

El trinomio “Eficiencia energética, Fiabilidad, Mantenibilidad”: Relaciones y mejora con técnicas de gestión del conocimiento

F.J. Cárcel Carrasco*; C. Roldán Porta*; M. Pascual Guillamón*; V. Blanca Giménez*

**Universidad Politécnica de Valencia; email: fracarc1@csa.upv.es*

Abstract

Within the strategic aspects in the industrial plant, get the availability suitable for the achievement of the productive processes or services, ensuring the reliability of facilities or equipment, is vital to the very survival of the company. Many times the "energy efficiency" aspect, is studied a separately considering it mainly as an economic factor resulting in the final price of the product or service that is produced. However, the three factors (reliability, maintainability and efficiency), are closely interrelated and should be studied jointly for the operational optimization of the industrial plant or building services. This article following a review of the literature is to translate the relationships between the three factors, how they interact among them, and the improvements that can lead on the enterprise with knowledge management techniques.

Keywords: *Energy efficiency; Industrial maintenance; knowledge management*

Resumen

Dentro de los aspectos estratégicos en la planta industrial, el conseguir la disponibilidad adecuada para la consecución de los procesos productivos o de servicios, garantizando la fiabilidad de las instalaciones o maquinaria, es vital para la propia supervivencia de la empresa. Muchas veces el aspecto “eficiencia energética”, se estudia de una manera separada considerándolo principalmente como un factor económico que redundaría en el precio final del producto o servicio que se produce. Sin embargo, los tres factores (fiabilidad, mantenibilidad y eficiencia energética), están íntimamente relacionados, y deben ser estudiados de manera conjunta para la optimización operativa de la planta industrial o edificio de servicios. Este artículo, tras una revisión de la literatura, trata de plasmar las relaciones entre los tres factores, como interactúan entre ellos, y las mejoras que pueden redundar sobre la propia empresa con la utilización de técnicas de gestión del conocimiento.

Palabras clave: *Eficiencia energética; Mantenimiento industrial; Gestión del conocimiento*

1. Introducción

A la hora de plantear un servicio de mantenimiento, es de vital importancia, tener un profundo conocimiento de las instalaciones, transformar el conocimiento tácito estratégico de las experiencias operativas de los operarios de mantenimiento en explícito, que sin duda profundizan en el estudio de las medidas de eficiencia energética y valorar la fiabilidad de las instalaciones, con el conocimiento del proceso del fallo, que hace mejorar la productividad de la empresa (Alsyouf, 2007; López et al., 2005), identificando los datos y la información relevante para mejorar el servicio (Kans, 2009; Basim et al., 2006).

El mantenimiento para conseguir la disponibilidad requerida, parece en numerosas ocasiones llevar caminos paralelos que no interactúan con la fiabilidad operativa global y con la eficiencia energética, que suele estudiarse como procesos desligados. Sin embargo, cuando se hace un análisis conjunto, se derivan las relaciones entre ellos (Eti et al., 2007), que hace una interacción mutua relacional, cuantificándose en una mejora de la eficiencia

de todos los procesos, y por sinergia, una mejora en los resultados financieros de la empresa (reducción de fallos que producen pérdidas colaterales, mejora y reducción de los tiempos de mantenimiento, y un menor consumo energético).

El concepto de fiabilidad implica el funcionamiento de un sistema o equipo en las condiciones requeridas, y que depende de forma directa del MTBF (tiempo medio entre fallos). Con la utilización de modelos de gestión del conocimiento, que ayuden a captar la información relevante (Sing, 2008) y el conocimiento en base a la experiencia de los operarios, la fiabilidad operativa debe incrementarse por diversas razones ligadas a la mejora de la actividad de mantenimiento:

- Por un lado, la gestión de la información posibilita la centralización: las condiciones para el uso eficiente, que afecta en la demanda energética.
- Por otra parte, con un sistema de auto-aprendizaje, posibilita la aceleración y seguridad en la toma de decisiones a través de una mayor implicación en las actuaciones a realizar.

Todo lo mencionado se traduce en que un adecuado estudio y captación del conocimiento estratégico (Chee et al., 2012; Uusipaavalniemi et al., 2009; Bailey et al., 2008) que permita el intercambio de la información (Carr et al., 2007), incide conjuntamente sobre la fiabilidad, la eficiencia energética y las propuestas de acciones de mantenimiento, y que pueda ser utilizado por toda la organización de mantenimiento, induce una disminución de los tiempos de actuación en la reparación de averías, mayor eficiencia en dichas reparaciones y prorroga la vida de los elementos y equipos

En este artículo, tras una pequeña revisión de la relevancia de la gestión del conocimiento e indicar los principios de un modelo para la gestión de conocimiento en mantenimiento, se establecen las variables que condicionan la fiabilidad operacional, la mantenibilidad y la eficiencia energética, mostrándose las observaciones y conclusiones de un estudio empírico realizado durante dos años en una empresa industrial de la comunidad valenciana (España), que durante un periodo de dos años, se han introducido un modelo de gestión del conocimiento para el departamento de mantenimiento para mejorar sus actividades estratégicas fundamentales, analizando una de sus instalaciones fundamentales (refrigeración industrial).

2. Relevancia de la gestión del conocimiento en el mantenimiento industrial

Dentro del contexto táctico de mantenimiento, si definimos la gestión del conocimiento como un proceso a tener en cuenta dentro de dicha actividad, un enfoque de este podría estar integrado básicamente, por la generación, la codificación, la transferencia y la utilización del conocimiento (Nonaka et al., 1995, 1999; Wiig, 1997; Rodríguez, 2006; Bueno 2002).

Con un cambio hacia un modelo basado en el Conocimiento y el Aprendizaje, la organización se centra en la capacidad de innovar y aprender, visualizando el conocimiento como factor estratégico, por ello la resolución de problemas y las tomas de decisiones deben tener un soporte basado en la disponibilidad de la información y conocimiento clave, la capacidad de analizar y de construir futuro de esa sociedad (Peluffo et al, 2002):

La actividad de mantenimiento, tal y como está organizada y por su propia especificidad, genera fundamentalmente conocimiento tácito basado en la experiencia, a niveles muy superiores al explícito, que además se registra de forma fragmentada. En general, se cuenta con trabajadores maduros, con mucha experiencia debido a la gran especialización requerida y, además, se confecciona un tipo de información poco elaborada y débilmente orientada a la toma de decisiones.

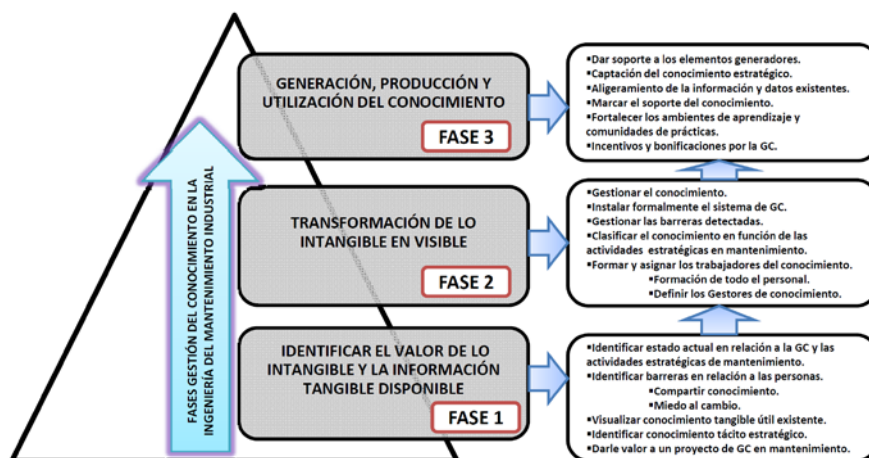
El sistema propuesto debe tratar de integrar conceptos y técnicas de aplicación al Mantenimiento, con objeto de dar respuesta al problema de la pérdida de la experiencia,

reducir los tiempos de actuación y aumentar la eficiencia del servicio de mantenimiento (ante la operación, fiabilidad y mejora de la eficiencia energética).

3. Modelo de de gestión del conocimiento basado en la fiabilidad, mantenibilidad y eficiencia energética.

El modelo de gestión del conocimiento aplicado al mantenimiento industrial, se desarrolló pasando por tres fases fundamentales, desde la identificación del conocimiento intangible y tangible útil, detectando las barreras para su implantación, la transformación de lo intangible en tangible, finalizando en los procesos para la generación, producción y utilización del conocimiento (Figura 1).

Figura 1. Fases de la evolución de la gestión del conocimiento en mantenimiento industrial.
Fuente: Elaboración propia.



En una primera fase fundamental, se identifica el valor del conocimiento intangible (conocimiento tácito), así como la situación de la información tangible existente (planimetría, memorias, proyectos, manuales, etc.), para en fases posteriores desbrozar o resumir la información fundamental..

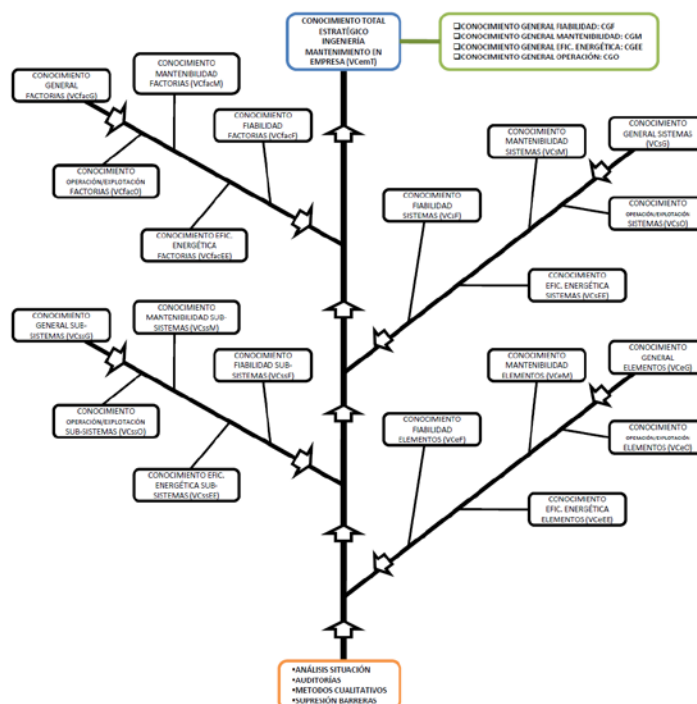
Posteriormente en una segunda fase, se formalizan los procedimientos y estrategias para el soporte del modelo de GC, donde se va transformando lo intangible en visible,

Esta segunda fase requiere un profundo estudio, para extraer el conocimiento tácito implícito en el personal operativo de mantenimiento, así como el aligeramiento de la información explícita que existe en la organización, con el fin de articular la plataforma tecnológica que dará soporte al contenedor del conocimiento.

En la tercera fase, se produce el asentamiento y continuidad del sistema de GC, dando soporte a los elementos generadores con la captación del conocimiento estratégico y fortaleciendo los ambientes de aprendizaje y las comunidades de prácticas.

El conocimiento se ha estructurado desde lo general a lo particular (Figura 2) y en función de los cuatro aspectos estratégicos que desempeña: la fiabilidad, la operación en explotación, la mantenibilidad y la eficiencia energética, creciendo en función del conocimiento básico global o general en lo que se ha definido como árbol de conocimiento (figura 2),

Figura 2: Árbol del conocimiento de la empresa en función de las acciones estratégicas.
Fuente: Elaboración propia.



Esencialmente hay dos tipos de mantenimiento: preventivo y correctivo, y para cada uno de éstos hay numerosos procedimientos específicos. En el mantenimiento preventivo, el objetivo es incurrir en gastos modestos de servicio del equipo, con el fin de evitar fallos potencialmente caros durante su funcionamiento (Eti et al., 2006a, 2006b; Badia et al., 2006; Aghezzaf et al., 2007). En contraste, el mantenimiento correctivo (o reparación) es la respuesta al fallo del equipo con el fin de devolverlo a un estado de funcionamiento. Para ambas clases de mantenimiento, puede asumirse que existen varios tipos de estructuras de coste y varios tipos de patrones de comportamiento de los equipos. Es importante notar que el modelado y análisis de los procedimientos de mantenimiento de equipos requieren a menudo considerar el sistema completo en vez de sus componentes individuales.

En la fase de observación de los síntomas y manifestaciones del fallo se trata de percibir información, a través de la observación sensorial directa, de la experiencia, de los conocimientos teóricos previos, de la información registrada, y de la medición o verificación a través de pruebas y ensayos. El análisis de esa información permite la identificación previa y con cierta inmediatez del fallo. Se perciben ya algunos accidentes del fallo; como, por ejemplo, lugar, posición o elemento que soporta el fallo.

En la fase de detección se obtienen comprobaciones pertinentes y contrastables sobre el fallo, que se completan en las dos fases siguientes: en la de delimitación se determinan básicamente los límites en el cumplimiento de la especificación y el proceso de fallo, en la de descripción se investigan las circunstancias del fallo (qué, dónde, cuándo, etc.).

Aunque podrían generarse dificultades conceptuales y de captación de la información, la consideración de determinados estados intermedios, desde funcionar adecuadamente a estar averiados (como sería el caso de tener que producir a baja capacidad, o con un consumo energético excesivo, o con alguna deficiencia de calidad), puede mejorar sensiblemente el conocimiento del comportamiento del equipo en base a la experiencia sobre variados escenarios. Esto ha de añadir necesariamente un conocimiento específico valioso sobre los diferentes modos de fallo.

4. Caso de observación: Fiabilidad en la explotación, mantenimiento y Eficiencia Energética, relaciones y mejora con la utilización de técnicas

de GC, en una instalación de refrigeración industrial de una factoría del sector alimentario

El caso de observación de la presente investigación, se centra en los procesos y revisiones realizadas en una factoría industrial en la provincia de Valencia (España), del sector alimentario, en donde se ha introducido, y dado continuidad, durante un periodo de dos años, un modelo de gestión del conocimiento con el fin de capturar, generar, transferir y utilizar, todas aquellas experiencias y conocimiento estratégico (en su mayoría de naturaleza tácita), en función de las cuatro acciones estratégicas que se han definido en base a los elementos y sistemas, la fiabilidad, la mantenibilidad, la operación de explotación y la eficiencia energética.

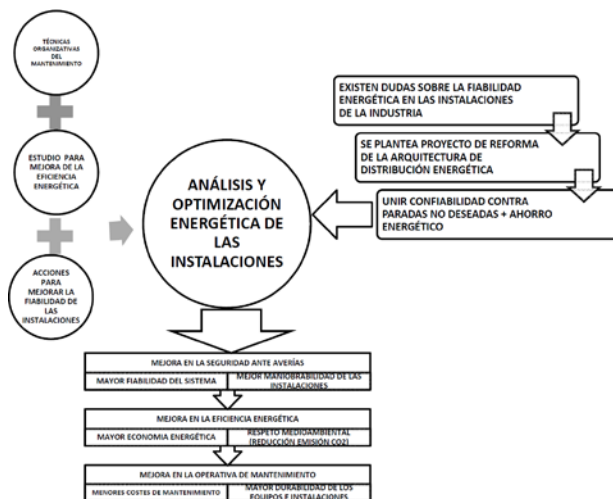
El proceso se centra en referencia a mejorar la eficiencia energética de la planta de refrigeración industrial de la factoría, para detectar acciones y conocimiento que de igual manera afectan a la fiabilidad del sistema y su mantenibilidad.

Dentro de las características energéticas del sector cárnico (Alcázar et al., 2012; Tsarouhas, 2007), como es el presente caso, la refrigeración industrial es una de las instalaciones más intensivas en consumo energético, observado en base a la contabilidad energética realizada, permitiendo ponderar hacia donde debe centrarse el esfuerzo inicial de ahorro energético.

El proceso no sólo se debe centrar en conseguir la adecuada optimización energética (figura 3), sino en base al conocimiento y utilización del conocimiento adquirido, ser utilizado por todos los miembros de la organización de mantenimiento, para mejorar y relacionar los otros factores influyentes, tales como la fiabilidad y la mantenibilidad.

Figura 3. Planteamiento de acciones con orientación hacia los tres aspectos estratégicos.

Fuente: Elaboración propia



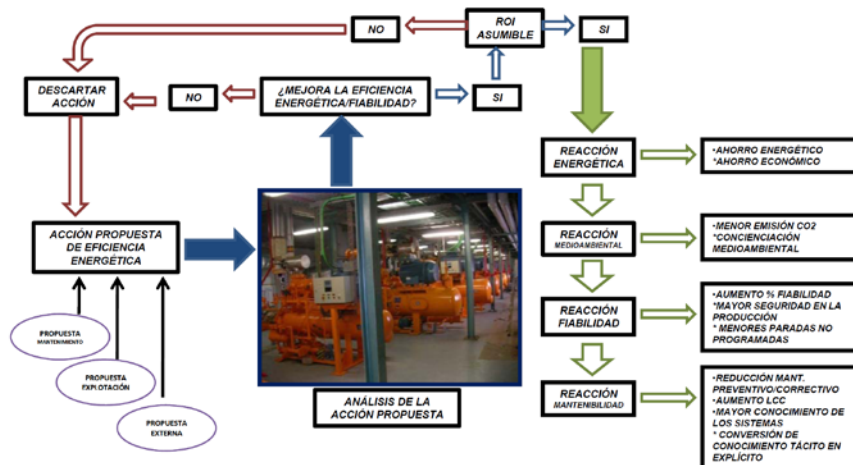
Los indicadores que se pretenden conseguir mediante la incidencia en los parámetros fundamentales, en base a la formación, transferencia del conocimiento entre todos los miembros de mantenimiento son los siguientes:

- Costes energéticos: Se producirá una reducción consumo energético.
- Costes de mantenimiento: reducción de acciones. Aumento LCC.
- Aumento de la fiabilidad.
- Otros factores: mejora medioambiental (tasas de emisión de CO2).

Indudablemente, toda las acciones deben ser acometidas en función de una rentabilidad, con un retorno de la inversión asumible (ROI), ponderando todas las acciones que influyen

sobre el equipo o el sistema a tratar (figura 4). En los puntos posteriores se analizan las repercusiones que se deben conseguir con la metodología propuesta, en relación a las condiciones sociales y del conocimiento, al diagnóstico energético, a las oportunidades de ahorro de energía, la fiabilidad y el mantenimiento industrial.

Figura 4. Ciclo para definir acciones hacia la mejora eficiencia energética y fiabilidad. Fuente: Elaboración propia



Durante un periodo de dos años aplicando procesos para compartir el conocimiento y las experiencias aisladas observadas por los diferentes operarios, y en este caso transferidas al contenedor del conocimiento para ser compartida por todos los miembros de la organización de mantenimiento, llevó a unos resultados que se pueden resumir entre los siguientes:

Condiciones referente al factor social y humano en base a la utilización de las técnicas de GC:

Indudablemente la variable social y humana es de gran importancia para la consecución de la mejora de eficiencia energética de la industria, cuyo fin es conseguir un personal involucrado y concienciado, pautas de compromiso, relaciones interdepartamentales, alto conocimiento del funcionamiento de los sistemas, conocimiento compartido, marketing ecológico, así como delimitar y reducir el error del factor humano (Dhillon et al., 2006; Jo et al., 2003; Rankin et al., 2003), evaluando los riesgos asumidos (Lind et al., 2008)

Condiciones sobre el diagnóstico energético en base a la utilización de las técnicas de GC:

Otra fase será estudiar las condiciones energéticas que tenemos en nuestros equipos, instalaciones, sistemas e industria en general. Para observar las pautas generales a tener en cuenta, en todas la acciones a realizar. Principalmente observando las condiciones de funcionamiento, condiciones de operación de equipos e instalaciones, condiciones de sectorización energética y los ratios de intensidad energética.

Como consecuencia de lo anterior, se analizarán las acciones a realizar. Todo ello vendrá precedido de una auditoría energética interna o externa que puedan motivar acciones de desarrollo presentes o futuras en función de retorno de la inversión visualizando la. evaluación de propuestas de mejora, acciones de decisión ahorro/inversión, los Sistemas de medida/seguimiento y la mejora medioambiental

Condiciones en base a la fiabilidad con la utilización de técnicas de GC:

Al realizar las acciones para el aumento de la eficiencia energética, se persigue conseguir aumentar la fiabilidad de las instalaciones en numerosos casos. Hay ocasiones que lo prioritario es el estudio de la fiabilidad del sistema, con lo cual se realizará el estudio de

cómo afectará de igual manera al ahorro energético a la actividad de mantenimiento en la planta industrial: mejora de la fiabilidad, mejora de las prestaciones, aumento del rendimiento, reducción de acciones de mantenimiento

Condiciones sobre técnicas organizativas de mantenimiento en base a la utilización de las técnicas de GC:

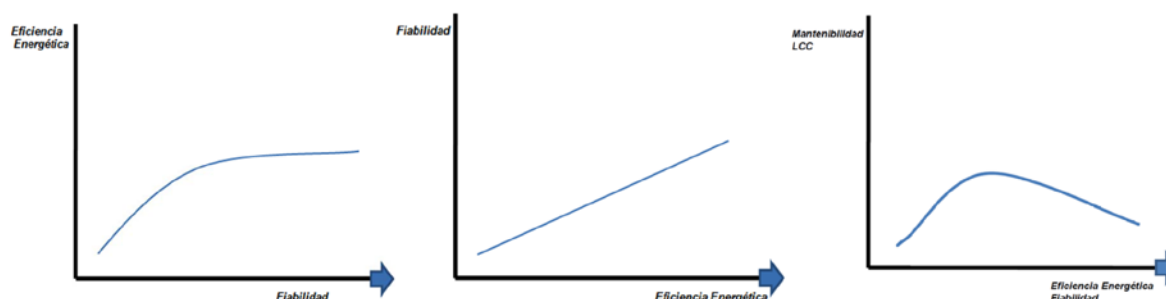
Con relación al mantenimiento industrial, las acciones de eficiencia energética conllevarán las siguientes relaciones:

- RCM, TPM, MBC: Se partirán de técnicas organizativas, en especial desde el mantenimiento basado en el conocimiento, para implantar un mantenimiento basado, igualmente, en la eficiencia energética.
- Auto-aprendizaje: Todas las acciones deberán estar registradas en los anejos característicos de mantenimiento, para conseguir una formación a todos los componentes del equipo.
- Información: Toda la información tácita deberá transformarse en explícita, teniendo un registro de buenas prácticas y posibles acciones futuras de mejora en base a la experiencia acumulada.
- Reducción de actuaciones: Consecuencia del mejor uso del equipamiento.
- Actuación ante contingencias: Se reducirá el tiempo de actuación ante sucesos no deseados como consecuencia de los puntos anteriores.

Todos estos puntos contemplados dará lugar a lo comentado anteriormente, como es la mejora de la explotación, aumento de la eficiencia energética, la fiabilidad del sistema y optimización del sistema operativo de mantenimiento, que relaciona todos estos factores.

En la observación del funcionamiento del modelo y las actuaciones incidentes sobre la planta de refrigeración industrial por parte de todos los operarios y técnicos del departamento de mantenimiento implicado, y en base a un estudio cualitativo basado en el análisis de los datos de la investigación, basándose en la teoría fundamentada (Grounded Theory) (Charmaz, 2006; Glaser y Strauss, 1967), mediante entrevistas semi-estructuradas entre dicho personal experto y la percepción por ellos de las actividades realizadas, se podrían extraer las siguientes curvas relacionales que afectan a la Eficiencia energética, mantenibilidad y fiabilidad (gráfica 1):

Gráfica 1. Curva ante acciones de fiabilidad, ef. Energética y mantenibilidad. Fuente: Elaboración propia.



Ante acciones consistentes en aumentar la fiabilidad del sistema: Se observó ante la realización de estas acciones (gráfica 2), como regla general, y sobre todo si se trata de máquinas dinámicas, ante pequeñas acciones de aumento de la fiabilidad lleva normalmente consigo el aumento de la eficiencia energética.

Llega un punto que para un grado muy alto de fiabilidad, no crece o se satura el proceso de ahorro energético.

Ante acciones consistentes en aumentar la eficiencia energética del sistema: De los comentarios y observación de la realización de estas acciones (gráfica 2), como regla

general, el aumento de la fiabilidad es progresivo, dado que normalmente este ahorro viene definido por un uso incorrecto, una mejora térmica, etc, que redundan automáticamente en un menor desgaste y como consecuencia una menor probabilidad de averías.

Mantenibilidad ante acciones consistentes en aumentar la eficiencia energética o fiabilidad del sistema: Se observó que cuando se realizan estas acciones (gráfica 2), se produce un aumento en el ahorro en mantenimiento así como el aumento de la vida útil del equipamiento. Puede llegar un punto de inflexión si se requiere un gran aumento en la fiabilidad conlleve un aumento del equipamiento, con lo que sería preciso mayor número de horas en mantenimiento (este sería el caso cuando la fiabilidad del sistema quiere que sea máxima ante instalaciones críticas).

5. Resultados observados

Los resultados que se muestran a continuación de una manera resumida, sin entrar a definir en detalle los procesos de las acciones realizadas en la instalación frigorífica industrial de la investigación, y que marcan la relevancia e incidencia de las acciones implicadas para mejorar la eficiencia energética de la instalación de refrigeración industrial, y que inciden en base al modelo de gestión del conocimiento, en la tasa de fallos y la mantenibilidad del sistema.

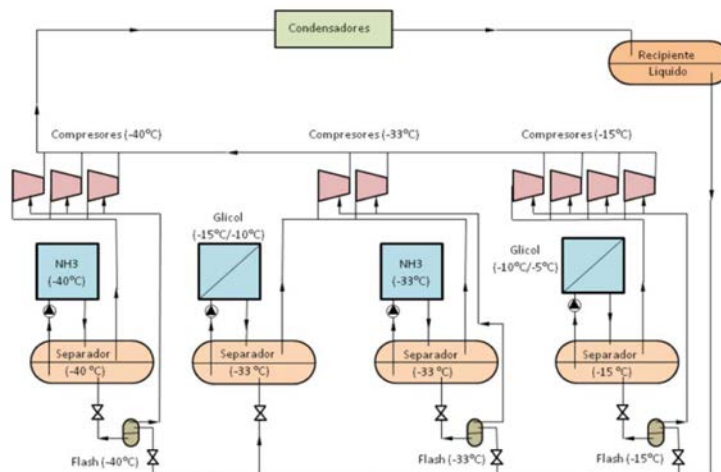
Se parte de las siguientes consideraciones:

- Esta es una de las instalaciones críticas del proceso industrial de la factoría, y su parada o fallo no programado puede conllevar unos gastos así como una pérdida de imagen importante a la industria.
- Se cumplen las rutinas de mantenimiento programadas, y tienen un nivel de seguimiento a través de un sistema de adquisición de datos del sistema de frío industrial.
- En reuniones con los técnicos de la industria, están desligados los grupos de mantenimiento eléctrico y mecánico (no existe una información explícita), y ya se han producido anteriormente paradas no programada por incidencia de otras instalaciones (distribución eléctrica).
- No se tenía un conocimiento profundo del sistema, limitándose a operar entre las condiciones establecidas desde el comienzo, y viendo eso como parámetros fundamentales de funcionamiento.

La central frigorífica de la fábrica se compone de nueve compresores frigoríficos tipo tornillo que utilizan amoníaco (NH₃) como refrigerante que se distribuye por tres líneas principales. La **Línea Nº1 a -40°C** de evaporación asociada a los túneles de congelación. **Línea Nº2 a -33°C** de evaporación para procesos de tratamiento de carnes y cámaras de congelación. Y **Línea Nº3 a -15°C** de evaporación para cámaras y áreas climatizadas de procesamiento de carnes.

La regulación automática de la capacidad se realiza mediante una función integrada PID (proporcional, integral, derivada) que modifica la ubicación de la corredera mecánica integrada en el compresor a fin de adaptar la relación volumétrica de compresión (V_i) a las condiciones de trabajo existentes (carga térmica) que se determinan a partir de la variación de la presión de aspiración (succión) de los compresores. El esquema de principio de la instalación está en la figura 5.

Figura 5. Esquema de principio de la instalación de refrigeración. Fuente: Elaboración propia.



Algunas de las acciones a destacar realizadas en base al estudio previo de toda la instalación fueron las siguientes:

Se observó, que a lo largo del rango de regulación (100% a 44%), límites impuestos por las condiciones de trabajo del motor/compresor (lubricación y ventilación) establecidas por el fabricante respecto a la velocidad de giro (2950rpm a 1475rpm), se pueden alcanzar ahorros de hasta un 31%. Igual es de destacar que para el rango superior de regulación (100% a 80%) el control de capacidad por medio de la corredera actúa de forma similar a las condiciones de la variación de velocidad, con la consiguiente reducción en las oportunidades de ahorro energético.

Otro aspecto a destacar es que con la opción de variación de velocidad se puede ampliar el rango de trabajo hasta alcanzar la máxima velocidad de giro permitido por el fabricante (consideraciones mecánicas) de 3.540rpm, de esta forma los compresores podrían ampliar su capacidad frigorífica teórica hasta un 120% de la nominal. Esta posibilidad no se puede realizar por medio de la regulación mecánica por corredera.

Hay que tener en cuenta que un compresor sobredimensionado es un compresor que funcionará a cargas parciales más tiempo de lo necesario y por tanto con un peor rendimiento energético. El número de arranques será más elevado aumentando el consumo eléctrico y el esfuerzo mecánico, y como consecuencia una mayor probabilidad de fallos y de acciones de mantenimiento.

Es importante señalar que, además del ahorro económico que conlleva la actuación realizada, existen otras consideraciones que deben ser tomadas en cuenta:

- ✓ La reducción de capacidad por variación de velocidad permitirá reducir el desgaste y daño de las válvulas correderas de los compresores.
- ✓ Se optimizará aún más la estabilidad de las presiones de succión (aspiración), dado que el control de capacidad es directo.
- ✓ La operación a velocidad reducida, si el perfil de carga así lo requiere, permitirá reducir el desgaste de elementos mecánicos del compresor, con el menor gasto en mantenimiento y aumento de la vida útil del equipamiento.
- ✓ A nivel eléctrico, la operación de la instalación y los motores mejorará, ya que con los variadores de velocidad, el factor de potencia será constante cercano a 1, por lo que la energía y potencia reactivas de la instalación se verán reducidas.
- ✓ Esta economía energética, define un ahorro en cuanto emisiones de CO₂ a la atmósfera, mostrando el sistema un respeto medioambiental superior.

Otras acciones destacadas fueron las actuaciones sobre los condensadores evaporativos, la reducción del consumo residual y reducción de fugas de aire de las instalaciones de aire

comprimido dedicadas a la refrigeración industrial, la observación y reducción de fugas térmicas, mediante la mejora de aislamiento de tuberías, así como múltiples acciones básicas en base al conocimiento y la formación de los operarios que consiguieron importantes ahorros energéticos

Todo lo comentado conlleva en base a la observación de los resultados las siguientes relaciones:

Relación eficiencia energética/mantenimiento:

- Mejora del conocimiento por parte de los servicios de mantenimiento de la eficiencia energética del proceso: Se pretende variar el sistema para monitorizar los ratios de ahorro energético.
- Dicha información que actualmente estaba de una manera tácita en algunos de los componentes de los equipos, se propone plasmarla en explícita mediante la inclusión de un anejo característico de eficiencia energética de los compresores, donde se anotarán los datos y valores contrastados, futuras acciones de ahorro, propuestas y sugerencias de fabricantes de la maquinaria o sector.
- Se prevén modificar los partes de mantenimiento preventivo en función del menor sobreesfuerzo de los equipos (se puede optimizar su utilización), debido a la acción que supone el ahorro energético.
- Se producirá una reducción de los tiempos utilizados en mantenimiento, siendo una variable añadida de ahorro.
- Se consigue una mayor concienciación de los equipos humanos de mantenimiento. Dicha concienciación se extrapolará a los departamentos de explotación, y en general a todos los órganos de la empresa.
- Dichas acciones llevan añadidas una sensibilización con la visión del respeto al medio ambiente (ahorro en la emisión de CO₂, como consecuencia del ahorro energético).

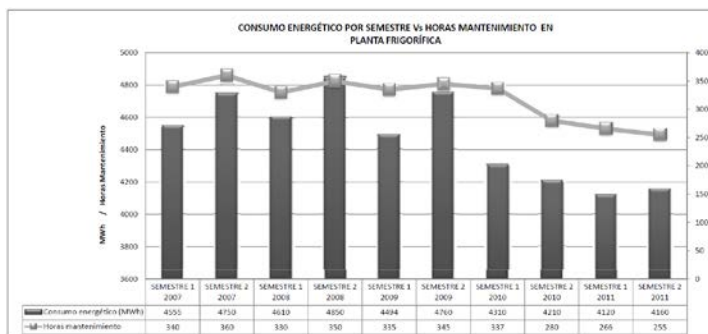
Relación eficiencia energética/fiabilidad:

- A consecuencia de la acción de eficiencia energética, se consigue un uso más racional de la instalación, reduciéndose por ello la tasa de fallo del equipamiento y con ello el aumento de la fiabilidad de la instalación que se considera crítica.
- Al realizar el estudio energético se ha aumentado el nivel de conocimiento de la instalación, pudiéndose monitorizar otras variables que interceden en la fiabilidad final de la instalación (instalación eléctrica, fluidos, valvulería, etc.).
- Dicha relación de aumento de la fiabilidad es extrapolada al resto de la organización (en especial hacia los departamentos de explotación), consiguiéndose una mejora estratégica de la función de los servicios de mantenimiento con relación al resto de la industria.

De los datos obtenidos durante el periodo en que el equipo de mantenimiento trabajaba en base a un modelo de mantenimiento basado en técnicas de gestión de conocimiento, se puede observar en las gráficas siguientes, una tendencia a la mejora y eficiencia con respecto al sistema tradicional de trabajo utilizado con anterioridad por el departamento de mantenimiento.

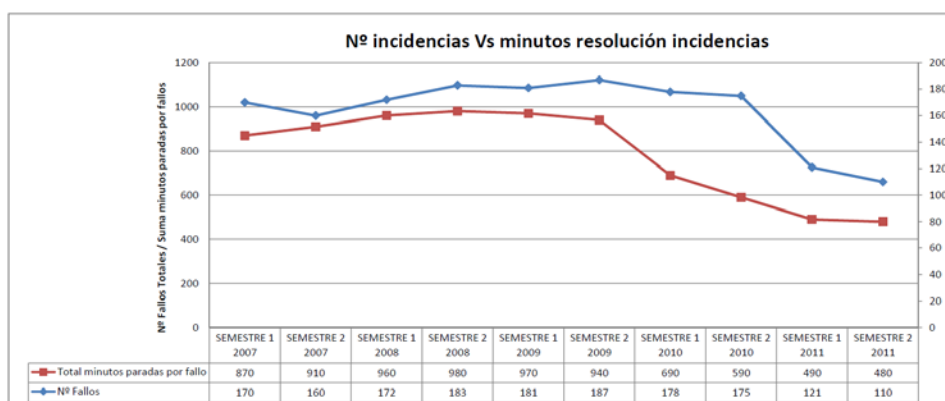
La gráfica 2, muestra una tendencia mantenida de reducción de los consumos energéticos así como las horas invertidas en mantenimiento como consecuencia del uso más eficiente de las instalaciones. Esa tendencia se ve acentuada a partir del tercer semestre como consecuencia de vencer las barreras ente los diversos equipos de mantenimiento y asentar una conciencia de eficiencia y compartir información.

Gráfica 2. Consumo energético y horas empleadas en mantenimiento. Fuente: Elaboración propia



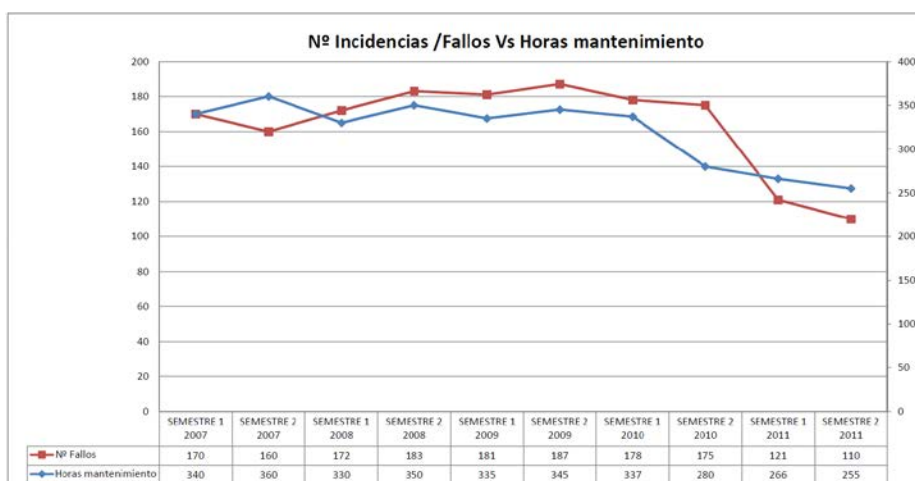
Se observa una reducción de las incidencias y fallos operativos de la instalación, así como el tiempo en actuación para la resolución de los fallos (gráfica 3), mejorando los procesos y las implicaciones que se producían directamente sobre la producción de la empresa.

Gráfica 3. Nº de incidencias y minutos empleados en resolución. Fuente: Elaboración propia



Se observa la inter-relación entre la reducción de fallos a partir del tercer semestre con el número de horas que de igual manera se ven reducidas (gráfica 4). Todo ello motivó una sensación y ambiente de eficiencia entre todo el equipo humano de mantenimiento, reforzando su misión en la empresa y justificando los esfuerzos establecidos, justificando el coste de inversión que implica una mejora de la fiabilidad (Tianqing et al., 2009).

Gráfica 4. Nº de incidencias y horas mantenimiento. Fuente: Elaboración propia



6. Conclusiones

Alguno de los problemas fundamentales para la optimización de la función de mantenimiento, vienen como consecuencia del factor humano, que sin embargo afecta a

funciones transcendentales y tácticas de la empresa (fiabilidad, productividad, eficiencia energética, etc.) y que se hace todavía más patente en el caso de grandes compañías, que tienen multitud de plantas con una gran diversificación geográfica. En estos casos, el intercambio y transvase de información entre ellas, así como, el disponer de una gestión de conocimiento común, hace que ésta se vea mejorada.

Aunque existen multitud de técnicas organizativas de mantenimiento y se investiga sobre nuevos desarrollos (Sharma et al., 2011; Salonen et al., 2011; Wu et al., 2010), buscando la confiabilidad de todo el sistema (Wu et al., 2006), marcando su dimensión estratégica dentro de la empresa (Tsang et al., 2002), normalmente no integran la relevancia del conocimiento estratégico que interno en la organización de manera tácita, formando diferentes islas de información y conocimiento que hace menos productivo el servicio prestado. Mediante la utilización conjunta de modelos de gestión del conocimiento dentro de la organización de mantenimiento, se tiende a resolver las barreras de captura del conocimiento estratégico, que redundan en todos los miembros de la organización.

Las principales contribuciones de la investigación que se presentan en este artículo y permiten extender el conocimiento en las acciones de mantenimiento, en base a la utilización de técnicas de gestión del conocimiento centradas en las acciones estratégicas fundamentales tales como la fiabilidad, mantenibilidad y eficiencia energética:

- ♦ Se resumen los principales factores que marcan la relevancia de la gestión del conocimiento que influyen en las acciones tácticas de mantenimiento, todo ello fundamentado en la implicación de la dirección y trabajadores, estrategias de aprendizaje hacia una tendencia a compartir conocimiento, necesidad de definir y medir acciones estratégicas, y motivación de los operarios.
- ♦ Se muestra que un modelo de GC basado en las actividades estratégicas que tiene asignado la organización de mantenimiento (Fiabilidad, mantenibilidad, eficiencia energética y operación/explotación de instalaciones), es rentable para la propia organización de mantenimiento y por extensión, para la empresa.
- ♦ Se muestra que al aunar el conocimiento de las acciones estratégicas se potencian las relaciones entre la fiabilidad, mantenibilidad y eficiencia energética, que aumentan la eficiencia de toda la organización, así como reducir los costes de mantenimiento sin degradación de la fiabilidad.
- ♦ La mejora de la eficiencia energética, redundan en mejorar la mantenibilidad de las instalaciones y la fiabilidad de los procesos, con reducción de fallos.
- ♦ Se puede mejorar la seguridad y la disponibilidad de las instalaciones (poniendo más atención a las frecuencias y a los elementos a mantener).
- ♦ Se puede aumentar el ciclo de vida de los equipos e instalaciones, como consecuencia del menor desgaste y la observación continuada en la utilización óptima.

La principal limitación de este estudio está en que la empresa donde se ha investigado y modelado la implantación del modelo planteado, pertenece al sector industrial alimentario, con diversas factorías a nivel nacional. Los autores piensan que el resultado es extensible a otros sectores y otros ámbitos territoriales, dado que aunque las instalaciones y los procesos productivos pueden variar de una empresa a otra, la esencia de las acciones estratégicas de mantenimiento están presentes en todas ellas, aunque con otra posible ponderación de su incidencia, diferente a la planteada en este estudio. Debido a esto, los autores piensan que el resultado de la investigación puede ser generalizable a diferentes sectores y no sólo al sector alimentario. Este modelo en sectores de servicios como pueden ser el de infraestructuras hoteleras, grandes centros comerciales, empresas de distribución de energía eléctrica o distribución de agua sanitaria, etc., podría ser adaptado, teniendo en

cuenta el desempeño del sector tratado. Sería conveniente también, continuar con la línea de investigación realizando un análisis cuantitativo que permita validar los resultados cualitativos del presente estudio, tanto en el alimentario, como en otros sectores.

7. Referencias

- Aghezzaf, E.H., Jamali, M.A. and Ait-Kadi, D. (2007), "An integrated production and preventive maintenance planning model. *European Journal of Operational Research*. No. 181, pp. 679-685.
- Alcázar, M; Álvarez, C.; Escrivá, G.; Domijan, A. (2012). Evaluation and assessment of demand response potential applied to the meat industry. *Applied Energy* 92 (2012). pp 84–91.
- Alsyouf, I. (2007). The role of maintenance in improving companies, productivity and profitability. *International Journal of Production Economics*. Vol. 105 No. 1. pp. 70-78.
- Badia, F.G.; Berrade, M.D.; Campos, C.A. (2002). Optimal inspection and preventive maintenance of units with revealed and unrevealed failures. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 78 No. 1, pp. 157-63.
- Bailey, K.; Francis, M. (2008). Managing information flows for improved value chain performance. *International Journal of Production Economics*. Vol. 111 No. 1, pp. 2-12.
- Basim Al-Najjar and Mirka Kans. (2006). A model to identify relevant data for problem tracing and maintenance cost-effective decisions. A case study. *International Journal of Productivity and Performance Management*. Vol. 55 No. 8, 2006. pp. 616-637.
- Bueno, E. (2002): La sociedad del conocimiento: un nuevo espacio de aprendizaje de las personas y organizaciones, en *La Sociedad del Conocimiento*, Monografía de la Revista Valenciana de Estudios Autonómicos, Presidencia de la Generalitat Valenciana, Valencia.
- Carr, A.; Kaynak, H. (2007). Communication methods, information sharing, supplier development and performance: an empirical study of their relationships. *International Journal of Operations & Production Management*. Vol. 27 No. 4, pp. 346-70.
- Charmaz, K. (2006): *Constructing grounded theory. A practical guide through qualitative analysis* SAGE, London.
- Chee, A.; Bañares, R. (2012). A knowledge representation model for the optimisation of electricity generation mixes. *Applied Energy* (2012). Available online.
- Dhillon, B.S.; Liu, Y. (2006). Human error in maintenance: a review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Vol. 12 No. 1, pp. 21-36.
- Eti, M.C.; Ogaji, S.; Probert, S. (2006a). Reducing the cost of preventive maintenance (PM) through adopting a proactive reliability-focused culture. *Applied Energy*. 83 (2006). pp 1235–1248.
- Eti, M.C.; Ogaji, S.; Probert, S. (2006b). Development and implementation of preventive-maintenance practices in Nigerian industries. *Applied Energy*. 83 (2006). pp. 1163–1179.
- Eti, M.C.; Ogaji, S.; Probert, S. (2007). Integrating reliability, availability, maintainability and supportability with risk analysis for improved operation of the Afam thermal power-station. *Applied Energy*. 84 (2007) 202–221.
- Glaser, B. G.; Strauss, A. L. (1967): *The discovery of grounded theory* Aldine deGruyter, New York.
- Jo, Y.; Park, K. (2003). Dynamic management of human error to reduce total risk. *Journal of Loss Prevention in Process Industries*. Vol. 16 No. 4, pp. 313-21.
- Kans, M. (2009). The advancement of maintenance information technology A literature review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Vol. 15 No. 1, 2009. pp. 5-16.

- Lind, S.; Nenonen, S.; Kivisto-Rahnasto, J. (2008). Safety risk assessment in industrial maintenance. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Vol. 14 No. 2, 2008. pp. 205-217.
- Lopez, P.; Centeno, G.. (2005). Integrated system to maximize efficiency in transit maintenance departments. *International Journal of Productivity and Performance Management*. Vol. 55 No. 8, 2006. pp. 638-654.
- Nonaka, I. ; Takeuchi, H. (1995): *The knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford University Press, New York.
- Nonaka, I., Takeuchi, H. (1999). *La Organización Creadora de Conocimiento*. Oxford. México.
- Peluffo, M., Catalán, E. (2002). *Introducción a la gestión del conocimiento y su aplicación al sector publico*. Ed. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación.
- Rankin, W.; Hibit, R.; Sargent, R. (2000). Development and evaluation of the maintenance error decision aid (MEDA) process. *International Journal of Industrial Ergonomics*. Vol. 26 No. 2, pp. 261-76.
- Rodríguez, D. (2006). Modelos para la creación y gestión del conocimiento: Una aproximación teórica. *Educar*, 37:25-39.
- Salonen, A.; Bengtsson, M. (2011). The potential in strategic maintenance development. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Vol. 17 No. 4, 2011.pp. 337-350.
- Sharma, A.; Yadava, G. (2011). A literature review and future perspectives on maintenance optimization. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Vol. 17 No. 1, 2011. pp. 5-25.
- Sing, S. (2008). Role of leadership in knowledge management: A study. *Journal of Knowledge Management*, 12(4): 3-15. doi:10.1108/13673270810884219.
- Tianqing, S.; Xiaohua, W.; Xianguo, M. (2009). Relationship between the economic cost and the reliability of the electric power supply system in city: A case in Shanghai of China. *Applied Energy* 86 (2009). PP 2262–2267.
- Tsang, A. (2002). Strategic dimension of maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Vol. 8 No. 1, pp. 7-39.
- Tsarouhas, P. (2007). Implementation of total productive maintenance in food industry: a case study. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Vol. 13 No. 1, 2007.pp. 5-18.
- Uusipaavaniemi, S.; Juga, J. (2009). Information integration in maintenance services. *International Journal of Productivity and Performance Management*. Vol. 58 No. 1, 2009. pp. 92-110.
- Wiig, K.M., (1997)“Integrating Intellectual Capital and Knowledge Management, Long Range Planning, Vol. 30, núm. 3, Junio 1997.
- Wu, S., Clements-Croome, D., Fairey, V., Albany, B., Sidhu, J., Desmond, D. and Neale, K. (2006). Reliability in the whole life cycle of building systems. *Engineering, Construction and Architectural Management*. Vol. 13 No. 2, pp. 136-53.
- Wu, S.; Neale, K.; Williamson, M.; Hornby, M. (2010). Research opportunities in maintenance of office building services systems. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Vol. 16 No. 1, 2010. pp. 23-33.