

PROCEDIMIENTO PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE LA CUARTA GENERACIÓN.

Ing. Aracelis Barrios

Instituto Universitario del Estado Bolívar

aracelisbarrios5@hotmail.com

Dra. Maritza Ortiz

Universidad de la Habana

Resumen

El presente artículo presenta el diseño de un procedimiento para una gestión de mantenimiento sistémico, utilizando un conjunto de herramientas, que enfocan el uso de los recursos de la empresa asociados con las Personas, los Procesos y la Tecnología, orientados a mejorar la productividad, la toma de decisiones acertadas y a maximizar el rendimiento de los equipos, considerando entre otros, los factores de Confiabilidad, Mantenibilidad, Seguridad, Calidad y Medio Ambiente. El desarrollo del procedimiento permite utilizar de manera sistémica, la información obtenida al aplicar el mantenimiento productivo total (TPM), el análisis de modo y efectos de las fallas del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), para evaluar los riesgos causados por las fallas en los equipos mediante la aplicación de la Lógica Difusa.

Palabras Clave: mantenimiento, gestión, procedimiento, TPM, RCM, lógica difusa.

Introducción

Las organizaciones enfrentan un entorno económico cada vez más complejo y dinámico, como consecuencia de la globalización de los mercados, lo que implica una acelerada competencia entre empresas. En este sentido las organizaciones deben adaptarse a nuevas realidades que exigen nuevas formas de pensar, de actuar, de tomar decisiones, de valorar sus activos físicos y financieros, su capital intelectual y sus capacidades de gestionar conocimiento, dejando atrás la antigua idea de que crear una organización significa simplemente diseñar un organigrama de jerarquías y funciones, según el modelo clásico de estructura piramidal, estable, funcional y orientada al valor de los productos.

En los modelos tradicionales de Dirección de Empresas las estrategias para cumplir las metas de las mismas son expuestas por la directiva quienes son los que identifican oportunidades, establecen recursos, establecen metas y toman decisiones, mientras que la ejecución de esas estrategias son ejecutadas por el personal que labora en la empresa.

Sin embargo, Marchant en su libro Actualizaciones para el Management y el desarrollo Organizacional afirma, que existen empresas exitosas donde los objetivos son compartidos por todos los miembros de la organización demostrando, que una gestión basada en valores, donde todas las personas que trabajan en ellas asumen el protagonismo de la cultura organizacional, a través del compromiso, la lealtad, la motivación, la satisfacción y el buen servicio al cliente, permitiendo descentralizar, delegar, responsabilizar, dialogar y aprender en forma conjunta. (Marchant, 2006)

Por otra parte, Arturo Canales y Pedro Pacheco en el trabajo Modelo Gerencial de Mantenimiento, afirman que en la actualidad son pocas las organizaciones que aplican un enfoque holístico y sistémico de la gestión de mantenimiento, asumiendo una Organización de Mantenimiento de Clase Mundial como el eje principal para la optimización de activos. (Canales, Pacheco, & Sarno, 2006)

Por lo antes expuesto se hace necesario adoptar enfoques que sistematicen y coordinen los elementos involucrados en las actividades de mantenimiento, en tal sentido este artículo se orienta hacia el logro de un procedimiento que permita gestionar el mantenimiento, a través de la integración e implementación de la técnica del Mantenimiento Productivo Total (TPM), que persigue el mejoramiento continuo de la productividad de la empresa con la participación integral de todo los trabajadores; la técnica del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), que busca mejorar la ejecución del mantenimiento basado en la confiabilidad operacional de los equipos y las herramientas de la Lógica Difusa, las cuales se han desarrollado para resolver problemas en los que la descripción de las actividades y las observaciones son imprecisas, vagas o inciertas. Con la aplicación de estas técnicas se lograra mejorar la gestión del mantenimiento en las empresas del sector aluminio.

El procedimiento propuesto consta de tres etapas, primero la aplicación paralela de las herramientas del mantenimiento productivo total y las del mantenimiento centrado en confiabilidad; la segunda la evaluación cualitativa de los riesgos causados por las fallas de los equipos utilizando la lógica difusa y la tercera el control y seguimiento de los resultados.

Procedimiento general para la gestión del mantenimiento.

El procedimiento propuesto se adapta a las particularidades de las empresas del sector aluminio. El mismo se ha dividido en tres etapas.

Etapa 1: Aplicación de las filosofías del TPM, la cual está basada en las personas y en la organización y la del RCM que se basa en el análisis de fallas de los equipos.

Etapa 2: Evaluación cualitativa de los riesgos producidos por las fallas en los equipos, a través de la Lógica Difusa.

Etapa 3: Control y seguimiento de los resultados.

En la figura 1, se presentan las etapas y las sub-etapas del procedimiento, que se explican a continuación.

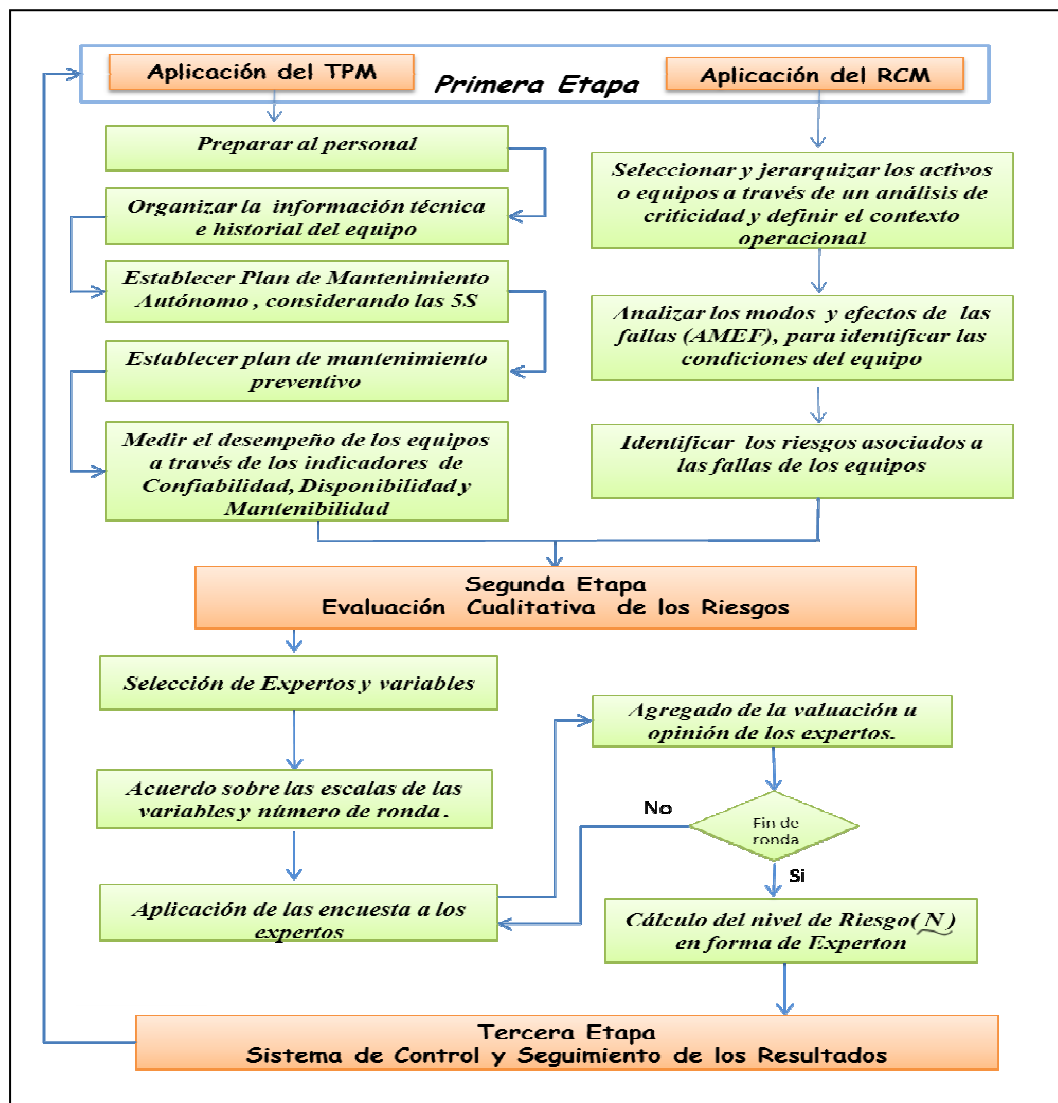


Figura 1. Procedimiento para la gestión de mantenimiento

Descripción de cada una de las etapas del procedimiento.

Primera etapa: Aplicación del mantenimiento productivo total (TPM) y mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).

En esta primera etapa se aplica de forma paralela los elementos más relevantes del mantenimiento productivo total y del mantenimiento centrado en confiabilidad, ya que la aplicación de ambas técnicas contribuyen alcanzar los siguientes objetivos:

- ❖ Maximizar la efectividad global del equipo
- ❖ Establecer un programa de mantenimiento preventivo que abarque los distintos sistemas del ciclo de vida del equipo.
- ❖ Implementar un sistema de mantenimiento autónomo involucrando a todos los departamentos responsables de los equipos o activos (ingeniería, operaciones y mantenimiento)
- ❖ Involucrar a todos y cada uno de los empleados desde el director de la empresa hasta los operadores.

Aplicación de los elementos del mantenimiento productivo total (TPM)

El TPM establece qué debe hacerse para alcanzar los objetivos descrito anteriormente a través de la búsqueda de una mejora continua e integrando todas las funciones de la empresa, orientada a la gestión global de la misma.

Con la aplicación del TPM, se espera lograr que los equipos e instalaciones productivas sean más eficaces, además de obtener una mayor flexibilidad del sistema productivo.

1. Preparar al personal.

A través de una reunión informativa general y la publicación en los medios escritos y digitales de la empresa, se explica la importancia de aplicar la filosofía del TPM.

Formar a través de cursos al personal gerencial y supervisorio, con el objeto de convencerlos de los beneficios que aporta a la empresa la aplicación de esta filosofía, y al personal de técnico de manera motivadora e incentivadora, en una política clara de descentralización de responsabilidades con la finalidad de poder implementar el TPM, a través de seminarios, adiestramiento en el puesto de trabajo y cursos básicos de electricidad, mecánica, neumática, hidráulica, líneas de fuerza, ergonomía, ecología entre otros, dependiendo de la necesidad de la empresa, con la finalidad de crear un equipo multidisciplinario de control para el seguimiento y evaluación de las acciones, con el objetivo de estudiar y proponer mejoras concretas. Se definen, asimismo, los objetivos factibles de alcanzar, preparando un proyecto de aplicación que debe justificarse ante especialistas.

2. Organizar la información técnica

Organizar la información técnica disponible de los activos o equipos, además de los registros o historial de fallas de los mismos.

3. Establecer Plan de Mantenimiento Autónomo.

Este plan lo debe realizar el personal de producción en cada área de la empresa (Reducción, Fundición y Laminación), donde se contemplen las cinco eses (5S), con el propósito de crear progresivamente una cultura de cuidado permanente del sitio de trabajo, además de asegurar las condiciones de los equipos y establecer una disciplina de inspección por parte del personal operativo.

A continuación se describen cada uno de los pasos a seguir en el plan del mantenimiento autónomo, sugeridos por el Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM).

** Limpieza del área y equipos*, esto se realiza con el propósito de alcanzar las condiciones básicas de los equipos y establecer un sistema que mantenga esas condiciones básicas durante la operación del equipo, este paso se fundamenta en los siguientes principios:

Hacer de la limpieza un proceso de inspección.

La inspección se realiza para detectar cualquier tipo de situación anormal en el área o equipo.

Las situaciones anormales deben corregirse inmediatamente para establecer las condiciones básicas de los equipos.

** Eliminación de fuentes contaminantes y áreas inaccesibles*, en este paso se debe eliminar las zonas donde se deposita con facilidad la suciedad y mejorar el acceso a sitios difíciles para la limpieza y lubricación, esta actividad debe ser desarrolladas por los trabajadores que enfrentan los procesos. Los resultados se manifiestan en la mejora del sitio de trabajo, reducción de posibles riesgos y reducción del deterioro acelerado de los equipos debido a la contaminación y escapes.

** Estándares de limpieza y lubricación*, Estos estándares deben ser preparados por el operador una vez capacitado para realizar esta labor, el objetivo es crear el hábito para el cuidado de los equipos mediante la elaboración y utilización de estándares de limpieza, lubricación y ajuste, con la finalidad de prevenir deterioro del equipo manteniendo las condiciones básicas de acuerdo a los estándares diseñados.

** Inspección general*. Las inspecciones iniciales las debe realizar el operador, una vez recibido el entrenamiento sobre la composición del equipo, elementos, partes,

sistemas, como también sobre el proceso para realizar intervenciones menores a los equipo y reconstruir el deterioro identificado.

* *Inspección autónoma*, en este paso se evalúan los estándares de limpieza, lubricación y ajustes establecidos en los pasos previos, haciendo las siguientes preguntas ¿Los tiempos que utilizamos son los mejores? ¿Hemos dejado "pasar" fallas? ¿Existe recurrencia de fallas? ¿Se han presentado errores de inspección? ¿El manual de inspección que utilizamos realmente está completo? ¿Podremos incorporar otros puntos al manual de inspección? ¿Los controles visuales son los adecuados?

Organización y mantenimiento del lugar de trabajo, una vez logrado las mejoras para el método de inspección es necesario estandarizar varios elementos del lugar de trabajo, para mejorar la eficacia del trabajo, calidad del producto y la seguridad del ambiente.

Implementar el programa de mantenimiento autónomo total, en este paso se integra absolutamente el proceso de Mantenimiento Autónomo al proceso de dirección general de la empresa. Se reconoce la capacidad de autogestión del puesto de trabajo del operador, creando un sentimiento de participación efectiva en el logro de las metas y objetivos de la empresa.

4. Establecer plan de mantenimiento preventivo.

El plan de mantenimiento preventivo está compuesto por un conjunto de acciones necesarias a realizar periódicamente en un equipo o instalación en términos de limpieza, inspección, control, lubricación, intervenciones entre otras, con la finalidad de garantizar la confiabilidad de equipo, aumentar la disponibilidad y alargar su vida útil.

Para la elaboración del plan de mantenimiento preventivo, se requieren las recomendaciones del fabricante de los equipos, las experiencias de los técnicos y responsables del mantenimiento además del análisis de falla de cada equipo.

La información se recoge en un formato modelo, diseñado para los activos o equipos. Este formato se presenta en la tabla 1.

Tabla 1 Plan de Mantenimiento.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO												
Nombre del Equipo	Grúa ECL	Tiempo (hr)	Recurso humano	FRECUENCIA								RECURSOS MATERIALES
SISTEMA	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	T	MO	D	S	Q	M	T	P	A	DESCRIPCIÓN	
Compresión	COMPROBAR AJUSTE DE LA PRESIÓN DE CARGA			x							Barómetro	
.....					x					
Leyenda:	D: diario S: semanal Q: quincenal M: mensual T: trimestral P: semestral A: anual											
												Responsable

5. Medir el desempeño de los equipos a través de los índices de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad.

El cálculo e interpretación de los índices de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad permite medir el desempeño de un equipo o activo, considerando los siguientes aspectos: frecuencia de fallas, tiempo de reparación y tiempo de operación.

Los índices a ser evaluados son:

Confiabilidad (TMEF)

$$TMEF = \frac{\sum hrTO}{n}$$

(1)

Mantenibilidad (TMFS)

$$TMFS = \frac{\sum TFS}{n}$$

(2)

Disponibilidad (D)

$$D = \frac{TMEF}{TMEF + TMFS} \times 100$$

(3)

Aplicación de los elementos del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).

Existen muchas metodologías para la aplicación del R.C.M, sin embargo todas las metodologías poseen una estructura básica común; teniendo en cuenta, que el mantenimiento centrado en confiabilidad, proporciona un mantenimiento enfocado hacia la confiabilidad de los sistemas mediante un proceso lógico y una metodología basada en el sentido común de cómo hacer de la mejor manera “algunas” de las cosas que el mantenimiento productivo total dice que se deben hacer; a continuación se describe el procedimiento a seguir para el objeto de estudio.

1. Jerarquización de activos o equipos y definición del contexto operacional.

Para efectuar la jerarquización de los activos o equipos adecuadamente, se realiza un análisis de criticidad el cual será llevado a cabo, por los responsables de las diferentes áreas de la empresa tales como: Producción, Mantenimiento, Calidad, Medioambiente, Seguridad, Logística, Planificación y Presupuesto, mediante reuniones establecidas para ello, de forma que la puntuación y ponderación de cada una de las variables consideradas será establecida y aplicada con la mayor objetividad por cada uno de los responsables de cada área involucrada, en la figura 2, se muestra el flujograma de jerarquización.



Figura 2. Flujograma de jerarquización

Para el análisis de criticidad se establecen los criterios en función al impacto que generan los eventos de fallas sobre las operaciones, calidad, seguridad y medioambiente.

Según Jean Paul Souris (Souris, 1992), la criticidad desde el punto de vista matemático se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Críticidad} = \text{Frecuencia} \otimes \text{Consecuencia}$$

Siendo la frecuencia el número de fallas que presenta el activo o equipo evaluado y la consecuencia los efectos producidos por las fallas.

Factor de frecuencia de fallas / Escala 1-5

1. Sumamente improbable: menos de 1 evento en 5 años
2. Improbable: 1 evento en 5 años
3. Posible: 1 evento en 3 años
4. Probable: entre 1 y 3 eventos al año
5. Frecuente: más de 3 eventos por año

Factor de Consecuencias /Escala 1-5

➤ Impacto en la Producción:

5. La falla provoca un daño irreversible dentro del proceso productivo.
4. La falla provoca una pérdida dentro del proceso productivo de un 75%.
3. La falla provoca una pérdida en el proceso productivo de un 50%.
2. La falla provoca una pérdida en el proceso productivo de un 25%.
1. La falla provoca una pérdida menor de 25% dentro del proceso productivo.

➤ Impacto en Calidad, Seguridad y Medioambiente:

5. La falla provoca un efecto irreversible en la seguridad y medioambiente.
4. La falla provoca un efecto grave en la calidad, seguridad y medioambiente.
3. La falla provoca un efecto leve en la calidad, seguridad y medioambiente.
2. La falla provoca un efecto muy leve en la calidad, seguridad y medioambiente.
1. La falla no provoca ningún efecto en la calidad, seguridad y medioambiente.

Se selecciona el valor más alto de los dos impactos, como determinante de la consecuencia y los resultados del análisis se presentan en una matriz de criticidad 5 x 5 como la que se muestra en la figura 3. El eje vertical expresa cinco categorías de consecuencia de impactos, mientras que el eje horizontal indica cinco categorías de frecuencia de las fallas. La matriz está dividida en cuatro zonas para indicar la criticidad de los activos o equipos:

B = Baja criticidad (blanco)

M = Media criticidad (amarillo)

A = Alta criticidad (verde)

MA = Muy alta criticidad (rojo)

Impactos	5	M	A	MA	MA	MA
	4	M	M	A	A	MA
	3	B	M	M	A	A
	2	B	B	B	M	A
	1	B	B	B	B	M
		1	2	3	4	5
		Frecuencias de fallas				

Figura 3. Matriz de criticidad

2. Análisis de modo y efectos de las fallas (AMEF)

Una vez jerarquizado y seleccionado los equipos o activo de la empresa, se procede a realizar la metodología de AMEF (Parra, 2000). El análisis, se fundamenta en el conocimiento de los procesos de la empresa, a fin de poder identificar las condiciones bajo las cuales operan los equipos o activos involucrados, rutas de proceso, parámetros de control, entre otros. Esta metodología permite identificar los modos y efectos de fallas de los activos seleccionados. En resumen el AMEF propone responder las siguientes preguntas básicas:

- ¿Cuáles son las funciones y los estándares de ejecución asociados con el activo (equipo a mantener) en su actual contexto operacional?
- ¿En qué forma se produce la falla del activo, con respecto a la función que cumple en el contexto operacional?
- ¿Qué causa cada falla funcional?
- ¿Qué ocurre cuando sucede una falla?
- ¿Cómo impacta cada falla en el equipo?

En la figura 4, se muestra el flujograma para la aplicación del AMEF.

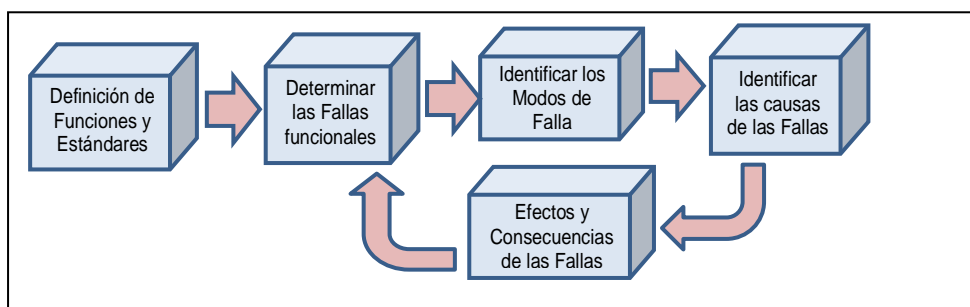


Figura 4. Flujograma de aplicación del AMEF

El análisis funcional, el cual es necesario para poder entrar al proceso de identificación de los modos de falla, ya que se requiere conocer e identificar cuáles son aquellas funciones que el usuario espera o desea que su activo desempeñe.

Identificación de Modos de falla, es la forma en la que un activo pierde la capacidad de desempeñar su función.

Efectos y consecuencias de la falla, los efectos es la forma como se manifiesta la falla, es decir, como se ve perturbado el sistema ante la falla del equipo, estas manifestaciones pueden ser: variaciones de nivel, temperatura, ruido, vibración entre otros; los riesgos, son referidas a los impactos derivados de la consecuencia de la falla en la seguridad de las personas, medio ambiente y producción.

La información generada en el AMEF se registra en un formato modelo, diseñado para los activos o equipos, tal como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Registro del AMEF

Área	Reducción				Fecha:	
Equipo	Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Causa de la Falla	Efecto de la Falla	Consecuencias de la falla
Grúa ECL	Realizar todas las operaciones en la producción del aluminio.	No funciona el sistema neumático	Fuga en cilindro	Falta de mantenimiento	Variación de la presión y temperatura.	Quema de ánodos,

El éxito del proceso de implantación del AMEF, dependerá básicamente del trabajo de un equipo multidisciplinario el cual se encargará de responder las cinco preguntas básicas descritas anteriormente; dicho equipo debe estar conformado por:

Supervisor de mantenimiento: Es el encargado de supervisar el mantenimiento preventivo y/o correctivo en las áreas de electricidad, mecánica, electrónica, entre otras; coordinando y controlando las tareas del personal a su cargo, así como aplicando los procedimientos establecidos para garantizar el perfecto estado, presentación y uso de edificaciones, equipos, herramientas y mobiliarios de la empresa.

Operador: Es el representante de los operarios de los equipos, ya que las estrategias operacionales en la empresa, deben estar ligadas a la frecuencia y alcance del mantenimiento

Mantenedor: Es el representante de las personas que realizan las labores de mantenimiento, dentro del grupo, tiene por función aportar toda sus conocimientos en el área de mantenimiento.

Supervisor de seguridad: Se encarga de controlar las actividades de seguridad industrial e higiene ocupacional, estableciendo las políticas y normas, desarrollando planes y programas, supervisando la ejecución de los procesos técnicos-administrativos que conforman el área, a fin de garantizar la eficacia y la eficiencia de las operaciones de prevención de accidentes y/o enfermedades ocupacionales en el ámbito de la Institución, de acuerdo a las disposiciones y principios emanados por los entes reguladores de la materia.

Supervisor medioambiental: Es el encargado de Planificar las actividades que garanticen la protección del medio ambiente, diseñando programas de prevención para evitar daños al mismo, ejecutando acciones que permitan corregir y controlar las fuentes de contaminación, velando por el cumplimiento de las normativas, criterios legales y soluciones técnicas emitidas a los efectos de resguardar, conservar y mejorar las condiciones del medio ambiente.

Programador: Es el encargado de coordinar y organizar el proceso de ejecución del mantenimiento, una vez que se recibe la orden de trabajo del planificador. Su trabajo consiste en hacer la procura de los recursos materiales, determinar las horas hombres para la realización del trabajo.

Planificador: Es el encargado de coordinar y organizar todo lo relativo al mantenimiento a ejecutar a los equipos de la empresa, esto lo realiza mediante el establecimiento de planes a mediano y largo plazo. Los elementos sobre los cuales trabaja para definir el momento de ejecución se basa en la información estadística del comportamiento del equipo y en casos de equipos nuevos en la información suministrada por el fabricante.

3. Identificación de los riesgos asociados a las fallas de los equipos.

Una vez definidos los modos de fallas, se procede a identificar de forma cualitativa los riesgos a las fallas del equipo en función del impacto que generan los mismos dentro del contexto operacional.

Para la identificación de los riesgos, se debe partir de los objetivos generales de la empresa y su derivación hacia los niveles inferiores de dirección, ya que éstos tienen sus propios objetivos que se derivan de los objetivos de niveles superiores, cuyo incumplimiento afecta el logro de los objetivos de otras áreas y de la organización en general, son varios los eventos que pueden incidir en el cumplimiento de un objetivo al igual que es posible que un mismo riesgo incida en el cumplimiento de más de un objetivo.

Por lo ante expuesto se puede decir que la identificación de los riesgos operativos debe realizarse vía tormenta de ideas en una reunión de trabajo con un grupo multidisciplinario entre los que se encuentran la línea de supervisores, trabajadores de operaciones y mantenimiento, ingeniería de procesos o infraestructura, con la finalidad de unificar criterios y validar la información.

Segunda etapa: Evaluación cualitativa de los Riesgos

Una vez que se tengan identificados los riesgos producidos por las fallas de los equipos o activos e integrando todas las funciones de la empresa, orientada a la gestión global de la misma a través de la mejora continua se procede a evaluar los riesgos que pueden tener efectos sobre los objetivos de la empresa.

Para la evaluación de los riesgos se propone un conjunto de pasos, donde se evalúan los riesgos que se generan por las fallas que presentan los activos o equipos en la empresa. Para la evaluación de los riesgos se incorporan herramientas de la teoría de los subconjuntos borrosos, en concreto las herramientas Fuzzy-Delphi y los expertones las cuales permiten a partir de las opiniones subjetivas de varias personas obtener una estimación con mayor rigor del impacto de los riesgos, permitiendo jerarquizarlos en función de ellos mismo. El uso de estas herramientas se justifica por lo siguiente:

- Necesidad de utilizar la opinión de expertos, debido que generalmente las empresas no cuentan con una base de datos sobre el impacto y la frecuencia de los riesgos que se han materializado en el pasado, donde la empresa objeto de estudio no escapa de esta situación; es por ello que se requiere a la opinión de expertos para evaluar los riesgos operativos a que se encuentra expuesta la empresa como consecuencia de las fallas de los equipos.
- Flexibilidad y adaptabilidad que presentan estas herramientas a la resolución de cualquier problema donde se necesite recurrir a la opinión de expertos. Afirma Gil Lafuente, que para dotar a la empresa de técnicas adecuadas para realizar previsiones acerca de su futuro en un contexto de incertidumbre, basta partir de instrumentos clásicos. “Se trata simplemente de aplicar a estos modelos clásicos unas técnicas nuevas cuyos cálculos matemáticos toman en consideración la incertidumbre” (Gil Lafuente, 1993, pag 56). En este caso para medir el nivel del riesgo se utiliza la ecuación propuesta por Otegui & Rubertis, en su libro Cañerías y recipientes a presión. (Otegui & Rubertis, 2008)

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} \times \text{Consecuencia.}$$

(4)

La evaluación de riesgos se realiza a través del análisis cualitativo de los riesgos producto de las fallas en los equipos, el cual consta de los siguientes pasos:

1. Selección de los expertos.

La selección de experto, para calificar las variables de los riesgos (frecuencia y consecuencia) se realiza utilizando el criterio del conocimiento o experiencias que tiene la persona sobre los procesos vinculados a cada objetivo al que se le analizan los riesgos. El experto puede ser una persona de cualquier área que tenga conocimiento del proceso a evaluar. Con respecto a la cantidad de expertos a seleccionar en la literatura consultada (Aliber, 1983) se aclara que es indiferente la cantidad de expertos.

Para establecer el nivel de competencia de los expertos se propone la utilizar el coeficiente de competencia de los expertos, el cual se obtiene a partir de los Coeficientes de conocimiento (Kc) y Coeficiente de argumentación (Ka). El Kc se obtiene solicitándole a los expertos que evalúen su nivel de conocimiento acerca del tema en una escala creciente del 1 al 10, donde el valor cero significa que el consultado considera no tener competencia alguna sobre el tema y el valor 10 significa que considera poseer un dominio máximo sobre el mismo. Con la puntuación anterior se obtiene el Kc a través de la siguiente fórmula:

$$Kc = \frac{n}{10} \quad ; \quad \text{Donde } n \text{ es el rango seleccionado por el experto}$$

(5)

Para la obtención de Ka se solicita a los expertos valoren su capacidad de argumentación teniendo en cuenta los aspectos que se relacionan en la tabla 3.

Tabla 3. Aspectos de Argumentación

Fuentes de Argumentación	Alto	Medio	Bajo
Experiencia teórica	0.30	0.20	0.10
Experiencia práctica	0.50	0.40	0.20
Bibliografía Nacional consultada	0.05	0.05	0.05
Bibliografía Internacional consultada	0.05	0.05	0.05
Conocimiento del problema	0.05	0.05	0.05
Intuición	0.05	0.05	0.05

Posteriormente el coeficiente K_a , se obtiene a través de la fórmula:

$$K_a = \sum_{i=1}^6 n_i \quad ; \quad \text{Donde } n_i \text{ es el valor correspondiente a la fuente de argumentación.}$$

Finalmente el coeficiente de competencia para cada experto se obtiene a través de la expresión:

$$K = 0,5(K_c + K_a)$$

(6)

La escala de competencia se otorga por los siguientes rangos:

$K \geq 0,8$ Coeficiente de competencia alto.

$0,5 \geq K \geq 0,8$ Coeficiente de competencia medio.

$K < 0,5$ Coeficiente de competencia bajo.

En la literatura consultada (Hurtado de Mendoza, Mendez, & Tomás, 2007) se recomienda utilizar expertos de competencia alta, no obstante se puede valorar la utilización de expertos de competencia media, aunque nunca se debe recurrir a expertos de competencia baja, ya que induce el riesgo que el resultado del análisis no se corresponda con la realidad.

La selección de expertos se realiza por cada equipo a evaluar y serán los que darán sus valoraciones individuales sobre los riesgos que atañen a ese equipo específico. Una misma persona puede actuar como experto en varios riesgos. La cantidad de expertos pueden variar en cada riesgo a evaluar.

El resultado final de este paso es un listado de las personas que actuarán como expertos en el análisis de los riesgos por cada objetivo del área o proceso. A todas estas personas se les explica en qué consiste el método Fuzzy-Delphi, solicitando a cada uno discreción sobre sus criterios pues el método requiere que los mismos no tengan conocimiento de las opiniones de los demás.

2. *Determinar las escalas de las variables (frecuencia y consecuencia) y número de rondas*; estas variables requieren diferentes escalas para su evaluación. Estas escalas pueden variar en cuanto a la cantidad de niveles y a la nominación de estos niveles: mediante expresiones lingüísticas, valores numéricos o ambos. En esta etapa de la evaluación se utilizan expresiones lingüísticas como se definen en el método Prouty para la frecuencia y en el método del criterio de gravedad para la consecuencia.

La práctica ha demostrado la importancia de establecer criterios asociados a las escalas. Igualmente, la escala de 11 niveles recomendada por los autores Gil Lafuente, Gil Aluja y Kaufmann por sus facilidades para el cálculo del expertón, ofrece comodidad para la valuación de los riesgos. La correspondencia semántica de las variables consecuencia frecuencia se observa en la tabla 4.

La autora considera que para el análisis cualitativo de las variables del riesgo dos ronda de encuesta es suficiente para lograr un acercamiento entre las valuaciones suministradas por los expertos, aunque en dependencia de los resultados obtenidos en cada una de las rondas éstas podrían ampliarse.

Tabla 4. Correspondencia semántica de las variables consecuencia y frecuencia.

Variable	Valor	Calificación	Criterio
Consecuencia	0	Insignificante	La falla no tendrá ningún impacto sobre los objetivos de la empresa
	1	Prácticamente insignificante	Pérdidas en operación menores a xBf
	2	Casi insignificante	No se producen interrupciones en el proceso
	3	Algo insignificante	Comienzan a notarse algunos efectos leves en las personas y en el ambiente
	4	Más insignificante que importante	
	5	Ni insignificante ni importante	Las pérdidas de operación son menores a los xBf.
	6	Más importante que insignificante	Interrupciones de la producción de hasta x horas.
	7	Algo importante	Se requieren fondos externos para la recuperación de los activos
	8	Casi importante	Se incrementa de manera progresiva el efecto sobre las personas y el ambiente
	9	Prácticamente importante	La calidad del producto comienza a ser afectada
	10	Importante	. La pérdida compromete la supervivencia de la empresa. . Pérdida de prestigio y reconocimientos. . Severas sanciones por violaciones de leyes y/o reglamentos. . Cierre de la empresa.
	0	Nula	La falla nunca ocurrirá

Frecuencia	1	Prácticamente nula	La falla ocurre rara vez
	2	Casi nula	
	3	Algo nula	
	4	Más nula que frecuente	
	5	Ni nula ni frecuente	La falla ocurre una vez cada 2 a 3 años
	6	Más frecuente que nula	
	7	Algo frecuente	
	8	Casi frecuente	
	9	Prácticamente frecuente	
	10	Muy frecuente	La falla ocurre varias veces al años

Nota: xBf están dados en función de lo que deja de producir la empresa.

3. Aplicación de las encuestas a los expertos. Para aplicar las encuestas no es preciso que los expertos estén reunidos en el mismo lugar. Antes de distribuir los cuestionarios, es necesario recordar la confidencialidad de los mismos.

Se solicita a cada experto que califique las variables frecuencia y consecuencia para cada riesgo. Como se ha escogido la escala endecadaria, el experto tiene la posibilidad de expresar su opinión en un intervalo de niveles. Esto da la posibilidad de recoger las opiniones tal y como piensan las personas, con sus dudas e imprecisiones, sin forzarlos a decidirse por un solo nivel de la escala. En la tabla 5 se muestra la forma que tendría la encuesta.

Tabla 5. Fragmento de encuesta para la evaluación de riesgos.

Nº	Riesgos Identificados	Frecuencia		Consecuencia	
		Max	Min	Max	Min
1	Material contaminado	7	10	3	5
2	Fuga de alúmina al ambiente	3	3	7	9
..

Se indica a los expertos que pueden utilizar un intervalo de la escala o un solo valor, por ejemplo, una persona puede opinar que el riesgo No. 1 es entre bastante frecuente y muy frecuente. Entonces señalará en la tabla de la encuesta el valor siete (7) en la casilla Min y diez (10) en la casilla Max. Además considera que el impacto de este riesgo se puede evaluar entre 3 y 5. El experto puede expresar su opinión también mediante un solo valor de la escala, en este caso, se escribe el mismo número en ambas casillas, (como en el caso de la frecuencia del riesgo N°2).

Al final se dispondrá de **n** intervalos de confianza para cada variable y riesgo:

$$\left[A_{(1,c,p)}^{(i)}, B_{(1,c,p)}^{(i)} \right]_{i=1,2,\dots,n}$$

(7)

$i = 1, 2, \dots, n$;

$c = 1, 2, \dots, z$;

$p = 1, 2, \dots, m$

Donde:

i = número del experto y n es el total de éstos,

c = Criterio ($c=1$ representa la frecuencia y $c = 2$ el impacto de las consecuencias y z el total de ellos).

P = representa los riesgos y m es el total de ellos.

El subíndice 1 corresponde a la primera ronda del proceso.

4. Agregado de las opiniones. En este paso se procesan con ayuda de una hoja de Excel todas las opiniones para las variables frecuencia y consecuencia por cada criterio, por lo que se hace necesario encontrar la media de las opiniones del grupo de expertos, para ello se realiza el cálculo de la media de los valores máximos y mínimos dado por los expertos para cada variable y riesgo, así como las distancias entre el intervalo de confianza medio así obtenido y los intervalos de confianza que representan las opiniones de cada experto.

Para cada variable y riesgo se obtendrá el intervalo de confianza:

$$\left[A_{(1,c,p)}^{(m)}, B_{(1,c,p)}^{(m)} \right]$$

(8)

Donde:

$$A_{(1,c,p)}^{(m)} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{i,c,p}}{n} \quad \text{y} \quad B_{(1,c,p)}^{(m)} = \frac{\sum_{i=1}^n B_{i,c,p}}{n}$$

(9)

Para construir el Experton y el cálculo de la distancia relativa de Hamming, descrita en el epígrafe 1.4., se requiere que todas las opiniones de los expertos se expresen en el intervalo [0,1]. Para ello se divide cada opinión por el mayor valor de la escala, en este caso es 10 ya que se utiliza una escala endecadaria con 11 niveles. De esta forma los intervalos quedarán definidos de la forma siguiente:

$$\left[A_{1,c,p}^{(i)} / k, B_{(1,c,p)}^{(i)} / k \right] = \left[a_{(1,c,p)}^{(i)}, b_{(1,c,p)}^{(i)} \right] \quad (10)$$

Siendo k el mayor valor de la escala aplicada, luego el intervalo es:

$$\left[a_{1,c,p}^i, b_{1,c,p}^i \right] \subset [0,1]$$

Los valores medios antes calculados también se expresan en el intervalo [0,1].

$$\left[A_{1,c,p}^{(m)} / k, B_{(1,c,p)}^{(m)} / k \right] = \left[a_{(1,c,p)}^{(m)}, b_{(1,c,p)}^{(m)} \right] \quad (11)$$

Luego el intervalo es:

$$\left[a_{1,c,p}^m, b_{1,c,p}^m \right] \subset [0,1]$$

La distancia relativa entre los intervalos de confianza (3.5) y (3.6) para cada variable, riesgo y experto estará dada por:

$$d_{1,c,p}^{(i,m)} = \frac{\left| a_{1,c,p}^{(i)} - a_{1,c,p}^m \right| + \left| b_{1,c,p}^i - b_{1,c,p}^m \right|}{2} \quad (12)$$

Segunda ronda de encuestas.

Cada experto recibe información sobre los promedios de los intervalos de cada variable y riesgo, y las distancias entre sus repuestas individuales en la primera ronda y estos intervalos promedios. La encuesta es la misma, pero ahora cada persona tiene la libertad de confirmar o variar sus calificaciones anteriores.

Se obtendrán nuevos intervalos de confianza:

$$\left[A_{(2,c,p)}^{(i)}, B_{(2,c,p)}^{(i)} \right] \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (13)$$

El subíndice 2 representa el número de la ronda.

Con las observaciones de los expertos llevadas a la escala [0,1] (dividiendo cada observación por el número de expertos) se construyen los expertones con la ayuda de una hoja Excel.

El Expertón se obtiene, con la estadística de las veces que los expertos han dado la misma valuación como extremo inferior y como extremo superior. Después se hallan las frecuencias normalizadas para cada extremo, finalmente se construye el expertón a través de la acumulación complementaria de los extremos (Kaufmann & Gil Aluja, 1987)

Un expertón, expresado a través del sistema endecadario, se compone de 11 intervalos de confianza correspondientes a los niveles del sistema endecadario. Así considerado, es posible realizar con el expertón las mismas operaciones que tienen lugar con los intervalos de confianza repitiéndolas 11 veces, una para cada nivel. Pero ello, a condición de mantener la necesaria monotonía horizontal y vertical. Horizontal para que a cada nivel el extremo inferior de cada intervalo no sea mayor que el extremo superior, y monotonía vertical para que a medida que se reduce el nivel de presunción los valores no sean menores. (García Rondón, 2010)

De cada riesgo se tendrán dos expertones: uno de la frecuencia y otro de la consecuencia (\widetilde{Fe} ; \widetilde{Ce}), los mismos se calculan multiplicando los valores situados en la misma posición de cada Experton.

Después de construido los expertones se procede a jerarquizar los riesgos para ver en orden de importancia el riesgo que se asocia con la falla que se produce.

5. Cálculo del nivel de cada riesgo (\widetilde{Nr}) y jerarquización de los mismos.

Para obtener el nivel de riesgo en forma de expertón (\widetilde{Nr}) se multiplican la frecuencia por la consecuencia en forma de expertones la cual se halla multiplicando los valores situados en la misma posición en ambos expertones y la esperanza matemática de \widetilde{Nr} será el intervalo de confianza $[n_{1e}, n_{2e}]$

Para jerarquizar los riesgos de mayor a menor se calcula el SUPREMUN de los intervalos y las distancias entre ellos y el SUPREMUN. El riesgo que posea la menor distancia entre el intervalo de confianza y el SUPREMUN, será el riesgo de mayor nivel (Blanco, 2007).

Como resultado del análisis cualitativo se obtiene un orden jerárquico según la importancia de cada riesgo.

Tercera Etapa: Control y Seguimiento de los resultados

Todo sistema requiere de una retroalimentación efectiva para su buen funcionamiento. Esta última etapa del procedimiento permite lograr el objetivo; de allí su importancia.

La autora coincide con Ortiz al plantear que “se deben diseñar sistemas de control, en dependencia de las características y particularidades de cada organización, que permitan detectar con rapidez situaciones no deseadas, teniendo en cuenta los cambios que se produzcan en el entorno, a fin de realizar las adecuaciones necesarias para que el sistema funcione”. (Ortiz, 2004 pag. 81)

El sistema de control diseñado debe tener en cuenta:

- La estrategia de la gestión del mantenimiento que tenga definida la organización objeto de estudio.
- La estructura interna de la ejecución del mantenimiento en la organización objeto de estudio.
- La relación entre las diferentes áreas de la organización que intervienen en el proceso de mantenimiento con la finalidad de poder aplicar el mantenimiento productivo total.
- La información necesaria tales como manual del fabricante, registro de fallas de cada equipo, para la elaboración del plan de mantenimiento preventivo, el plan de mantenimiento autónomo y el análisis de modo y efectos de fallas de los equipos.

Bibliografía.

Aliber , Z. (1983). *Riesgos en cambios y financiación en la empresa*. Madrd: Piramide.

Barrios, A., & Ortíz, M. (17 de Julio de 2012). *El Mantenimiento en el Desarrollo de la Gestión Empresarial, Fundamentos Teóricos*. Obtenido de <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ve/2012/abmo.html>

Barrios, A. (30 de 11 de 2012). *La gestión del mantenimiento, utilizando herramientas de la cuarta generación*. Obtenido de <http://ccia.cujae.edu.cu/index.php/ccim/ccim2012/paper/view/2436>

Blanco, B. (2007). Procedimiento para la evaluación de los riesgos empresariales de operación con métodos de las matemáticas borrosas. *Tesis Doctoral*. Cuba: Universidad de la Habana.

Canales, A., Pacheco, P., & Sarno, E. (2006). Modelo Gerencial de Mantenimiento. *Reliability World*, (pág. 14). Monterrey, Mexico.

Garcías Rondón, I. (2010). Procedimiento para la selección de los mercados internacionales de los servicios medioambientales Cubanos. *Tesis Doctoral*. Cuba: Universidad de la Habana.

Gil, L. (1993). *El Análisis Financiero en la Incertidumbre*. España: Ariel Economía.

Gómez de León, F. C. (1998). *tecnología del Mantenimiento Industrial*. España: Universidad de Murcia.

Hurtado de Mendoza, Mendez, R., & Tómas, D. (2007). Sistema automatizado del Método de Consultas a Expertos. *En X Encuentro Nacional de Gestión del Conocimiento y Empresas de Alto Desempeño*. Habana.

Kaufmann, A., & Gil Aluja, J. (1986). *Introducción a la teoría de los subconjuntos borrosos a la gestión de las empresas*. España: Milladoiro.

Kaufmann, A., & Gil Aluja, J. (1992). *Técnicas de Gestión de Empresas*. Madrid-España: Piramide.

Kaufmann, A., & Gil Aluja, J. (1993). *Técnicas especiales para la gestión de expertos*. España: Milladoiro.

Kaufmann, A., & Gil, A. (1990). *Las Matemáticas del azar y de la incertidumbre. Elementos básicos para su aplicación en economía*. España: Centro de Estudios Ramón Areces.

Marchant, L. (2006). *Actualizaciones para el Management y Desarrollo Organizacional*, Chiler: Universidad Viña del Mar.

Ortiz, M. (2004). Procedimiento para la Gestión de Inventarios con demandas independientes en empresas comerciales y de servicios. Cuba.

Otegui, J., & Rubertis, E. (2008). *Cañeías y Recipientes de Presión*. Argentina: EUEM.

Parra, C. (2000). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad- Manual de Adiestramiento*. Venezuela: PDVSA-CIED.

Souris, J. (1992). *Mantenimiento, fuente de beneficios*. Madrid: Diaz de Santos S.A.