

Ingeniería de mantenimiento basada en confiabilidad a los equipos altamente críticos de la Empresa Comercializadora LICRATEX C.A

Maintenance engineering based on reliability to the highly critical equipment of the LICRATEX C.A commercializing company

Jurgen Stick Blanco-Cáceres^a, *Oscar Manuel Duque-Suárez^b

^a Ingeniero Mecatrónico, orcid: 0000-0002-1817-1612, Universidad de Pamplona, Cúcuta, Colombia.

^b Magister en Controles Industriales, orcid 0000-0001-6246-604X, Universidad de Pamplona, Cúcuta, Colombia

Recibido: 30 de Noviembre de, 2017, Aceptado: 1 de noviembre de 2017

Forma de citar: J.S Blanco-Cáceres, O.M Duque-Suárez, "Ingeniería de mantenimiento basada en confiabilidad a los equipos altamente críticos de la Empresa Comercializadora LICRATEX C.A" *Mundo Fesc*, vol. 15, no. 1, pp. 41-48, 2018.

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo aplicar la metodología de Mantenimiento Centrada en la Confiabilidad (MCC) a los equipos de una industria del sector textil ubicada en la ciudad de San Cristóbal- Edo. Táchira en la República Bolivariana de Venezuela. Se realiza el diagnóstico del estado de mantenimiento de la empresa en general a través de la Norma Covenin 2500, incluyendo el análisis de criticidad de las diferentes máquinas y equipos, el AMEF (análisis del modo de fallas y sus efectos) bajo la norma SAEJA1011, el análisis de Pareto y el método de la ruta crítica (CPM). Los resultados obtenidos en el diagnóstico indican que la empresa utiliza en bajo porcentaje, mantenimiento predictivo y correctivo y la matriz de criticidad señala que la maquina tendedora de tela se encuentra en niveles de criticidad. Se diseñó la propuesta con tareas para la mitigación de fallos en función del tipo de mantenimiento seleccionado para los equipos de la empresa.

Palabras clave: AMEF, análisis de criticidad, confiabilidad, MCC.

Abstract

The objective of this study is to apply the methodology of Reliability-Centered Maintenance (MCC) to the equipment of an industry in the textile sector located in the city of San Cristóbal-Edo. Táchira in the Bolivarian Republic of Venezuela. Diagnosis of the state of maintenance of the company in general is made through the Covenin 2500 Standard, including the criticality analysis of the different machines and equipment, the AMEF (analysis of the failure mode and its effects) under the SAEJA1011 standard, Pareto analysis and the critical path method (CPM). The results obtained in the diagnosis indicate that the company uses in a low percentage, predictive and corrective maintenance, and the criticality matrix indicates that the fabric tensioning machine is at criticality levels. The proposal was designed with tasks for the mitigation of failures depending on the type of maintenance selected for the company's equipment.

Keywords: AMEF, criticality analysis, reliability, MCC.

Autor para correspondencia:

*Correo electrónico: omduke@hotmail.com

Introducción

El consumismo del siglo XXI, la demanda de los productos y la competencia industrial, generan un ambiente que ha conllevado al mejoramiento, automatización y optimización de los procesos productivos a través del establecimiento de políticas de mantenimiento de equipos y el aprovechamiento de residuos, con el fin de aumentar la productividad, reducir costos, contribuir con la preservación del ambiente [1] y la obtención de resultados que generen valor agregado, crecimiento, sostenibilidad y mayor competitividad de las empresas en los mercados internacionales [2-3]. Además, autores como [4-6] recomiendan tener en cuenta las tendencias del mercado, innovar en los procesos tecnológicos, incrementar la capacidad de decisión y establecer procesos que involucren a todos los empleados en la necesidad de crear valor.

La metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC), ha sido usada durante más de 30 años en la industria a nivel mundial, como herramienta también conocida como (RMC), Realibility - Centred Maintenance [7, 8]. El MCC nació como un instrumento que permite prevenir, detectar y eliminar las posibles fallas en los equipos bajo la norma SAE JA 1011 [9], la cual establece los requerimientos para la correcta aplicación del MCC. Considerando la necesidad de las empresas, especialmente las industriales de establecer planes de mantenimiento para los equipos y maquinaria, con el fin de corregir a tiempo las posibles fallas que puedan retrasar o paralizar las actividades asociadas a los procesos productivos, para los cuales es necesario garantizar su nivel de operación en los tiempos de mayor demanda y poder cumplir con la entrega a tiempo de los productos al mercado, para ello es muy útil el uso de la metodología MMC.

Teniendo en cuenta el carácter de una empresa del sector textil de Venezuela, líder a nivel nacional en la producción de prendas de vestir e insumos para su fabricación, y la necesidad de ofrecer productos con alta calidad de exportación, se plantea el presente trabajo que tiene como propósito la aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrada en Confiabilidad para aumentar la disponibilidad y rendimiento de los equipos críticos que conforman el área de producción, mejorar y poner a disposición de la empresa un plan de mantenimiento diseñado con base en estándares para grandes industrias a nivel mundial.

Materiales y métodos

La empresa objeto de estudio es una industria del sector textil, ubicada en la ciudad de San Cristóbal-Edo. Táchira en la República Bolivariana de Venezuela.

Diagnóstico de mantenimiento

El sistema de diagnóstico se aplicó a través de la Norma Covenin 2500 [10], la cual permitió evaluar los Sistemas de Mantenimiento en la Industria, a partir de una serie de preguntas realizadas al personal de los diferentes niveles jerárquicos, para verificar hasta qué grado la organización cumple con lo establecido en la norma. En la figura 1 se representan cada uno de los valores obtenidos por área del mantenimiento (valores positivos llamados puntos y los valores menos positivos, nombrados deméritos).

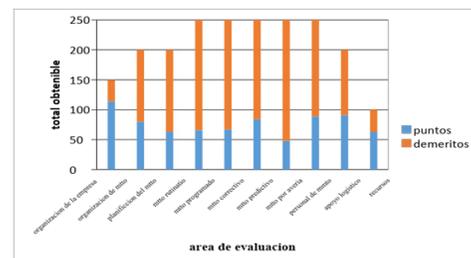


Figura 1. Valores obtenidos por áreas de mantenimiento

Cada área involucrada en el mantenimiento fue evaluada de tal forma que se obtuvo una ponderación porcentual la cual fue necesaria para la realización de los análisis de brecha pertinentes (ver Tabla I), donde se evidencia que las áreas con más bajos obtenido corresponde a mantenimiento predictivo y rutinario.

Tabla I: Ponderaciones de evaluación

Área	Porcentaje
Organización de la empresa	76%
Organización de Mantenimiento	40%
Planificación del Mantenimiento	32%
Mantenimiento rutinario	26%
Mantenimiento programado	27%
Mantenimiento correctivo	34%
Mantenimiento predictivo	19%
Mantenimiento por avería	36%
Personal de Mantenimiento	46%
Apoyo Logístico	63%

En la Tabla II, se muestra la escala en la cual fueron evaluadas cada una de las áreas de mantenimiento de la empresa, esta escala fue creada a partir de las sugerencia de la misma para un buen diagnóstico del estado de mantenimiento.

Tabla II: Diagnóstico de los sistemas

%	Diagnóstico del sistema
<= 40 %	Deficiente
40-60%	Aceptable pero Mejorable
60-80%	Bueno
90%	Muy Bueno
100%	Excelente

Mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC)

La selección de los equipos se realizó con base en el nivel de critico de los mismos, posteriormente se realizó el análisis de criticidad mediante el cual se establecieron las pautas para el desarrollo del AMEF.

Análisis de criticidad

Para el análisis de criticidad de los equipos se utilizó la metodología del modelo Semi-cuantitativo [11], ésta evaluación tuvo como finalidad determinar el riesgo, frecuencia de falla y consecuencias de los eventos de dichas fallas en los equipos de la empresa.

La evaluación general de los equipos se realizó a través de la caracterización de los factores que involucran directamente el valor ponderado (frecuencia de falla, nivel de producción, tiempo promedio para reparar, impacto en producción por falla, costos de reparación, impacto en seguridad personal e impacto ambiental). Cada criterio fue evaluado a través de puntaje, el cual fue referenciado de la norma SAE 1739 [12] y fue asignado con base en la opinión del equipo del área de mantenimiento y el concepto de los operadores de cada máquina, quienes tienen el conocimiento de los sucesos que presentan los equipos.

A continuación, se presentan de forma detallada, la expresión utilizada para jerarquizar los sistemas a partir del modelo CTR en (1):

$$CTR = FF \times C \tag{1}$$

Dónde: 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 (2):

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA \tag{2}$$

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

La expresión final del modelo de priorización de CTR será (3):

$$CTR = FF \times ((IO \times FO) + CM + SHA) \tag{3}$$

En el Figura 2 se representa la matriz de criticidad en la cual se observan los resultados obtenidos del modelo semi-cuantitativo.

BORDADORA				
	PLOTTER DE IMPRESION DIGITAL	COMPRESOR DE TORNILLO		TENEDORA DE TELA
MAQUINAS COLLARETERAS Y FILETEADORAS	PLANCHAS DE SUBLIMACION			
MAQUINAS AUTOMATAS Y PLANTAS DE SUMINISTRO ELECTRICO	CORTADORAS DE TELA			

Figura 2. Matriz de criticidad según el modelo semi-cuantitativo

El resultado de la matriz arroja que la maquina tendedora de tela se encuentra en los niveles de criticidad. Aunque por el modelo semi-cuantitativo no seleccionó el compresor de tornillo, se consideró por sugerencia del área administrativa y de mantenimiento.

Se realizó de forma posterior el análisis de Pareto, en el cual se evidenciaron los equipos que debían tener prioridad, complementando los resultados del análisis de criticidad.

En la figura 3 se muestra la gráfica de Pareto donde se evidencia que los equipos seleccionados mediante el modelo semi-cuantitativo corresponden exactamente al 80% así como lo aclara Pareto en su principio.

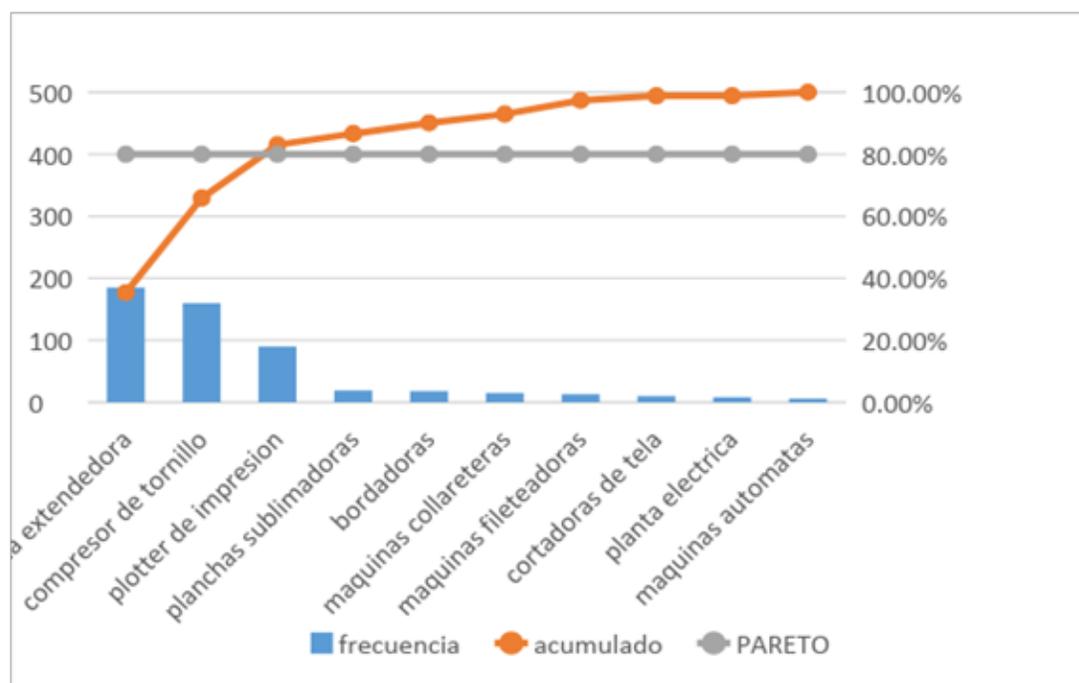


Figura 3. Análisis de Pareto

Análisis de modo falla y sus efectos (AMEF)

“El Análisis de modos y efectos de fallas potenciales, AMEF [13], se llevó a cabo en los equipos seleccionados, a través de una secuencia de actividades a partir de las necesidades de labores y programación de mantenimiento de la empresa, bajo la norma SAE JA 1011(1999-08-019) [9], para mejorar la confiabilidad de sus equipos.

Para el desarrollo del AMEF fue necesario analizar las 4 primeras preguntas planteadas por la norma en forma conjunta con los encargados de mantenimiento y operadores de los equipos, con quienes se concluyó que para cada uno de los procesos de la empresa requieren ser involucrados al momento que una falla potencial se presenta.

Plan de mantenimiento basado en MCC

Una vez definidos los modos de fallas, se establecieron las consecuencias de cada modo, y las tareas a realizar con el fin de mitigar dichos efectos, éstas labores de mantenimiento están plasmadas con base el Modelo de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad [14] (MCC).

Para la identificación de las consecuencias fue necesario el apoyo del personal de mantenimiento y en algunas ocasiones de los documentos e información proporcionada por los distribuidores y/o fabricantes de los equipos.

Los tipos de mantenimiento establecidos fueron:

- **Tareas proactivas.** Se emprenden antes de que ocurra una falla, para prevenir que el ítem llegue al estado de falla. Abarcan lo que se reconoce como mantenimiento “predictivo” (tarea a condición) o “preventivo” (tarea de reacondicionamiento cíclico, tarea de sustitución cíclica)

• **Tareas “a falta de”.** Estas corrigen directamente el estado de la falla, y son elegidas cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva. Las acciones “a falta de” incluyen búsqueda de falla, rediseño y mantenimiento a rotura (correctivo) [14].

De acuerdo a los resultados obtenidos se definió que el enfoque de mantenimiento debe ser predictivo, por cuanto los equipos son de alta criticidad (AC), los cuales se consideran de alto impacto en afecciones al ambiente, o seguridad, o productividad/calidad que justifican técnicas de monitoreo, para detectar los fallos incipientes y entonces programar una intervención sin afectar la productividad/calidad.

Estos protocolos se deberán aplicar una vez detectada la presencia de la falla incipiente: los protocolos de mantenimiento plasmados en las hojas de decisiones del compresor de tornillo y la maquina tendedora de tela, son muy similares a los protocolos preventivos y correctivos, con la diferencia que las TMC (técnicas de monitoreo de la condición) [15], detectan la presencia del fallo a niveles incipientes, evitando que el equipo cause pérdidas por paradas no programadas.

Las técnicas de monitoreo por condición (TMC) en los equipos altamente críticos, permitieron alertas de las fallas incipientes, las cuales fueron registradas en las planillas de control y supervisión, que permitirán a los encargados de realizar estos controles contar con una base de datos para la toma de decisiones, frente al tiempo de realización de las actividades preventivas según el modo de falla.

Estas técnicas de monitoreo por condición o mantenimiento predictivo se llevarán a cabo por el personal de mantenimiento, como respecta en la planilla. Se aclara que la aplicación de altas tecnologías como técnicas no invasivas o no destructivas para dichas tareas predictivas, no están disponibles en la empresa objeto de estudio, por lo tanto, las TMC se realizaran por observación y mediciones sensoriales asequibles al operario in situ, por ejemplo, inspecciones visuales, inspección de vibraciones por sentido del tacto, inspección de olores etc.

Propuesta de implantación del plan de mantenimiento

Plan de mantenimiento. Para la correcta implementación del plan de mantenimiento se propone llevar en orden cada una de las actividades realizadas para el mantenimiento de los equipos altamente críticos, establecer por escrito cada una de las funciones de los diferentes miembros que conforman el área del mantenimiento y que toda actividad a realizar en los equipos sea previamente informada a través del formato de orden de trabajo (OT) [16] en el cual se especifique cada uno de los procedimientos a llevar a cabo, quien lo realizará, qué tipo de servicio se prestará, funcionario que aprueba la orden y registro de las actividades a realizar para tratar una falla incipiente en caso de requerirlo.

Una vez aprobada la orden de trabajo se procederá a seleccionar el formato o bitácora en el cual se plasmarán los resultados de la actividad que fue realizada, la cual debe cumplir el tipo de mantenimiento a realizar (predictivo o correctivo) y entregarse a un encargado para generar la base de datos donde se archiven los resultados obtenidos.

Indicadores de gestión del mantenimiento. Se consideró necesario implementar indicadores de gestión de mantenimiento, para calificar el comportamiento operacional de los equipos altamente críticos en los cuales se ha hecho énfasis en este trabajo y de esta forma desarrollar mejores acciones que perfeccionen dicha labor.

Los principales indicadores de mantenimiento de talla mundial para gestionar la función mantenimiento son: disponibilidad D (4), confiabilidad R(t) (5), disponibilidad total Dt (6), disponibilidad por averías DA (7), el tiempo medio entre fallas (TMEF) (8), tiempo medio para la reparación (TMPR) (9) y tiempo medio para la falla (TMPF) (10).

$$D = \frac{ht-hpp}{ht} \quad (4)$$

ht Horas totales de funcionamiento.

hpp: Horas paradas por mantenimiento

Confiabilidad

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (5)$$

Dónde:

$R(t)$: Confiabilidad de un equipo en un tiempo t dado

e : constante Neperiana ($e=2.71828$.)

λ : Tasa de fallas (número total de fallas por período de operación)

t : tiempo

Disponibilidad total

+

$$Dt = \frac{\sum \text{disponibilidad de cada equipo}}{\text{N}^\circ \text{ de equipos}} \quad (6)$$

Disponibilidad por averías.

$$DA = \frac{ht-hpa}{ht} \quad (7)$$

ht: Horas totales de funcionamiento.

hpa Horas paradas por avería.

TMEF (tiempo medio entre fallas)

$$TMEF = \frac{N^\circ IT \cdot HROP}{\sum NTMC} \quad (8)$$

$N^\circ IT$: Numero de ítems.

$HROP$: Horas de operación del equipo.

$NTMC$: Número total de fallas.

TMPR (tiempo medio de reparación)

$$TMPR = \frac{\sum HTMC}{NTMC} \quad (9)$$

$HTMC$: Horas tiempo total de intervención mantenimiento correctivo.

$NTMC$: Número total de fallas detectadas.

TMPE (tiempo medio para la falla)

$$TMPE = \frac{\sum HROP}{NTMC} \quad (10)$$

$HROP$: Horas de operación del equipo.

$NTMC$: Número total de fallas.

Resultados y discusión

La aplicación de la Norma COVENIN 2500, permitió analizar la gestión de la Gerencia de Mantenimiento en la empresa objeto de estudio, la cual obtuvo puntaje de 38%, que significa que requiere trabajar en función del mejoramiento de la ponderación.

El análisis de criticidad que fue elaborado por el modelo Semi-cuantitativo, permitió en la empresa caso de estudio, agrupar los criterios del área de mantenimiento y producción, de esta forma establecer que la máquina Tendedora es uno de los equipos altamente críticos y que requiere ser tratada con prioridad

La confiabilidad de los equipos tratados con el MCC aumentará, conforme se apliquen las labores para prevenir los modos de falla.

Se planteó el mantenimiento predictivo (basado obligatoriamente en TMC), para los equipos de alta criticidad, debido a que estos tienen un alto impacto en afecciones al ambiente, o seguridad, o productividad/calidad y la implantación de técnicas de monitoreo por condición (TMC) es necesaria para detectar los fallos incipientes y de esta forma poder programar una intervención sin afectar la productividad/calidad.

La obtención de buenos resultados en la elaboración del Análisis de Modos y efectos de falla (AMEF) se realizó bajo el amparo de la norma SAE JA1011, para la cual se requirió de las opiniones del personal del área de mantenimiento y de los operadores, además de algunos datos suministrados por el fabricante y distribuidores de los equipos.

Conclusiones

A partir del trabajo realizado en la empresa caso de estudio, se determinaron las siguientes recomendaciones:

- Una vez establecidas las falencias que tenía la empresa, en cuestión de historiales de fallas en los equipos, se recomienda diligenciar de manera cautelosa y organizada en los formatos dejados en este trabajo, cada una de las actividades realizadas allí, para tener fundamento de mantenimiento a futuro.

- Enfocarse en las indicaciones plasmadas en el análisis de brecha según la norma Covenin 2500-93, con el fin de mejorar las calificaciones de los ítems evaluados.

- Continuar con las tareas propuestas en las hojas de decisiones, con el fin de disminuir los costos de mantenimiento y aumentar la confiabilidad de estos.

- Implementar un software de mantenimiento con el fin de gestionar los activos y el mantenimiento en los equipos de la empresa.

- Implementar el MCC en el total de los equipos de la empresa, debido a que en este trabajo se fundamentó en los equipos altamente críticos.

- Se recomienda implementar en la documentación y archivos de la empresa caso de estudio, todo lo requerido para la gestión del mantenimiento como bitácoras y registro e históricos de fallas.

- Se recomienda a la empresa caso de estudio, la vinculación instrumentos de medición para las tareas de monitoreo por condición, para la revisión de fallas incipientes y de este modo complementar el mantenimiento predictivo.

- Hacer las revisiones semanales correspondientes a las planillas TMC, y llevar los registros a una plataforma tecnológica requerida para una mejor gestión del mantenimiento.

- Realizar un inventario general de repuestos principalmente para los equipos altamente críticos, verificar los repuestos necesarios en stock y controlar los activos de una manera organizada, para esto, se recomienda basarse en la norma ISO 55001 [11], para la gestión del mantenimiento.

Referencias

- [1] A. Sarabia-Guarín, J. Sánchez-Molina, y J. Leyva-Díaz, "Uso de nutrientes tecnológicos como materia prima en la fabricación de materiales de construcción en el paradigma de la economía circular", *Respuestas*, vol. 22, n.º 1, pp. 6 - 16, ene. 2017. <https://doi.org/10.22463/0122820X.815>.
- [2] L. Cely-Illera y R. Bolívar-León, "Materia prima para la industria cerámica de Norte de Santander. II. Evaluación del comportamiento térmico y su incidencia en las propiedades tecnológicas", *Respuestas*, vol. 20, n.º 1, pp. 84-94, ene. 2015. <https://doi.org/10.22463/0122820X.260>
- [3] M. Riaño-Solano, "Administración del Capital de Trabajo, Liquidez y Rentabilidad en el Sector Textil de Cúcuta, Periodo 2008-2011", *Respuestas*, vol. 19, n.º 1, pp. 86-98, jun. 2014. <https://doi.org/10.22463/0122820X.11>
- [4] R. Hernández, F. Lozada-Sánchez, y L. Mariño, «Relación entre la memoria operativa y el cálculo mental con los números naturales en estudiantes del grado 8º del Instituto Técnico Mercedes Abrego de San José de Cúcuta», *ECO*, vol. 5, n.º 1, pp. 27-36, ene. 2014.
- [5] G. Rueda-Vera, S. Thomas-Manzano, y Y. Casadiego Duque, "La valoración de empresas aplicada en las Mipymes de confecciones textiles de Cúcuta", *Respuestas*, vol. 18, n.º 1, pp. 43-49, jun. 2013. <https://doi.org/10.22463/0122820X.396>

- [6] J. Pabon-León, L. Bastos-Osorio, y J. Mogrovejo-Andrade, "Valor económico agregado en las empresas del sector industrial manufacturero de Cúcuta periodo 2008-2012", *Respuestas*, vol. 20, n.º 2, pp. 54-72, jul. 2015. <https://doi.org/10.22463/0122820X.442>
- [7] S. Jaimes Mora, J. Márquez Gómez, y L. Pernía Orozco, "Factores psicosociales que influyen en el comportamiento laboral de acuerdo con los procesos de Gestión Administrativa y del Talento Humano que presentan los empleados de la empresa Distraves S.A de Cúcuta", *Mundo Fesc*, vol. 5, n.º 10, pp. 64-68, dic. 2015.
- [8] J.Y. Uzcátegui-Gutiérrez, A. Varela-Cárdenas, J.I. Díaz-García, "Aplicación de herramientas de clase mundial para la gestión de mantenimiento en empresas cementeras basado en la metodología MCC", *Respuestas*, vol. 21, no. 1, pp. 77-88, 2016. <https://doi.org/10.22463/0122820X.639>.
- [9] J. Moubray, *Reliability-centered Maintenance 2 Edition, The art of service*, 1997.
- [10] SAE International, *Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), Norma JA1011*, 2009.
- [11] COVENIN, *Manual para evaluar los Sistemas de mantenimiento en la industria, Norma 2500-93*
- [12] C. Parra y A. Crespo, *Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activo*, Sevilla, España: INGEMAN, 2012.
- [13] SAE Internacional, *Potential Failure Mode and Effects Analysis, Norma J1739*, 2002.
- [14] J. Moubray, *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. Buenos Aires, Argentina: Ellman, Sueiro y Asociados, 2003.
- [15] A. Hidalgo, *Manual AMEF Análisis de modo y efecto de fallas potenciales*, Piedras Negras Coahuila México UNAE, 2015.
- [16] Norma Internacional UNE-EN-60812-2008, *Técnicas de análisis de la fiabilidad de sistemas, Procedimiento de análisis de los modos de fallo y de sus efectos (AMFE)*.
- [17] L.A Martínez-Giraldo, "Metodología para la definición de tareas de mantenimiento basado en confiabilidad, condición y riesgo aplicada a equipos del sistema de transmisión nacional", *trabajo de fin de máster, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia*. 2014.
- [18] Norma ISO 55001:2014, *Gestión de activos*.