



**Encuentro Internacional de  
Educación en Ingeniería ACOFI**

Innovación en las facultades de ingeniería:  
el cambio para la competitividad y la sostenibilidad

Centro de Convenciones Cartagena de Indias

4 al 7 de octubre de 2016



# **SISTEMA DE PLANIFICACIÓN DE RECURSOS EMPRESARIALES (ERP) COMO HERRAMIENTA EN EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL BASADAS EN EL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP)**

**Cristian Alejandro Zafra Rodríguez, Flor Alba Méndez Martín, Alexander Reyes Moreno**

**Universitaria Agustiniiana  
Bogotá, Colombia**

## **Resumen**

Tomando como bases el RCM (Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad), donde se tiene como objetivo el medir y controlar la fiabilidad de los equipos, se busca proveer de una herramienta de análisis global de la información que conlleve a la determinación de la estrategia y plan de mantenimiento de los equipos que intervienen en los procesos de la compañía.

Por medio de la aplicación del modelo matemático de investigación de operaciones; proceso analítico jerárquico AHP, con el cual se quiere identificar los activos críticos, determinados a partir del análisis global de los criterios como lo son en términos generales: modos de fallo, análisis funcional, criticidad de los fallos, costos, categorización del activo, modo de uso, productividad, y todos aquellos que sean relevantes en la determinación de la prioridad del equipo.

De igual forma el sistema ERP permitirá la identificación del método de análisis de mantenimiento predictivo más acorde a las necesidades de la organización, donde se tenga en cuenta métodos de análisis como: termografías, vibraciones, ultrasonidos, y lubricantes, abordadas desde criterios como: modos de fallo, tipo de máquinas, costo de implantación, experticia, funcionalidad, asertividad, asequibilidad entre otras.

Todo con el fin de optimizar y focalizar los esfuerzos del área de mantenimiento en los activos o equipos críticos de las empresas, con lo cual se permita una optimización de los recursos y costos asociados al mantenimiento industrial partiendo de la base del mantenimiento reactivo y predictivo.

Lo que permitirá a la compañía desarrollar una política eficiente de Gestión de activos de acuerdo a la norma ISO 55000 por la cual se busca establecer parámetros y estándares para la administración de los activos organizacionales.

**Palabras clave:** Mantenimiento Predictivo (MPD); gestión de activos; Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

### ***Abstract***

*Taking as a base the RCM (Maintenance Centered in Reliability), where it aims to measure and control equipment, it seeks to provide a tool for overall analysis of the information lead to the determination of the strategy and plan maintenance teams involved in the process of the company.*

*Through the application of mathematical model of operations research, analytical process hierarchical AHP, with which we want to identify critical assets, determined from the overall analysis of the global criteria, as they are in general terms: failure modes, functional analysis, criticality of failures, costs, asset prioritization, usage, productivity, and all those that are relevant in determining the priority of the team.*

*As well as the ERP system will allow the identification of the method of analysis of predictive maintenance more suited to the needs of the organization which takes into account analytical methods such as thermography, vibration, ultrasound, and lubricants, approached from criteria such as: failure modes, types of machines, cost of implementation, expertise, functionality, assertiveness, affordability among others.*

*All in order to optimize and focus the efforts of the maintenance area on assets or critical equipment companies and thus optimizing resources and associated costs to the industrial maintenance on the basis of reactive and predictive maintenance. This will allow the company to develop an efficient asset management policy according to the ISO 55000 standard by which we seek to establish parameters and standards for the management of organizational assets.*

***Keywords:*** Predictive Maintenance (MPD); asset management; Analytic Hierrarchy Process (AHP)

## **1. Introducción**

Esta investigación se basa en el Mantenimiento Basado en la Fiabilidad (RCM) de los equipos esta filosofía de mantenimiento tiene como pilar el mantenimiento predictivo en el cual convergen métodos de análisis como termografías, vibraciones lubricantes, entre otros que permiten una detección temprana de los fenómenos causantes de los fallos en los equipos.

Ya que el objetivo es proveer a la organización de medios que garanticen su competitividad en el mercado se hace necesario la identificación del o de los métodos o tecnologías de análisis más óptima para la compañía,

donde se garantice la máxima eficiencia del plan de mantenimiento guardando especial cuidado tanto con los costos como de más criterios de evaluación.

Conscientes de los múltiples criterios que pueden ser evaluados tanto desde la identificación de los equipos críticos del proceso como de la identificación del método de análisis adecuado para la empresa.

Se plantea el desarrollo del modelo de investigación de operaciones proceso analítico jerárquico AHP para la toma de decisiones, y evaluación de los múltiples criterios que intervienen, puesto que esta herramienta matemática permite al tomador de decisiones el análisis global de una serie de datos tanto cualitativos como cuantitativos, Presentado así una evaluación ajustada y focalizada con las necesidades reales de la organización.

## **2. Problema de investigación**

Los sistemas de producción eficaces contemplan la óptima gestión de los recursos involucrados en sus actividades de producción, entre la gran variedad de recursos que son parte de las operaciones de las organizaciones, podemos destacar como uno de los principales y de gran importancia los equipos o activos que con sus funciones permiten el desarrollo de las actividades de producción.

En la actualidad se presentan un sinnúmero de estrategias, alternativas, métodos y filosofías que tienen como objetivo salvaguardar los activos de la compañía siendo este el caso del mantenimiento total productivo y de teorías resientes como el RCM, mantenimiento centrado en la fiabilidad donde busca el aumento de la fiabilidad de los equipos en el cual el mantenimiento predictivo es indispensable para la toma de decisiones este presentado amplio abanico de posibilidades de análisis. Por ello surge la que se fundamenta como la pregunta de investigación: *¿Cómo identificar el método de análisis predictivo acorde con las necesidades del proceso productivo y cuáles son los activos a los que se debe enfocar la gestión en un tiempo óptimo para la compañía?*

Siendo esto dos aspectos los ejes principales para la toma de decisiones en cuanto al mantenimiento industrial se refiere, ya que la elección errónea de método de análisis a implementar y la identificación fallida de los equipos críticos acarrearían sobrecostos, perdidas de equipos, mala gestión de los recursos entre otros aspectos relacionados los fenómenos causados por la implementación de un plan de mantenimiento errado.

## **3. Propósito de la investigación**

Con este proyecto se busca mostrar la importancia que tiene el jerarquizar los activos físicos, según el impacto en el desarrollo de las actividades de fabricación, esto con el fin de lograr una gestión eficiente del

mantenimiento, proporcionando al administrador de mantenimiento prioridades en las cuales fundamentar las estrategias y planes de mantenimiento.

### **3.1. Objetivo general**

- Desarrollar un sistema informático ERP, para el mantenimiento industrial implementando el modelo de investigación de operaciones proceso analítico jerárquico AHP, que permita la identificación y jerarquización de los activos críticos como también la elección de los métodos de mantenimiento predictivo idóneos para la organización.

### **3.2. Objetivos específicos**

- Determinar los criterios a evaluar en la identificación de la Categorización de los equipos.
- Determinar los criterios a evaluar en los métodos de mantenimiento predictivo disponibles.
- Formular y desarrollar un modelo AHP, proceso analítico jerárquico, para el análisis de las alternativas frente a los criterios obtenidos.
- Desarrollar el sistema informático ERP en función del modelo matemático obtenido.

## **4. Conceptualización**

El marco teórico que se desarrollara a continuación, permite conocer los conceptos básicos para el entendimiento del desarrollo de esta investigación.

### **4.1. Mantenimiento predictivo en el RCM**

Uno de los pilares del mantenimiento industrial centrado en la fiabilidad de los equipos es el mantenimiento predictivo donde se tiene como objetivo predecir de manera temprana los posibles fallos en un equipo con el fin de prolongar la vida útil de los activos empresariales.

Este método del mantenimiento tiene lugar en las primeras etapas de la curva P-F Curva en la que se muestra en relación al tiempo los intervalos de probabilidad de fallo y de igualo manera los tipos de mantenimiento que tiene lugar en la etapa correspondiente.

Donde tiene lugar métodos de análisis predictivos como: análisis termo gráfico, análisis de vibraciones, análisis de ultrasonidos, análisis de lubricantes, de precio entre otros.

## 4.2. Proceso Analítico Jerárquico AHP

La investigación de operaciones proporciona diversos modelos matemáticos para la toma de decisiones uno de ellos es el proceso analítico jerárquico AHP el cual (Taha, 2012) “está diseñado para situaciones en que las ideas, sentimientos y emociones que afectan el proceso de toma de decisiones se cuantifican y así obtener una escala numérica para priorizar las alternativas”.

Este modelo se caracteriza por la capacidad que tiene para evaluar las múltiples alternativas de un objetivo definido tomando en cuenta los criterios de decisión planteados para el modelo (Saaty T. L., 1997) donde resalta la versatilidad y su capacidad de ajustarse al cualquiera que fuese el entorno.

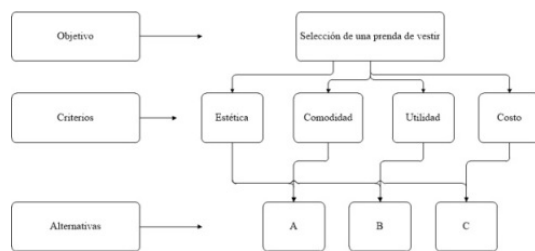


Figura 1. Ejemplo jerarquía AHP (Los Autores, 2016)

Como se puede observar en la figura anterior se presenta un objetivo o decisión a tomar como lo es la elección de una prenda de vestir el cual integra criterios cualitativos como: estética, comodidad, y utilidad y por otro lado criterios cuantitativos como lo es el costo, con el fin de elegir entre una serie de alternativas, A, B, y C. Donde se dispone de una escala numérica del uno (1) al nueve (9) dándole a cada uno conceptos de valor y que intenta representar la importancia del criterio con respecto a la decisión, lo que por último arrojará la alternativa que mejor se adecue a la decisión.

## 5. Desarrollo metodológico

### 5.1. Enfoque metodológico de la investigación

En el desarrollo del proyecto será implementado un enfoque mixto de investigación que permitirá mantener una estructura clara durante el proceso con el fin de obtener datos estructurados, confiables y verídicos con los cuales acceder al establecimiento de parámetros claros e imparciales en el plan de mantenimiento de los equipos e instalaciones inmersos en la industria.

## 5.2. Etapas de investigación

En la siguiente figura se ilustra las etapas y procesos que se llevarán a cabo en la investigación. Pasado desde la recolección de datos, determinación de criterios y finalizando en el desarrollo de sistema ERP.

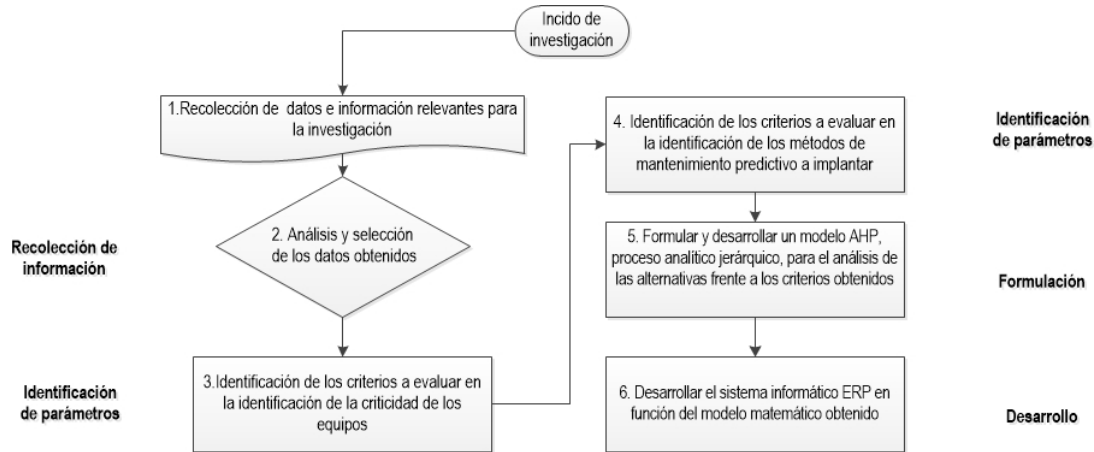


Figura 2. Etapas de la investigación (Los Autores, 2016)

## 6. Avances de resultados

Actualmente la investigación se encuentra en la etapa de Formular y desarrollar un modelo AHP, proceso analítico jerárquico, para el análisis de las alternativas frente a los criterios obtenidos, tanto para la categorización de los activos como para la elección de la tecnología del mantenimiento predictivo idónea para la compañía

### 6.1. Identificación de los criterios sobre la Categorización de los activos

Se logra identificar los aspectos o criterios a evaluar en la jerarquización de los activos de las empresas, con el fin de evaluar cada uno de los equipos inmersos del proceso productivo en función de los criterios establecidos.

Como aspecto primordial en la implementación de las tecnologías de mantenimiento predictivo en las organizaciones se destacan la necesidad de focalizar los métodos de análisis a los equipos que representen mayor importancia en el proceso y que por sus funciones ameriten la inversión en la implementación de una alternativa de mantenimiento predictivo.

Ya que la implantación del mantenimiento predictivo (MPD), representa una serie de costos relacionados con la implantación para la organización es necesario identificar la relación costo beneficio del método de detección frente al activo analizado.

Con el fin de desarrollar una estrategia combinada de mantenimiento preventivo y predictivo donde los activos con menor relevancia en el proceso que se puedan obviar sean gestionados con un mantenimiento preventivo planificado en aras de optimizar los recursos, y los activos críticos sean gestionados por medio del MPD.

En función de ello se contemplan criterios de evaluación de los activos que conllevaran a la ponderación y jerarquización de manera global de los activos de la organización, entre los principales criterios a evaluar se encuentran: productividad, costo de adquisición del equipo, prioridad en el sistema, vida útil del equipo, cantidad de equipos disponibles y criticidad del equipo.

Donde se evaluará cada equipo en función a su capacidad de producción por jornada de trabajo, el costo de adquisición del equipo, su prioridad en el sistema donde se evalúa la dependencia del equipo en el proceso frente a los de más, como también la criticidad de los equipos, la cual está dado a razón de la probabilidad del modo de fallo y el impacto o consecuencia que este tiene en el equipo, entre otros previamente mencionados.

## 6.2. Identificación de los criterios sobre los métodos de mantenimiento predictivo (MPD)

Se logra establecer como principales métodos de MPD aquellas que están contempladas en la norma ISO 18436 las cuales son:

Tabla 1. Normas ISO métodos de detección de fallos

Método de detección	Norma ISO
Vibraciones	18436-2
Análisis de Aceites en taller	18436-4
Análisis de Aceites en laboratorio	18436-5
Emisiones acústicas	18436-6
Termografías	18436-7
Ultrasonidos	18436-8

Fuente: Los Autores, 2016

Medios por los cuales se logra una detección temprana de los posibles fallos, tomando como base el MPD. Estos se fundamentan como las posibles alternativas de elección frente al objetivo planteado donde en función a estos métodos de detección se identifican dos niveles de criterios de evaluación para la elección final de la tecnología a implementar, estos criterios son: Método (costo, experticia y frecuencia de aplicación) y Equipos, categorización de los activos (modos de fallo).

Donde se evalúa cada tecnología de MPD, tanto en función a los modos de fallos detectados en relación de cada uno de los equipos previamente categorizados, como también la frecuencia de aplicación del método de análisis, la experticia requerida para el análisis, y otros criterios de gran importancia como lo es el costo de la tecnología o de implementación del método.

Criterio de gran importancia para ser evaluado puesto los valores de implementación de los métodos de análisis en su mayoría son de alta cuantía, siendo el caso de tecnologías como las cámaras termografías donde un modelo T420 de la empresa FLIR oscila alrededor de los \$ 38.815.000 COP, y por otro lado un servicio como lo son de análisis de vibraciones y análisis de fluidos en laboratorio puede fluctuar alrededor de \$ 2.800.000 y \$ 1.200.000 COP respectivamente, haciendo de este criterio uno de los de mayor ponderación en el modelo AHP.

### 6.3. Formulación del modelo AHP

La interacción de las alternativas frente a los criterios de evaluación enmarcados en el objetivo tanto para la categorización de los activos como para la elección de método de MPD a implantar se observan en la figura 3 y 4 por medio de la representación gráfica de la jerarquía de decisión del modelo AHP.

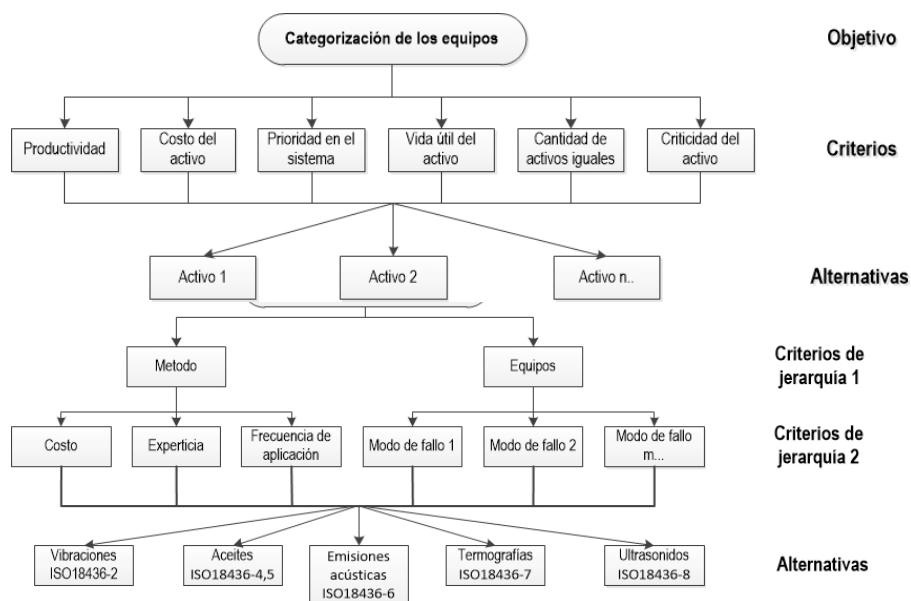


Figura 4. AHP, elección de método de MPD (Los Autores, 2016)

Como se puede observar tanto para la categorización de los equipos como para la elección de los métodos de MPD, se cuenta con alternativas de decisión plasmadas en la base de la jerarquía, las cuales a su vez serán evaluadas a razón de su interacción con los criterios de evaluación los cuales gracias a su ponderación porcentual que a su nivel de importancia para el cumplimiento de los objetivos y mediante el desarrollo matemático propuesto por el modelo AHP.

Arrojara de manera porcentual la alternativa optima, donde los resultados que se aproximen a 1 o 100% será los óptimos y en caso contrario los resultados que tiendan a 0 o 0% serán los no óptimos y menos favorables para la elección.



## 7. Conclusiones y recomendaciones parciales

Se logra establecer la importancia de la elección e identificación de la criticidad de los equipos en términos de relevancia del activo para la compañía como paso inicial en la implementación de un mantenimiento predictivo. Ya que como se ha dicho previamente es de vital importancia focalizar los esfuerzos de implantación debido a los costos relacionados con implantación tecnológica de los métodos de MPD no sería funcional aplicar los métodos a equipos que por sus características no representan sobrecostos de mantenimiento y los cuales puede ser atendidos por técnicas de mantenimiento planificado.

De igual manera se resalta la importancia de la determinación de los modos de fallo de cada uno de los equipos de la empresa con el fin de hacer un análisis objetivo frente a los métodos de detección de fallos con lo cual se logre una elección idónea de la tecnología o método más acorde para la organización.

Por último, se recomienda la conjunción de sistemas de análisis especializados para la implantación del mantenimiento predictivo basados en filosofía como lo son la RCM, RBM, y TPM entre otras, recordando que la gestión óptima del mantenimiento se debe realizar de una manera conjunta con una integración total de las diferentes áreas de la organización.

## 8. Referencias

### Artículos de revista

- Robles, F. B. (2005). El mantenimiento predictivo es un pilar fundamental del RCM. *Preditecnico*, 18.
- Saaty, T. L. (1997). *Toma de decisiones para líderes el proceso analítico jerárquico la toma de decisiones en un mundo complejo*. Pittsburgh: RWS Publications.
- Saaty, T. L. (2008). Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy network process. *RACSAM; Rev. R. Acad. Cien. Serie A. Mat*, 102, 251-318.

### Libros

- Barraza, M. F. (2007). *El Kaizen la filosofía de la mejora continua e innovación incremental detrás de la administración por calidad total*. México D.F: Panorama Editorial. s.a.
- Duffuaa, S., Raouf, A., & Dixon, J. (2000). *Sistemas de Mantenimiento planeación y control*. México D.F: Grupo noriega editores.
- García, S. (2003). *Organización y gestión integral del mantenimiento manual práctico para la implantación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial*. España: Ediciones Diaz de Santos S.A.
- Taha, H. A. (2012). *Investigación de operaciones*. México: Pearson Educación.

- Villanueva, E. D. (2014). La productividad en el mantenimiento industrial. México: Grupo editorial patria.

### Fuentes electrónicas

- Aceved, A. M. (3 de 12 de 2012). Preditecnico. Recuperado el 03 de 06 de 2016, de <http://www.preditecnico.com/2012/12/tesis-doctoral-modelo-para-la.html>

### Sobre los autores

- **Cristian Alejandro Zafra Rodríguez:** Estudiante Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería Industrial, Universitaria Agustiniana. [cristian-zafra@hotmail.es](mailto:cristian-zafra@hotmail.es)
- **Flor Alba Méndez Martín:** Estudiante Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería Industrial, Universitaria Agustiniana. [floralbamm2@gmail.com](mailto:floralbamm2@gmail.com)
- **Alexander Reyes Moreno:** Ingeniero Industrial, Master en Administración de Empresas con Especialidad en Gestión de la Calidad, Seguridad y Medio Ambiente, Master en Administración Ambiental. Estudiante Doctorado en Ciencias Económicas y Administrativas. Profesor titular. [areyes946@hotmail.com](mailto:areyes946@hotmail.com)

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2016 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)