole preventiva requeridas para evitar la ocurrencia de las causas de fallas.
- Se encontró un total de diez y nueve (19) modos de fallas y cuarenta (40) causas de fallas. Al jerarquizar en base al número de prioridad de riesgo se encontró dos causas con alto riesgo de fallas y el restante con riesgo de falla medio

- De la matriz de decisión RCM nos permite observar que el 78,2% del total de actividades son de mantenimiento a condición, y el 21,8% corresponde a tareas de Tareas de Reacondicionamiento Cíclico
- Al aplicar el árbol de decisión RCM a las causas de fallas de la cortadora de lámina ERMAKASAN EPL 25120-130XD se determinó que hay 22 tareas predictivas a condición y 18 tareas preventivas de reacondicionamiento o cíclico.
- En el nuevo plan de mantenimiento Predictivo / Preventivo se identifican las tareas y se clasifican según metodología RCM, una vez identificadas las actividades específicas por cada componente mantenible, se identifican su frecuencia y responsables.
- No se llevan registros de datos necesarios para determinar los tiempos de paradas y tiempo entre fallas de los equipos y el personal no tiene formación para poder llevar a cabo esos registros.

11. RECOMENDACIONES

- Listar el repuesto mínimo necesario a mantener es stock, con los cuales se busca garantizar la ejecución de las actividades de cambio programado de forma rápida.
- Llevar control de parada, costo y tiempo requeridos de la reparación y de ésta forma establecer sistemas de control de costo de todos los equipos.
- Establecer la frecuencia de mantenimiento rutinario (limpiezas, ajuste, calibración y lubricación) a momentos específicos de la semana para cada equipo.
- Ajustar los planes y políticas para la programación del mantenimiento preventivo a la realidad de la empresa y al contexto operacional donde se encuentra el equipo.
- Dotar de manera conveniente con los equipos necesarios al personal encargado de mantenimiento para que opere con efectividad.
- Se sugiere sinergia entre las distintas áreas funcionales de la empresa, a fines al mantenimiento de las maquinarias.
- Programar actividades de mantenimiento preventivo de forma que exista holgura para el ajuste de la programación.
- Tener en cuenta los indicadores sugeridos como mecanismos idóneos para medir la eficiencia de los resultados a obtener en el mantenimiento preventivo.
- Utilizar la compilación de información, pues ello permite la evaluación del mantenimiento preventivo basándose en los recursos, utilizando su incidencia en el sistema y la comparación con demás tipos de mantenimiento.

12. REFERENCIAS

- Barreda, S., & Chulví, V. (2015). *PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD RCM EN LA EDAR DE NULES-VILAVELLA*. Castellón, España: Universitat Jaume.
- Bestratén, M., Orriols, R., & París., C. M. (2004). *NTP: Análisis modal de fallos y efectos*. AMFE. España: Seat. S.A.
- Biglieri, C. (2010). *clasesdemantenimientos.blogspot*. Obtenido de clasesdemantenimientos.blogspot.com: clasesdemantenimientos.blogspot.com
- Bloom, N. (2006). *RCM*.
- Cárcel Carrasco, F. J. (2014). *La gestión del onocimiento en la ingeniería del mantenimiento industrial*. Valencia, España: Omnia Science.
- Comisión Regional de Competitividad de Cartagena y Bolívar. (2008). *Plan Regional de Competitividad Cartagena y Bolívar 2008-2032*. Cartagena.
- COTECMAR. (2016). *Informe de Gestión 2015*. Cartagena.
- García, S. G. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, S. A.
- Garrido, S. G. (2009). *Mantenimiento predictivo*. Madrid: RENOVETEC .
- Garrido, S. G. (2009-2012). *Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento*. Renovetec.
- Heredia, M. (11 de 3 de 2013). *MiguelHerediaMantenimiento*. Obtenido de Introducción al mantenimiento Industrial y Generalidades. Unidad I: <https://sites.google.com/site/miguelherediamantenimiento/1-introduccion-al-mantenimiento-industrial-y-generalidades>
- Jaramillo, C. M. (1992). *Gerencia de Mantenimiento y Sistemas de Información*. Bogotá, Colombia.
- Joisa. (2014). *JoisaMantenimiento*. Obtenido de <http://mantenimientojoisa.com/mantenimiento-productivo-total/>
- Moubray, J. (2004). *RCM Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Asheville, North Carolina, USA.
- Parra, C., & Adolfo, C. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos*. España: Ingeman.
- Parra, C., & Crespo, A. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos*. Sevilla, España: Ingeman.
- Richard, J. (1995). *Risk-Based management: A reliability-Centered Approach* (primera ed.). Houston, Texas: Gulf Publishing Compan.
- Salazar, B. (2016). *Herramientas para el ingeniero industrial*. [Blog] *Ingenieria Industrial*. Recuperado el 23 de 03 de 2017, de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com//>
- Smith, A., & Hinchcliffe, G. (2005). Develop good strategies for effective preventive maintenance. *Plant Engineering*, 59(11).
- Socconini, L. (2010). *LEan manufacturing: Paso a Paso*. Grupo Editorial Norma.
- Woodhouse, J. (2000). *Introuction to the Operational Reliability. Manual de Adistramiento*. Venezuela.

ANEXOS

GUÍA DE PRESENTACION DE INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

1. FICHA BÁSICA DE IDENTIFICACIÓN DEL INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN:

Fecha de presentación del informe final de investigación	Día	Mes	Año
	05	09	2018
Información sobre los autores	Autor 1: María Fernanda Lombana Miranda		
	Código Estudiantil	Documento de Identidad	1.143.383.593
	Teléfono de Contacto	Correo Electrónico	fer-lm21@hotmail.com
	Autor 2: Benjamín José Zarante González		
	Código Estudiantil	Documento de Identidad	1.047.475.077
	Teléfono de Contacto	Correo Electrónico	ben-g19@hotmail.com
Programa Académico	Administración Industrial		
Temática/ Título de la investigación	Propuesta de mejora del plan de mantenimiento preventivo de los equipos de la línea de producción de la empresa COTECMAR mediante la metodología RCM o <i>Reliability Centred Maintenance</i> .		
Palabras clave	Análisis de criticidad, mantenimiento preventivo, mantenimiento de averías, mantenimiento correctivo, mantenimiento centrado en la confiabilidad, confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad, contexto operacional, modo de fallo, fallo funcional.		
Línea de Investigación	Mejoramiento de procesos		
Grupo de Investigación Responsable de la Línea			
¿Bajo cuál de las siguientes modalidades presenta su informe de investigación?	Trabajo grado	Práctica investigativa	Número del convenio de práctica investigativa ¹
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nombre de la empresa o institución:

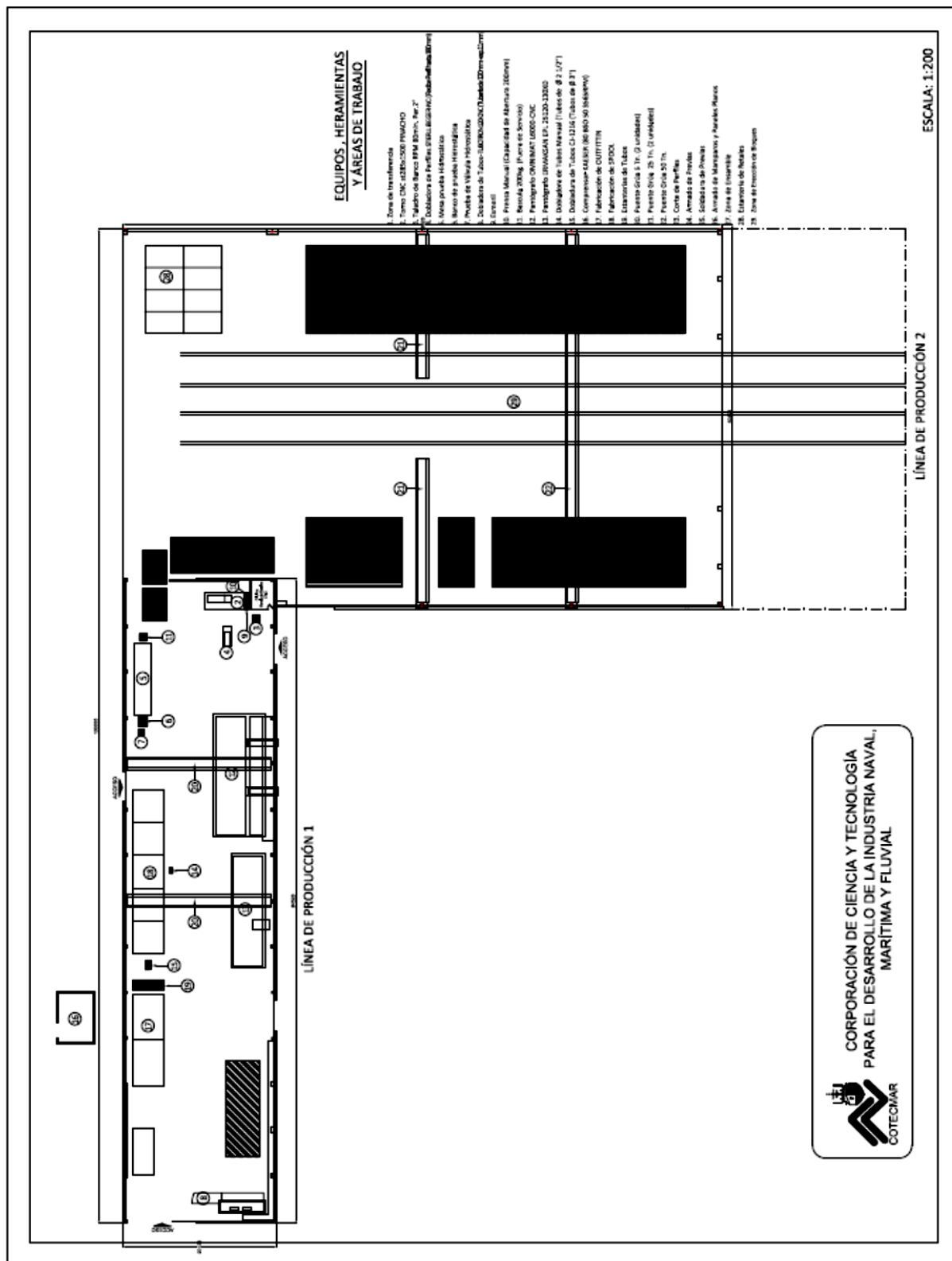
¹Favor anexar copia de convenio a esta propuesta



Facultad de Ciencias Económicas – Departamento de Investigaciones
 Piedra de Bolívar – Av. Del Consulado, Calle 30 No. 48-152 Teléfono: 6754453 6754454 Ext .127
 E-mail: iceconomicas@unicartagena.edu.co web: www.unicartagena.edu.co
 Cartagena de Indias, D.T. y C. – Colombia

Anexo 1 Plano de la línea de producción 1 de COTECMAR

Fuente: Información suministrada por la empresa por medio de recolección de datos.



Anexo 2 Tabla 1 de Aspecto del Mantenimiento Preventivo

Fuente: Información suministrada por la empresa por medio de recolección de datos.

#	Aspectos del Mantenimiento Preventivo	Si cumple	No cumple	Cumple Parcialmente
1	La empresa cuenta con el apoyo de diferentes recursos de las diversas áreas para determinar los indicadores de gestión del mantenimiento.		X	
2	La empresa cuenta con estudios y datos que permitan determinar la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de los equipos.		X	
3	Se tienen estudios estadísticos para determinar la frecuencia de las revisiones y sustitución de piezas.		X	
4	Se llevan registros de datos necesarios para determinar los tiempos de paradas y tiempos entre fallas de los equipos.		X	
5	El personal de mantenimiento está capacitado para realizar las mediciones de los tiempos de paradas y tiempo entre fallas de los equipos.		X	
6	La empresa cuenta con fichas normalizadas donde se recoge la información técnica de cada equipo que se debe mantener.			X
7	Las frecuencias de las acciones de mantenimiento preventivo están asignadas a un día específico en los periodos de tiempo correspondientes.			X
8	Los ordenes de trabajo se emiten con suficiente antelación, a fin de que los encargados de la ejecución de las acciones de mantenimiento puedan planificar las actividades.			X
9	La actividades de mantenimiento preventivo están programadas de forma que existe holgura para el ajuste de la programación.		X	
10	Existe apoyo de la empresa para llevar a cabo el programa de mantenimiento preventivo.			X
11	Los planes y políticas para la programación del mantenimiento preventivo se ajustan a la realidad de la empresa y al contexto operacional donde se encuentra el equipo.		X	
12	Existe un seguimiento desde la generación de las instrucciones técnicas de mantenimiento preventivo hasta su ejecución.			X
13	Existen mecanismos idóneos para medir la eficiencia de los resultados a obtener en el mantenimiento preventivo.		X	
14	La empresa cuenta con fichas donde se recoge la información básica de cada equipo.			X
15	La recopilación de la información permite la evaluación del mantenimiento preventivo basándose en los recursos utilizados, su incidencia en el sistema, así como la comparación con los demás tipos de mantenimiento.		X	

Anexo 3 Tabla 2 de Aspecto del Mantenimiento de Rutina

Fuente: Información suministrada por la empresa por medio de recolección de datos.

#	Aspecto del Mantenimiento Rutinario (limpiezas, ajuste, calibración y lubricación)	Si cumple	No cumple	Cumple Parcialmente
1	Están descritas en forma clara y precisa las instrucciones técnicas que permitan a la operación o su defecto a la organización del mantenimiento aplicar correctamente mantenimiento rutinario a los sistemas			X
2	Los operarios están bien informados sobre el mantenimiento a realizar			X
3	Se tiene archivada y clasificada la información necesaria para la elaboración de los planes de mantenimiento			X
4	Se tiene establecida una coordinación con la unidad de producción para ejecutar las labores de mantenimiento			X
5	Las labores de mantenimiento rutinario son realizadas por el personal adecuado según la complejidad y dimensión de la actividad a ejecutar			X
6	Se cuenta con un stock de materiales y herramientas de mayor uso para la ejecución del mantenimiento rutinario		X	
7	La programación del mantenimiento rutinario está definida de manera clara y detallada			X
8	La frecuencia de mantenimiento rutinario (limpiezas, ajuste, calibración y lubricación) están asignada a momentos específicos de la semana		X	
9	Se cuenta con el personal idóneo para la implantación del plan de mantenimiento rutinario			X
10	La organización tiene establecida una supervisión para el control de la ejecución de las actividades del mantenimiento rutinario			X
11	Se dispone de ficha para llevar el control de los manuales de servicios, operación y partes			X
12	Existe seguimiento desde la generación de las acciones técnicas de mantenimiento rutinario hasta su ejecución			X
13	Se llevan registros de las acciones de mantenimiento rutinario realizadas			X
14	Existe formato para el control que permita verificar si se cumple el mantenimiento rutinario y la vez emitir ordenes de arreglos o reparaciones de las fallas detectadas			X
15	Existe personal encargado de las labores de recepción y archivo de la información con el fin de realizar evaluaciones periódicas para este tipo de mantenimiento		X	
16	Los resultados de la evaluación del mantenimiento rutinario nos permite identificar los recursos utilizados y la incidencia en el sistema		X	

Anexo 4 Tabla 3 de Aspecto del Mantenimiento Correctivo Programado

Fuente: Información suministrada por la empresa por medio de recolección de datos.

#	Aspecto del Mantenimiento Correctivo Programado	Si cumple	No cumple	Cumple Parcialmente
1	Se llevan registros por escritos de aparición de fallas para actualizarlas y evitar su futura presencia		X	
2	Se clasifican las fallas para determinar cuales se va a atender o eliminar por medio de la corrección programada			X
3	Se tiene establecido un orden de prioridades, con la participación de producción para ejecutar las labores del mantenimiento correctivo programado			X
4	La distribución de las labores de mantenimiento correctivo programado son analizadas a fin de que según la complejidad y dimensión de la actividad a ejecutar, se tome la decisión de detener una actividad y emprender otra que tenga más importancia		X	
5	Se tiene establecida una programación de ejecución de las acciones de mantenimiento correctivo			X
6	La unidad de mantenimiento sigue los criterios de prioridad según el orden de importancia de las fallas, para la programación de las actividades de mantenimiento correctivo programado			X
7	Existe una buena distribución de tiempo para hacer el mantenimiento correctivo programado		X	
8	El personal encargado del mantenimiento correctivo programado está capacitado para tal fin			X
9	Existen mecanismos de control periódico que señalen el estado y avance de las operaciones de mantenimiento correctivo programado			X
10	Se llevan registro de la ejecución de cada operación del mantenimiento correctivo programado	X		
11	Se llevan registro de la utilización de materiales y repuestos en la ejecución del mantenimiento correctivo programado	X		

Anexo 5 Tabla 4 de Aspectos de instrumentos y recursos

Fuente: Información suministrada por la empresa por medio de recolección de datos.

#	Recursos (Equipos, Herramientas, repuestos)	Si cumple	No cumple	Cumple Parcialmente
1	Se cuenta con los equipos necesarios para que el personal encargado de mantenimiento opere con efectividad		1	
2	El personal de mantenimiento conoce o tiene acceso a información (Catálogos . Revistas u otros)		1	
3	Los parámetros de operación , mantenimiento y capacidad de los equipos son plenamente conocidos		1	
4	Se llevan registro de entrada y salida de equipos		1	
5	Se cuenta con controles de uso y estado de los equipos			1
6	Se cuenta con las herramientas necesarias para que el personal de mantenimiento opere eficientemente			1
7	Se dispone de un sitio para la localización de las herramientas donde se facilite y agilice su obtención	1		
8	Las herramientas existentes no son las adecuadas para ejecutar las tareas de mantenimiento			1
9	Se llevan registro de entrada y salida de herramientas	1		
10	Se cuenta con controles de uso y estado de las herramientas			1
11	Se cuenta con los instrumentos necesarios para que el personal encargado de mantenimiento opere con efectividad			1
12	Se toma en cuenta para la selección de los instrumentos , la efectividad y exactitud de los mismos			1
13	El personal de mantenimiento conoce o tiene acceso a información (Catálogos . Revistas u otros) sobre diferentes alternativas tecnológicas de los instrumentos			1
14	Se llevan registro de entrada y salida de herramientas			1
15	Se cuenta con controles de uso y estado de las herramientas	1		
16	Se cuenta con materiales que se requieren para ejecutar las tareas de mantenimiento			1
17	Se ha establecido cuales materiales tener en stock y cuales comprar de acuerdo a pedidos		1	
18	Se cuenta con los repuestos que se requiere para ejecutar las tareas de mantenimiento			1
18	Los repuestos están identificados plenamente en el almacén (etiqueta , sello , rotulos , etc)	1		
20	Se ha determinado el costo por falta de repuesto		1	
21	Se ha establecido cuales repuestos tener en stock y cuales comprar de acuerdo a pedidos			1
22	Se poseen formatos de control de entrada y salida de los repuestos	1		
23	Se lleva el control (formatos) de los repuestos desechados por mala calidad	1		
24	Se conoce los mínimos y máximos de repuesto para cada equipo		1	
25	Se tiene información precisa de los diferentes proveedores de cada repuesto			1

Anexo 6 Tabla 5 de Aplicación del Análisis Modal de Fallas y Efectos AMFE

Fuente: Elaborado por los autores.

Anexo en documento de Microsoft Excel.

Anexo 7 Tabla 6 de Aplicación de Análisis RCM

Fuente: Información suministrada por la empresa por medio de recolección de datos.

Anexo en documento de Microsoft Excel.