

Año 1, N° 2, Febrero 2014

# PREDICTIVA 21

**I CONFERENCIA DE  
CONFIABILIDAD HUMANA Y  
III DE CONFIABILIDAD INDUSTRIAL  
EN LA UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR**

**STRESS, DISTRESS, BURN OUT  
Y LOS ERRORES HUMANOS**

**GARY SERVICES:  
LA CONFIABILIDAD HUMANA  
EN LA MIRA DE  
LA EVOLUCIÓN ORGANIZACIONAL**

# 10 Años en CONSTANTE EVOLUCIÓN

CONECTAMOS EXPERIENCIA Y VISIÓN DE FUTURO



EMS Soluciones efectivas para la Gestión de Activos

Ingeniería y Construcción  
Confiable y Mantenimiento  
Servicios Profesionales.

### Confiabilidad e Incertidumbre: el hombre y la máquina en la gestión de activos

“Las ciencias nos han hecho adquirir muchas certezas, pero de la misma manera nos han revelado, en el siglo XX, innumerables campos de incertidumbre. (...) Se tendrían que enseñar los principios de estrategia que permitan afrontar los riesgos, lo inesperado, lo incierto, y modificar su desarrollo en virtud de las informaciones recibidas en el camino. Es necesario aprender a navegar en un océano de incertidumbres, a través de archipiélagos de certezas.” Con estos planteamientos el insigne filósofo francés Edgar Morín da inicio al prólogo de su obra Los siete saberes necesarios para la educación de futuro, la cual fue elaborada por Morín para la UNESCO, como aporte visionario sobre los nuevos modelos educativos. Tomando a la educación como la apropiación de nuevos paradigmas, conocimientos y puntos de vista, cuyo proceso interno devolverá un nuevo producto (cognitivo, filosófico o material) al entorno al cual pertenecemos, podemos presuponer que todos estamos envueltos en el hecho educativo de forma casi constante, ya sea formal o empíricamente. En el mundo de la ingeniería, y específicamente la ingeniería de mantenimiento, este proceso de absorber y procesar información es continuo, de la misma forma que es continua la elaboración de productos, servicios, y nuevas y mejores formas de hacer las cosas. La ingeniería de mantenimiento pretende, en principio, establecer las mejores estrategias para alargar la vida de los equipos con el mejor funcionamiento posible, luego de largos años de aprendizaje que comenzaron con la Revolución Industrial y se afianzaron luego de la Segunda Guerra Mundial. El arduo proceso educativo que ha significado para la industria mundial el campo de la ingeniería de mantenimiento ha dado, como dudarlo, excelentes resultados. Pero, como cita Morín, siguen habiendo océanos de incertidumbre, habida cuenta que la revolución industrial y posteriormente tecnológica lleva implícito un elemento reconocido históricamente por su imprevisibilidad: el elemento humano. A este tema, de crucial importancia para el desarrollo, hemos dedicado este segundo número de **Predictiva21**.

El hombre detrás de la máquina, ilustrado conceptualmente en nuestra portada, es (por ahora) la pieza final del complejo mosaico que es el mantenimiento predictivo y la gestión de activos. El carácter impredecible de la conducta humana ha conllevado a explorar nuevas áreas del saber, establecer nuevas categorías y conceptos, y finalmente desarrollar estrategias que permitan abordar este aspecto, todo ello con el fin de lograr la mayor confiabilidad de productos, procesos y servicios, preservando la vida, los equipos y el ambiente. Especialistas en conducta humana ponen al alcance de nuestros lectores su experiencia en el ramo, y hacen lo propio los expertos en confiabilidad operacional, la cual descansa en la confiabilidad organizacional. Conceptos como inteligencia social, revisión de directrices, ética y valores humanos, se amalgaman ahora perfectamente con Análisis Causa Raíz, Monitoreo por Condición y otros lugares comunes en la Gestión de Activos. En este tópico, en donde han de converger de la forma más amigable posible las ciencias técnicas y las ciencias humanas, **Predictiva21** expone una síntesis de este acercamiento y de los nuevos paradigmas que conjugan al hombre y la máquina.

Enrique González  
Director General

- 4** | Las estrategias a seguir para elaborar un plan inicial de mantenimiento en una empresa  
*Artículo Técnico*
- 6** | Las revoluciones industriales en el mundo (I Parte)  
*Artículo Técnico*
- 12** | Aplicación de la metodología de análisis causa raíz. Caso: fallas recurrentes del sistema de distribución eléctrica en 34,5kv de un campo petrolero (I Parte)  
*Artículo Técnico*
- 18** | Evaluación de la base de datos de mantenimiento  
*Artículo Técnico*
- 26** | I conferencia de Confiabilidad Humana y III de Confiabilidad Industrial en la Universidad Simón Bolívar  
*Entrevista*
- 34** | Stress, distress, burn out y los errores humanos  
*Artículo*
- 38** | GARY Services: La Confiabilidad Humana en la mira de la evolución organizacional  
*Entrevista*
- 44** | Optimización de inventarios de partes y repuestos para el mantenimiento (II Parte)  
*Artículo Técnico*
- 50** | Asociaciones de mantenimiento mundial - Eventos  
*Infografía*
- 52** | Evaluación estructural por elementos finitos de la silla de volcado utilizada en plantas de laminado en caliente (II parte)  
*Artículo Técnico*
- 58** | Uso del programa life cpr – comsys© para la selección del accionador y el arreglo óptimo en plantas compresoras de gas (II Parte)  
*Artículo Técnico*

## PREDICTIVA21

### Junta directiva

**Director General:**  
Enrique González

**Director de Mercadeo:**  
Miguel Guzmán

**Jefe de Información:**  
Alimey Díaz

**Diseño y Diagramación:**  
María Sophia Méndez

### Digitalización y Web Master:

Edgar Guzmán  
Miguel Herrera  
Elio Luces

**Asistente Editorial:**  
Daniela Angulo

### Colaboradores:

Arquimedes Ferrera  
Enrique D. Villanueva  
Héctor Díaz  
Lourival Augusto Tavares  
Bárbaro J. Giraldo C.

*Predictiva21 no se hace responsable por las opiniones emitidas en los artículos publicados en esta edición. La línea editorial de esta publicación respetará las diversas corrientes de opinión de todos sus colaboradores, dentro del marco legal vigente.*

# Las Estrategias A Seguir Para Elaborar Un Plan Inicial De Mantenimiento En Una Empresa

## INTRODUCCIÓN

Algunas veces nos hemos preguntado de donde salió el plan de mantenimiento de nuestra empresa, quienes lo elaboraron y que estrategias siguieron.

Generalmente, cuando afrontamos problemas como fallas de equipos, mala calidad de los productos, accidentes, etc. en nuestras empresas, siempre salen a relucir las siguientes preguntas: ¿Es nuestro plan de mantenimiento el correcto? ¿Quiénes lo elaboraron? ¿Se está ejecutando como debe ser? ¿Nuestro personal está debidamente capacitado para atender o prever estas contingencias?

Todavía sin hacer ningún tipo de análisis, estas preguntas pasarán inmediatamente por la mente de nuestros gerentes y directores. Sin embargo, también deberíamos considerar otros enfoques, que quedan plasmados en interrogantes del tipo: ¿Cómo definimos las estrategias de nuestro plan de mantenimiento? ¿Cuáles fueron las premisas o directrices que tomamos, para decidir que estrategias de mantenimiento? ¿Son estas estrategias las que debemos aplicar en nuestra industria, instalación, planta, equipo o componente? ¿De qué dependen las decisiones de mantenimiento en la empresa? ¿Qué queremos garantizar cuando definimos las estrategias de mantenimiento? ¿Cuál es el objetivo de nuestro plan de mantenimiento de la empresa?

Aparentemente, se trata de interrogantes que todos deberíamos conocer, no obstante, pocos

pueden dar una respuesta satisfactoria a estas. Podríamos incluso plantear una interrogante general: ¿habrá alguien en la empresa que tenga respuestas a algunas de estas preguntas? Esto sin referirme, por supuesto, a la trillada respuesta: “misión de mantenimiento”, elaborada en la oficina del algún gerente o director, para cumplir un compromiso de calidad.

## OBJETIVO

El objetivo principal de esta publicación es indicar los pasos básicos, que nos sirvan como guía para identificar las estrategias que debemos seguir para la elaboración de un plan inicial de mantenimiento, y así dar repuesta a cada una de las interrogantes formuladas en los párrafos anteriores.

Como objetivos específicos adicionalmente, se pretenden instar a los responsables de la gerencia o gestión del mantenimiento en las empresas a desarrollar un nivel de conciencia que le permita responder las preguntas básicas indicadas anteriormente.

## DESARROLLO

El mantenimiento en general ha venido evolucionando con la aplicación de nuevas estrategias, políticas, conceptos, métodos y procedimientos de mantenimiento (MCC, IBR, FMEA, PMO, etc.) las cuales, a pesar de ser muy exitosas, han mostrado limitaciones en su

aplicabilidad, debido a su complejidad o a las dificultades a la hora de recabar información. La aplicación de estrategias más simples pueden servir de base o guía para orientar las actividades de mantenimiento de una forma ordenada inicialmente, y así sentar las bases para el desarrollo de estrategias más complejas. Regresar a lo básico puede simplificar el panorama de manera significativa, y con ello encontrar respuestas que, por obvias, obviamos. Estas estrategias iniciales o básicas permitirán a los diferentes departamentos de mantenimiento soportar técnicamente las decisiones de por qué realizar determinadas actividades, y en un futuro evolucionar a un proceso de optimización, gestión de activos o confiabilidad operacional.

Respondiendo las interrogantes planteadas, los criterios básicos aunque parezcan muy obvios, serían:

1. Identificar a qué se le realizará mantenimiento. Y por qué.
2. Crear una estructura básica sencilla (taxonomía) para identificar los sistemas, equipos y componentes.
3. Crear una estructura básica para el control de comportamiento y los costos asociados a falla, mantenimiento y eficiencia.
4. Determinar las actividades de mantenimiento a realizar (inicialmente no preocuparse por la relación PM, PdM o MC), este es uno de los puntos más importantes y difíciles. Vale destacar que la estrategia se debe alinear a los objetivos de la empresa, con el apoyo de las especificaciones y datos técnicos de los equipos.
5. Determinar y cuantificar los recursos humanos, materiales y técnicos para el cumplimiento de las actividades de mantenimiento definidas.
6. Una vez definidos los puntos anteriores debemos preguntarnos:

¿Cuál es el costo de nuestras estrategias?

¿Permitirán estas estrategias cumplir el plan de producción definido?

¿Dispondremos de los recursos (incluyendo el personal capacitado) para cumplir con este plan?

7. Crear una base de datos para control (inicialmente puede ser en formato electrónico o papel, pero si contamos con un CMMS es todavía mejor)

## RESULTADOS ESPERADOS

Los resultados fundamentales que se pretenden obtener aplicando estos pasos básicos son los siguientes:

- Un diagnóstico sobre las principales dificultades y oportunidades en la identificación de las estrategias para la elaboración de un plan de mantenimiento en la industria.
- Una relación entre las políticas, estrategias y el plan de mantenimiento.
- La determinación de las estrategias de mantenimiento más apropiadas inicialmente.
- Finalmente, contar con lo que adolecen la mayoría de las empresas: una base de información que nos permitirá en un futuro cercano la optimización de nuestros planes y aplicación de nuevas metodologías.

AUTOR:

*Ferrera Martínez, Arquimedes José*  
*Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones*  
*Empresa: E&M Solutions C.A. (Venezuela)*  
*y E&M Solutions, S.A de C.V. (México)*  
*E-mail: arquimedes.ferrera@eymsolutions.com*

# Las Revoluciones Industriales En El Mundo (I parte)

Hace unos cuantos días tuve la fortuna de cumplir 90 años, he hice un análisis introspectivo de la principal tarea que hasta este momento sigo interesado en ella de tiempo completo y recordé que mi primer contacto desde el punto de vista científico con los aspectos de Mantenimiento Industrial fue durante la Conferencia de Mantenimiento que del 4 al 15 de Junio de 1962 se desarrolló en Estocolmo Suecia. Tuve la oportunidad de ser invitado a ésta por L.M. Ericsson, fabricante y proveedor de equipo telefónico. Dicho evento despertó en mí un gran interés por el Mantenimiento Industrial, especialmente enfocado a las comunicaciones eléctricas y electrónicas. Desde entonces a través de mi trabajo en Teléfonos de México, S. A. y posteriormente como Consultor e Instructor independiente en ésta rama de la Industria, he seguido de cerca su evolución y llegado a la siguiente conclusión:

Al "Mantenimiento" Industrial ancestralmente se le ha estimado como una labor de tercera que debe ser hecha por personas usualmente sin preparación. Lo más trágico es que aún las escuelas técnicas, las universidades y los institutos tecnológicos del país también consideran que los estudios de "mantenimiento" industrial deben suministrarse como materia opcional. Con este enfoque el sólo pensar en mantenimiento nos lleva a minimizar su importancia y considerarlo en general como un tema trivial. Esto lo he mencionado en muchos de mis trabajos y asevero que se debe a que al "mantenimiento" se le está dando el lugar que debe tener la conservación.

Voy a poner en consideración de mis lectores una serie de artículos que aseguro nos llevará a la solución del problema y hasta los "Gurus" en "mantenimiento" quedarán convencidos de ello.

La importancia que tiene la industria mundial con respecto a la conservación de nuestro hábitat, nos obliga a analizar cuidadosamente cómo ha evolucionado esta materia y tenemos la obligación moral de poner todo nuestro esfuerzo para minimizar el daño acelerado que estamos ocasionando a éste y pasando cómodamente la factura a nuestros descendientes, tenemos conocimientos suficientes para conseguirlo, solamente es cuestión de ordenarlos

## PRIMERA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Se registra su desarrollo entre 1760 - 1830 en el norte de Inglaterra y el sur de Escocia. Para el 1760 en las ciudades más adelantadas del mundo existían formas de gobierno que regían las aldeas a favor de los intereses de las castas en el poder, de tal manera que se considera que durante los setenta años que duró éste movimiento, la población seguía siendo esencialmente integrada solamente por dos castas o clases sociales como venía sucediendo desde la edad media, estas eran representadas por la burguesía y los obreros. La burguesía estaba personificada por los descendientes de comerciantes y campesinos exitosos que habían logrado apropiarse de tierras, y algunos hasta a construir sus propias fábricas (zapaterías, molinos, hilos, telas, ropa etcétera), por lo cual

eran hombres muy ricos y ostentaban un elevado estatus social que los hacía muy poderosos. Los obreros que eran la gran mayoría del pueblo, se veían en la necesidad de trabajar desde niños a las órdenes de algún burgués en condiciones inhumanas durante seis días de la semana y con turnos de catorce o más horas. Durante los 70 años de ésta etapa el objetivo industrial era producir mucho abaratando la materia prima, no importaba la calidad pues no se tenía conocimiento de ella, esto ocasionaba que el productor al terminar su producto solo verificaba cual podía venderse como bueno, cual como regular y al resto lo reprocesaba o tiraba como desperdicio.

La ausencia del poder público (Gobierno) daba lugar a la incoherencia en las reglas del que y el cómo debería ser una empresa, su responsabilidad social y su manejo, pues el burgués propietario de una o más industrias había aprendido desde niño lo que sus ancestros le enseñaron, por lo que él conocía como estaba hecha cada máquina, sabía que herramienta debía usarse en cada caso y que destajo debería pagársele al obrero; y estaba convencido de que su forma de actuar era la mejor que la de cualquier otro de sus compañeros industriales. Esto produjo en el panorama mundial la existencia de un campo industrial con instalaciones heterogéneas y manejadas al arbitrio de cada burgués propietario. En esa época seguían en uso como materia prima, la madera y el algodón y se utilizaban las ancestrales formas de energía como la del agua, la del viento, la producida por el hombre y semovientes, pero el verdadero detonador de ésta primera revolución industrial fue el empleo del carbón que existía en grandes cantidades en el norte de Inglaterra y el sur de Escocia. Hasta este momento no se le daba importancia a la máquina, ésta se hacía trabajar hasta su destrucción con la idea de no perder producción aunque esta fuera basura pero se despertaron los primeros indicios de la búsqueda de la mecanización para eliminar la mano de obra. De la maquinaria mas importante en uso se tenían las bombas para extraer agua de las minas de carbón a través del movimiento por vapor de un

pistón (motor de Savery) pero el verdadero impulso que recibió esta etapa fue el uso y desarrollo del motor de Watt, idea de la cual se derivó el diseño de la locomotora (Richard Trevithick 1804) y a finales de esta etapa, en 1826 se empieza la construcción de la primera línea férrea entre las ciudades de Liverpool y Manchester.

Este contexto dio lugar a la segunda y tercera revoluciones industriales las cuales tuvieron sus inicios en Norteamérica y la tercera su máxima expresión en Japón, así que es recomendable apoyar nuestro pensamiento en 1880 cuando la industria mundial estaba constituida solamente por empresas campiranas, con directores burgueses de procedencia campesina y obreros como esclavos. A raíz del crecimiento del interés burgués por obtener su propia fábrica, se construyó en el ámbito mundial una "plataforma industrial" en donde reinaba el empirismo para la administración de empresas, pues los burgueses que querían comprar una fábrica ya fuera de telas, zapatos, etcétera; el vendedor y a la vez "Empresario-Campesino" les instruía de todo a todo en procedimientos de trabajo, diseño y construcción de máquinas y herramientas, operación de las mismas, "administración de personal", etcétera, generando el mencionado caos industrial en el ámbito mundial.

## SEGUNDA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Su desarrollo se sitúa en los Estados Unidos de Norte América entre 1880 y 1893, la industria de éste país mostraba un desarrollo similar al de los países del viejo continente pero con la existencia de mejores "Reglas del juego" marcadas por su gobierno para que las empresas pudieran interactuar de manera justa en el medio industrial, pero a causa del caos industrial antes mencionado, se generaron industrias que luchaban mucho y en ocasiones en forma ruda, para conseguir a toda costa un lugar preponderante a través de la conquista de mercados internacionales que cada día eran más exigentes.

### *Frederick W Taylor (1856-1915)*



Ingeniero norteamericano, se le considera "Padre de la Administración científica del trabajo". Laboró en 1878 en la siderúrgica Midvale Steel Company en Filadelfia E. U. A. y gracias a sus esfuerzos en el estudio y trabajo (Taylor se hizo ingeniero asistiendo a cursos nocturnos), fue rápidamente escalando puestos en ésta empresa, desde vendedor, capataz, capataz de "mantenimiento", etcétera llegando en seis años a Director de Ingeniería. Otra de sus contribuciones relevantes fue en su papel de consultor al situar a la siderúrgica Bethlehem Iron Company como prototipo de industria norteamericana.

Aunque tuvo grandes éxitos en la racionalización de los desarrollos laborales, sus logros provenían no solo por los principios de sus ideas sino además por su persistencia metódica de estudiar los procesos de trabajo y darse cuenta de que no existe ni existirá nunca un procedimiento específico y que era mucha más adecuada la adaptación de las máquinas al hombre que del hombre a las máquinas. Dejó Midvale como ingeniero principal en 1890 y creó una compañía de consultoría en 1893. Es el más claro inspirador de la ingeniería para la eficacia del personal, conocida en todo el mundo como "Taylorismo".

Taylor, durante su vida laboral entre (1880 y 1893) y auxiliado por el ingeniero norteamericano asignado a su cargo Henry Gantt y por los señores Frank y Lillian Gilbreth que a la postre eran consultores, crearon a través de observaciones cuidadosas, metódicas, cronometradas y científicamente comprobadas el cómo debían planear y efectuar su trabajo los obreros. Estos análisis les proporcionaron información para determinar científicamente el tipo de maquinaria, herramienta, obrero a emplear, salario a pagar etcétera. La aplicación de estas prácticas se convirtió en un modelo a seguir por los propietarios y altos directivos

industriales (empresarios burgueses) ya que desde ahora ellos podrían planear y decidir todo lo relativo sobre la administración de la industria. Estos conocimientos los publicó en su libro "Principios y métodos de gestión científica" en 1911 el cual se difundió con rapidez en Norteamérica y Europa.

### *Henry Fayol (1841-1925)*



Ingeniero francés reconocido como el padre de la teoría moderna de la administración, su obra publicada en 1916 en París Francia "Administración Industrielle et Generale" describió lo que él consideró los principios y las funciones de la administración. Fayol tomó muy en cuenta las ideas contenidas en los libros de Adam Smith, "La división del trabajo" y "La riqueza de las naciones"; además propuso que debería existir la administración como proceso y determinó sus criterios generales. Es muy probable que sus ideas no se conocieran muy pronto en Inglaterra ni en E. U. A. ya que hasta 1929 su libro fue impreso por primera vez en inglés y en reducido tiraje, por una editorial de Ginebra Suiza. Se considera que su reconocimiento como obra de gran valor en los países de habla inglesa, se originó a partir de 1929 y solo hasta 1949 fue publicado en Estados Unidos. Con esto las empresas empezaron a adquirir un concepto holístico sobre todos los departamentos que las integraban y lo propuesto por Fayol fue adecuado para todo tipo de empresas incluyendo las industriales. Su obra facilitó el entendimiento de la teoría de la administración científica propuesta por Frederick W. Taylor.

Para hacernos una mejor idea del auge que tomó el desarrollo norteamericano con la aplicación de estas ideas tomemos como ejemplo a la ahora mundialmente vigorosa AT&T fundada en 1885 de la cual a través del tiempo se desprendieron de esta, otras grandes corporaciones tales como la Western Electric

Company, Hawthorne Works y Midvale Steel Works.

Para 1925 Western Electric Company era la rama productora más importante de la AT&T. Estaba situada en Chicago Illinois y se dedicaba a la producción de ferrocarriles y sus partes, tales como ruedas y rieles de acero. Manufacturaba una gran variedad de equipo telefónico y además fue el escenario de una cadena de innovaciones tecnológicas y semillero de importantes avances técnicos administrativos. En 1905, Western Electric fundó la empresa Hawthorne Works en Cícero Illinois, para la producción de artículos de consumo masivo internacional como teléfonos, refrigeradores, abanicos eléctricos, etcétera y llegó a tener 45,000 empleados. La planta significaba para la ciudad de Cícero un pequeño pueblo con su propio ferrocarril para mover sus materiales y productos y sus trabajadores tenían que desplazarse en bicicleta para recorrer las grandes distancias que había dentro de la empresa. Hawthorne fue cuna de la psicología industrial.

Bethlehem Steel se fundó en Belén Pensilvania en 1857. Se convirtió en la segunda acerera de Estados Unidos y entre sus productos iniciales se encontraban los rieles y forjas para ferrocarriles y blindajes para la marina norteamericana. En 1899 produjo los primeros perfiles estructurales de aleta amplia hechos en América con lo cual llegó a ser el primer proveedor internacional de la industria de la construcción de rascacielos que en ese tiempo estaba en auge. Para principios de 1900 Bethlehem Steel poseía minas de hierro y astilleros en Cuba. En 1913 fue estimada como una de las principales constructoras en el mundo.

Midvale Steel Works en Nicetown, Filadelfia, Pennsylvania, se creó en 1867 y se dedicaba a la producción de aceros de alta calidad utilizados en la industria automotriz y en armas tales como artillería pesada para instalaciones navales, costeras y de campo. Fue en esta empresa donde en 1878 se inicio como obrero Frederick Wilson Taylor llamado posteriormente el "Padre de la

administración científica del trabajo" que como vimos, con sus ideas estudios y trabajos fue el que ocasionó el arranque de la segunda revolución industrial y cimentó el desarrollo del Mantenimiento Productivo (PM por sus siglas en inglés) como a continuación lo analizaremos.

**IDEAS QUE DESARROLLARON EL MP**  
(Mantenimiento Productivo por sus siglas en inglés)

Ahora situémonos en la unión norteamericana en el lapso del 1920 a 1939. Pensemos en los intelectuales que en ese tiempo se preocuparon por mejorar el pensamiento administrativo y la productividad de las diferentes empresas que había en la industria mundial de la época. Personajes como Charles Babbage, Ada Lovelace, Joseph Wharton, Frederick Wilson Taylor, Henry Fayol, Walter Andrew Shewhart, William Edwards Deming, Joseph Moses Juran entre otros, hicieron importantes contribuciones.

#### **Walter Andrew Shewhart (1891-1967)**



Ingeniero, Doctor en física y Estadístico norteamericano a quien se considera el padre del control estadístico de la calidad. En 1918 laboró en la Bell Telephone de Nueva York en el departamento de ingeniería, época en la cual la calidad se basaba en la inspección de productos terminados y la remoción de artículos defectuosos. Su misión era mejorar la fiabilidad de los productos pues estos eran frecuentemente rechazados debido a sus altos costos y falta de seguridad.

El analisis de sus experiencias lo llevaron a detectar que todo proceso de manufactura normalmente esta acompañado de variaciones entre lo que deseamos que suceda y lo que no deseamos, en otras palabras que el problema de fiabilidad esta originado solo por dos tipos de causas, las que deseamos que sucedan

(Asignables) y las que no deseamos que sucedan (Aleatorias) con esto en mente, en 1924 Shewhart desarrollo su "Diagrama de Control" que estableció los principios del control estadístico de calidad y a continuación introdujo como herramientas las "Graficas de control".

### **William Edwards Deming (1900-1993)**



Maestro en Física, Doctor en física y Consejero Estadístico norteamericano en la oficina de censo norteamericano.

Se le considera el artifice de "El milagro Japonés"

En 1918 laboró en la Bell Telephone en el departamento de ingeniería en donde conoció a fondo los trabajos de Shewhart, llegando a formar una gran pareja de científicos preocupados por la calidad industrial en el ámbito mundial. Deming fue profesor de física en Yale university. Desarrolló técnicas para llevar los procesos industriales a lo que el llamaba "control estadístico" y recomendaba que la búsqueda de la calidad debería de hacerse durante el proceso de manufactura y no solo medirse al terminar el producto como se estaba haciendo mundialmente, con ello apuntaló el uso de la estadística en la industria, una nueva forma de encontrar la calidad y la mejora de la administración con énfasis en la atención al usuario del producto.

### **Joseph Moses Juran (1904 - 2008)**



Ingeniero Electricista y consultor de empresas Rumano, en 1912 emigró a E. U. A. haciendo su carrera en la Universidad de Minnesota. En 1924 trabajó en la Western Electric en Hawthorne Works en el departamento de estadística con el objeto de desarrollar la calidad y la administración en la empresa por lo que su esfuerzo se sumó a los de Shewhart y Deming.

Un año después el personal desarrollado de Hawthorne Works empezó a trabajar en su programa de muestreo y a utilizar técnicas de gráficas de control. En 1941 Juran aplicó el "Principio de Wilfredo Pareto" a los aspectos de calidad, además creó la "trilogía de Juran," que es una visión compuesta de tres procesos, el de la "Planificación de la calidad", el de "Control de la calidad" y el de "Mejora de la calidad".

Shewhart, Deming y Juran trabajaron en el mismo departamento muchos años y después de la guerra fueron comisionados por el gobierno norteamericano para auxiliar a la industria japonesa.

Con lo que hasta aquí hemos analizado contamos con que en el ambiente industrial norteamericano desde 1919 hasta 1939 ya existía la practica de las ideas de adam smith (división del trabajo), empezaba a cobrar importancia la máquina pues se empezaban a aplicar trabajos de "mantenimiento" correctivo, y se fueron sumando los trabajos de Taylor (administración científica del trabajo y medición del trabajo) y los de Walter A. Shewhart, W. Edwards Deming y Joseph Juran con sus desarrollos sobre estadística aplicada a la industria, control estadístico de calidad y ciclo Shewhart.

Esto originó la existencia de un número considerable de consultores y maestros que impartieron estos conocimientos a todos los niveles de la industria norteamericana por veinte años.

### **INICIO Y CONSOLIDACIÓN DEL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO (1939 - 1945)**

Al inicio de la Segunda Guerra Mundial en septiembre de 1939, Norteamérica se vio envuelta en el compromiso de ser la industria de guerra de Inglaterra y Francia, obligando a sus fábricas a trabajar las 24 horas del día. El interés de las industrias se enfocó solo para atender los problemas de productividad ahora aumentados

por la guerra, por lo que se suspendieron las acciones de desarrollo industrial que se habían tenido antes de ésta. En esos momentos la industria norteamericana ya tomaba en cuenta "La división del trabajo" de Adam Smith, la administración científica del trabajo con la fusión de ideas de Taylor y Fayol, el "Ciclo Shewhart", etcetera; ver figura 1. Podemos pensar con certeza que éstos fueron los ingredientes principales que virtualmente se "fundieron" en un crisol para dar vida al Mantenimiento Productivo (PM, siglas en inglés).

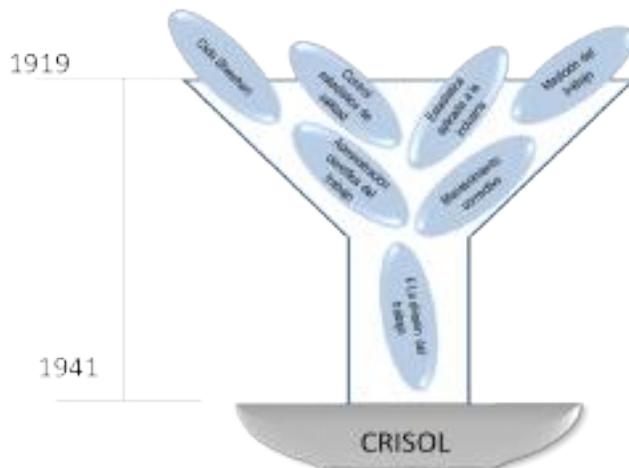


Figura 1 principales "ingredientes" que intervinieron en la creación del PM

Las industrias dedicadas a pertrechar a los ejércitos aliados, comenzaron a perder su eficacia pues eran necesarias nuevas inversiones para obtener activos físicos y humanos adecuados, lo que hizo aparecer de forma palpable, la división de intereses. Por un lado, como sus propietarios burgueses industriales, no tenían estudios científicos sobre lo que debía ser una empresa, solo les interesaban las ganancias y no el cumplimiento con el usuario del producto y por otro, el personal de la industria en todos sus niveles, simpatizaba con las exigencias de sus clientes, quienes les solicitaban que sus productos fueran de mejor calidad y se les entregaran con oportunidad. El deseo de encontrar soluciones los llevó a que en los diferentes departamentos se formaran voluntariamente grupos de trabajo para estudiar a fondo cada problema los cuales fueron interrelacionándose y eso les permitió perfeccionar o implementar nuevos procesos de trabajo, adaptar y mejorar las máquinas y

herramientas y en general los activos de la empresa.

El 7 de diciembre de 1941 el ataque a Pearl Harbor ejecutado por la Armada Imperial Japonesa unió a la opinión pública estadounidense y al día siguiente el 8 de diciembre, los Estados Unidos declararon la guerra a Japón. A partir de entonces Norteamérica continuó administrando su industria con su naciente Mantenimiento Productivo (PM, siglas en inglés) en donde continuaron poniéndose en práctica nuevas ideas originadas por el personal que componía cada industria. El patriotismo del personal, incrementado por el ambiente y las grandes presiones a que estaban sujetos, aunado a los buenos resultados obtenidos con el naciente PM, dieron como consecuencia el fortalecimiento de los originales "grupos de trabajo". En el mismo contexto y con el objeto de que el usuario se sintiera atendido en oportunidad y seguridad en cualquier lugar en donde él lo necesitara, adoptaron e implementaron las ideas castrenses de los ejércitos aliados (logística), las cuales se sumaron a las existentes y quedaron como parte integral del PM, ver figura 2

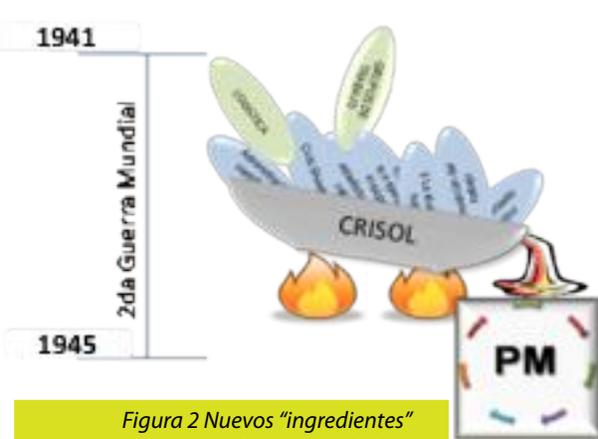


Figura 2 Nuevos "ingredientes" se sumaron para la creación del PM

Continuará en la siguiente edición

AUTOR:  
Ing. Enrique Dounce Villanueva

# Aplicación De La Metodología De Análisis Causa Raíz. Caso: Fallas Recurrentes Del Sistema De Distribución Eléctrica En 34,5kv De Un Campo Petrolero (I Parte)

*En el presente trabajo se abordará la aplicación de una de las “buenas prácticas” en el ámbito de la confiabilidad operacional, como lo es la aplicación de la metodología de análisis causa raíz como estrategia de gestión. Se explicarán las fases del sistema “per sec”, así como el alcance y sus funciones, de igual manera se mostrará un caso práctico dentro de la industria del petróleo y gas, desde la aplicación de la técnica de valoración de problemas, se definirán los criterios para la designación de los miembros del equipo natural de trabajo, se desarrollará la aplicación de la metodología de análisis causa raíz (ACR), donde se mostrarán las causas raíces físicas, humanas y organizacionales o latentes; así mismo se describirá el plan de acción tendiente a mitigar o erradicar las dichas causas y se presentarán los resultados de la aplicación de dichas iniciativas. El artículo muestra la aplicación de un esquema de valoración del Riesgo mediante el método cuantitativo el cual involucra la definición de expresiones matemáticas que utilizan hechos y/o los datos numéricos asociados con el problema para su determinación, y refiere el método semicuantitativo aplicable para casos en donde no se dispongan de registros. Se muestra la importancia de la implementación de técnicas para la toma de “decisiones bajo certidumbre” donde se conoce con certeza la consecuencia de cada una de las alternativas que implica la selección de la decisión; de igual manera se demuestra la conformación del ENT como un esfuerzo multidisciplinario para abordar análisis de problemas, apuntando al logro de un objetivo común; se aprecia que el ACR permite generar beneficios tempranos, de corto y largo plazo, y en muchos casos (sino en todos) visualizar, mitigar y/o solucionar los problemas que repercuten en la rentabilidad del negocio de un sistema productivo.*

## INTRODUCCIÓN

La utilización de metodologías para el análisis sistemático de los problemas o fallas en un sistema productivo está relacionada principalmente al compromiso de la línea gerencial de dicho negocio, es claro que sin este esfuerzo se hace cuesta arriba la aplicación de cualquier sistema de gestión, debido a que de este nivel se desprenden los recursos necesarios para llevar a término satisfactorio, producir los resultados, y obtener los beneficios futuros. En la industria petrolera los eventos de fallas y/o problemas de los sistemas productivos suelen ser impactantes y costosos; los eventos aislados, esporádicos y de frecuencias muy bajas, de un

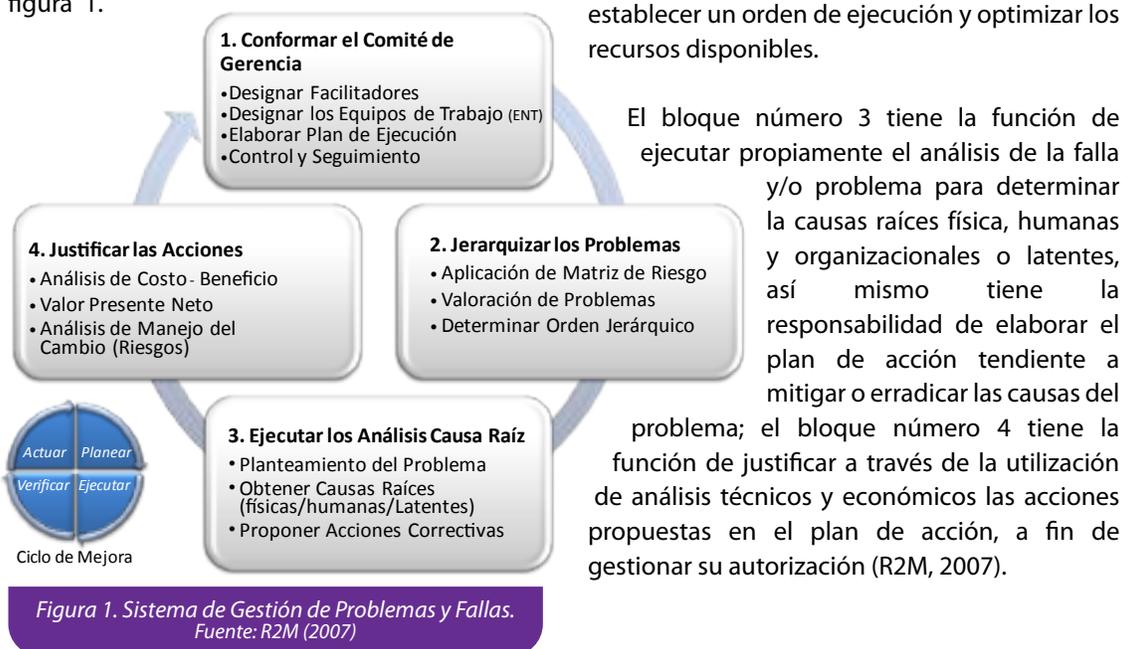
impacto significativamente mayor a los eventos recurrentes o repetitivos, estos eventos (esporádicos) normalmente son investigados por su propia razón de ser, debido a que suelen estar sujetos al ámbito de la seguridad industrial y/o medioambientales; por el contrario los eventos recurrentes habitualmente no son analizados debido principalmente a que su impacto es relativamente menor en comparación. El problema radica en que los eventos recurrentes debido a su alta frecuencia producen a lo largo de la vida útil de un sistema productivo un impacto igual o mayor, ocasionando deterioro de las unidades productivas y afectando el comportamiento de las personas hacia dichos eventos.

## CONTENIDO

En adelante se abordará la metodología de análisis causa raíz enmarcada en el ámbito de la solución de problemas como estrategia de gestión. Así mismo se explicará el caso de estudio dentro de la industria petrolera desde su fase inicial hasta la verificación de los resultados.

## SISTEMA DE GESTIÓN DE PROBLEMAS Y FALLAS

El sistema de gestión de problemas y fallas implementado se encuentra enmarcado dentro de los principios del proceso administrativo el cual involucra: planificación, organización, dirección y control (Stoner et al. 1996). Ver la figura 1.



Este sistema de gestión está soportado sobre la base de la optimización de los recursos, direccionándolos hacia los problemas que destruyen mayor valor. El sistema se encuentra estructurado en cuatro bloques funcionales como se indica en la figura 1.

El bloque número 1 es el de mayor peso del sistema debido a que está atado al compromiso de la línea gerencial donde se autorizarán los

recursos necesarios para la puesta en funcionamiento del sistema, dentro de sus responsabilidades se encuentran:

- a) El seguimiento de metas y resultados.
- b) Suministrar los recursos necesarios.
- c) Comunicar a todo el personal las prioridades, d) designar los facilitadores.
- e) Designar los equipos naturales de trabajo (ENT).
- f) Garantizar la capacitación continua en la materia.
- g) Autorizar la ejecución del plan de acción.

El bloque número 2 tiene la función de valorar y jerarquizar los problemas aplicando las estrategias previamente definidas, a fin de establecer un orden de ejecución y optimizar los recursos disponibles.

El bloque número 3 tiene la función de ejecutar propiamente el análisis de la falla y/o problema para determinar la causas raíces física, humanas y organizacionales o latentes, así mismo tiene la responsabilidad de elaborar el plan de acción tendiente a mitigar o erradicar las causas del problema; el bloque número 4 tiene la función de justificar a través de la utilización de análisis técnicos y económicos las acciones propuestas en el plan de acción, a fin de gestionar su autorización (R2M, 2007).

## VALORACIÓN DE LOS PROBLEMAS

El sistema productivo objeto de análisis en este trabajo, al igual que cualquier otro sistema productivo posee una variedad de problemas e inconvenientes propios, por ende es necesario comparar dichos problemas entre sí para ofrecer a la línea gerencial herramientas para la toma de decisiones efectivas.

En este sentido se utilizó la definición de Riesgo (R) como el producto entre la Frecuencia de ocurrencia (F) y la Consecuencia (C), a fin de valorar cada una de las fallas o problemas:

$$R = F \times C \quad (1)$$

En la ecuación (1) se tiene que: la Frecuencia (F) está definida como la cantidad de eventos por año para cada uno de los problemas o fallas, y la Consecuencia (C) se cuantifica como la sumatoria de los impactos generados por la ocurrencia de un evento utilizando como unidad el dólar (US\$) y está a su vez se puede desglosar en tantos elementos como puedan ser descritos para cada problema y/o falla, como se describe en la siguiente ecuación:

$$R = F \times (C_p + C_m + C_{si} + C_{ma} + C_{op} + C_{otros}) \quad (2)$$

De la ecuación (2) se detallan a continuación los diferentes factores que aportan a la consecuencia, a saber:

Producción (C<sub>p</sub>), se refiere a la producción perdida o diferida, también se denomina costos de penalización, por ejemplo: Supongamos la falla de la alimentación eléctrica de la planta 1, con 100 barriles de producción diferida (P<sub>diferida</sub>) a un precio del barril de 97 US\$ por barril (PrecioBarril), se calcularía como sigue:

$$C_p = (P_{diferida}) \times (\text{CostoBarril})$$

$$C_p = (100 \text{ bls}) \times (97 \text{ US\$ / bls}) = 9700 \text{ US\$}$$

Mantenimiento (C<sub>m</sub>), se refiere a la sumatoria de los costos de mantenimiento, en este se incluyen: materiales, partes, repuestos, equipos, mano de obra y/o servicios; por ejemplo: fusibles de 2 Amperios (50 US\$), alquiler de equipo de elevación de personas (1000 US\$/día), cuadrilla de mantenimiento (60 US\$/hora):

$$C_m = \sum \text{MatMANT} + \text{EqMANT} + \text{SerMANT}$$

$$C_m = 3 \times 50 \text{ US\$} + 1000 \text{ US\$ / Día} \times 1 \text{ Día} + 60 \text{ US\$ / hora} \times 4 \text{ horas} = 1390 \text{ US\$}$$

Seguridad Industrial (C<sub>si</sub>), se refiere a los costos de: materiales consumibles de seguridad,

sistemas de señalización, equipos de protección personal, mano de obra y/o servicios, por ejemplo: 50 metros de cinta de demarcación (10US\$/m), sin costos de equipos y servicio.

$$C_{si} = \sum \text{MatSI} + \text{EqSI} + \text{SerSI}$$

$$C_{si} = 10 \text{ US\$ / m} \times 50 \text{ m} = 500 \text{ US\$}$$

Medio ambiente (C<sub>ma</sub>), se refiere a los costos de: equipos de control contra derrame, productos químicos, disposición final, entre otros, aplicando la siguiente ecuación:

$$C_{ma} = \sum \text{MatMA} + \text{EqMA} + \text{SerMA}$$

$$C_{ma} = 0$$

Operativos (C<sub>op</sub>), se refiere a los costos derivados de las acciones operacionales que involucra la ocurrencia de este evento, en este elemento se incluye: mano de obra y/o servicios requeridos para mitigar la ocurrencia;

$$C_{op} = \sum \text{MatOP} + \text{EqOP} + \text{SerOP}$$

$$C_{op} = 0$$

Otros (C<sub>otros</sub>), se refiere los costos de: reconocimiento e indemnización de afectaciones a propietarios, gastos de tipo legal, administrativo y/o financiero, afectación de la imagen de la empresa, entre otros.

$$C_{otros} = \sum \text{GastosLegal} + \text{GastosFinancieros} + \text{Otros}$$

$$C_{otros} = 0$$

Suponiendo una frecuencia de un evento al año (F=1) y aplicando la ecuación (2) se tiene un Riesgo de 11590 US\$/Año por la falla de la alimentación eléctrica de la Planta 1 como se muestra a continuación:

$$R = 1 \text{ evento/Año} \times (9700 \text{ US\$} + 1390 \text{ US\$} + 500 \text{ US\$} + 0 + 0) = 11590 \text{ US\$ / Año}$$

Los métodos para la determinación de estos factores pueden ser de tipo semicuantitativos cuando se dispone de registros suficientes para calcular ambos factores (F y C) que corresponde

al caso de estudio (arriba ejemplificado).

El método semicuantitativo es usado cuando no se dispone de registros que permitan calcular la frecuencia y la consecuencia, en este caso se dispone de criterios para la determinación de la frecuencia (ver tabla I) y la consecuencia (ver tabla II) mediante de matrices de evaluación riesgo las cuales varían en cada compañía, en dichas tablas se muestra los criterios de la empresa Repsol (2010).

Frecuencia de Escenario Accidente (1/año)		$<10^{-4}$	$10^{-4}$ a $10^{-3}$	$10^{-3}$ a $10^{-2}$	$10^{-2}$ a $10^{-1}$	$10^{-1}$ a 1	1 a 100		
Valor		0.4	0.8	1.6	3.1	6.3	12.5	25	100
Alcance de la Evaluación	Sector específico de actividad por todo el mundo	No se ha oído hablar de ello	Nunca ha ocurrido	Ha ocurrido alguna vez	Ha ocurrido en los últimos 5 años	Ocurre anualmente	Ocurre mensualmente		
	Sector específico de actividad en Venezuela					Ha ocurrido alguna vez	Ha ocurrido en los últimos 5 años	Ocurre anualmente	Ocurre mensualmente
	Alcance de la evaluación según la área comercial o la actividad						Ha ocurrido alguna vez	Ha ocurrido en los últimos 5 años	Ocurre anualmente

Tabla I. Método Cualitativo, tabla de selección de frecuencia

Fuente: Repsol (2010)

La valoración de cada criterio se establece mediante el ENT utilizando un facilitador con experiencia en valoraciones de Riesgo y se restringe a los criterios de dicha matriz, en esta caso se utiliza la comparación entre categorías para definir cada selección, la jerarquía entre problemas vendrá dada por la comparación del valor de Riesgo, y en caso de paridad la decisión entre uno u otro obedecerá a la dirección de la empresa.

El tipo de equipo juega un papel fundamental en la determinación de la valoración, los tipos de equipos estáticos (recipientes, tuberías, válvulas, etc.) se caracterizan por ser de baja frecuencia de ocurrencia y de altos impactos (se utiliza la valoración del riesgo indicada en la API-580/581 referida a Inspección Basada en Riesgo), los tipos de equipos dinámicos y rotativos suelen tener alta frecuencia y bajos impactos, los equipos eléctricos y de instrumentación suelen tener valores medios de frecuencia e impactos moderados. Sin embargo

	CONSECUENCIAS (C)				VALOR
	Daños a las personas	Daños a la propiedad y pérdida de B <sup>o</sup> . Costes de remediación ambiental (€)	Medioambiente	Nivel de difusión; reputación	
<b>Menores</b>	Incidente sin baja	5 k - 100 k €	Incidencia ambiental no relevante o en zona sin contención garantizada que provoca un daño ambiental local dentro de los límites de la propiedad	Sin difusión	1,7
<b>Moderadas</b>	Hasta 30 días de baja. <1% de prob. de 1 muerte	100 k - 1 M €	Daño ambiental relevante que excede los niveles de referencia de calidad ambiental o que es capaz de generar una denuncia y no tiene efectos permanentes	Crisis de nivel verde	3
<b>Serias</b>	Más de 30 días de baja. <10% de prob. de 1 muerte	1 M € - 10 M €	Daño ambiental grave que puede afectar al entorno de la propiedad, que supera en amplias zonas los niveles de referencia de calidad ambiental y puede afectar a terceros	Crisis de nivel amarillo	7
<b>Muy serias</b>	Puede causar una muerte o lesiones permanentes	10 M € - 100 M €	Daño ambiental muy grave. Se requiere a la compañía medidas de corrección y/o compensación importantes, excede en amplias zonas los niveles de referencia de calidad ambiental; alta probabilidad de daño residual permanente	Crisis de nivel rojo	16
<b>Desastrosas</b>	Puede causar entre 2 y 9 muertes	100 M€ - 1000M€	Daño ambiental catastrófico; pérdidas de recursos y servicios ambientales. Daños permanentes	Afectación internacional en forma transitoria	40
<b>Catastróficas</b>	Puede causar 10 ó mas muertes	> 1000 M €	Daño ambiental catastrófico y de gran extensión; pérdidas extensivas de recursos y servicios ambientales. Daños permanentes	Afectación internacional en forma permanente	100

Tabla II. Método Cualitativo, tabla de selección de consecuencia.

Fuente: Repsol (2010)

una matriz de evaluación del riesgo debe incluir por igual a todos los equipos de un sistema productivo, en razón de que pertenecen a un mismo negocio en términos de Riesgo financiero.

La tabla III, muestra una lista problemas con Valoración del Riesgo (R) mediante el método cuantitativo, ordenada en función del valor del riesgo, es decir, el "Problema 1" es de mayor impacto que el "Problema 2" y así sucesivamente hasta el "Problema n"

Enunciado/Problema	Frecuencia (eventos/año)	Consecuencia (US\$)	Riesgo (\$/Año)
"Problema 1"	F1	C1	R1
"Problema 2"	F2	C2	R2
"Problema n"	Fn	Cn	Rn

Tabla III. Matriz de valoración del Riesgo (R).  
Fuente: Elaboración propia.

### Aplicación Del Sistema De Valoración

La aplicación del sistema de valoración debe ejecutarse por un equipo multidisciplinario de profesionales dentro del departamento responsable del sistema productivo. En la tabla IV se muestra el resultado de la valoración del riesgo aplicado (bloque 2 de la figura 1), donde fueron calculados los Riesgos de siete (7) problemas al sistema productivo en estudio, en esta se evidencia que el problema de mayor impacto en sistema productivo es la "Falla del sistema de distribución eléctrica de 34.5KV" con un impacto estimado anual de US\$ 357.906,96. Queda en evidencia que a pesar de que el ítem 1 posee una consecuencia (C) menor a los ítems 2, 3, 5 y 6, su impacto (R) es relativamente mayor debido a que su frecuencia de ocurrencia estimada es superior a todas las evaluadas. Es decir, el ítem 1 destruye más valor en el sistema productivo.

Item	Enunciado/Problema	Frecuencia (eventos/año)	Consecuencia (US\$)	Riesgo (US\$/Año)
1	Falla del sistema de distribución eléctrica de 34.5KV	25,0	14.316,28	357.906,98
2	Problemas de disposición de agua producida	12,0	21.000,00	252.000,00
3	Acarreo de fluidos hacia el flare	1,0	35.209,30	35.209,30
4	Falla servicio de telemetría de la estaciones de flujo	10,0	2.834,74	28.347,44
5	Perdidas en tuberías de producción pozos y múltiples	0,3	54.279,07	17.912,09
6	Falla del tratador termico 1	0,5	27.395,35	13.697,67
7	Perdida de eficiencia de la fosa de recuperación	0,5	11.441,86	5.720,93

Calculado en base al precio promedio anual del barril de petróleo para la cesta Venezolada en el año 2010 (US\$70)

Tabla IV. Aplicación de la matriz de valoración del Riesgo (R).  
Fuente: Registro del caso de estudio.

Una vez obtenidos estos resultados el Comité de Gerencia

autorizó la ejecución del análisis causa raíz con mayor Riesgo (Ítem 1), esto a razón de gestionar adecuadamente los recursos de la organización. En este caso particular y de acuerdo al contexto de la empresa es contraproducente la ejecución de más de un análisis por vez debido a limitaciones de recurso humano (bloque 1 de la figura 1).

Continúa en la próxima edición

AUTOR:  
Héctor Díaz  
Ingeniero Electrónico, Mención Control  
hdiaze@repsol.com  
hectorjdiaz@gmail.com



**INGENIERÍA**  
**GESTIÓN DE ACTIVOS**  
**CONFIABILIDAD**  
**MONITOREO DE CONDICIÓN**



**SiM**



**Proveemos Soluciones  
orientadas a mejorar  
la Seguridad, Rendimiento,  
Confiabilidad y Costos durante  
el Ciclo de Vida de sus Activos**

Soluciones de Ingeniería  
y Mantenimiento, S.L.  
Paseo de la Castellana, 95, 15ª 28046  
Madrid ESPAÑA

**www.sim-sl.com**  
**+34 914 185 070**  
**+34 917 577 400**  
**info@sim-sl.com**

# Evaluación De La Base De Datos De Mantenimiento

El presente trabajo fue presentado durante el 6to Congreso Uruguayo de Mantenimiento, URUMAN 2010, teniendo como tema central la identificación del Mantenimiento Clase Mundial.

El trabajo inicia con dos interrogantes básicas:  
*¿Cuál es la META del Mantenimiento el día de hoy?*  
*¿Cómo se puede identificar un "Mantenimiento Clase Mundial"?*

La respuesta a la primera pregunta es: "La GENERACIÓN DE ROI (Retorno sobre la inversión)" y como respuesta a la segunda: "El que genera el ROI":

*Veamos algunos ejemplos:*

De las dos fábricas de IMPSA en Argentina, la mayor unidad productiva se llama "Nave I" debido a sus características y dimensiones (225 metros de largo, 33 metros de ancho y 35 metros de altura). Incluye un moderno centro de mecánico fabricado por la Ingersoll Milling Machine Company, constituido por un torno vertical combinado con un pórtico móvil y una columna de torneado independiente, lo que permite la producción de piezas de turbinas y generadores de hasta 18 metros (59 pies) de diámetro, 6 metros (20 pies) de altura y 500 toneladas de peso.

En el sitio de UOL "Economía & Negocios" del 30 de agosto de 2010 se divulgó que "Industrias Argentinas Pescarmona - IMPSA" vendió generadores eólicos a empresas brasileñas por valor superior a USD 730.000.000,00.

Estos generadores son producidos justamente en el torno arriba indicado. Si consideramos que

para fabricarlos se utilizará el torno por 6 meses con una carga mensual de 176 horas, el torno genera valor por USD 230.429,00 por hora. Esto significa que si la confiabilidad de este torno no es 100%, o sea, que se detiene durante el proceso, la empresa tendría una pérdida directa de 3.840 dólares por minuto además de los gastos indirectos de pérdida de calidad, costo para reajustar la máquina, etc.

*Otro ejemplo:*

En el sur de Brasil una empresa de madera llamada Berneck, con poco más de 50 años (1952), logró resultados espectaculares de eficiencia en uno de sus procesos por la implementación, tres años atrás, del PCM (Planificación y Control de Mantenimiento). El resultado está siendo tan evidente que esta empresa, desde el inicio del 2010, está extendiendo las actividades del PCM en sus otras áreas de proceso.

Para lograr estos resultados el jefe del PCM, Felipe Hannemann, participó en cuatro cursos especializados en Gestión de Mantenimiento, empezando por aquél que trata de Bases de Datos e implementó todos los conceptos adquiridos con el auxilio de un equipo muy calificado, el apoyo de la jefatura general de mantenimiento y del gerente de la planta.

Recién el PCM esta extendiendo sus actividades con la introducción de la Ingeniería de Mantenimiento que ya está formada, en este momento, con un ingeniero que empezó a contar con informes conseguidos a través de índices y consultas al historial para la generación de recomendaciones.

El trabajo desarrollado por el PCM incluye la organización de manuales, normas y procedimientos necesarios para operar y mantener toda la planta.

Para viabilizar la evaluación del Retorno Sobre la Inversión (ROI) por el mantenimiento es necesario que exista una efectiva gestión (toma de decisiones), hecha a partir de las recomendaciones del análisis de los informes (índices y consultas) adecuados a cada nivel, generados a partir de archivos consolidados, tratados por un eficiente Sistema que procese datos completos y confiables de todas las intervenciones controladas.

Si la información no es COMPLETA y CONFIABLE no se lograrán archivos consolidados que, en consecuencia, no irán a generar los informes para ser analizados y de esta forma la gestión quedará restringida a la experiencia de los gerentes en los tres niveles: estratégico, táctico y operacional.

Recomiendo que el análisis de los informes sea hecho a través de un órgano de asesoramiento, llamado "Ingeniería de Mantenimiento" que debe ser compuesto por personal con experiencia de planta, capacitación adecuada para interpretar los indicadores y espíritu pionero, o sea, buena intuición, coraje para enfrentar desafíos, persistencia y alineación a la misión y visión de la empresa. Además el personal de este órgano también debe estar calificado para investigaciones de causa raíz de fallas, con el auxilio de la base de datos para obtener la información específica de lo que desea analizar.

La calificación de este personal también debe involucrar estudios económicos, de eficiencia de máquinas y de productividad humana, utilizando técnicas comprobadas y eficaces para estos tipos de evaluaciones. Sin embargo todo el proceso de análisis debe ser complementado con tormentas de ideas, involucrando los niveles de supervisión de planta tanto de mantenimiento como operación, logística, calidad, seguridad y medio ambiente para, entonces, generar las recomendaciones que serían aplicadas gracias a su factibilidad por los gerentes, dando como resultado el ROI.

Como ya he indicado, para que la Ingeniería de Mantenimiento pueda desarrollar su trabajo de análisis es necesario que se cuente con una Base de Datos completa y confiable de todas las intervenciones realizadas. Así, es recomendable que la empresa tenga un órgano que se encargue de este trabajo. Este órgano lo identifico como PCM - Planificación y Control de Mantenimiento que establece todos los estándares para garantizar uniformidad y consistencia de la información además de los procedimientos para las intervenciones programadas y no-programadas y, en conjunto con el área de TI, desarrolle (o adquiera y haga las adecuaciones necesarias) el Sistema para almacenar y tratar la información generada en campo.

Cuando sea posible, recomiendo que el PCM tenga un área de digitalización de OT's para que no tengan que hacerlo los ejecutantes o supervisores además de garantizar la perfecta estandarización de la información, particularmente la relacionada con el código de ocurrencias.

Otra alternativa muy útil es la utilización de colectores de datos o palm-tops para generación y recolección de datos de las OT's conforme se aplica en Berneck, la empresa que estoy utilizando en este trabajo como referencia.

Para garantizar la confiabilidad de estos datos, es fundamental que se trabaje bajo conceptos universales y estandarizados, bien difundidos y reconocidos por todos los involucrados. Dentro de este enfoque, recomiendo utilizar los conceptos presentados en la sección "definiciones" del sitio [www.copiman.org](http://www.copiman.org). En esta sección del sitio encontrarán la terminología universal de mantenimiento además de las indicaciones de subdivisión de la importancia operacional de los equipos (clase o criticidad) y de las prioridades.

Además, de lo ya indicado, los datos deben ser codificados utilizando tablas que irán a garantizar la estandarización de los registros.

Dentro de los códigos más utilizados se encuentra el que identifica la posición y función operacional del equipo (código de equipo

también llamado “tag”) que comúnmente es formado por las tablas de “tipo de equipo” y “sistema operacional” que pueden estar asociados a la “localización física del equipo en la planta”, la propia “planta”, la “clase” y algún otro registro considerado importante para la empresa como, por ejemplo las partes (o componentes) de los equipos.

Otro código muy utilizado es el que identifica un suceso formado por la “causa” que generó el suceso, el “efecto” que identifica como este suceso se expuso y la “acción” que identifica lo que se hizo para eliminar el suceso. Para que la tabla de “acción” no quede muy larga puede ser dividida en “acción - verbo” y “acción - complemento”.

Toda base de datos debe empezar por la identificación del ítem (equipo o activo) que llamo “catastro”, donde se debe colocar la mayor cantidad de información de forma que no solo sea útil para mantenimiento sino también para operación, ingeniería, patrimonio o cualquier otra área de la empresa que necesite hacer consultas de este tipo de información.

Normalmente en un catastro se puede identificar un conjunto de datos que se aplican a cualquier tipo de equipo, que llamo de “datos generales” o “datos administrativos” y otro que depende del tipo de equipo que llamo “datos específicos” o “datos técnicos”. Además se puede distinguir los datos que son comunes para equipos iguales que llamo datos de “familia”, de los datos que pueden ser diferentes para equipos iguales. La asociación de los datos comunes a equipos iguales se hace a través de un “código de familia” que también sirve para asociar el sistema de mantenimiento con los sistemas de materiales y el archivo técnico.

Cuando se hace la asociación del “código de familia” con el archivo técnico se puede buscar los manuales, dibujos, fotos y videos directamente en el archivo técnico desde el cual estén digitalizados.

Dentro de los datos que son diferentes para equipos iguales, que llamo “datos exclusivos”, se encuentra el código de equipo, o código operacional, o “tag”, la fecha de inicio de

operación y el costo de adquisición.

Al elaborar el catastro se debe buscar relacionar todos los repuestos específicos y no específicos con las familias de los equipos, particularmente los de “Clase A” (fundamentales al proceso) de tal forma que ayude a reducir pérdida de tiempo durante una intervención programada o no programada.

En la empresa que estamos utilizando como ejemplo, todos los equipos (ítems o activos) están identificados a través de su “tag” y su número individual que se puede leer utilizando una palm, pues están identificados por un código “2D”. Cuando se empezó a codificar los equipos se aplicaron tarjetas con códigos de barras que lastimosamente no logró éxito, debido a que al ensuciarse o dañarse generaba dificultades de lectura. Los actuales códigos “2D” eliminarán este problema de daño.

La figura siguiente muestra una etiqueta colocada en un equipo con el código “2D” que identifica el mismo “tag” que aparece escrito en numeral. En este caso, por ser un equipo “Clase A” también aparecen en “2D” los códigos de los repuestos asociados a este equipo.



Entre más tablas se utilicen en un proceso de catastro menor es la posibilidad de error de digitalización. Además se logran estándares de registro y rapidez en el registro y búsqueda de información (filtro) en el proceso de análisis de historial de equipo (o activo).

Una vez identificados los equipos se puede pasar a segunda etapa del proceso de formación de base de datos que es la “planificación”, donde se va responder los 4W y el H:

*“Why” = ¿por qué? = ¿por qué intervenir?  
 “Where” = ¿en qué parte? = ¿en cual equipo o parte (componente) intervenir?  
 “What” = ¿qué? = ¿qué tipo de intervención?  
 “Who” = ¿quién? = ¿quién va intervenir?  
 (¿cuál órgano o sector?)  
 “How” = Cómo = ¿cómo se hará el servicio? =  
 ¿cuáles recomendaciones de seguridad y  
 cuales procedimientos?*

Las recomendaciones de seguridad deben ser establecidas junto con el área de seguridad industrial y tienen como objetivo evitar que el mantenedor cometa actos inseguros o trabaje bajo condiciones inseguras, para de esta forma eliminar los accidentes. Deben ser escritas de forma objetiva, por conjunto de funcionalidades de equipos, en pocas líneas ya que deberá ser registrada en la OT, y de fácil entendimiento. Obviamente estarán contenidas en esas recomendaciones los equipos de protección individual necesarios a cada tipo de servicio.

Las instrucciones de mantenimiento son formadas por un conjunto de tareas adecuadas a cada tipo de intervención, por cada tipo de equipo y por cada sector (órgano responsable por el mantenimiento) y son escritas a partir de experiencia propia, recomendaciones de los fabricantes y, eventualmente alguna bibliografía o archivo digital especializado. Al establecer las tareas se debe estimar el tiempo necesario para ejecutarlas, llamado “tiempo patrón”, dato fundamental para el cálculo de backlog.

Algunas tareas de instrucción de mantenimiento

pueden hacer referencia a registros de medición. Por lo tanto se debe proyectar un archivo para las distintas mediciones hechas por tipo de equipo de forma que puedan servir para evaluar las pérdidas de características operacionales del equipo (degeneración) y, a través del análisis predictivo determinar el momento más adecuado para corrección de las variables que queden fuera de los límites de funcionamiento adecuados.

Al identificar ¿cuándo será realizado el servicio? (la 5a W = “When”) la planificación se convierte en “programación”, que puede ser establecida por unidad de tiempo “calendario” (día, semana o mes), o “no-calendario” (horas de funcionamiento, kilómetros recorridos, número de operaciones o número de piezas fabricadas).

Obviamente que no todas las actividades planificadas necesitan ser programadas. Se puede planificar una intervención y nunca ser realizada. Sin embargo es muy importante tener las cosas planificadas para que en caso de ser necesaria una intervención evitar paros largos, compras de repuestos de última hora, pago de horas extras, daños al medio ambiente y riesgo a la seguridad humana.

Las programaciones de mantenimiento pueden generar tres tipos de Órdenes de Trabajo: OT de Ruta, para actividades de corto plazo y corta duración (diaria, semanal, quincenal, mensual, a cada 100 horas, a cada 200 horas y a cada 500 horas).

OT Sistemática (en vía de desaparición, pues deberá ser reemplazada por la OT basada en condición) para actividades de mediano plazo (trimestral, semestral, anual, a cada 1.000 horas; a cada 2.000 horas y a cada 5.000 horas) y OT de Grandes Paros (o de Oportunidad) para actividades de largo plazo y larga duración (cada dos o tres años, cada 20.000 horas o cada 50.000 horas).

Las programaciones deben contener plazos para que, una vez generada la OT estas sean

ejecutadas. Algunos llaman a estos plazos (y lo miden a través de indicador propio) de “adherencia” a la programación. Yo llamo a esto plazo de conformidad. Son porcentuales sobre la programación para tolerancia o para suspensión de una OT. Normalmente los plazos de tolerancia están relacionados con la Clase del equipo y los plazos de suspensión están relacionados con la periodicidad de la intervención.

Por ejemplo si un equipo es Clase A, la tolerancia para ejecución del mantenimiento debería ser igual a su propia “fecha” programada, o sea, si la programación es por unidad calendario semana y si el mantenimiento está previsto para la semana 15, la tolerancia sería la misma semana 15, lo que significa que si el servicio no se ejecuta en esta semana la OT ya está “no-conforme”. Sin embargo si es un equipo Clase B se podría dar una tolerancia para la “fecha + 1” (o “fecha + 2”) que, en nuestro ejemplo significaría que el mantenimiento se podría realizar entre la semana 14 y 16. Si el equipo es Clase C se podría considerar como tolerancia la “fecha + 4” o sea, el servicio podría ser realizado entre la semana 11 y la semana 19.

En cuanto a una suspensión, sería aguardar, por ejemplo, 50% del periodo para que la OT sea cancelada. Y debe generar un informe para el Gerente, pues no se espera que esto ocurra. La suspensión de una OT debe ocurrir para periodos superiores a un mes y antes de cancelar, el área debe recibir un aviso con anticipación, de que esto va ocurrir.

Finalmente recomiendo que la planificación contenga todos los recursos humanos, de máquinas y herramientas, de lubricantes y de repuestos, que se presupuesta serán necesarios para realización del servicio. Esta previsión tiene dos objetivos: evitar interrupciones del trabajo (llamado “horas de espera” o “horas de demora”) y facilitar el establecimiento de los niveles de stock y de los plazos de compra o reposición de repuestos y lubricantes además que, si es necesario, facilitar la previsión de alquiler de máquinas o herramientas especiales para

algunos servicios así como la subcontratación de mano de obra.

La planificación y la programación irán permitiendo la generación de las OT’s que, a su vez, al ser ejecutadas alimentarán la base de datos con la información complementaria. A esta tercera etapa la llamo de “historial” o “recolección de datos”.

Para las actividades programadas (rutas y sistemáticas) normalmente la recolección de datos se resume en la indicación de que el servicio previsto se realizó conforme y, eventualmente, si se hizo algo que no estaba previsto.

Para las actividades no-programadas (reparación de defectos, predictiva y correctiva) se debe registrar la ocurrencia a través de sus tres elementos principales arriba indicados, o sea: la “causa”, el “efecto” y la “acción” (que puede ser compuesta por dos tablas: acción verbo y acción complemento).

Además se debe recolectar los datos relacionados con la cantidad de horas/hombre utilizados, material utilizado y medidas hechas.

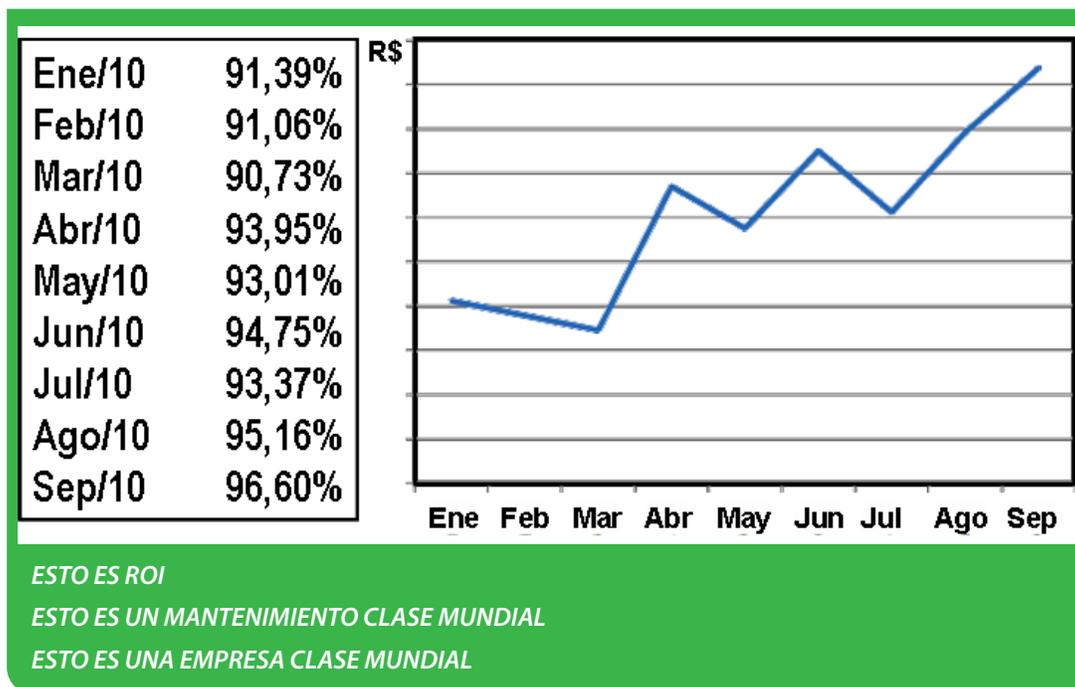
En la empresa en la cual estoy utilizando como ejemplo, todo esto se hace utilizando una palm-top, lo que brinda la facilidad de leer informaciones del equipo (y repuestos) con el código 2D.



Los resultados logrados por el PCM en Berneck han sido:

- Reducción en un 10% del tiempo de diligenciamiento en papel, lo que equivale, en el caso de lubricación, a bajar de TRES a UNO los lubricadores por el diligenciamiento para abrir y cerrar OT's de Ruta.
- Reducción de impresión de más de 4.000 hojas de papel A4 por mes.
- Eliminación de extravíos de órdenes de trabajo, pues estas no son impresas.
- Por serie en forma de check-list estas OT's tardarían mucho más tiempo para ser bajadas. Más de 1600 horas por mes para apunte/cierre manual del servicio realizado (esto representaría diez personas de más para este trabajo que hoy es hecho con tres personas)
- Identificación del equipo con código 2D, eliminando la digitación del TAG en la hoja de la inspección, lubricación o mantenimiento.
- Para equipos criticidad "A", la identificación de los repuestos está en el mismo equipo bajo forma de placa con código 2D.

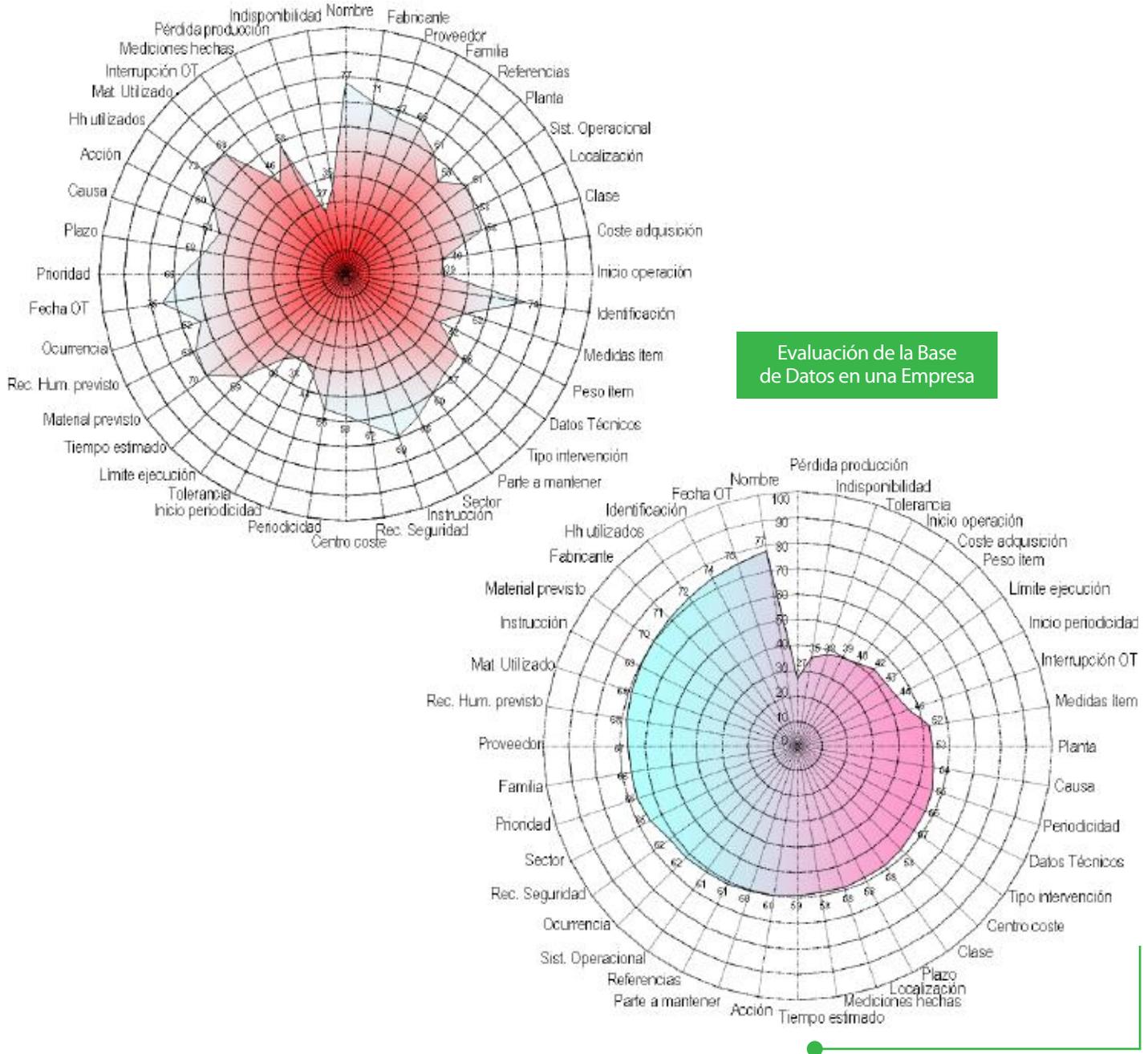
En Berneck el PCM logró mucho éxito en su trabajo frente al proceso de MDF (paneles de fibra de mediana densidad). En consecuencia la empresa determinó que se ampliase su acción al área de MDP (paneles de partículas de mediana densidad) a partir de enero de 2010. El resultado, como se muestra en la tabla y gráfica siguiente, es que en 9 meses Felipe y su equipo ya lograron un aumento de disponibilidad superior a 5% lo que significa una ganancia superior a USD 1.500.000,00



Una forma de evaluar cómo está la Base de Datos en una empresa es hacer la consulta a los Supervisores de Operación y Mantenimiento a través de una encuesta donde se solicita a cada uno que califique de 0 al 100% cómo ve la aplicación y la utilización de cada uno de los datos existentes.

Durante el 6º Congreso Uruguayo de Mantenimiento se entregó a cada participante una encuesta con 40 tipos de registros que componen una Base de Datos.

Aunque la encuesta no fue respondida por todos los participantes del evento, se procesó aquellas la información utilizando la técnica de evaluación del Radar y Espiral mostrando un resultado muy parecido con las evaluaciones que hemos obtenido en algunas empresas.



**AUTOR:**

*Lourival Augusto Tavares*  
 Consultor en Ingeniería de Mantenimiento  
 Congreso Uruguayo de Mantenimiento – URUMAN – 12 al 14 Oct. 2010



# FUNINDES USB



## Vinculando la Universidad con el País

UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR



A través de la Fundación de Investigación y Desarrollo, la USB responde a las demandas del sector productivo nacional, aportando la capacidad técnica

### En las áreas de

- Mantenimiento centrado en confiabilidad
- Confiabilidad humana
- Aplicaciones de confiabilidad operacional
- Análisis causa raíz
- Inspección basada en riesgo
- Confiabilidad en Subsuelo-Superficie.

# I Conferencia De Confiability Humana Y III De Confiability Industrial En La Universidad Simón Bolívar

*La Fundación de Investigación y Desarrollo de la Universidad Simón Bolívar, Funindes, es el órgano a través del cual la casa de estudios de vanguardia en el país organiza el evento, como parte de una amplia gama de ofertas de asesoría y consultoría, proyectos de investigación y programas de capacitación para industrias y empresas públicas y privadas, que la ha configurado como un referente indiscutible de educación para el desarrollo, y un importante soporte en la creación y puesta en marcha de tecnologías de factura nacional. Ambas conferencias son el resultado de largos años de trabajo en investigación y cooperación con la industria.*

El aire fino del Cerro El Ávila impregna la fría mañana caraqueña. La sede de la Universidad Simón Bolívar se erige con naturalidad orgánica en un enclave hermoso, rodeado de vegetación domesticada y cerros verdes que serpentean contra el cielo. Los bien trazados jardines se alternan con los diferentes edificios de la universidad, en medio de la serena belleza que caracteriza a esta casa de estudios. Pero más allá de su acogedora infraestructura y cuidado paisajismo, la USB se destaca en el panorama nacional como el centro de creación de conocimientos y avances científicos, que ha vinculado sabiamente el tradicional desarrollo cognoscitivo de la universidad con las apremiantes necesidades del mundo industrial y empresarial, necesidades cambiantes, dinámicas, insertas en la evolución constante de la tecnología mundial. Como eslabón de enlace entre ambos, la USB creó la Fundación de Investigación y Desarrollo, FUNINDES. Este

año, la casa de estudios y su fundación llevan a cabo la III Conferencia sobre Confiability Industrial y la I Conferencia de Confiability Humana, como parte de los resultados obtenidos tras largos años de investigación y desarrollo.

En los espacios de la biblioteca tiene su sede FUNINDES, interfaz de vinculación de la universidad con todos los sectores productivos y sociales en el país. Asimismo, esta fundación está capacitada para realizar y coordinar trabajos y proyectos fuera del territorio nacional, concebida como una figura jurídica independiente de la universidad, con libertad para realizar contratos para la ejecución de asesorías, trabajos de consultoría, cursos, formación, post grado, en conjunto con la industria y con entes gubernamentales. Sergio Díaz, profesor del Departamento de Mecánica y gerente de Planificación y Desarrollo de esta fundación, amplía detalles.

**P21** *¿Cómo surge la necesidad de crear FUNINDES?*

**Sergio Díaz:** La fundación fue creada hace 26 años y surge como una respuesta al desarrollo natural de la universidad, que tiene ya unos 40 años de fundada. Inicialmente, se crearon varios institutos destinados a desarrollar la extensión universitaria y llevar el conocimiento a otros sectores de la sociedad, más allá del ámbito universitario, al servicio del país, de las áreas productivas y de la sociedad en general, para dar respuestas y contribuir al desarrollo. Fue una respuesta natural, premeditadamente diseñada desde los inicios de la universidad.



Profesor Sergio Díaz  
Gte. Planificación  
y Desarrollo FUNINDES

**P21** *¿Cuáles son los programas que maneja actualmente FUNINDES?*

**SD:** Nuestra fundación maneja tres tipos de programa. En primer lugar tenemos los de cooperación técnica, que incluyen asesoría y consultoría, y que permiten diseñar proyectos y desarrollar prototipos, con la participación de estudiantes y profesores. Luego tenemos el programa de servicios de laboratorio, en los que se hacen análisis y ensayos de diferentes tipos en el área de materiales e impacto ambiental. Y por último tenemos el programa de formación, destinado a cursos, post grados, maestrías y doctorados.

**P21** *¿Qué empresas, nacionales e internacionales, han estado involucradas con estos planes de acercamiento y cooperación con Funindes?*

**SD:** Nuestro principal cliente es PDVSA, todas sus empresas filiales, y las empresas mixtas, con las cuales hemos trabajado en el área de ingeniería ambiental, ingeniería de confiabilidad, mantenimiento, y en el área eléctrica. Hemos trabajado también con empresas Polar, Corpoelec, Edelca, y muchas empresas pequeñas. En la parte automotriz tenemos a General Motors, Mitsubishi, entre otras. Hemos efectuado análisis en el área de la industria de la construcción, pruebas de sistemas, fabricantes de luminarias y lámparas, a las cuales se les hacen pruebas en los laboratorios. La universidad tiene un campo muy amplio de conocimientos, y todo ese conocimiento se pone al servicio de la sociedad a través de FUNINDES.

**P21** *¿Cuáles son los proyectos más importantes en los que FUNINDES se involucra actualmente?*

**SD:** Quizá el más importante es el que se relaciona con el área de CRP en PDVSA, destinado al control de fugas y derrames en la zona del Golfo de Venezuela. En esa parte del Golfo se ha desarrollado, con tecnología nacional y en alianza entre la USB y empresas privadas, un sistema de contención de derrames de crudo, que permite recogerlos y limpiarlos para que no afecten el área del golfo. También tenemos un grupo de proyectos significativos en el área de confiabilidad operacional, en los que hemos trabajado con las empresas Petrocedeño y Petrozuata. A través de FUNINDES llevamos a cabo proyectos de gerencia de activos, con el levantamiento de información de los equipos y levantamiento de planes de mantenimiento. Vale también destacar nuestra actuación en el área de Confiabilidad de Sistemas Eléctricos, pues estamos ejecutando un acompañamiento en una de las filiales de PDVSA en el área de Aseguramiento de la Calidad de Diseños de Plantas Eléctricas.

**P21** *¿Cómo enlaza la labor de FUNINDES en el área de Mantenimiento Predictivo y Gestión de activos?*

**SD:** La Universidad Simón Bolívar tiene una estructura particular si se compara con otras universidades nacionales, pues no funciona por facultades, sino a través de una estructura matricial, lo cual quiere decir que cada carrera o cada área del conocimiento en realidad está atendida por varios departamentos. En el caso particular de Mantenimiento, tenemos diferentes recursos en los departamentos de Ingeniería Mecánica, Conversión de Energía, y Sistemas. Cada uno, observando el área de la confiabilidad desde diversos puntos de vista, permite que se establezca un grupo de veinte profesores, que desarrollan trabajos en áreas como Diseño para la Confiabilidad, Análisis de Confiabilidad, Análisis de Equipos, Gerencia de Activos y Producción y Generación de Planes de Mantenimiento. Vale decir que FUNINDES es la ventana abierta a través de la cual la Universidad Simón Bolívar busca interactuar con la sociedad, llevando su conocimiento y saber, y esperando un feed back con el resto del país.

Estamos abiertos a aportar en cuanto a cualquier necesidad que exista en el área de confiabilidad, en el área de mantenimiento o cualquier otra área en la que se requiera un apoyo tecnológico.

### **III Conferencia de Confiabilidad Operacional y I Conferencia de Confiabilidad Humana**

Otra de las actividades que impulsa FUNINDES en el seno de la USB es la Conferencia de Confiabilidad Operacional, cuya tercera edición tendrá lugar en el mes de noviembre. Esta III Conferencia de Confiabilidad Operacional transcurrirá a la par de la I Conferencia de Confiabilidad Humana, en franca demostración del compromiso que ha asumido la USB con la confiabilidad y su evolución dentro de los procesos industriales, en donde el accionar humano juega un papel crucial. En su obra Planificación y gestión del mantenimiento industrial, los autores Karli Jiménez y Teddy Milano plantean que “La percepción que tradicionalmente se ha tenido sobre el mantenimiento está cambiando debido a que los equipos son ahora más automatizados y complejos en su

diseño (...) muchos de los sistemas actuales de mantenimiento están mostrando demasiadas limitaciones para prevenir y/o evitar las fallas, por lo que el personal (incluyendo directivos y gerentes) está siendo exigido cada vez con mayor intensidad y obligado a pensar y actuar de otra manera”. (1) Desde este espacio de reflexión, es posible comprender el porqué del esmero en el tema en el mundo de la industria. En tal sentido, el profesor Joaquín Santos, jefe de la sección de Sistemas y Control de la Universidad Simón Bolívar, explica que esta casa de estudios no es ajena a tal interés respecto a la confiabilidad y sus diferentes aspectos, debido al impacto que tienen en el desarrollo industrial.

**P21** *La III Conferencia de Confiabilidad Operacional y la I Conferencia de Confiabilidad Humana, ¿cómo se conecta con FUNINDES y qué importancia tiene?*

**Joaquín Santos:** FUNINDES es uno de los patrocinadores de esta actividad, que a su vez involucra a la USB, pues las conferencias se desarrollarán en el complejo de auditorios de nuestra casa de estudios. La primera conferencia tuvo lugar en el año 2000, fecha en la cual la Universidad Simón Bolívar da comienzo a un programa, trabajando con la industria petrolera en el área de Confiabilidad y Mantenimiento. De ahí surgió la necesidad de mostrar qué estamos haciendo, qué investigaciones se hacen a nivel mundial y específicamente en la región, y esto dio origen a la primera conferencia. En la segunda edición de este evento, doce años después, se muestra la consolidación de un largo trabajo desarrollado durante los últimos años, con invitados internacionales de países como Argentina, México. Esta III Conferencia de Confiabilidad Operacional es la continuidad de esta dinámica, profundizando en una serie de metodologías que se vienen desarrollando no solamente a nivel local y regional, sino también a



Prof. Joaquín Santos  
Jefe Sección Sistemas  
y Control USB

**P21** *¿Cuáles son los temas básicos que va a tocar en el evento?*

**JS:** La conferencia de Confiabilidad Operacional toca áreas relacionadas con las metodologías vinculadas a la conferencia, los modelos usados para planificar y estructurar lo que tiene que ver con el mantenimiento y la confiabilidad en instalaciones industriales, la ingeniería dedicada a la confiabilidad, los aspectos relacionados con el modelo matemático, las aplicaciones de estas metodologías. Y el área de la confiabilidad operacional se vincula a la confiabilidad humana. Tiene que ver con el operador, tiene que ver con las estrategias de trabajo, con las situaciones sobre seguridad y riesgo.

En su obra *Comportamiento Humano: nuevos métodos de investigación*, su autor, Miguel Martínez, destaca que “El hecho de pensar con nuevas categorías constituye algo en verdad desafiante para la mente humana, ya que tiene que inventar dichas categorías.” (2) En este cariz, la Confiabilidad Humana ha representado sin dudas un desafío para los enfoques previos existentes acerca de cómo abordar la confiabilidad, el mantenimiento y finalmente la gestión de activos. En los últimos años, el tema de la Confiabilidad Humana parece haber adquirido una importancia capital, y este nuevo paradigma, que supone uno de los desafíos a los que alude el citado autor, será

tratado en esta primera conferencia. Al respecto, el profesor Joaquín Santos destaca que, pese a los avances evidentes de la ciencia y la tecnología, no importa cuán perfecto sea el diseño de una máquina o de una estrategia de seguridad, “el elemento humano siempre está presente en cada una de esas actividades, y este elemento humano introduce una serie de situaciones que pueden llevar a niveles de riesgo importantes. El activo humano participa directamente en lo que son los procesos, por tanto al activo humano hay que estudiarlo desde la perspectiva de cuál es la confiabilidad que tiene en esos procesos.” –sostiene el catedrático.

**P21** *¿Qué impacto esperan causar con este evento de confiabilidad enfocado en el activo humano?*

**JS:** Nosotros queremos sacudir tanto los aspectos de confiabilidad operacional como los de confiabilidad humana desde las universidades, los estudiantes, los ingenieros, los técnicos, los gerentes, desde las personas que son responsables de la toma de decisiones y de la planificación. Hay toda una dinámica que se desprende del accionar humano, y así como hay que cuidar los activos físicos, también hay que cuidar los activos humanos. Parte de los activos humanos es preservada por la confiabilidad operacional, pero la confiabilidad humana también aporta elementos que son objeto de estudio, y por ende de medición y calificación. No todo el mundo puede trabajar en mantenimiento, o en una línea de producción. Por ende, la confiabilidad humana evalúa, utiliza herramientas estadísticas, análisis que han desarrollado en conjunto psicólogos e ingenieros, para atender este enfoque. Al final, buscamos que la actividad en conjunto de la sociedad redunde en lo que consideramos cuatro cosas importantes, que sea exitosa, eficiente, estratégica y que sea excelente.

**P21** *¿Qué tan difícil es instaurar una cultura de confiabilidad humana?*

**JS:** Cuando hablamos de confiabilidad y mantenimiento, mucha gente puede pensar que eso sucedió hace 40 o 50 años. La humanidad desde que inició su actividad ha tenido que abordar el tema de la confiabilidad y del mantenimiento, pero realmente la etapa posterior a la Segunda Guerra Mundial, con todo el desarrollo tecnológico, y con la introducción del concepto de sistemas complejos como tal, planteó un dilema de lo que es la confiabilidad humana y la confiabilidad operacional. La II Guerra Mundial planteó un hito histórico respecto a la actividad industrial y humana, y eso marca la importancia de estudiar la confiabilidad, profundizar y documentar al respecto, realizar conferencias, escribir papers y publicaciones, todo ello desde los años 60. La importancia es trascendental. Una sociedad que no vigile el mantenimiento de su infraestructura, y que no eduque a la población en la idea de que tiene que participar de ello como un todo, es una sociedad que atravesará problemas con todo lo que es su aparato productivo, su aparato de servicios. El área de confiabilidad humana es el punto de convergencia entre las ciencias humanas y las ciencias técnicas, en donde el activo humano y el activo físico deben trabajar en conjunto y buscar tanto la ventaja que tiene la parte técnica y también la parte humana. Sin entrenamiento, el nivel de riesgo es terrible. Personalmente, creo que el mantenimiento y la confiabilidad están para quedarse.

**Confiabilidad y USB: compromiso evidente en estudios de cuarto nivel**

La obra de Jiménez y Milano, Planificación y Gestión del Mantenimiento Industrial, destaca, como parte de los factores que

determinan la dinámica de una organización, a la gente y la cultura, refiriéndose a la primera como "(...) la organización de mantenimiento debe contar con personal adecuado, capacitado y preparado en función de asumir todos los retos que se le presenten

en función de los procesos, y brindar la mayor cantidad de soluciones posibles (...). En el segundo aspecto, cultura “Implica la búsqueda, por parte del personal de la organización de mantenimiento, de nuevos conocimientos, capacidades y destrezas para contribuir al crecimiento personal y profesional y, por consiguiente, al de la empresa.”(1) Desde este enfoque, de incontestable actualidad, se inscriben una

serie de acciones que desarrollan los estudiosos del tema del mantenimiento industrial, y la USB no se ha quedado a la saga. El post grado de Confiabilidad Operacional que dicta esta casa de estudios viene a llenar el vacío que existía en el país en esta materia, indispensable para el desarrollo industrial. El profesor Orlando Aguillón, responsable de esta especialización, explica sus orígenes y propuestas.

### **P21** ¿En qué consiste la especialización?

**Orlando Aguillón:** Consiste en un grupo de doce módulos orientados hacia la parte de superficie (esto con relación a la industria petrolera). Existe una rama de la especialización que aborda la parte de confiabilidad en subsuelo. Estos doce módulos comprenden materias básicas, obligatorias: confiabilidad operacional, ingeniería de confiabilidad, confiabilidad humana, finanzas para la confiabilidad, diseño para la confiabilidad y otro grupo que son las metodologías, como inspección basada en riesgo o análisis causa raíz, AMEF, que son técnicas muy utilizadas a lo largo de la parte de confiabilidad, o sea, dentro de la ingeniería de confiabilidad, que se aplican en todo el mundo.



Prof. Orlando Aguillón  
Post Grado Confiabilidad  
Operacional USB

### **P21** ¿Cómo y cuando surge la necesidad de realizar estos post grados?

**OA:** La especialización en confiabilidad es la primera de las especializaciones que responde a una necesidad de la industria, en este caso la industria petrolera. En el año 99, el CIED de PDVSA nos pide un adiestramiento en confiabilidad, y lo primero que se plantea como actividad de confiabilidad es la conferencia, que se realiza en el año 2000. Se podría decir que la primera conferencia de confiabilidad operacional es la semilla que dio origen a la especialización como tal. PDVSA nos solicita entonces una especialización, un adiestramiento en confiabilidad para toda la industria petrolera, y en ese momento, la Universidad Simón Bolívar tenía parte de lo que es confiabilidad dividida en diferentes áreas: materiales, electrónica, mecánica, pero no era una especialización formal. El holding estatal nos propone colocar a nuestra disposición profesionales formados en el exterior en Confiabilidad para que, en conjunto, con profesores de la USB, creáramos la especialización. Como decimos siempre, la confiabilidad nace de la industria aeroespacial, de ahí pasa a la industria aeronáutica, y de la industria aeronáutica pasa a la industria petrolera. Y es así como llega Confiabilidad a Venezuela, de la mano de PDVSA, con la actuación directa de nuestra universidad.

**P2/** *¿Qué ha implicado esto para la Simón Bolívar como ente creador de conocimiento?*

**OA:** El impacto directo en la industria petrolera, que fue donde se abrieron las tres primeras cohortes, tuvo incidencia en la producción. La especialización tiene un trabajo especial de grado al final de los doce módulos, y en ese trabajo especial de grado PDVSA exigió que resolvieran un problema de campo, y así fueron las primeras cohortes, de 20 personas, y cada participante debía resolver un problema. Eso, en el área de Producción, fue muy bueno. Y en paralelo se fue colando la información de que el post grado ya estaba acá en la universidad, y entonces aparecieron otras industrias interesadas, como la industria de alimento, la petroquímica, las empresas básicas de Guayana, la industria farmacéutica, y empezamos a abrir la especialización a otras empresas. Al principio, los profesionales que ingresaban eran ingenieros químicos, petroleros y mecánicos, pero en la medida que iba pasando el tiempo tuvimos arquitectos, ingenieros civiles, médicos. Entonces no fue exclusividad de la industria petrolera la especialización, pero fue quien la impulsó, de lo cual PDVSA se siente muy orgullosa, al sembrar la semilla de la Confiabilidad. A lo largo de estos 14 años ya llevamos diez cohortes efectivas.

**P2/** *En el área de Confiabilidad Humana, ¿cómo se enfoca el post grado?*

**OA:** El área de Confiabilidad Humana es nueva, incluso dentro de Confiabilidad, un área realmente novedosa, porque trata de medir la confiabilidad del ser humano, cosa que es muy difícil. Ese plus que le dio el módulo de Confiabilidad Humana como una disciplina obligatoria de la especialización, ha sido excelente. Hemos podido incorporar médicos, en el área de neurología e ingenieros que también están trabajando en el área. Pienso que eso ha enriquecido mucho al post grado, sobre todo ahora, que contamos con profesores internos para dictarlas. Hay otras materias que se han creado a lo largo de estos años, que han nacido de la necesidad de industrias como la petrolera. Tal es el caso de asignaturas como Diseño para la Confiabilidad, Finanzas para la Confiabilidad, que inicialmente no estaban en el pensum, pero que han terminado incorporándose. Si pudiéramos resumir qué es la Especialización en Confiabilidad o cual ha sido el resultado de la especialización en confiabilidad a lo largo de estos años, podríamos decir que ha sido la formación de ingenieros en confiabilidad, que han resuelto problemas tanto nacionales como internacionalmente, y la migración de ese conocimiento a todo el resto de la industria. Eso nos llena de mucho orgullo porque en este momento podríamos decir que somos una de las pocas universidades que tiene Confiabilidad como estudio formal.



**P2/** *En el plano internacional ¿estos esfuerzos han tenido alguna resonancia?*

**OA:** Varias universidades internacionales se han interesado en la labor que estamos desarrollando en la USB con respecto a los post grados de confiabilidad. Específicamente podemos citar la Universidad de Sevilla, en España; y la universidad de Maryland, en Estados Unidos. Con esta última, que colabora directamente con la agencia espacial estadounidense, NASA, está en proceso la firma de un convenio, que permitirá a profesionales de ambos países intercambiar conocimientos y experiencias. Las ventajas para la USB son evidentes, pues la universidad de Maryland es uno de los centros de estudio pioneros en Confiabilidad vinculada a la electrónica, al control y a los equipos de sistemas complejos. Eso nos permitiría a nosotros recibir de ellos formación en sus instalaciones. A su vez, ellos están muy interesados en poder trabajar con nosotros en la industria petrolera venezolana para mejorar los procesos de tecnologías. Tener un convenio con una universidad como esa muestra el éxito de estos últimos catorce años de trabajo en cooperación.

**AUTOR:**

*Alimey Díaz M.*

**BIBLIOGRAFÍA**

1. MILANO, Teddy; JIMÉNEZ SÁNCHEZ, Karli; *Planificación y gestión del mantenimiento industrial*. Editorial Panapo, 2006.

2. MARTÍNEZ, Miguel; *Comportamiento humano: nuevos métodos de investigación*. Editorial Trillas, 2012.

**FOTOGRAFÍA**

*Cortesía USB*

*Andrés González*





# Stress, Distress, Burn Out Y Los Errores Humanos

*Stress en inglés significa: tensión, ansiedad, fuerza, presión.*

*En nuestras conversaciones cotidianas utilizamos la palabra Stress para referimos al grado de ansiedad que nos puede generar alguna situación o situaciones de nuestra vida o para referirnos al estado de alteración psicológica ocasionada como reacción a estímulos externos o internos. Esta percepción es válida para el lenguaje coloquial, sin embargo debemos establecer que el Stress es una condición natural del ser vivo, que le permite responder ante estímulos externos o internos y perpetuar la existencia de la especie. Técnicamente hablaríamos de Eutress, considerándolo así como el Stress normal para desarrollar la actividad normal de nuestro organismo. Cuando el nivel de stress sobrepasa los dinteles de la normalidad, entonces, hablamos de Distress.*

## CAUSAS INTERNAS DEL STRESS

El stress obedece al efecto de hormonas y neurotransmisores presentes en nuestro torrente sanguíneo y en el sistema nervioso central respectivamente, utilizadas para mantener la homeostasis psicológica y física de nuestro cuerpo, como son cortisol, hormona tiroidea, noradrenalina, serotonina, dopamina, etc.

## CAUSAS EXTERNAS DEL STRESS

1. Estrechez del espacio vital
2. Trabajo nocturno excesivo, cambios de turno
3. Ruido excesivo
4. Inseguridad económica
5. Hogar inestable
6. Muerte de un familiar o amigo
7. Falta de calor humano
8. Cambios en el sistema de vida: domicilio, trabajo, ambiente, tecnología
9. Procesos de cambio

## CAUSAS INTERNAS DEL STRESS

1. Expectativas demasiado altas respecto de sí mismo y de los demás
2. Escasa autovaloración, baja autoestima
3. Sentimientos de culpabilidad y de vergüenza
4. Temor de pérdida
5. Falta del sentido de la vida y desesperanza
6. Desorientación y dudas internas
7. Falta de capacitación o habilidad para hacer algo
8. Falta de habilidad para administrar el tiempo
9. Incapacidad física
10. Incapacidad para conciliar el sueño

## SÍNTOMAS Y SIGNOS PRODUCIDOS POR EL DISTRESS

### Psicológicos:

- Déficit de concentración
- Ansiedad
- Inseguridad en la toma de decisiones
- Impaciencia injustificada
- Trastornos sexuales
- Disminución de la concentración
- Falta de creatividad
- Disminución de la capacidad de memoria

### Físicos:

- Tensiones musculares
- Dolores articulares
- Astenia (debilidad)
- Jaquecas y mareos
- Calambres
- Sofocos, ahogos, opresiones
- Sudores repentinos
- Sensación de opresión en el cuello
- Contracciones faciales o tics
- Disminución del sistema inmunológico

## SÍNDROME DE BURN OUT

El término fue acuñado originalmente en 1974 por el psicoanalista Hebert Freudengerger, al observar que después de cierto tiempo algunos profesionales de la salud perdían mucho su idealismo y también su simpatía hacia los pacientes.

Freudenberger lo describe como un conjunto de síntomas médico-biológico psicosocial que se desarrollan en la actividad laboral como resultado de una demanda excesiva de energía

De la traducción literal del inglés, significa estar o sentirse quemado por el trabajo, agotado, sobrecargado, exhausto. Es decir que el individuo presenta un estado de agotamiento físico y/o lo inhabilita para ejercer sus labores cotidianas efectivamente. Es un síndrome que se ha popularizado en diferentes ámbitos empresarial, debido quizás a la falta de atención a los niveles de stress que se generan en el trabajador, asociado a su predisposición genética, factores ambientales, tipo de trabajo, horario. Se presenta en forma progresiva y es un proceso cíclico

El Burnout se presenta mayormente en personas con cierto perfil, donde encontramos como características resaltantes:

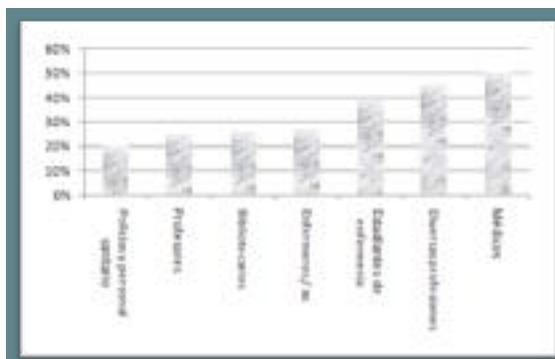
- Elevada auto exigencia
- Baja tolerancia a la frustración
- Necesidad de excelencia y perfección
- Necesidad de control
- Sentimiento de omnipotencia (Sind del Mesías)
- Relaciones familiares empobrecidas
- Falta de tiempo para entretenerse
- Baja actividad física

También existen factores personales que aumentan la susceptibilidad a desarrollar un Burnout, entre los que encontramos:

- La edad
- Sexo
- Variables familiares
- Personalidad
- Inadecuada formación profesional
- Factores laborales, profesionales o técnicos
- Factores sociales
- Factores ambientales

## INCIDENCIA DE BURN OUT EN DIVERSAS PROFESIONES

Todos los profesionales están expuestos al desarrollo del Sind de Burn Out, sin embargo es evidente que hay profesiones de mayor riesgo que otras, dependiendo del nivel de exigencia de cada una de ellas y podemos notar en el gráfico anterior que los profesionales con más incidencia de este síndrome son los médicos. Cabe hacer notar que dentro de la misma profesión existen diferencias de riesgos según la especialidad, siendo las de más alta incidencia terapia intensiva, anestesiología y neurocirugía.



## EVALUACIÓN DEL STRES

En las profesiones encargadas del estudio del Stress (Psicología, Psiquiatría, Medicina Interna, etc.) se utilizan parámetros estandarizados para la evaluación del paciente y la determinación del grado de Resistencia (escala de Hanson) y la clasificación del Stress (escala de Holmes Rahe)

Estas evaluaciones deben ser aplicadas por personal calificado para obtener la mejor respuesta y así programar la terapia indicada según las necesidades de cada individuo, la cual debe estar bajo la responsabilidad de personal profesional competente. Además, se recomienda la realización de una evaluación Psicológica previa al inicio del trabajo para así determinar el riesgo de cometer errores causados por el stress. Asimismo, se recomienda efectuar evaluaciones periódicas con el fin de preservar la salud integral del individuo y evitar que desarrolle el síndrome de Burn Out y, por consiguiente, romper el círculo vicioso y evitar la aparición de errores humanos involuntarios.

## ESCALA HOLMES RAHE PARA CALIFICACION DEL ESTRES

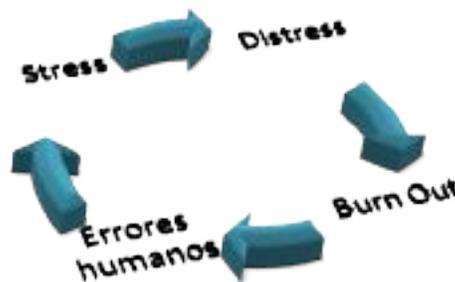
FACTORES	puntos	FACTORES	puntos
Muerte del cónyuge	100	Muerte de un amigo cercano	37
Divorcio	73	Cambio a trabajo diferente	36
Separación marital	65	Discusiones constantes con el cónyuge	35
Encarcelamiento	63	Hipoteca por más de un año de sueldo	31
Muerte de familiar cercano	63	Vencimiento cercano de un adeudo significativo	30
Lesiones por accidente o enfermedad	53	Cambio de responsabilidades laborales	29
Matrimonio	50	Hijo o hija deja el hogar	29
Despido laboral	47	Problemas con los suegros	29
Reconciliación marital	45	Logro personal sobresaliente	28
Retiro o jubilación	45	Cónyuge comienza a trabajar o deja de hacerlo	26
Cambio en la salud de un familiar	44	Inicio o final del periodo escolar	26
Embarazo	40	Cambio en condiciones de vida	25
Dificultades sexuales	39	Cambio en hábitos personales.	24
Arribo de un nuevo miembro a la familia	39	Problemas con el jefe.	23
Cambio en los negocios	39	Cambio de horario o condiciones laborales	20
Cambio en la situación económica	38	Cambio de residencia	20

## ESCALA HANSON DE RESISTENCIA AL ESTRES

FACTORES NEGATIVOS	PUNTOS	FACTORES	PUNTOS
Mala genética	- 10	Buena genética	10
Insomnio	- 20	Sentido del humor	20
Dieta inadecuada	- 30	Dieta correcta	30
Obesidad	- 40	Tensiones razonables	40
Metas irrealistas	- 50	Metas realistas	50
Venenos (incluyendo la cafeína)	- 60	Comprensión del estrés	60
Fumar	- 70	Habilidad para relajarse y dormir	70
Trabajo inadecuado (tensionante)	- 80	Capacitación laboral adecuada	80
Inseguridad financiera	- 90	Seguridad financiera	90
Hogar inestable	- 100	Estabilidad en el hogar	100
SUMA:	550	SUMA:	550

## RELACIÓN STRESS, DISTRESS, BURN OUT Y ERRORES HUMANOS

La confiabilidad existente en los humanos al realizar sus labores cotidianas puede verse afectada por el nivel de distress que presente el individuo al realizar el trabajo, debido a los efectos deletéreos sobre la salud, a veces imperceptibles en sus inicios. De no aplicarse la corrección adecuada podría producirse el Burn out del trabajador, llevándolo a cometer errores humanos no intencionales (API 770) y sacarlo temporalmente de proceso productivo de la empresa, trayendo como consecuencia la baja producción, aumento de costo- beneficio o en ocasiones accidentes laborales que podría ser mortales en algunos de los casos.



A su vez, esto crea un círculo vicioso generando mayor nivel de stress y así sucesivamente, de no ponerse correctivos adecuados por profesionales capacitados para tal fin. Siendo necesario aplicar métodos terapéuticos adecuados en forma individual y grupal, según lo requiera la situación.

## AUTOR:

Dr. Bárbaro J. Giraldo C.  
 Post grado en Medicina Interna (UCV)  
 Gerencia Médica  
 Prf. Contr. UPEL- El Tigre. Anzoátegui. Venezuela  
 Correo: barbarog84@gmail.com

## BIBLIOGRAFÍA

- [www.monroyasesores.com.mx](http://www.monroyasesores.com.mx)
- D. K. Lorenzo, P.E.,EQE, International Inc. *A Manager's Guide to Reducing Human Errors Improving Human Performance in the Process Industries*  
API PUBLICATION 770, MARCH 2001
- A.C. Rosander. 1992. *La búsqueda de localidad de servicios*, pag 97
- Rick Crandall. Pamela L. Perrewe. *Occupational Stress: A Handbooks*, pag 75
- Gary P. Moberg, Joy A. Mench. 2000. *The Biology Of Animal Stress: Basic Principles*

# GARY Services: La Confiabilidad Humana En La Mira De La Evolución Organizacional

*Creada hace cuatro años, esta empresa de factura nacional se inscribe como una de las abanderadas en la Confiabilidad Humana, centrando sus esfuerzos en ofrecer nuevas y mejores técnicas dentro de organizaciones y empresas para fortalecer y empoderar su activo más importante: el recurso*

Mucha agua ha corrido bajo el puente desde que, luego de la Segunda Guerra Mundial, se iniciara la carrera formal por el Mantenimiento Industrial, cumpliendo las ya conocidas etapas del mantenimiento operacional, correctivo, preventivo y finalmente el mantenimiento predictivo y la gestión de activos, todo ello con miras a lograr más y mejores resultados dentro del área de confiabilidad, el buen funcionamiento y sostenibilidad de la actividad industrial en el mundo. En el mantenimiento predictivo se asume un nuevo factor, que ha venido en alza en las últimas décadas, con sobradas razones y ejemplos que dan fe de su importancia: la confiabilidad humana.

Según el Ing. MSc. Oliverio García Palencia, en su conferencia La Confiabilidad Humana en la Gestión de Mantenimiento, "La Confiabilidad del Talento Humano se define como la probabilidad de desempeño eficiente y eficaz de todas las personas, en todos los procesos, sin cometer errores o fallas derivados del

conocimiento y actuar humano, durante su competencia laboral, dentro de un entorno organizacional específico." (Reliability World 2006 Sudamérica, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia). Desde este enfoque, el ser humano es uno de los pilares sobre los cuales descansa toda política o plan de confiabilidad. Muchas empresas consultoras a nivel nacional e internacional han sabido interpretar adecuadamente esta necesidad de la industria dentro del ramo de la confiabilidad, dirigiendo sus esfuerzos al fortalecimiento de la gestión del talento humano y su accionar dentro del área operacional. Una de estas empresas consultoras es GARY Services, que dentro del territorio venezolano ha venido posicionándose como una de las más confiables en el tejido empresarial, en cuanto a lo que a gestión humana se refiere. Su presidente, Gerardo Ricardo, y principal directivo, y José María Seoane, nos amplían sobre la importancia de su labor y el impacto que esto tiene en el devenir de cualquier organización.

**PREDICTIVA?**

*¿Cómo se crea GARY Services, C.A.?*



**Gerardo Ricardo**

La empresa nace en el 2010; atendiendo justamente a las necesidades de la industria en cuanto al fortalecimiento del factor humano, y ha atravesado todas las etapas de actualización y posicionamiento de mercado que cabe esperarse en empresas de este tipo. Somos una empresa de servicios multidisciplinaria, abarcamos lo concerniente a servicios generales, servicios profesionales, talento humano, confiabilidad y todos los aspectos relacionados con la organización. Nuestra filosofía apunta a una gestión de calidad confiable y la atención directa al cliente, que se sienta satisfecho y bien atendido con los productos que ofrecemos. Nos enfocamos en la confiabilidad humana, porque creemos que el hombre de operaciones, el hombre de la organización, debe ser confiable desde todo punto de vista.

**PREDICTIVA?**

*¿Cómo se establece este criterio de Confiabilidad Humana? ¿Qué hace a una persona realmente confiable, tanto en el trabajo como en su accionar social?*

**Gerardo Ricardo**

Eso redundante en sus competencias, tanto personales como psicosociales, en sus competencias de comportamiento, y ese compendio de competencias es lo que permite que este ser humano sea confiable en todas sus acciones y que minimice o prevenga desviaciones, que son las que pueden generar un incidente y que ese incidente se convierta en un área no confiable.

**PREDICTIVA?**

*¿Cómo se enlaza la conducta humana confiable y la gestión de activos en el área de ingeniería de confiabilidad? ¿En qué punto se tocan?*

**Gerardo Ricardo**

Según nuestros clientes, de nada sirve tener activos en óptimas y perfectas condiciones, si el talento humano no está comprometido. Y eso es lo que buscamos, comprometer al talento, hacer el diagnóstico de cuáles son sus debilidades, fortaleciendo sus puntos fuertes, y eso es lo que conecta con la Confiabilidad Operacional. Cuando el hombre está bien comprometido y bien fortalecido en materia de competencias, obtenemos que las fallas mecánicas y operacionales van a disminuir, o en todo caso estará en capacidad de dar respuestas rápidas y oportunas.

La propuesta básica de GARY Services C.A. obedece a la búsqueda de mejoras en los niveles de confiabilidad organizacional desde una perspectiva humana. Su objetivo es implantar un modelo integral de Cultura de Confiabilidad en torno al cual confluyan todos los subsistemas organizacionales, en aquellas empresas u organizaciones que solicitan sus servicios. Como consultores, su propuesta se enfoca en el logro de la confiabilidad organizacional, partiendo de un diagnóstico situacional y apoyándose en un completo esquema de desarrollo de competencias, con el fin ulterior de lograr la confiabilidad humana.

**PREDICTIVA**

*¿Cómo abordan, como consultores, las fallas humanas al llegar a una empresa por primera vez?*



**José M. Seoane**

Nosotros no abordamos directamente a la persona, abordamos la organización. Lo más fácil en el mundo empresarial ha sido (y es) decir “mi gente no está motivada, o mi gente no está funcionando bien”. Esta es una visión muy simplista, que no refleja la realidad. Nosotros vemos la organización como un todo. En la organización y la empresa está la gente, están las operaciones (equipos y procesos, que a veces no están definidos), y están los sistemas de gestión, dirección, supervisión. Suele ocurrir que se le coloca la carga de confiabilidad a un trabajador, cuando la situación de no confiabilidad en realidad proviene del nivel de dirección, que no ha marcado bien los rumbos, que no ha establecido apropiadamente estándares, indicadores de comportamiento, y que no chequeó si las competencias de las personas para los puestos en los cuales estaban ubicadas eran las apropiadas. No podemos decir “vamos a trabajar a la gente para que sea confiable”, la premisa es: “vamos a trabajar a la organización para que la organización sea confiable”, porque eso marca una diferencia total. Suele ocurrir que se aborda a la gente directamente, se les dicta talleres, cursos de formación, se elaboran perfiles, etc., y sin embargo sigue persistiendo la no confiabilidad, o siguen presentándose incidencias y accidentes que descalifican la producción, los productos y el trabajo. Entonces, lo que se impone es revisar a fondo los sistemas, el nivel orientador de la dirección y la supervisión, cómo están los procedimientos, si están definidos, hacia donde va o quiere ir la organización. Y hay un principio en organización que señala que “la estructura modela comportamientos”. Así que también revisamos la estructura de la empresa, porque esta va a modelar el comportamiento de la gente.

**PREDICTIVA**

*¿En algún punto se produce una escisión entre la cultura en la cual están inmersas las personas, y el deber ser de la cultura organizacional de la empresa? ¿Puede haber dicotomías ahí?*

**José M. Seoane**

Para empezar, la cultura de la confiabilidad no está instalada en todas las empresas, porque requiere muchísimo trabajo, muchísima dedicación, y una visión muy amplia del espectro organizacional. Un gerente de operaciones tiene que ver la parte de la gente, la parte de los sistemas y la parte de los procesos. Pero un directivo tiene que ver lo que concierne a la gente, los sistemas, los procesos y también la parte de la estructura. Y la gente necesita conocer desde la misión y visión de la empresa hasta cada proceso y a profundidad los roles que le corresponde desarrollar, y dentro de esos roles que competencias requiere cada uno. Una vez dicho esto, abordamos a la gente, buscamos una persona integral, una persona que tenga en funcionamiento todos sus sistemas. Y esos sistemas son, según las nuevas visiones del cerebro humano y toda la filosofía y pedagogía que se desprende de esto, todos sus niveles, empezando por el hemisferio izquierdo y el derecho, buscamos una persona que sea capaz de analizar, conocer (cerebro izquierdo) y que además sea innovador, que pueda crear y aportar (cerebro derecho). Por otro lado, es crucial que tenga desarrollada su inteligencia emocional.

**José M. Seoane**

Si la persona no tiene autocontrol, autodominio, si no tiene inteligencia social (que surge del cerebro límbico, que es el mundo de las emociones), si no sabe trabajar en equipo, si no es solidario en su formación y funcionamiento, entonces tenemos un individuo no confiable, porque pierde integridad, que es clave en estos casos. Y además de las competencias cognitivas y emocionales, debe ser capaz de poner todo esto en acción. Un individuo es confiable cuando es capaz de actuar con todas esas inteligencias funcionando: de alerta, atención, anticipación, proactividad, que señale elementos que puedan incidir en la no confiabilidad, y esa persona requiere que nosotros involucremos todos los sistemas de la organización. Por eso, en GARY Services C.A. le hemos llamado Confiabilidad Organizacional y no Confiabilidad Operacional.

**Gerardo Ricardo**

El diagnóstico para nosotros es fundamental. Cuando abordamos una organización que presenta incongruencias entre las posiciones, o posiciones encontradas, vamos al diagnóstico buscando la raíz del problema. La clave es la base supervisora, que si no marca la pauta y prevé las soluciones, pues no será útil. Nosotros hacemos el acompañamiento, tratando de negociar entre las partes la mejor solución. Es fundamental que los supervisores tengan formación para dialogar con los trabajadores, de forma que puedan llegar a acuerdos favorables para todos.

**PREDICTIVA?**

*¿Cómo afrontan problemas antiguos, profundamente arraigados en una organización? Si la mente es el ente formativo de lo que ella misma piensa, la mente no puede saltar fuera de sí misma para contemplar soluciones superiores. Entonces, ¿cómo afronta esto un consultor, este proceso de desarraigar prejuicios dentro de la cultura de una empresa, y que a la vez se pueden entrelazar con la cultura o la idiosincrasia de las personas que forman la empresa?*

**José M. Seoane**

El primer paso es tomar conciencia de la situación. A veces vamos a empresas en donde el gerente dice "quiero que me arreglen a mi gente, porque están flojos, protestan por todo, no quieren obedecer normas", y es ahí cuando decimos "nosotros te queremos arreglar a ti primero, luego a la gente". Automáticamente, ya el directivo que formula este juicio está dando un indicio de donde está el conflicto, en el supervisor, o el director, porque muestra tener una visión preconcebida que le hace desplazar la culpa hacia el otro. El cerebro no puede saltar fuera de sí mismo, y ancestralmente tiene tanto formaciones como malformaciones, así que lo que se impone es ubicar en donde está la falla, si está en el conocimiento, los niveles de preparación o si las personas han sido formadas adecuadamente. A veces la gente simplemente no toca ciertos aparatos porque no los conoce. No es lo mismo una charla que un taller que permita generar habilidad, porque la mayoría de la gente aprende haciendo, no escuchando. O a veces el problema está en la inteligencia emocional: la persona no aprendió a ser un individuo sociable, porque su aprendizaje incluyó el daño social, por ejemplo. Casos de marginación, de no reconocimiento y no valoración a edades tempranas crean un escaso desarrollo de habilidades sociales, que inciden directamente en la dinámica del personal de una empresa. Al final, el consultor es un mediador en el proceso, que pone el foco de atención sobre una o varias situaciones dentro de una organización que impide producir los beneficios y metas que se esperan obtener. Normalmente lo logramos, y lo hacemos de forma vivencial.

### PREDICIVA?

*¿Qué métodos utiliza Gary Services en el abordaje, acompañamiento y establecimiento de estrategias, durante su labor de consultoría?*

**José M. Seoane**

Empezamos haciendo actividades, siempre de carácter vivencial, porque en realidad las charlas producen pocos resultados. Usamos dinámicas muy particulares, destinadas a romper patrones para llegar a la situación que nos ocupa dentro de la organización, pero trabajadas transversalmente, a partir de los valores y comportamientos.

**Gerardo Ricardo**

Cuando instalas una cultura tienes que comenzar por lograr el compromiso de la máxima autoridad de la empresa y luego bajar ese compromiso hasta toda la base de los trabajadores. En todas las organizaciones, todo el mundo respira el ambiente de lo que se quiere instaurar: seguridad, confiabilidad, etc. Tenemos un cliente al cual asistimos en el acompañamiento de la conformación de las Brigadas de Confiabilidad, en las cuales dejamos caer globos de ensayo impregnados de mucha información en materia de confiabilidad, crecimiento personal, etc. En principio, seleccionamos a las personas que son proclives de forma natural a ser multiplicadores de los conceptos de confiabilidad. Allí comenzamos a hacer confiabilidad. En ingeniería, la confiabilidad operacional comienza desde el diseño, y este concepto puede extrapolarse perfectamente a los recursos humanos, en donde la confiabilidad humana comienza desde la captación del personal. El modelo de cultura de confiabilidad organizacional parte desde la gente y la selección que la organización hace de esta.

**AUTOR:**

*Alimey Diaz*

**BIBLIOGRAFÍA / CIBERGRAFÍA:**

*GARCIA PALENCIA, Oliverio. "La Confiabilidad Humana en la Gestión de Mantenimiento". Conferencia Reliability World 2006, Bolivia.  
[www.verriveritatis.com.br/Toro/outubro2010/Confiabilidad-Humana.pdf](http://www.verriveritatis.com.br/Toro/outubro2010/Confiabilidad-Humana.pdf)*



**Gary Services, C.A.**

Soluciones Integrales

**Mejora de Niveles de Confiabilidad Organizacional Perspectiva Humana**

[www.garyservices.com.ve](http://www.garyservices.com.ve)

Gary Services, C.A  
Rif: j-29904169-6

# Optimización de Inventarios de Partes y Repuestos para el Mantenimiento (II Parte)

## Repuestos Centrado en Confiabilidad (RCC)

Repuestos Centrado en Confiabilidad (RCC - Reliability-Centered Spares/RCS) es "un método para determinar el nivel de inventarios de repuestos en base a la vida a través de los costos y los requisitos de los equipos y la operación de mantenimiento que los soportes de inventario".

El RCC se puede aplicar en cualquier momento del ciclo de vida de un activo (es decir, antes de comprar las piezas de repuesto o cuando el activo ha estado en servicio durante algún tiempo). Se puede aplicar de forma selectiva al inventario usando el principio de Pareto (Análisis ABC), tomando en cuenta que un pequeño número de repuestos suelen ser los responsables de una gran proporción del valor de inventario y/o podrían inducir a grandes pérdidas de producción en el caso de falta de existencias.

Mayormente, el RCC se le aplica a los repuestos de bajo índice de rotación que derivan luego de realizar un Análisis ABC (ver Figura 4).

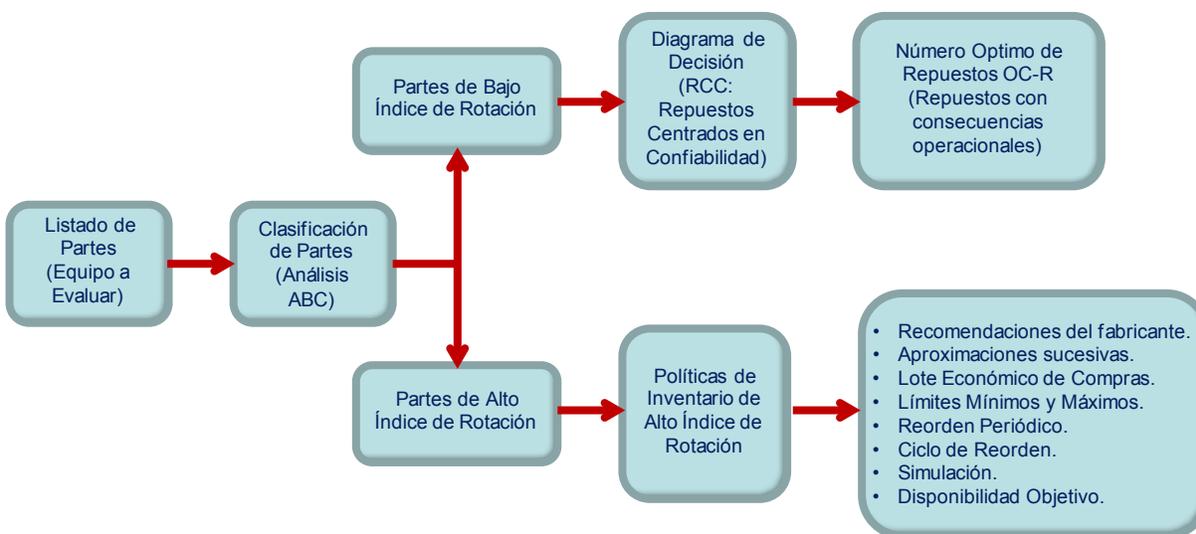


Figura 4. Modelo de Optimización de Inventario aplicando RCC

Este método se basa directamente en la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), fundamentándose en responder de forma lógica, cuatro preguntas que permiten establecer la política de stock adecuada para cada repuesto. Estas preguntas básicas son:

1. *¿Cuáles son los requerimientos de mantenimiento del equipo?*

Los requerimientos se obtienen mediante la generación de los planes de mantenimiento, aplicando la metodología de MCC. Las restantes tres preguntas aseguran que el inventario de repuestos cumpla con los requerimientos de operación y mantenimiento.

2. *¿Qué pasa si no está disponible un repuesto?*

El RCC se basa en la decisión de qué ocurre si no se dispone del repuesto y no necesariamente en las recomendaciones del fabricante, o en el juicio subjetivo de los grupos de ingeniería encargados de velar por el mantenimiento de los equipos. Este paso en el proceso hace posible decidir si el faltante es importante, y por lo tanto qué recursos son necesarios para reducir el riesgo cuando ocurra el faltante.

Al igual que el MCC, el RCC reconoce cinco categorías de consecuencias que son:

- *Consecuencias de las fallas ocultas (Riesgo)*

La falta de repuesto no es detectable por los operarios bajo circunstancias normales de operación. Para que una falla oculta tenga consecuencias graves, debe producirse una falla múltiple que requiera la activación del sistema o equipo que presente la falla oculta. También puede ser detectada por inspección periódica.

- *Consecuencias para la Seguridad*

La falta de repuesto tiene consecuencias para la seguridad si puede comprometer la

integridad de los equipos o causar la lesión o muerte de alguna persona.

- *Consecuencias para el Medio Ambiente*

La falta de repuesto tiene consecuencias para el medio ambiente si conduce a la infracción de cualquier normativa o reglamento relacionado con el medio ambiente.

- *Consecuencias Operacionales*

La falta de repuesto trae consecuencias operacionales si tiene un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional.

- *Consecuencias No Operacionales*

Son consecuencias no operacionales la falta de repuesto que no ejercen ningún efecto sobre el riesgo, la capacidad operacional, la seguridad o el medio ambiente. La única consecuencia derivada de estas fallas es el costo directo de la reparación.

*¿Se puede anticipar el requerimiento del repuesto?*

Algunos requerimientos de repuestos pueden ser anticipados como:

- Las partes o repuestos necesarios para mantenimientos preventivos o reemplazos rutinarios, que ocurren en intervalos regulares, sin tener en cuenta la condición del equipo.

- Las partes o repuestos sujetos a un monitoreo continuo de condición o mantenimiento predictivo, que pueden ser reemplazados al evidenciarse una falla potencial.

- Sin embargo, algunos requerimientos de repuestos son inherentemente no planificados por ser fallas aleatorias, sin signos obvios de desgaste o condición defectuosa.

¿Qué cantidad de repuesto es requerido en inventario?

El RCC reconoce que el 100% de disponibilidad es un ideal imposible de obtener. En los casos en que no es posible anticipar el requerimiento del repuesto, y por tanto minimizar los repuestos en inventario, la metodología RCC pregunta cuantas partes deben mantenerse en inventario para soportar el mantenimiento y la producción. Para ellos se debe establecer los requerimientos de desempeño los cuales dependen de las consecuencias que son:

Riesgo Incrementado	Alcanzar al menos una disponibilidad determinada
Seguridad / M. Ambiente	Reducir la tasa de faltante a un nivel tolerable
Operacional	Minimizar el costo total a lo largo de la vida útil
No Operacional	Asegurar un nivel de servicio mínimo aceptable

Mediante el diagrama de decisión de RCC (ver Figura 5) se puede establecer la política de stock requerida para cada repuesto tomando en cuenta las distintas preguntas discutidas anteriormente.

### Diagrama de Decisión de RCS



Figura 5. Diagrama de Decisión de RCS

### Número Óptimo de Repuestos (Optimización Costo-Riesgo)

Este análisis permite determinar a través de la aplicación metodológica del OCR (Optimización Costo-Riesgo), la cantidad óptima de repuestos con bajo índice de rotación cuyas consecuencias son operacionales y deben ser almacenados en inventario local. Con ello se logra contar de forma óptima y mínimo riesgo, con los repuestos necesarios para el mantenimiento y las operaciones; apuntando al incremento de la disponibilidad y confiabilidad operacional de las instalaciones de la empresa y a la vez de optimizar costos de mantenimiento.

La optimización consiste en minimizar el costo total de operación de los equipos, el cual está integrado por los siguientes componentes:

- El costo de adquirir y almacenar los repuestos. El mismo incrementa en proporción directa con el inventario.
- El costo de indisponibilidad de la planta que utiliza los repuestos en el caso que existiera insuficiencias para cubrir las fallas o los mantenimientos programados. El mismo reduce con el aumento del inventario.

La Figura 6 muestra en forma gráfica los costos de inventario, costos de indisponibilidad y costos totales. Puede observarse en la curva de costo total un mínimo que corresponde al valor óptimo según costo riesgo.

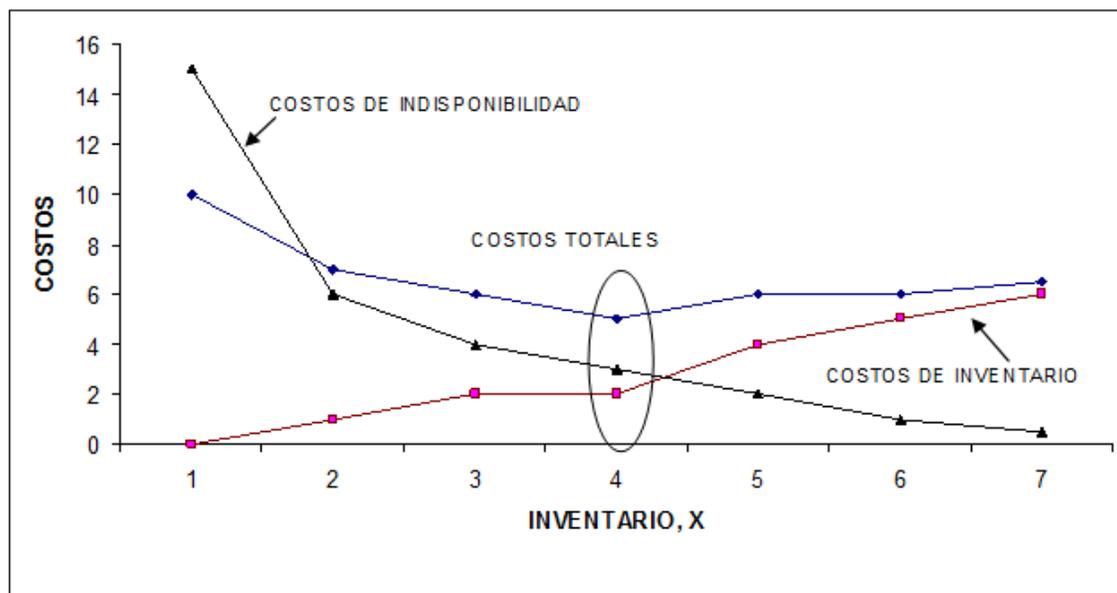


Figura 6. Costo – Nivel de inventario

### Variables requeridas para aplicar el OCR

#### Capacidad Instalada:

- Número de Unidades Instaladas: consiste en la cantidad de unidades instaladas que utilizan el repuesto en estudio.

- Número de Unidades Requeridas para la operación normal: consiste en la cantidad de unidades que se requieren para operar de forma normal.

- Horas de Operación del Activo por Año: consiste en el número de horas de operación por año del repuesto en estudio.

#### Costos de Compra y de Pertenencia:

- Costos de Reabastecimiento: consiste en el costo correspondiente al reabastecimiento de la existencia cuando se produce la falla, normalmente estos costos son más elevados que los que costaría una compra ordinaria.

- Pérdida de Producción: estos costos corresponden a la pérdida en la recepción de ingresos generadas de la paralización del equipo por la indisponibilidad del repuesto.

- Costos de Aceleración de la compra: consiste en los costos de la compra de emergencia del repuesto.

Los costos descritos anteriormente se pueden subdividir en:

- Costo de Compra: consiste en el costo del repuesto.

- Costo Capital: consiste en el costo capital determinado por la corporación.

- Inmacenaje y Mantenimiento: consiste en el costo de almacenar el repuesto y el costo de cualquier actividad de mantenimiento requerida por el fabricante para la conservación del repuesto.

- Vida Útil del repuesto en almacén o vida de obsolescencia: consiste en si el repuesto tiene un tiempo finito de uso, típicamente ocasionado por alguna de las siguientes razones:

- Vida limitada de almacenamiento, y luego no podría ser utilizado para cumplir con sus funciones.

Posibilidad de obsolescencia

- Puede que sea requerido para soportar una operación que se debe a una operación cerrada en un futuro previamente estimado.

#### Consecuencias de la Indisponibilidad:

Describe las consecuencias de la indisponibilidad del repuesto, las cuales pueden ser seleccionadas de una lista de opciones, siendo estas las siguientes:

1. Parada de Planta
2. Pérdida mayor de la variable de salida
3. Pérdida pequeña de variable de salida
4. Pérdidas de menor impacto
5. Fuera de Categoría

- Impacto de no tener disponible el repuesto: consiste en los costos de penalización en los que se tiene que incurrir por la indisponibilidad del repuesto cuando este es requerido.

- Reincidencia en la indisponibilidad del repuesto: consiste en colocar los costos de penalización que tiene que sufragar por la reincidencia en la indisponibilidad del repuesto cuando éste es requerido.

#### Tiempo de Reabastecimiento:

- Unidades de Tiempo para el Reabastecimiento: consiste en seleccionar entre una lista de opciones, la unidad de tiempo que será utilizada para efectuar los cálculos.

- Tiempo de Reemplazo: consiste en la duración en tiempo desde la solicitud del repuesto hasta que el suplidor realiza el suministro.

Tiempo de Penalización cuando ocurre una emergencia: consiste en el tiempo que tarda subsanar la emergencia cuando el repuesto no está disponible, normalmente representado por un incremento en los costos, ya sea del precio de compra del repuesto o de cualquier otro costo.

Probabilidad de reparar el repuesto dañado: consiste en la posibilidad de que el repuesto dañado pueda ser reparado.

Tiempo de reparación del repuesto dañado: consiste en el tiempo que tarda la reparación del repuesto dañado.

En la Figura 7 se puede observar un ejemplo de Número Óptimo de Repuesto, tomando en cuenta el análisis de un sello tipo laberinto, parte de una válvula de un proceso medular de una planta petroquímica.

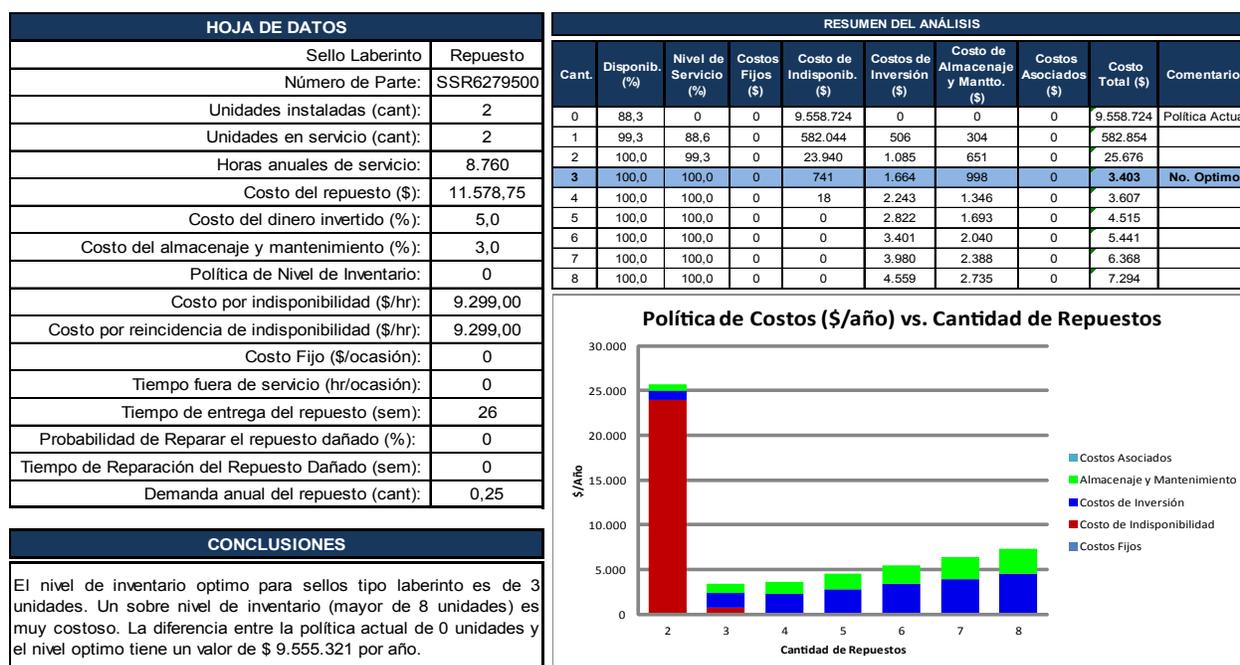


Figura 7. Ejemplo de los resultados de un Número Óptimo de Repuestos

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Cálculo de repuestos críticos - John Woodhouse

Procedimiento para Mantener Máximos y Mínimos de Bienes en Almacenes de la Gerencia de Obras y Conservación. - Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México, S.A. de C.V. - Octubre 2002.

Una Aproximación a los Modelos de Inventarios – Teoría de Inventarios - [www.investigacion-operaciones.com/modelo\\_inventarios.htm](http://www.investigacion-operaciones.com/modelo_inventarios.htm) – Agosto 2013.

Modelo de Planificación y Control de Inventarios para Mantenimiento – Ing. Alfredo J. Leal M.- Universidad del Zulia - Febrero de 2004.

Reliability-centred Spares (RCS) – Mutual Consultants LTD - <http://www.mutualconsultants.co.uk/rcs.html> – Enero 2014.

AUTOR:

Custodio José De Piño Brito

- Ingeniero de Sistemas. U.B.A., 1991-1996, Maracay, Venezuela.
- T.S.U. en Informática. IUTIRLA, 1990 -1993, Maturín, Venezuela.
- Mantenimiento Mecánico. INAPET (CIED), 1977-1979 Anaco, Venezuela.

## ASOCIACIONES MANTENIMIENTO MUNDIAL

 **ABRAMAN**  
Associação Brasileira de Manutenção  
[HTTP://WWW.ABRAMAN.ORG.BR](http://www.abraman.org.br)

 **ACIEM**  
Asociación Colombiana de Ingenieros  
Bogotá, Colombia  
[HTTP://WWW.ACIEM.ORG](http://www.aciem.org)

 **ACIMA**  
Asociación Costarricense de Ingeniería  
de Mantenimiento  
[HTTP://WWW.ACIMACR.COM](http://www.acimacr.com)

 **AEM**  
Asociación Española de Mantenimiento  
[HTTP://WWW.AEMES](http://www.aemes)

 **ASBOMAN**  
Asociación Boliviana de Mantenimiento  
[HTTP://WWW.ASBOMAN.COM](http://www.asboman.com)

 **ASEINMA**  
Asociación Ecuatoriana De Ingeniería  
De Mantenimiento  
[HTTP://WWW.ASEINMA.ORG](http://www.aseinma.org)

 **AVEPMCO**  
Asociación Venezolana de Profesionales  
de Mantenimiento y Confiabilidad  
[HTTP://WWW.AVEPMCO.ORG.VE/](http://www.avepmco.org.ve/)

 **CAM**  
Comité Argentino de Mantenimiento  
[HTTP://WWW.CAM-MANTENIMIENTO.COM.AR](http://www.cam-mantenimiento.com.ar)

 **AEMA**  
Asociación Peruana de Mantenimiento  
[HTTP://WWW.AEMAPERU.COM](http://www.aemaperu.com)

 **AEMI CHILE**  
Asociación Chilena de Mantenimiento  
MAILTO: RIOSA@ENTELCHILE.NET

 **AMGA**  
Asociación Mexicana De Profesionales  
En Gestión De Activos Físicos  
[HTTP://WWW.AMGA.ORG.MX](http://www.amga.org.mx)

 **APMI PORTUGAL**  
Associação Portuguesa de Manutenção  
Industrial  
MAILTO: APMI@ONINET.PT

 **FIM**  
Federação Iberoamericana de Manutenção  
[HTTP://WWW.EFNMS.ORG/EFNMS/LINKS/FIMAS](http://www.efnms.org/efnms/links/fimas)  
P

 **IFEMAN**  
Instituto Peruano de Mantenimiento  
[HTTP://WWW.IFEMAN.COM](http://www.ifeman.com)

 **SOMMAC**  
Sociedad Mexicana de Mantenimiento  
[HTTP://WWW.MANTENIMIENTO-SOMMAC.COM](http://www.mantenimiento-sommac.com)

 **URUMAN**  
Sociedad Uruguaya de Mantenimiento,  
Gestión de Activos y Confiabilidad  
[HTTP://WWW.URUMAN.ORG](http://www.uruman.org)

## EVENTOS

 **5º WORKSHOP INTERNACIONAL ASSET MANAGEMENT & UTILITES**  
6 al 7 de Marzo de 2014. Lima Perú  
+51 628-1184 / (0034) 96345666  
[info@globalassetmanagement-amp.com](mailto:info@globalassetmanagement-amp.com)  
[www.globalassetmanagement-amp.com/index.php/inicio-workshops](http://www.globalassetmanagement-amp.com/index.php/inicio-workshops)

 **6º WORKSHOP INTERNACIONAL ASSET MANAGEMENT & BUSINESS PLAN**  
11 al 13 de Marzo de 2014. Quito, Ecuador. (593)  
22471163 / (593) 22483749 / (593) 99285719  
[nuria@globalassetmanagement-amp.com](mailto:nuria@globalassetmanagement-amp.com)  
[www.globalassetmanagement-amp.com/index.php/inicio-workshop-ecuador](http://www.globalassetmanagement-amp.com/index.php/inicio-workshop-ecuador)

 **CONGRESO INTERACTIVO DE INGENIERIA INDUSTRIAL, MECANICA Y MANTENIMIENTO**  
27 al 30 de Marzo de 2014. Venezuela  
0274-2512828  
[dimecanic.congreso@gerenglob.com](mailto:dimecanic.congreso@gerenglob.com)  
[www.dimecanic.com.ve](http://www.dimecanic.com.ve)

 **XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO 2014**  
2 al 4 de Abril de 2014. Hotel Crowne Plaza  
Tequendama, Bogotá  
2367713 - 2367714  
[aciemcundinamarca@aciem.org](mailto:aciemcundinamarca@aciem.org)  
[www.aciem.org/inicio/index.php/convocatoria](http://www.aciem.org/inicio/index.php/convocatoria)

 **7º WORKSHOP INTERNACIONAL ASSET MANAGEMENT & RELIABILITY & ENERGY**  
7 al 8 de Abril de 2014. Santiago, Chile.  
+56 (2) 236 84569 (0034) 96345666  
[informacion@globalassetmanagement-amp.com](mailto:informacion@globalassetmanagement-amp.com)  
[www.globalassetmanagement-amp.com/index.php/inicio-ws-chile](http://www.globalassetmanagement-amp.com/index.php/inicio-ws-chile)

 **RELIABILITY 2.0 LAS VEGAS**  
7 al 11 de Abril de 2014. South Point Hotel, Casino & Spa  
[confiabilidad@reliabilityweb.com](mailto:confiabilidad@reliabilityweb.com)  
[www.reliabilityweb.com](http://www.reliabilityweb.com)

 **CONGRESO DE ADMINISTRACION DE ALMACENES Y CONTROL DE INVENTARIOS 2014**  
27 al 28 de Mayo de 2014. México  
52 33 3121 1350  
[contacto@industrialtraining.com.mx](mailto:contacto@industrialtraining.com.mx)  
[www.industrialtraining.com.mx/Congresos.aspx](http://www.industrialtraining.com.mx/Congresos.aspx)

 **CONFERENCIA MUNDIAL DE CONFIABILIDAD DE ACTIVOS (RELIABLE ASSET WORLD CONFERENCE)**  
13 al 16 de Mayo de 2014. Clearwater, Florida  
[www.reliableassetworld.com/conference-registration/](http://www.reliableassetworld.com/conference-registration/)

 **CONGRESO DE ADMINISTRACIÓN DE ALMACENES Y CONTROL DE INVENTARIOS 2014**  
27 al 28 de Mayo de 2014. México  
52 33 3121 1350  
[contacto@industrialtraining.com.mx](mailto:contacto@industrialtraining.com.mx)  
[www.industrialtraining.com.mx/Congresos.aspx](http://www.industrialtraining.com.mx/Congresos.aspx)

CENTRAL Soluciones Globales, es una empresa internacional especializada en el desarrollo y ejecución de proyectos de inversión en el campo de la ingeniería, procura y construcción de sistemas de compresión, transmisión y tratamiento de gas natural; así como facilidades en superficie de producción de petróleo y energía ecológica.

Además de prestar servicios de consultoría técnica especializada para el mantenimiento y operación de estas instalaciones.

*Creamos para Servir  
y Servimos para Crear*



885 SW 149th Court,  
Miami, USA, FL 33194  
Phone: +1(786) 228.97.98

Av. Fernando Peñalver Nro. 120 El Tigre  
Estado Anzoátegui Venezuela 6050  
Teléfono: +58 (424) 830.93.07

[www.centralgs.com](http://www.centralgs.com)

Av. Alirio Ugarte Pelayo  
C.C. PETRORIENTE Nivel 02, Oficinas 52-05  
Maturín Estado Monagas Venezuela 6001  
Teléfono: +58 (424) 830.93.12

Av. Stadium C.C. NOVOCENTRO II Nivel 3, Oficina 3-3  
Puerto la Cruz Estado Anzoátegui Venezuela 6023  
Teléfono: +58 (281) 267.04.02 Fax: +58 (281) 267.57.10

Rif: J-31396255-24

# Evaluación Estructural por Elementos Finitos de la Silla de Volcado utilizada en plantas de Laminado en Caliente (II parte)

El presente trabajo aborda la continuación del estudio de un bastidor que soporta cargas estáticas y dinámicas del proceso de volcamiento de bobinas de acero, provenientes del proceso de Laminación en Caliente. Para el análisis estructural de dicho equipo, el autor se ha valido del método de Elementos Finitos, evaluando el actual desempeño cinemático y estructural del equipo y diversas opciones de soporte adicionales, para que este cumpla con las condiciones actuales de operación bajo normas internacionales que rigen la seguridad y la funcionalidad.

## CÁLCULO DE FUERZA CORRESPONDIENTE A LA ACCIÓN DEL CILINDRO HIDRÁULICO DE VOLCAMIENTO DE LA BOBINA.

Primero que nada se compara la presión de diseño del sistema de 100 atmósferas, según el plano 80045123018-00 (ver Figura N°7), vs. la presión de trabajo real de 140 atmósferas. Esto indica que la estructura se encuentra trabajando con cargas superiores a las de diseño.

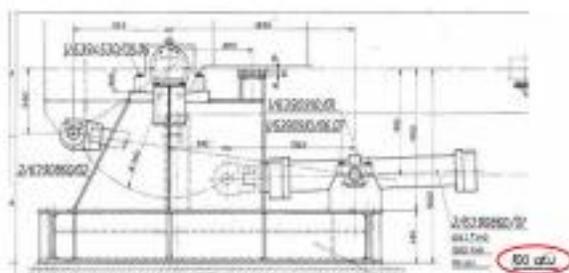


Figura N°7. Presión de trabajo de los cilindros hidráulicos.

En la Figura N° 8 se especifican las dimensiones del cilindro:

$$\begin{aligned} \phi_{\text{pistón}} &= 225\text{mm} \\ \phi_{\text{vástago}} &= 140\text{mm} \\ \text{Carrera} &= 1560\text{mm} \end{aligned}$$

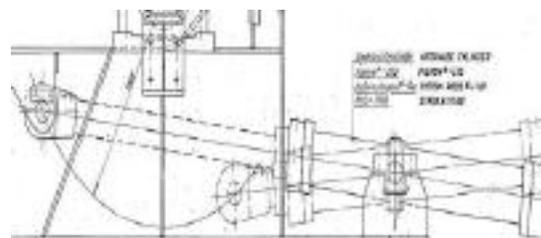


Figura N°8 Dimensiones del cilindro hidráulico para volcamientos de bobinas.

Cuando el cilindro hidráulico actúa para girar la bobina en sentido antihorario 90°, la presión hidráulica actúa sobre la cara anular del pistón, se tiene:

$$P = \frac{F}{S} \rightarrow F = P * S$$

Conversión

$$P = (140\text{atm}) \left( \frac{101300\text{N/m}^2}{1\text{atm}} \right) = 14.182\text{E} + 6\text{N/m}^2$$

$$S = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} (0.225^2 - 0.140^2) = (24.34\text{E} - 3)\text{m}^2$$

$$F = P * S = 345572.5\text{N}$$

La descomposición de esta fuerza en vectores verticales y horizontales es la que se ha analizado en las gráficas 4 y 5, para visualizar el efecto de fatiga.

## ANÁLISIS ESTRUCTURAL BASTIDOR DE SILLA VOLCADORA DE BOBINAS

Esta estructura es la que soporta el peso de la máquina sobre una fundación y las cargas dinámicas del movimiento de volcado. Presenta un diseño basado en vigas HEA-450 y 240, cartelas y soportes todos de acero ASTM A-36. En las Figuras N°9 y N°10 se aprecia el bastidor:

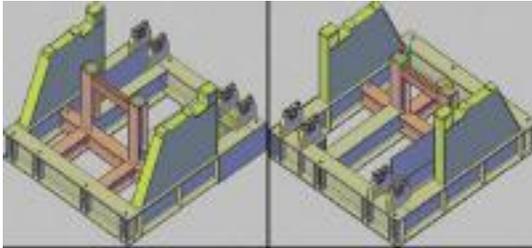


Figura N°9 Bastidor de Volcador de Bobinas

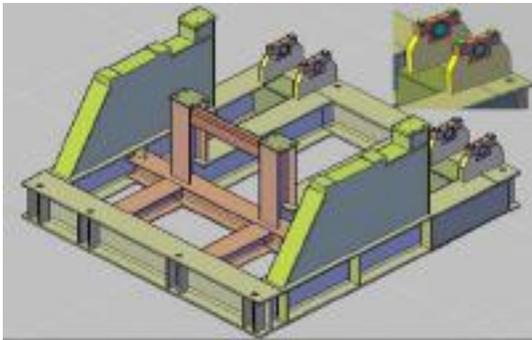


Figura N°10 Bastidor de Volcador de Bobinas

### Análisis por Carga Estática

Preliminarmente se hará un análisis estático para las condiciones críticas de fuerza y momento, luego se simulará para condiciones de carga fluctuante.

### Premisas

Preliminarmente se hará un análisis estático para las condiciones críticas de fuerza y momento, luego se simulará para condiciones de carga fluctuante.

Esta estructura fue simulada mediante Análisis de Elementos Finitos, bajo las siguientes premisas:

- Material: ASTM A-36
- Material Isotrópico
- Temperatura Ambiente: 50°C
- Temperatura de la Estructura: 85°C

### Cargas y restricciones

Modelo (ver figuras N° 10 y 11)

Pieza modelada según dimensiones expresadas en los planos.

Carga distribuida sobre la superficie de las chumaceras donde apoya el pasador del cilindro hidráulico, proveniente de una presión hidráulica de 120 bar. Esta carga es de 30,225 Ton (Ver Figura N°10).

Carga distribuida proveniente del peso de una bobina de 22 Ton conjuntamente con el peso de la silla volcadora de aproximadamente 8 Ton., para un total de 30 Ton.

Tipo de Análisis: Tensión estática con modelo de material lineales, carga fluctuante ya descrita para 158400 ciclos/año. Todo simulado a  $T_{amb}=50^{\circ}C$  y  $T_{estruct}=85^{\circ}C$

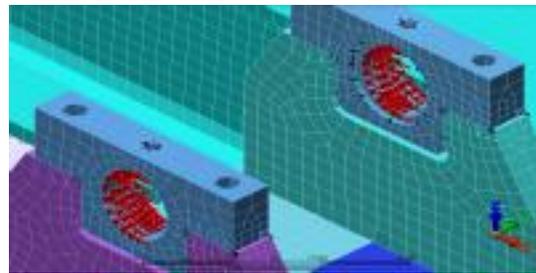


Figura N° 11. Cargas aplicadas en soportes chumaceras

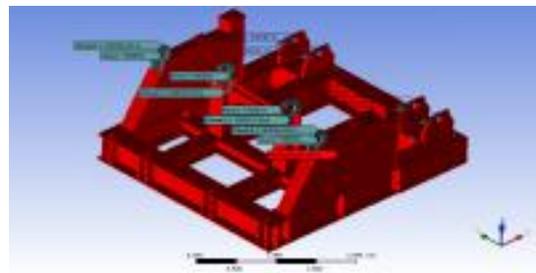


Figura N°12 Cargas y peso aplicados al bastidor, Condiciones de temperatura

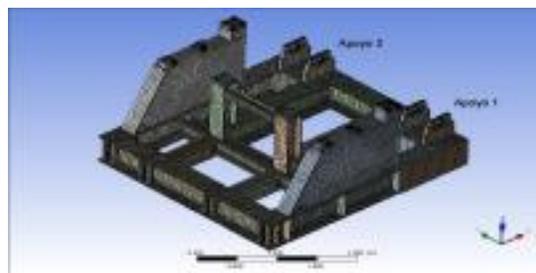


Figura N° 13 Mallado a 15 mm con puntos de refinado

## Resultados Bastidor De Silla Volcadora

En la Figura N°14 se observa el resultado de esfuerzos Von Mises sobre la estructura, específicamente en los pivotes para cilindros hidráulicos, donde se presentan las principales solicitaciones.

En la Figura N°15 se aprecia como en uno de estos puntos críticos se tiene previa aparición de endurecimiento del material y propagación de grietas

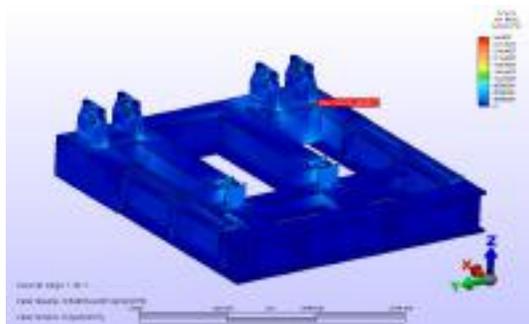


Figura N° 14. Distribución de Tensiones Von Mises sobre la Estructura



Figura N° 15. Plasticidad del material y grieta

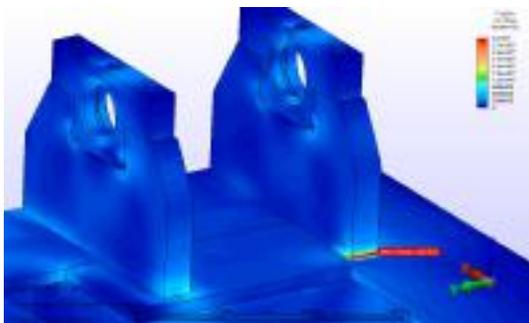


Figura N° 16. Punto crítico sobre la base de uno de los soporte

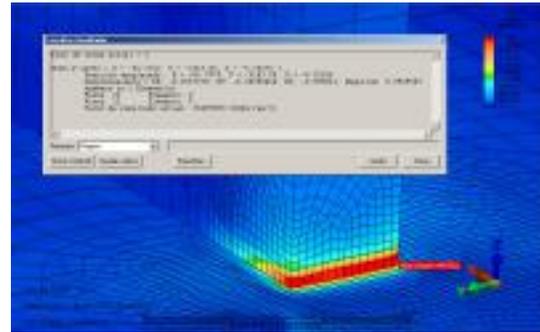


Figura N° 17. Valores de tensiones Von Mises sobre el apoyo

## Factor de seguridad estático

Tal como se muestra en las Figuras 18 y 19, el factor de seguridad FS para carga estática es de 1.29 (esfuerzos muy cercanos al límite de la fluencia), cuando el valor recomendado para carga estática, de acuerdo al "Machinery's Handbook, 27th Edition", debe ser superior a tres (3).

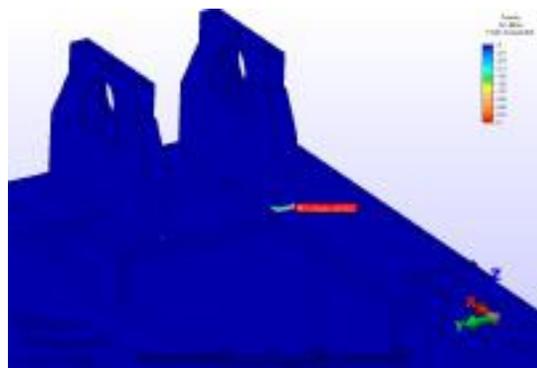


Figura N°18. Ubicación de Factor de Seguridad (FS) Crítico

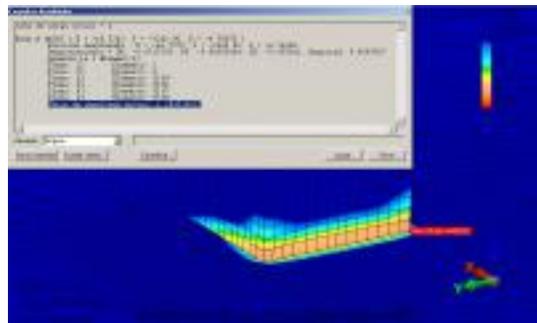


Figura N°19. Valor de Factor de seguridad Crítico

### Análisis por fatiga

Para un período de carga de un (1) ciclo cada dos (2) minutos, un año laboral de 11 meses y 4.5 días operativos por semana, se tiene:

$$N^{\circ \text{ ciclo/año}} = \frac{1 \text{ ciclo}}{2 \text{ minuto}} \times \frac{60 \text{ minuto}}{1 \text{ hora}} \times \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}} \times \frac{18 \text{ días}}{1 \text{ mes}} \times \frac{11 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 142560 \text{ ciclo/año}$$

$$N^{\circ \text{ ciclo/día}} = \frac{1 \text{ ciclo}}{2 \text{ minuto}} \times \frac{60 \text{ minuto}}{1 \text{ hora}} \times \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}} = 720 \text{ ciclo/día}$$

Como referencia, en un día de 24 horas efectivas de labor se realizan 720 ciclos.

Adicionalmente a esto se tiene que las cargas son fluctuantes cambiando entre compresión y tracción (componentes verticales), al igual que el momento flector cambiando su aplicación según la regla de la mano derecha.

Estos datos fueron alimentados en archivos \*.dat reconocibles por el software utilizado. Los valores que se utilizaron referidos al momento flector, fueron divididos cada uno de ellos entre su máximo valor para generar dígitos adimensionales que serán utilizados por el software como multiplicadores de carga y signo en la variabilidad de cada ciclo.

La Figura N° 20 muestra la curva para un ciclo completo de volcado y retorno sin carga, así como el criterio de Goodman (más conservador), que lleva su análisis de fatiga hasta el esfuerzo último.

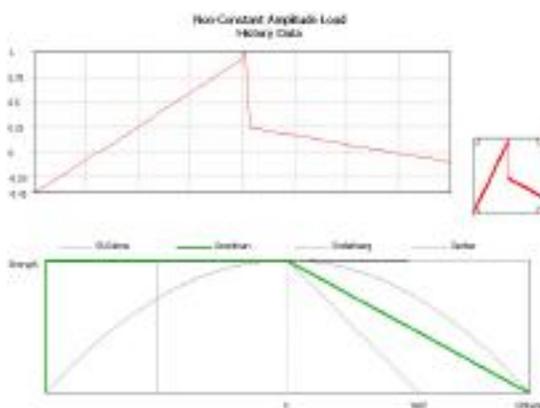


Figura N° 20. Patrón de carga alternante y criterio de Goodman

En la Figura N° 21, para el apoyo 1, se aprecia que la plasticidad en el material aparece a los 3625 ciclos, equivalentes a 5 días de trabajo. Esta es una falla no visible en inspecciones oculares y es el inicio de la degradación de las propiedades dúctiles del material. Los primeros daños, aún difícilmente visibles por el ojo humano, aparecen a los 4550 ciclos (equivalentes a 7 días de operación). Luego se llegarán a condiciones de falla como la mostrada en la Figura N° 15.

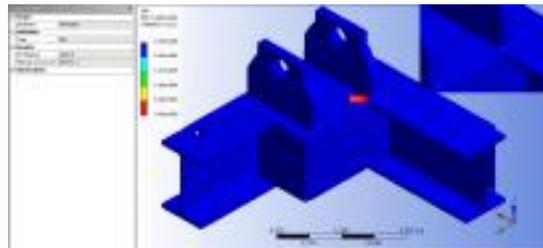


Figura N° 21. Análisis por fatiga, apoyo 1

En la Figura N° 22, para el apoyo 2, se aprecia que la plasticidad, y el inicio de la degradación de las propiedades en el material, aparece a los 6328 ciclos, equivalentes a 9 días de trabajo. Los primeros daños visibles aparecen a los 10000 ciclos (14 días de operación).

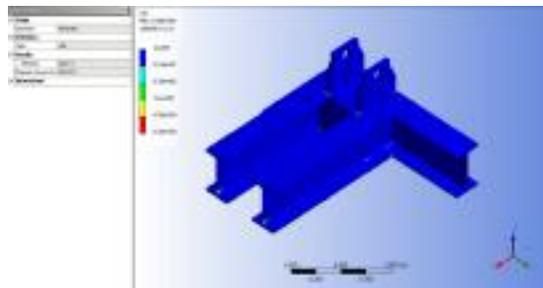
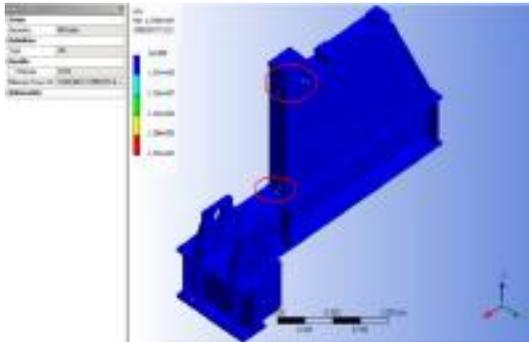


Figura N° 22. Análisis por fatiga, apoyo 2

Para estas condiciones se considera siempre materiales isotropos. Cualquier anisotropía (irregularidades superficiales ó internas del material tales como poros o incrustaciones), acelerarán el crecimiento de grietas en zonas cercanas a la plasticidad creciente.

En la Figura N° 23 se observa que existen otras áreas críticas en la estructura, producto de las cargas alternantes de los cilindros hidráulicos y el momento flector generado en el volcamiento de la bobina. Para el punto N° 1 se realizó un arreglo con una cartela triangular y una grieta existente como se ve en la Figura N° 24.

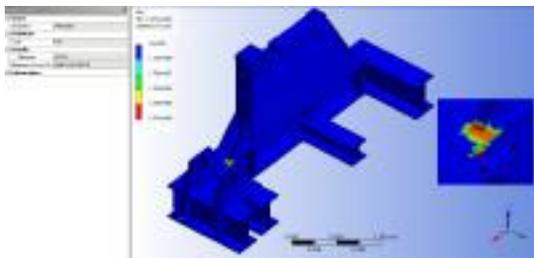


*Figura N° 23. Análisis por fatiga del apoyo de la silla*



*Figura N° 24. Adaptación de cartela para reducir velocidad de propagación de grieta*

En la Figura N° 25 se ven los resultados si se adecuara una cartela en una estructura nueva, para alivio de tensiones en esa zona.



*Figura N° 25. Adaptación de cartela para reducir velocidad de propagación de grieta*

Las zonas plásticas aparecen justo donde termina la cartela, a 29732 ciclos (equivalente a 43 días de operación de 24 horas c/u). Se observa en esta Figura que se insertó una viga HEA-400 entre las alas de la viga HEA-450. Los resultados de esta modificación a nivel de fatiga para los apoyos 1 y 2 se mostrarán mas adelante.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis por elementos finitos indica que las cargas a las cuales se encuentra sometido el volcador, originan concentraciones de esfuerzos superiores a las de diseño, específicamente en los pivotes para cilindros hidráulicos. Ver Figura N° 14.

Según las figuras 18 y 19 se verifica un factor de seguridad para carga estática de (1.29). lo cual no cumple con el factor de seguridad mínimo de 3, según el criterio de Von misses.

El análisis por fatiga, también indica fallas prematuras en la estructura debido a las cargas repetitivas que actúan sobre el volcador originando fallas plásticas a los pocos ciclos de operación. Los primeros daños, difícilmente visibles por el ojo humano, aparecen a 4550 ciclos (equivalentes a 7 días de operación). Luego se llegarán a condiciones de falla como la mostrada en la Figura N° 15.

Existen otros puntos críticos que no cumplen con los requerimientos de fatiga ver Figura N° 23.

El análisis también incluyó la colocación de refuerzos estructurales en el volcador, arrojando resultados de bajo rendimiento para las cargas solicitadas. En la Figura N° 24 y N° 25 se ven los resultados si se adecuara una cartela en una estructura nueva.

## CONCLUSIONES

Analizando el estudio teórico presentado anteriormente, se puede concluir que la

## ARTICULO TÉCNICO

estructura no cumple los requerimientos de carga para los factores de seguridad y criterios que establece la norma. ASTM 30.2 G.

Realizar modificaciones sobre la estructura existentes para manejar las cargas actuales, serian soluciones temporales que presentarían fallas a corto plazo.

### RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un nuevo diseño de la estructura con especificaciones mas robustas que permitan soportar las cargas estáticas, cíclicas y dinámicas del proceso de volcado de bobinas. Este diseño se encuentra fuera del alcance de este proyecto.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

1. Beer, Johnston & Dewolf *Mecanica de Materiales 3ra Ed.*
  2. Fereydoon Dadkhah, Jack Zecher (2008), *ANSYS Workbench Software Tutorial with Multimedia CD Release 11*
  3. K. J. Bathe (1995): "*Finite Element Procedures*", Prentice Hall, 2nd edition.
- Información para cálculo cinemático:  
Según el plano 80045123018-00 SIDOR*

#### AUTOR:

*Alexander De Jesus Marquez Marquez*

*Ingeniero Mecánico con once años de experiencia en el área de proyectos en industria petrolera y metalmecánica.*

*Amplios conocimientos en Diseño mecánico. Manejo de estándares API, ASME, ANSI, AISI, Normas PDVSA, COVENIN. Conocimiento en Normas NFPA, SAE, AWS.*

APROVECHA  
LA OPORTUNIDAD  
Y ANUNCIA A  
**TU**  
EMPRESA

**PREDICTIVA**21

# Uso Del Programa Life CPR – ComSys<sup>©</sup> Para La Selección Del Accionador Y El Arreglo Óptimo En Plantas Compresoras De Gas (II Parte)

*Este artículo presenta el proceso de evaluación técnico económico que debe ser tomado en cuenta para la selección del tipo de accionador, el tamaño y el número óptimo de trenes en plantas compresoras de gas natural, durante la fase de conceptualización de nuevos proyectos. Técnicamente se verifica que los equipos sean capaces de satisfacer el servicio, y económicamente se jerarquizan las opciones por sus costos de ciclo de vida y las pérdidas de oportunidad causadas por los paros programados y no programados en el horizonte económico. Se introduce además las bondades del programa Life CPR – ComSys<sup>©</sup> (Life Cycle Cost, Procution and Reliability), desarrollado en Visual Basic Application, que facilita el cálculo de las variables técnicas y económicas necesarias para jerarquizar las opciones. Finalmente, se muestra un caso en el que la escogencia del arreglo fue facilitada por el uso del programa computarizado, lográndose reducir el esfuerzo y el tiempo de evaluación en un 35%.*

## ESTIMADO DE INVERSIONES, COSTOS Y PÉRDIDAS

A continuación algunas consideraciones para la estimación de las inversiones, los costos y las pérdidas de oportunidad, en el orden en que aparecen en el esquema de la Fig. 16.

### Inversiones

En este trabajo definimos por estimados de inversión clase IV o V los que cumplen con las características descritas en la Tabla 1.

Los estimados clase V son suficientes para definir la factibilidad del negocio durante la Visualización del Proyecto, a fin de obtener fondos para desarrollar la Ingeniería Conceptual (Fig. 27). Usualmente se fundamentan en curvas de costos de proyectos similares, pero la limitación y dispersión de los datos en la muestra hace difícil establecer la confiabilidad del estimado.

	CLASE V	CLASE IV
<b>Objetivo</b>	Planificación a mediano plazo Estudio de factibilidad Fondos para la ingeniería conceptual	Selección entre varias alternativas Fondos para ingeniería básica
<b>Etapas del Proyecto</b>	Determinación de la factibilidad del proyecto (Visión)	Ing. Conceptual Completada
<b>Información Requerida</b>	Definición a groso modo del proyecto y de sus unidades principales de proceso	Tecnología Parámetros claves de costo de planta y equipos mayores
<b>Metodología</b>	Datos históricos de curvas de costos de proyectos similares	Factorizado y curva de costo de proyectos similares
<b>Confiabilidad del estimado</b>	Indeterminado	± 30%

Tabla 1.- Características de los Estimados de Costo Clase IV y V



Fig. 27.- Etapas de un Proyecto

Los estimados clase IV tienen la confiabilidad necesaria ( $\pm 30\%$ ) para seleccionar la mejor opción técnica y económica durante la Ingeniería Conceptual del proyecto. El clase IV desglosa el proyecto en sus componentes más costosos (accionador, compresores, caja de engranajes, enfriadores, etc.), cuyas magnitudes se establecen con la ayuda de curvas y/o bases de costos por componente. La Fig. 28, por ejemplo, exhibe los precios de 65 modelos diferentes de turbinas en un amplio rango de potencias ISO. La curva tipo potencial corresponde al mejor ajuste de los datos. La desviación de precios entre la curva y los datos aparece en el histograma de la Fig. 29. La curva azul "tipo S" de probabilidad acumulada muestra que el precio del 90% de estas turbinas puede ser estimado por la curva con una confianza de  $\pm 30\%$ .

La inversión debe tomar en cuenta los costos de desarrollo de la ingeniería, la gestión, la procura, la construcción, la puesta en marcha y los repuestos mayores adquiridos. La procura, componente principal, debe tomar en cuenta además los recargos por impuestos, fletes y seguros.

**Costos Energéticos**

En el caso eléctrico, resultan de la multiplicación de la tarifa eléctrica por los requerimientos de potencia para la compresión. A la potencia suministrada por el motor debe agregársele las pérdidas que existan hasta el punto de fiscalización, como por ejemplo, pérdidas en el motor, variador de frecuencia, filtros, transformadores y líneas de transmisión. La potencia requerida dependerá también del modo como se combinan los estados de los trenes, es decir, "On", "Off" y "Standby". La Fig. 30 muestra la potencia al eje [Hp] requerida por cada tren y por el centro de compresión, para los 16 posibles modos de operación del ejemplo de la Fig. 25.

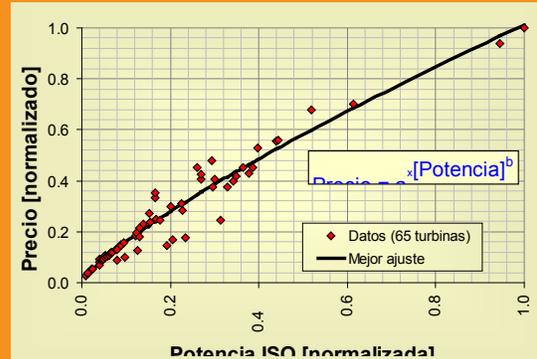


Fig. 28.- Precios (Normalizados) de 65 Modelos de Turbinas a Gas

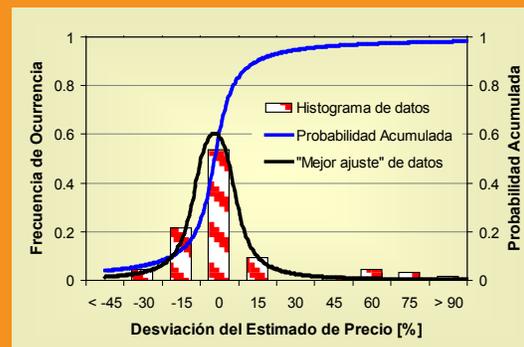


Fig. 29.- Histograma de Desviación de Precios Curva-Datos de la Fig. 28

Modo	Probab de Operar en Modo	Potencia al Eje [Hp]				HP req útil [Hp]
		T1	T2	T3	T4	
1	0.909262	Stb	10660	10660	10660	31980.7
2	0.021882	Stb	10660	10660	10660	31980.7
3	0.021882	10660	Off	10660	10660	31980.7
4	0.000527	Off	Off	11380	11380	22760.9
5	0.021882	10660	10660	Off	10660	31980.7
6	0.000527	Off	11380	Off	11380	22760.9
7	0.000527	11380	Off	Off	11380	22760.9
8	0.000013	Off	Off	Off	11380	11380.5
9	0.021882	10660	10660	10660	Off	31980.7
10	0.000527	Off	11380	11380	Off	22760.9
11	0.000527	11380	Off	11380	Off	22760.9
12	0.000013	Off	Off	11380	Off	11380.5
13	0.000527	11380	11380	Off	Off	22760.9
14	0.000013	Off	11380	Off	Off	11380.5
15	0.000013	11380	Off	Off	Off	11380.5
16	0.000000	Off	Off	Off	Off	
17						

Fig. 30.- Requerimientos de Potencia del Ejemplo de la Fig. 25

En el caso de accionadores a gas, los costos energéticos resultan de la multiplicación de la tarifa del gas por el volumen de gas combustible consumido. En el cálculo de este último intervienen, además de los requerimientos de potencia, el poder calórico del gas (LHV) y el "heat rate" de los accionadores. En el caso más general, el "heat rate" es afectado por las condiciones ambientales, las pérdidas en los ductos de entrada de aire y salida de gases, el deterioro del accionador y la operación "off design". La Fig. 31 contiene los valores del "heat rate" en sitio [Btu/Hp-hr] y del volumen de gas combustible [MMscfd], correspondientes al ejemplo de las Fig. 25 y 30, considerando un poder calórico LHV de 1000 Btu/scf.

Heat Rate en Sitio [Btu/Hp-hr]					Vol de Combustible [MMscfd]				
Modo	T1	T2	T3	T4	Modo	T1	T2	T3	T4
1	Stb	9007	9007	9007	1	Stb	2.3	2.3	2.3
2	Stb	9007	9007	9007	2	Stb	2.3	2.3	2.3
3	9007	Off	9007	9007	3	2.3	Off	2.3	2.3
4	Off	Off	8820	8820	4	Off	Off	2.4	2.4
5	9007	9007	Off	9007	5	2.3	2.3	Off	2.3
6	Off	8820	Off	8820	6	Off	2.4	Off	2.4
7	8820	Off	Off	8820	7	2.4	Off	Off	2.4
8	Off	Off	Off	8820	8	Off	Off	Off	2.4
9	9007	9007	9007	Off	9	2.3	2.3	2.3	Off
10	Off	8820	8820	Off	10	Off	2.4	2.4	Off
11	8820	Off	8820	Off	11	2.4	Off	2.4	Off
12	Off	Off	8820	Off	12	Off	Off	2.4	Off
13	8820	8820	Off	Off	13	2.4	2.4	Off	Off
14	Off	8820	Off	Off	14	Off	2.4	Off	Off
15	8820	Off	Off	Off	15	2.4	Off	Off	Off
16	Off	Off	Off	Off	16	Off	Off	Off	Off
17					17				

Fig. 31.- Heat Rate y Volumen de Combustible del Ejemplo Fig.s. 25 y 30

### Alquileres de Equipos y Plantas

Cuando apliquen, deberán ser considerados como un costo dentro de las opciones evaluadas.

### Costos de Operación

Se refieren a los costos del personal, logística y administración necesarios para mantener la operación del centro de compresión. Es claro que estos no son lineales con el número de trenes. A manera de ejemplo, el personal requerido para la operación de cuatro trenes dentro de un mismo

centro es muy similar al requerido para la operación de tres. Este costo se puede estimar de manera sencilla multiplicando el costo de labor directa por un factor de "overhead" que considere la labor indirecta, la logística y la administración.

### Costos de Mantenimiento

Se refieren a los costos del personal, logística, administración, materiales y repuestos involucrados en los mantenimientos preventivo, programado y correctivo. El mantenimiento correctivo está ligado a los indicadores de confiabilidad de los trenes, y estos a su vez a la tecnología seleccionada para el accionador y los compresores. Del mismo modo, la tecnología seleccionada determina la frecuencia y los costos de los diferentes niveles de mantenimiento programado: menor, media vida y overhaul.

Una manera simple de estimar los costos de mantenimiento programado y no programado, pero imprecisa y carente de realismo, es asumir que los mismos son constantes cada año, y que representan un porcentaje fijo de la inversión (2% al 5% por ejemplo).

Un tanto más acertado es el uso de indicadores de costo [\$/Hp-hr], que toman en cuenta las horas de operación de los trenes, pero pasan por alto el aspecto cíclico de los mantenimientos programados y establecen erróneamente una dependencia lineal entre los costos de mantenimiento y el tamaño de los equipos. Es bien sabido que el costo por Hp disminuye a medida que aumenta el tamaño de los equipos. Establecer el indicador apropiado para el servicio es en si un reto. La Fig. 32 muestra un sondeo de indicadores de mantenimiento [\$/Hp-hr] utilizados por diferentes fuentes, para trenes compresores accionados por motores a gas. Los indicadores en generación eléctrica se añaden como referencia. Las líneas verticales azules corresponden al rango de indicadores encontrado por el autor en 49 aplicaciones que soportan producción de petróleo en Venezuela. La distribución probabilística de los costos de esas 49 aplicaciones se incluye en la parte derecha del gráfico.

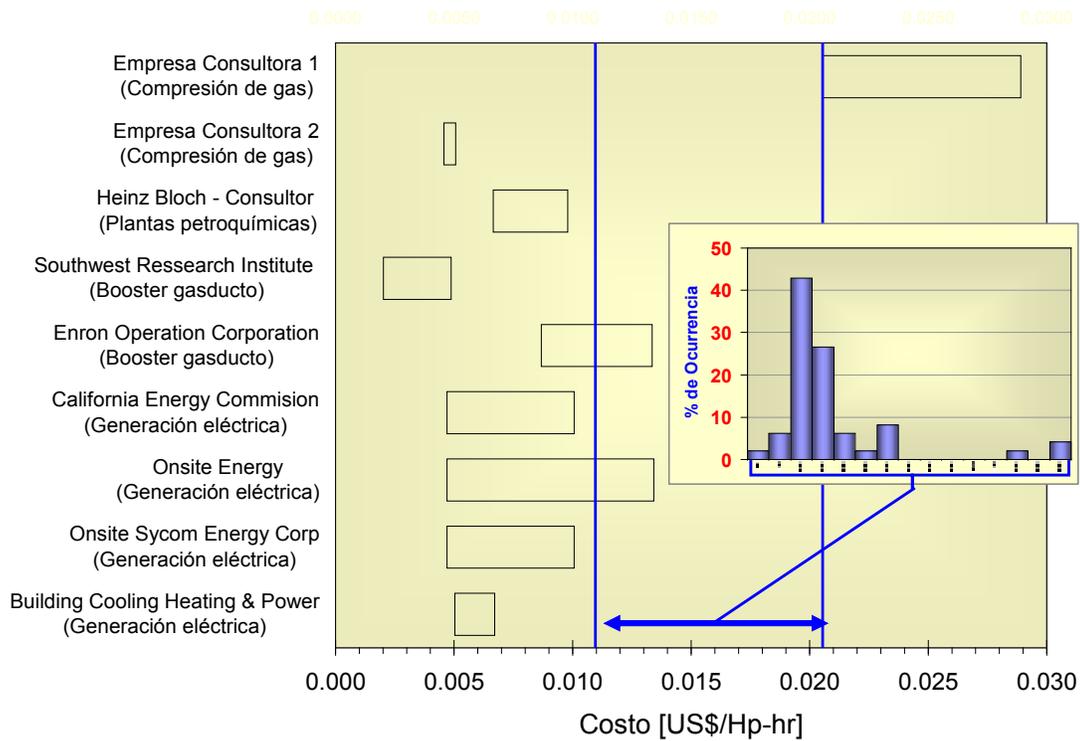


Fig. 32.- Indicadores [\$/Hp-hr] de Diferentes Fuentes

Otra forma mas precisa, pero que requiere mas elaboraci3n, separa los mantenimientos programados de las fallas. Los mantenimientos programados de todos los trenes se sincronizan en la vida del proyecto, considerando las horas de operaci3n de cada tren y las frecuencias recomendadas. A cada nivel de mantenimiento se le asigna entonces el costo que le corresponde. Los mantenimientos por fallas, aunque son de car3cter aleatorio, se asocian tambi3n a las horas operadas. Este m3todo trata en forma justa los trenes de respaldo que se encuentran en "standby", pues estos s3lo operan una fracci3n del a3o. La Fig. 33 muestra un ejemplo de un tren reciprocante accionado por un motor a gas de 2225 Hp, para el que se han definido cuatro niveles de mantenimiento con frecuencias respectivas de 1000, 4000, 8000 y 32000 hrs. En ella se cuantifican los mantenimientos por nivel en los primeros 6 a3os de operaci3n, considerando las horas operadas cada a3o, despu3s de descontar las horas en "standby" y en paros programados y no programados. Obs3rvese como en el a3o 2007

s3lo hay un mantenimiento programado, debido a que el tren se encuentra en "standby" casi todo el a3o y s3lo opera 734 hrs, equivalentes a un mes.

Tren		Driver Modelo	CAT 3608TA (2225 Hp)				
1		Incorporaci3n	2006				
		Desincorporaci3n	2022				
A3o		2006	2007	2008	2009	2010	2011
Hrs desde nuevo TSN		0	8370	16741	17475	25851	33782
Mtto Nivel I	Cantidad	6	6	1	5	6	6
	Frec. [Hrs]= 1000	Hrs Paro	36	36	6	30	36
Mtto Nivel II	Cantidad	1	1	0	1	1	1
	Frec. [Hrs]= 4000	Hrs Paro	8	8	0	8	8
Mtto Nivel III	Cantidad	1	1	0	1	0	1
	Frec. [Hrs]= 8000	Hrs Paro	24	24	0	24	0
Mtto Nivel IV	Cantidad	0	0	0	0	1	0
	Frec. [Hrs]= 32000	Hrs Paro	0	0	0	480	0
Total hrs paros programados		68	68	6	62	524	68
Total hrs paros no programados		322	322	28	322	305	322
Total hrs en "stand-by"		0	0	7992	0	0	0
Total horas operadas en el a3o		8370	8370	734	8376	7931	8370

Fig. 33.- Programa de Mantenimiento de un Tren Reciprocante con MG

Debe tomarse en cuenta que algunos lineamientos financieros capitalizan los mantenimientos mayores, en lugar de contabilizados como gastos. Un ejemplo son los overhauls de las turbinas a gas.

### *Bonos y Penalizaciones*

Deben considerarse cuando existan. Algunos proyectos, por ejemplo, están sujetos a bonos ó penalizaciones asociados a la cantidad de gas comprimido, o a los indicadores de disponibilidad y confiabilidad. Otros proyectos son penalizados con multas cuando ventean o queman gas porque sus trenes están fuera de servicio. La adición de bonos y penalizaciones favorece la selección de equipos confiables y, dependiendo de los montos, justifica la adición de capacidad o trenes de respaldo. La matriz de modos de la Fig. 25 sirve para cuantificar la cantidad de gas no manejado, venteado o quemado, insumo para contabilizar los bonos y penalizaciones en el flujo de caja.

### *Pérdida de Oportunidades*

Como ya se mencionó, son las mermas en los ingresos, directos e indirectos, a los que se da lugar cuando se producen paros programados y no programados. Dependiendo de la actividad que se soporte (venta de gas comprimido, inyección de gas a yacimientos, levantamiento artificial de crudo, extracción de LGN, etc.), las pérdidas de oportunidad pudieran fácilmente convertirse en el mayor de los renglones. Al igual que en el punto anterior, la matriz de modos de la Fig. 25 sirve para estimar la pérdida de oportunidades, una vez que se establezcan las correlaciones entre el gas no manejado y la merma de los productos de la actividad económica soportada.

*Continúa en la próxima edición*

AUTOR:

*Enrique J. González.  
Ingeniero Mecánico de la Universidad Simón  
Bolívar (1986)  
Maestría en Ingeniería Mecánica en la  
Universidad de Texas A&M.*

PRÓXIMAMENTE  
LA ENCUESTA SOBRE  
**CONFIABILIDAD Y  
GESTIÓN DE ACTIVOS DE  
PREDICTIVA21**  
TU OPINIÓN ES  
**IMPORTANTE**  
PODRÁS ACCEDER  
AL CUESTIONARIO  
DESDE NUESTRA  
PÁGINA WEB  
**PREDICTIVA21.COM**

[www.predictiva21.com](http://www.predictiva21.com)



AVEPMCO es la Asociación Venezolana de Profesionales del Mantenimiento y Confiabilidad, que promueve el intercambio científico, técnico y cultural de todas las personas naturales y jurídicas relacionadas con el Mantenimiento y la Confiabilidad que manifiesten interés en mejorar sus técnicas y conocimientos, intercambiar información, difundir conocimientos a la sociedad y colaborar con organizaciones públicas o privadas vinculadas con el tema.

Av. Jorge Rodríguez,  
Centro Comercial Colonial,  
Piso 1, Oficina 18,  
Lechería, Edo. Anzoátegui. Venezuela

[info@avepmco.org.ve](mailto:info@avepmco.org.ve)  
+ 58 281 423.70.10  
+ 58 281 286.74.06  
[www.avepmco.org.ve](http://www.avepmco.org.ve)

**PREDICTIVA21**

[www.predictiva21.com](http://www.predictiva21.com)

---

● ANUNCIA CON NOSOTROS