

CODIGO: 01-039

DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE ACTIVOS FÍSICOS PAS 55 ESTANDAR INTERNACIONAL CASO: PLANTA DE AUTOMOCIÓN-ESPAÑA

Luis Amendola

Universidad Politécnica de Valencia , PMM Institute for Learning

Tibaire Depool

PMM Institute for Learning.

Román Augusto Contreras Pérez.

PMM Institute for Learning.

Miguel Angel Artacho Ramirez

Universidad Politécnica de Valencia

Abstract

The need to improve the systems for maintenance management of physical assets of an automotives company located in Spain, took out a diagnosis of your current situation in terms of asset management to optimize maintenance and management costs associated. This study focused on two axes, assessing the efficiency and effectiveness of the maintenance (corrective strategies, preventive and predictive), and management of assets life cycle cost (LCC) through a mathematical model. This paper presents the methodology used in the diagnosis based on international standards and norms 55/ISO55.000 PAS, and proposed improvement. The diagnosis starts on a critically analysis considering multiple qualitative and quantitative criteria, and then evaluated the two axes of the study with emphasis on critical equipment. In conclusion this project proposes plan based on two objectives: monitoring and control of the efficiency and effectiveness of maintenance function (implementation of specific indicators), improves the efficiency of maintenance function (implementation of predictive strategies) and cost reduction (asset replacement plan).

Keywords: *assessment; criticality; asset management; diagnosis.*

Resumen

En respuesta a la necesidad de mejorar el sistema de gestión de mantenimiento de activos físicos de una empresa del sector de automoción localizada en España, se procedió a realizar un diagnóstico de su actual situación en cuanto a su gestión de activos, con el fin de optimizar su gestión del mantenimiento y costes asociados. Este estudio fue enfocado hacia dos ejes, evaluación de la eficiencia y efectividad del mantenimiento (estrategias correctivas, preventivas y predictivas), y gestión del coste del ciclo de vida de los activos (LCC) a través de un modelo matemático. En este trabajo se presenta la metodología empleada en el diagnóstico basada en estándares y normas internacionales PAS 55/ISO55.000, y las propuestas de mejoras realizadas. El diagnóstico parte de un análisis de criticidad de activos considerando múltiples criterios cualitativos y cuantitativos, y luego se evalúan los dos ejes comentados del estudio con énfasis en los equipos más críticos. Como conclusión de este proyecto se plantea un plan basado en dos objetivos: seguimiento y control de la eficiencia y efectividad del mantenimiento (implementación de indicadores específicos), mejora de la

eficiencia de la función del mantenimiento (implementación de estrategias predictivas) y reducción de costes (plan de sustitución de activos).

Palabras clave: *evaluación; criticidad; gestión de activos; diagnóstico.*

1.- Introducción.

En este artículo se describen los procedimientos para implementar de forma eficiente la gestión de activos en una planta de automoción. El estudio parte con un análisis de criticidad con el fin de evaluar los equipos más críticos de las dos secciones consideradas. Este estudio de criticidad fue punto inicial para enfocar los esfuerzos del mantenimiento a éstos equipos que presentan mayor riesgo para la producción. Posteriormente se realiza la evaluación los históricos, de los programas y de los planes de mantenimiento.

Cómo se estructuró el trabajo desarrollado: Primero se definieron los criterios con el equipo de Montaje Mantenimiento de la Planta de automoción y se realizó una evaluación de los fallos por equipo. La evaluación consistió, en primer lugar, revisar los fallos registrados en el equipo en el último periodo anual de operación (única información aportada). Esta revisión consistió en identificar si los fallos descritos realmente pertenecían a cada equipo, lo que permitió realizar una depuración de la información referidas a los fallos registrados. Este estudio ha permitido identificar realmente el número de fallos atribuible a un equipo concreto.

Adicionalmente, se ha realizado, un cálculo del ciclo de vida de los activos para evaluar la continuidad de los equipos más críticos.

Para la evaluación de la efectividad del mantenimiento a lo largo del tiempo para los activos más críticos, se ha implementado para éstos los indicadores de medida de la efectividad técnica del mantenimiento: Confiabilidad, TPPF (tiempo promedio para fallar), TPPR (tiempo promedio para reparar) y Disponibilidad.

2.-Descripción de la Planta

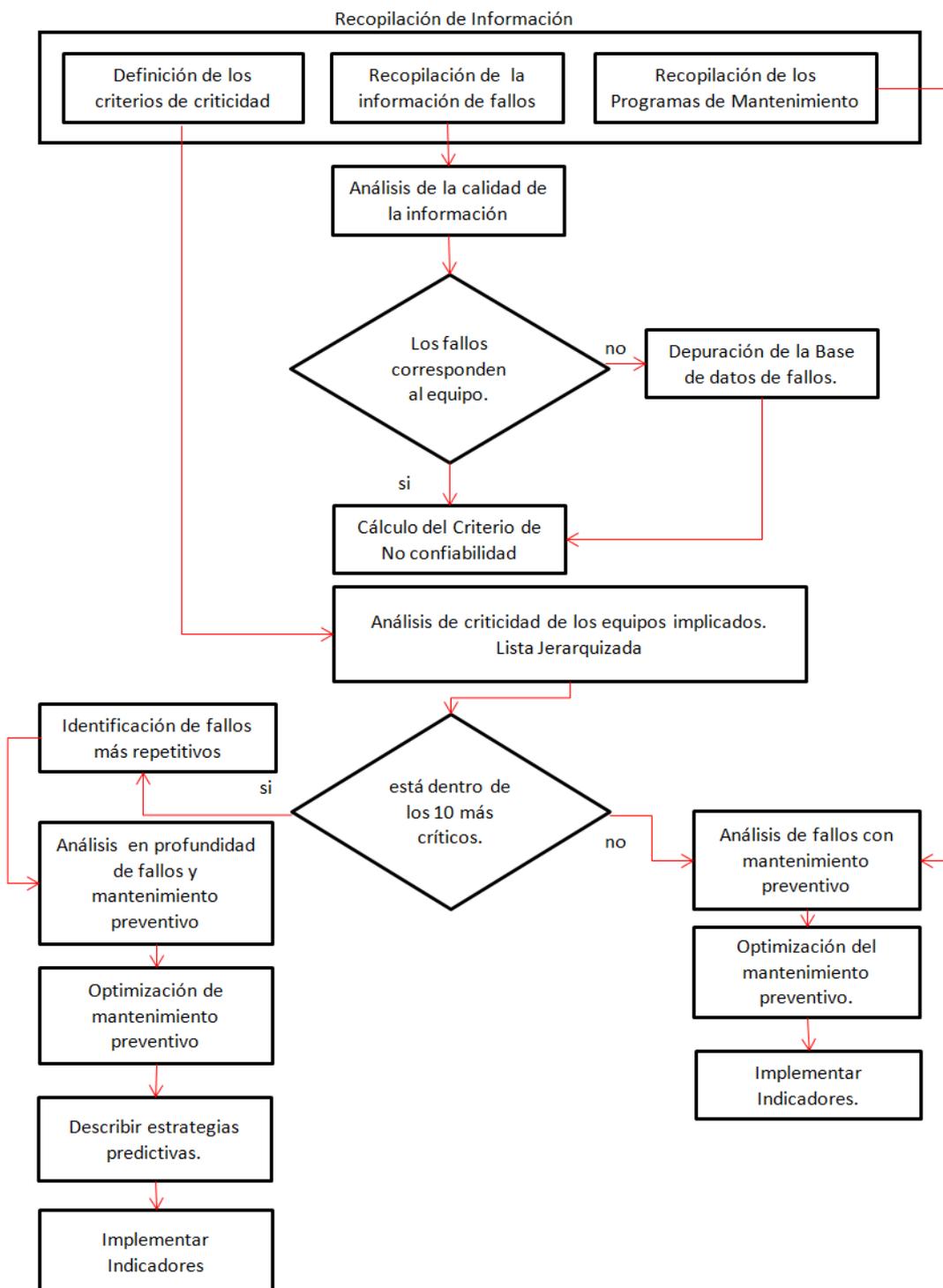
La planta de automoción motivo del estudio está ubicada en Europa específicamente España. El área planta donde se implementó el proyecto está constituida por dos secciones Pre-Chasis y Buy-Off. En este estudio participaron 72 personas de las secciones comentadas.

El procedimiento llevado a cabo en las unidades comienza con las carrocerías que llegan a Pre-Chasis y en ese mismo instante se genera la petición de asientos. Las puertas del vehículo llegan a través de los descensores al punto de ensamblaje y con ayuda de manipuladores neumáticos se ensamblan al vehículo al igual que los asientos. Finalmente las carrocerías terminadas se almacenan en el Buy-Off para ser secuenciada finalmente a Chasis.

3.- Metodología.

A continuación se describe la metodología empleada para optimizar la gestión del mantenimiento (figura 1).

Figura 1. Metodología para la mejora de la gestión del mantenimiento.



3.1.- Metodología para Determinar la Lista Jerarquizada de Equipos.

Para la optimización de los programas de mantenimiento de las secciones de Pre-Chasis y Buy-Off de la planta de automoción, como primer paso se ha realizado un análisis de criticidad de los equipos para crear una lista jerarquizada desde los equipos más críticos a los menos críticos. Al tener identificado los equipos más críticos del total indicado, se podrá establecer de una forma más eficiente la priorización de los programas y planes de mantenimiento preventivos y predictivos (NORSOK standard Z-008, 2001; Conoco Phillips 5047, 2002).

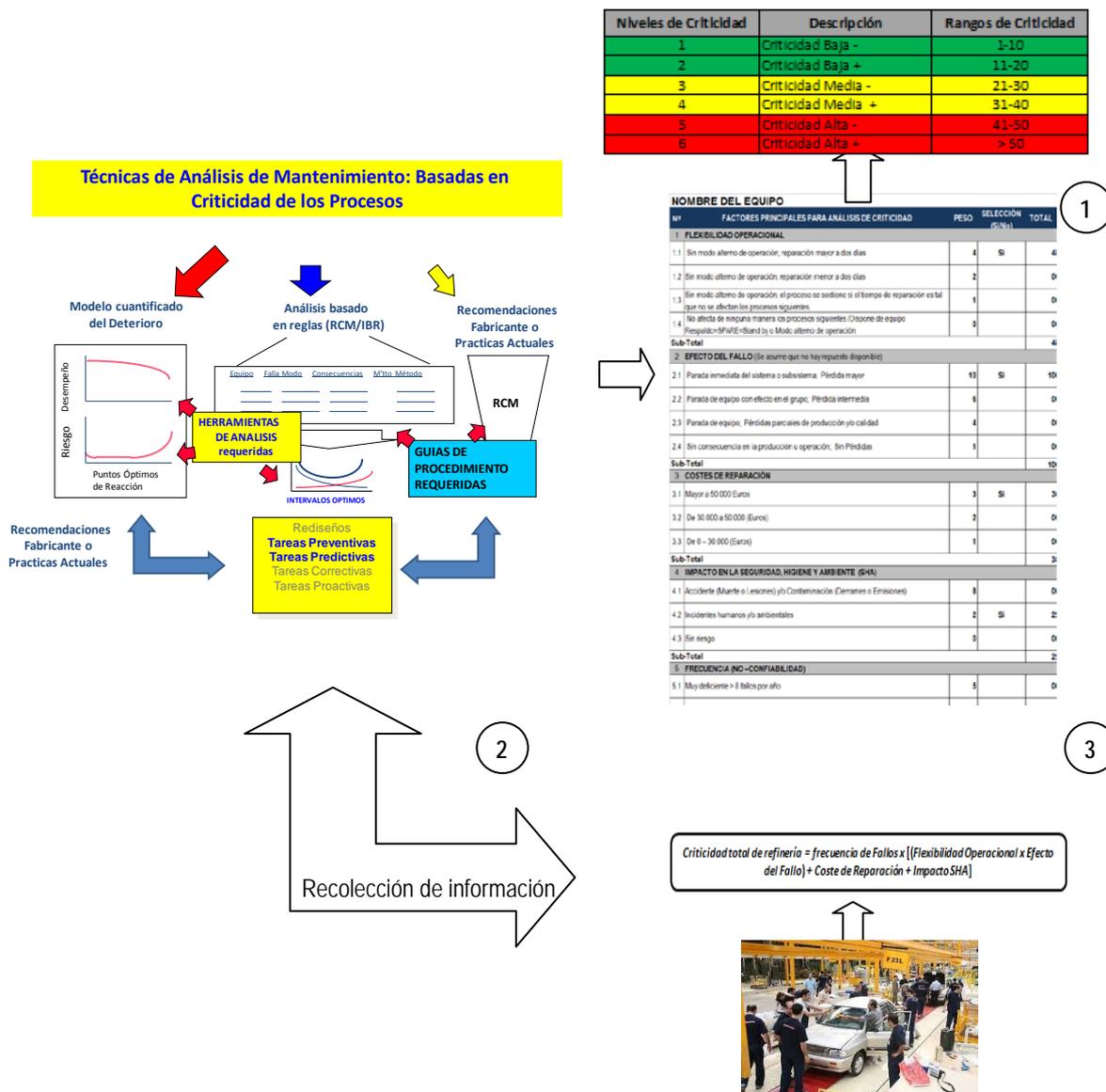
A continuación se describe gráficamente (*figura 2*) la metodología utilizada para el Análisis de Criticidad enfocada en la Gestión del Mantenimiento Integral de Activos Físicos. La metodología de análisis de la criticidad para este proyecto, parte de la definición de las **variables** (criterios) **ponderados** de acuerdo al contexto operacional (paso 1) y criterios de aceptación y tolerancia de Ford (ver *figura 2* número 1). Estos se seleccionan en base a los aspectos que son esenciales y que tengan gran impacto en la confiabilidad en las operaciones y mantenimiento específicas de la Planta de Automoción (NORSOK standard Z-008, 2001).

Un paso importante y que se realiza de forma paralela al paso 1 es recolectar, organizar, analizar la información aportada por el cliente (históricos y datos derivados de la experiencia operativa, etc.), y en algunos casos de fuentes documentales (paso 2), para determinar los valores de las variables a emplear en los factores de criticidad (paso 3).

El mejoramiento de la confiabilidad operacional, está asociado con cinco factores fundamentales (*figura 3*):

1. Flexibilidad operacional si se cuenta o no con un sistema alternativo de operación/producción).
2. Efecto de la falla (sobre producción y se asume que no se cuenta con repuestos).
3. Costes de reparación (costes mínimos admisibles, costes admisibles intermedios, costes inadmisibles).
4. Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (accidentes e incidentes asociados a las personas y al medio ambiente).
5. No-Confiabilidad o frecuencia de la falla.

Figura 2. Esquema del Método de Análisis de Criticidad de Equipos de Planta de Automoción para la Gestión de Activos Físicos (PMM Institute for Learning, 2007).



En este sentido, las variables bajo los cuales se realizará el análisis de criticidad a cada equipo, aplicando el Método Análisis de Criticidad de Equipos para la Gestión de Activos Físicos (PMM Institute for Learning, 2007) se distinguen en la siguiente figura 3. Los datos (variables) de esta tabla se pueden adaptar al contexto de la planta o parque industrial que sea parte del estudio.

Figura 3.- Tabla de Criticidad Empleada para la jerarquización de los equipos de acuerdo a la criticidad. (PMM Institute for Learning, 2007).

NOMBRE DEL EQUIPO				
Nº	FACTORES PRINCIPALES PARA ANÁLISIS DE CRITICIDAD	PESO	SELECCIÓN (Si/No)	TOTAL
1 FLEXIBILIDAD OPERACIONAL				
1.1	Sin modo alterno de operación; reparación mayor a dos días	4	Si	4
1.2	Sin modo alterno de operación; reparación menor a dos días	2		0
1.3	Sin modo alterno de operación; el proceso se sostiene si el tiempo de reparación es tal que no se afectan los procesos siguientes.	1		0
1.4	No afecta de ninguna manera los procesos siguientes /Dispone de equipo Respaldo=SPARE=Stand by o Modo alterno de operación	0		0
Sub-Total				4
2 EFECTO DEL FALLO (Se asume que no hay repuesto disponible)				
2.1	Parada inmediata del sistema o subsistema; Pérdida mayor	10	Si	10
2.2	Parada de equipo con efecto en el grupo; Pérdida intermedia	6		0
2.3	Parada de equipo; Pérdidas parciales de producción y/o calidad	4		0
2.4	Sin consecuencia en la producción u operación; Sin Pérdidas	1		0
Sub-Total				10
3 COSTES DE REPARACIÓN				
3.1	Mayor a 50.000 Euros	3	Si	3
3.2	> 30.000 hasta 50.000 (Euros)	2		0
3.3	De 0 hasta 30.000 (Euros)	1		0
Sub-Total				3
4 IMPACTO EN LA SEGURIDAD, HIGIENE Y AMBIENTE (SHA)				
4.1	Accidente (Muerte o Lesiones) y/o Contaminación (Derrames o Emisiones)	8		0
4.2	Incidentes humanos y/o ambientales	2	Si	2
4.3	Sin riesgo	0		0
Sub-Total				2
5 FRECUENCIA (NO –CONFIABILIDAD)				
5.1	Muy deficiente > 8 fallos por año	5		0

Estos factores se relacionan entre sí, por medio de un modelo matemático (ver expresión matemática 1) que da como resultado una puntuación para cada equipo evaluado (PMM Institute for Learning, 2007):

(1)

$$CRITICIDAD\ TOTAL = Frecuencia\ de\ fallos \times [(Flexibilidad\ Operacional \times Efecto\ del\ Fallos) + Coste\ de\ Reparación + Impacto\ SHA]$$

Con el valor de cada equipo (paso 3) se obtiene la lista jerarquizada y ponderada desde los equipos más críticos hasta los menos críticos del total presente en las secciones de Pre-chasis y Buy-off de la planta de automoción. Para ello se consideran tres niveles o zonas de clasificación de criticidad: alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad. Definidas las zonas de criticidad, permitirá implementar estrategias o acciones que mejoren la confiabilidad operacional al menor coste posible siempre que sea necesario (PAS55, 2008) a partir de la identificación del conjunto de equipos que estén en la zona de alta criticidad (figura 4).

Figura 3. Zonas de criticidad definidas para el estudio (Amendola et al; 1998; Amendola, 2006; PMM Institute for Learning, 2007).

Niveles de Criticidad	Descripción	Rangos de Criticidad
1	Criticidad Baja -	1-10
2	Criticidad Baja +	11-20
3	Criticidad Media -	21-30
4	Criticidad Media +	31-40
5	Criticidad Alta -	41-50
6	Criticidad Alta +	> 50

Un aspecto importante de destacar es que el equipo de PMM junto con el de planta de automoción, evaluaron los diferentes factores del análisis de criticidad para adaptar los diferentes criterios, valores y ponderaciones al contexto operacional de los equipos de las secciones de Pre-Chasis y Buy-Off.

3.2.- Metodología para la Evaluación y Mejora de la Gestión del Mantenimiento

Para la evaluación y posterior optimización de las actividades de mantenimiento de los equipos presentes en las secciones de estudio, se ha realizado un diagnóstico en base a la información aportada por el personal de la planta de automoción del estado actual del mantenimiento preventivo y correctivo de cada equipo. Aunado al análisis de fallos por equipo, se ha realizado también una comprobación de los diferentes programas de mantenimiento preventivo realizados actualmente, para tener un mayor conocimiento de las acciones que se llevan a cabo en los mantenimientos preventivos de las secciones de consideradas.

El equipo de trabajo de acuerdo a la información disponible, ha realizado un análisis comparativo entre la lista de fallos y los programas de mantenimiento preventivos. Como parte del ejercicio de optimización del mantenimiento, se evaluó por un lado si las frecuencias del preventivo eran las adecuadas y si éste tenía las actividades que mitigaban las causas del fallo registradas. Para realizar el estudio comparativo se elaboró una lista Excel con la información referida a: los fallos registrados, frecuencia de estos fallos, programas de preventivo que cubren al equipo y frecuencias de implementación.

En este punto se analizan en profundidad un total de 10 equipos, concretamente los Top Ten, es decir los primeros 10 equipos más críticos. En ellos se ha analizado los fallos registrados y los programas del mantenimiento preventivo implementado.

Se han sugerido propuestas de optimización de éste y se han descrito las propuestas para la implementación de estrategias predictivas. Además se ha propuesto el uso de indicadores de eficiencia del mantenimiento.

El cálculo de los indicadores del mantenimiento permitirá en un futuro realizar una comparación de la efectividad de mantenimiento y tomar decisiones basados en datos, considerando entre donde estaba en el pasado a nivel de mantenimiento (baseline) y el hoy o el actual desempeño del mantenimiento.

Esto permite evaluar la efectividad de los rediseños o mantenimientos proactivos basado en datos, evaluar y diseñar contenidos de programas, comprobar la efectividad del preventivo-correctivo, prever y optimizar los recursos humanos, y materiales necesarios para el mantenimiento, modificar o diseñar las políticas de mantenimiento a utilizar, calcular instantes óptimos de sustitución económica de equipos, establecer frecuencias óptimas de intervenciones e inspecciones preventivas, etc. (Amendola, 2003, 2003b, 2005, 2007; Parmenter, 2007).

Para la implementación se deberán evaluar por periodos de tiempo fijos, es decir, una vez implementados se deberá fijar el periodo de tiempo de evaluación. Por ejemplo, si la evaluación se realizó en enero 2011 se debería volver a realizar en Enero del 2012, para periodos de comparación de un año.

A continuación se describen lo más importantes:

Tiempo Promedio para Fallar (TPPF) – Mean Time To Fail (MTTF):

Este indicador mide el tiempo promedio que es capaz de operar un activo a capacidad sin interrupciones dentro del periodo considerado; éste constituye un indicador indirecto de la confiabilidad (Amendola, 2005, 2007). El Tiempo Promedio para Fallar también es llamado Tiempo Promedio Operativo o Tiempo Promedio hasta el Fallo. Regularmente se emplean indistintamente para los análisis de confiabilidad el MTTF o MTBF, ya que representa un tiempo medio de operatividad del equipo. Pero la aplicación del (MTTF) como término, es usualmente empleado para representar estadísticamente el instante en que se producirá el fallo una vez que ha sido puesto el equipo en servicio (Ver expresión matemática 2).

(2)

$$MTTF = \frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Nº de fallos}}$$

Dicho de otra forma, el TPPF se posiciona como un punto central en la distribución normal de densidad de fallos, punto que representa la media en el tiempo, de los fallos para una determinada población del mismo equipo. Con respecto a las horas operadas se refiere a las que el equipo estuvo activo. No obstante, para el caso de las secciones de pre-chasis y Buy-off, no se tienen las horas reales en las que el equipo ha estado operativo. Como estimación se empleará los turnos de trabajo de estas secciones, es decir, dos turnos de 8 horas.

Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) – Mean Time To Repair (MTTR):

Es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un activo. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un período de tiempo determinado. El Tiempo Promedio para Reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento (Ver expresión matemática 3).

(3)

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de reparación}}{\text{Nº de fallos}}$$

La expresión anterior se refiere al tiempo promedio en que puede ser reparado un equipo. Se entiende como horas de fallos, el tiempo en horas que transcurre desde que el equipo falló hasta que el equipo es nuevamente puesto en servicio. Es decir, las horas de fallos se consideran igual al tiempo para reparar.

Confiabilidad:

Se define como la probabilidad de que un activo cumpla la función de forma adecuada sin fallos, durante un periodo de tiempo, bajo unas condiciones operativas específicas y ambientales determinadas (Amendola, 2003, 2007). También se podría considerar como la probabilidad de que un dispositivo o equipo en espera se ponga en marcha cuando se le necesite, entendiendo por equipo en espera aquel que está momentáneamente inoperativo a la espera de entrar en servicio (Martorell et al., 1995; Muñoz et al., 1997).

A continuación una expresión de la confiabilidad C que sigue una distribución exponencial (ver expresión matemática 4).

(4)

$$\text{Confiabilidad} = e^{\left(\frac{-t}{MTTF}\right)}$$

Disponibilidad:

Es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. Y en el caso de que hubiese tenido un fallo, este debió haber sido reparado en un tiempo menor que el máximo permitido para su restauración. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el TPPF y el TPPR, es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad (Ver expresión matemática 5).

(5)

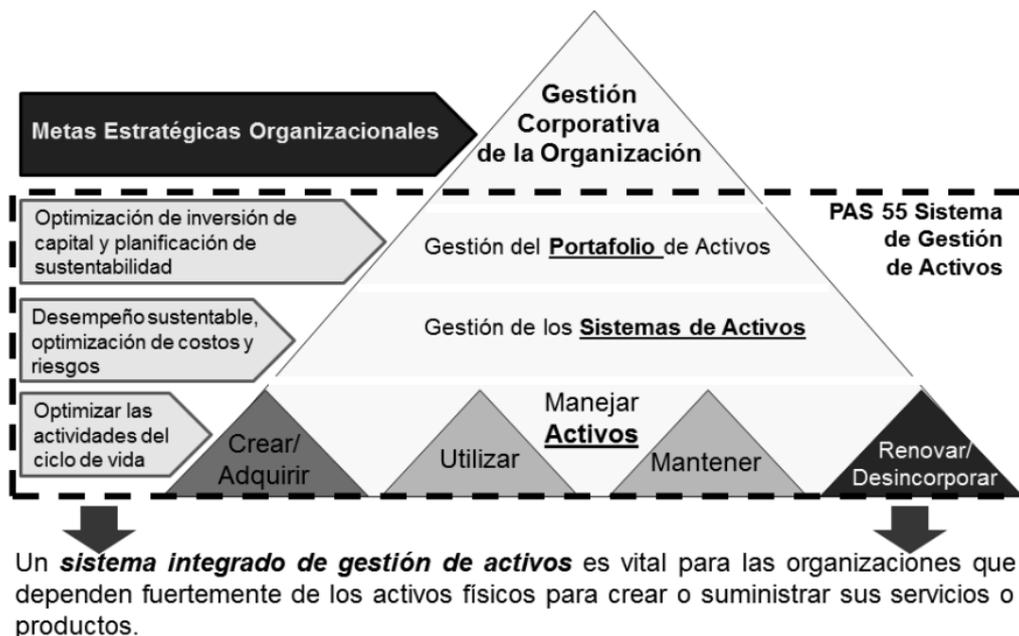
$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \times 100$$

3.3.- Metodología para el Cálculo del Ciclo de Vida de los Activos.

De acuerdo con el estándar PAS 55 (2008) la organización deberá establecer, documentar y mantener un plan o planes de gestión de activos para lograr la estrategia e implementar los objetivos de la gestión de activos durante las siguientes actividades del ciclo de vida:

- Creación, adquisición o mejora de los activos (proactivos).
- Utilización de los activos.
- Mantenimiento de activos.
- Puesta fuera de servicio y/o desincorporación de los activos.

Figura 5. Sistema integrado de gestión de activos basado en la PAS 55:2008



Método para Mantenimiento y Ciclo de Vida (LCC).

Se cuenta con diversos métodos de cálculo del LCC en la literatura y entre ellas se ha seleccionado aquella que puede ser aplicada a la Planta de Montaje de autos de acuerdo a los datos disponibles. Lo ideal sería aplicar un método en el que se evaluara el coste energético del equipo más aún cuando a los aspectos de eficiencia energética están siendo un tema importante a nivel industrial no sólo a nivel de cuidado ambiental si no que puede representar su racionamiento entre un 20 a un 40% de reducción de la factura por gasto energético.

Cálculo del costo de ciclo de vida

El Costo de Ciclo de Vida se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación (ver expresión 6):

(6)

$$CCV = CI + VAN (CO+CM+CP)$$

Dónde:

- **(CCV)** es el Costo de Ciclo de Vida.
- **(CI)** es el Costo de Inversión (el cual incluye costos tales como máquinas, edificios, calles, instalaciones);

- **(CO)** es el Costo de Operación (el cual incluye personal, energía, materiales e insumos, transporte, entrenamiento del personal y calidad);
- **(CM)** es el Costo de Mantenimiento (el cual incluye los costos de personal de mantenimiento, los materiales y repuestos, tanto en lo dedicado al proactivo, al correctivo como a los rediseños, además de los costos de entrenamiento de este personal);
- **(VAN)** es el Factor de Valor Actual Neto, para actualizar los costos de operación, mantenimiento y paradas de los años futuros. Para el VAN se deben especificar el valor (r) tasa de interés a que se descuenta los pagos futuros, y el valor (n) el número de años considerado;
- **(CP)** es el Costo de Parada, que se expresa por la ecuación (ver expresión 7):
(7)

$$CP = NP \times TMP \times CPP$$

- Donde **(NP)** es la Frecuencia de Paradas, **(TMP)** es el Tiempo Medio de Paradas y **(CPP)** es el Costo Perdido de Producción por hora.

4.- Resultados y Propuestas de Mejora.

Después del correspondiente análisis de los fallos en los equipos de la planta de automoción y de sus respectivos programas de mantenimiento, se observan en líneas generales los siguientes problemas y las soluciones que se plantearon.

Se han observado un gran número de fallos a los que no se les pueden determinar las causas correctas (falta de datos bien documentados), además de presentarse una elevada cantidad de fallos imputados a equipos erróneos, es decir, que se registraban los fallos a equipos que no correspondían debido a que no se dispone de un sistema adecuado para el reporte de fallos, así como, no disponer de un catálogo de fallos posibles para cada equipo de la planta.

Visto esto se van a enumerar las siguientes estrategias que se tomaron de carácter general para la mejora de la gestión:

- La primera acción a tomar fue disponer o implementar un sistema adecuado para el reporte de los fallos.
- Disponer de un catálogo de fallos estandarizados para cada equipo para que se pueda reportar el fallo de forma clara y precisa para, de este modo, tener más controlados los fallos y determinar la mejor solución para eliminarlos.
- Implementación de un seguimiento por periodos de tiempo fijos (ejemplo anual), de la efectividad de los planes preventivos, predictivos y las modificaciones o mantenimiento proactivo (actualmente no se está realizando). Esto se realizará con los indicadores de confiabilidad descritos.
- Dado que los equipos rotativos de planta de montaje de autos giran a revoluciones bajas y no continuas, una de las técnicas más adecuadas de predictivo además de la termografía, es la implementación de diagnóstico por ultrasonidos.

- En equipos lubricados como moto-reductores se puede determinar si el nivel de lubricante es adecuado como el estado del rodamiento o cojinete por medio de la señal acústica.
- El diagnóstico por ultrasonido permite identificar fugas en sistemas neumáticos como los cilindros de mesa. También se pueden determinar descargas por arcos eléctricos en el caso que los haya o fallos de aislante de forma temprana, siendo un excelente suplemento a la termografía implementada en los cuadros de mando. Adicionalmente la técnica de ultrasonidos tiene bajos costes de implementación y no se ve influenciada por las condiciones ambientales ni los ruidos adicionales presentes en la planta.
- A medida que avanza la implementación óptima del mantenimiento calcular el número adecuado de operadores, supervisores y planificadores. Esto en base a los tiempos y programas optimizados requeridos para los mantenimientos de los equipos y por su puesto la mejora de la efectividad del personal que se encarga de las acciones de mantenimiento.
- Por último, es requerido implementar la gestión de activos en base al ciclo de vida de los activos (PASS 55, 2008) como ha sido indicado en el apartado 2.3

5.-Conclusiones

La Implementación de este proyecto es un gran paso a la mejora de la gestión del mantenimiento en la planta de automoción. Un buen sistema de gestión de activos no debe estar dedicado sólo a reparar al encontrarse un fallo (forma reactiva), si no que a través del cual se genere y preserve para cada equipo, bases de datos con toda la información relacionada con el equipo, costes de reparación, costes de mantenimiento, recambios, readaptaciones, instalaciones, formación para su uso adecuado, consumos eléctricos, unidades no producidas por fallos, precio de compra, pérdidas económicas, antigüedad del equipo, consumo energético, etc. y por supuesto la implementación de indicadores para la evaluación del desempeño que finalmente se traducirá a mejora continua.

La aplicación de un modelo de gestión del ciclo de vida de los activos, permitirá a la organización evaluar el desempeño de sus equipos en aspectos como: adquisición de nuevos activos, consumo de energía y eficiencia energética, mantenibilidad, disponibilidad y por supuesto evaluar la continuidad o no del activo.

La suma de todos estos elementos permitirá finalmente a la planta de automoción alcanzar su plan estratégico organizacional basado en la normativa para la gestión de activos PAS55.

6.- Bibliografía.

Amendola, Luis; González, José. Documento Técnico Análisis de Criticidad Complejo Gasífero Planta de Metanol – Mitsubishi Gas Chemical & Mitsubishi Corporation (1998).

Amendola L. (2003). Indicadores de Confiabilidad, Propulsores en la Gestión del Mantenimiento. Departamento de Proyectos de Ingeniería Universidad Politécnica de Valencia. 2003.

Amendola L. (2003b). Retorno de la Inversión en la Gestión de Activos (*Maintenance Balanced Scorecard*) Universidad Politécnica de Valencia. Asociación española del mantenimiento. 2003.

Amendola L. (2005). Sistemas Balanceados en la Gestión de Activos, (*Maintenance Scorecard*). PMM Institute for Learning. 2005.

Amendola, Luis (2006). Gestión de Proyectos de Activos Industriales, Asset Management. Editorial: Universidad Politécnica de Valencia (2006). ISBN: 978-84-8363-052-5.

Amendola L. (2007). Organización y Gestión del Mantenimiento, Mantenimiento como negocio "Balanced Scorecard". Ediciones PMM Institute for Learning. ISBN 978-84-935668-1-4. 2007.

Conoco Phillips 5047. Criticality Analysis for Maintenance (2002).

Martorell S., Serradell V., Otros. (1995). Improving allowed outage time and surveillance test interval requirements: a study of their interactions using probabilistic methods, Reliability Engineering and System Safety, 47, pp. 119-129, 1995.

Muñoz A., Martorell S., Serradell V. (1997). Genetic algorithms in optimizing surveillance and maintenance of components, Reliability Engineering and System Safety, nº. 57, pp. 107-120, 1997.

NORSOK (2001) standard Life cycle cost for systems and equipment O-CR-001, Rev.1. 2001

Norsok Standard Z-008 . Criticality Analysis for Maintenance. Oslo (2001).

Parmenter, D. (2007). Key Performance Indicators Developing, Implementing and Using Winning KPIs. Editorial: Wiley. 2007

PAS 55 (2008). Gestión de Activos "*Asset Management*". Parte 1 Especificaciones para la gestión optimizada de activos físicos. British Standards. 2008.

PAS 55 (2008). Gestión de Activos "*Asset Management*". Parte 2 Directrices Para la Aplicación de la PAS 55. British Standards. 2008.

PMM Institute for Learning. Documento Técnico: Análisis de Criticidad Orientado a la Gestión de Activos Físicos. PMM Institute for Learning, Asset & Project Management. Valencia España (2007).