



# Modelo de confiabilidad en la gestión

El VII Congreso de Confiabilidad, organizado por el Comité de Confiabilidad de la AEC y celebrado en Madrid los días 29 y 30 del pasado mes de noviembre, fue el marco de presentación de la ponencia en la que se basa este artículo

# humana de activos

**C**ada cierto tiempo, alguna catástrofe nos recuerda que el eslabón más débil de un sistema de producción, el hombre, es a su vez el que tiene en sus manos la garantía y la confiabilidad de su funcionamiento. Se habla de error humano, se dice que la falta de confiabilidad en un sistema se debe a que, al fin y al cabo, está manejado por hombres.

Es necesaria una reflexión sobre este problema. El error humano es tratado como lo inevitable, lo que escapa siempre a lo controlable y medible, lo que parece titularse

“de la imposibilidad de prever la estupidez humana”.

Cuando pequeños o grandes desajustes provocan incidentes o accidentes graves en situaciones de diálogo entre hombre y máquinas deberá decirse que el sistema ha fracasado; que no habrá errores humanos ni confiabilidad humana. Deberá hablarse de confiabilidad operativa, que conjuga de manera indisoluble: confiabilidad técnica y confiabilidad humana. La confiabilidad global de un sistema dependerá de la capacidad

que disponga un sistema de producción para evitar los fallos técnicos y organizativos, de la capacidad que el sistema tenga para permitir a los hombres recuperar, teniendo en cuenta sus capacidades fisiológicas, psicológicas, psíquicas y sociales, los fallos técnicos y las dificultades en la ejecución de una tarea concreta.

Medir el error humano es medir los límites y capacidades del hombre, y para ello es necesario integrar en los sistemas técnicos estos límites y capacidades, crear tecnologías compatibles con el cerebro.

## 1. Introducción

Dentro del campo de la gestión de activos, son múltiples los factores que afectan a la confiabilidad de los sistemas. Uno de los elementos principales que influyen en la confiabilidad de cualquier sistema de gestión de mantenimiento de activos es lo que se conoce como "factores humanos" que, siguiendo la terminología expuesta en el II Seminario Europeo-Americano sobre Confiabilidad en END, puede definirse como "las capacidades físicas y psicológicas de la persona, el entrenamiento y experiencia de la persona, y las condiciones bajo las que la persona debe operar, que influyen en la capacidad del sistema de gestión de mantenimiento de activos para alcanzar el propósito al que está destinado".

El interés y estudio de la influencia de los factores humanos dentro del campo del mantenimiento se ha realizado principalmente en aquellos campos en los que la seguridad y confiabilidad son las normas principales, ya que los factores humanos juegan un papel principal en lo referente a la confiabilidad de los sistemas. Estos campos donde tan importante es el "factor humano" son la aviación, las plantas petroleras, petroquímicas, gas, generación eléctrica, nucleares, cementeras y demás campos donde un accidente conlleve pérdidas humanas y/o económicas no admisibles. Puede observarse que son campos en los que la seguridad higiene y ambiente debe primar por encima de otros factores.

La importancia de los factores humanos, dentro de la gestión de mantenimiento de activos, se limita temporalmente al periodo desde 1900 a la actualidad, y con mucha diferencia, a los últimos 50 años, esto es debido a que los campos en los que es fundamental el factor humano han sido desarrollados desde hace relativamente poco tiempo, y también a que la conciencia sobre la necesidad de confiabilidad y seguridad

en dichos campos ha crecido mucho en los últimos años.

En el presente artículo, analizaremos cuáles son los "factores humanos", qué parámetros influyen en dichos factores, la relación entre factor humano y confiabilidad, el estudio de los "errores humanos", y terminaremos con una propuesta de un modelo para la gestión de la confiabilidad humana.

## 2. Confiabilidad integrada de activos

La confiabilidad operacional es la integración de la confiabilidad del equipo, proceso y humana, de este modo se requiere centrar la atención del gestor de mantenimiento para garantizar la eficacia y calidad del trabajo. Basados en la integración de equipos de trabajo y la recopilación de datos, se puede proporcionar acciones imprescindibles que se apoyan en sus observaciones.

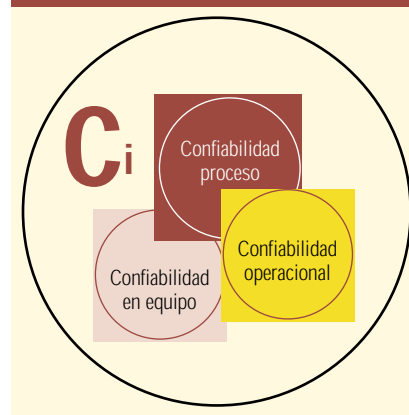
Una razón fundamental para luchar contra los problemas de coste y reconocimiento de problemas en la confiabilidad integrada de activos es adecuar las estructuras organizativas de los departamentos de mantenimiento. La función mantenimiento, dada su influencia en los beneficios e integridad de la organización, debe tener su propio plan de negocio, con su misión, visión y objetivos derivados de la compañía.

Las técnicas de control de la gestión e integración de activos tienen que estar en un lugar para conseguir claramente las metas definidas e hitos a nivel estratégico, táctico y operacional, para optimizar y mejorar la confiabilidad humana. Para permitir a las compañías que tomen decisiones estratégicas, para evaluar nuevas oportunidades y/o conocer nuevas demandas, un modelo de gestión integrada de activos debería ser capaz de proporcionar información detallada sobre las capacidades de producción de las instalaciones existentes, preferiblemente como una función del tiempo.

La planificación y estructuración de la gestión integrada de activos tiene su sitio en el

nivel táctico. La entrada de datos técnicos es necesaria para nuevos diseños o rediseños de las instalaciones existentes. La función mantenimiento debería ser capaz de estimar la probabilidad de conocer ambas demandas solicitadas en términos de promedio a largo plazo dado como una función basada en el tiempo.

Figura 1: Gestión integrada de activos

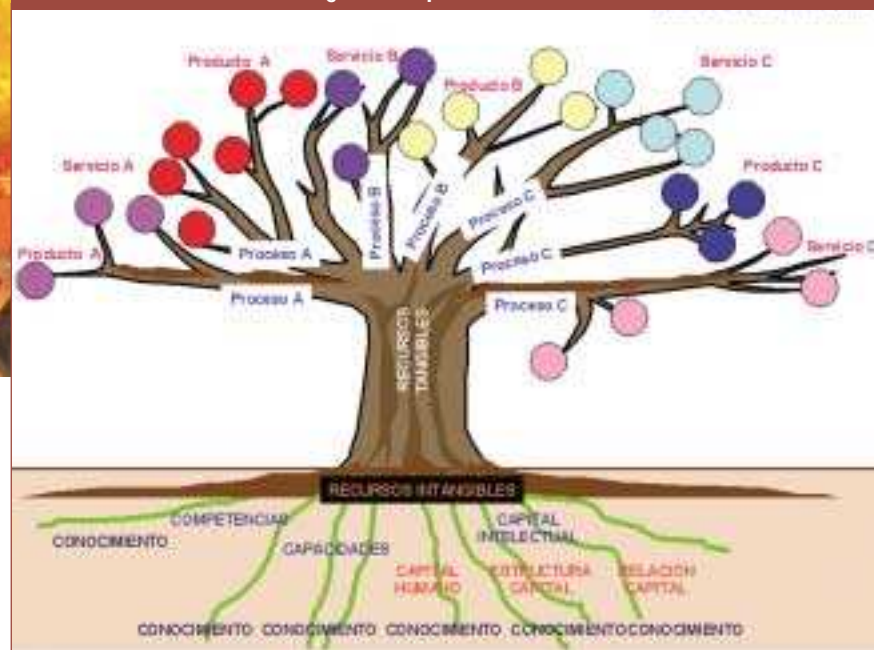


Elementos críticos del proceso deberían ser identificados con anticipación para centrarse eficazmente en actividades de diseño y gestión del mantenimiento. Cuando sea posible, las estrategias de mantenimiento deben estar basadas en cálculos de coste/beneficio. Junto con la información técnica y humana, esas recomendaciones deben estar trazadas en un plan de referencia del mantenimiento centrado en el capital intelectual y la confiabilidad, la estructura que tiene que ser reflejada en el modelo de datos del sistema integrado de confiabilidad para cada empresa.

## 3. Gestión del capital intelectual

Steward en 1997 definió el capital intelectual como "material intelectual, conocimiento, información, propiedad intelectual, experiencia, que puede utilizarse para crear valor". En Euroforum (1998), "el capital intelectual se definió como el conjunto de activos intangibles de una organización, que pese a no estar reflejados en los estados contables

Figura 2: Capital intelectual



tradicionales, en la actualidad genera valor o tiene potencial de generarlo en el futuro". Estos activos intangibles incluyen todos aquellos conocimientos tácitos y explícitos que generan dicho valor económico.

De acuerdo a lo mostrado en la figura 2, el capital humano se refiere a la educación, experiencia, "know how", conocimientos, habilidades, valores y actitudes de las personas que trabajan en la empresa. No son propiedad de la empresa, ya que pertenecen a los trabajadores, éstos al marcharse a casa se llevan consigo estos activos. En el capital humano residen los conocimientos tácitos de la organización.

El capital intelectual de innovación en una organización de mantenimiento debe tener como principal finalidad desarrollar diferentes proyectos de innovación para el desarrollo de nuevos servicios claves para la obtención de competencias esenciales en la cadena de valor de innovación y en las capacidades esenciales del recurso humano, que permitan mantener o conseguir las anheladas ventajas competitivas sostenibles.

Frente a este desafío, el capital humano deberá resaltar por sus: capacidades, talento, liderazgo, valores y cultura que los lleven a la creación de nuevos conocimientos y a un aprendizaje individual. El capital intelectual de innovación se centra en cada proyecto de innovación que resulte estratégico para la

organización de mantenimiento de activos. Las competencias esenciales en los proyectos de innovación permiten el desarrollo de "core business futuras", por lo que la organización podría subcontratar todas las demás (*outsourcing*), también se pueden establecer acuerdos y alianzas estratégicas con proveedores y otras empresas.

#### 4. El factor humano

##### 4.1 El comportamiento y el error humano

Una clasificación importante de los diferentes procesos de información que se dan en las tareas industriales fue desarrollado por J. Rasmussen, del Laboratorio de Riesgos de Dinamarca. Este procedimiento proporciona una herramienta útil para identificar los tipos de error que suelen ocurrir en las diferentes situaciones de operaciones. El sistema de clasificación, conocido como el basado en habilidades, reglas y conocimientos (SRK), está descrito en numerosas publicaciones, Rasmussen (1979, 1982, 1987), Reason (1990).

Una extensa discusión sobre la influencia del trabajo de Rasmussen está contenida en la publicación de Godstein (1988).

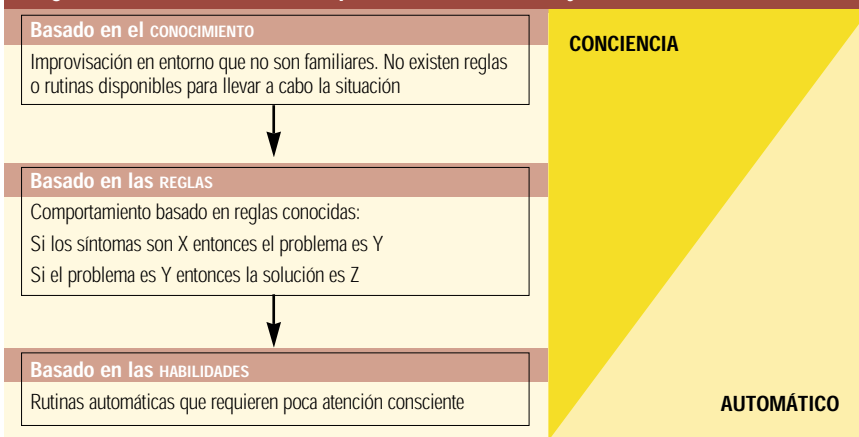
Los términos habilidad, reglas y conocimiento en los que se basa la información se refieren al grado en que controlamos la conciencia en los ejercicios que el individuo realiza en su actividad. La figura 3 contrasta dos casos extremos. En el modo basado en el conocimiento, el individuo lleva a cabo la tarea de una forma completamente consciente. Esto ocurriría en una situación en la que un principiante estuviera ejecutando la tarea o donde un individuo experimentado se encontrara con una situación completamente nueva. En ambos casos, el trabajador deberá realizar un esfuerzo mental considerable para determinar la situación y sus respuestas tenderán a ser lentas. De esta forma, después de cada acción controlada, el trabajador necesitaría revisar sus efectos antes de llevar a cabo la próxima acción, lo cual probablemente ralentizaría las respuestas a la situación.



**Figura 3: Modos de interacción con el mundo (basado en Reason, 1990)**

<b>Modo basado en el conocimiento CONCIENCIA</b>	<b>Modo basado en la habilidad AUTOMÁTICO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usuario inexperto u ocasional</li> <li>• Entorno novedoso</li> <li>• Lento</li> <li>• Mucho esfuerzo</li> <li>• Requiere considerable retroalimentación</li> </ul> Causas del error: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobrecarga</li> <li>• Falta de conocimiento o modos de uso</li> <li>• Falta de conocimiento de las consecuencias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usuario experto</li> <li>• Entorno familiar</li> <li>• Rápido</li> <li>• Poco esfuerzo</li> <li>• Requiere poca retroalimentación</li> </ul> Causas del error: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consolidados hábitos</li> <li>• Frecuentemente se utiliza una regla de uso inadecuada</li> <li>• Cambios en la situación, que no motivan un cambio en los hábitos</li> </ul>

**Figura 4: Continuidad entre comportamiento consciente y automático (Reason, 1990)**



El modo basado en la habilidad se refiere a la ejecución de una tarea muy práctica, acciones físicas en las que no existe prácticamente conciencia de la acción. Las respuestas basadas en la habilidad son generadas inicialmente por algún hecho específico, por ejemplo, el requerimiento de abrir una válvula cuando suena la alarma de apertura, esta operación, al ser muy practicada y sencilla, se realiza inconscientemente.

En la figura 4 otra categoría de los procesos de información se identifica con el uso de reglas. Estas reglas pueden haber sido aprendidas como resultado de una interacción con el proceso, a través de entrenamiento o por trabajar con personal experimentado en el proceso. El nivel de conciencia es intermedio entre el modo de las habilidades y el modo de los conocimientos.

#### 4.2 Integración de los factores humanos en los sistemas de trabajo

La mayoría de las actividades humanas implican la interacción hombre-máquina-entorno. El concepto hombre considera a las personas en sus vertientes física, psíquica y social. El concepto máquina debe interpretarse en su sentido más amplio: "máquina" es todo aquello que las personas utilizan para llevar a cabo cualquier actividad dirigida a lograr algún propósito deseado o desempeñar alguna función, desde las herramientas y equipos más sencillos hasta los aparatos, normas, métodos, equipamientos o medios de trabajo más complejos.

Cuando los elementos, máquinas y ambientes con los que el hombre mantiene relación están adaptados a sus necesidades y capacidades, sus acciones y actividades se desarrollan de forma óptima. Es precisamente

la tesis que soporta la razón de ser de un vastísimo campo de conocimientos pluridisciplinares denominado "ingeniería de los factores humanos".

Las situaciones que se dan dentro de cualquier sistema de trabajo, entendiendo al mismo como al conjunto de elementos y variables interdependientes que tienden a alcanzar un fin común, interactuando e influyéndose mutuamente, comportan básicamente los siguientes elementos:

- El trabajo a realizar, con unos objetivos a cumplir, unos equipamientos, una organización, un tiempo determinado inmersos en un entorno o medio ambiente.
- Los resultados, en términos de cantidad y calidad de la producción y en términos de confiabilidad operacional de las instalaciones.
- Los efectos sobre esas personas, positivos o negativos, en términos de salud física, psíquica, social, accidentes, enfermedades, etc.
- Las adaptaciones a esos efectos y a esos resultados.

Desde el punto de vista organizativo y tecnológico, la inclusión de los conocimientos



que sobre los factores humanos aporta la ingeniería de los factores humanos permite evitar una concepción irracional de los sistemas de trabajo y como caso particular, de los puestos de trabajo, de la que se derivaría una serie de consecuencias negativas tales como métodos de trabajo ilógicos, desorganización espacial del puesto de trabajo y del diseño del lugar de trabajo, falta de adiestramiento y de formación técnica, disminución de la capacidad operativa de las personas, así como una menor productividad y calidad de los productos.

La utilización de medidas del rendimiento como un índice de la carga mental de trabajo se basa en el supuesto de que el aumento en la dificultad de una tarea producirá un incremento en sus demandas, que se pondrá de manifiesto reduciendo el rendimiento.

En la figura 5, aparece representada la relación entre la carga mental y el rendimiento de un trabajador, distinguiéndose tres posibles situaciones. La primera situación, representada en la Región A de la figura, incluye niveles de carga entre bajos y moderados y se caracteriza por la presencia de un nivel alto de rendimiento. En esta región, el aumento de la

**Figura 5: Relación hipotética entre carga mental y rendimiento**



complejidad de la tarea no producirá variaciones en el nivel de rendimiento del trabajador, ya que éste dispone de capacidad residual suficiente para compensar los incrementos de carga.

En la Región B, se consideran niveles altos de carga mental que exceden la capacidad del trabajador, por lo cual se producirá una relación monótona entre rendimiento y carga mental. Por último, en la Región C, la carga es excesivamente alta y el rendimiento se mantiene en un nivel muy bajo.

Se distinguen dos situaciones de evaluación: tarea simple y tarea múltiple. En la situación de tarea simple, la carga mental se evalúa en base al rendimiento en una única tarea, comparando diferentes grados de dificultad de la misma. En la situación de tarea múltiple el evaluador está interesado principalmente en analizar la carga mental de una tarea en función del grado de interferencia que se produce cuando ésta se realiza simultáneamente con otras de iguales o de diferentes características. Cuando el sujeto debe realizar a la vez dos tareas, la situación recibe el nombre de tarea dual o doble tarea. La tarea de la que se está evaluando su carga mental recibe el nombre de tarea primaria. Las tareas adicionales que se utilizan solamente para realizar la evaluación se denominan tareas secundarias.

## 5. Modelo de confiabilidad humana

La aplicación de un modelo de gestión de confiabilidad humana depende en gran medida de la estrategia que se haya formulado para que claramente responda a los objetivos de la organización.

La figura 6 muestra una estrategia de aplicación de confiabilidad humana basada en la gestión del conocimiento y trabajo en equipo, se trata de formar equipos naturales de trabajo para implementar confiabilidad operacional proactiva, la cual nos ofrecerá un mapa estratégico de la instalación para mitigar y diagnosticar los fallos a tiempo desde el punto de vista operacional y humano. De esta forma puede confeccionarse una matriz de agrupación directamente en trabajo de grupo o puede hacerse una propuesta preliminar para buscar consenso.

El objetivo es determinar las causas que originan los problemas en cada esfera. En este paso intervienen todos los equipos de trabajo.

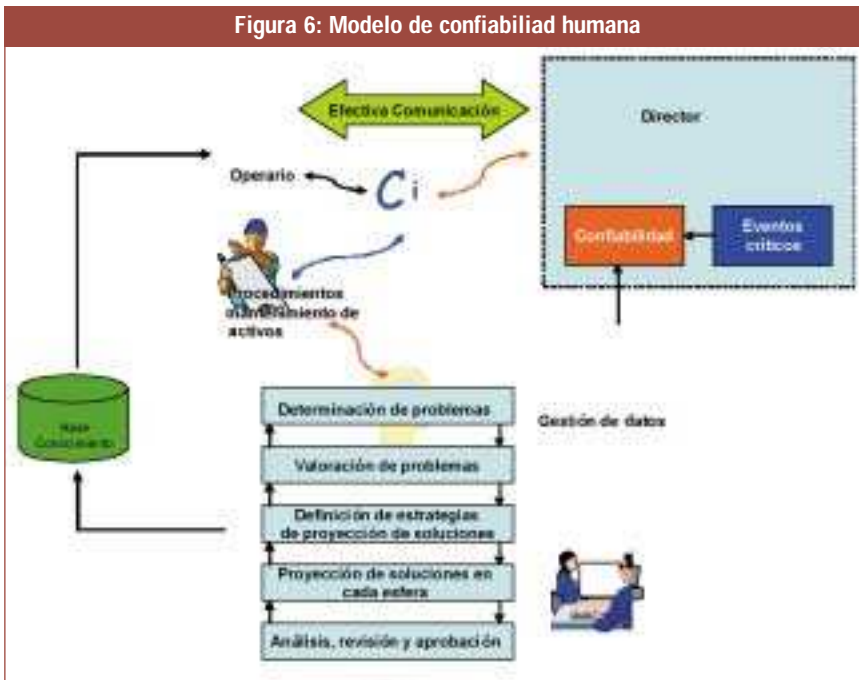
Cada especialidad toma como referencia los datos provenientes de los eventos críticos, bases de datos y de los conocimientos de los equipos de trabajo, luego se desarrollan algunas técnicas de ingeniería de confiabilidad con el objetivo de esclarecer las causas que ocasionan los problemas detectados, entre las que se pueden mencionar: diagramas de flujo y de recorridos, estudio de métodos, balances de carga y capacidad, estudio de los balances generales económicos y los estados financieros, análisis del comportamiento de las mermas o defectuosos, consumo energético por áreas o procesos.

La integración grupal que se logre durante la realización de esta etapa propiciará condiciones favorables para la búsqueda de soluciones, pues además de dar como resultado problemas más concretos y de fácil solución, provocará que todos los integrantes del grupo estén convencidos de la existencia de ellos, los vean como resultado de su propio análisis y se sientan comprometidos a buscar





Figura 6: Modelo de confiabilidad humana



soluciones técnicas y económicamente acertadas, para lograr una confiabilidad operacional óptima.


## 6. Conclusiones

Debido a la influencia del análisis de accidentes, los acercamientos comunes a la predicción de funcionamiento se han centrado en el comportamiento humano. La predicción investiga las formas en que las acciones pueden fallar, también refiriéndose a los modos de error en la acción. Esto es bastante consistente con el punto de vista del proceso de información, donde se asumen "mecanismos de error" internos específicos. Si una función puede ser vista como un atributo de un componente, esto implica que la posibilidad de que una función falle pueda ser considerada por el componente por sí mismo, aunque es reconocido que las circunstancias o el contexto puedan tener alguna influencia.

Anticipar fallos en un sistema hombre-máquina requiere un modelo fundamental. Éste no debe ser un modelo de procesado de información humano, sino un modelo de cómo el funcionamiento humano está determinado

por el contexto o las circunstancias. Este tipo de modelo corresponde con el concepto de cognitividad distribuida (Hutchins, 1995). Una expresión concreta de estas ideas se encuentra en los modelos contextuales de control (Hollnagel, 1998), que describe cómo las funciones humanas y de tecnología como sistemas unidos se interaccionan con las máquinas. Los modelos de control contextuales enfatizan en la cooperación hombre-máquina, manteniendo un equilibrio; con la finalidad de optimizar la interacción hombre-máquina (*figura 6. Modelo de confiabilidad humana*). El énfasis se basa en la "cognitividad del mundo" en lugar de la "cognitividad en la mente".

El principio clásico de correlación tiempo-confiabilidad es una expresión de la idea de que el fallo al realizar una actividad es función del tiempo. Una versión más sofisticada del mismo principio se encuentra en la expresión "condiciones forzadas de error", aunque el factor determinante aquí es el tiempo disponible en vez del tiempo transcurrido. La sofisticación es tanto para las condiciones que pueden "forzar" el error, y

la descripción más detallada de los posibles modos de error. El rasgo común es que la posibilidad de cometer el fallo es un atributo de las condiciones y no del hombre. 

**Luis José Amendola/ PMM INSTITUTE FOR LEARNING CONSULTING & TEACHING PH.D. IN PROJECT ENGINEERING MANAGEMENT. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**

## BIBLIOGRAFÍA

- AMENDOLA, Luis (2002). Modelos mixtos de confiabilidad. Publicado por Datastream. [www.mantenimientomundial.com](http://www.mantenimientomundial.com)
- DAVENPORT, T. H., PRUSAK, L. (1998). *Working Knowledge*. Boston: Harvard Business School Press.
- EMBREY, D. (2000). *Performance Influencing Factors (PIF)*. Human Reliability Associates Ltd.
- EMBREY, D. (2000). *Task Analysis Techniques*. Human Reliability Associates Ltd.
- EDVINSSON L., MALONE M. S. (1999). *El Capital Intelectual. Cómo identificar y calcular el valor de los recursos intangibles de su empresa*. España: Gestión 2000.
- FONSECA, D. J., KNAPP, G. M. (2000). "An expert system for reliability centered maintenance in the chemical industry", *Expert Systems with Applications*, 19, pp. 45-57.
- STRÄTER, O., BUBB, H. (1999). "Assessment of human reliability based on evaluation of plant experience: requirements and implementation", *Reliability Engineering and Systems Safety*, 63, pp. 199-219.
- LATORELLA, K. A., PRABHU. P. V. (2000). "A review of human error in aviation maintenance and inspection", *International Journal of Industrial Ergonomics*, 26, pp. 133-161.
- VANDERHAEGEN, F. (2001). "A non-probabilistic prospective and retrospective human reliability analysis method — application to railway system", *Reliability Engineering and System Safety*, 71, pp. 1-13.