



Validación del modelo de confiabilidad humana con el apoyo de expertos en empresas de manufactura

Amendola. Luis.⁽¹⁾; *Depool. Tibaire.*⁽²⁾
PMM Institute for Learning^{(1), (2)}
Universidad Politécnica de Valencia⁽¹⁾
Departamento de Proyectos de Ingeniería
www.pmmlearning.com



Resumen

La clasificación de los errores producto del comportamiento humano ha recibido también una notable atención en el mundo científico. Aunque los avances han sido apreciables en el plano teórico y a nivel de laboratorio, aún la utilidad práctica de las metodologías, sistemas de clasificación, y sobre todo, la definición de las acciones a seguir en un contexto empresarial relacionadas con la gestión de estos errores, no están disponibles para su utilización como herramientas a nivel de las organizaciones.

Nosotros basados en un modelo teórico presentado en el VII congreso de confiabilidad y aplicando la investigación cuantitativa a diferentes expertos en mantenimiento en empresas de manufactura obtuvimos una comprensión profunda de los significados y definiciones de la situación; con la finalidad de identificar los aspectos asociados al error humano, causas, conocimiento y aplicación de técnicas de confiabilidad, evaluar el entorno de las actividades más frecuentes del hombre, identificar aquellas prácticas consideradas para la mejora de la confiabilidad, las posibles soluciones para mitigar el error humano y la evaluación del grado de aceptación y utilidad del modelo propuesto. Todo ello desde la perspectiva enriquecedora de la gente que está siendo estudiada, sustentada en las tendencias subjetivistas, las que pretenden una comprensión del modelo de confiabilidad humana.

En efecto, se puede estimar la probabilidad de fallo de un componente, pero las técnicas que permiten estimar la probabilidad de fallo de una persona, aún se encuentran en su etapa más inicial de desarrollo. Lo anterior implica la muy baja exactitud de los modelos que simulan la operación del hombre junto con elementos del hardware. Ubicándonos en un período corto de un sistema socio- técnico, donde los subsistemas técnicos y organizacionales están establecidos y no serán cambiados, sólo la conducta del individuo frente a los riesgos es capaz de garantizar su seguridad, y/o la de los demás individuos y la de la instalación. Entonces, dada la complejidad del tratamiento individual de cada conducta humana frente al riesgo, y dada la poca operabilidad en la práctica empresarial de los conocimientos existentes sobre este tema, una variante para el tratamiento de los errores humanos o de la conducta frente al riesgo en general, consiste en desplazar las acciones desde el individuo hacia el colectivo al que éste pertenece.

PALABRAS CLAVES: Confiabilidad, Error, Modelo, Memoria, Disponibilidad

1. INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de validar el modelo teórico de confiabilidad presentado en el VII Congreso de Confiabilidad, se realizó un estudio mediante un cuestionario el cual fue dirigido a 25 técnicos e ingenieros con entre 5-15 años de experiencia de empresas del sector de manufactura en Iberoamerica.

El cuestionario fue formulado con 24 preguntas orientadas a: el análisis de los aspectos asociados al error o factor humano, el análisis del factor humano, a la identificación de las causas de los fallos, la definición del grado de conocimiento y aplicación de técnicas de confiabilidad, la evaluación y medición del entorno de las actividades más frecuentes del hombre, la identificación de aquellas prácticas consideradas para la mejora de la confiabilidad e identificación de las posibles soluciones para mitigar el error humano.

En este presente artículo analizaremos el conjunto de datos obtenidos en el estudio realizado, generando información valiosa traducida en un mayor conocimiento y comprensión de todo el entorno de la confiabilidad humana. Y terminaremos finalmente con la evaluación del grado de aceptación y utilidad del modelo propuesto de confiabilidad para considerar su futura implementación industrial.

2. EL MODELO DE CONFIABILIDAD PROPUESTO

La figura 1 muestra el modelo que ha sido evaluado.

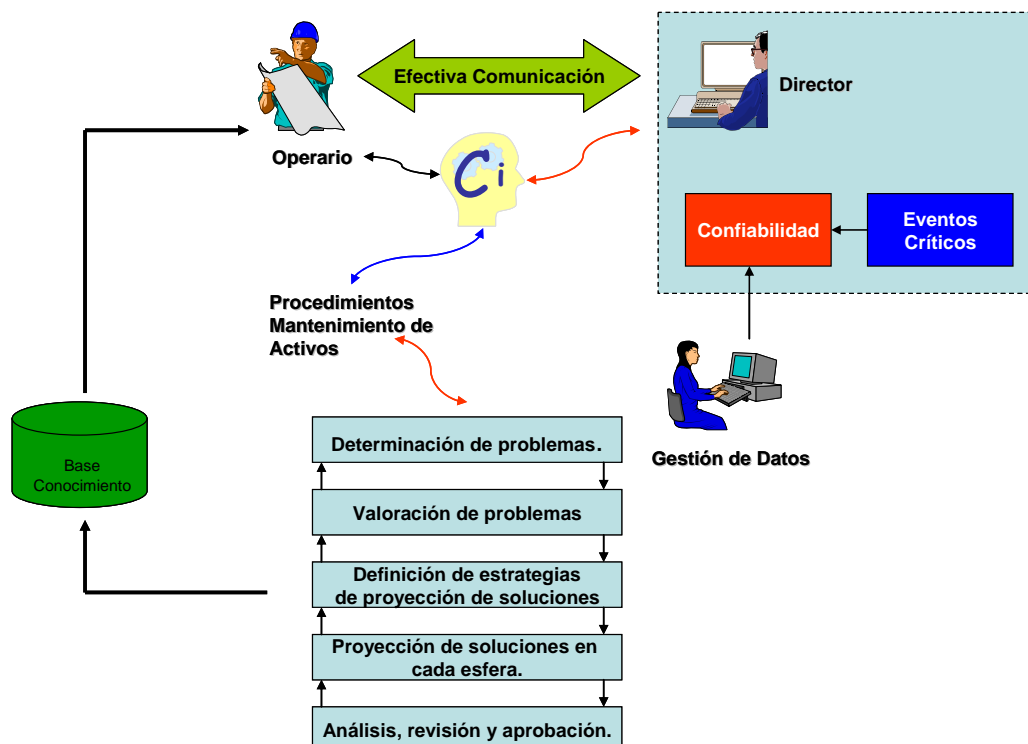


Figura 1. Modelo de Confiabilidad Humana

La estrategia de aplicación del modelo se basa en la gestión del conocimiento y trabajo en equipo, que consiste en formar equipos naturales de trabajo para implementar la confiabilidad operacional proactiva, la cual nos ofrecerá un mapa estratégico de la instalación con el fin de mitigar y diagnosticar los fallos a tiempo desde el punto de vista operacional y humano. Con ello pretende confeccionarse una matriz de agrupación directamente en trabajo de grupo o puede hacerse una propuesta preliminar para buscar consenso. Uno de los objetivos fuertes que persigue la aplicación del modelo es determinar las causas que originan los problemas con la participación de todos los equipos de trabajo empleando para ello los datos como referencia; esclareciendo así las causas que ocasionan los problemas, con ayuda de algunas técnicas de ingeniería de confiabilidad (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis "**FMECA**", Failure Mode and Effect Analysis "**FMEA**", Reliability Centered Maintenance "**RCM**", Human Factors "**Process FMEA**", Root Cause Analysis "**RCA**", Risk-based inspection "**RBI**", Cost/Risk Optimization "**CRO**").

El modelo en síntesis apuesta por la organización aguas abajo de la función del mantenimiento, lo cual asegura la robustez de su utilidad. La organización aguas abajo implica la gestión del conocimiento generada día a día por los operarios (capital intelectual "**CI**" ver figura 1), integrado mediante una base de conocimiento, aplicación de las buenas prácticas de la gestión de activos; como por ejemplo, la descripción y definición suficiente de las tareas y trabajos de mantenimiento a realizar.

La clave de un modelo integral de Confiabilidad Operacional se basa en una buena gestión de sus factores claves; como lo son: el conocimiento, la mantenibilidad, la disponibilidad y los riesgos (humanos y materiales). En este mismo sentido las metodologías **RAM (Reliability, Availability y Maintainability)** y el árbol de decisiones, son métodos sistemáticos a través de los cuales se pueden definir y optimizar el mantenimiento de los activos considerando los aspectos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, y la gestión de riesgo para el manejo de los imprevistos.

La técnica RAM fue desarrollada por la compañía Sun Oil para optimizar sus paradas de planta. A grandes rasgos consiste en evaluar varias opciones de mantenimiento para un equipo desde el punto de vista de **confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad**, para determinar si el equipo debe ser incluido o no dentro del alcance de la parada, es importante destacar que las opciones evaluadas, siempre se comparan contra la opción de "**no hacer nada**". La opción de mantenimiento que desde el punto de vista costo-efectividad represente mayores ahorros es la seleccionada. En ocasiones no hacer nada es lo más conveniente.

La base del árbol de decisión se basa en cuatro elementos; estos son: los factores más importantes que afectan el futuro, **la elección y la casualidad**, y los parámetros que hay que considerar al evaluar a éstos 2 anteriores, **los costes y las consecuencias**. A grandes rasgos el primer paso para construir un árbol de decisión es identificar las opciones que tenemos que elegir para realizar nuestros objetivos. Estas elecciones forman las ramas del árbol; por ejemplo, fabricar o comprar, hacerlo dentro o fuera de la empresa, por la vía

rápida o tradicional, método innovador o de eficacia probada, distribuidor A o B, de mucha o poca prioridad. Cada una de estas decisiones lleva a diferentes resultados. Por último, el árbol de decisión debe abordar consecuencias. Si alguna opción de decisión se eligiera, incurriendo tanto coste como riesgo, el resultado final debería calcularse, lo que normalmente es el **desenlace** de implementar esa decisión.

3. LA RELACIÓN DE LOS DATOS

Siguiendo el esquema mostrado en la figura 2, se han clasificado las preguntas del cuestionario en 8 áreas de conocimiento mostradas en la tabla 1.



Figura 2. Generación de conocimiento

Tabla 1. Relación de los Datos

	Área de Conocimiento	Preguntas
1	Aspectos asociados al error o factor humano	2, 4 y 15
2	Análisis del factor humano	5 y 8
3	Causas de los fallos	3, 6, 10, 11, 12 y 14
4	Determinar el grado de conocimiento y aplicación de técnicas de confiabilidad	1 y 7
5	Evaluar y medir el entorno de las actividades más frecuentes del hombre	9
6	Identificar aquellas prácticas consideradas para la mejora de la confiabilidad	16, 17, 18, 19 y 20
7	identificar las posibles soluciones para mitigar el error humano	13, 23 y 24
8	Evaluación del grado de aceptación y utilidad del modelo propuesto de confiabilidad humana	21 y 22

4. LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos de los 25 encuestados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de la Encuesta Validación del Modelo de Confiabilidad Humana

	PREGUNTAS \ %	% Lo desconocen	% Siempre	% Frecuentemente	% Alguna Vez	% Rara Vez	% Nunca	% TOTAL
1	Emplean alguna técnica de confiabilidad para gestionar el error humano	24	0	16	20	24	16	100
2	Los errores humanos más frecuentes tienen que ver con la memoria	0	8	28	52	8	4	100
3	Un elemento importante a la hora de analizar el error humano es su estrecha relación con la fatiga física y mental	0	12	48	40	0	0	100
4	Muchas de las tareas que se realizan en mantenimiento requieren grandes componentes de memoria	8	4	48	28	12	0	100
5	En ciertos sectores industriales, las equivocaciones no tienen más consecuencias que pérdidas de tiempo y económicas. ¿Ha sido causa del factor humano?	4	4	56	32	4	0	100
6	Cree usted que los fallos que se producen en los sistemas son causados mayoritariamente por cuestiones técnicas	0	0	24	60	16	0	100
7	Aplican la metodología "Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad" (RAM) para gestionar el error humano.	20	8	0	16	24	32	100
8	La motivación juega un papel importante en los factores humanos, y en su rendimiento en el trabajo	0	56	44	0	0	0	100
9	La mayoría de las actividades humanas implican la interacción HOMBRE-MAQUINA-ENTORNO	0	32	68	0	0	0	100
10	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	24	12	12	44	8	0	100
11	El rasgo común es que la posibilidad de cometer el fallo es un atributo de las condiciones y no del hombre	4	0	32	36	28	0	100
12	El requerimiento de abrir una válvula cuando suena la alarma de apertura, esta operación, al ser muy practicada y sencilla se realiza inconscientemente. (de forma automática y mecánica por el hombre)	8	20	68	4	0	0	100
13	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	12	20	48	20	0	0	100
14	Los errores de mantenimiento no son únicamente causados por algo que la gente de mantenimiento ha hecho, <u>sino por algo que gente de mantenimiento no hizo</u>	8	4	64	16	8	0	100
15	¿Es determinada la carga mental de las tareas de mantenimiento?	8	8	16	16	36	16	100
16	Si se analizan cada una de las etapas de la metodología y sus condiciones detalladamente podremos identificar con mayor exactitud el origen del problema	8	24	60	8	0	0	100
17	La identificación de los equipos críticos en plantas de procesos nos ayuda a mejorar la confiabilidad humana	8	20	36	24	12	0	100
18	Realizar un análisis de riesgos sobre los equipos críticos nos apoya en la optimización de los procesos de la confiabilidad humana	8	32	40	12	8	0	100
19	Elaborar un plan mecánico que contenga toda la información técnica necesaria sobre los equipos críticos nos apoya en mitigar los errores humanos	8	8	48	32	4	0	100
20	El estudio de los factores humanos para la mejora y evasión de errores funciona	12	20	56	8	4	0	100
21	Es un error pensar solamente que lo hicieron y esa es la causa, es necesario indagar más, conocer la causa, la raíz del problema: ¿Lo ayudará esta metodología?	4	40	56	0	0	0	100
22	Emplea la metodología del árbol de decisiones para manejar imprevistos que surjan durante la ejecución del mantenimiento ¿Cree usted que si la combina con esta metodología será de mucha utilidad?	8	20	48	16	0	8	100
23	Al identificar dónde podría radicar algún problema de confiabilidad, se selecciona alguna estrategia o combinación de estrategias para evitar el error humano	8	4	44	36	8	0	100
24	Se hace un seguimiento constante de los trabajos de mantenimiento para evitar el fallo humano	8	8	20	44	16	4	100

5. DISCUSIÓN

Los ingenieros y técnicos de mantenimiento encuestados concuerdan en que existe un alto **desconocimiento de las técnicas de confiabilidad** (24%); lo cual, puede influir en que no sean empleadas como una práctica constante (ver tabla 2 pregunta 1). Estos resultados se extienden al desconocimiento de la metodología RAM (Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad) y a su muy baja aplicación (ver tabla 2 pregunta 7).

Los **errores humanos** más frecuentes algunas veces son asociados con la memoria (ver tabla 2 pregunta 2) y se considera que muchas de las tareas a realizarse en mantenimiento requieren con mucha frecuencia grandes componentes de la memoria (ver tabla 2 pregunta 4); sin embargo, la carga mental de las tareas de mantenimiento rara vez son determinadas como puede verse en la tabla 2 pregunta 15. Lo cual pueda deberse a que se le otorgue mayor importancia a los detalles técnicos de los trabajos, que a las condiciones mentales y físicas de la(s) persona(s) que las ejecutará. En este mismo sentido es considerada con frecuencia la relación de la fatiga física y mental al analizar el factor humano (ver tabla 2 pregunta 3).

Por lo general las **causas de los fallos** son asociados a: cuestiones técnicas (ver tabla 2 pregunta 6) y en función al tiempo determinado para ejecutar una actividad (ver tabla 2 pregunta 10). Por otro lado, algunas veces la causa de los fallos es atribuida a las condiciones y no al hombre, al grado en la que el hombre ejecuta una tarea de forma inconciente (ver tabla 2 pregunta 12) y debido a acciones que gente de mantenimiento no hizo (ver tabla 2 pregunta 14). Sin embargo, los **fallos con consecuencias de pérdidas de tiempo y dinero son asociadas** frecuentemente al factor humano (ver tabla 2 pregunta 5); con esto podría decirse que se le otorga mayor confianza a las máquinas y/o equipos para todo aquello que esté asociado a tiempo y dinero. Sería interesante medir a **¿qué?** o a **¿quién?** asocian los fallos con consecuencias de pérdida de vidas humanas. Lo asociarían **¿a personas?** o **¿a máquinas?** o **¿a métodos, procedimientos, etc...?**

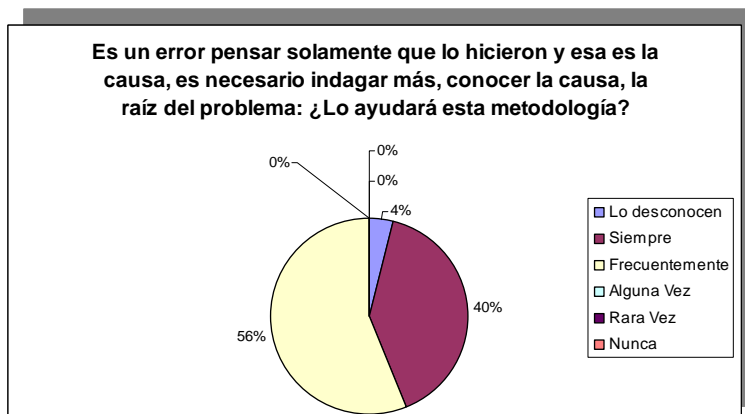
Por otro lado se percibe que la mejora de la confiabilidad y la mitigación de los riesgos puede lograrse a través de: la elaboración de un plan mecánico con información técnica necesaria y completa, identificación y análisis del riesgo de los equipos críticos de las plantas (ver tabla 2 pregunta 17, 18 y 19). En este mismo sentido, se le otorga una gran importancia a la identificación y análisis de las causas que originaron el fallo para mitigar su ocurrencia (ver tabla 2 pregunta 16 y 20) y en la selección de alguna estrategia o conjunto de ellas para evitar los errores (ver tabla 2 pregunta 23). Así mismo concuerdan en que los problemas de la confiabilidad integrada de activos puede aminorarse a través de la adecuación de las estructuras aguas a bajo de la función de mantenimiento (ver tabla 2 pregunta 13).

A pesar de que los encuestados consideran que los fallos son causados frecuentemente por algo que gente de mantenimiento no hizo (ver tabla 2 pregunta 14), los resultados indican que no se realiza un seguimiento constante

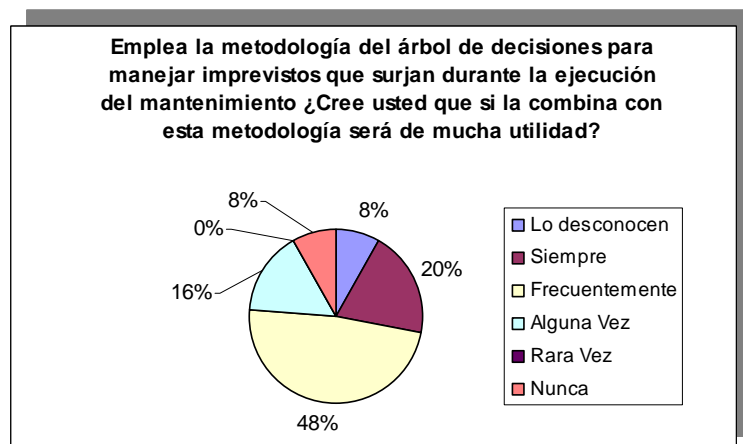
de los trabajos de mantenimiento para evitar el fallo humano (ver tabla 2 pregunta 24). Esto puede deberse a que no cuentan con una metodología y/o modelo a través del cual puedan establecer un esquema de referencia; a través del cual, puedan atacar cada aspecto inherente a la confiabilidad en todo su conjunto.

Finalmente en la mayoría de las actividades humanas el entorno es descrito como una interacción **Hombre-Máquina-Entorno** (ver tabla 2 pregunta 9); esto hace que se considere la gran importancia que hay que atribuirle a la gestión de la Confiabilidad Humana, al tratamiento del factor humano y a la Confiabilidad de Activos. Pensando más allá y lo planteado en el modelo de confiabilidad humana (de este estudio), podríamos decir que en el presente y en el futuro deberá hablarse y pensarse en la **Confiabilidad Operativa**; la cual conjuga la confiabilidad técnica y confiabilidad humana de manera indisociable, sin descuidar la gran impulsora del rendimiento en el trabajo como lo es la motivación (ver tabla 2 pregunta 8).

El modelo de Confiabilidad Humana propuesto (ver figura 1) ha sido evaluado por la mayoría como un modelo que ayudaría a indagar más sobre la causa y la raíz de los problemas (ver gráfica 1) y al manejo de imprevistos al combinándose con un árbol de decisiones (ver gráfica 2). Con esto podemos decir que el modelo propuesto cumple con los objetivos de gestión de la Confiabilidad Humana y Confiabilidad Operativa.



Gráfica 1



Gráfica 2

6. LECCIONES APRENDIDAS

Pese a la gran importancia que amerita la atención de la confiabilidad humana existe un alto desconocimiento de las técnicas de confiabilidad y en ese mismo sentido no son empleadas como prácticas constantes.

Las técnicas de confiabilidad deben enfocarse a las condiciones de trabajo del hombre y no solo prestándole toda la atención a los aspectos técnicos. En este mismo sentido para mitigar los fallos o errores humanos hay que ahondar más en las causas que los originan considerando los aspectos técnicos, tiempo de ejecución de las actividades y sus condiciones de ejecución basados en los aspectos de fatiga física y mental, en la memoria y la motivación.

El modelo de confiabilidad humana propuesto promueve la organización aguas abajo de la función del mantenimiento a través de la integración **Operario - Sistema - Estrategia**, procedimientos de mantenimiento de activos, estrategia y gestión de datos; así mismo, considera el seguimiento constante de los trabajos de mantenimiento para mitigar el fallo a través de una efectiva comunicación operario, director y empresa (ver figura 1).

Para la etapa de la búsqueda de soluciones la integración grupal que se logre durante la realización de esta fase, propiciará condiciones favorables para la búsqueda de soluciones, y además dará 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 soluciones técnicas y económicamente acertadas, para lograr una confiabilidad operacional óptima (confiabilidad humana y técnica).

8. PROPUESTA

Debemos promover el uso y aplicación de la confiabilidad operacional que es lo que demanda las necesidades recogidas en este estudio, hacer una simbiosis indisociable entre la **Confiabilidad Técnica y la Confiabilidad Humana**. Las tragedias que escuchamos día a día siempre terminan con una frase en común **“si hubiésemos sabido que esto ocurriría, hubiésemos actuado”**. Debemos comenzar a hablar en presente y futuro **“tenemos que hacer esto... o si no...”**.

Las estrategias de confiabilidad operacional deberán ser alineadas a la estrategia de la empresa basado en la integración grupal, para ello proponemos la implementación del modelo propuesto de confiabilidad humana el cual considera todos estos aspectos.

9. TRABAJOS FUTUROS

Implementar el modelo a nivel industrial a mediano plazo; lo cual, involucra la definición de los pasos a seguir para su implementación, las mejores prácticas

alineadas a las necesidades detectadas en la industria y las herramientas recomendadas.

10. CONCLUSIONES

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

“Hay que llevar la estrategia a la acción...”

11. REFERENCIAS

Amendola L., Depool T., [2005]. “Modelo de Confiabilidad Humana en la Gestión de Activos”. VII Congreso de Confiabilidad, Asociación Española de la Calidad, Madrid. España.

Amendola Luis., [2002]. “Modelos Mixtos de confiabilidad”. Publicado por Datastream. www.mantenimientomundial.com.

Davenport, T.H., Prusak, L. [1998]. Working Knowledge. Boston: Harvard Business School Press.

Embrey D., [2000]; Performance Influencing Factors (PIFs), Human Reliability Associates Ltd.

Embrey D., [2000]; Task Analysis Techniques, Human Reliability Associates Ltd.

Edvisnsson 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, 45–57.

Hillson, D., [2003], Decisiones Decisiones, www.risk-doctor.com.

Latorella K. A., Prabhu. P. V., [2000], A review of human error in aviation maintenance and inspection, International Journal of Industrial Ergonomics 26, 133-161

Shailendra K. Gupta and John E. Paisie, [1997], Sun Oil Company Turnaround Scope Development Through Reliability, Availability and Maintainability Analysis NPRA Conference.

Sträter O., Bubb. H., [1999], Assessment of human reliability based on evaluation of plant experience: requirements and implementation. Reliability Engineering and Systems Safety 63 199–219

Vanderhaegen F., [2001], A non-probabilistic prospective and retrospective human reliability analysis method — application to railway system, Reliability Engineering and System Safety 71, 1–13.

AUTORES:

Luis Amendola, Engineering Management, Ph.D. Consultor Industrial e Investigador del **PMM Institute for Learning y la Universidad Politécnica de Valencia España**, 25 años de experiencia en la industria del petróleo, gas, petroquímica y empresas de manufacturas, colaborador de revistas técnicas, publicación de libros en Project Management y Mantenimiento. Participación en congresos como conferencista invitado y expositor de trabajos técnicos en eventos locales e internacionales en empresas y universidades.

Tibaïre Depool. MSc. Ing, 05/03 a la fecha. Production Management. **PMM Institute for Learning;** España, Consulting & Coaching en empresas de manufacturas a nivel local e internacional. 8 años de experiencia industrial en Project Management y Asset Management.