

Año 1, N° 4, Junio 2014

# PREDICTIVA 21

**OPTIMIZACIÓN COSTO RIESGO  
PARA LA DETERMINACION DE FRECUENCIAS  
DE MANTENIMIENTO O DE REEMPLAZO**

**APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE INSPECCIÓN  
BASADA EN RIESGO (IBR) PARA  
LA GENERACION DE PLANES OPTIMOS  
DE INSPECCION A EQUIPOS ESTATICOS  
EN LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO Y GAS (I PARTE)**

**ALFREDO HERNÁNDEZ RAFALLI:  
CAMARA PETROLERA DE VENEZUELA  
APUESTA POR LA INTEGRACION**

**TONY CREASE:  
LA RAZÓN Y LA PASIÓN**

**III CONGRESO LATINOAMERICANO  
DE GESTION DE ACTIVOS EN ORIENTE  
COLAGA 2014**



E&M Solutions, C.A.  
www.eymsolutions.com

@eymsolutions

E&M Solutions, C.A.

+58 291-643-7055



## Soluciones Efectivas para la Gestión de Activos

Ofrecemos soluciones especializadas en ingeniería y gestión de activos para el área petrolera, gasífera, petroquímica, siderúrgica y generación de energía.

### Nuestras líneas de negocios:

- Ingeniería y Construcción
- Mantenimiento y Confiabilidad
- Servicios Profesionales

Contacta a E&M Solutions, C.A.

**Respaldo Profesional para la Confiabilidad Industrial**

**Mantener, educar, iluminar y contar**

La Nave de Motores del Metro de Madrid, construida en 1923, fue sometida a labores de mantenimiento y rescate por parte del Ayuntamiento y el Metro de Madrid en 2005, al crear Andén 0, el centro de interpretación del Metro de Madrid. Ello permitió restaurar la nave, siguiendo el proyecto del arquitecto Carlos Puente, recuperando además el aspecto original del edificio. Los tres grandes motores diesel, de 1500 HP cada uno, fueron limpiados y restaurados, y el espacio quedó abierto al público en el año 2008, para ser declarado bien de interés cultural en categoría de monumento en el 2009. La hermosa estructura, con el noble patinado que confiere el tiempo, es una muestra evidente del inagotable ingenio humano. Los motores, durante su vida útil, suministraron electricidad al resto de las subestaciones del Metro, y luego a las compañías eléctricas que iluminaron Madrid antes y durante la Guerra Civil, para luego entrar en desuso en 1972. Hoy son preservadas con fines museísticos.

Siendo un equipo en obsolescencia, las autoridades madrileñas pusieron especial empeño en su rescate y preservación, como parte del patrimonio cultural, arquitectónico e histórico de la ciudad. En el mundo moderno, la obsolescencia no tiene cabida, y es orillada y empujada constantemente fuera de los límites del accionar industrial y empresarial. Por lo que cabe preguntarse: ¿por qué preservamos y mantenemos estructuras que ya no tienen aplicabilidad y uso en la práctica? Pues porque también mantenemos y preservamos los testimoniales que dan soporte y veracidad a la historia, historia de la cual todos provenimos. La luz incide y rebota sobre las exquisitas superficies curvas de los equipos de la Nave de Motores Pacífico, los cuales dan fe de un momento histórico crucial en el desarrollo de la ciudad, un segmento de tiempo en el cual buena parte del mundo occidental comenzó a marcar la milla en la carrera industrial. De esta forma, el mantenimiento no sólo se mueve hacia adelante y se adelanta en la variante tiempo para preservar y mantener activos antes de que presenten problemas. En un sentido mucho más noble, el mantenimiento también puede moverse hacia atrás en este mismo paralelo, rescatando y preservando para la posteridad los activos físicos del pasado, que han de convertirse en los activos patrimoniales, educativos y culturales de las nuevas generaciones. Es un hecho que cada generación se asienta sobre los hombros de la generación anterior, que cada descubrimiento se asienta sobre las cosas previamente conocidas y estudiadas, y que el saber heredado y mejorado por cada generación es lo que permite consolidar lo que conocemos como civilización. Mantener es, por ende, un acto civilizador. Conservar los antiguos activos físicos es también preservar los actuales activos intelectuales, los que allanan el camino para los hombres de relevo.

**Enrique González**  
Director General

**PREDICTIVA21**

**Junta directiva**

**Director General:**  
Enrique González

**Director de Mercadeo:**  
Miguel Guzmán

**Jefe de Información:**  
Alimey Díaz

**Diseño y Diagramación:**  
María Sophia Méndez

**Foto Portada:**  
Miguel Guzmán

**Digitalización y Web Master:**

Edgar Guzmán  
Miguel Herrera  
Elio Luces

**Asistente Editorial**  
Daniela Angulo

**Colaboradores:**

Victor Manríquez	Osberto Diaz
Elisaúl Materán	Emiro Vasquez
Elimar Rojas	Robinson Medina
Edwin Gutiérrez	Alejandro Villarroel
José Hernandez	Nain Aguado
Brau Clemenza	Bábaro Giraldo
Antonio Abejaro	María Romero
	David Trocel

- 4** | La cultura del dato, un paso más en el desarrollo de la gestión de activos.  
*Artículo*
- 5** | Data Culture: one step forward in the development of Assets Management.  
*Article*
- 6** | Optimización Costo Riesgo para la determinación de Frecuencias de Mantenimiento o de Reemplazo  
*Artículo técnico*
- 18** | Cómo afecta la inflación y la falta de divisas al mantenimiento de un país  
*Artículo*
- 19** | How inflation and lack of foreign currency affect the maintenance of a country  
*Article*
- 20** | Aplicación de la tecnología de inspección basada en riesgo (IBR) para la generación de planes óptimos de inspección a equipos estáticos en la industria del petróleo y gas (I Parte)  
*Artículo técnico*
- 30** | III Congreso latinoamericano de gestión de activos en oriente, COLAGA 2014  
*Nota de prensa*
- 32** | Alfredo Hernández Rafalli: Cámara Petrolera de Venezuela apuesta por la integración  
*Entrevista*
- 36** | ¡Muéstrame el dinero!  
*Artículo técnico*
- 40** | Tony Crease: La razón y la pasión  
*Entrevista*
- 50** | IV Congreso Integral de Hidrocarburos  
*Nota de prensa*
- 52** | Detección de fugas internas en válvulas mediante la técnica de ultrasonido (I Parte)  
*Artículo técnico*
- 60** | Diseño de un modelo para la auditoría de la gestión de mantenimiento basado en el modelo de gerencia de mantenimiento de PDVSA  
*Artículo técnico*
- 67** | Eventos  
*Infografía*
- 68** | Experiencia en la selección de indicadores claves de desempeño en el mantenimiento del equipo estático  
*Artículo técnico*
- 80** | Dirección y gestión de paradas de planta, bajo los lineamientos del PMI  
*Artículo técnico*
- 90** | Complemento de ISO 9000 e ISO 14000  
*Artículo técnico*
- 96** | Visibilizando su programa de inspección predictiva  
*Artículo técnico*

# La Cultura Del Dato: Un Paso Más En El Desarrollo De La Gestión De Activos

Dentro de las premisas para todo análisis de confiabilidad, existe una que con seguridad es el mínimo común de todas; la data histórica de los equipos. Actualmente muchas empresas no contienen un archivo histórico preciso del activo tal que permita monitorear con detalle como este se comporta durante su ciclo de vida. Se habla de confiabilidad desde muchos puntos de vista, e incluso se utiliza el término "Confiabilidad Humana", pero muchas veces los datos con los que cuenta muchos de los analistas de mantenimiento no reflejan un 100% la realidad del mismo, y se infiere en otros registros estandarizados para diagnosticar las condiciones de un sistema o equipo que por lo general se maneja en un contexto distinto al contexto generalizado de los registros estándar, los cuales son de mucha utilidad pero no muestran con exactitud la realidad. Para algunas empresas ha sido cuesta arriba la construcción de una base de datos de sus activos precisa ya que la calidad del mismo varía según la cultura del dato que la empresa maneja.

¿Qué tan importante es presentar un registro detallado y preciso de los activos al someterlo a un análisis de confiabilidad? ¿Qué tan importante es para las empresas que estos registros para cualquier equipo, sea almacenado en una base de datos confiable? La respuesta a estas interrogantes es la optimización de todos los procesos que involucran mantener la disponibilidad de los activos dentro de las empresas, elevar la productividad, minimizar los costos de mantenimiento, ¿tan solo por llevar un registro exacto de las condiciones de los equipos?, muchas veces en las empresas se maneja las gerencias que las componen como sectores con sus distintas zonas, muchas de ellas aisladas de los otros departamentos o en su defecto no engranan con exactitud los datos que manejan cada una de ellas. Cuantas veces escuchamos decir, "Mantenimiento es un mal necesario" u "Operaciones solo se centra en producir" cuando ni lo uno, ni lo otro tienen razón.

Las empresas deben estar conscientes de que todos sus departamentos son un todo, y que todos son los beneficiarios de las acciones que se ejecutan para mantener la disponibilidad de los equipos. Sé que te preguntarás ¿Qué tiene que ver esto con la cultura del dato? Pues es sencillo en la teoría, pero muy difícil en la práctica, las organizaciones que manejan sus datos en forma compartida y precisa entre sus departamentos, mantiene una planificación más ajustada a su realidad y accionan en forma más segura al momento de

AUTOR:  
Alejandro Villarroel

ejecutar un diagnóstico de sus propias condiciones y emitir las acciones necesarias para corregir las desviaciones que se derivan de estos estudios. Una empresa con conciencia y cultura del dato, eleva su capacidad de respuesta ante cualquier evento no deseado, y puede definir las políticas necesarias de acuerdo a su contexto operacional. El operario de los equipos registrar todas las variables relacionadas al mismo, el departamento de procura planifica su presupuesto de acuerdo a la actualización de su inventario y de acuerdo a los estudios de sus repuestos (numero óptimo de repuesto, máximos y mínimos), mantenimiento con ayuda de operaciones, planifica y programa sus actividades en función de las características operacionales propios de cada activo. Todo involucra datos, que se relacionan entre si y engranan solo que muchas veces el ir al detalle se subestima en cada área dentro de una organización y acarrea como consecuencia los retrasos de muchos de los análisis.

El carácter holístico de la Gestión de Activos bajo la nueva norma ISO-55000, impulsa a las organizaciones a "Determinar sus necesidades de información para el respaldo de sus activos", esto conlleva a no solo registrar y archivar las condiciones y los eventos en un activo, sino que además se comparte con el resto de los departamentos permitiendo que estos analicen y tomen decisiones en conjunto. Es de allí la importancia de la cálida de la data que se recolecta ya que esta pasa a ser la clave para una comunicación efectiva entre todos los departamentos y en todas las jerarquías como lo reseña la norma PAS-55 "La comunicación no solo trata de información; esta debe asegurar que la información de la gestión de activos sea suministrada, recibida, comprendida a través de la organización. Una comunicación efectiva es un proceso de dos vías, tanto de arriba hacia abajo, como de abajo hacia arriba".

Otra de la importancia en mantener una buena cultura del dato, radica en su disponibilidad para cuando esta se requiera, esto facilita considerablemente la calidad en la respuesta ante cualquier eventualidad. De igual forma establecer las políticas de seguridad necesarias en cuanto a la protección de la información que se maneja, esto sin dejar a un lado la interacción de la data con los otros departamentos que conforman la organización todo esto basado bajo las normas ISO-55000. Mantener un buen registro de nuestros activos no solo es una referencia clara de una buena organización, sino que asegura la articulación del resto de los departamentos.

# Data Culture: One Step Forward In The Development Of Assets Management

TRADUCCIÓN:  
Richard Skinner

Among the premises for any reliability analysis, there is one that surely works as the common denominator of them all: historical data of equipment. Nowadays, many enterprises do not have a precise historical archive of their assets which would allow their performance in detail during their lifespan. Reliability is a topic viewed from many perspectives, and even the concept of "Human Reliability" is used, but many times the data managed by maintenance analysts do not reflect reality at a 100%, and it's inferred in other standardized registers to diagnose the conditions of a system or equipment that would generally be managed in a different context than the generalized context from the standard registers, which are very useful but do not accurately portray reality. For some enterprises, the elaboration of an accurate database of their assets has been difficult since the quality of this system varies depending on the data culture used by the company.

How important is it to show an accurate and detailed register of assets when it's submitted to a reliability analysis? How significant is it for enterprises that these registers for any equipment are stored in a reliable database? The answer to this is the optimization of all processes involving the maintenance of assets availability within the enterprises, increasing productivity and minimizing maintenance costs, just by keeping an exact register of the equipment's conditions. Frequently, many enterprises handle their managements as sectors with different zones, many of them isolated from the other departments or having a lack of synchrony in the data they each use. How many times have we heard: "Maintenance is a necessary evil", or "Operations only focuses on producing", when we know none of them is right?

Every enterprise should be aware that all of their departments are a whole, and that all of them receive the benefits of actions taken to maintain the availability of equipments. I know you will ask yourself: What does this have to do with the data culture? Well, it's easy in theory, but very difficult in practice: the organizations managing their data in a shared and precise way between their departments keep a plan that's more adjusted to their reality and take action in a safer way when performing a diagnosis of their own conditions and follow

necessary corrections of deviations derived from these studies. An enterprise with data culture awareness increases its capacity of response before any unwanted event, and it can define the necessary policies according to its operational context. The equipment operator registers all the variables related, the procure department plans its budget according to their updated inventory and the study of their replacement parts (optimal number of parts, maximum and minimum), maintenance supported by operations plans and programs their activities based on operational characteristics of every asset. It all involves data in interrelation, only that when going to the details it is underestimated in every area of an organization and leads to delays in many of the analysis.

The holistic character of the Assets Management under the ISO-55000 regulation makes the organizations determine their information needs to support their assets. This leads to not only register and save conditions and events of an asset but also share with the rest of their departments, allowing them to analyze and take decisions as a team.

Hence the importance of the quality of data collected since this becomes the key for an effective communication between all departments and levels as stated by the PAS-55 regulation. "Communication is not only about information; it should make sure that the information from assets management is delivered, received, and understood through an organization. An effective communication is a two-way process, upward and downward, and from side to side".

Another important fact is to keep a good data culture based on its availability when needed; this facilitates considerably the quality of response before any event. Likewise, it is necessary to establish safety policies regarding protection of information, without putting aside the interaction of data with the other departments that are part of the organization, all under the ISO-55000 regulations. Keeping an accurate register of our assets is not only a clear reference of a good organization, but also ensures the articulation of the rest of the departments.

# Optimización Costo Riesgo Para La Determinación De Frecuencias De Mantenimiento O De Reemplazo

## INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de mejorar la rentabilidad de los procesos productivos, cada día se dedican enormes esfuerzos destinados a visualizar, identificar, analizar, implantar y ejecutar actividades para la solución de problemas y toma de decisiones efectivas y acertadas, que involucren un alto impacto en las áreas de: seguridad, higiene, ambiente, metas de producción, costos de operación y mantenimiento, así como garantizar una buena imagen de la empresa y la satisfacción de sus clientes y del personal que en ella labora.

Los planes de mantenimiento o de cuidado de activos son parte de estos esfuerzos, debido al alto costo que implican, tanto en su diseño y elaboración como en su implantación.

Los planes de mantenimiento o de cuidado de activos contemplan durante su desarrollo la determinación de las frecuencias de mantenimiento mayor a equipos reparables y/o de las frecuencias de reemplazo para equipos no reparables, lo que constituye uno de los puntos más relevantes para la rentabilidad del negocio dado que generalmente las actividades de mantenimiento mayor o reemplazo de equipos implican grandes desembolsos monetarios.

Tradicionalmente para las organizaciones, el establecimiento de dichas frecuencias de mantenimiento o reemplazo se basa en cálculos netamente determinísticos, que no toman en cuenta la incertidumbre de las variables asociadas a las operaciones y costos,

aunado a la posible inestabilidad de los indicadores financieros que se utilizan para su estimación. Adicionalmente, estos análisis no consideran la evaluación de los riesgos y costos asociados a la actividad de mantenimiento o reemplazo durante todo el ciclo de vida del activo.

El presente trabajo tiene como finalidad proponer una metodología para la determinación de las frecuencias óptimas de mantenimiento mayor para equipos reparables, y de reemplazo para equipos no reparables de los cuales se posea historial de fallas y reparaciones, que tome en cuenta la rentabilidad y pondere el riesgo y los costos asociados a dicha actividad, cuantificando el efecto de las incertidumbres técnicas y operacionales, que a su vez ofrezca una plataforma de toma de decisiones que apunten a mejorar la rentabilidad del negocio.

Por lo anteriormente expuesto y aunado al hecho de que las empresas desarrolladoras de herramientas computacionales no develan los métodos matemáticos de cálculo utilizados, por razones de confidencialidad y de protección de derechos de autor; la metodología aquí presentada servirá de base a muchas organizaciones para desarrollar sus propias herramientas y optimizar sus análisis en cuanto a la determinación de las frecuencias óptimas de mantenimiento y reemplazo, lo que permitirá adaptar dicho modelo matemático a las condiciones operativas e inclusive facilitando el desarrollo de herramientas computacionales propias.

La metodología que rige éste proceso se conoce como Optimización Costo Riesgo y tiene asociado el indicador financiero del Valor Presente Neto (VPN), guía fundamental para direccionar los recursos de una organización, por lo que el impacto de la confiabilidad en la rentabilidad del negocio es evidente.

## MARCO CONCEPTUAL

### Definición de Riesgo:

El riesgo es un término de naturaleza probabilística, que se define como “egresos o pérdidas probables consecuencia de la probable ocurrencia de un evento no deseado o falla”. En este simple pero poderoso concepto coexiste la posibilidad de que un evento o aseveración se haga realidad o se satisfaga, con las consecuencias de que ello ocurra.

Matemáticamente el riesgo asociado a una decisión o evento viene dado por la expresión universal:

$$R(t) = P(t) \times C(t)$$

Donde:

R(t): Riesgo

P(t): Probabilidad

C(t): Consecuencias

Al momento de evaluar el riesgo asociado a un particular evento o aseveración en particular, es necesario cuantificar las probabilidades de ocurrencia y consecuencias de cada uno de los escenarios que conllevan al evento bajo estudio.[1] (Ver Figura 1).

El riesgo se comporta como una balanza que permite ponderar la influencia de varias alternativas en términos de su impacto y probabilidad, orientando al analista en el proceso de toma de decisión.

En ese proceso de toma de decisiones se emplea el riesgo como una herramienta para la optimización de los planes de cuidado de activos, dirigiendo mayores recursos y esfuerzos para aquellos equipos que presenten un riesgo elevado y una reducción de esfuerzo y recursos para los equipos de bajo riesgo, lo cual permite en forma general un gasto justificado en los recursos dirigidos a las partidas de mantenimiento. [1]

### Probabilidad:

De manera general, puede definirse “probabilidad” como una medida de la posibilidad de ocurrencia de un evento. Este término es comúnmente utilizado por las personas para describir su percepción sobre el nivel de posibilidad (alto, medio o bajo) de ocurrencia de un evento en particular.[1]

### Falla:

La falla se define como un daño que impide el buen funcionamiento de la maquinaria o equipo. También se puede expresar como la ocurrencia de cualquier evento no deseado que impide el cumplimiento de la función para la cual fue puesto en operación el equipo.[2]

### Consecuencias Operacionales:

Se definen como una categoría de consecuencias de falla que afecta adversamente la capacidad operacional de un activo físico o sistema. Éstas a su vez se reflejan principalmente en las pérdidas en la producción, en la afectación a la calidad del producto, y en los costos operacionales en adición al costo de reparación.[3]



Figura 1.- Determinación del Riesgo. [1]

### **Consecuencias No Operacionales:**

Son aquellas consecuencias que no afectan la seguridad, el ambiente o las operaciones, y que sólo requiere reparación o reemplazo de cualquier elemento(s) que podría ser afectado por la falla. De esta manera, dichas consecuencias son las que se encuentran asociadas principalmente a la reparación necesaria para la corrección de la falla.[3]

### **Consecuencias Ambientales:**

Un modo de falla o falla múltiple tiene consecuencias ambientales si puede violar cualquier norma ambiental corporativa, municipal, regional, nacional o internacional, o la regulación que aplica para el activo físico o sistema en consideración.[3]

### **Consecuencias en Seguridad:**

Una o varias fallas tienen consecuencias en seguridad si ocasionan daños o muerte de un ser humano. Por ende, pueden consistir en lesiones menores o mayores, pérdidas de miembros del cuerpo humano e incapacitación de la persona o incluso hasta la muerte de uno o varios seres humanos dependiendo de la gravedad de la falla.[3]

### **Mantenimiento:**

Mantenimiento son todas las actividades necesarias para mantener el equipo e instalaciones en condiciones adecuadas para la función que fueron creadas; además de mejorar la producción buscando la máxima disponibilidad y confiabilidad de los equipos e instalaciones.[2]

### **Horizonte Económico:**

El horizonte económico de un proyecto se refiere al período de vida útil del mismo; es decir, el período de tiempo que un proyecto, activo o ítem agrega valor a la cadena productiva por el cumplimiento de sus funciones.

Como consecuencia el horizonte económico comprende todas las etapas en la vida de un proyecto, desde su inversión inicial, pasando por el período de operación hasta su desincorporación.

### **Valor Presente Neto:**

El valor presente neto (VPN) es un indicador financiero y consiste en saber cuánto se va a obtener de una inversión, si se pudiese hacer en el presente todos los ingresos y egresos de forma instantánea. Se utiliza el VPN para determinar si una inversión es conveniente o no.[1]

Este método, descuenta el flujo de caja a una determinada tasa igual durante todo el periodo bajo análisis, conocida como tasa de descuento y busca básicamente responder la siguiente pregunta, "¿Cuánto dinero de hoy representa un flujo futuro de costos y beneficios?".

### **Modelo de Optimización Costo Riesgo:**

Modelo que permite determinar el nivel óptimo de riesgo y la cantidad adecuada de mantenimiento, para obtener el máximo beneficio o mínimo impacto en el negocio. En la figura 2, se muestra gráficamente el modelo mencionado, y en el mismo pueden destacarse tres curvas que varían en el tiempo:

- Curva del nivel de riesgo (riesgo = probabilidad de falla x consecuencia).
- Curva de los costos de la acción de mitigación del riesgo, en la cual se simulan los costos de diferentes frecuencias para la acción propuesta.
- Curva de impacto total, que resulta de la suma punto a punto de la curva de riesgos y la curva de los costos. El "mínimo" de esta curva, representa el "mínimo impacto posible en el negocio" y está ubicado sobre el valor que puede traducirse como el período o frecuencia óptima para la realización de la actividad de mitigación; un desplazamiento hacia la derecha de este punto implicaría "asumir mucho riesgo" y un desplazamiento hacia la izquierda del mismo implicaría "gastar demasiado dinero". Es importante resaltar que cada una de dichas curvas representan distribuciones probabilísticas ya que se parte del hecho de que se ha considerado la incertidumbre de las variables de entrada.

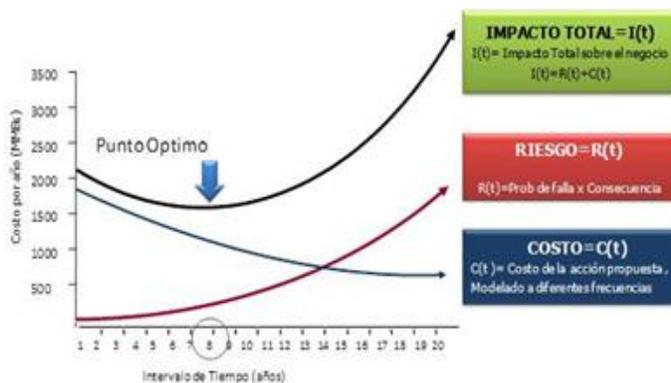


Figura 2.- Metodología "Optimización Costo-Riesgo". [1]

### METODOLOGÍA "OPTIMIZACIÓN COSTO RIESGO PARA LA DETERMINACIÓN DE FRECUENCIAS DE MANTENIMIENTO O DE REEMPLAZO"

El modelo de Optimización Costo Riesgo ha despertado gran interés en el sector industrial para establecer las frecuencias óptimas de mantenimiento de equipos.

En este trabajo se presenta el desarrollo de la Metodología Optimización Costo Riesgo como una "comparación cuantitativa costo - riesgo que busca verificar si las consecuencias o pérdidas por la no ejecución de una actividad de mantenimiento o reemplazo (tomando en cuenta posibles pérdidas de producción, costos de reparación e impactos en seguridad, higiene y ambiente) excedan los costos de realizar la actividad de mantenimiento o reemplazo, evaluando ambos desde la perspectiva de las frecuencias establecidas en el ciclo de vida del activo; con la finalidad de obtener resultados con una base estable, firme y confiable para la toma de decisiones.

Es importante mencionar que antes de comenzar la aplicación de la metodología, se debe establecer el horizonte económico del análisis y los períodos de frecuencia que se desean analizar, ya que los cálculos a realizar estarán basados en dichos períodos de frecuencia.

#### Paso 1. Establecer la curva de riesgo

Para la obtención de la curva de Riesgo es necesario estimar los riesgos asociados a la ocurrencia de eventos no deseados y su incremento o disminución a través de la ejecución de una actividad de mitigación de mantenimiento o reemplazo en los equipos asociados a las operaciones en la industria.

La expresión que rige el riesgo se muestra a continuación:

$$R(t) = P(t) \times C(t)$$

Donde:

R(t): Riesgo de ocurrencia de un evento no deseado o falla.

P(t): Probabilidad de que ocurra el o los eventos no deseados.

C(t): Consecuencias de la probable ocurrencia del o los eventos no deseados.

El método de determinación de la probabilidad de falla de un equipo dependerá si el mismo es considerado como Reparable o No Reparable. En el caso de Equipos Reparables la probabilidad de falla está definida por el Número Esperado de Fallas y depende del TOEF (Tiempo Operación Entre Fallas) y de la función que lo caracterice, para el caso de Equipos No Reparables depende del TPF (Tiempo Para la Falla) y de la función que lo caracterice.

Los equipos reparables se caracterizan porque su condición operativa puede restaurarse después de fallar con una reparación. Esta consideración implica que en su vida puede ocurrir más de una falla y es ésta la diferencia fundamental con los equipos "no reparables". Los equipos que, por filosofía operacional, se consideran como no reparables son aquellos donde sólo puede ocurrir una única falla, debido al alto nivel consecuencias de las mismas, y por ende luego de la falla se procede al reemplazo del equipo.

#### Determinación del Número Esperado de Fallas para Equipos Reparables

El concepto de riesgo menciona explícitamente el término "evento no deseado", lo cual coincide con la definición de riesgo para Equipos

Reparables, cuya expresión está definida como:

$$R(t) = \Delta (t[m]) \times C(t)$$

Donde:

R(t): Riesgo

$\Delta (t[m])$ : Número Esperado de Fallas

C(t): Consecuencias de la ocurrencia de las fallas.

La variable aleatoria Número Acumulado de Fallas  $N(t[m])$ , para un tiempo acumulado de operación  $t[m]$  es la variable probabilística objeto de estudio en análisis de activos reparables, y la figura de mérito Número Esperado de Fallas  $\Delta (t[m])$  es el indicador por excelencia utilizado para caracterizarla.

En el flujograma mostrado en la Figura 3, se establece el modelo matemático para estimación de los indicadores probabilísticos de interés en sistemas reparables; con especial énfasis en la estimación del Número Esperado de Fallas  $\Delta (t[m])$  y disponibilidad.

El modelo matemático para la determinación del Número Esperado de Fallas para Equipos Reparables lo incluyen muchas herramientas computacionales conocidas y utilizadas hoy día en la industria como RAPTOR de ARINC, RAMP de ATKINS y MAROS de Jardine Technology Limited.

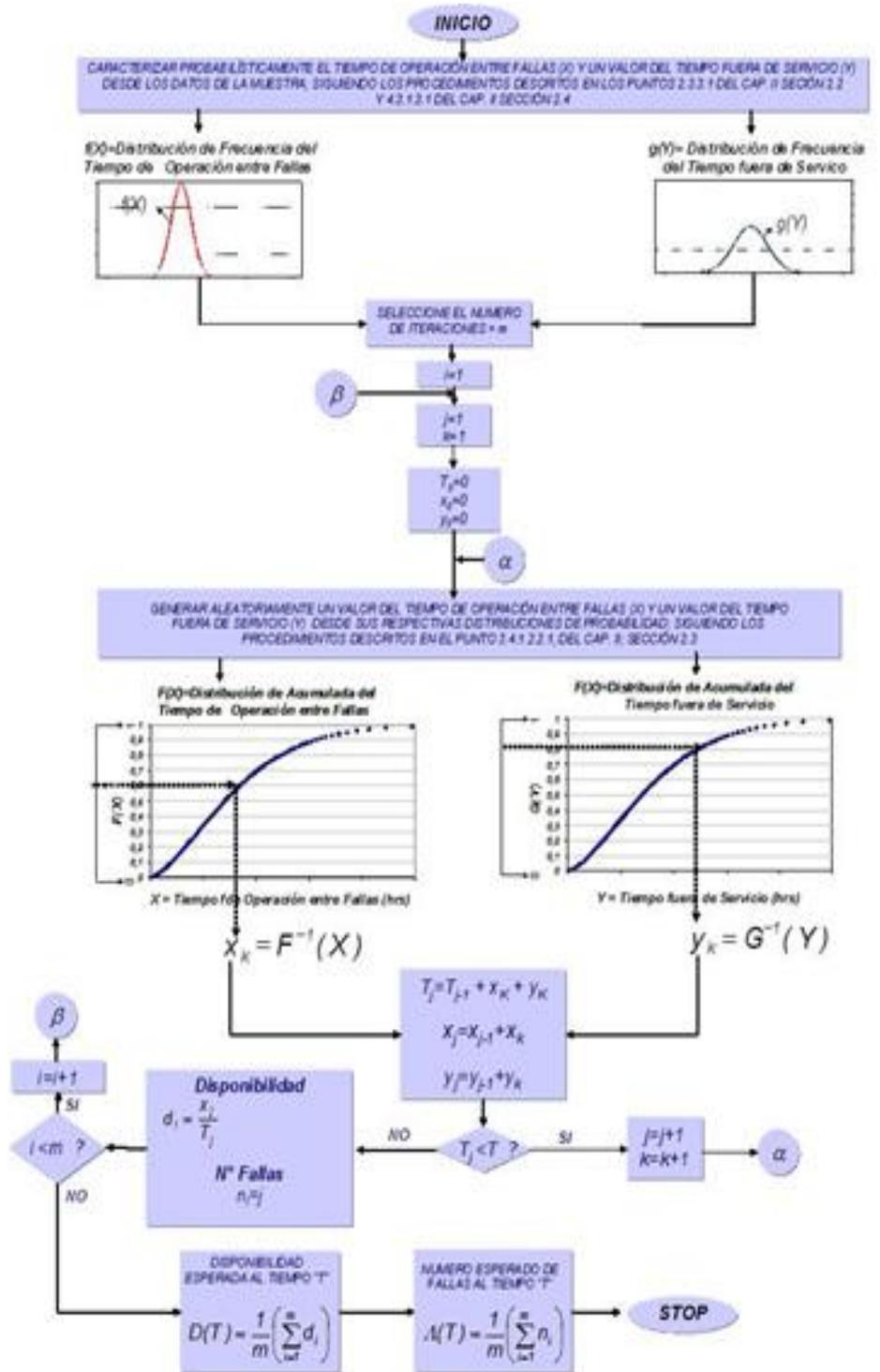


Figura 3.- Diagrama de Flujo para el cálculo numérico de la Disponibilidad y el Número Esperado de Fallas [1]

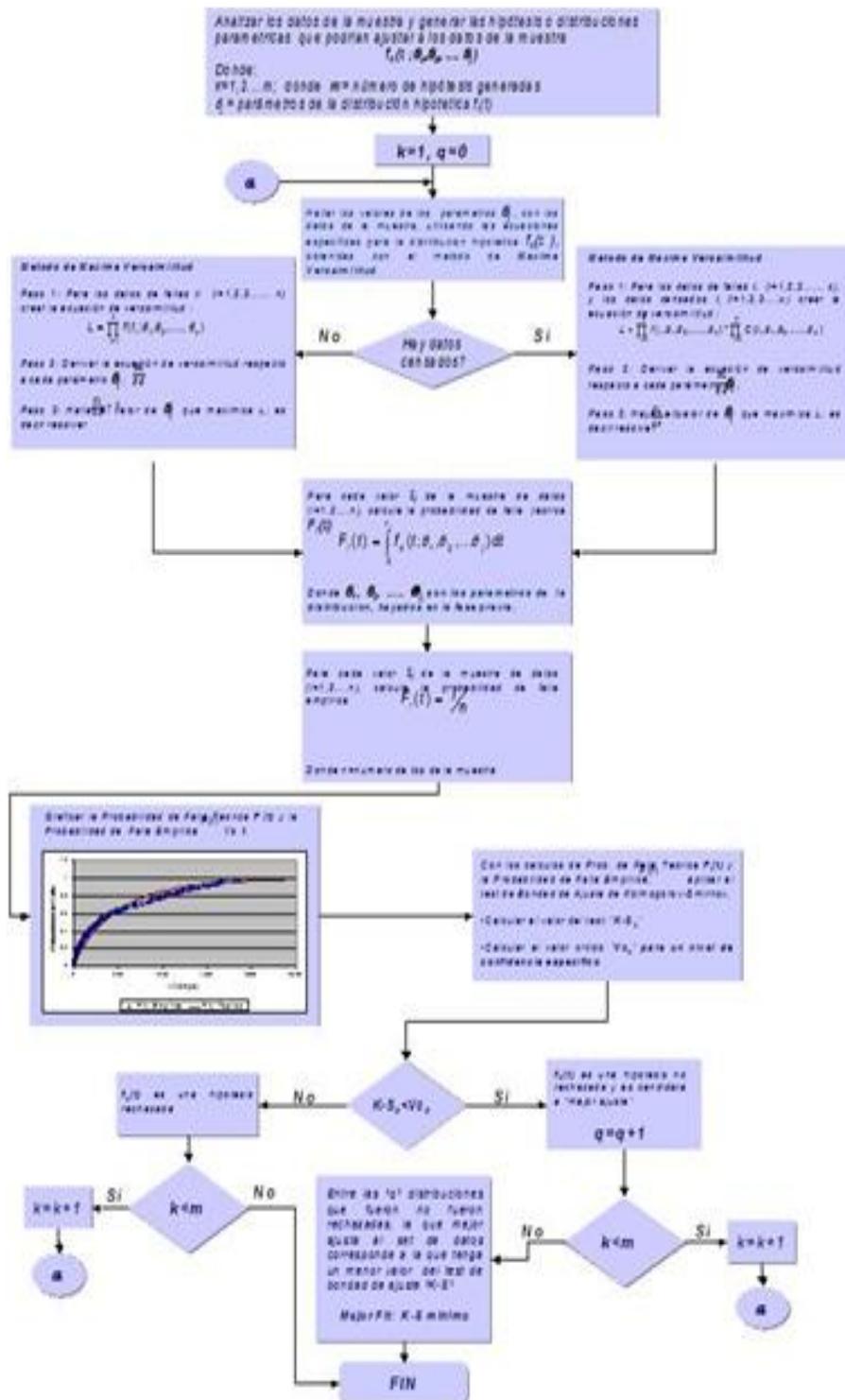


Figura 4.- Proceso de selección del mejor ajuste [1].

### Determinación de la Probabilidad de Falla para Equipos No Reparables

Para estimar la probabilidad de falla de un equipo no reparable, es necesario caracterizar probabilísticamente la variable tiempo para fallar, es decir; encontrar la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a los datos.

La existencia de datos censados es generalmente obviada por los analistas, quienes en la mayoría de las ocasiones se concentran en los equipos que han fallado, y no toman en cuenta los datos censados. Esto se traduce en cálculos pesimistas de la confiabilidad.

Las ecuaciones para el cálculo de parámetros que se obtienen cuando existen datos censados son diferentes a las ecuaciones que se obtienen cuando no los hay. La Figura 4 muestra un flujoograma del proceso de selección de la distribución que mejor ajusta a una muestra de datos que incluye datos censados.

La estimación de la distribución de probabilidad que mejor ajusta tomando en cuenta datos censados la incluye la herramienta RARE un software suplementario para "Reliability Engineering and Risk Analysis: Practical Guide" de Modarres, Kaminskiy y Krivtsov, la cual es de uso libre con código abierto, lo que facilita su uso para cualquier persona o industria que realice estos análisis.

Una vez establecido el Número Esperado de Fallas (equipos reparables) o la Probabilidad de Falla (equipos no reparables) para cada período de frecuencia del tiempo misión específico (horizonte económico), se hace imperante el cálculo de las consecuencias de la ocurrencia de un evento no deseado para la obtención de la Curva de Riesgo. A continuación se detalla un método de cálculo para la estimación de dichas consecuencias.

**Estimación de las Consecuencias**

En análisis de riesgo el término “consecuencias” se refiere por defecto a “consecuencias asociadas a la ocurrencia de un evento no deseado” o número esperado de fallas. Las técnicas más conocidas son las desarrolladas para el cálculo de consecuencias de fallas; de accidentes y de catástrofes naturales.

Para el caso de consecuencias deben evaluarse todos los posibles escenarios que conducirían a la ocurrencia del evento no deseado, lo que implica una evaluación de consecuencias diferenciada según las opciones de mitigación a analizar.

La consecuencia de una falla se entiende y se evalúa como el resultado de una falla; basado en la asunción de que dicha falla ocurrirá. La consecuencia de una falla se define en función de los aspectos que son de mayor importancia para el operador; tales como el económico; el de seguridad y el ambiental. Cada renglón debe ser evaluado y presentado por separado.

Con base al ejemplo presentado en la Figura 5, se presenta el siguiente modelo básico que divide las consecuencias asociadas con una falla particular en los renglones previamente mencionados:

- Consecuencias Económicas
  - Pérdidas de Producción
  - Costo de Reparación
- Consecuencias en Seguridad
- Consecuencias Ambientales

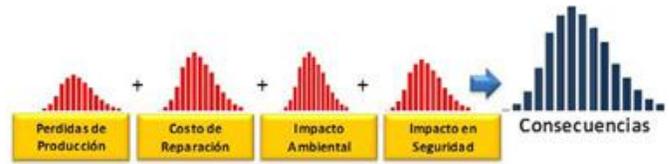


Figura 5.- Modelo para cuantificar las consecuencias de una falla [1].

Así, las consecuencias asociadas a una falla se pueden representar por la siguiente expresión matemática:

$$C(F) = Ce + Cs + Ca$$

Donde:

C(F) : Consecuencias de una falla por la no ejecución de la actividad de mantenimiento o reemplazo.

Ce: Consecuencias Económicas

Cs: Consecuencias en Seguridad

Ca: Consecuencias Ambientales

A su vez las Consecuencias Económicas se pueden estimar mediante la ecuación:

$$Ce = CPP + CR$$

Donde:

Ce: Consecuencias Económicas

CPP: Costo por pérdidas de Producción

CR: Costos de Reparación o Reemplazo

Un modelo sencillo y fácil de aplicar para estimar las pérdidas de producción debido a tiempo fuera de servicio es el siguiente:

$$CPP = PP * RF * TFS * N(t[m]) + PE$$

Donde:

CPP: Consecuencias por Pérdida de Producción  
 PP: es el precio del producto se mide en (\$/Unidad). Representa la variabilidad del costo del producto.

RF: es la reducción de flujo o disminución de la producción causada por la falla del equipo y se mide en (Unidad/Hora). La reducción puede ser total o parcial, dependiendo de otros factores tales como diseño, redundancias, cargas compartidas o stand by y/o severidad de la falla (crítica o degradación). Para el caso especial de los equipos no reparables la reducción del flujo es total.

TFS: Tiempo Fuera de Servicio, se mide en Horas. Consiste en el tiempo que un equipo o sistema

se encuentra fuera de operación por la ocurrencia de la falla. Mide la efectividad en restituir el equipo o sistema en condiciones óptimas de operabilidad una vez ocurrida la falla.

$N(t[m])$  : Número esperado de fallas. Representa el número de fallas que se espera ocurran en un período de tiempo determinado para los equipos reparables. Para el caso de los equipos No Reparables esta variable es uno (1), ya que se analiza una única falla por la cual el equipo debe ser reemplazado.

PE: es la penalización o sanción causada por la falla y se mide en (\$). El costo de la sanción causada por la falla se puede estimar mediante la ecuación:

$$PE = H * C$$

Donde:

PE: Costos por penalizaciones.

H: horas de retraso. Representa la cantidad de horas que exceden los acuerdos de servicios.

C: costo de penalización y se mide en (\$/Hr)

La distribución de los costos de reparación o reemplazo (CR) deben incluir el espectro de todos los posibles costos, los cuales varían dependiendo de la severidad de la falla. El análisis de costos debe incluir costo de materiales y mano de obra, costos de fabricación e instalación y costos de logística.

Los Costos de Reparación o Reemplazo se modelan según la siguiente ecuación:

$$CR = CM(ROR) + CL(ROR) + CF(ROR)$$

Donde:

CR: Costos de Reparación o Reemplazo

CM(ROR): Costos de materiales y/o equipos necesarios para llevar a cabo la actividad de reparación o reemplazo (partes o repuestos afectados por la falla, herramientas, grasas, aceites, combustibles, etc.). Se mide en (\$).

CL(ROR): Costos de Labor o mano de obra requerida para realizar la actividad de reparación o reemplazo. El costo de labor se estima según la siguiente ecuación:

$$CL(ROR) = TFS * CMO$$

Donde:

TFS (Tiempo Fuera de Servicio): es el tiempo en

que un equipo o sistema se encuentra fuera de operación. Se mide en horas.

CMO (Costo de la Mano de Obra): es el Costo de la hora hombre, bien sea propia o contratada se mide en (\$/(H/H)).

CF(ROR): Costos de Fabricación, Elaboración, Logística para realizar la actividad de reparación o reemplazo. Se mide en (\$).

Hablar de consecuencias en seguridad debido a la posible ocurrencia de una falla en un equipo o sistema implica hablar de los efectos en el personal de una instalación causados por esa falla. Generalmente estas consecuencias se expresan en potenciales pérdidas de vida; y en algunos casos, es necesario transformar estas unidades en unidades monetarias.

Para la metodología propuesta en este trabajo, se plantea que quienes estén realizando este tipo de análisis, según los riesgos que se evalúen posibles en el contexto operacional de su entorno, modelen o cuantifiquen las consecuencias en seguridad.

En última instancia, si los modelos existentes divulgados internacionalmente no corresponden con las situaciones presentadas, se puede recurrir a la opinión de expertos en el área de la industria propiamente dicha, que conozcan o hayan experimentado las consecuencias en seguridad de un evento no deseado.

La evaluación y cuantificación de consecuencias ambientales debe considerar dos términos; uno de corto plazo asociado básicamente con los costos de limpieza y remediación; y otro de largo plazo asociado con los efectos de la contaminación local y globalmente.[1]

La definición de las unidades para cuantificar las consecuencias ambientales; ya sean volumétricas o financieras dependerá de la filosofía del operador y de los criterios de aceptación y rechazo.[1]

Debido a la existencia de múltiples modelos para la estimación de consecuencias

ambientales, al igual que en el caso de la estimación de las consecuencias en seguridad, se plantea que quienes estén realizando este tipo de análisis, según los riesgos que se evalúen posibles en el contexto operacional de su entorno, modelen o cuantifiquen las consecuencias al ambiente.

## Curva de Riesgo

Una vez que se establece el horizonte económico del análisis y las frecuencias de la actividad a ser evaluadas, y se obtienen el número esperado de fallas (equipos reparables) o la probabilidad de falla (equipos no reparables) para cada frecuencia establecida, aunado a las respectivas consecuencias; se procede a determinar el Valor Presente Neto de cada uno de los valores de Riesgo (percentiles a utilizar) para cada período de frecuencia establecido, mediante la siguiente ecuación:

$$VPN_{Riesgo} = \sum_{j=1}^n \left[ \frac{Riesgo_j}{(1+i)^j} \right]$$

Donde:

n: frecuencia de la actividad de mantenimiento en el horizonte económico.

i: tasa de descuento (%).

j: cualquier año en la vida del activo.

Riesgo<sub>j</sub>: distribución de probabilidad del Riesgo aplicado en el año j.

Así, con cada valor descontado del Riesgo (VPN de los percentiles de Riesgo para cada frecuencia de mantenimiento o de reemplazo que se esté evaluando) versus la frecuencia de mantenimiento o reemplazo analizada se construye punto a punto la curva de riesgo.

Considerando que las variables utilizadas son de naturaleza probabilística, los valores de riesgo a obtener para cada período de frecuencia establecido, están representados por distribuciones de probabilidad resultantes de las operaciones matemáticas del cálculo del riesgo.

Así, en la figura 6 se muestra un ejemplo graficando los percentiles 10, 50 y 90 de las distribuciones de riesgo obtenidas para frecuencias desde 2 hasta 12 meses analizadas para una bomba electrosumergible.

Riesgo de las Bombas Electrosumergibles

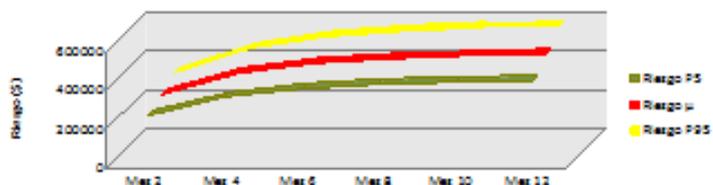


Figura 6.- Valores Percentiles del Riesgo R(t).

## Paso 2. Establecer La Curva De Costo

El cálculo preciso de los Costos Totales de cada acción de mitigación (conjunto de acciones de mantenimiento o reemplazo que se ejecutarán dentro del período establecido como horizonte económico), constituye una parte fundamental del análisis, para conocer si el dinero a invertir permitirá obtener los beneficios esperados y en consecuencia, hacer una comparación entre cada una de las frecuencias de mantenimiento o reemplazo propuestas.

Ahora bien, para establecer el costo total de la actividad de mantenimiento o reemplazo con base en la bibliografía consultada, y a la experiencia observada en la estimación de los cálculos de costos de actividades de mantenimiento o reemplazo, se propone la siguiente ecuación.

$$C_g = C_i + C_f + C_{pd}$$

Donde:

C<sub>i</sub>: representan los costos de las intervenciones y se pueden estimar mediante la ecuación siguiente:

$$C_i = CR(AM) + CM(AM) + CL(AM) + CC(AM)$$

Donde:

CR(AM): costo de las piezas y/o partes (repuestos) a reemplazar durante la actividad de mantenimiento mayor (equipos reparables) o costo del equipo a reemplazar (equipo no reparable).

CM(AM): Costos de materiales y/o equipos necesarios para llevar a cabo la actividad de mantenimiento o reemplazo (herramientas,

grasas, aceites, combustibles, etc.).

CL(AM): Costos de labor o mano de obra requerida para realizar la actividad de mantenimiento o reemplazo. El costo de labor se estima según la siguiente ecuación:

$$CL(AM) = DAM * CMO$$

Donde:

DAM: (Duración de Actividad de Mantenimiento o Reemplazo) son la cantidad de horas hombres necesarias para llevar a cabo la actividad de mantenimiento o reemplazo y se mide en (H/H).  
CMO: (Costo de Mano de Obra) es el costo de la hora hombre, bien sea propia o contratada se mide (\$/(H/H))

CC(AM): Costos de los consumibles (papelería, ropa, publicidad, avisos) requeridos para la actividad de mantenimiento o reemplazo, se mide en (\$).

Cf: Costos de fallas. Se refiere a los costos en que se podría incurrir tras una actividad de mantenimiento planificada o realizada de manera inadecuada; esto incluye costos de fallas por el uso de repuestos defectuosos, y/o falta de procedimientos y personal calificado.

Es importante destacar que en la mayoría de los casos éstos costos no se toman en cuenta debido que son muy bajos en comparación con los costos de las intervenciones y los costos por pérdidas de producción.

CPD: El Costo de Producción Diferida, en caso de que se requiera la parada del equipo o exista una disminución del flujo producido, durante la realización de la actividad de mantenimiento o reemplazo. El modelo para este costo viene dado por la siguiente fórmula:

$$CPD = DAM * PP * RF$$

Donde:

CPD: Costo de la producción diferida o costo de lo que se deja de producir.

DAM: Tiempo de la duración de la actividad de mantenimiento, se representa mediante una distribución de probabilidad, la cual provenga de opinión de expertos o de la caracterización de los tiempos registrados en oportunidades anteriores en la que esta actividad se ha llevado

a cabo.

PP: es el precio del producto (gas, crudo, gasolina, etc.) (\$/Unid). Es el mismo usado en la curva de riesgo.

RF: es la reducción de flujo (Unid/Hr) o disminución de la producción causada por la falla del equipo. Es el mismo usado en la curva de riesgo.

Una vez que se haya estimado el costo total de la acción de mitigación dentro del periodo bajo análisis para cada frecuencia seleccionada dentro del horizonte económico (días, meses, años) se debe descontar el flujo de caja a valor presente (VPN), mediante la ecuación:

$$\text{Costo Total Opción "X": } Cfr_n = \sum_{j=0}^n \frac{C_j}{(1+i)^j}$$

Donde:

Cj= Costo Unitario de la acción de mitigación; aplicada en el año j.

j = cualquier año en la vida del activo.

i = tasa de descuento.

n = frecuencia de la actividad de mantenimiento en el horizonte económico.

Considerando que las variables utilizadas son de naturaleza probabilística, los valores de costo a obtener para cada período de frecuencia establecido, están representados por distribuciones de probabilidad resultantes de las operaciones matemáticas del cálculo del Costo de la Actividad de Mantenimiento. De manera que, con cada valor descontado de los costos (VPN por acciones de mitigación) versus la frecuencia de mantenimiento o reemplazo analizada se construye punto a punto la curva de costos, como se muestra en la Figura 7, graficando los percentiles 5 y 95, y la media de las distribuciones de costo.

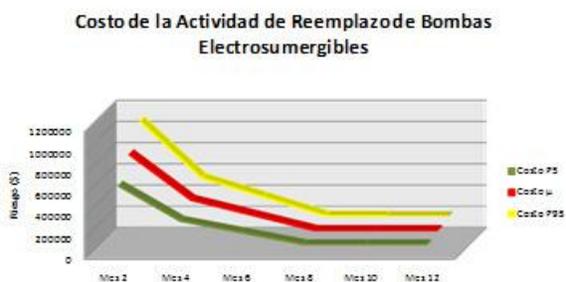


Figura 7.- Valores Percentiles del Costo C(t).

**Paso 3. Establecer la curva de impacto total**

Una vez que se han establecido las curvas de Riesgo y Costo, se procede a sumar punto a punto de cada curva para obtener la Curva de Impacto Total, correspondiente a cada período de frecuencia establecido en el análisis.

Dado que el análisis ha considerado las variables de entrada a los modelos matemáticos de las curvas de Riesgo y Costo como probabilísticas, y se han podido graficar diferentes percentiles para cada una de ellas; la Curva de Impacto Total puede establecerse con base a estos percentiles. En la Figura 8 se muestra la curva de Impacto Total correspondiente a la media de las curvas de riesgo y costo respectivas.

**Costo Riesgo Actividad de Reemplazo de Bombas Electrosumergibles  $\mu$**

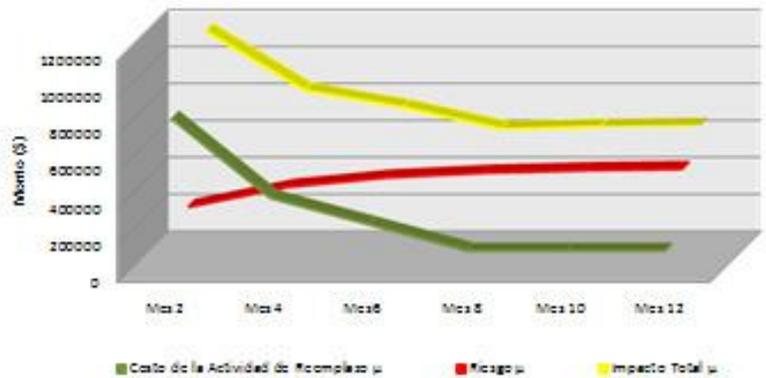


Figura 8.- Valores de la Media  $\mu$  del Impacto Total  $I(t)$ .

**AUTORES:**

**Romero Barrios, María Teresa**  
 Magister Especialista en Confiabilidad de Sistemas Industriales  
 e-mail: maria.romero@reliarisk.com

**Gutiérrez Urdaneta, Edwin Ericson**  
 Magister Especialista en Confiabilidad de Sistemas Industriales  
 e-mail: edwin.gutierrez@reliarisk.com

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

- [1] Yañez, M; y otros. "Confiabilidad Integral. Tomo I". Reliability and Risk Management S.A, Venezuela, 2007.
- [2] Neto, Edwin. "Mantenimiento Industrial". Ecuador, 2008.
- [3] NORMAS SAE-JA1011/SAE-JA1012. "Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)". EEUU, 2002.



**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**

La mayoría de las personas coinciden que la inflación es el impuesto más agresivo que hay, debido a que afecta completamente a todos los niveles que están involucrados en la economía de un país, y el Mantenimiento no escapa a estos impactos negativos. Imagínense, cómo podríamos ejecutar un plan de mantenimiento ya sea preventivo, correctivo programable o de emergencia, cuando cada vez que vayamos a comprar los insumos necesarios para llevar a cabo estas intervenciones, no se consiguen en el mercado por falta de divisas, o simplemente éstos estén subiendo de precios cada día como resultado de una inflación desbocada. Los buenos planificadores de mantenimiento saben que para elaborar un plan de mantenimiento preventivo para cualquier período de tiempo, principalmente para los equipos críticos de la planta, que son aquellos que de fallar pueden afectar considerablemente a las personas, equipos, ambiente y producción; debemos tener en stock aquellos materiales, partes y repuestos que necesitamos para acometer estas intervenciones; pero, es muy cierto, que tendríamos que desembolsar grandes cantidades de dinero para tenerlos en el almacén, como una manera de cuidarse de estas situaciones indeseables.

Si no existiera una economía inflacionaria y una falta de divisas, la permanencia de esos materiales, partes y repuestos se podría manejar con inventarios más pequeños. Inevitablemente, la Alta Gerencia de una organización tendría necesariamente que analizar qué es lo más conveniente antes de tomar una decisión; si tenerlos en el almacén o correr el riesgo con posibles impactos negativos al no tenerlos. Ahora bien, de igual importancia, ¿cómo podría una empresa cualquiera presupuestar la ejecución de una Parada de Planta de alimentos, química o petroquímica o de cualquier índole, si no se tiene garantizado el suministro oportuno de los materiales, partes y repuestos, debido a que éstos no se encuentren en el mercado, o simplemente porque van subiendo de precio continuamente en tiempos relativamente cortos?. Imagínense la angustia permanente que puede existir a todos los niveles de una gerencia ante semejante escenario. Esto también es parte de lo que llamo el Costo Psicológico que aunque no lo vemos, nos está causando stress, angustia, molestia temores y frustración, afectando negativamente nuestra salud. Posiblemente, ante el escenario de no conseguir suministros oportunos de insumos y a precios razonable, se estén postergando la realización de paradas plantas, aumentando el riesgo de un incremento considerable de fallas con resultados indeseables para las personas, ambiente, equipos producción y economía, tanto para empresas privadas como aquellas otras en manos del estado, tales como de refinación, químicas y petroquímicas. De igual manera, no podemos olvidar como afecta considerablemente al sector Salud, al encontrar equipos completamente inoperativos por falta de repuestos, que en su mayoría son de importación, disminuyendo día a día su Calidad de Servicio y por consiguiente la Calidad de Vida. Y amén de la infraestructura de un país.

# Cómo Afecta La Inflación Y La Falta De Divisas Al Mantenimiento De Un País

AUTOR:  
Brau Clemenza





# How Inflation And Lack Of Foreign Currency Affect The Maintenance Of A Country

TRADUCCIÓN:  
*Richard Skinner*

Most people agree that inflation is the most aggressive tax there is, since it completely affects all levels involved in any country's economy, and Maintenance is no exception to this negative impact. Imagine how we could implement a maintenance plan, either preventive, programmable corrective or emergency type, if every time we need to buy the necessary supplies for these interventions it is not possible because there is no foreign currency available in the market, or they simply increase their price every day as a result of a galloping inflation. Good maintenance planners know that to make a preventive maintenance plan for any period of time, mainly for the critical equipment of the plant, that is, those whose failures can considerably affect people, equipment, environment, and production, there has to be a stock of materials and replacement parts to accomplish these interventions. But it is also true that we would have to pay out considerable sums of money to store them, as a way to prevent this undesirable situation.

If there weren't an inflationary economy and a lack of foreign currency, the regular stock of these materials and parts could be sustained with smaller inventories. Inevitably, the top management of an organization would necessarily have to analyze what is more convenient before taking a decision: to have them stored or take the risk of a negative impact for not having them. Now, it is equally important to discuss how could any enterprise make a budget for a shutdown of a plant of any kind, be it a food, chemical or any other, if the timely supply of materials and parts is not guaranteed due to not being available in the market, or simply because they continually increase in cost at relatively short periods of time. Imagine the constant anxiety at all levels of management dealing with such scenario. This is also part of what I call Psychological Cost: even if we don't see it, it causes stress, anxiety, fear and frustration, highly deteriorating our health. Possibly, facing this scenario of not finding supplies at a reasonable cost, plant shutdowns have to be put off with the consequence of a considerable increase in failures with unpleasant results for people, equipment, production and economy, for private enterprises or those under control of the government such as refineries and petrochemical, among others. Likewise, we cannot forget how this definitely affects the health sector due to finding completely inactive equipment for lack of replacement parts which are mostly imported, decreasing the quality of service everyday and thus diminishing the quality of life, not to mention the infrastructure of a country.

# Aplicación De La Tecnología De Inspección Basada En Riesgo (IBR) Para La Generación De Planes Óptimos De Inspección A Equipos Estáticos En La Industria Del Petróleo Y Gas (I Parte)

## INTRODUCCION

En el mundo industrial una de las mayores preocupaciones recae sobre el diseño, selección y determinación de una adecuada política y estrategia de mantenimiento e inspección de los equipos estáticos, ya que estos tienen como riesgo la posibilidad de presentar una fuga externa del producto manejado y las consecuencias asociadas a la misma; como parada de alguna línea productiva, costos asociados a daños ambientales ocasionados, pérdidas de productos, mantenimiento o cambio de la estructura dañada, además de comprometer la seguridad del personal que labora en las cercanías del equipo o tubería, es por esto que a fin de reducir los niveles de riesgos asociados y costos operacionales, se hace necesario implementar metodologías y técnicas que permiten controlar, optimizar, prevenir y predecir la ocurrencia de falla en equipos estáticos; debido a esta situación actualmente se está implementando una Tecnología de Inspección Basada en Riesgo (IBR) para la Generación de Planes Óptimos de Inspección a Equipos Estáticos, basados en estándares internacionales como la práctica recomendada API-RP-580 y 581, y el uso de normas, estándares y prácticas recomendadas API como las 353, 570, 571, 574, 579, 650, 653, 1160 y ASME B31.3, 31.4, 31.8 y 31.8S, adicionalmente otros estándares de empresas del Medio Oriente (Arabia Saudita). Esta

metodología se aplica a equipos estáticos como circuitos de tuberías, recipientes a presión, intercambiadores, torres, y tanques de almacenamiento, cuyo objetivo es definir los niveles de riesgo de cada equipo, basados en la caracterización de la condición actual, mecanismos de degradación o deterioro, características de diseño, condiciones de operación, calidad y efectividad de las actividades de mantenimiento e inspección y las políticas gerenciales, así como las consecuencias asociadas a las potenciales fallas. Una vez definida la jerarquización de los equipos o tuberías de acuerdo a su nivel de riesgo, se determinan las actividades de inspección y frecuencias o fechas de ejecución, considerando los mecanismos de deterioro presentes y como punto final se realiza una optimización del programa de inspección en marcha OSI, lo cual permite determinar la cantidad requerida de puntos de inspección para cada equipo o circuito de tuberías.

## ANTECEDENTES

El presente estudio resume el resultado de la aplicación de la Tecnología de Inspección Basada en Riesgo (IBR) a instalaciones costa afuera (Off-Shore) y Costa Dentro "On-Shore" en diferentes empresas del ramo de la industria del Petróleo y Gas en países como Venezuela, México, Colombia y Arabia Saudita.

Originalmente estas instalaciones tenían planes de inspección para sus equipos estáticos, desarrollados sobre estudios y criterios tradicionales, así como también basados en experiencias de expertos conocedores del desempeño de equipos estáticos o de mecanismos de deterioro presentes en estos procesos productivos; dada esta oportunidad de mejora se decidió aplicar esta metodología o Técnica de Inspección Basada en Riesgo, lográndose el desarrollo y optimización de nuevos Planes y puntos de Inspección, adecuados a la condición actual, mecanismos de deterioro y nivel de riesgo actual; esto a su vez permitió la reducción del nivel de riesgo general de las instalaciones y de sus equipos.

## MARCO CONCEPTUAL

### Definición de Riesgo:

El riesgo es un término de naturaleza probabilística, que se define como “egresos o pérdidas probables consecuencia de la posible ocurrencia de un evento no deseado o falla”. En este simple pero poderoso concepto coexiste la posibilidad de que un evento o aseveración se haga realidad o se satisfaga, con las consecuencias de que ello ocurra. Matemáticamente el riesgo asociado a una decisión o evento viene dado por la expresión universal:

$$\text{Riesgo}(t) = \text{Prob. de Falla}(t) \times \text{Consecuencias} \quad (1)$$

Basados en esta ecuación, se puede observar que el nivel de riesgo puede ser variable, de acuerdo a una disminución o incremento de la frecuencia de falla, o disminuyendo o incrementando las consecuencias. Es importante resaltar que de acuerdo a la experiencia sobre la determinación del riesgo, las acciones dirigidas a disminuir la frecuencia de ocurrencia de fallas son más factibles que las dirigidas a disminuir las consecuencias ya que estas últimas involucran mayores inversiones o esfuerzos y decisiones de altos niveles gerenciales.

El análisis de la ecuación de riesgo, permite entender el poder de esta figura de mérito o indicador para el diagnóstico de situaciones y la toma de decisiones. A través de este indicador, pueden compararse situaciones y escenarios que bajo una perspectiva cotidiana resultarían disímiles, pero bajo ciertas circunstancias deben evaluarse y considerarlas en un proceso de toma de decisiones. Por ejemplo, podría utilizarse para discernir entre una acción de mantenimiento a equipos estáticos con frecuencias de fallas bajas pero con consecuencias tradicionalmente muy altas.

### Inspección Basada en Riesgos

La Inspección Basada en Riesgos es una metodología sistemática que se apoya en las normas o estándares internacionales como API RP 580/581/571, cuyo objetivo es definir los planes de inspección basados en la caracterización probabilística del deterioro y el modelaje probabilístico de la consecuencia de una falla (caracterización del riesgo).

Esta metodología se enfoca en el estudio del deterioro de la pared de un contenedor de fluido que puede resultar en la pérdida de la función de contención del fluido presurizado, es decir, en una fuga de producto al medio ambiente.

Como todos los análisis de riesgo, el IBR implica el cálculo de probabilidades de falla y modelaje de las consecuencias de la misma. Para el cálculo de las probabilidades de falla, el IBR provee una metodología que considera los siguientes criterios:

- Espesor remanente.
- Tasa de corrosión.
- Calidad / frecuencia de inspección.

Para el modelaje de las consecuencias, la metodología IBR considera los siguientes criterios:

- Tipo de fluido.
- Sistemas de mitigación existentes.
- Inventario de producto (volumen).

A continuación se muestra un esquema general de la Metodología de Inspección Basada en Riesgo:

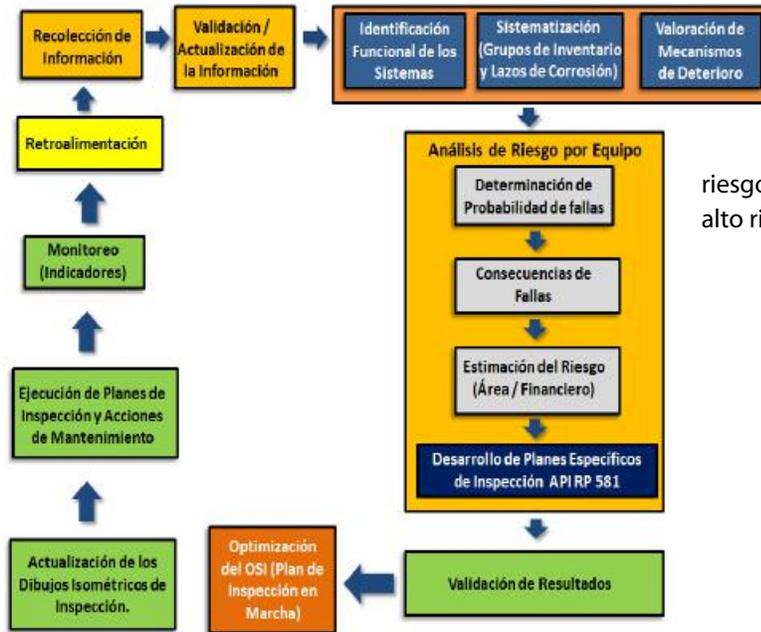


Figura 1. Etapas y Fases de la Metodología de IBR.

En la metodología de IBR se utiliza una matriz de 5 x 5 que gráficamente permite la ubicación del nivel de riesgo de los equipos analizados. Esta matriz presenta cuatro niveles de clasificación de riesgo que son: riesgo bajo representado típicamente en color blanco o verde, riesgo medio presentado en amarillo, riesgo medio – alto graficado en naranja y alto riesgo mostrado en rojo.

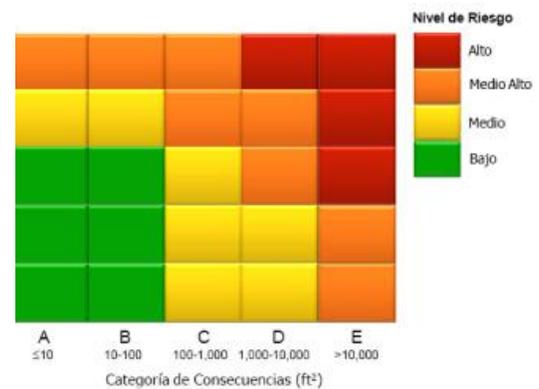


Figura 3. Matriz de Riesgo según IBR.

La siguiente figura muestra los diferentes aspectos que son tomados en cuenta para la caracterización del riesgo en los estudios de IBR.



Figura 2. Factores que intervienen en la caracterización del riesgo en la metodología IBR

El producto de los valores de la probabilidad de falla y consecuencias permite determinar el nivel de riesgo asociado a cada equipo o circuito de tubería. Con estos resultados se puede construir una lista jerarquizada de equipos basada en el riesgo calculado, la cual es usada para la optimización de los planes de inspección. Una vez obtenido los niveles de riesgo de los equipos y circuitos de tuberías se procede a diseñar los planes de inspección así como la optimización de los puntos de inspección del Plan de Inspección en marcha.

## METODOLOGIA Y APLICACION

A continuación se define y desarrollan cada uno de los pasos de la metodología

“Tecnología de Inspección Basada en Riesgo (IBR) para la Generación de Planes Óptimos de Inspección a Equipos Estáticos”:

**Definición del sistemas o equipos a aplicar la metodología:**

Consiste en la delimitación o selección de los sistemas, subsistemas y equipos o circuitos de tuberías a los cuales se les aplicara la metodología de inspección basada en riesgo.

**Recolección de la información técnica requerida para el desarrollo del estudio:**

En esta etapa se obtendrá, capturará y evaluará los datos técnicos e información necesaria para poder establecer la base del análisis necesaria a fin de desarrollar el mapeo de riesgos y el Plan de Inspección basado en riesgo (IBR). Se tomara en consideración la información relativa al diseño, fabricación, instalación, operación y mantenimiento de los equipos y componentes de la instalación. Así como la información disponible en cuanto a los antecedentes de registros de inspección.

Para organizar toda esta información técnica, se dispone de bases de datos o “Spreadsheet” que permite descargar toda la información requerida por los software para determinar los niveles de riesgo de los equipos y circuitos de tuberías y así como también para mantener un registro de las fuentes consultadas. La revisión y captura de

datos es una etapa en la que es susceptible introducir errores, por lo que se cuentan con los procedimientos de aseguramiento de calidad necesarios para esta etapa.

A continuación se lista las fuentes de información más importante para el desarrollo de este estudio:

- Diagramas de flujo de proceso (DFP's o PFD's)
- Diagramas de tubería e instrumentación (DTI's o P&ID).
- Planos Generales de la Plataforma (Plot Plans).
- Historia y registro de las inspecciones realizadas a los equipos y tuberías.
- Caracterización del fluido o fluidos de los sistemas.
- Hojas de especificación de equipos.
- Hojas de seguridad de las sustancias de proceso.
- Bitácora o Reportes de mantenimiento.
- Estudios previos de Riesgo.
- Cualquier otra información técnica que contribuya al desarrollo del estudio.

En la siguiente imagen se muestra un ejemplo de una base de Datos o Spreadsheet, donde es descargada toda la información técnica requerida para el desarrollo del estudio de IBR, de acuerdo a la Tecnología de Inspección Basada en Riesgo (IBR) para la Generación de Planes Óptimos de Inspección a Equipos Estáticos.

Corporation	Plant	Line	Equipment	Component	Metric_Flag	Equipment_Type	Asset_Identifier	Equipment_Description	Design_Code	Design_Pro
JUAYMAH GAS PLANT	R84	10-S-2202-3A1C	10-S-2202-3A1C	N		Tube/NS Pipe	R84-ANA-B44995-059-01	HV-E221-01 TO CHK VALVE		
JUAYMAH GAS PLANT	R84	10-S-2202-3A1C	10-S-2202-3A1C	N		Tube/NS Pipe	R84-ANA-B44995-059-01	C VLV TO 10-S-2202-3A1C		
JUAYMAH GAS PLANT	R84	4-SC-2201-3A1	4-SC-2201-3A1	N		Tube/NS Pipe	R84-ANA-B44995-059-02	TCV-200 TO E-221		
JUAYMAH GAS PLANT	R84	10-P-2201-3A1	10-P-2201-3A1	N		Tube/NS Pipe	R84-ANA-B44995-059-02	MOV-200 TO E-221		
JUAYMAH GAS PLANT	R84	E-221	E-221 SS	N		Heat Exchanger	R84-ANA-B44995-059-01	DESPROPANIZER FEED PREHE	S8_Dw2-ASME_B&PV_Code_Section_VII	
JUAYMAH GAS PLANT	R84	E-221	E-221 TS	N		Heat Exchanger	R84-ANA-B44995-059-01	DESPROPANIZER FEED PREHE	S8_Dw2-ASME_B&PV_Code_Section_VII	
JUAYMAH GAS PLANT	R84	10-P-2202-3A1	10-P-2202-3A1	N		Tube/NS Pipe	R84-ANA-B44995-059-01	E-221 TO FCV-201		
JUAYMAH GAS PLANT	R84	6-P-2202-3A1	6-P-2202-3A1	N		Tube/NS Pipe	R84-ANA-B44995-059-01	10-P TO FCV-200A		
JUAYMAH GAS PLANT	R84	10-P-8597-3A1	10-P-8597-3A1	N		Tube/NS Pipe	R84-ANA-B44995-059-01	FCV-223 TO HV-C221-01		
JUAYMAH GAS PLANT	R84	10-P-2007-3A1	10-P-2007-3A1	N		Tube/NS Pipe	R84-ANA-B44995-060-01	FCV-022 TO 20-P-2202		
JUAYMAH GAS PLANT	R84	10-P-2202-3A1	10-P-2202-3A1	N		Tube/NS Pipe	R84-ANA-B44995-060-01	FCV-223 TO 20-P-2202		
JUAYMAH GAS PLANT	R84	20-P-2202-3A1	20-P-2202-3A1	N		Tube/NS Pipe	R84-ANA-B44995-060-01	10-P-2007 TO C-221		
JUAYMAH GAS PLANT	R84	C-221	C-221 TOP	N		Vessel/FinFan	R84-ANA-B44995-060-01	DESPROPANIZER COLUMN	S8_Dw2-ASME_B&PV_Code_Section_VII	
JUAYMAH GAS PLANT	R84	C-221	C-221 MID	N		Vessel/FinFan	R84-ANA-B44995-060-01	DESPROPANIZER COLUMN	S8_Dw2-ASME_B&PV_Code_Section_VII	
JUAYMAH GAS PLANT	R84	C-221	C-221 BTM	N		Vessel/FinFan	R84-ANA-B44995-060-01	DESPROPANIZER COLUMN	S8_Dw2-ASME_B&PV_Code_Section_VII	
JUAYMAH GAS PLANT	R84	16-P-2210-3A1	16-P-2210-3A1	N		Tube/NS Pipe	R84-ANA-B44995-060-01	FCV-207 TO TOP C-221		
JUAYMAH GAS PLANT	R84	30-P-2207-3A1	30-P-2207-3A1	N		Tube/NS Pipe	R84-ANA-B44995-060-01	TOP C-221 TO PCV-203A		
JUAYMAH GAS PLANT	R84	8-P-2047-3A1	8-P-2047-3A1	N		Tube/NS Pipe	R84-ANA-B44995-060-01	FCV-717 TO 16-P-2210		
JUAYMAH GAS PLANT	R84	4-P-2214-3A1	4-P-2214-3A1	N		Tube/NS Pipe	R84-ANA-B44995-060-01	30-P-2207 TO PCV-212		
JUAYMAH GAS PLANT	R84	30-P-2206-3A1	30-P-2206-3A1	N		Tube/NS Pipe	R84-ANA-B44995-060-01	E-222B TO MID C-221		
JUAYMAH GAS PLANT	R84	30-P-2205-3A1	30-P-2205-3A1	N		Tube/NS Pipe	R84-ANA-B44995-060-01	E-222A TO MID C-221		
JUAYMAH GAS PLANT	R84	E-222A	E-222A SS	N		Heat Exchanger	R84-ANA-B44995-060-01	DESPROPANIZER REBOILER	S8_Dw1-ASME_B&PV_Code_Section_VII	
JUAYMAH GAS PLANT	R84	E-222A	E-222A TS	N		Heat Exchanger	R84-ANA-B44995-060-01	DESPROPANIZER REBOILER	S8_Dw1-ASME_B&PV_Code_Section_VII	
JUAYMAH GAS PLANT	R84	E-222B	E-222B SS	N		Heat Exchanger	R84-ANA-B44995-060-01	DESPROPANIZER REBOILER	S8_Dw1-ASME_B&PV_Code_Section_VII	
JUAYMAH GAS PLANT	R84	E-222B	E-222B TS	N		Heat Exchanger	R84-ANA-B44995-060-01	DESPROPANIZER REBOILER	S8_Dw1-ASME_B&PV_Code_Section_VII	
JUAYMAH GAS PLANT	R84	12-S-2204-3A1C	12-S-2204-3A1C	N		Tube/NS Pipe	R84-ANA-B44995-060-01	E-222A TO FCV-202		
JUAYMAH GAS PLANT	R84	12-S-2205-3A1C	12-S-2205-3A1C	N		Tube/NS Pipe	R84-ANA-B44995-060-01	E-222B TO FCV-217		
JUAYMAH GAS PLANT	R84	9-SC-2204-3A1C	9-SC-2204-3A1C	N		Tube/NS Pipe	R84-ANA-B44995-060-01	E-222B TO D-222B		
JUAYMAH GAS PLANT	R84	D-222A	D-222A	N		Vessel/FinFan	R84-ANA-B44995-060-01	DESPROPANIZER REBOILER S8	S8_Dw1-ASME_B&PV_Code_Section_VII	
JUAYMAH GAS PLANT	R84	D-222B	D-222B	N		Vessel/FinFan	R84-ANA-B44995-060-01	DESPROPANIZER REBOILER S8	S8_Dw1-ASME_B&PV_Code_Section_VII	
JUAYMAH GAS PLANT	R84	8-SC-2203-3A1C	8-SC-2203-3A1C	N		Tube/NS Pipe	R84-ANA-B44995-060-01	E-222A TO D-222A		
JUAYMAH GAS PLANT	R84	4-SC-2208-3A1C	4-SC-2208-3A1C	N		Tube/NS Pipe	R84-ANA-B44995-060-01	D-222B TO LCV-204		

Figura 4. Base de Datos o Spreadsheet.

## Sistematización de la instalación:

El proceso de sistematización de una planta, consiste en la división de una instalación o complejo en unidades menores de proceso que faciliten su análisis y evaluación. La unidad de estudio será el equipo o circuito de tubería de proceso. La sistematización se debe realizar tomando en cuenta los siguientes 2 conceptos:

**Grupos de inventario:** Se define como un grupo de equipos que pueden ser aislados remotamente o no mediante válvulas. Se asume que el inventario total de todo el grupo de inventario está potencialmente disponible para fugar. El concepto del grupo del inventario se utiliza en el cálculo para determinar el área de consecuencias.

Esta metodología busca determinar el máximo inventario disponible para fugar en caso de una falla. Se asume que todo el inventario del grupo está disponible para fugar por cualquiera de los equipos que lo integran en caso de que se presente una fuga de material. En el siguiente figura se muestra un ejemplo del establecimiento de un grupo de inventario.

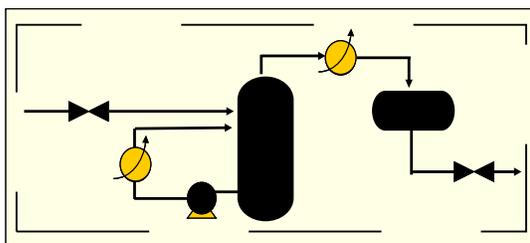


Figura 5. Grupo de Inventario

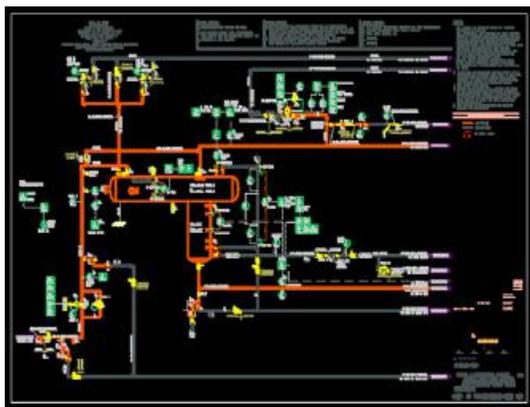


Figura 6. Ejemplo de un Grupo de Inventario.

- Se deberá asumir como dueño del grupo de inventario el equipo estático de mayor relevancia que corresponda.
- Los sistemas de líneas, filtros pequeños generalmente formarán parte de un grupo de inventario nunca generaran nombres del grupo, a excepción de líneas o cabezales principales.
- Los elementos que definirán los límites de los equipos preferiblemente serán, válvulas de bloqueo automáticas, válvulas de bloqueo manuales, válvulas de seguridad y en última instancia válvulas unidireccionales.

**Lazos de corrosión:** Otro de los criterios principales e indispensables para la conformación de los equipos o circuitos es el de los lazos de corrosión, el cual por definición establece que los equipos asociados a un mismo lazo de corrosión presentan materiales, condiciones operacionales y mecanismos de deterioro similares. En el siguiente figura se muestra un ejemplo del establecimiento de un lazo de corrosión.

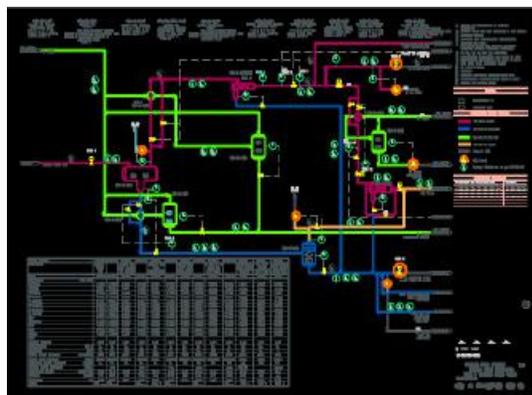


Figura 7. Ejemplo de un Lazo de Corrosion

A continuación se mencionan algunas de las consideraciones para definir o determinar los lazos de corrosión:

- Tipo de componente, ya sea equipo de proceso circuito de tubería.
- Condiciones de operación.
- Tipo de servicio de circuito y/o equipo.
- Materiales de construcción.
- Localización de válvulas de corte o aislamiento.

- Composición química de la sustancia manejada.
- Aislamiento térmico.

En la etapa de diseño de los Lazos de Corrosion se deben identificar y evaluar los mecanismos de daño presentes en los equipos y circuitos de tuberías, para ello es importante apoyarse en la Norma API 571, que nos permite evaluar todos las Variables o Drivers que nos ayudan a establecer si un mecanismo está presente o no. Con la sistematización, cada equipo o circuito de tubería es entonces la unidad de estudio de riesgo y le corresponde un plan de inspección en particular, dependiendo del número y tipo de mecanismos de daño que éste pueda tener. Estos elementos son tratados de manera individual, de modo que cada uno recibe un trato particular y específico.

Otro aspecto importante durante el proceso de sistematización es el establecimiento de una taxonomía para mantener una estructura reproducible, confiable y ordenada que permita identificar a cada uno de los lazos y grupos de inventarios que se han clasificado y numerado de acuerdo a una taxonomía específica para cada caso. Esta taxonomía deberá poseer la siguiente estructura recomendada:

**Nivel 1** » Iniciales IBR, para hacer referencia a un estudio de inspección basada en riesgo.

**Nivel 2** » Iniciales para identificar el tipo de la instalación.

**Nivel 3** » Iniciales para identificar el nombre de la instalación.

**Nivel 4** » Identificación para el nombre de la planta.

**Nivel 5** » Tipo de componente, "c" para circuito de tubería y "e" para equipo de proceso.

**Nivel 6** » Iniciales para el tipo de servicio del circuito de tubería o equipo de proceso.

**Nivel 7** » Número consecutivo para cada nodo.

#### **Validación de la información.**

Es beneficioso para la calidad de un análisis del IBR y de cualquier estudio asegurar que los datos estén actualizados y validados por personas capacitadas en las áreas específicas.

La necesidad de garantizar la información es múltiple, dado que existen documentos, diagramas y planos no actualizados que no reflejan la realidad de la instalación, la falta de trazabilidad de las inspecciones, errores de los inspectores y muchas otras fuentes que pueden afectar negativamente la exactitud de los resultados de este tipo de estudio.

Es por ello que se requiere emplearse esfuerzos orientados a reducir estas fuentes de error, por lo que se ejecutan las siguientes acciones:

- Confrontación física de los diagramas y dibujos.
- Reuniones de validación con los expertos de cada área.
- Comparación entre las magnitudes de las velocidades de deterioro registradas con base en las inspecciones y las esperadas o registradas en la bibliografía o en Instalaciones similares.
- Verificación de las variables operacionales en los cuartos de control.

La actualización de la información se limita a considerar todas las líneas y equipos existentes en las instalaciones y descartar aquellos que han sido retirados de servicio, con el fin de generar los planes de inspección y acciones de mantenimiento acordes a la realidad operacional y evitando generar planes y acciones no necesarias así como el almacenamiento de datos confiables.

#### **Identificación y evaluación de los mecanismos de daño.**

Para analizar el efecto del daño producido durante la operación y la inspección en la probabilidad de la detección de los defectos o fallas se ejecutan los siguientes pasos:

- Se determina la velocidad y severidad del daño.
- Se determina el nivel de confianza en la severidad de los daños.
- Se determina la eficacia de los programas de inspección.
- Se calcula el efecto del programa de inspección en el mejoramiento del nivel de determinación de los daños.

- Se calcula la probabilidad que un nivel dado de daño excederá la tolerancia del daño del equipo resultando en una falla.
- Se calculan los factores de daño.
- Se calcula el factor de daño total para todos los mecanismos de daño.

### Análisis de riesgo

Este análisis está dirigido a equipos, circuitos de tuberías y válvulas, el cual permite determinar el riesgo de acuerdo al estándar de API 581 2DA EDICION SEP-2008. Este riesgo individual permite la planificación de actividades que están dirigidas a la detección de mecanismos específicos de daño.

Este análisis de riesgo se utiliza para obtener una calificación de riesgo de cada equipo de una forma determinística y considerando los criterios de aceptación de riesgos y plan de inspección requerido.

Este nivel de análisis se centra en la estimación de los factores que modifican la frecuencia de fallas y las zonas afectadas por la posible aparición de producto liberado al medio ambiente, como resultado de la pérdida de contención del equipo.

El análisis determina primero un factor que representa la probabilidad de la falla y posteriormente permite valorar un factor para las consecuencias. Ambos se combinan en una matriz de riesgo para establecer el nivel de riesgo del equipo o circuito de tuberías. Los pasos a seguir en el análisis de riesgo son:

### Determinación de la Probabilidad de Falla

*Frecuencia de falla para cada equipo para circuitos de tuberías, tanques, recipientes a presión e intercambiadores:*

Para el cálculo del valor de la frecuencia de falla, se tomará el producto de la frecuencia de falla genérica por el factor de daño, y por el factor del sistema gerencial, según la ecuación 1. De la sección 4 de la práctica recomendada API 581 "RISK BASED INSPECTION TECHNOLOGY". La frecuencia de falla, es expresada en términos de

eventos por año, (eventos/año) como:

$$P_f(t) = gff \cdot D_f(t) \cdot F_{MS} \dots\dots Ec. (1).$$

Dónde:

$P_f(t)$  : Frecuencia de falla del equipo expresada en eventos/año.

$gff$  : Frecuencia de falla genérica expresada en eventos por año.

$D_f(t)$  : Factor de daño.

$F_{MS}$  : Factor del sistema gerencial.

### Frecuencia de falla genérica.

La metodología IBR requiere el uso de la frecuencia de falla genérica, al comienzo del análisis de la probabilidad. La fuente de los datos debe ser elegida de manera que represente las plantas o equipos similares al equipo que es modelado.

La base de datos de las frecuencias de fallas genéricas se basa en una compilación de expedientes disponibles de las historias de la falla de equipos estáticos en operación en diversas plantas petroleras. Las frecuencias de falla genéricas se han desarrollado para cada tipo de equipo y cada diámetro de tubería. Las genéricas son obtenidas para cada tipo de nodo analizado y sus correspondientes modos de falla (fuga ¼", 1", 4" y ruptura).

En caso que no se tenga evidencia de fallas en las instalaciones objeto de estudio se recurrirá a la información genérica presentada en la tabla 4.1 "Suggested Component Generic Failure Frequencies, del API RP 581, Second Edition, Septiembre 2008, la cual se muestra a continuación.

Table 4.1 – Suggested Component Generic Failure Frequencies ( $gff$ ) [1 thru 8]

Equipment Type	Component Type	$gff$ as a Function of Hole Size (failures/yr)				$gff_{max}$ (failures/yr)
		Small	Medium	Large	Rupture	
Compressor	COMPC	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	0	3.00E-05
Compressor	COMPR	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.06E-05
Heat Exchanger	HEXSS	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.06E-05
Heat Exchanger	HEXTS	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.06E-05
Heat Exchanger	HEXTUBE	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.06E-05
Pipe	PIPE-1	2.80E-05	0	0	2.80E-06	3.06E-05
Pipe	PIPE-2	2.80E-05	0	0	2.80E-06	3.06E-05
Pipe	PIPE-4	8.00E-06	2.00E-05	0	2.80E-06	3.06E-05
Pipe	PIPE-6	8.00E-06	2.00E-05	0	2.80E-06	3.06E-05
Pipe	PIPE-8	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.06E-05
Pipe	PIPE-10	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.06E-05
Pipe	PIPE-12	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.06E-05
Pipe	PIPE-16	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.06E-05
Pipe	PIPEGT16	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.06E-05

Tabla 1.- Frecuencias de Falla Genéricas.

En los casos donde se disponga de suficientes datos para un equipo dado, la frecuencia de falla real se podría calcular del historial de fallas observadas reales. Incluso si ninguna falla ha ocurrido en un equipo, se sabe por experiencia que la probabilidad verdadera de la falla es mayor de cero, y que el equipo no ha funcionado suficiente tiempo para experimentar una falla. Las frecuencias de falla genéricas se construyen usando datos históricos de todas las plantas dentro de una compañía o de varias plantas dentro de una industria.

#### **Factor de Daño.**

Son los métodos sistemáticos usados para determinar el efecto de los mecanismos específicos de daño, que afectan la probabilidad de la falla de cada equipo. Estos sub-factores tienen cuatro funciones:

- Mapear los mecanismos de los daños bajo condiciones de funcionamiento normales y extremas.
- Establecer una tasa de daño en las condiciones en las que está operando el equipo.
- Cuantificar la eficacia del programa de inspección.
- Calcular el factor de modificación de la frecuencia genérica.

Estas diferencias son tratadas creando un factor de daño separado para cada mecanismo de deterioro. Para algunos de estos mecanismos, el índice del daño puede ser significativamente mayor a condiciones extremas diferentes a las condiciones normales de operación, tales como variaciones de la temperatura o cambios anormales en las concentraciones de un contaminante particular. Estas condiciones ocurren a menudo durante periodos de cambios operacionales o en los arranques y las paradas de proceso. El factor de daño considera tales condiciones y modifica la frecuencia de la falla.

Los factores de daño se evalúan en dos categorías de la información:

- Índice del daño del material de acuerdo a los materiales de construcción y su eficacia bajo las condiciones en las que opera.

- Efectividad del programa de inspección para identificar los mecanismos de daño activos.

#### **Identificación y evaluación de los mecanismos de daño.**

Para analizar el efecto del daño producido en servicio y la inspección en la probabilidad de la falla se deben ejecutar los siguientes pasos:

- Determinar la velocidad y severidad del daño.
- Determinar el nivel de confianza en la severidad de los daños.
- Determinar la eficacia de los programas de inspección.
- Calcular el efecto del programa de inspección en el mejoramiento del nivel de determinación de los daños.
- Calcular la probabilidad de que un nivel dado de daño excederá la tolerancia del daño del equipo resultando en una falla.
- Calcular los factores de daño.
- Calcular el factor de daño total para todos los mecanismos de daño.

Para los mecanismos de deterioro, los factores de daño establecidos en API RP 581 son los siguientes:

- Adelgazamiento por corrosión/erosión (Presencia de revestimientos internos).
- Agrietamiento por corrosión bajo esfuerzos, SCC (Stress Corrosion Cracking).
- Daño externo.
- Ataque por hidrógeno a alta temperatura, HTHA.
- Fractura frágil.
- Fatiga mecánica, entre otros.

Considerando los mecanismos de daño o de deterioro, se realiza la valoración del daño que puede presentarse en los diferentes equipos, dada la posible existencia de los diferentes mecanismos de daño. Los factores específicos de daño se pueden consultar en la parte 2 del API RP 581, donde se establece la correspondiente evaluación de cada mecanismo que pueda estar presente en el equipo.

Si más de uno de los tipos generales de daño está potencialmente presente, los factores de daño individuales deben ser sumados, tal como se indica en la ecuación 2:

$$D_{f-total} = D_{adslg} + D_{dext} + D_{scc} + D_{htha} + D_{fractf} + D_{fatm} \dots Ec. (2).$$

Se desarrollara el flujograma de toma de decisiones, y la información de proceso y mantenimiento, empleada para determinar el tipo de mecanismo de daño presente en cada equipo. Los aspectos teóricos y detalles de cada mecanismo de daño están especificados en la práctica recomendada API-571 "DAMAGE MECHANISMS AFFECTING FIXED EQUIPMENT IN THE REFINING INDUSTRY".

### Cuantificación de la eficacia del programa de inspección.

Se determinan que técnicas de inspección son más recomendables con respecto a los mecanismos de daño identificados y a la efectividad de la inspección como medida de la capacidad de cada técnica de inspección o ensayo no destructivo, para detectar el mecanismo de daño que se puede presentar. Para fines de la presente metodología la efectividad de la inspección consiste de cinco categorías, las se indican en la siguiente tabla:

EFFECTIVIDAD DE LA INSPECCIÓN	DESCRIPCIÓN
Altamente efectiva	Los métodos de inspección identificarán correctamente el estado real de los daños en casi todos los casos (confiabilidad del 80 al 100%).
Usualmente efectiva	Los métodos de inspección identificarán correctamente el estado real de los daños en casi todos los casos (confiabilidad del 60 al 80%).
Regularmente efectiva	Los métodos de inspección identificarán correctamente el estado real de los daños en casi todos los casos (confiabilidad del 40 al 60%).
Pobremente efectiva	Los métodos de inspección identificarán correctamente el estado real de los daños en casi todos los casos (confiabilidad del 20 al 40%).
Inefectiva	Los métodos de inspección no identifican correctamente el estado real del daño y se considera inefectivo para identificar el mecanismo de daño efectivo (confiabilidad menor al 20%).

Tabla 2.- Cuantificación de la técnica de inspección.

### Factor del Sistema Gerencial

Para la evaluación del sistema gerencial de seguridad de proceso, se seguirá los pasos del

anexo 2.a. del API 581 que evalúa los siguientes parámetros:

- Liderazgo y administración.
- Información de seguridad de procesos.
- Análisis de peligros de proceso.
- Manejo del cambio.
- Procedimientos operacionales.
- Prácticas de trabajo seguro.
- Entrenamiento.
- Integridad mecánica.
- Revisión de seguridad pre -arranque.
- Respuesta a emergencias.
- Investigación de incidentes.
- Contratistas.
- Auditorias.

Los resultados de este análisis serán presentados en un gráfico tipo "araña" similar al que se muestra en la siguiente figura:

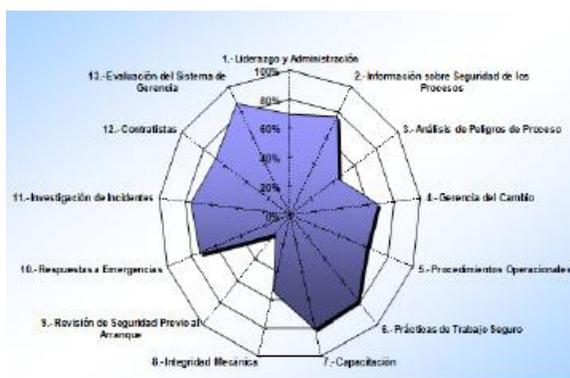


Figura 8. Factor Gerencial

Continúa en la próxima edición

AUTORES:

Materán L. Elisaúl de J.  
Rojas M. Elimar A.  
Gutierrez U. Edwin E.  
Hernandez M, José A.



  
**COLAGA**

III CONGRESO LATINOAMERICANO  
DE GERENCIA DE ACTIVOS **2014**

 @colaganet  
@avepmco

Hotel Maremares  
Lechería- Edo. Anzoátegui  
Venezuela

### Mejores Expositores en:

- Confiabilidad Humana
- Eficiencia Energética
- Impacto Ambiental
- Estándares Industriales
- Tecnologías de Inspección
- Confiabilidad Aplicada
- Mantenimiento y Cuidado de Activos



### III Congreso Latinoamericano de Gestión de activos en Oriente

La Asociación Venezolana de profesionales de mantenimiento y confiabilidad, (AVEPMCO) organiza la tercera edición del Congreso Latinoamericano de gestión de activos, en esta oportunidad el oriente del país, específicamente, la ciudad de Lechería en el estado Anzoátegui, será la sede por segunda vez de este evento, que reúne a ingenieros y técnicos nacionales e internacionales.

La actividad está programada del 29 al 31 de octubre del año en curso, distribuidos en talleres técnicos y dos días de conferencias, con la participación de 13 ponentes, quienes darán a conocer las últimas tendencias en áreas como: Gestión de mantenimiento y cuidado de activos, estrategias de confiabilidad, estándares industriales, técnicas de inspección, metodologías de análisis de fallas, confiabilidad humana entre otros.

Es importante destacar, que este congreso también ofrece a sus participantes la posibilidad de exponer sus casos de éxitos, expandir su red de contactos, codearse con profesionales nacionales e internacionales y certificarse como profesional del mantenimiento y la confiabilidad (CMRP). Esta tercera edición, contará con una exhibición comercial de productos y servicios, donde se podrán observar los últimos avances en el ramo de mantenimiento y gestión de activos.

Para obtener mayor información relacionada con el III Congreso Latinoamericano de Gestión de Activos, puedes comunicarte a través de la página [info@avepmco.com.org](mailto:info@avepmco.com.org), [info@colaga.net](mailto:info@colaga.net), [@avempco](mailto:@avempco) y a los teléfonos 0414 817 41 80.



### Mobius Institute dictará curso de Análisis de Vibraciones Mecánicas

Del 4 al 8 de agosto en la ciudad de Monterrey, México, Mobius Institute dictará el Curso de Análisis de Vibraciones Mecánicas, en donde además certificarán a los participantes en la norma ISO 18436-2 y ASNT, nivel 1.

El curso cubrirá aspectos como entrenamiento teórico y práctico bajo normativa ASNT, Curso de teorías tripartitas Mobius institute, Vibrations Institute y Universidad Concepción; un instructor Nivel-4 (ISO 18436-2) con 20 años de experiencia; manuales de entrenamiento individuales, guía de bolsillo y Pat-Mouse, material electrónico adicional para el nivel 2, respaldo de Certificación ISO 18436-2 Vibrations Analyst Level-I by Mobius Institute, entre otros.

El costo del curso tiene un valor de \$ 1,650 Dlls. US, y para mayor información consultar a través de los correos [jmartinez@confiabilidadmx.com](mailto:jmartinez@confiabilidadmx.com), [manguiano@confiabilidadmx.com](mailto:manguiano@confiabilidadmx.com).

# NOTA DE PRENSA



## XI Aniversario de E&M Solutions: el buen hacer al servicio de la producción

La empresa especialista en Mantenimiento Predictivo y Gestión de Activos, luego de once años de fundada, sigue apostando por el éxito y la productividad. Directivos y empleados celebraron estos años de éxitos con una apretada agenda de actividades en la semana de su aniversario, que incluyó la presentación de su nuevo logo.

(Prensa E&MS) Once años de trabajo sostenido y éxitos probados en el mercado nacional internacional celebró la empresa E&M Solutions, dedicada a proveer soluciones especializadas de Ingeniería para el área de Mantenimiento Predictivo y Gestión de Activos. Esta empresa de factura venezolana se ha expandido a otros países como México y España, desde donde ofrece sus servicios a las industrias energética y siderúrgica, consolidándose como una de las más confiables en el ramo de Mantenimiento Predictivo.

La cadena de éxitos de E&M Solutions viene precedida de su activo más importante: su gente. Un equipo de más de 100 profesionales altamente calificados y certificados internacionalmente han convertido a E&M Solutions en una empresa sólida, competitiva y en constante crecimiento, que ofrece soluciones en las áreas petrolera, gasífera, petroquímica, de generación de potencia, vidrio y siderúrgica, en Iberoamérica y El Caribe. El programa concebido para la celebración incluyó la Misa de Acción de Gracias, el brindis y el acto de presentación de la nueva imagen corporativa de la empresa.

De esta forma, la empresa y su personal renuevan su compromiso de seguir trabajando en pro de la calidad y el buen servicio al cliente, continuando con una mística de trabajo que permitirá a E&M Solutions crecer y permanecer en el tiempo. Los detalles de los servicios que presta e historial de la empresa están al alcance del público en [www.eymsolutions.com](http://www.eymsolutions.com).



La Misa de Acción de Gracias, efectuada en la sede de la empresa, con la participación de todo el personal.



Directivos de la empresa brindan por once años de éxito, apoyados en el esfuerzo continuo y el trabajo comprometido.



## Alfredo Hernández Rafalli: Cámara Petrolera de Venezuela apuesta por la integración

*El actual presidente de la Cámara Petrolera de Venezuela, quien está a punto de culminar su mandato, hace una reflexión sobre las urgencias más inminentes de la industria petrolera nacional y su papel en el continente, que pronta a cumplir su primera centuria se adentra en el siglo XXI con necesidades puntuales de mantenimiento e inversión.*

“El tema del mantenimiento y gerencia de activos merece verdadero realce y empuje en el país. La realidad nacional así lo demuestra”. Con esta frase, Alfredo Hernández Rafalli, presidente de La Cámara Petrolera de Venezuela, da inicio a esta entrevista, que concede a Predictiva21 desde la oficina principal de este organismo, en la ciudad

de Caracas. Para Hernández Rafalli, que dentro de poco culminará su período al frente de este importante organismo, el éxito de la industria nacional pasa por las capacidades de diálogo y la resolución de las necesidades de inversión que registra el parque industrial petrolero venezolano.

1

**P21: Usted está a punto de culminar su período como presidente de la Cámara Petrolera de Venezuela. ¿Cómo podría definir su gestión y cuáles fueron sus mayores logros al frente de este organismo?**

*Alfredo Hernández Rafalli: Creo que nuestro principal logro se centra en haber concretado un acercamiento, un encuentro real, entre nuestro principal cliente, nuestra principal industria, que es Pdvsa, con todas las empresas que son miembros de la Cámara Petrolera de Venezuela, y también más allá de nuestros afiliados. Como organismo, logramos propiciar este encuentro con Pdvsa, para lo cual programamos unas siete visitas a las diversas instalaciones de la industria. El primero fue en Cumaná, estado Sucre, en donde hicimos un primer encuentro para ver todo potencial del negocio Costa Afuera, así como toda la demanda de órdenes y servicios que tiene planteada la industria para los próximos años. También estuvimos en el estado Zulia, analizando todo el tema operacional. Zulia, por ser uno de los centros operacionales más antiguos del país, requiere especial atención en el tema de la gerencia de activos, mantenimiento y confiabilidad operacional. Posteriormente estuvimos en Falcón, en donde tuvimos una excelente jornada con todo lo que es el tema de refinación. En esta fase de visitas también fuimos al estado Anzoátegui, para analizar el tema del negocio del gas y la refinación, muy proclives en esa zona. En el estado Monagas, en la ciudad de Maturín, hicimos un extraordinario encuentro entre Pdvsa y sus empresas filiales con todo lo que es el sector conexo público y privado; para luego concluir este itinerario de visitas con dos jornadas de trabajo y encuentro en Puerto Ordaz. Creo que es uno de nuestros logros más significativos, porque en cada uno de esos encuentros hubo una participación muy importante del sector productivo conexo, de cara a todos los actores principales de Pdvsa, sus empresas filiales y sus socios internacionales.*

El presidente de este importante organismo dentro de la dinámica económica nacional explica que uno de los propósitos fundamentales de la Cámara es crear condiciones para mayor participación de las empresas nacional, en mejores términos de negociación. Asimismo, estima que el apoyo del sector industrial privado al holding estatal es lo que permitirá resolver todos los puntos revisados en los siete encuentros efectuados en las áreas petroleras del país. *“Este consenso nacional alrededor de nuestra industria es lo que permitirá atender todos los requerimientos de Pdvsa, los servicios que necesitan en cada uno de los negocios que manejan, y con ello modificar la ecuación de suministro que tiene Pdvsa, o que tenía el año pasado. Esta ecuación seguirá evolucionando, hasta que sean las empresas venezolanas los principales satisfactores de las necesidades creadas por Pdvsa en cada uno de sus ciclos de negocios”* –acota Hernández Rafalli.

**P21: En este marco de encuentro entre la Cámara Petrolera y el holding estatal ¿hacia dónde cree usted que se encamina este encuentro? ¿Cuál será el próximo paso a seguir?**

*AHR: Creo que aquí hay varias vertientes que tienen que continuar transitándose. La primera es el tema de atención de la infraestructura que está instalada en la industria petrolera venezolana, que no es poca cosa. Realmente la infraestructura petrolera que existe en el país es de una gran envergadura, e incluye elementos como oleoductos, estaciones de flujo, plantas compresoras de gas, en fin, toda una infraestructura montada en el país que es realmente importante, y esa infraestructura hay que atenderla, con procesos de mantenimiento que deben garantizar la integridad operacional y el ciclo de vida útil para el cual están diseñadas. Por otro lado, y justamente el próximo mes de julio, celebramos el centenario de la explotación petrolera en Venezuela, y uno de los elementos es que, si uno revisa la historia, verifica las dificultades que hubo en su momento para montar toda esa infraestructura que marcó el inicio de la industria en el país. Hoy en día, tenemos un gran desafío por delante: el desarrollo de la Faja Petrolífera del Orinoco. Como Cámara Petrolera estamos acompañando al ministro Ramírez en este emprendimiento, inmensamente grande, que se está tratando de llevar a cabo. Es un gran reto montar toda la infraestructura de producción para que esas reservas, que están certificadas y que nos colocan a la vanguardia en el ámbito de los hidrocarburos a nivel mundial, podamos realmente concretarlas y hacer presente las estimaciones que Pdvsa y el Ministerio han hecho de producción en la Faja. Necesitamos una gran logística, necesitamos inmensos volúmenes de inversión de capital para poder armar toda la infraestructura y facilidades de producción, y sobre la marcha mantener toda esa infraestructura desde el mismo día que arranquen.*

2

3

**P21: ¿Cómo hacer para atraer al país ese gran volumen de inversión, en el marco de América Latina y los demás países, que están inscritos en el negocio, petrolero cómo se involucrarían? ¿Cuál es su visión de conjunto?**

*AHR: En materia de inversión vemos muy frecuentemente la firma de acuerdos muy importantes. Hace tres semanas, en el Zulia, se firmaron tres acuerdos con las tres mayores empresas de servicios del mundo: Schlumberger, Halliburton y Weatherford, por 2 mil millones de dólares. Con este acuerdo, estas empresas seguirán prestando servicios a Pdvsa. Asimismo, también se suscribieron acuerdos muy importantes entre Pdvsa y Rusia, y otros acuerdos con ENI de Italia y con Repsol de España, concerniente a la explotación del gas en el Proyecto Cardón IV. De modo que estamos haciendo lo adecuado, en materia de estructuración de financiamiento, aplicados efectivamente al destino que está definido y con eso vamos a lograr los niveles de producción que están previstos en el plan Siembra Petrolera. Creo que Pdvsa está siguiendo apropiadamente los procedimientos para la inversión internacional, y lo está logrando con éxito.*

4

**PP21: En materia de formación y competitividad internacional, ¿cuáles son los planes inmediatos de la Cámara para dar a conocer la nueva norma ISO 55000, y la forma en que sería implantada dentro del país?**

*AHR: Uno de los propósitos básicos de la Cámara Petrolera es el tema de formación y capacitación. Es un valor agregado que nosotros generamos a nuestros afiliados, por lo cual siempre estamos interesados en organizar cursos y promover la preparación y actualización de nuestros miembros. Con respecto a los temas de calidad, que forman parte de una dinámica mundial continua, la Cámara Petrolera de Venezuela apoya la divulgación y conocimiento de las mismas, prestando toda nuestra estructura institucional para lograr este cometido. De modo que los capítulos de la cámara están en las zonas petroleras son objeto de programaciones de este tipo, dado que es muy conveniente que todos tengamos la oportunidad de renovar nuestros aspectos técnicos con respecto a la vanguardia mundial.*

**IV Congreso Integral de Hidrocarburos y XXIV Exposición Latinoamericana del Petróleo**

Bajo el slogan “Centenario de la Era Petrolera en Venezuela”, la Cámara Petrolera realizará del 1 al 3 de julio de este año el IV Congreso Integral de Hidrocarburos, que tendrá lugar en el Hotel Crowne Plaza Maruma, en Maracaibo. Este evento cuenta con el apoyo institucional de Petróleos de Venezuela, y ya se ha confirmado una amplia participación de empresas internacionales.

**P21: El Congreso de Hidrocarburos se ha convertido en un evento tradicional y de corte inclusivo para la Cámara Petrolera. ¿Cuáles son las expectativas con respecto a esta IV Edición?**

*AHR: Sin duda es un evento muy importante. Esperamos contar con una amplia participación. Paralelo al Congreso, estaremos realizando también la XXIV Exposición Latinoamericana del Petróleo, LAPS 2014, que tendrá lugar en esa misma fecha, en el Palacio de los Eventos del Estado Zulia, en la ciudad de Maracaibo. Contaremos con la participación del Ministro de Energía y Petróleo y Presidente de Pdvsa, Rafael Ramírez; así como la presencia de grandes empresas internacionales presentes en el país, delegaciones de países como Argentina, Colombia, Ecuador, Bolivia, todo esto procurará un intercambio muy interesante. Vale destacar que en el marco de este evento el año pasado firmamos el Acta de Constitución de la Confederación de Cámaras Petroleras de Latinoamérica, y estamos por confirmar la participación de México. De manera que, en este espacio de encuentros, abordaremos tópicos de especial interés para todo el continente, todo lo relacionado con la industria petrolera venezolana, las experiencias de empresas nacionales e internacionales y por supuesto todo lo que es el último acontecer de nuestra industria petrolera a cargo del ministro, a cargo de los principales expositores de nuestra industria petrolera, de Pdvsa y de los gobiernos regionales. De modo que aprovecho la oportunidad para invitar a que participen en ese evento, que tendrá un gran impacto, y que permitirá tratar temas de cooperación y negocios que son importantes para todos.*

5

AUTOR:  
Alimey Díaz Martí

FOTOGRAFÍA:  
Cortesía Cámara Petrolera

**Del 1 al 3 de Julio**  
Hotel Crowne Plaza Maruma  
**Maracaibo - Venezuela**



## **IV CONGRESO INTEGRAL DE HIDROCARBUROS**

**“Centenario de la Era Petrolera de Venezuela”**



+58 212 794 1222  
+58 212 794 1352

@CamaraPetrolera

eventos@camarapetrolera.org



# ¡Muéstrame El Dinero!

Soy un gran aficionado a las películas. Algunas de ellas tienen frases que se han convertido en famosas. Una de ellas es “¡Muéstrame el dinero!” (Show me the money!) del film “Jerry Maguire”.

En breve, Jerry Maguire (Tom Cruise) ha sido despedido de su trabajo como agente deportivo y está tratando desesperadamente de conservar a sus clientes. Los va perdiendo uno por uno y su última esperanza es Rod Tidwell (Cuba Gooding Jr.), jugador de la NFL. Rod prueba la resolución de Jerry en una larga conversación telefónica, la cual culmina con la referida frase de Rod hacia Jerry: “¡Muéstrame el dinero!”.

Algunas veces vamos con una idea hacia los directivos de la compañía que probablemente puedan no ser expertos en el campo de confiabilidad y ellos quieren saber cuál es el beneficio que este asunto llamado “estudio de confiabilidad” traerá a la organización. En otras palabras es como si ellos nos preguntaran al igual que Rod Tidwell: ¡Muéstrame el dinero!. La situación que viví años atrás en una

operación minera, me recordó esta frase.

Fue en la planta concentradora de minerales de la mina Quiruvilca, ubicada a 3700 metros de altura, a 140 km de la ciudad de Trujillo que a su vez está ubicada a 500 km al norte de Lima, la capital del Perú. Los productos finales de esta mina son concentrados de zinc, cobre y plomo con contenidos de plata. La capacidad máxima diaria de procesamiento era de 2300 TM.

En esta planta entre las máquinas de flotación y las bombas de mineral hay un total de 162 transmisiones mecánicas por fajas en V. Habíamos notado el cambio frecuente de fajas en V en las transmisiones entre motores eléctricos y equipos conducidos.

Por ello, decidimos evaluar una muestra de siete bombas (4,3% del total de transmisiones) en un plan piloto. Registramos el MTBF durante un período de tres meses para las transmisiones de las bombas seleccionadas. La tabla siguiente muestra el MTBF encontrado para el grupo de transmisiones objeto del estudio

Tabla 1

	<b>Bomba</b>	<b>Faja</b>	<b>MTBF</b>	<b><math>\lambda = 1/MTBF</math></b>
1.	Denver 5x4, 2do. Acondicionador Zn	B56	410	0,0024
2.	Denver 6x6, Derrames Cu/Pb	B52	390	0,0026
3.	Ash 5x4, Retorno celda OK-16	B55	380	0,0026
4.	Denver 3x3, Derrames Zn	B57	360	0,0028
5.	Denver 6x6, 1er. Acondicionador Zn	B48	350	0,0029
6.	Denver 3x3, 2da. Limpieza <sup>nd</sup> Cu/Pb	B49	336	0,0030
7.	Fima 2 ½ x 48, 1ra. Limpieza Cu/Pb	B37	100	0,0100

Como observamos en la tabla precedente, las transmisiones por fajas en V tenían una performance paupérrima. En el extremo más bajo teníamos una transmisión cuyas fajas duraban solo 100 horas, es decir un MTBF de 100 horas. La mejor de las transmisiones mostraba un MTBF de 410 horas.

Mirando a la última columna de la tabla, el ratio de falla ( $\lambda$ ) era muy alto entre 0,010 h-1 and 0,0024 h-1. Consultando valores en la literatura técnica para este ratio, encontramos que el ratio de falla  $\lambda$  para estas transmisiones podía estar entre  $20 \times 10^{-6}$  h-1 (mejor) and  $80 \times 10^{-6}$  h-1 (peor). Nuestro mejor ratio de falla  $\lambda$  era 120 veces mayor que el mejor estándar.

Hicimos luego algunos cálculos de confiabilidad. Usando el rango aleatorio de la distribución de confiabilidad:

$$R(t) = e^{-\lambda t} = \exp(-\lambda t)$$

Y el mejor ratio de falla  $\lambda$  encontrado (0,0024 h-1) para la bomba Denver 5x4 del 2do. Acondicionador de Zn. Teníamos que la función de confiabilidad para esta transmisión era:

$$R(t) = e^{-0,0024t} = \exp(-0,0024t)$$

Por ejemplo para  $t = 400$  horas la confiabilidad era de 0,38%, en otras palabras la probabilidad que esta transmisión alcance las 400 horas de operación era solamente de 38%. Realmente malo, teníamos entonces una oportunidad de mejora.

La tarea era encontrar las condiciones anómalas que ocasionaban el bajo MTBF de las transmisiones por fajas.

En lo que concierne a las fajas en V, observamos lo siguiente:

- Inadecuadas condiciones de almacenamiento
- Uso de tres números consecutivos de faja en el mismo equipo.
- Montaje subestándar de las fajas, sin desplazar las poleas sino estirando la faja con

una herramienta.

- Falta de un plan de inspección de transmisiones para verificar desalineamiento y desgaste.
- Cambio repetitivo de fajas sin revisar las causas ni los parámetros operativos.

En lo que concernía a las poleas, su condición era uno de los puntos más críticos. Extendimos nuestra inspección a 40 poleas. Encontramos lo siguiente:

- Poleas con diámetros por debajo del estándar
- Poleas con más canales de los requeridos
- Falta de correspondencia entre los perfiles de la polea y la faja usada
- Desgaste excesivo de los canales de las poleas

La figura siguiente muestra estos resultados:

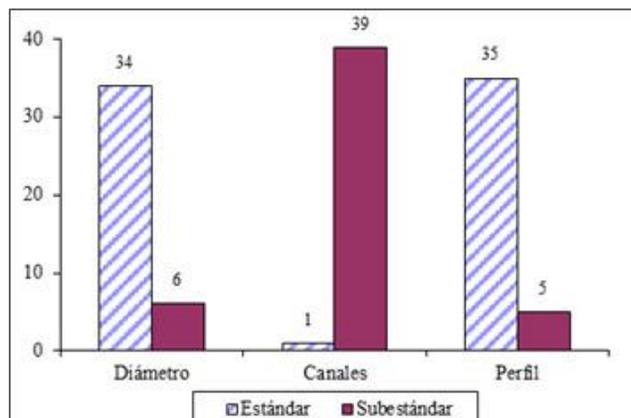


Figura 1

Como se observa seis poleas tenían diámetros por debajo del estándar. Sabemos que esto causa resbalamiento y fuerzas excesivas sobre la faja.

Algo que llamó la atención fue que la mayoría de las poleas instaladas tenían más canales de los necesarios. Probablemente el diseñador sobredimensionó la transmisión o cuando se requirió reemplazar una polea desgastada se usó la que estaba a mano en lugar de la polea correcta.

Finalmente, encontramos que cinco poleas de sección B usaban fajas de perfil A.

Luego medimos el desgaste de los canales de las poleas, resultados que se muestran en la figura 2. Figura 2

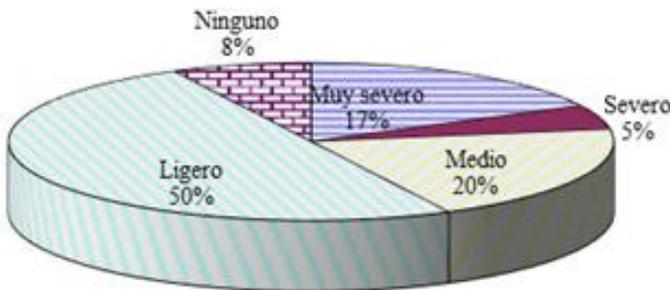


Figura 2

Un 42% de las 40 poleas inspeccionadas tenían desgaste en sus canales que iba de medio a muy severo, con las consecuencias sobre la vida de las fajas y la transmisión también. Consecuentemente, con la situación descrita y los resultados que encontramos desarrollamos un plan de mejora.

**Condiciones de almacenamiento**

Consultamos con uno de nuestros proveedores de fajas acerca de las condiciones óptimas para almacenar las fajas a fin de conservar sus características. Para seguir estas recomendaciones, preparáramos cilindros de PVC para ser usados como soporte para colgar las fajas y reemplazar los clavos donde previamente eran colgadas. Los diámetros de los cilindros fueron determinados acorde con el espesor de las fajas en V. El diámetro del cilindro donde la faja reposa debía ser al menos diez veces el espesor de la faja en V. Cuando las fajas eran apiladas, la altura de apelación no debía ser superar los 300 mm. El tipo de luces en el almacén también fue cambiado, evitando las que tiene un alto contenido ultravioleta.

**Calidad de las fajas**

Determinamos que había tres marcas con las características estándar que satisfacen el estándar de la Rubbers Manufacturers Association (RMA) que recomienda a las tolerancias de fabricación para fajas. Dos de las marcas que escogimos tenían tolerancias más exigentes que las de la RMA. Esta tolerancia está

marcada sobre la faja con un código particular. El uso de este tipo de fajas nos permitió formar juegos arbitrarios de fajas y garantizar la distribución uniforme de la carga, operación suave y una performance mejorada.

**Estandarización de fajas**

Seguidamente, hicimos un inventario de las fajas usadas en la planta. Encontramos que el número de tamaños en uso podía ser reducido con una apropiada regulación de la distancia entre centros y acabando con el mal hábito de usar números consecutivos. Los números de fajas en uso fue reducido de 46 a 38.

**Verificación del cálculo de la transmisión**

Luego procedimos a verificar el cálculo de la transmisión en lo referente a potencia y velocidad.

**Balace de poleas**

Solicitamos diez nuevas poleas para reemplazar aquellas con el desgaste más severo. Para ello consultamos el gráfico de la figura siguiente para definir si las poleas a usar requerían ser dinámicamente balanceadas o un balanceo estático era suficiente. De acuerdo con la velocidad de operación de la transmisión requeríamos que estuvieran dinámicamente balanceadas.

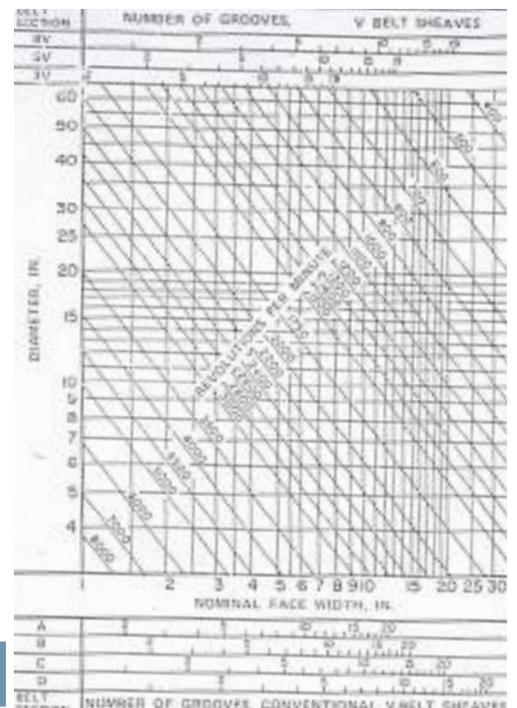


Figura 3

**Verificar la tensión de la faja**

Adquirimos dos medidores de tensión de fajas, uno de tensión simple y otro de doble barril. Iniciamos un programa de verificación de

transmisiones, dimos la tensión necesaria a las fajas en operación y a los nuevos montajes.

### Alineamiento

Verificar y corregir el alineamiento fue otra tarea obligatoria a fin de mejorar la performance de la transmisión. Las nuevas poleas fueron montadas siguiendo las siguientes recomendaciones y tolerancias. La primera verificación fue la excentricidad de los ejes. Esta debía ser menor que  $\pm 0,08$  mm (0,003"), lo cual debía ser verificado en el borde externo de las poleas también. No hacerlo implicaba que la faja quede libre en la posición de las tres horas y tensa en la posición de las nueve horas. Luego verificamos la soltura de los pernos la cual debía estar por debajo de 0,05 mm (0,002").

Finalmente revisamos el desalineamiento paralelo y angular. El desalineamiento total recomendado estaba debajo de  $0,5^\circ$ . Las fajas en V individuales pueden tolerar hasta  $6^\circ$  de desalineamiento total, pero mantenerlo por debajo de  $0,5^\circ$  extenderá su vida útil. Después de todas estas mejoras, medimos nuevamente el MTBF y encontramos lo que se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 2

Bomba	MTBF	$\lambda = 1/MTBF$
Denver 5x4, 2do. Acondicionador Zn	2688	0,0004
2. Denver 6x6, Derrames Cu/Pb	1568	0,0006
3. Ash 5x4, Retorno celda OK-16	2352	0,0004
4. Denver 3x3, Derrames Zn	2904	0,0003
5. Denver 6x6, 1er. Acondicionador Zn	896	0,0011
6. Denver 3x3, 2da. Limpieza <sup>nd</sup> Cu/Pb	2688	0,0004
7. Fima 2 1/2 x 48, 1ra. Limpieza Cu/Pb	672	0,0015

Si comparamos las tablas 1 y 2 encontramos que en el mejor caso multiplicamos ocho veces el MTBF de la transmisión y en el menor favorable lo incrementamos 2,6 veces. En promedio para esta muestra, obtuvimos un incremento de seis veces del MTBF. Ahora para la bomba Denver 5x4 del 2° acondicionador de Zinc, la que tenía el más bajo ratio de falla  $\lambda$  (0,0024 h<sup>-1</sup>) antes de los cambios, su nuevo ratio de falla fue de 0,0004. Así la nueva función de confiabilidad para esta transmisión era:

$$R(t) = e^{-0,0004t} = \exp(-0,0004t)$$

Ahora para  $t = 400$  horas teníamos una Confiabilidad de 85%, en otras palabras la probabilidad que la transmisión alcanzara las 400 horas de operación sin fallar era ahora de 85%, antes era 38%, nada malo.

### Evaluación económica

Hasta ahora, solo hemos hablado de ratios de fallas, MTBF, confiabilidad, alineamiento, etc. Ha llegado el momento de hablar de lo que el título de este artículo menciona, mostrar el dinero.

El gasto en fajas en V para estos equipos antes de las mejoras era en promedio US\$ 1112 mensuales. Después de este plan piloto, el gasto cayó a US\$ 824, una disminución del 25%. Adicionalmente a esta reducción en el gasto, encontramos que la mejor performance de las transmisiones también se veía reflejada en la corriente absorbida por los motores eléctricos. El consumo de energía se redujo en 4 MWh mensual lo que representaba alrededor de US\$ 200. La inversión en nuevas poleas, los medidores de tensión y el trabajo del personal de mantenimiento representaron US\$ 800. Tomando en cuenta que los ahorros en fajas y en energía representaban US\$ 488 por mes y calculando el TIR, este era de 61%. Una tasa de retorno realmente atractiva.

Ahora, nuestra solicitud inicial: "¡Muéstrame el dinero!" ha sido satisfecha. El plan piloto implementado ayudó a extender este pan de mejora a otros equipos, sabiendo que el beneficio económico está asegurado. Si no la han visto aún, échenle una mirada al film Jerry Maguire, donde de paso también podrán admirar la actuación de Renée Zellweger. Espero les guste.

AUTOR:

Víctor D. Manríquez

Ingeniero Mecánico, CMRP  
 MSC Energías Renovables  
 Ingeniero de Confiabilidad – Stork Perú SAC  
 Docente IPEMAN  
 vmanriquez62@yahoo.es  
 Lima, Perú

# TONY CREASE: La razón y la pasión

Este experto petrolero se califica a sí mismo como un aventurero perfeccionista. Luego de largos años en la industria petrolera, Crease vivió en la Gran Sabana, en Venezuela, en donde nació su gusto por la observación de aves, actividad que lo llevó a interesantes descubrimientos. En esta entrevista, Crease, considerado una autoridad mundial en ingeniería de confiabilidad y turbomaquinaria, revela conmovedores aspectos de su vida, en donde se han entrelazado la rigurosidad científico-técnica con un sentido nato de la aventura de vivir, como prueba incontestable de que el hombre se encuentra a sí mismo al navegar entre la razón y la pasión.

*“Me llevó al río, me enamoré, y en ocho meses estaba casado y con tres hijastros”.*

Así resume Tony Crease el inicio de uno de los capítulos más hermosos e intensos de su vida: su matrimonio con Rita (suiza de nacimiento) en tierras venezolanas, una larga y prolífica historia de amor que comenzó en La Gran Sabana. La vida de Tony, signada por su trabajo en la industria petrolera nacional e internacional, ha estado matizada por toda suerte de coloridas pinceladas, debido a su espíritu aventurero y su curiosidad por la vida misma. Esta entrevista tiene lugar horas previas a la partida del matrimonio Crease al sur de España, cerrando así su etapa en Venezuela y dejando una estela de buenos amigos y mejores recuerdos.

Anthony Crease nació en Gran Bretaña y pasó parte de su infancia en Gales. Se graduó con honores en Ingeniería Mecánica en 1966, y trabajó un par de años en varias dependencias de la compañía English Electric. Luego de realizar una Maestría en Tribología, de la cual también se graduó con máximo honores, se inició como primer asociado de Michael Neale, consultor en Tribología, para convertirse más adelante en Presidente de la Institución de

Ingenieros Mecánicos de Inglaterra. Tony describe esa etapa como “muy interesante, llena de retos profesionales”. Diez años después, Tony se fue a trabajar a la industria petrolera en Irán, poco antes de que estallara la revolución iraní, que desembocó en el derrocamiento del Shah Mohammed Reza Pahlavi y la consiguiente instauración de la República Islámica. A finales de diciembre de 1978, Crease fue evacuado de Irán con 5000 personas más. Pese a esta experiencia extrema, Tony reconoce que para esa época ya había adquirido el gusto de trabajar en la industria petrolera, de modo que en 1979 aceptó trabajar para la Gerencia de Ingeniería General de Lagoven, en Maracaibo, Venezuela, atraído también por “un gran interés en América del Sur, sus ambientes selváticos y su naturaleza exuberante”. Piloto de avionetas y planeadores (con clasificación dorado y tres diamantes), escalador de rocas y montañas, ocasional viajero en autostop, amante de la naturaleza, y experto en equipos rotativos, Tony encontró en Maracaibo el hábitat natural de todos sus sueños de aventura y sus anhelos de explorador. Entró a trabajar en la sección de Equipos Rotativos en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo, abriendo así un interesante, rico y colorido período profesional y personal.

**P21: ¿Cómo fue ese primer acercamiento a la industria petrolera venezolana, y a la vida en el país, tan diferente de su Inglaterra natal?**

**Anthony Crease:** *Me encantaron los venezolanos, y en especial los maracuchos. No me importaba el clima fuerte (refiriéndose al calor habitual de Maracaibo, que promedia los 30°C), y trabajé duro para aprender el castellano e integrarme a la vida de los venezolanos. Además, me gustó mucho la naturaleza del lugar: el Lago, la playa de Lagoven, la Sierra de Perijá y Los Andes, en donde conocí pueblitos bellos, los bosques de araguaneyes, los litorales de cardones... Me gustaba dormir en hamacas, jugar bolas criollas y perfeccionar el manejo de mi velero Sunfish en el lago.*

*Cuenta Tony, en un delicioso español con sintaxis anglosajona, que en unas vacaciones en el año 1981 visitó por primera vez la Gran Sabana y la población de El Paují. Quedó prendado de la belleza del sitio. La narración de su llegada a La Gran Sabana tiene, como firma personal de Crease, el color de la aventura.*

*AC: Conseguí un permiso de la empresa por tres meses. ¡Probablemente los mejores tres meses de mi vida! La Sabana fue increíble para mí. Logré llegar en mi Ford Fairmont y el puente de madera del pueblo cayó atrás de mí, después de un largo aguacero. En El Paují encontré a Rita. Me llevó al río, me enamoré y en ocho meses estaba casado y con 3 hijastros. Subí al Roraima (emblemático tepuy de La Gran Sabana, N. de A.) con mis hijastros, y luego fui dos veces más.*

**P21: ¿Cuáles fueron los principales retos que encontró en su trabajo en el Lago de Maracaibo?**

*AC: En el trabajo me esforcé. Mucho. Me encontré con un problema muy grave con un tipo de planta de compresión de gas en el Lago. Había como seis plantas de este tipo, y presentaban problemas de inestabilidad de los rotores, lo cual causaba vibración excesiva y dañaba los rotores inmediatamente. Algunas de estas plantas no habían trabajado en ocho meses, con un altísimo costo asociado. Concluimos que el problema se debía a fuerzas desestabilizantes en los sellos de gas e insuficiencia de estabilidad en los cojinetes de los rotores, que trabajaban a velocidades por encima del doble de su velocidad crítica. Los problemas de las plantas se debían también a fallas en el diseño (un concepto bastante novedoso para su época), solo recién descubierto en diferentes partes del mundo, y pudimos convencer al fabricante de cambiar los rotores de alta presión por otros más rígidos y con una velocidad crítica mayor. Fue, además, un problema de Tribología (la ciencia que estudia la fricción, lubricación y desgaste), y es un área en la cual yo tenía una base sólida como para discutir con el fabricante.*

Tony explica que los retos laborales no cesaron en aquel período. El episodio de inestabilidad de los rotores en las plantas de compresión de gas en el Lago de Maracaibo dio paso al desarrollo de especificaciones técnicas, las cuales obligaban a todos los fabricantes interesados en ofrecer plantas de compresión centrífugas a demostrar, a través de estudios apropiados, el cumplimiento con ciertos requisitos en cuanto a la velocidad crítica de los rotores. Con ello, el equipo logró obtener plantas que trabajaban bien a las más altas presiones de descarga del mundo (10,000 psi versus 1200 psi para las plantas que presentaron los problemas originalmente).

*“Con las plantas de compresión cada vez más potentes y con mayor presión de descarga, desarrollamos especificaciones técnicas que aseguraron un buen cumplimiento del servicio. Las especificaciones cubrieron compresores, turbinas, motores eléctricos, cajas de engranajes, sistemas de variación de velocidad, sistemas de lubricación, etc.” Refiere Crease.*

**P21: ¿Qué tipo de trabajos o proyectos pudo desarrollar en esa época?**

*AC: Parte de nuestro éxito fue reconocer a tiempo los efectos de deterioro en el servicio de las turbinas, y en base a ello ajustamos los márgenes requeridos de potencia. También iniciamos un programa de evaluación periódica de rendimiento de todas las turbinas; de la instalación de instrumentación adicional para medir el rendimiento y la necesidad de asegurar la calibración de la instrumentación; así como el desarrollo de criterios para evaluar el rendimiento ajustado a condiciones estándares. Desarrollamos un método para demostrar el cambio de condición de una turbina debido al daño en el compresor axial o en la turbina en sí. En base a esta experiencia, pudimos discutir con los contratistas encargados del reacondicionamiento de los generadores de gas, cualquier deficiencia de rendimiento que pudieran presentar luego del servicio. En varios casos pudimos exigir volver a recibir el servicio, además de exoneración de los costos, lo que a su vez se tradujo en ahorros millonarios para Pdvsa. También iniciamos un programa de investigación de lavados en línea, y fuera de línea, para incrementar la potencia disponible de las turbinas. Pudimos definir procedimientos de lavado que recuperaron 10 % o más de la potencia instalada. Eventualmente, preparé los resultados de estos temas en mi tesis de reválida y fui invitado por la Universidad de Zulia a exponer el trabajo a los estudiantes de la facultad de Ingeniería. También, con una compañera de trabajo, realizamos una presentación formal en la reunión de la "Gas Turbine User's Association", en Caracas en 1994.*

**P21: ¿Qué otros aportes realizó a la industria, a través de su trabajo?**

*AC: En esa época estábamos muy activos respecto a la evaluación de nuevas tecnologías de compresión de gas. Una vez que estas tecnologías mostraban la confiabilidad requerida, las considerábamos como opción en nuestras especificaciones. De esta manera, llegamos a aceptar motores eléctricos como elemento motriz a través de variadores mecánicos de velocidad y variadores de la frecuencia eléctrica suministrada al motor. También introdujimos el uso de sellos mecánicos en los compresores con buenos resultados, después de participación en pruebas y correctivos para solucionar los problemas iniciales. Desarrollamos un documento para regir contratos outsourcing de servicios de compresión de gas, que contenía una serie de criterios que determinaba el pago mensual para el servicio, incluyendo los términos de reducciones de la factura por indisponibilidad, entre otros aspectos. A través de este documento, pudimos contratar un servicio de compresión económico y novedoso, que combinaba compresores centrífugos y reciprocantes para presiones de descarga muy alta.*

Crease, proclive a la investigación e innovación, dirigió todo su talento para encontrar las mejores soluciones posibles en aquel período en las plantas de gas del Lago de Maracaibo. Con su gusto innato por las matemáticas, logró desarrollar un gráfico (después de mucha manipulación trigonométrica) que permitía tomar las señales de dos puntas de monitoreo de vibración (a 90 grados de ángulo) en un eje dentro de los cojinetes, y convertirlos en la orientación y dimensión del elipse de movimiento del eje. Esto permitía entender mucho mejor la ubicación del eje en el cojinete y cualquier anomalía en la operación. Otro trabajo interesante fue la investigación de fallas de tuberías grandes en el Lago de Maracaibo durante el tendido de las mismas por una contratista. Crease propuso ajustes para eliminar fallas en este proceso, luego de un exhaustivo estudio de los esfuerzos que ocurren en un tubo en función de sus dimensiones y parámetros del tendido y pude proponer ajustes que eliminarían las fallas. Además de estos esfuerzos, Crease también desarrolló importantes trabajos, entre ellos un análisis de los costos basado en la indisponibilidad de servicios de compresión, debido a las fallas de los equipos, en función del número de equipos a los cuales se le suministraron repuestos. "Esto nos permitió crear una metodología para calcular un número óptimo de los equipos de repuesto" –refiere Crease.

### **Oriente en el corazón**

Para el año 1992, Tony Crease seguía desarrollando proyectos en la industria petrolera, siempre con un claro afán de perfección y búsqueda de las mejores soluciones.

En 1992 especificamos equipos de bombeo para inyección de agua en el oriente del país a muy alta presión, dentro de parámetros conocidos (puede ser establecidos también). En este caso determinamos la potencia apropiada para el elemento motriz y definimos una turbina

específica para el servicio. Esto permitió concentrar la atención en el diseño, costos de la bomba y el sistema de bombeo. La información técnica de las pruebas de los suplidores sobre la cavitación, éste último aspecto clave en el impeler de la bomba principal, fue de gran importancia y permitió definir el protocolo de pruebas y llegar a una buena selección del suplidor.

Explorador nato, Anthony llegó a los estados orientales de Venezuela por asuntos de trabajo, en donde se quedó durante años, por asuntos del corazón.

### **P21: ¿Cómo llega a radicarse en el oriente venezolano?**

*AC: Con el proyecto anterior llegué al Oriente, a principios de 1993 y descubrí otra zona bellísima en cuanto a la naturaleza. En mi tiempo libre, exploré los ríos, piedemonte y montañas de Monagas, los caños del Pantano y Delta Amacuro, las playas de Mochima, Araya y la península de Paria. Y también exploramos la zona de Guariquén, donde llegamos al lago de asfalto. Nos encantó. Y por supuesto, estando en oriente la Gran Sabana estaba más cerca, y la visitábamos en todas nuestras vacaciones. Compramos un apartamento en Puerto la Cruz en 1994, lo que nos permitió explorar y conocer todas las playas del oriente.*

### **P21: ¿Cómo comienza su etapa de observador de aves y ornitólogo aficionado?**

AC: En este tiempo vivíamos en Campo Quince, en Quiriquire y empecé a observar aves con mayor atención, disfrutándolo muchísimo. Me incorpore en la Sociedad Conservacionista de las Aves de Venezuela y conocí gente muy simpática. Para esa época recibía con frecuencia visitas de mi gran amigo Denis Summers-Smith, eminente ingeniero, especialista en tribología y observador de aves, quien es el reconocido experto mundial en la familia de los gorriones. Con él, exploré zonas nuevas, aprovechando su presencia en Venezuela, cuando vino a dictar cursos en Lagoven (antigua empresa filial de Pdvsa. N. del A.) sobre Tribología. En 1998, me enviaron a Pdvsa en Puerto la Cruz, y me instalaron en una bella oficina con vista sobre la bahía en el Edificio Sede. Nos mudamos al apartamento vacacional que teníamos desde 1994 y a finales de 1999 la compañía ofreció la posibilidad de tomar la jubilación temprana. Fue así como tomamos la decisión de vivir nuestro sueño de habitar en la Gran Sabana. Y fue ahí que mi gusto por observar aves se convirtió en pasión.

**Al pie de los tepuyes...**

Para los que no conocen Venezuela, o La Gran Sabana, el primer encuentro con esta tierra de especial topografía puede convertirse en una experiencia difícil de borrar. La palabra tepuy proviene de una voz indígena pemón, que significa montaña. El tepuy es una especie de meseta que se levanta abrupta desde el suelo y alcanza hasta más de 2 mil metros de altura, con paredes verticales y cimas planas. Estas montañas son las formaciones expuestas más antiguas en el planeta, y su origen data del Período Precámbrico, lo cual las hace susceptibles de despertar una serie de sentimientos profundos y reverenciales en casi todas las personas que visitan este lugar.

Contrario a las cadenas montañosas, los tepuyes suelen estar separados entre sí, y conforman un sólido complejo entre la frontera norte del río Amazonas y el Orinoco, entre la costa Atlántica y el Río Negro. Los tepuyes son además un hábitat muy particular, y en ellos se han desarrollado formas evolutivas únicas, tanto animales como vegetales, debido a que este territorio nunca estuvo cubierto por las aguas durante el Período Glaciar. Por tal motivo, numerosas especies todavía no han sido clasificadas, y las cimas de algunos tepuyes aún no han sido pisadas por el ser humano. Estas características tan especiales han evocado fantasías e historias desde que fueran descubiertos. Incluso el escritor escocés Arthur Conan Doyle imaginó en su novela El mundo perdido que sus cimas eran el hábitat de enormes dinosaurios. Más recientemente, la película animada de Disney, Up, también se inspiró en los misteriosos tepuyes, cuya presencia evoca un profundo contraste entre lo soberbio y lo virginal de la naturaleza intocada.

Sobre las cimas de estos tepuyes nacen ríos y gigantescas cataratas, siendo la más conocida el Salto Ángel, la cascada más alta del mundo. En las faldas de los tepuyes viven diversas etnias indígenas, como los pemones, los yekuanas y los yanomamis.

Cuenta Anthony que desde aquel lejano 1983, cuando llegó a El Paují debajo de un aguacero torrencial, había añorado vivir en La Gran Sabana. La decisión llegó en el justo momento para el matrimonio Crease. La pareja quería darle una buena educación al hijo de ambos, Oliver, y esto no era posible en la escuelita rural de El Paují, de modo que tuvieron que esperar unos quince o dieciséis años para decidir echar raíces en el mágico paisaje, al pie de los tepuyes. Crease define a La Gran Sabana como *“un lugar muy especial, llena de paisajes maravillosos, ríos y selvas. En El Paují, que tiene unas 400 personas, uno vivía la vida de un colono, disfrutando los avances de los otros colonos. Nos sentábamos, como en tiempos antiguos, alrededor de una fogata, cantando y tomando algo. Y había muchos sitios emocionantes para explorar. Y muchos pájaros, de una belleza extraordinaria.”*

A finales del 2000 los Crease construyeron una casa, con un diseño muy bien pensado para las condiciones de servicios, o ausencia de ellos, en La Gran Sabana. Tony puso especial cuidado en detalles claves como la electricidad, suministrada por una planta Lister de 4 kw, una planta portátil para luz, el agua provenía de un pozo en la laguna, con una bomba eléctrica suministrada desde la planta Lister; y también contaban con agua de lluvia por gravedad en el huerto, entre otros aspectos. Todo esto permitió a los Crease vivir entre la belleza salvaje de los tepuyes con cierto confort.



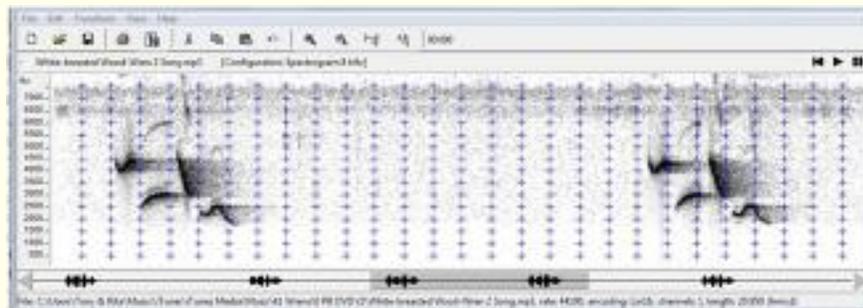
**P21: ¿Cómo organizó su pasión por la observación de pájaros, una vez asentado en La Gran Sabana?**

AC: Una vez construida la casa, empecé a dedicar mucho tiempo a la observación de las aves. El ave es una forma de vida muy atractiva, distinguido por su aprovechamiento de la pluma, una estructura que permite el vuelo y que viene en una gran variedad de espectaculares colores y patrones. Ver un pájaro en vuelo es sentir el deseo de estar con él, libre para ir donde quiere. Es algo que siento fuertemente, quizás en parte por mi experiencia de volar en planeadores.

Al igual que su pasión por la exploración, su amor por los pájaros también está entrelazado con experiencias de su primera juventud. A los quince años de edad, aún en Gales, el joven Anthony adoptó un búho bebé. Define aquel pasaje de su vida como una experiencia extraordinaria. *“En la mañana, al despertarme, solo tenía que levantar las cobijas de la cama para que volara a la almohada, para desaparecer en la cama apretado a mi lado. Lo enseñé a cazar, rodando monedas por el piso”*. De modo que los pájaros, los viajes, los planeadores y el sentido de la aventura, con todos sus denominadores comunes de libertad al vuelo, estaban hondamente asentados en el espíritu de Tony Crease desde la más tierna infancia.

**P21: ¿Qué aprendió de los pájaros, además de la evidente identificación que siente por esta forma de vida?**

AC: *Me encanta ver como los pájaros, a través de todos sus diferentes comportamientos, logran vivir, alimentarse, defenderse y procrear. El pájaro se comunica mediante cantos y llamados generalmente muy bellos, que sirven para atraer la pareja, avisar de amenazas, mantener contacto entre parejas, y juega un papel importantísimo en la especiación, o sea la consolidación de la gran variedad de especies en el mundo (c. 10,000). Porque las parejas se descubren principalmente por oído. Tomé un gran interés en el estudio de los cantos de los pájaros a través de los sonogramas, una gráfica de frecuencia versus tiempo, que usé mucho en mi vida profesional como una técnica de monitoreo de turbo máquinas. Ayudado por esta experiencia, llegué a poder identificar muchísimos pájaros por sus cantos, una técnica que es de gran utilidad en la selva, donde es difícil ver las especies. Aquí por ejemplo es un canto del “White-breasted Wood-Wren”.* (Gráfico 1)



**P21: ¿Qué tipo de trabajos o proyectos pudo desarrollar en esa época?**

*AC: Parte de nuestro éxito fue reconocer a tiempo los efectos de deterioro en el servicio de las turbinas, y en base a ello ajustamos los márgenes requeridos de potencia. También iniciamos un programa de evaluación periódica de rendimiento de todas las turbinas; de la instalación de instrumentación adicional para medir el rendimiento y la necesidad de asegurar la calibración de la instrumentación; así como el desarrollo de criterios para evaluar el rendimiento ajustado a condiciones estándares. Desarrollamos un método para demostrar el cambio de condición de una turbina debido al daño en el compresor axial o en la turbina en sí. En base a esta experiencia, pudimos discutir con los contratistas encargados del reacondicionamiento de los generadores de gas, cualquier deficiencia de rendimiento que pudieran presentar luego del servicio. En varios casos pudimos exigir volver a recibir el servicio, además de exoneración de los costos, lo que a su vez se tradujo en ahorros millonarios para Pdvsa. También iniciamos un programa de investigación de lavados en línea, y fuera de línea, para incrementar la potencia disponible de las turbinas. Pudimos definir procedimientos de lavado que recuperaron 10 % o más de la potencia instalada. Eventualmente, preparé los resultados de estos temas en mi tesis de reválida y fui invitado por la Universidad de Zulia a exponer el trabajo a los estudiantes de la facultad de Ingeniería. También, con una compañera de trabajo, realizamos una presentación formal en la reunión de la "Gas Turbine User's Association", en Caracas en 1994.*

**P21: ¿Qué otros aportes realizó a la industria, a través de su trabajo?**

*AC: En esa época estábamos muy activos respecto a la evaluación de nuevas tecnologías de compresión de gas. Una vez que estas tecnologías mostraban la confiabilidad requerida, las considerábamos como opción en nuestras especificaciones. De esta manera, llegamos a aceptar motores eléctricos como elemento motriz a través de variadores mecánicos de velocidad y variadores de la frecuencia eléctrica suministrada al motor. También introdujimos el uso de sellos mecánicos en los compresores con buenos resultados, después de participación en pruebas y correctivos para solucionar los problemas iniciales. Desarrollamos un documento para regir contratos outsourcing de servicios de compresión de gas, que contenía una serie de criterios que determinaba el pago mensual para el servicio, incluyendo los términos de reducciones de la factura por indisponibilidad, entre otros aspectos. A través de este documento, pudimos contratar un servicio de compresión económico y novedoso, que combinaba compresores centrífugos y reciprocantes para presiones de descarga muy alta.*

Crease, proclive a la investigación e innovación, dirigió todo su talento para encontrar las mejores soluciones posibles en aquel período en las plantas de gas del Lago de Maracaibo. Con su gusto innato por las matemáticas, logró desarrollar un gráfico (después de mucha manipulación trigonométrica) que permitía tomar las señales de dos puntas de monitoreo de vibración (a 90 grados de ángulo) en un eje dentro de los cojinetes, y convertirlos en la orientación y dimensión del elipse de movimiento del eje. Esto permitía entender mucho mejor la ubicación del eje en el cojinete y cualquier anomalía en la operación. Otro trabajo interesante fue la investigación de fallas de tuberías grandes en el Lago de Maracaibo durante el tendido de las mismas por una contratista. Crease propuso ajustes para eliminar fallas en este proceso, luego de un exhaustivo estudio de los esfuerzos que ocurren en un tubo en función de sus dimensiones y parámetros del tendido y pude proponer ajustes que eliminarían las fallas. Además de estos esfuerzos, Crease también desarrolló importantes trabajos, entre ellos un análisis de los costos basado en la indisponibilidad de servicios de compresión, debido a las fallas de los equipos, en función del número de equipos a los cuales se le suministraron repuestos. "Esto nos permitió crear una metodología para calcular un número óptimo de los equipos de repuesto" –refiere Crease.

**P21: Es muy notable que haya utilizado una técnica de turbomáquinas para medir el canto de las aves... ¿qué aportes pudo hacer al país en este aspecto?**

*AC: Descubrí que el libro Guía de las Aves de Venezuela tenía muchas limitaciones en cuanto a las distribuciones de especies en la Gran Sabana, por falta de observadores en esta zona. Me dediqué a llevar una base de datos de mis observaciones y en el 2008 logré la publicación en la revista Cotinga (la mejor publicación sobre las aves del Neotrópico) de un artículo sobre 142 especies que están presentes en la zona, pero que no son indicadas en el libro. Posteriormente sometí observaciones de 30 especies más para el próximo libro Guía de las Aves de Venezuela. De esta manera, colaboré con la definición de las distribuciones reales en el país de las diferentes especies. Durante mis investigaciones, pude participar en el descubrimiento de una nueva especie para Venezuela (con la excepción de un individuo tomado en el punto más sureño de Venezuela casi 20 años atrás y solo identificado hacía poco). Paulatinamente, descubrimos muchos individuos de esta especie esquiva en diferentes partes alrededor de El Paují. También, en el 2008, publiqué en el Boletín del Club Ornitológico de Gran Bretaña, una revista para ornitólogos, un informe de la reproducción y cría de un ave muy poco conocida, el Aguaitacamino de Roraima, incluyendo detalles no previamente reportados. Por ejemplo, nunca se había visto el huevo de esta especie y no se sabía su color, entre otros detalles.*

**P21: ¿Qué otras especies pudo identificar, o estudiar? ¿Qué otras publicaciones acogieron sus estudios?**

*AC: En 2011 publiqué, con mi amigo Iván Tepedino, también residente de El Paují, un reporte de la reproducción de otro pájaro muy raro y especial: el Águila Monera, que se publicó en Cotinga. Pudimos observar cómo se alimentaba el ave siendo joven, y como maduró. Registramos detalles importantes del proceso de cría. Iván retomó la guiatra de observadores de aves, a petición mía, lo cual ha hecho de forma exitosa, así que siento que estoy dejando a un experto observador de aves en El Paují, que además será guía para todos los visitantes.*

**P21: ¿Qué organismos nacionales se interesaron por este trabajo suyo en La Gran Sabana y todos sus aportes en la observación y seguimiento de aves?**

*AC: Iván participó conmigo en una iniciativa de la Institución Venezolana de Investigaciones Científicas, (IVIC) durante el mes de marzo de 2010, para registrar, según reglas muy definidas, las aves en varias rutas previamente definidas para este propósito. Yo me encargué de uno de siete grupos para levantar un muestreo de las aves del país. Fue una actividad muy interesante (además la única pagada en los últimos 14 años), reportado en detalle por Gustavo Rodríguez, gran conocedor de las aves de Venezuela y líder del proyecto. Hemos recibido muchos observadores en estos años, incluyendo los más expertos observadores del país, llevándolos a los mejores sitios que hemos descubierto en la zona. Esto ha sido uno de los más grandes placeres de estos años en El Paují, porque los "pajarólogos" siempre han sido personas muy educadas, interesantes y simpáticas.*

**P21: Usted ha tenido una vida muy singular, llena de hermosas y profundas vivencias. ¿Alguna vez lo planeó así? ¿Imaginó cubrir una ruta de vuelo como esta?**

*AC: Yo me considero un "aventurero perfeccionista", si es que cabe este término. En parte es porque me encanta descubrir cosas nuevas, sin importar algún riesgo. Si uno no acepta algo de riesgo, nunca va a intentar o probar algo diferente. Y la invención y el desarrollo de tecnología siempre requieren probar alternativas. Por otro lado, me considero un perfeccionista. No importa lo que hago, siempre me pongo a buscar la mejor manera de hacerlo. Pienso que hacer las cosas bien es muy importante en la vida, y aplica para cualquier profesión u ocupación. Originalmente, pensábamos morir en La Gran Sabana, pero hemos introducido una variante en nuestro mapa de vuelo, y ahora nos radicaremos en el sur de España, en Islas Canarias. Lo tomamos como una nueva aventura, llevando con nosotros el recuerdo de unos años hermosos en este país.*

Las palabras de Crease tienen el olor del sol pleno sobre la sabana abierta, rechinando lumbre sobre capas y capas de vegetación oscura y húmeda. Sus frases desprenden una cierta brisa, típica del este, que hace que se sienta la pureza del aire después de su largo viaje sobre el Atlántico y la selva, casi sin interrupción, desde la boca del Amazonas y las Guyanas, surcadas además de extraños y hermosos cánticos de aves *ignotas*.



El Agouti-camino del Roraima, ave que Tony pudo identificar y fotografiar para la comunidad científica internacional.



Águila Morena, otra especie seguida y fotografiada por Crease.



Con los observadores de pájaros



Anthony Crease y su esposa Rita



La "vida de colonos" en la Gran Sabana

AUTOR:  
Alimey Díaz M  
FOTOS:  
Cortesía Anthony Crease

NOTA DE  
PRENSA



## IV CONGRESO INTEGRAL DE HIDROCARBUROS

"Centenario de la Era Petrolera de Venezuela"

Del 1 al 3 de Julio en el Hotel Crowne Plaza Maruma  
Maracaibo-Venezuela

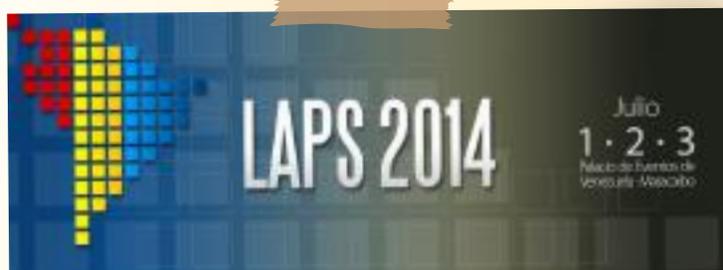
La Cámara Petrolera de Venezuela efectuará en julio próximo el IV Congreso Integral de Hidrocarburos con el apoyo institucional de Petróleos de Venezuela, S.A. y la participación de compañías internacionales y nacionales.

El evento, previsto a realizarse del 1 al 3 de julio en el Hotel Crowne Plaza Maruma, localizado en Maracaibo, incluye en su amplia agenda temática los siguientes aspectos: Conglomerado Nacional Industrial Petrolero, oportunidades del sector productivo nacional conexo; los retos del aumento de producción en occidente; avances en los proyectos de refinación; avances en los proyectos de la Faja Petrolífera del Orinoco; participación del sector productivo internacional en el plan de expansión de los hidrocarburos en Venezuela; experiencias del sector productivo nacional conexo; presentación de la Cámara Petrolera de Venezuela (panel de discusión: Oportunidades de Participación Nacional en el marco del Conglomerado Nacional Industrial Petrolero); la formación de recursos humanos en el sector de los hidrocarburos; presentación Gobernación del Estado Zulia.

La instalación del IV Congreso Integral de Hidrocarburos tendrá lugar el martes a partir del mediodía con participación de las máximas autoridades de Petróleos de Venezuela, S.A., e incluye el recorrido inaugural en la XXIV Exposición Latinoamericana del Petróleo LAPS que también se desarrollará en el Palacio de Eventos del mismo hotel.

El Plan de Patrocinio del Congreso incluye las opciones Premium, Oro y Plata, y las inscripciones para los participantes se mantienen abiertas a través de la cuenta de correo [eventos@camarapetrolera.org](mailto:eventos@camarapetrolera.org). También pueden comunicarse por los teléfonos (0212)794-1222 y 794-1352.

Las actualizaciones de información sobre el evento pueden ser conocidas a través del Twitter @CamaraPetrolera.



Sobre la XXIV Exposición Latinoamericana del Petróleo LAPS, que se realizará también del 1 al 3 de julio, ya un importante número de empresas nacionales e internacionales están representadas en los espacios disponibles para exhibir sus productos y servicios. Con un área de exposición de 1.500 metros cuadrados, se espera la asistencia de más de 10.000 visitantes durante los tres días de la exposición.

Para información sobre la XXIV Exposición Latinoamericana del Petróleo, pueden escribir al correo [ventasmb@grupobgdeventos.com](mailto:ventasmb@grupobgdeventos.com) o comunicarse por los teléfonos (0414)360-9744 y (0261)996-4307.

# Detección De Fugas Internas En Válvulas Mediante La Técnica De Ultrasonido (I Parte)

## INTRODUCCIÓN

Las válvulas son dispositivos de control de flujo utilizados en todo tipo de industrias (petroquímica, energía, alimentación, papel, minería, etc.) Existen multitud de tipos, configuraciones y tamaños diseñados según las necesidades concretas de los procesos en que se integran.

Dependiendo del régimen de funcionamiento y las condiciones de operación e instalación, una válvula puede fallar de diversos modos: acumulación de suciedad o depósitos en obturador y asientos, ejes doblados o rotos, fugas en empaquetaduras, rotura de juntas, corrosión y erosión en cuerpo, fallos en dispositivos actuadores o de control, etc. Centrándonos en el caso de las fugas internas, la detección de este tipo de problemas puede suponer un ahorro significativo de costes asociados a paradas de emergencia, pérdidas de producción, disminución de la eficiencia energética e impacto ambiental.

Estudios de campo han demostrado que entre el 5 y el 10% de las válvulas de cualquier instalación industrial presentan alguna sintomatología relacionada con fugas internas. Por ejemplo, las válvulas que manejan vapor y presentan fugas pueden ocasionar considerables pérdidas de energía traducidas en costes elevados. Ni que decir tiene la importancia en el caso de instalaciones que procesan fluidos tóxicos, radiactivos, explosivos, combustibles o corrosivos y que

supongan un riesgo para la integridad de las personas, las instalaciones o el medio ambiente. Por tanto, eliminar o minimizar estas fugas ha de ser considerado como un objetivo prioritario en empresas que basan su filosofía de mantenimiento en el seguimiento de la condición de sus activos.



Ilustración 1 Diferentes tipos de válvulas



Ilustración 2 Daños en zona de cierre de una válvula de mariposa

## MÉTODOS DE INSPECCIÓN

Las técnicas de mantenimiento predictivo más comunes para la inspección y detección de fugas internas en valvulería son la termografía infrarroja y el ultrasonido.

### Inspección termográfica

La termografía infrarroja es una tecnología de diagnóstico por la imagen. Las cámaras térmicas captan la energía infrarroja emitida por la superficie de los objetos y permiten convertirla en una imagen fácilmente interpretable y analizable llamada termograma.

La condición normal o de referencia de un componente será aquella que muestre un patrón de temperatura en una situación de funcionamiento óptimo. Cualquier fallo motivado por un cambio en las propiedades físicas o geométricas del elemento (tales como fugas, corrosión, grietas, erosiones, estrechamientos, bloqueos, etc.) provocarán una variación detectable en los patrones de energía infrarroja. Dicho patrón es comparable en el tiempo mediante el seguimiento histórico del elemento. Por tanto, podemos aplicar la termografía para detectar anomalías como la presencia de fugas internas en válvulas de todo tipo. Además, el seguimiento histórico de los resultados obtenidos permite evaluar la condición a lo largo del tiempo. De este modo se podrá realizar un mantenimiento planificado de la válvula y eliminar el preventivo o correctivo innecesario.

A fin de poder realizar una inspección fructífera con esta tecnología es imprescindible que se den una serie de condiciones (válvula en operación normal cerrada, accesible y descubierta, a temperatura distinta al ambiente, etc.) pero la más importante es la existencia de contraste térmico suficiente aguas-arriba y aguas-abajo de la válvula cuando presenta una fuga interna, tal como se muestra a continuación:

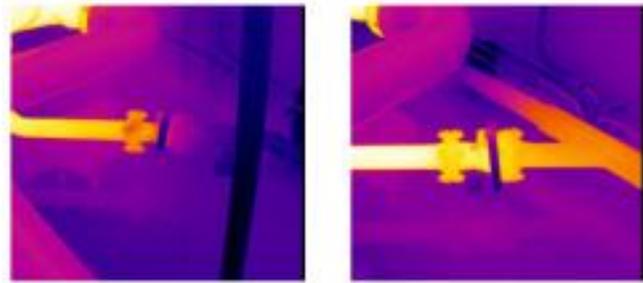


Ilustración 3 Válvula sin fugas y con fugas (sentido de flujo de izquierda a derecha)

El método genérico de inspección de válvulas contempla los siguientes pasos:

- 1) Estudiar accesibilidad, condiciones de seguridad y posibilidad de enfoque de la válvula
- 2) Determinar los datos de operación (datos de proceso)
- 3) Descubrir el componente (eliminar aislamiento u otras interferencias)
- 4) Realizar la inspección por técnico cualificado
- 5) Análisis de resultados, recomendaciones y emisión de informes.

### Criterios de evaluación

De forma general, en las válvulas que manipulan vapor de agua saturado o agua caliente, si una imagen térmica muestra una temperatura de entrada elevada y una temperatura de salida baja ( $<100^{\circ}\text{C}$ ), podemos deducir que el componente está funcionando correctamente (válvula cerrada sin fugas). En caso contrario (temperaturas de entrada y salida similares o muy próximas), podemos asegurar que la válvula presenta una fuga interna. El siguiente ejemplo corresponde a dos válvulas anti-retorno operando adecuadamente en un sistema de vapor:

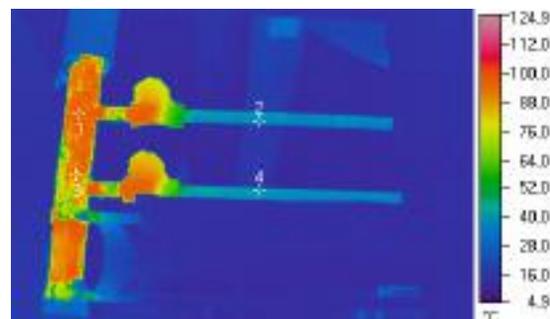


Ilustración 4 Válvulas antirretorno operando adecuadamente

En el caso de vapor recalentado u otros fluidos (ya sean gases o líquidos), será necesario conocer con antelación la temperatura de operación del componente que se inspecciona. El siguiente ejemplo corresponde a una válvula automática de drenaje que presenta una importante fuga interna:

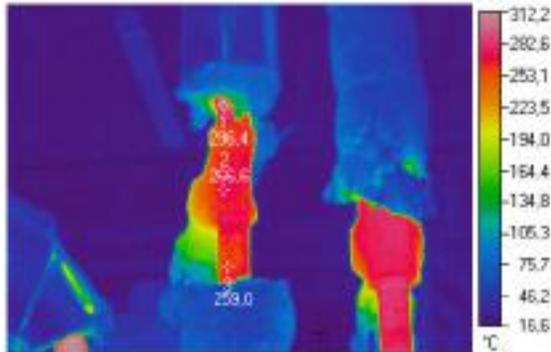


Ilustración 5 Válvula con fuga interna (dirección del fluido de arriba a abajo)

Otras consideraciones adicionales a tener en cuenta son las siguientes:

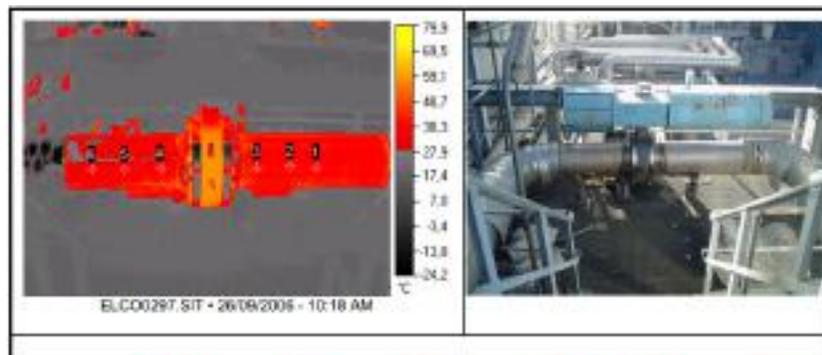
- Verificar que la válvula está realmente cerrada antes de inspeccionarla.
- Determinar el sentido del flujo, los reflejos y otras fuentes de radiación infrarroja a fin de realizar un diagnóstico apropiado
- Tener en cuenta los factores de corrección

correspondientes (temperatura de fondo, absorción atmosférica, etc)

- Es necesario familiarizarse con los procesos, las condiciones de contorno y las imágenes térmicas de los componentes inspeccionados
- En la medida de lo posible, las inspecciones se ha de realizar el mismo operador cualificado
- Ajustar los valores de sensibilidad, paleta, rango y ajuste térmico y óptico a fin de obtener una imagen nítida. Tomar esos valores como referencia de futuras inspecciones para asegurar la repetitividad de las mismas.
- Comparar con válvulas similares adyacentes y con los valores históricos
- Registrar la presión y temperatura de proceso en el momento de la inspección, pues condicionará los resultados en caso de variaciones
- Anotar cualquier observación adicional en la hoja de campo
- Realizar las inspecciones siempre en los mismos puntos y desde el mismo ángulo

- Prestar atención a todas las recomendaciones de seguridad (fluidos peligrosos, salpicaduras, contacto con temperaturas extremas, gases, etc.)

A continuación se muestran ejemplos adicionales de casos reales de válvulas inspeccionadas con termografía infrarroja:

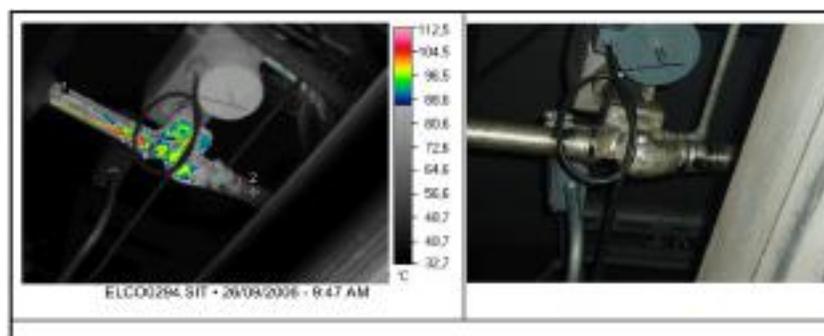


	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
Emiss.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Avg						
Min						
Max	35.5	38.5	38.8	38.0	35.2	34.2
Delta						
Dist.		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Area		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Equipment	11RHAS0AA299*					
Location						
Condition	Válvula con fuga					



	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4
Emiss	1,00	1,00	1,00	1,00
Avg				
Min	81,2	87,3	88,1	87,3
Max				
Delta		0,00	0,00	0,00
Dist		0,00	0,00	0,00
Area		0,00	0,00	0,00

Equipment	11R9HA10AA091*
Location	
Condition	Válvula sin fugas. Contrastar con resultados de inspección por ultrasonidos.



	Point 1	Point 2
Emiss	1,00	1,00
Avg		
Min		
Max	85,6	45,6
Delta		
Dist		0,00
Area		0,00

Equipment	11R9HA12AA091*
Location	
Condition	Excesivos reflejos. Imposible determinar perfil de conductividad térmica. Posible fuga. Contrastar con resultados de ultrasonidos.

Algunas de las ventajas e inconvenientes de la inspección termográfica son las siguientes:

- Rapidez en la obtención del diagnóstico
- Visualización de resultados como imagen térmica (termograma)
- Sin necesidad de contacto con el elemento inspeccionado
- No adecuado para la detección de pequeñas

fugas

- Dificultad para cuantificar la severidad o magnitud de la fuga
- Dificultades en válvulas a temperatura ambiente
- Necesario descubrir el componente (eliminar calorifugado)
- Dificultades en superficies de emisividad difícil (superficies metálicas pulidas)

**Inspección de ultrasonidos**

*Introducción*

La detección de fugas usando termografía es especialmente difícil en aquellas válvulas que operan a temperatura ambiente o donde existen problemas con la emisividad de los materiales. Además, en determinados casos, una fuga interna pequeña puede no tener un impacto significativo en el proceso en sí mismo ni en las pérdidas económicas. Es decir, la fuga es tolerable y se puede convivir con ella. No obstante, existen procesos donde las fugas se han de minimizar o incluso ser inexistentes por motivos no solo puramente económicos, sino por razones de seguridad o medioambientales. La termografía encuentra también una limitación en estos casos, pues solo es efectiva en situaciones donde las fugas son notables y provocan el suficiente diferencial térmico. En todas estas circunstancias es donde la técnica de ultrasonidos permite una determinación precisa de la fuga.

La siguiente imagen muestra la inspección de una válvula que maneja aire comprimido. Es imposible utilizar termografía por operar a temperatura ambiente y por el hecho de que la emisividad superficial es muy baja:



Ilustración 7 Válvula de aire no inspeccionable por termografía

En definitiva, la inspección por ultrasonidos es la técnica de inspección no intrusiva más adecuada para detectar y, en determinadas circunstancias, cuantificar las fugas internas en todo tipo de

válvulas. Esta tecnología predictiva posibilita conocer la condición del componente, así como realizar el seguimiento de su estado a fin de planificar su mantenimiento sólo cuando sea necesario.

*Fundamento teórico*

La señal ultrasónica se genera principalmente por la cavitación o turbulencia del fluido al atravesar un orificio y variar bruscamente su presión. Puesto que los humanos no podemos escuchar ese rango de altas frecuencias (>20 KHz), los instrumentos de inspección de ultrasonidos tienen la capacidad de transformar electrónicamente dichos sonidos al rango audible, de forma que puedan ser fácilmente analizados e interpretados por el inspector. El término en inglés para designar esta conversión se denomina heterodyning.

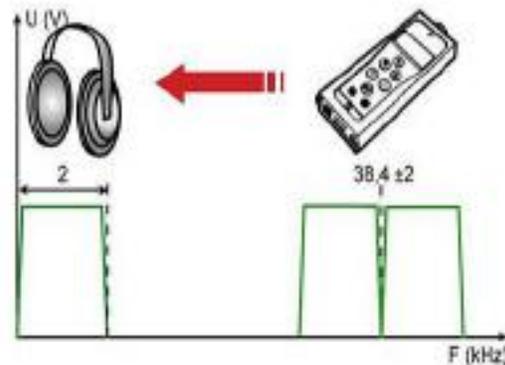


Ilustración 8 Conversión de ultrasonido a rango audible humano

Estos equipos de inspección son herramientas muy versátiles capaces de detectar determinadas averías que son una fuente de ultrasonidos en sí mismas. Como ya se ha indicado, un caso particular son las fugas internas de gases o líquidos en válvulas. Si una válvula no presenta fugas en su posición cerrada, no generará ultrasonidos. En caso contrario, dichas fugas son una fuente de ultrasonidos originados por el cambio de presión existente en el orificio de fuga. El ultrasonido se propaga con facilidad por los medios continuos (como el cuerpo de la válvula) y es fácilmente detectable por el instrumento de medida

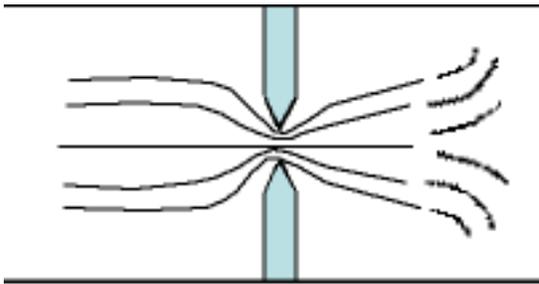


Ilustración 9 Flujo turbulento en un orificio

El régimen de flujo a través de un orificio es determinante en la producción de sonido ultrasónico. El régimen viene expresado por el número de Reynolds, que a su vez se calcula a partir de la viscosidad cinemática ( $\mu$ ), el caudal ( $D \cdot v =$  sección  $\cdot$  velocidad) y la densidad ( $\rho$ ). Se dirá que el flujo es turbulento cuando el número adimensional de Reynolds sea superior a 4000. No obstante, si  $Re > 1000$  ya pueden aparecer turbulencias que originan ultrasonidos fácilmente detectables.

$$Re = \frac{D \rho v}{\mu}$$

Ilustración 10 Número de Reynolds

Así, puesto que el flujo turbulento tiene asociada una fuerte componente ultrasónica, cuanto mayor sea la presión diferencial, tanto más abundantes serán las frecuencias superiores a 20 KHz presentes en el área de inspección. Por contra, los fluidos muy viscosos no generarán fácilmente un flujo turbulento.



Ilustración 11 Inspección de válvula con instrumento de ultrasonidos

Si en el elemento inspeccionado existen otras fuentes de ultrasonidos, será necesario establecer una línea base del ruido de fondo y del ultrasonido competidor. En estas situaciones se emplea habitualmente el método de inspección ABCD.

#### El método de inspección ABCD

La metodología de inspección de válvulas con ultrasonidos más común se denomina A-B-C-D (e incluso ABCDEF). Es muy adecuada ya que se centra en determinar valores diferenciales a fin de despreciar parte del ultrasonido de fondo. De forma general, consiste en tomar dos lecturas aguas-abajo (denominadas A-B) y dos lecturas aguas-arriba de la válvula (denominadas C-D). Para ello se utiliza el equipo de ultrasonido con un módulo de contacto o magnético.

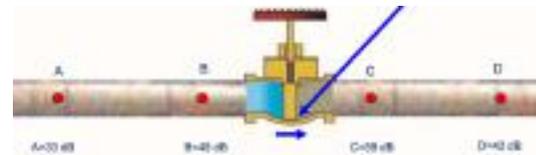


Ilustración 12 Método ABCD en una válvula con fugas

Los pasos a seguir para aplicar este método son los siguientes:

- 1) Confirmar que la válvula está realmente cerrada
- 2) Tomar lecturas:
  - Aguas-arriba de la válvula a una distancia de entre 15-40 cm (punto A)
  - Aguas-arriba y muy próximo a la válvula (punto B)
  - Aguas-abajo y muy próximo a la válvula (punto C)
  - Aguas-abajo de la válvula a una distancia de entre 15-40 cm (punto D)
- 3) Comparar las lecturas en decibelios (dB) de los cuatro puntos:
  - Si los valores registrados aumentan a medida que nos aproximamos a la zona de cierre de la válvula, podemos concluir que presenta una fuga interna.



Ilustración 13 Inspección de una válvula con el método ABCD

Aunque depende del instrumento utilizado, se puede afirmar de forma genérica que un incremento de al menos 5 ó 6 dB en el asiento de la válvula es un claro indicador de fuga interna. Para que se dé esta condición es necesario, de forma general, una caída de presión de al menos 1 bar.

A continuación se describe el perfil propio de ultrasonido en diversas posiciones en el caso de una válvula de bola utilizando datos de ejemplo:

**Válvula abierta**

En esta situación no existe (o no es detectable) una presión diferencial significativa en la válvula, por lo que el flujo es laminar, no existen turbulencias y, por tanto, no se generan ultrasonidos. El perfil de señal a lo largo de la válvula será constante en magnitud y el sonido será similar en todos los puntos.

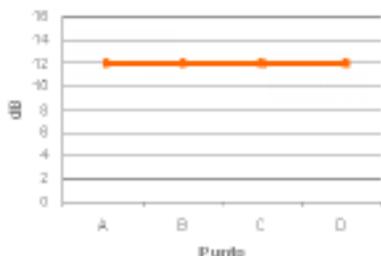
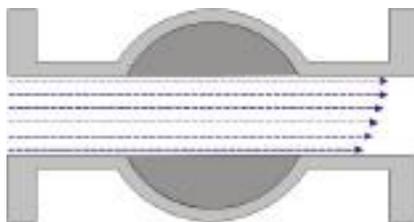


Ilustración 14 Válvula de bola abierta: flujo laminar

**Válvula cerrada sin fugas**

Cuando la válvula está cerrada y no presenta fugas o son prácticamente inexistentes, no se genera ultrasonido al no existir turbulencias. La lectura realizada aguas-abajo es, por lo general, inferior a la registrada aguas-arriba.

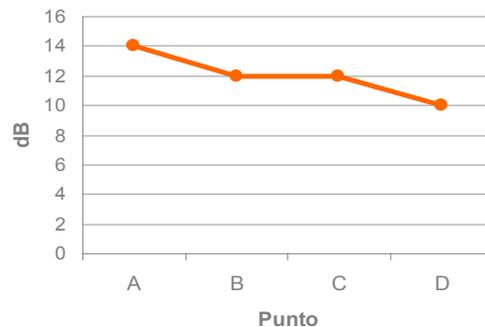
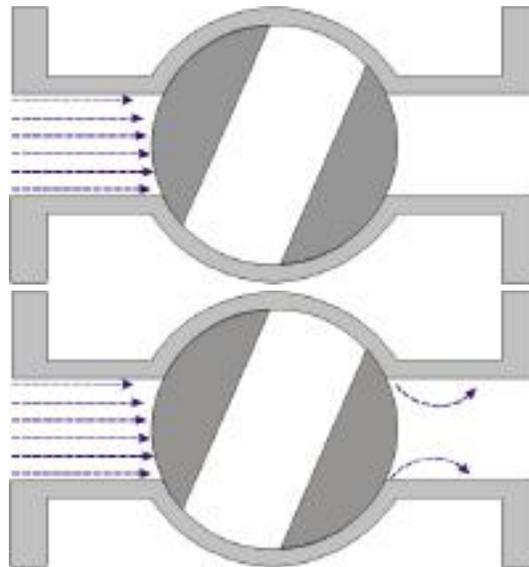


Ilustración 15 Válvula de bola cerrada: cero fugas o con fuga inapreciable

**Válvula con fugas**

En este caso, parte del fluido (gas o líquido) escapa de la zona de cierre de la válvula moviéndose de una zona de alta presión a una de baja. Este flujo genera turbulencias y ultrasonido en la zona del asiento. Esta señal se propaga por el cuerpo de la válvula y es fácilmente detectable por el instrumento. La lectura realizada aguas-abajo será superior a la obtenida aguas-arriba y el inspector podrá escuchar por los auriculares del equipo un ruido característico que dependerá de las

características del fluido, la magnitud de la fuga y las condiciones de proceso.

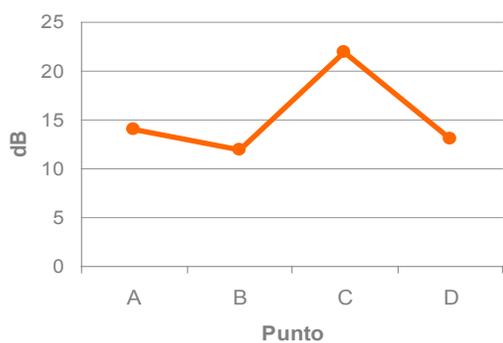
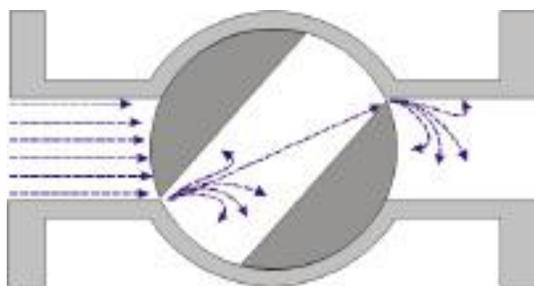
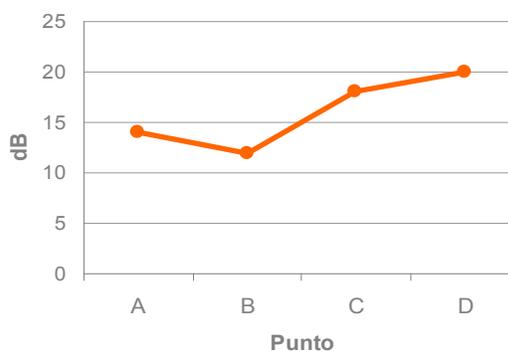


Ilustración 16 Válvula de bola con fugas: flujo turbulento

### Ensayo indeterminado

En ocasiones, la presencia de ruido de fondo impide diagnosticar adecuadamente una válvula, bien porque enmascare el ultrasonido generado por la propia fuga o bien por la alta intensidad del mismo que impide llegar a conclusiones acertadas. En estos casos puede resultar útil modificar los filtros del equipo de ultrasonidos a fin de desprestigiar determinados rangos de frecuencias, pero por lo general es un problema insalvable que se convierte en una de las limitaciones propias de esta técnica.



Continúa en la próxima edición

AUTOR:

Antonio Abejaro Soto

### BIBLIOGRAFÍA

[www.uesystems.com](http://www.uesystems.com)  
[www.isa.org](http://www.isa.org)  
[www.sdt.eu](http://www.sdt.eu)  
[www.mistrasgroup.com](http://www.mistrasgroup.com)

# Diseño De Un Modelo Para La Auditoría De La Gestión De Mantenimiento Basado En El Modelo De Gerencia De Mantenimiento De PDVSA

## INTRODUCCIÓN

Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA) para conocer cuál es la exposición al riesgo de las organizaciones que la conforman, realiza análisis de riesgos por medio de la Gerencia Corporativa de Auditoría Interna con la finalidad de establecer el plan anual de auditorías. Este análisis ha dado como resultado que una de las organizaciones que representa mayor riesgo es la Gerencia de Mantenimiento, convirtiéndose su gestión en una función crítica para la Corporación.

Por lo tanto se requiere analizar minuciosamente la Gestión de Mantenimiento en forma sistémica para determinar el grado de excelencia de la organización y la forma de gestionar cada uno de sus departamentos, identificando los puntos de mejora para marcar directrices de lo que debería ser una gestión clase mundial y a su vez tener un sistema de retroalimentación para el monitoreo y mejoramiento continuo.

La adopción de este modelo, ofrece determinar de manera continua la Situación Actual de la Gestión de Mantenimiento para realizar los ajustes pertinentes que permitan cerrar las brechas existentes asegurando su viabilidad futura, lo que implica el aprendizaje continuo de la organización, el seguimiento de una filosofía de gestión y la participación activa de todo el personal.

## DISEÑO DEL MODELO

El presente artículo contempla el diseño del Modelo para la Auditoría de la Gestión de Mantenimiento que permite evaluar la Gestión teniendo en cuenta el Modelo de Gerencia de Mantenimiento de PDVSA y cimentado en la metodología para auditar la gestión de mantenimiento diseñada por Vásquez (2011).

### Visión Esperada del Modelo

La visión esperada del modelo es: "Ser una herramienta gerencial que permita determinar la situación actual de la gestión de mantenimiento e identificar las áreas de mejora potencial, permitiendo a la Gerencia tomar decisiones que lleven a optimar el desempeño de la organización y la consecución de sus objetivos, garantizando la continuidad operacional y el uso eficiente de los recursos".

### Objeto del Modelo

Disponer de una herramienta eficaz y confiable en apoyo de las políticas y controles de gestión de mantenimiento, proporcionando información sobre la cual la Gerencia de Mantenimiento puede actuar para mejorar su desempeño.

### Objetivos del Modelo

Los objetivos del Modelo para la Auditoría de la Gestión de Mantenimiento son:

- Conceptualizar las variables a ser estudiadas,

las cuales están enmarcadas en los factores de Mantenimiento Clase Mundial.

- Realizar el diagnóstico de la gestión actual de mantenimiento mediante la Norma PDVSA MM-01-01-00.
- Analizar las brechas y definir prioridades de estudios.
- Elaborar las estrategias y un plan de acción para el cierre de brechas.
- Definir los indicadores de gestión para el control y seguimiento del plan de acción.

### Fases del Modelo

El modelo cumple con las cuatro (4) fases del Círculo de Deming o Círculo de Mejoramiento Continuo, las cuales son Planificar, Hacer, Verificar y Actuar, tal como se muestra en la Figura N° 1:

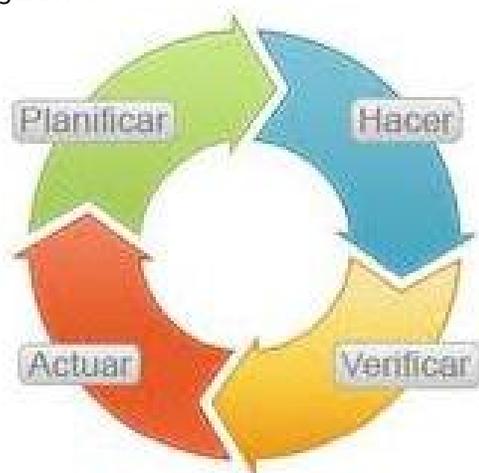


Figura N° 1. Círculo de Deming.

Fuente: <http://www.temperies.com.ar/es/workQuality.html>

- **Planificar:**  
Variables (V): En esta etapa se definen y se conceptualizan las variables que serán estudiadas.
- **Hacer:**  
Investigación + Diagnóstico (I+D): Se realizan todas las actividades referentes al diagnóstico de la situación actual de la gestión de mantenimiento, por medio del instrumento de medición diseñado para auditar la gestión de mantenimiento de acuerdo a la Norma PDVSA.
- **Verificar:**

**Brechas + Prioridades (B+P):** En esta etapa se analizan las brechas existentes entre la situación actual de la gestión de mantenimiento y la situación ideal basada en una Gestión de Mantenimiento Clase Mundial determinando el Grado de Madurez y estableciendo a su vez las prioridades de estudio.

#### • Actuar:

**Estrategias + Plan de Acción (E+A):** En esta etapa se elaboran las estrategias necesarias para el cierre de brechas y el plan de acción plasmando en formato Gantt especificando las actividades a realizar, los recursos, tiempo y responsable.

**Control + Seguimiento (C+S):** Se define los indicadores de gestión para realizar el monitoreo continuo de la implementación del plan de acción, en función de la obtención de los beneficios tales como cumplimiento en el tiempo para la consecución de los objetivos, reasignación de recursos y/o por medio de la obtención de nuevos recursos.

### Diseño del Modelo

El modelo se denomina Modelo Da Vinci, porque se representa por medio del pentágulo Da Vinci. Para Da Vinci la punta hacia arriba representa al ser humano siendo este el factor más importante para lograr la gestión eficaz y eficiente del mantenimiento y las otras cuatro puntas, representan los cuatro elementos de la naturaleza, Fuego, Aire, Agua y Tierra, los cuales son elementos representado en cada uno de los factores que afectan a la Gestión del Activo Físico, tal como se muestra en la Figura N° 2.



Figura N° 2: Modelo Da Vinci. Fuente: Propia

El modelo diseñado para la Auditoría de la Gestión de Mantenimiento se muestra en la figura N° 3. En esta figura se muestra que la entrada del modelo es la Gestión Actual de la Organización de Mantenimiento, el proceso medular son las fases del modelo explicadas en el punto anterior, obteniendo como salida una Gestión de Mantenimiento Clase Mundial, todo esto soportado por los doce (12) factores de Mantenimiento Clase Mundial.

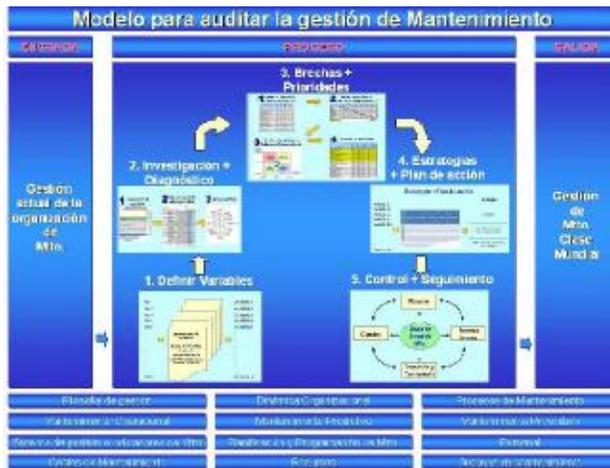


Figura N° 3: Modelo para la Auditoría de la Gestión de Mantenimiento. Fuente: Propia

A continuación la descripción detallada de cada fase del Modelo:

**Variables (V)**

Para el diseño de este modelo de auditoría, es necesario principalmente definir las variables que permitan diagnosticar la gestión de mantenimiento.

En el plano mundial, existen diferentes autores que han definido diferentes variables para este tipo de diagnóstico, este trabajo contemplo el análisis de doce (12) variables resultante de las experiencias laborales en organizaciones de mantenimiento de PDVSA y englobados tanto en los factores de Mantenimiento Clase Mundial como en las normas de PDVSA y COVENIN, al igual que en los requerimientos exigidos por la British Standards Institution (BSI) PAS 55-2:2008, Gestión de Activos, (Publicly Available Specification: Especificaciones

Disponibles al Público), para la gestión optimizada de activos físicos y cuya especificaciones provee veintiocho (28) requerimientos para establecer y auditar un sistema de gestión integrado y optimizado a lo largo del ciclo de vida para todo tipo de activo físico.

Aun cuando estos 12 factores están englobados en lo antes mencionados, el cumplimiento de estos factores o variables solo representaría un estándar mínimo que debe ser considerado como buenas prácticas pero que no representan las mejores prácticas porque puede variar de acuerdo a las necesidades de cada organización.

**Investigación + Diagnostico (I+D)**

Esta etapa se inicia con una investigación, diagnóstico y/o estudio que permitirá definir la situación actual de la organización auditada en los términos de las variables y principios básicos definidos en la etapa anterior.

Para realizar este diagnóstico, se diseñó un instrumento de medición que entre otros, evalúa los aspectos de la norma de PDVSA: MM-01-01-00 "Modelo de Gerencia de Mantenimiento" y utiliza la metodología para auditar la gestión de mantenimiento diseñada por Vásquez (2011), la cual se apoya en el formato de la Norma COVENIN 2500-93 "Manual para Evaluar los Sistemas de Mantenimiento en la Industria", utilizando el sistema de deméritos que permite partir de la situación ideal para ubicar la situación actual de la gestión de mantenimiento.

Los deméritos definidos son los que por omisión o por incidencia negativa, originan que la efectividad de los principios básicos no sea completa, disminuyendo la puntuación total de dicho principio. La ponderación de estos deméritos al igual que la de cada principio básico, es basada en la experiencia y conocimiento del autor y en las observaciones realizadas en las visitas a diversas organizaciones de Mantenimiento de PDVSA, por lo tanto podrían ser modificadas para cualquier otro proceso de auditoría.

Para verificar el cumplimiento de la norma PDVSA, este instrumento evalúa la gestión de mantenimiento enfocada en tres niveles, estratégico, táctico y operativo, donde se distribuyen los doce (12) factores o variables de Mantenimiento Clase Mundial.

Para completar la calificación de cada demerito, se efectuó un análisis interno realizando entrevistas y encuestas al personal Gerencial/Administrativo de la Gerencia de Mantenimiento de Refinería Puerto La Cruz y se apoyó en los cuestionarios MES y MQS elaborados por Vásquez (2011). Con este instrumento además de poder graficar el comportamiento de la gestión, se determina un valor porcentual que mide el grado de madurez de la gestión de mantenimiento basada en la escala de madurez definida por Vásquez (2011).

Adicional, se procede a graficar cada variable en un Diagrama Radar o Araña, con el cual podemos mostrar visualmente las discrepancias entre la situación actual y la situación ideal.

*Brechas + Prioridades (B+P)*

Para analizar los datos recolectados el instrumento determina el "Índice de Brecha", es decir, muestra porcentualmente la diferencia entre lo que se definió como situación ideal (81%) y la situación actual (resultado de la evaluación).

Una vez determinado este índice de brecha para los Principios Básicos de cada variable, se procede a realizar un análisis de prioridades utilizando el Método de Priorización de Variables basado en Matrices.

Con este método se analizan las variables (Principios Básicos) del objeto de estudio como un sistema donde cada elemento guarda una relación de interdependencia. Este método puede considerarse una técnica cuantitativa, ya que hace uso de índices estadísticos o de la elevación en potencial de matrices para poder obtener el valor de influencia o de dependencia de las variables. Es por ello que

resulta una técnica de gran utilidad para poder establecer cuáles son aquellas variables o principios básicos que por su influencia afectan todo el sistema y poder emprender, a partir de los resultados obtenidos, alguna estrategia para su modificación, pues cualquier acción sobre ellas modificará a las demás.

Una vez que se tiene establecido y definido los principios básicos de cada variable a utilizar, estas se distribuyen, tanto por filas como por columnas en la matriz. Las variables que ocupen el lugar de las filas se manejan como influyentes y cuando estén en las columnas se manejan como dependientes.

Posteriormente, se asignan valores de cero (0), uno (1) y dos (2) a las variables o principios básicos, dependiendo si influye o no en las demás. Se establece el valor 0 para una influencia nula, 1 para una poca influencia y 2 para una mucha influencia. La razón de hacer dicha asignación de un valor numérico es para poder establecer una sumatoria tanto de filas como por columnas. La sumatoria de los números por filas nos indica las veces que cada una de las variables impactaron a las restantes. La sumatoria de los números por columna nos indica las veces que cada variable es influida por las restantes. En la Figura N° 4 se muestra la respectiva matriz.

PRINCIPIOS BASICOS	1.1	1.2	1.3	2.1
1.1 Mision y Vision	0	2	1	2
1.2 Politcas y Objetivos	0	0	0	1
1.3 Informe de Gestión de Mantenimiento	0	0	0	0
2.1 Roles y Responsabilidades	0	0	1	0
2.2 Autoridad y Autonomia	0	0	0	1
3.1 Captura y Diagnostico PDVSA	0	0	1	2
3.2 Planficacion PDVSA	0	0	1	0
4.1 Planficacion del Mito Operacional	0	0	1	0
4.2 Programación y Ejecucion del Mito Operacional	0	0	1	0
4.3 Control y Evaluación del Mito Operacional	0	0	2	0
5.1 Planficacion Mito Predictivo	0	0	1	0
5.2 Programación y Ejecución Mito Predictivo	0	0	1	0
5.3 Control y evaluación Mito Predictivo	0	0	1	0
6.1 Determinación de Parámetros	0	0	0	0
6.2 Planficacion Mito Preventivo	0	0	0	0

Figura N° 4: Matriz de Influencia/Dependencia.  
Fuente: Propia

Una vez construida la matriz, se calcula un índice de influencia el cual se obtiene de la sumatoria de las columnas de cada principio básico, entre el total de la sumatoria de valores de influencia y se obtiene el promedio de influencia dividiendo a este, entre el total de los principios. Para el promedio de dependencia, este se obtiene de la sumatoria de las filas de cada principio básico entre el total de los principios. Una vez obtenida la información anterior, para poder establecer, de qué tipo de variables se trata, se procede a relacionar cada uno de los índices de influencia con cada uno de los índices de dependencia en un plano cartesiano. El eje Y es influencia y el eje X dependencia; donde el límite entre cada zona es el máximo y mínimo de cada índice.

Se considera que un principio básico tiene un índice de influencia alta cuando es mayor al promedio y un bajo índice de influencia cuando su porcentaje es menor al promedio. De manera análoga sucede con el índice de dependencia. Así, una vez graficado cada uno de los índices tal como se muestra en la Figura N° 5, se puede observar el lugar que ocupa cada una de las variables, lo cual permitirá establecer cuáles son aquellas que por su influencia afectan todo el sistema. La utilización de dicha técnica permite, que una vez ubicados los principios básicos influyentes en los cuadrantes I y II, es decir Zona de Poder y Zona de conflicto respectivamente, se puede emprender alguna estrategia para su modificación, ya que cualquier acción sobre ellos modificará a los demás.

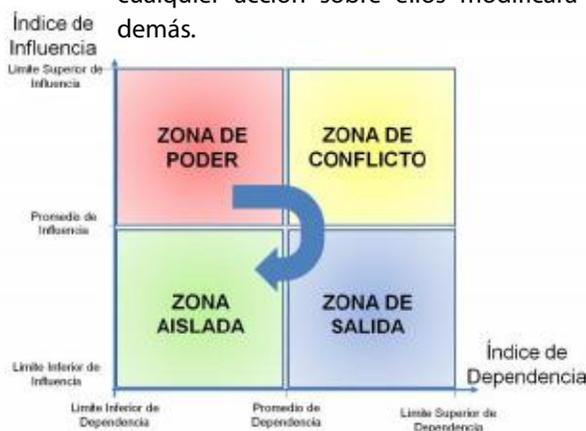


Figura N° 5: Zona de Influencia/Dependencia. Fuente: Propia

A continuación se describe cada zona de influencia y dependencia:

- **Zona de Poder:** Representada en la figura con el color rojo, en esta se encuentran los principios básicos que tienen más alta influencia y la más baja dependencia. Por ello, son las más importantes porque son las que más influyen en el resto y tienen menos dependencia de los demás. Las modificaciones que en ellas ocurren tienen repercusiones en todo el sistema, por lo que son las que deben recibir mayor atención a su solución.

- **Zona de Conflicto:** Se localizan los principios básicos de alta influencia y alta dependencia mostrados en color amarillo. Son importantes por su influencia pero también dependen mucho del resto. Al igual que influyen son influidas y las variaciones que ocurran en ellas tendrán repercusiones en todo el sistema. Después de los principios básicos de la zona de poder son las que deben recibir la atención porque cumplen la función de enlace entre la zona de poder y las restantes, porque sus consecuencias se reflejarán en los principios básicos de la zona de salida que son consecuencia de las anteriores.

- **Zona de Salida:** Son las mostradas en el cuadrante de color azul. Tienen menor importancia por su baja influencia. Por su alta dependencia del resto estas se solucionarían en forma consecuente y se deberán atender luego de atender los de la zona de poder y conflicto.

- **Zona Aislada:** Son los que deben atenderse al final y representadas de color verde, ya que son las que tienen poca o ninguna dependencia o influencia del resto, razón por la cual se les denomina aisladas.

Una vez obtenido tanto el Grado de Madurez y el Índice de Influencia/Dependencia de cada principio básico, se le asigna un puntaje a cada uno de estos tal como se muestra en la Tabla N° 1 para posteriormente multiplicarlos, y los principios básicos que resulten con mayor valor,

serán a los que se le dará prioridad para ser analizado, específicamente los ubicados en la Zonas de Poder y Zona de Conflicto de la matriz de ponderación de variables y cuyo Grado de Madurez estén principalmente en la etapa de Inocencia y Conciencia, es decir, los prioritarios serán los que tengan un puntaje mayor o igual a ochenta (80).

PUNTAJE A ASIGNAR	GRADO DE MADUREZ	ZONA DE INFLUENCIA/DEPENDENCIA
10	Inocencia	Zona de Poder
8	Conciencia	Zona de Conflicto
6	Entendimiento	Zona de Salida
3	Competencia	Zona Aislada
0	Excelencia	N/A

Tabla N° 1: Puntaje a ser asignado. Fuente: Propia

### Estrategias + Plan de Acción (E+A)

Una vez priorizados los principios básicos, se procede a diseñar estrategias que permitirán cerrar las brechas entre la situación actual y la situación ideal. Para establecer estas estrategias, se utilizan como referencia los propios deméritos de cada principio básico definidos en el instrumento de medición, por supuesto, tomando en cuenta los de mayor calificación obtenida.

Considerando el resultado del análisis y las estrategias definidas, se crea un plan de acción que permitirá incrementar la eficiencia y eficacia de la gestión de mantenimiento. El plan de acción estará constituido por las estrategias, actividades a realizar, recursos necesarios, tiempo de ejecución y responsables, de manera que pueda cubrir los principios básicos de cada variable tal como se muestra en la Figura N° 6.

PRINCIPIOS BÁSICOS	ESTRATEGIAS	ACTIVIDADES	RECURSOS	TIEMPO	RESPONSABLE
	Control y Evaluación-Millo				

Figura N° 6: Plan de Acción. Fuente: Propia

### Control + Seguimiento (C+S)

Para el control y seguimiento del plan de acción, se tiene como punto de referencia los indicadores de la Norma de PDVSA MM-01-01-02: Indicadores de Gestión y se relacionan con cada estrategia para definir los indicadores de gestión que permitirán hacer seguimiento al cumplimiento del plan de acción propuesto y por consiguiente el logro de las estrategias fijadas.

### CONCLUSIONES

El modelo para la auditoría de la gestión de mantenimiento diseñado, está basada en los cuatro (4) pasos del círculo de Deming: Planificar, Hacer, Verificar y Actuar, lo cual permite enfocarse en la filosofía del Mejoramiento Continuo y evaluar constantemente si la organización de mantenimiento auditada cumple con las normativas de PDVSA y las mejores prácticas de Mantenimiento Clase Mundial.

El modelo se representa por medio del pentáculo Da Vinci, de tal forma que se identifica al ser humano con la punta hacia arriba siendo este el factor primordial para lograr la gestión eficaz y eficiente del mantenimiento y las otras cuatro puntas, representan los cuatro elementos de la naturaleza, Fuego, Aire, Agua y Tierra, los cuales son elementos representados en cada uno de los factores que afectan a la Gestión del Activo Físico.

El modelo para la auditoría de la gestión de mantenimiento formulado, es flexible y adaptable al contexto donde se aplique, lo cual se ajusta a la realidad de las organizaciones de mantenimiento que son dinámicas, interactivas y deben responder a los cambios.

El modelo para la auditoría de la gestión de mantenimiento, está diseñado para lograr una visión de carácter gerencial, que le permita

capturar las oportunidades de mejora de la organización para:

- Asegurar la disponibilidad máxima de las Plantas Operacionales, al menor costo dentro de los requisitos de confiabilidad, cantidad y calidad de producción, costos operacionales, seguridad y medio ambiente.
- Aumentar los tiempos entre fallas de equipos críticos.
- Incrementar el Mantenimiento Preventivo y disminuir el Mantenimiento Correctivo.
- Prolongar la vida útil de los activos.
- Adecuar la estructuración de la Base de Datos de Mantenimiento para la generación de los informes de Gestión.
- Maximizar la productividad.

**AUTOR:**

**Vásquez G., Emiro J.  
Ing. Msc. Msc.**

Gerente de Mantenimiento Petroanzoategui PDVSA  
Magister en Gerencia de Mantenimiento. (UDO-UNEFA)  
Magister en Ciencias Administrativas  
mención Gerencia General. (UDO)  
Especialización en Ingeniero de Procesos de Producción  
de Superficie (PIA-IPS/PDVSA)  
Ingeniero Electricista. (UDO)

### REFERENCIAS

- Amendola, Luis. (2004). "Balanced Scorecard en la gestión del mantenimiento." Artículo publicado en [www.mantenimientomundial.com](http://www.mantenimientomundial.com).
- British Standards Institution (BSI). (2008). PAS 55-2:2008 (Publicly Available Specification): "Gestión de Activos". Gran Bretaña.
- Cano A. y Cano Jorge. (2010). "Modelo de Auditorías Cruzadas al Mantenimiento." Está indicado en: Revista CIER N° 55 - 2010. II Seminario Internacional: Mantenimiento en Sistemas Eléctricos (SIMSE 2009). Bogotá, Colombia.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). (1993). Norma Venezolana COVENIN 2500-93: "Guía para evaluar Sistemas de Mantenimiento". Caracas, Venezuela.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). (1995). Norma Venezolana COVENIN 2270-95: "Comités de Higiene y Seguridad Industrial. Integración y Funcionamiento". Caracas, Venezuela.

Hernández M., Ederlys. (2010). Línea de investigación de proyecto de tesis doctoral: "Manuales de Procedimientos de Contabilidad y Auditoría", Corporación Copextel S.A. Cuba.

Hernández M., Viña R. Y Hernández S. (2007) "Diseño del Modelo para Administrar Riesgos en Auditoría Interna". Disponible en: <http://www.gestiopolis.com/canales8/fin/modelo-para-administrar-los-riesgos-en-Auditoria.htm>.

Holmes, Arthur W. (1952). "Auditoría: principios y procedimientos". Editorial Hispanoamérica. México. 1952.

Ladino, Enrique. (2006). "Control interno - Informe Coso". Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos12/coso/coso2.shtml>.

Lam, Elsa. Trabajo de Campo. (2002): "Evaluación del Control Interno Basado en el Modelo COSO". Guatemala.

Leonard, William P. (1989). "Auditoría Administrativa". México. Editorial Diana.

Millán, Danis (2010). "Evaluación de la gestión de mantenimiento de la empresa Consorcio TAYUKAI en base a las mejores prácticas del mantenimiento de Clase Mundial y propuesta de un plan de mejora". Trabajo presentado como requisito para optar al título de Magister Scientiarum en Ingeniería Industrial en la UNEXPO, Puerto Ordaz - Venezuela.

Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). (2005). "Manual de auditoría técnica y gestión de la calidad total".

Petróleos de Venezuela S.A. PDVSA. (2004). "Guía Práctica para el Auditor Interno". Caracas, Venezuela.

Petróleos de Venezuela S.A. PDVSA. (2004). "Guía para Evaluar el Sistema de Control Interno". Caracas, Venezuela.

Petróleos de Venezuela S.A. PDVSA. (2010). Norma PDVSA MM-01-01-00: "Modelo de Gerencia de Mantenimiento". Caracas, Venezuela.

Petróleos de Venezuela S.A. PDVSA. (2010). Norma PDVSA MM-01-01-02: "Indicadores de Gestión del Proceso de Mantenimiento". Caracas, Venezuela.

Petróleos de Venezuela S.A. PDVSA. (2011). Norma PDVSA MM-02-02-03: "Gestión de Ordenes para el Mantenimiento Ordinario". Caracas, Venezuela.

Petróleos de Venezuela S.A. PDVSA. (2011). Norma PDVSA MM-01-01-01: "Definiciones de Mantenimiento y Confiabilidad". Caracas.

Rodríguez, Joaquín. (1997). "Sinopsis de Auditoría Administrativa". México. Editorial Trillas.

Tavares, Lourival. (1998). "Administración Moderna de Mantenimiento". Capítulo 6: TPM - MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL. Segunda edición.

Tavares, Lourival. (2007). "Auditorías de Mantenimiento". Congreso en Uruguay.

Vásquez G., Emiro J. (2011). "Metodología para auditar la Gestión de Mantenimiento de PDVSA. Caso: Refinería San Roque". UDO. Trabajo presentado como requisito para optar al título de Magister Scientiarum en Ciencias Administrativas mención Gerencia General. Anzoátegui, Venezuela.

Villamizar, Sallik. (2007). "Modelo Gerencial bajo el Enfoque de Servicios para Activos No Industriales. Caso: Superintendencia de Mantenimiento de Instalaciones No Industriales. Gerencia Servicios Logísticos PDVSA - Refinación PLC". Convenio UDO - UNEFA. Trabajo presentado como requisito para optar al título de Magister Scientiarum en Gerencia de Mantenimiento. Anzoátegui, 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.COMAR](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

 **22º CONGRESO DE MANTENIMIENTO HOSPITALARIO.**  
17 al 18 de Julio de 2014. Auditorio FLENI - Buenos Aires - Argentina.  
[cam.mantenimientohospitalario@gmail.com](mailto:cam.mantenimientohospitalario@gmail.com)  
[www.cam-mantenimiento.com.ar/vernotaphp?id=164](http://www.cam-mantenimiento.com.ar/vernotaphp?id=164)  
(01) 4813-2400

 **SOLUTIONS 2.0.**  
Del 28 al 31 de Julio 2014. Florida  
[solutionsconference.info](http://solutionsconference.info)

 **LA INVERSIÓN EN MANTENIMIENTO: CLAVE PARA LA COMPETITIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD.**  
27 al 29 de Agosto de 2014. Panamá  
(507)272-1414/8686.  
[congresodemantenimiento@pancanal.com](mailto:congresodemantenimiento@pancanal.com)  
[www.micanaldepanama/congreso](http://www.micanaldepanama/congreso)

 **CONGRESO DE TURBOMAQUINARIA.**  
1 al 4 de Septiembre de 2014. México.  
+52 -442 1961500. [turbo@ciateqmx](mailto:turbo@ciateqmx)  
[www.congresodeturbomaquinaria.com.mx](http://www.congresodeturbomaquinaria.com.mx)

 **XXXI CONFERENCIA ENERGÉTICA COLOMBIANA.**  
13 al 14 de Septiembre de 2014. Bogotá - Colombia.  
2367713 - 2367714. [aciemeducon@cablenet.co](mailto:aciemeducon@cablenet.co)  
[www.aciem.org/home/index.php/eventos/enercol-2014](http://www.aciem.org/home/index.php/eventos/enercol-2014)

 **CONGRESO MEXICANO DE CONFIABILIDAD Y MANTENIMIENTO 2014.**  
22 al 25 de Septiembre de 2014. Monterrey, México.  
+52 (477) 711 2323. [egonzalez@noriamx](mailto:egonzalez@noriamx)  
[www.cmcmm.com.mx/index.php?page=venta-espacios](http://www.cmcmm.com.mx/index.php?page=venta-espacios)

 **ABRAMAN- CONGRESSO BRASILEIRO.**  
29 de Septiembre al 3 de Octubre de 2014. Santos, São Paulo.  
21 3231 7000. [Eventos2@abraman.org.br](mailto:Eventos2@abraman.org.br)  
[www.abraman.org.br/newsletters/29cbmga/chtt/html.html](http://www.abraman.org.br/newsletters/29cbmga/chtt/html.html)

 **8º WORKSHOP INTERNACIONAL ASSET MANAGEMENT & MANUFACTURING.**  
2 al 3 de Octubre 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/7-workshop-internacional](http://www.globalassetmanagement-amp.com/index.php/7-workshop-internacional)

 **9º WORKSHOP INTERNACIONAL ASSET MANAGEMENT & BUSINESS PLAN.**  
21 al 22 de Octubre de 2014. Bogotá, COLOMBIA.  
+57 (1) 64674301 - (0034) 96345666.  
[nuria@globalassetmanagement-amp.com](mailto:nuria@globalassetmanagement-amp.com)  
[www.globalassetmanagement-amp.com/index.php/inicio-ws-colombia](http://www.globalassetmanagement-amp.com/index.php/inicio-ws-colombia)

 **9na JORNADA ANDINA DE DUCTOS 2014.**  
24 al 23 de Octubre de 2014. Bogotá Colombia.  
2367713 - 2367714. [aciemeducon@cablenet.co](mailto:aciemeducon@cablenet.co)  
[www.aciem.org/home/index.php/eventos/9a-jornada-andina-de-ductos-2014](http://www.aciem.org/home/index.php/eventos/9a-jornada-andina-de-ductos-2014)

 **III Congreso Latinoamericano de Gestión de Activos, COLAGA 2014.**  
Del 29 al 31 de Octubre, Puerto La Cruz, Venezuela.  
[info@avepmco.org.ve](mailto:info@avepmco.org.ve)  
<http://avepmco.org.ve/Portal/index.php/eventos>

# Experiencia En La Selección De Indicadores Claves De Desempeño En El Mantenimiento Del Equipo Estático

En las principales empresas productoras de bienes manufacturados y producción de petróleo a nivel mundial, sus directivos y gerentes están convencidos que es un negocio invertir en mantenimiento de activos y no ver al mantenimiento como un gasto. Esta transformación que está ocurriendo en el mundo del mantenimiento ha hecho patente la necesidad de una mejora sustancial y sostenida de los resultados operacionales y financieros de las empresas, lo que ha llevado a la progresiva búsqueda y aplicación de nuevas y más eficientes técnicas y prácticas gerenciales de planificación y medición del desempeño del negocio.

Una eficiente organización de mantenimiento se debe centrar en cuatro elementos o roles principales en lo referente a la cadena de valor de mantenimiento Ellos son: Diagnóstico y captura de condiciones, Planeación, Programación y Ejecución del mantenimiento. Estos roles son fundamentales para el logro eficiente de sus objetivos en la generación de valor para la empresa, estos objetivos básicos son, optimización de costos y aseguramiento de la continuidad operativa de los equipos con la finalidad de que el aparato productivo maximice su producción.

El diagnóstico y captura, así como la planificación, la programación y ejecución del mantenimiento no puede quedarse solo en planes, estos tienen que ejecutarse y sus resultados tienen que evaluarse y medirse. Es por eso que toda organización sería de

mantenimiento debe considerar en primera instancia el desarrollo de indicadores claves de desempeño que estén alineados con las diferentes actividades de la cadena de valor de mantenimiento y de esta manera facilitar su medición. Y no solo eso, sino comparar su desempeño con la competencia o empresas clase mundial, a fin de lograr un proceso de mejora continua apoyado en una comparación con los niveles de desempeño de los mejores en cada área.

Tomando en cuenta que no está documentado el proceso de selección de cuales indicadores y cuantos indicadores deben ser llevados, en este artículo se presenta una experiencia práctica de selección de indicadores para el monitoreo de una gestión de mantenimiento al equipo estático.

## DEFINICIONES

**Mantenimiento:** Cualquier actividad efectuada en un equipo, sistema o instalación, con el objeto de que continúe desempeñando la función para la cual fue diseñado. El mantenimiento es una disciplina que garantiza la disponibilidad, funcionalidad y conservación del equipamiento, siempre que se aplique correctamente, a un costo competitivo.

**Gestión de Mantenimiento:** Es la efectiva y eficiente utilización de los recursos materiales, económicos, humanos y de tiempo para alcanzar los objetivos de mantenimiento.

**Indicador de Desempeño:** Un indicador de desempeño es la expresión cuantitativa del comportamiento y desempeño de un proceso, cuya magnitud, al ser comparada con algún nivel de referencia, puede estar señalando una desviación sobre la cual se toman acciones correctivas o preventivas según el caso.

Los indicadores son una forma clave de retroalimentar un proceso, de monitorear el avance o la ejecución de un proyecto y de los planes estratégicos, entre otros.

**Eficiencia:** Capacidad de disponer de alguien o de algo para lograr un fin determinado.

**Eficacia:** Capacidad de lograr el efecto que se desea o espera. Este término será utilizado para mediar el resultado de la eficiencia del desempeño de mantenimiento sobre los equipos mantenidos.

**Equipo estático:** Se define un equipo estático como aquel cuya función principal es contener el fluido que maneja, como ejemplos podemos citar tuberías, tanques, recipientes, intercambiadores de calor.

## TIPOS DE INDICADORES

Existe de manera general una subdivisión de los tipos de indicadores existentes, decimos entonces que hay que diferenciar que unos indicadores reflejan los resultados de la actuación pasada en cuanto al desempeño de los equipos (Lag measures), otros indicadores describen lo que se hace para mantener el equipo, y son conocidos como "inductores" (Lead measures).

Para entender la diferencia entre indicadores de resultado o desempeño de equipos e inductores, es importante conocer el propósito de cada uno de ellos:

**Indicadores de desempeño o resultados (Lag measures)**

- Reflejan resultados de decisiones pasadas

- Generalmente no son claros para el personal operativo
  - Nadie se siente responsable por el resultado
- Son equivalentes a las autopsias pues dan información sobre lo que ya pasó, sin que se pueda cambiar su resultado.

**Indicadores de actuación o inductores (Lead measures)**

- Dicen cómo lo hacemos
- Muestran pasos a seguir día a día
- Más accesibles a toda la organización
- El personal se siente responsable de las variaciones
- Generalmente miden procesos

En contraposición a las autopsias, equivale a hacer una biopsia, para detectar que está ocurriendo y tomar acciones apropiadas para mejorar el resultado.

## INDICADORES A USAR

Los siguientes criterios pueden ayudar en la definición de indicadores:

- No deben ser ambiguos y se deben definir de manera uniforme en toda la empresa.
- Los indicadores utilizados entre diferentes organizaciones deben estar claramente conectados.
- Su selección y medición debe ser un proceso fácil y no complicado.
- Se debe buscar un equilibrio entre los indicadores de resultado y los indicadores de actuación (inductores).
- Debe estar claramente definida la responsabilidad de cálculo y periodo de evaluación.
- No es conveniente partir de un indicador para definir un objetivo.
- Lo correcto es aclarar primero cual es el objetivo buscado. La secuencia lógica e internacionalmente aceptada para definir un indicador es: Objetivo, indicador, meta.
- El proceso de definición de indicadores, requiere que se defina con claridad qué medir, cómo medir, cuándo medir, fuente de la medición y responsable.

### EFFECTIVIDAD, EFICACIA Y EFICIENCIA COMO INDICADORES ASOCIADOS A LA PRODUCTIVIDAD Y LA CALIDAD

Existen tres criterios comúnmente utilizados en la evaluación del desempeño de un sistema, los cuáles están muy relacionados con la calidad y la productividad, estos son: eficiencia, efectividad y eficacia. Sin embargo a veces, se les mal interpreta, mal utiliza o se consideran sinónimos; por lo que consideramos conveniente puntualizar sus definiciones y su relación con la calidad y la productividad.

**Efectividad:** Es la relación entre los resultados logrados y los resultados propuestos, o sea nos permite medir el grado de cumplimiento de los objetivos planificados.

**Eficacia:** Eficacia se refiere a los "Resultados" en relación con las "Metas y cumplimiento de los Objetivos organizacionales". Para ser eficaz se deben priorizar las tareas y realizar ordenadamente aquellas que permiten alcanzarlos mejor y más rápidamente.

**Eficiencia:** En palabras más aplicadas a nuestras profesiones, consiste en el buen uso de los recursos. En lograr lo mayor posible con aquello que contamos. Si un grupo humano dispone de un determinado número de insumos que son utilizados para producir bienes o servicios, "eficiente" será aquel grupo que logre el mayor número de bienes o servicios utilizando el menor número de insumos que le sea posible. "Eficiente" es quien logra una alta productividad con relación a los recursos que dispone.

### ESTRATEGIAS PARA SELECCIONAR INDICADORES DE DESEMPEÑO

En la actualidad existe una gama innumerable de indicadores que pueden ser seleccionados y probablemente todos ellos interesantes para la organización. No obstante, los recursos de toda organización son limitados y por ello sólo se deben desarrollar aquellos indicadores que son "rentables" para la organización, es decir,

aquellos para los cuales la importancia de la información que simbolizan justifique el esfuerzo necesario para su obtención.

Para una selección adecuada de los indicadores de desempeño en una gestión de mantenimiento al equipo estático a los niveles organizacionales, se deben tomar en cuenta que niveles de la organización analizarán dichos indicadores, en este sentido se definen tres niveles organizacionales.

**Indicadores Estratégicos:** Generan una Visión Corporativa. Estos indicadores permiten conocer la direccionalidad y efectividad de la organización comparándose con otras organizaciones del mismo rubro (Benchmarking).

**Indicadores Tácticos:** Generan Visión del desempeño del activo, estos Indicadores ayudan a monitorear la efectividad en el cumplimiento de objetivos y tomar medidas.

**Indicadores Operativos:** Generan Visión sobre el desempeño de una Gestión, para este proyecto ayudarán a medir eficiencia y eficacia del proceso de gestión de mantenimiento.

### Estrategia 1: Investigación de la existencia de Indicadores del Mantenimiento al Equipo Estático

Como primera estrategia se debe dar una mirada a la historia dentro de la organización, allí de seguro vamos a conseguir una infraestructura de información que nos permitirá conocer con lo que contamos, que hemos hecho, como hemos evolucionado y donde estamos en la actualidad. Para el desarrollo de esta etapa se debe colocar la lupa sobre experiencias previas, tanto en la implementación de indicadores en las organizaciones involucradas así como en la documentación técnica desarrollada por la organización, esto permitirá construir las bases que soportarán la propuesta técnica de los indicadores que realmente son requeridos para medir y monitorear la gestión de mantenimiento sobre el equipo estático.

### **Estrategia 2: Determinar si la gestión de indicadores actuales refleja la realidad de lo que se requiere medir**

Los indicadores de gestión deben permitir a los diferentes niveles de la organización evaluar el desempeño de la gestión, en forma general se puede decir que la organización que desempeña el mantenimiento está conformada por tres niveles básicos de responsabilidad en el logro de los objetivos planteados por el negocio, esos niveles son:

- Nivel Táctico o estratégico (Gerencia General del activo)
- Nivel Técnico (Gerencia de Mantenimiento del activo)
- Nivel Operativo (Ejecutor de Mantenimiento)

Estos tres niveles están alineados con la estructura jerárquica de una organización modelo de mantenimiento y la misma puede representarse en forma piramidal, es importante señalar que deben desarrollarse indicadores que permitan a toda la organización evaluar la gestión de mantenimiento. En la Figura 1 se muestran los tres niveles de decisión de una organización de mantenimiento.



En este sentido, se debe asegurar definir indicadores claves de desempeño que faciliten el análisis de la gestión de mantenimiento a la Gerencia General del activo, quienes tienen el rol de dirigir táctica y estratégicamente el desempeño del activo y al mismo tiempo suministrarle información de la alineación de los resultados de la gestión de mantenimiento con las metas del negocio.

El nivel técnico asociado a la gerencia de mantenimiento, necesita nutrirse de los indicadores para poder evaluar su gestión como gerencia y al mismo tiempo medir la gestión operativa del ejecutor de mantenimiento. Por tal motivo, este grupo de indicadores buscará medir el desempeño de los equipos así como la productividad de la cadena de valor de mantenimiento conformada por Ingeniería de Mantenimiento, planificación, programación y ejecución de mantenimiento.

Los indicadores operativos permitirán al ejecutor del mantenimiento dentro del activo evaluar su gestión y con ello retroalimentarse con la finalidad de asegurar una gestión eficiente y con ello satisfacer las necesidades de su cliente.

Uno de los objetivos fundamentales de esta estrategia es definir si lo que se está midiendo realmente debe continuar midiéndose, para ello debemos estar bien claros en cuanto al papel que debe jugar una organización de mantenimiento en la visión moderna de los negocios, es decir mantenimiento ya no es visto como una inversión y supeditado a los diseños de operaciones o producción, el papel de la organización de mantenimiento en la actualidad es aportar valor al negocio y su importancia es tan grande como lo es la de producción u operaciones y es por ello que podemos decir que ambas organizaciones deben apuntar a los objetivos del negocio convirtiéndose ambas en socios. En este sentido una organización de mantenimiento debe en primera instancia y como norte, tener establecido la meta de "MAXIMIZACIÓN DE VALOR" en cualquier activo de producción, en este sentido esta premisa debe ser la guía para el establecimiento comparativo de los indicadores que actualmente se llevan con los indicadores que deben llevarse. En este sentido la Figura 2 muestra la interrelación que debe existir entre los diferentes indicadores que conforman una gestión de mantenimiento orientada a la generación de valor.

Para entender este esquema debemos partir de

la premisa de que la organización de mantenimiento está íntimamente relacionada con la eficiencia de la gestión financiera de la empresa, es decir una empresa eficiente financieramente necesariamente está soportada en una organización de mantenimiento conectada, involucrada y responsable por el logro de los objetivos de la gestión financiera de la empresa.

realmente lo necesitan.

El segundo aspecto se refiere a maximizar valor lo cual va alineado a maximizar producción, acá juega un papel importantísimo la gestión eficiente de las áreas de programación y ejecución de mantenimiento, quienes por medio de una eficiente gestión harán llegar la mano de mantenimiento a los equipos que más lo necesitan, permitiendo esto asegurar su disponibilidad para que el proceso de producción no se vea afectado y sea lo más continuo posible en función de los requerimientos de producción establecidos.

Basado en la Figura 2 donde se establece la interrelación entre la gestión financiera y la gestión de mantenimiento en una empresa se debe definir cuáles son los indicadores requeridos por la organización. Sobre la pregunta ¿si los indicadores actuales dan cumplimiento al seguimiento a la efectividad del mantenimiento sobre el equipo estático? La respuesta a esta pregunta la obtendremos identificando las tres



Figura 2: Interrelación entre los diferentes indicadores que conforman una gestión de mantenimiento

Cuando nos referimos al involucramiento de la organización de mantenimiento a la gestión financiera de una empresa nos referimos a dos aspectos fundamentales:

El primer aspecto se refiere a la optimización de costos de mantenimiento, esto será solamente posible si desde la organización de mantenimiento se logra desarrollar una eficiente gestión del proceso de diagnóstico y captura así como una eficiente planificación a mediano y corto plazo, es en estas dos áreas de la cadena de valor de mantenimiento donde se centran las oportunidades de reducción de costos en la gestión, de allí la necesidad de establecer indicadores que puedan monitorear mensualmente el desempeño de estos dos procesos, con lo cual se asegurará la alineación estratégica a la optimización de costos asegurando gastar el presupuesto de mantenimiento en aquellos equipos que

áreas medulares a medir las cuales son: costos, desempeño del equipo estático y eficiencia en la gestión del mantenimiento. A partir de este análisis se debe centrar el desarrollo de indicadores para el equipo estático, los cuales e puedan en todo momento monitorear eficientemente los procesos de Ingeniería, Planeación, Programación, Ejecución de mantenimiento, Costos y desempeño del equipo estático.

**Estrategia 3: Selección de Indicadores**

**Selección de Indicadores para el Nivel táctico o Estratégico de la organización:**

Este grupo de indicadores se deben definir como indicadores generales conformados por un grupo de indicadores específicos en cada área seleccionada, dichos indicadores generales permitirán obtener una visión corporativa de la gestión del activo midiendo varios elementos de

un proceso, así mismo suministrarán información que permita determinar la direccionalidad y efectividad de la organización en los aspectos que se desean medir.

Es importante resaltar que cada indicador general del nivel táctico será alimentado por un grupo de indicadores específicos que serán los responsables de reflejar la realidad del área analizada. En este sentido los indicadores generales recomendados para este nivel serán Costos, Desempeño del equipo estático y Gestión del mantenimiento en la figura 3 puede apreciarse una representación gráfica de los indicadores para el nivel táctico propuestos:



Figura 3: Indicadores generales propuestos para el Nivel táctico de la organización

**Selección de Indicadores para el Nivel técnico de la organización:**

Permiten generar una visión del nivel de desempeño de la gestión del activo, su función principal consiste en monitorear la eficacia del mantenimiento sobre el activo. Los indicadores específicos establecidos para el nivel técnico son: Costos y Desempeño de equipos.

**Selección de Indicadores para la gestión de Costos.**

El control de costos es un elemento fundamental de toda gestión; más aún, en la gestión de mantenimiento de activos, sobre todo en la realidad de la industria petrolera donde el comportamiento real de los yacimientos es a la declinación y por ende impactar negativamente en los potenciales de producción y con ello en los ingresos económicos. También es importante resaltar la necesidad de establecer indicadores que puedan evaluar el porcentaje de costos que representa el proceso de inspección de equipos estáticos en función del total de gastos de

mantenimiento. En este sentido se deben definir indicadores de gestión que puedan servir de comparación con otras empresas del mismo rubro a nivel mundial.

Los indicadores de costos propuestos se muestran en la Figura 4.



Figura 4: Indicadores de Costos seleccionados

Este tipo de indicadores es generalmente de uso compartido entre los niveles tácticos, técnicos y operativos de la organización.

**Selección de Indicadores para monitoreo del desempeño del equipo estático.**

Los indicadores de desempeño sugeridos para el monitoreo del equipo estático deben ser parámetros de medición, que permiten dar seguimiento y evaluar el cumplimiento del objetivo principal de un equipo estático (contener fluido, soportar la instalación). Los indicadores seleccionados en este estudio, buscan evaluar el desempeño de la gestión de mantenimiento como una relación directa del nivel de deterioro o integridad que dichos equipos puedan presentar. En este sentido, los indicadores de desempeño seleccionados para la familia de equipos estáticos se muestran en la Figura 5.



**Selección de Indicadores para el Nivel operativo de la organización:**

Estos indicadores alimentaran el indicador táctico Gestión de Mantenimiento y permiten generar una visión de la eficiencia de la gestión de mantenimiento en las áreas de Ingeniería, Planeación, Programación y Ejecución del mantenimiento, permitiendo los mismos medir y verificar el rendimiento así como la calidad de dichos procesos, con lo cual los ejecutores de mantenimiento podrán retroalimentar su gestión a fin de tomar las acciones correctivas necesarias que mantengan al indicador dentro de los parámetros de medición establecidos

**Selección de Indicadores para la Gestión de Ingeniería de Mantenimiento**

La esencia de la Ingeniería de Mantenimiento es determinar las necesidades de Mantenimiento de las instalaciones. Podemos definir el rol de Ingeniero de Mantenimiento como: el conjunto de filosofías encaminadas a definir las tareas de mantenimiento por las cuales se logra la Confiabilidad y la Mantenibilidad deseada, soportando técnicamente la función de Mantenimiento, mediante el seguimiento de la condición de los equipos e instalaciones y aplicando metodologías que permitan mejorar la confiabilidad operacional de los mismos, de acuerdo al Modelo del Sistema de Administración de Mantenimiento.

Dentro de la gestión de mantenimiento, el proceso de Ingeniería de Mantenimiento tiene bajo sus funciones básicas el diagnóstico y captura de condiciones de los equipos. En la Figura 6, pueden apreciarse los tres elementos guías de la gestión de Ingeniería de mantenimiento.

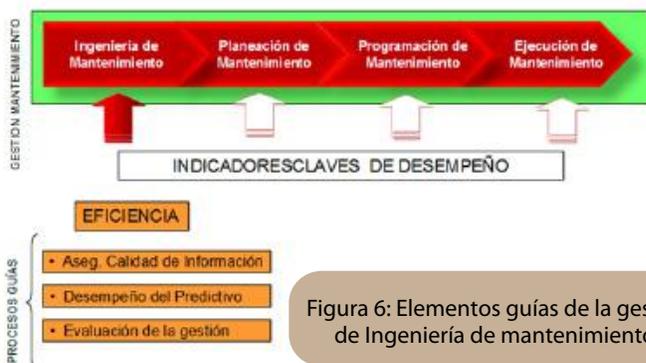


Figura 6: Elementos guías de la gestión de Ingeniería de mantenimiento

En la Figura 7 se anexan los indicadores propuestos para medir la eficiencia del rol de Ingeniería de mantenimiento en la organización.

INGENIERIA	
No. Equipos FN mantenidos / No. Total equipos FN	%
No. Equipos con fugas y derrames con recomendación FN / No. Total Equipos con fugas y derrames	%
No. Inspecciones ejecutadas / No. Inspecciones programadas del plan	%
No. Plataformas con equipos censados/ No. Total de plataformas	%

INDICADORES CLAVES DE GESTIÓN

Figura 7: Indicadores propuestos para la gestión de Ingeniería de Mantenimiento

**Selección de Indicadores para la gestión de Planeación de Mantenimiento**

La esencia de la Planeación es determinar el Qué, el Cómo y las fechas de ejecución de las actividades de Mantenimiento. Podemos definir el rol de Planeador como el proceso sistemático o metodológico mediante el cual se determinan las actividades y recursos requeridos a corto, mediano y largo plazo para la realización de un trabajo de Mantenimiento. Como objetivo principal debe garantizar la generación de los planes de mantenimiento que aseguren la continuidad operacional de los equipos o ubicaciones técnicas para cumplir con las metas de producción de acuerdo a los recursos disponibles.

Para la gestión de planeación se resaltan dos procesos guías de esta gestión: la Gestión de Planes de Mantenimiento provenientes de Ingeniería de mantenimiento y la Planeación operativa, alineando los intereses del negocio a las necesidades de mantener disponibles los equipos claves para el cumplimiento de los objetivos del negocio. En la figura 8 pueden apreciarse los dos elementos guías de la gestión de Planeación del mantenimiento.



Figura 8: Elementos guías de la gestión de Planeación de mantenimiento

En la Figura 9 se anexan los indicadores seleccionados para medir la eficiencia del rol de Planeación de mantenimiento en la organización.

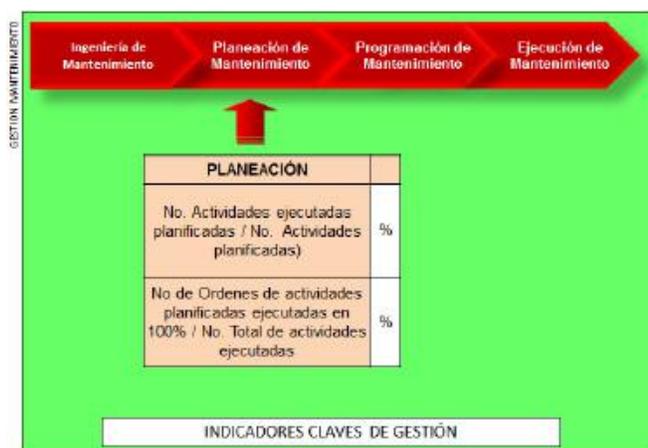


Figura 9: Indicadores para la gestión de Planeación de mantenimiento

### Selección de Indicadores para la gestión de Programación de Mantenimiento:

La esencia del rol de programación es determinar el CUANDO, DONDE y CON QUE de las actividades de mantenimiento. Podemos definir el rol de programador como el proceso mediante el cual se determina la fecha de inicio y fin de un trabajo, de acuerdo a la disponibilidad de los recursos.

El objetivo del rol de programador es programar y priorizar los recursos humanos y materiales que se necesitan para ejecutar las actividades de

mantenimiento.

Dentro de la gestión de mantenimiento, el proceso de Programación tiene bajo sus funciones básicas la materialización de las actividades fundamentales de mantenimiento, las cuales permitirán asegurar la disponibilidad de los equipos para producir y con ello apuntar a maximizar el desempeño y rendimiento de los equipos y con ellos apoyar al objetivo corporativo de maximizar valor mediante la maximización de la producción asegurando la disponibilidad del equipo.

Para la gestión de programación se resaltan tres procesos guías de esta gestión como se indican en la Figura 10.



Figura 10: Elementos guías de la gestión de Programación de mantenimiento

En la Figura 11 se muestran los indicadores seleccionados para medir la eficiencia del rol de Programación de mantenimiento en la organización.



Figura 11: Indicadores para la gestión de Programación de mantenimiento

**Selección de Indicadores para la gestión de Ejecución de Mantenimiento:**

Podemos definir el rol de ejecutor como el proceso mediante el cual se materializan las actividades de mantenimiento de forma efectiva y eficiente, permitiendo aumentar la productividad en la gestión del mantenimiento y cumplir exitosamente con los programas de mantenimiento establecidos para los equipos e instalaciones.

Lo fundamental del rol de Ejecutor de mantenimiento es materializar la acción de mantenimiento, bien sea planificada o no, con calidad, seguridad y alineados al modelo de Gestión de Mantenimiento. Dentro de la gestión de mantenimiento, el proceso de Ejecución de Mantenimiento es quien realmente toca el equipo que necesita mantenerse para asegurar la continuidad del mismo; es este elemento quien con su calidad asegurará el correcto desempeño y rendimiento de los equipos y con ellos apoyar al objetivo corporativo de generar valor mediante la maximización de la producción asegurando la disponibilidad del equipo.

Para la gestión de Ejecución se resaltan tres procesos guías: Aseguramiento de condiciones de inicio de trabajo, Ejecución y Supervisión de actividades y tiempos de entrega de equipos.

En la Figura 12 se pueden apreciar estos elementos.



Figura 12: Elementos guías de la gestión de Ejecución de Mantenimiento

En la Figura 13 se incorporan los indicadores seleccionados para medir la eficiencia del rol de Ejecución de Mantenimiento en la organización.

EJECUCIÓN	
No. Órdenes cerradas / No. Total Órdenes generadas	%
No. Órdenes retrasado / No. Total de Órdenes	%
No. Actividades programadas ejecutadas / No. Total Actividades programadas	%
No. Actividades programadas ejecutadas / No. Total actividades ejecutadas	%
No. Jermadas ejecutadas (emergencia) / No. Total jermadas ejecutadas	%
No. jermadas previstas-predictivas ejecutadas / No. Total jermadas ejecutadas	%
No. Activos programados no ejecutados	Ítems

INDICADORES CLAVES DE GESTIÓN

Figura 13: Indicadores para la gestión de Ejecución de Mantenimiento

A modo de resumen, se presenta en el Anexo 1 de este documento, el total de indicadores propuestos que servirán de instrumentos para monitorear la eficiencia y eficacia de la gestión de mantenimiento de cualquier organización d mantenimiento responsable de los equipos estáticos.

Para facilitar el proceso de implementación futura de estos indicadores, se debe elaborar un formato denominado "Ficha técnica del indicador", donde se debe dejar plasmado para cada indicador recomendado, toda la información necesaria que lo identifique como único, es decir, la codificación, definición, formula, responsables, valores referenciales de los mismos.

**Beneficios derivados de un proceso de definición e implementación de indicadores de gestión.**

Lo que se mide, se puede controlar; en este sentido, la implementación de un sistema de indicadores propuestos proporciona las herramientas para establecer control estratégico de la gestión.

Está conformado como un sistema de alertas tempranas, de tal manera que permita actuar bajo la política de diagnóstico y no de conclusión o biopsia.

Permiten alinear los esfuerzos de Mantenimiento con el negocio (optimización de costos y maximizar producción).

Permiten construir conocimiento, dejando huella del pasado de la gestión a fin de incorporar las mejoras requeridas para asegurar la dirección correcta de la gestión con la evolución del negocio.

Si una organización pretende mejorar sus procesos, debe traspasar sus fronteras y conocer el entorno para aprender e implementar lo aprendido. Los indicadores propuestos permitirán a través del benchmarking evaluar los procesos y actividades y compararlos con los de otras empresas marcadoras en el ramo petrolero. Permite a las personas conocer su aporte en las metas organizacionales y cuáles son los resultados que soportan la afirmación de que lo está realizando bien.

#### **Recomendaciones para la implementación de un proceso de definición e implementación de indicadores de gestión**

El éxito de un proceso de definición de indicadores realmente se mide o depende del proceso de implementación de los mismos, es decir, en la medida que dichos indicadores no sean implementados sea la causa que fuere, en esa medida se puede concluir que el proceso de definición realmente no fue eficiente.

La implantación de un sistema de indicadores requiere no sólo la correcta especificación de los indicadores, sino también involucrar a las personas afectadas en su implantación; ello permitirá asegurar el correcto uso y la necesidad de llevar claramente la información requerida para el cálculo de los mismos.

Es muy importante la formación y sensibilización del personal de la organización involucrada en el área o actividad evaluada, sobre los objetivos que persigue el sistema de indicadores, y sobre su sistema de funcionamiento.

La formación o capacitación a los responsables de llevar los indicadores, debe contemplar

todos los aspectos sobre diseño, implantación, explotación de la información. Así mismo, es muy importante explicar cómo el resultado de los indicadores es fruto de las actividades que realiza el personal involucrado en el área o actividad evaluada, ya que esto incrementa la motivación hacia la consecución de los resultados del personal.

Organizacionalmente debe fomentarse un proceso de comunicación y motivación sobre los indicadores propuestos; la comunicación tiene como objetivo sensibilizar al personal de la organización sobre los indicadores e invitarlos a su participación entusiasta. Esta acción facilita la colaboración e interés en el sistema de indicadores, predisponiendo al personal en la aceptación del mismo y a participar en las acciones que se deriven para alcanzar los objetivos correspondientes.

La comunicación permite también mantener la motivación de los participantes en el sistema ya que cada uno puede comprender la utilidad de su participación y apreciar el impacto de su esfuerzo, redundando en la efectividad de su implementación.

Explicar al personal involucrado que la puesta en funcionamiento de indicadores trata de obtener unos valores coherentes en el progreso de monitoreo de la gestión de mantenimiento y no tienen por objeto sancionar.

Informar al personal sobre los resultados obtenidos y sobre la evolución de los indicadores (tendencias).

Procurar que los indicadores sean comprensibles para todo el personal involucrado.

Antes de comunicar los resultados de los indicadores, es muy importante conocer el grado de confidencialidad de la información que se pretende difundir, con el objeto de establecer un plan de comunicación coherente con el nivel de divulgación que se pretende obtener.

El proceso de cálculo debe inicialmente

implementarse de modo manual y en la medida que el indicador es validado, entendido y muy importante aceptado en la organización como elemento fundamental en la medición de la gestión, el mismo debe ir migrando al cálculo automático alineado a los sistemas de información que lo nutrirán.

Existen a modo de información áreas importantes en cuanto al proceso de producción que son de especial interés en el monitoreo de cualquier gestión y estamos hablando de la gestión de seguridad de los procesos y riesgo asociado a la ocurrencia de eventos catastróficos por la pérdida de la función contención de un equipo estático, los cuales no se analizan en este documento técnico. En este sentido se deben establecer indicadores de desempeño complementarios a los señalados anteriormente que permitan monitorear la gestión de ambas áreas señaladas y con ello complementar el universo de indicadores que deben ser monitoreados para asegurar la optimización de costos y aseguramiento de la continuidad operativa del activo de producción.

**AUTOR:**

**Medina N. Robinson J.**

*MSc. CMRP. Ingeniero Mecánico, con Especialización en Evaluación de Materiales e Inspección de Equipos en la Universidad Central de Venezuela, Diplomado en Confiabilidad de Sistemas Industriales en la Universidad Rafael Belloso Chacín de Venezuela y Maestría en Ingeniería de Confiabilidad y Riesgo en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y profesional Certificado en Mantenimiento y Confiabilidad (CMRP) The Society for Maintenance & Reliability Professionals (SMRP). Con 21 años de experiencia en el área de Mantenimiento e Inspección de Equipos Estáticos asociados a instalaciones a nivel de la industria petrolera, nacional e internacional.*

*Cargo: Consultor Senior.*

*Correo Electrónico: robinson.medina@iasca.net*

**REFERENCIAS**

- (1) Medina N. Robinson José; "Informe técnico," "Elaboración de los Indicadores del Mantenimiento al Equipo Estático" Iniciativa SPRMNE 4.2. Pemex Año 2012
- (2) Medina N. Robinson José; "Informe técnico, Definición de indicadores de desempeño. Proyecto: Tablero de Administración, Indicadores Clave de Desempeño y Base de Datos de información/datos requeridos. UNACAR, México. Año 2010.
- (3) Pérez J. Carlos M; "Los Indicadores de Gestión. Artículo, Una Guía para su definición". Año 2010.
- (4) Klaus M. Blache, PhD; "Benchmarking a Better Understanding. Benchmarks Shed Light on Maintenance & Reliability Perceptions". [http://reliabilityweb.com/index.php/print/benchmarking\\_a\\_better\\_underst](http://reliabilityweb.com/index.php/print/benchmarking_a_better_underst). Año 2010.
- (5) Independent Statistics & Analysis U.S Energy Information Administration. Cos for producing Crud oil and Natural gas. Año 2007-2009.
- (6) Al Weber and Ron Thomas. Performance indicators. Measuring and managing the maintenance. Reliability Consultant, Ivara. Año 2005.
- (7) Klaus Kerstin Müller. Parameters for Effective Service Checking costs and performance in wastewater treatment. European Water Management Online Official Publication of the European Water Association (EWA). Año 2003.

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

# Dirección Y Gestión De Paradas De Planta, Bajo Los Lineamientos Del PMI

*Una parada de planta o de mantenimiento, es un período durante el cual la planta se encuentra fuera de servicio, permitiendo efectuar tareas de mantenimiento como inspecciones, reparaciones generales, sustituciones, rediseños de máquinas (overhauls). Una parada de planta es un proyecto de ingeniería con inversión de capital, en donde se presenta una gran "oportunidad" de mejora. Lograr un conocimiento detallado del proyecto de modo de minimizar el riesgo en las fases de:*

- Ingeniería conceptual
- Ingeniería de detalle
- Proveeduría
- Construcción
- Start-Up

*Es una justificación para aplicar el Estándar del PMBOK, y empezar a trabajar hacia una Gestión de Paradas de Planta con la metodología del PMBOK.*

Las Paradas de Planta son comunes en las grandes plantas industriales, como la industria petrolera, petroquímica, cementera, papelera y química. En estos sectores industriales son comunes las paradas en intervalos regulares de tiempo para realizar trabajos de mantenimiento, reparaciones generales, sustituciones, rediseños de máquinas (overhauls) y nuevos proyectos, de conformidad con los requisitos de seguridad y medio ambiente.

El proceso se conoce como Parada y se inicia con la salida de operación de la planta y la desconexión de los equipos. Los proyectos, los trabajos de mantenimiento e inspecciones se pueden llevar a cabo, finalmente, la planta tiene que ser puesta en marcha hasta llegar a las condiciones normales de operación en las nuevas condiciones.

Más específicamente, durante la parada de planta los departamentos de mantenimiento sienten la mayor presión, en el sentido de que

todos los ojos de la alta dirección de la empresa están sobre ellos, (Amendola, 2005).

Un retraso innecesario en la ejecución de una planificación puede extenderse a otras áreas o incluso puede parar la actividad de una empresa completa. Por estas razones es importante que las empresas tengan un sólido proceso de planificación y dirección de proyectos de paradas de planta.

Resulta interesante conjeturar por qué las paradas de planta hasta ahora han recibido relativamente poca atención, dado su impacto sobre el rendimiento de la empresa. La respuesta puede estar en el hecho de que la mayoría de las empresas están acostumbradas en su historial de mantenimiento al tiempo de inactividad, interrupciones cada vez más frecuentes a medida que las plantas crecen en infraestructura, y tal vez, incluso ahora, lo pueden considerar como un "mal necesario", (Lenahan, 1999).

En los últimos años, debido a la complejidad de las actividades que se realizan en los proyectos, y a las limitaciones tecnológicas que poseen los departamentos de mantenimiento para la manutención de estos equipos, el PM ha ganado importancia estratégica en el manejo gerencial del mantenimiento en prácticamente todas las grandes y medianas empresas.

Las técnicas del project management (PM), son aplicadas para desarrollar y completar una gran variedad de proyectos, por ejemplo; el desarrollo de nuevos productos, instalación de una nueva planta, planificación de la producción, y en general para proyectos asociados a los procesos operacionales y de mantenimiento (Pokharel & Jianxin, 2008).

En este contexto la investigación se concentra en la descripción y el desarrollo de los procesos para la dirección y gestión del proyecto de mantenimiento (Maintenance Project Management), aspecto poco tratado en la literatura teórica y práctica del mantenimiento, lo que constituye el carácter distintivo de este trabajo.

### Metodología

La planificación de la parada de planta proporciona el marco de referencia para los stakeholder de la empresa puedan evaluar las necesidades del proyecto de parada de planta, identificar riesgos, definir retos y oportunidades y decidir las acciones basadas en un conjunto de valores compartidos.

Para focalizar y organizar mejor los esfuerzos, emprender las acciones de dirección y preparar el plan estratégico, se forma un equipo de trabajo constituido por todos los interesados (stakeholders) de la empresa: Operaciones, Mantenimiento, Procesos, Ingeniería de Planta, Inspección, Proyectos, entre otros, que permitirá lograr los mejores

resultados de la parada y la integración del proyecto. Ver figura 4.

### Fase 1 - Plan Gerencial y Estratégico

Se definen los objetivos y premisas de la Parada de Planta:

1. Alcance y restricciones
2. Preparar los paquetes de trabajo
3. Identificar la Pre-Parada
4. Adquirir materiales y repuestos
5. Definir los paquetes de trabajo de los contratistas
6. Seleccionar los contratistas de la parada
7. Plan integrado de Parada de Planta
8. Organización de la Parada de Planta
9. Crear un sitio de logística
10. Plan de costos de la parada de planta
11. Mantenimiento legal y permisos
12. Programa de Seguridad & Salud (HSE)
13. Definir programa de calidad
14. Resumen y manual de parada de planta

### Fase 2 - Proceso gerencial y aprobaci6n la lista de trabajo

La identificación del alcance preliminar de una parada de planta. Generalmente la organización de la parada de planta se enfoca en los puntos de la lista de trabajo "Work List". En la Lista de Trabajo de la Parada deben utilizarse todos los elementos del alcance de trabajo originados por: Ingeniería de Procesos, Operaciones, Ingeniería/Técnico, Proyectos, de Capital, Cambios de Plantas, Inspección, HSEQ y Mantenimiento.

### Fase 3 - Definición del Alcance

Planificación de mediano plazo y se inicia entre 15 y 18 meses antes de apagado de la planta, este tiempo debe ajustarse a cada una de las áreas. Consiste en:

- Definir el equipo gerencial de la parada, equipo trabajo, responsabilidades, las metas,



- Desarrollar, justificar y reducir al mínimo los elementos de la lista.
- Elaborar los planes individuales de cada departamento (M & O).
- Aprobar la lista inicial, la fecha de corte y el presupuesto.
- Desarrollar y comunicar la programación de las fases de la parada.
- Solicitud de permisos trabajos de operaciones y Plan HSE.
- Listados preliminares consolidados.
- Desarrollo de ingeniería.
- Gestión Contratación y Compras de largo plazo.
- Documentación histórica.

### Fase 4 - Planeación Detallada

Esta fase integra todos los elementos asociados con el desarrollo de las órdenes de trabajo para establecer una programación efectiva del trabajo de la parada. Consiste en:

- Desarrollar en detalle las órdenes de trabajo planificadas con toda la información técnica pertinente y las cantidades estimadas de los trabajos.
- Desarrollar diagramas de redes lógicas y la programación de la ejecución del trabajo para cada elemento de la lista de trabajo, determinar la duración y la ruta crítica de la parada y las horas hombre requerido y la programación de turnos.
- Desarrollar el plan y las estrategias de contratación, definir todos los materiales y equipos requeridos, y el presupuesto total de la parada.
- Contar con un sistema de planificación, programación y control que sea capaz de comunicar la información de costos, recursos, progreso y acciones correctivas requeridas para la organización.
- Responder a los cambios de alcance, así como optimizar el uso eficiente de las competencias y recursos disponibles.

### Fase 5 - Desarrollo de la Fase de Ejecución

Esta fase integra todos los elementos asociados con la ejecución y control del trabajo de pre-parada y post-parada. Durante esta fase la fuerza hombre del contratista de

mantenimiento se movilizará y apoyará al equipo gerencial de la parada y juntos ejecutarán el alcance de trabajo.

La clave de una parada exitosa está en el compromiso del equipo de gerencia de la parada y de la fuerza hombre de mantenimiento del contratista para vigilar las metas y objetivos de la misma (seguridad, calidad, costo y tiempo). La mejora continua en esta fase se alcanza a través de: suministrar información detallada a los supervisores, impartir orientaciones para la comprensión del alcance de trabajo.

### Fase 6 - Desarrollo de la Fase de Cierre

Integra todos los elementos asociados a la preparación de un reporte formal de cierre para luego utilizarlo en el desarrollo de un plan de acción de mejoramiento continuo.

Todas las áreas del proceso Gerencial de Paradas serán revisadas para determinar la brecha entre los resultados, las metas y los objetivos establecidos para la parada.

### Prácticas de la metodología de Parada de Planta

#### 1. Oficina Central de Parada

- Proveer los recursos y dinero para la Parada de Planta.
- Balancear las restricciones de la Parada de Planta.
- Fijar los objetivos de la Parada de Planta.
- Formulación de la política para alcanzar los objetivos de la Parada de Planta.
- Monitorear el progreso contra los objetivos.
- Modificar si es necesario las políticas o los objetivos de la Parada de Planta.

#### 2. Roles y Responsabilidades

El personal que está involucrado en la planeación de la parada.

- Gerente de Parada de Planta
- Coordinador de Preparación
- Coordinador de Planificación
- Equipo de Planeación
- Coordinador de Logística
- Equipo de Logística

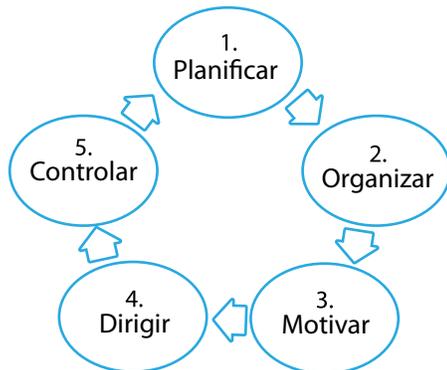


Figura 2, Ciclo de Vida de los Stakeholders en los proyectos, (Amendola, 2006)

### 3. Determinar el Alcance de la Parada

Se desarrolla un plan maestro para elaborar un documento consistente y coherente que sirva de guía para la ejecución y control de la parada planta. Este proceso se repite varias veces durante la parada de planta.

El alcance del trabajo es preparado por todos los departamentos de ingeniería y revisado por los líderes de cada área (Mantenimiento, Producción, Proyectos, Construcción, HSE, Supervisores, Eléctricos, Mecánicos, Instrumentistas). Los líderes son miembros de la lista maestra de recursos de tiempo completo para la expansión del proyecto.

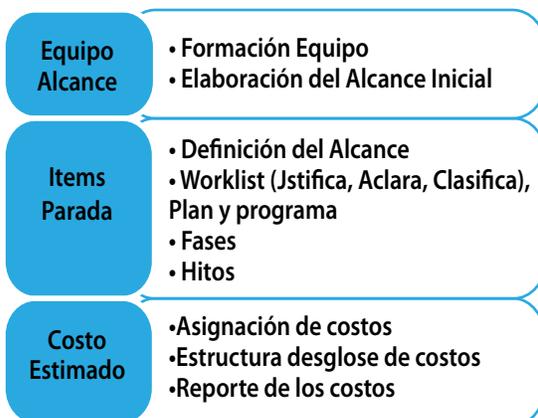


Figura 3, Fase de Preparación de una Parada Planta

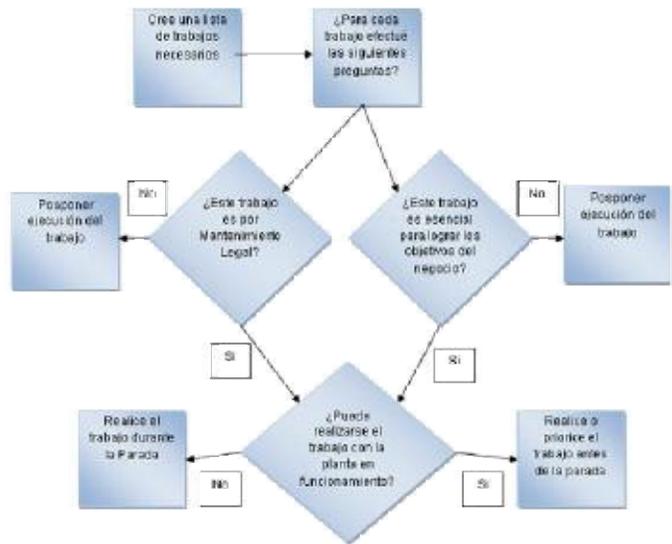


Figura 4, Rutina de preparar, verificar y aprobar el alcance de la parada

### 4. Determinar el Tiempo de la Parada

Son los procesos requeridos para asegurar que el proyecto sea completado en el tiempo ideal. Se definen, se identifican, y se documentan las actividades específicas que deben desarrollarse con el fin de cumplir con la Estructura de Descomposición del Proyecto (EDP), (Construction Extension to PMBOK, 2007)

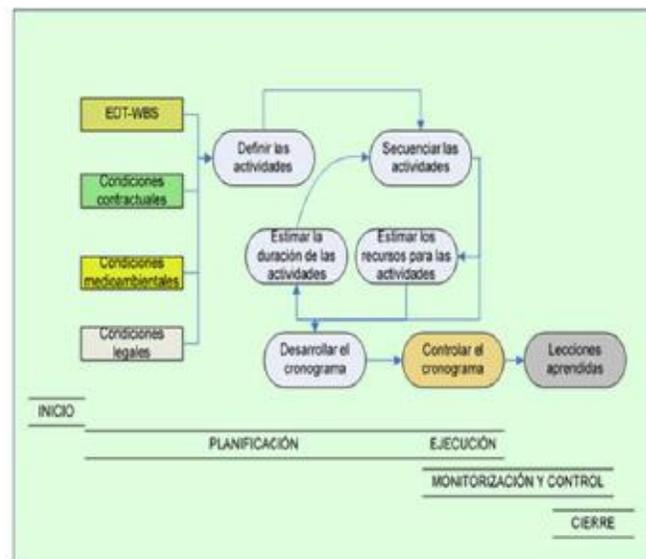


Figura 5, Procedimiento General Panificación PMBOK 4ed, (Parra, 2011)

## Estructura de Descomposición del Proyecto

La estructura de desglose de trabajo es una representación gráfica del proyecto, que desglosa el proyecto (áreas, sistema operativo) a su más bajo nivel en subproyectos, paquetes de trabajo y finalmente en actividades.

- Ingeniería constructiva de detalle
- Gestión de compras y aprovisionamientos.
- Gestión de contratos.
- Fabricación y suministro (logística y tráfico hasta el lugar de los trabajos).
- Movilización en campo.
- Obra Civil, incluyendo y arquitectura y urbanización, conducciones, etc.
- Montaje mecánico (equipos, tuberías, estructuras)
- Montaje eléctrico (cableados y tendidos, montaje de equipos eléctricos: transformadores, etc.).
- Montaje de instrumentación en campo: válvulas, instrumentos, transmisores, cableado, cajas, cuadros.
- Montaje y configuración del sistema de control.
- Pre-comisionado y comisionado de sistemas, unidades,
- Puesta en marcha de la planta.

## 5. Planeación Detallada del Proyecto

- Establecer el plan HSE.
- Preparar, revisar y aprobar el alcance de los trabajos.
- Definir los paquetes de trabajo de la parada.
- Establecer una fecha tope de solicitudes de trabajo para realizar en la Parada.
- Planificación de las actividades y avance de la parada.
- Integrar el capital de trabajo con mantenimiento y producción en el cronograma de actividades de la parada.
- Nombramiento del equipo de dirección y coordinadores de la Parada de Planta.
- Recursos clave: Mantener la disciplina para cumplir con la Parada Planta, reuniones de control de la parada, el calendario, mantener políticas de no cambio.
- La realización de planes de contingencia para el peor de los escenarios.

## 6. Plan de Costos del Proyecto

Comprende la determinación de la clase y cantidad de recursos físicos que deben emplearse para desarrollar las tareas de la Parada de Planta, (Construction Extension to PMBOK, 2007).

GERENCIA PARADA PLANTA				
TOTAL DE COSTOS				
Categoría	Costo Materiales	Contratista	Costo Laborales	Total
Equipos procesos	16.494.601	2.558.906	839.526	19.893.033
Adecuacion del sitio	0	0	34.014	34.014
Reforma-Mejora sitio	330.000	314.199	751.253	1.395.452
Concreto	851.600	404.299	1.611.473	2.867.372
Estructura Acero	2.444.995	0	799.734	3.244.729
Construccion	302.300	248.065	477.898	1.028.263
Tuberias subterraneeas	175.160	0	248.425	423.585
Tuberias superficial	5.247.740	94.794	3.713.809	9.056.343
Sistema electrico subterraneeo	62.524	0	159.034	221.558
Sistema electrico superficial	2.631.875	0	1.444.135	4.076.010
Instrumentacion	1.635.400	0	665.008	2.200.408
Aislamiento	1.345.900	0	241.794	1.587.694
Pintura	263.400	0	409.300	672.700
Pavimento	62.500	140.501	66.127	269.128
Prorrateo	130.100	0	342.344	472.444
Total Costos Directos	31.768.095	3.760.794	11.803.874	47.332.763

Tabla 1, Total de Costos

## 7. Plan de Calidad del Proyecto

La gestión de la calidad de la Parada son los procesos requeridos para asegurar que la Parada de Planta satisface las necesidades para las cuales fue realizada.

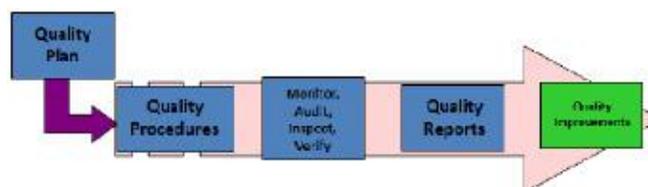


Figura 6, Metodología de Gestión Calidad



Figura 7, Plan de Inspección Calidad Parada Planta

**8. Plan de Recursos Humanos del Proyecto**

Son los procesos requeridos para usar de la manera más efectiva al personal necesario para el desarrollo de la Parada de Planta. De acuerdo al PMBOK, los procesos son:

- Planificación de la Organización
- Adquisición de Personal
- Desarrollo del Equipo
- Movilización en campo.
- Dirigir al Equipo del Proyecto

**9. Plan de Comunicaciones del Proyecto**

El plan de comunicación en la Parada de Planta, son los procesos requeridos para asegurar que la información fluya de una forma adecuada y sea almacenada para su uso correcto. De acuerdo al PMBOK, un plan de comunicación debe ser claro, conciso, relevante y a tiempo.

El siguiente diagrama muestra los pasos para crear un Plan de Comunicación para una Parada de Planta. Figura 8, Descripción General de las Comunicaciones en la Parada Planta, (PMBOK, 2008)



Figura 8, Descripción General de las Comunicaciones en la Parada Planta, (PMBOK, 2008)

**10. Plan de Administración Riesgos y Seguridad del Proyecto**

Son los procesos requeridos para minimizar la posibilidad e impacto de hechos fortuitos en la parada de planta.

El plan de gestión de riesgos describe como se estructura y se realiza la gestión de riesgos en el proyecto; el cual pasa a ser un subconjunto del plan de gestión del proyecto, (PMBOK, 2008).

**Identificación de Riesgos:** La identificación de riesgos consiste en determinar qué tipos de riesgos son los más probables y documentar las características de cada uno de ellos.

$RPN = \text{Factor detección} \times \text{Impacto} \times \text{Probabilidad}$ , en donde el valor más alto de RPN, el riesgo tiene mayor relevancia, (Muiño, 2011).

Impacto	Ranking	Descripción
Muy baja	1	Insignificante para el proyecto
Baja	2	Impacto menor para el proyecto, ejemplo < 5% desviación alcance, cronograma, o presupuesto
Moderada	3	Impacto moderado, ejemplo 5-10% de desviación alcance, cronograma, o presupuesto
Alta	4	Impacto significativo para el proyecto, ejemplo 10-25% desviación alcance, cronograma, o presupuesto
Muy Alta	5	Impacto mayor o, ejemplo >25% desviación alcance, cronograma, o presupuesto

Figura 9, Evaluación del Impacto

Probabilidad	Ranking	Descripción
Muy baja	1	Improbable que ocurra
Baja	2	Improbable que con base a la información actual
Moderada	3	La probabilidad que ocurra es clara
Alta	4	Es muy probable que ocurra con base a la información del proyecto
Muy Alta	5	Altamente probable que ocurra con base a las circunstancias que rodean el proyecto

Figura 10 Evaluación de la Probabilidad

RPN	Color Prioridad
0 - 27	Verde
27 - 40	Naranja
40 - 60	Amarillo
60 - 80	Rojo
100	Rojo Oscuro

Figura 11, Ranking RPN

**El plan de HSE incluye:** Fase planeación (Elaboración Plan Integral HSE), Fase de ejecución (Desarrollo e implementación del Plan HSE, Seguimiento y control del Plan HSE, Elaboración y Ejecución del Plan de desarrollo de competencias en HSE) y Fase de cierre (Lecciones aprendidas, Evaluación contratistas, Informe final HSE).

- Ejecutar el 100% del Plan de Gestión Integral HSE, Cero tolerancia al incumplimiento de las Reglas HSE.

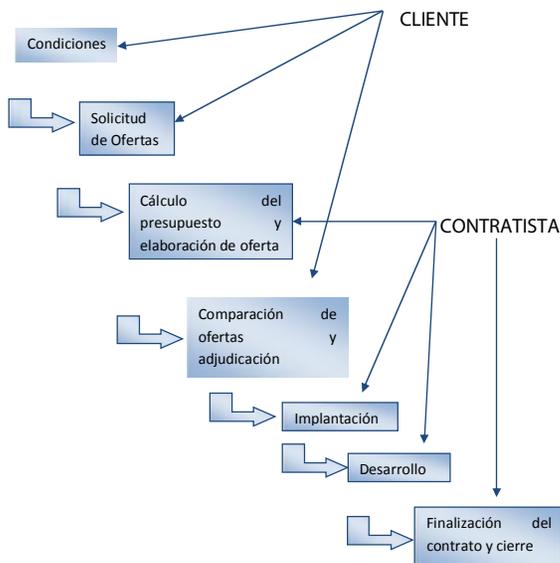


Figura 12, Diagrama ciclo de vida de un contrato de mantenimiento parada de planta

### 11. Plan de Adquisiciones del Proyecto

Son los procesos requeridos para adquirir los equipos, repuestos, materiales y servicios necesarios para la parada de planta.

### 12. Ejecución del Proyecto Parada

El proceso de ejecución, el objetivo principal es el monitoreo y control de todas las tareas que se desarrollan durante el proyecto, se controla el cronograma y los costos de la Parada de Planta. Consiste en varios procesos claves que incluyen:

1. El plan está terminado y el hito que se programó está finalizado
2. Desarrollar un plan de trabajos inesperados o tarde
3. Desarrollar una rutina para dirección y gestión de la parada
4. Trabajos que se realizan en cada turno de día
5. Un procedimiento de control cambio para cada turno
6. Trabajos que se realizan durante el tercer turno (turno de noche)
7. El control de los trabajos
8. El control de costos
9. Control programa diario
10. Reporte diario de cada actividad
11. Recuperación y la puesta en marcha de la planta.

Avance del Proyecto

Avance	Plan %	Real %	Variación %	Comentarios
Proyecto	76.18	64.79	- 11.40	Inagromecánica proporcionará el Informe de Avance del Proyecto cada semana a partir del 4 Junio del 2012 y con base al informe Avance Equipos Proyecto Muelle 14-08062012 se desarrolla el informe.
Ingeniería	3.5	3.2	- 0.35	
Ministerio	56.6	44	- 12.61	
Recuperación	16.1	17.6	+ 1.56	
Cierre	0	0	0	

Ver Anexo 1 Avance Equipos Proyecto Muelle 14 -01062012, \*Avance Equipos Proyecto Muelle 14 -08062012.

Claves : Azul=En superávit Verde=Al día / No Inicia Rojo= En déficit

Figura 13, Avance del Proyecto



Figura 14, Sistema de Medición Curvas del EVM

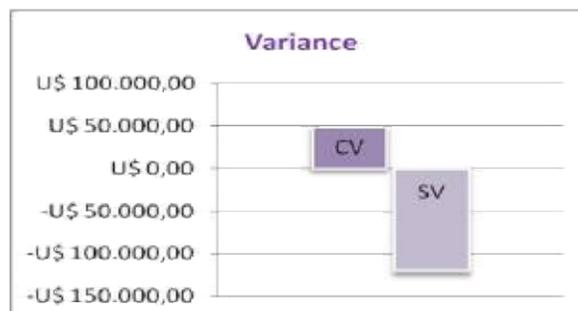


Figura 15, Sistema de Medición Curvas del EVM

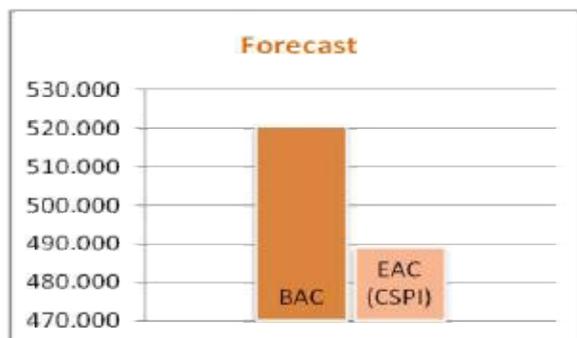


Figura 16, Sistema de Medición Curvas del EVM

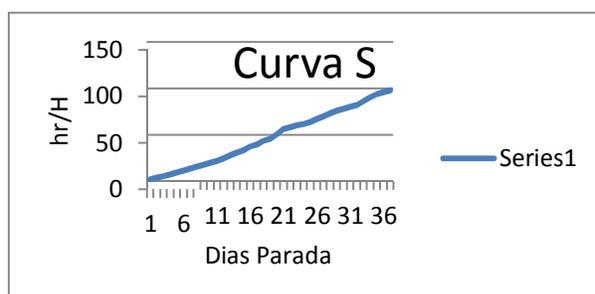


Figura 17, Curva S para Recursos Intercambiador de Calor

### Lecciones Aprendidas y Cierre de la Parada de Planta

1. Informe Final de Costos
2. Informe Final del Cronograma
3. Informe Final de Control de Calidad
4. Informe Final de las Inspecciones y Especificaciones Técnicas
5. Informe Final de Seguridad y Medio Ambiente
6. Informe Final de la Organización del proyecto
7. Informe Final Gestión Parada Planta
8. Informe Final de los Contratos y Contratistas
9. Informe Final de la Ejecución e Inspecciones de la Parada Planta
10. Informe Final de las Herramientas disponibles que dejó la Parada
11. Informe Final de la Cadena de Suministro de la Parada de Planta (Repuestos, Materiales)
12. Informe Final del Clima (Tiempo meteorológico)
13. Informe Final de las Obras, Construcción y Fabricación de la parada
14. Informe Final de los Controles y Sistemas
15. Informe Final fuerza laboral en la Parada
16. Informe Final del Almacén y Compras
17. El libro queda disponible para uso del personal interno y para el desarrollo de la siguiente Parada

### Conclusiones

La investigación aporta a los comités centrales de paradas de planta y sus líderes, una metodología que permite definir, planificar y ejecutar una parada de planta. Además la investigación da las pautas para el desarrollo del libro de lecciones aprendidas con el objetivo de identificar y sugerir oportunidades de mejora para la siguiente parada.

De la revisión bibliográfica se puede concluir que los procesos de toma de decisiones en los Proyectos de Parada de Planta ocurren a menudo en una atmósfera de limitada racionalidad empresarial en donde los conflictos de intereses son raramente resueltos por

completo, se evitan la incertidumbre, y los que toman las decisiones aprenden sobre la marcha.

Empresas que han adaptado la Guía del PMBOK, cuarta edición, han logrado excelentes resultados en la realización de sus proyectos, estos logros son presentados en el documento final de Parada de Planta en el cual realizan un benchmarking con empresas filiales, o empresas del mismo sector industrial, (IPA, 2011).

Adoptar los lineamientos del PMI para la dirección y gestión de Paradas de Planta para sectores industriales como el Petrolero, Petroquímico y Minero, ha sido un total éxito debido a la complejidad de sus proyectos y su alto costo. Este modelo de gestión de proyectos, lo están adoptando las grandes y medianas empresas de otros sectores de la economía internacional.

Las personas que dirigen y supervisan la parada planta influyen notablemente en el éxito o fracaso del proyecto. Para un proyecto de parada de planta es necesario disponer de un ambiente de trabajo y un equipo humano de alto desempeño para cumplir eficientemente con los objetivos del proyecto.

De la revisión bibliográfica y en el desarrollo del proyecto se concluye que es de suma importancia contar con herramientas informáticas o software para el desarrollo de proyectos, por la necesidad de informar a los interesados del proyecto en el escenario y tiempo adecuado, y a medida que avanza el proyecto la información se vuelve más compleja para llevarla en formatos.

AUTOR:

**Nain Aguado Quintero**

Ingeniero Mecánico, con especialización en diseño de maquinaria y equipo agroindustrial y MBA en Dirección Proyectos, Universidad Viña del Mar (Chile).

Consultor en gestión de mantenimiento y confiabilidad, lubricación y dirección de proyectos en ABSG Colombia

Director General de LubricarOnline.com.co.

Email: [naguado@absconsulting.com](mailto:naguado@absconsulting.com)

Bogotá, Colombia

1. Alkemade, J, Jackson, J.A & Schroeder, B. (2011) 'TRADE-OFF ECONOMICS IN REFINERY AND PLANT TURNAROUNDS', AP Networks, consultado 10 agosto 2011
2. Amendola, Luis. (2005) Dirección y Gestión de Paradas de Planta (The Theory of Constraints), Ediciones Espuela de Plata, España.
3. Amendola, Luis. (2006) Estrategias y Tácticas en la Dirección y Gestión de Proyectos, Editorial Universidad Politécnica de Valencia, España.
4. Amendola, L & Depool, T. (2006) 'Mitigar los Riesgos en la Gestión de Paradas de Planta EDP' Estructura de Descomposición del Proyecto' WBS "Work Breakdown Structure" Mantenimiento', PMM Institute for Learning, consultado 13 octubre 2011,
5. Amendola, L, Depool, T & Gonzáles, J.M. (2011) 'STRATEGIC MODEL TO MANAGEMENT MULTIPROJECTS BASED ON THE CRITICAL CHAIN METODOLOGY (CCPM)', PMM Institute for Learning, consultado 1 febrero 2012,
6. Amendola, Luis. (2011) 'Metodología de Dirección y Gestión de Proyectos de Paradas de Planta de Proceso', consultado 6 agosto 2011
7. Apaolaza, U & Oyarbide, A. (2005) 'La aportación de la Cadena Crítica frente a la gestión clásica de proyectos', IX Congreso de Ingeniería de Organización Gijón, España.
8. Construction Industry Institute. (2011) 'Project Life Cycle Matrix', Construction-Institute.org, consultado 5 octubre 2011,
9. Duffuaa, S.O & Ben Daya, M.A. (2004) 'Turnaround maintenance in petrochemical industry: Practices and suggested improvements', Journal of Quality in Maintenance Engineering, vol. 10, no. 3, pp. 184-190, consultado 1 agosto 2011,
10. Duggan, M & Blyden, R. (2001) 'Venture maintainability: a path to project success Why are some projects less successful than others and what can we do to improve?', Journal of Quality in Maintenance Engineering, vol. 7, no. 4, pp. 241-251, consultado 12 agosto 2011
11. Ertl, B. (2011) 'Applying PMBOK to Shutdowns, Turnarounds and Outages', Inter Plan Systems Inc, consultado 6 agosto 2011
12. Gadze, J. (2011) 'Demo Front End Loading (FEL)', CVPRO.com, consultado 5 octubre 2011
13. García, Santiago. (2010) La Contratación del Mantenimiento Industrial, Ediciones Díaz de Santos, España.
14. Gonzales, Francisco Javier. 2010 Reducción de Costes y Mejora de Resultados en Mantenimiento, FC Editorial, España.
15. Industrial Info Resources. (2011) 'Intelligence on Petroleum Refineries throughout Latin America', consultado 2 diciembre 2011
16. Inter Plan Systems Inc. (2011) 'Turnaround Project Management Primer - Justification for Managing Turnarounds', consultado 10 agosto 2011
17. IPA. (2011) 'IPA's Turnaround Evaluations', Ipaglobal.com, consultado 5 octubre 2011
18. Jones, M. (2004) 'The Case for Front End Loading (FEL) and Constructability Reviews', Professional Paper Delivered to the Greater New Orleans Chapter, Project Management Institute, consultado 5 octubre 2011
19. Joshi, N. (2003) 'Benchmarking and Best Practices for Turnarounds', IQPC Turnaround Conference, London, England.
20. Lenahan, Tom. (1999) Turnaround Management, Butterworth-Heinemann, Oxford.
21. Levitt, A & Wurtmann, B. (2008) Shutdown Risk Management, New Standard Institute, consultado 6 agosto
22. McLay, John. (2011) 'Practical Management for Plant Turnarounds', ReliabilityWeb.com, consultado 15 agosto 2011
23. Method 123. (2011) 'Risk Management', Method 123, consultado 3 octubre 2011
24. Muiño, A. (2011) 'Real Risk', PMI Global Congress Proceedings, Dublin, Ireland.
25. Parra, M. (2011) 'Planificación de una parada de refinería: Caso Proyecto RLP10.1b Refinería La Pampilla Perú', Encuentro de Directores de Proyectos PMI Chapter de Madrid, consultado 5 octubre 2011
26. Pockarel, S & Jiao, J.R. (2008) 'Turnaround maintenance management in a processing industry: A case study', Journal of Quality in Maintenance Engineering, vol. 14, no. 2, pp. 109-122, consultado 6 agosto 2011,



**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

# Normas OHSAS Complemento de ISO 9000 e ISO 14000



En cualquier función laboral existen, a mayor o menor nivel, riesgos inherentes al ejercicio de las mismas por lo que ha existido una gran preocupación y dedicación a que esta se realice sin perjuicio de la salud y la seguridad del trabajador, por lo que se ha decidido tomar medidas en función de fomentar la seguridad en las instalaciones. Por tanto, en la actualidad, la prevención de riesgos se ha convertido en un factor más que tener en cuenta en la gestión diaria de las empresas.

Durante el segundo semestre de 1999, fue publicada la normativa OHSAS (Occupational Health and Safety Assessment Series) 18.000, dando inicio así a la serie de normas internacionales relacionadas con el tema "Salud y Seguridad en el Trabajo", que viene a complementar a la serie ISO 9.000 (calidad) e ISO 14.000 (Medio Ambiente).

Podemos indicar, entonces, que esta nueva serie de estándares en materia de salud ocupacional y administración de los riesgos laborales, integra las experiencias más avanzadas en este campo, y por ello está llamada a constituirse en el modelo global de gestión de prevención de riesgos y control de pérdidas.

La normativa OHSAS 18.000 fue desarrollada con la asistencia de las siguientes organizaciones: National Standards Authority of Ireland, Standards Australia, South African

Bureau of Standards, British Standards Institution, Bureau Veritas Quality International (Francia), Det Norske Veritas (Noruega), Lloyds Register Quality Assurance (USA), SFS Certification, SGS Yarsley International Certification Services, Asociación Española de Normalización y Certificación, International Safety Management Organization Ltd., Standards and Industry Research Institute of Malaysia-Quality Assurance Services, International Certification Services.

La Norma OHSAS 18001:1999 ha sido diseñada en los mismos parámetros y como herramienta de gestión y mejora toman como base para su elaboración las normas 8800 de la British Standard, basada en el ciclo de mejora continua.

La serie de normas OHSAS 18.000 (Occupational Health and Safety Assessment Series) están planteadas como un sistema que dicta una serie de requisitos para implementar un sistema de gestión de salud y seguridad ocupacional, habilitando a una empresa para formular una política y objetivos específicos asociados al tema, considerando requisitos legales e información sobre los riesgos inherentes a su actividad, en este caso a las actividades desarrolladas en los talleres de mecanización. Estas normas buscan a través de una gestión sistemática y estructurada asegurar el mejoramiento de la salud y seguridad en el lugar de trabajo.



Una característica de OHSAS es su orientación a la integración del SGPRL (Sistema de Gestión de Prevención de Riesgos Laborales), elaborado conforme a ella en otros sistemas de gestión de la organización (Medio ambiente y/o calidad). Por este motivo, el esquema OHSAS es equivalente al de ISO 14001 y, por extensión, a ISO 9001:2000. Dado que según se especifica en la Norma, el documento será revisado cuando se revisaran las normas ISO 14001 o 9001:1994, la última, la ISO 9000:2000, ya está revisada por lo que la adaptación ya ha comenzado.

Las normas OHSAS 18000 han sido diseñadas para ser compatibles con los estándares de gestión ISO 9000 e ISO 14000, relacionados con materias de calidad y medio ambiente respectivamente. De este modo se facilita la integración de los sistemas de gestión para la calidad, el medio ambiente, la salud ocupacional y la seguridad en las empresas.

Estos sistemas comparten principios sistemáticos comunes de gestión basados en el mejoramiento continuo, el compromiso de toda la organización y en el cumplimiento de las normativas legales.

Cabe destacar que OHSAS 18001:1999 no pretenden suplantar la obligación de respetar la legislación respecto a la salud y seguridad de los trabajadores, ni tampoco a los agentes involucrados en la auditoría y verificación de su cumplimiento, sino que como modelo de gestión que son, ayudarán a establecer los compromisos, metas y metodologías para hacer que el cumplimiento de la legislación en esta

materia sea parte integral de los procesos de la organización.

En la actualidad, se están certificando SGPRL conforme a OHSAS 18001:1999 además adicionalmente, la Organización Internacional del Trabajo ha publicado las directrices generales para los Sistemas de Gestión de Prevención de Riesgos Laborales, siendo éstas básicamente iguales a las contenidas en OHSAS 18001:1999.

Las normas OHSAS 18000 no exigen requisitos para su aplicación, han sido elaboradas para que las apliquen empresas y organizaciones de todo tipo y tamaño, sin importar su origen geográfico, social o cultural.

Esta norma es aplicable a cualquier empresa que desee:

Establecer un sistema de gestión de Salud y Seguridad Ocupacional, para proteger el patrimonio expuesto a riesgos en sus actividades cotidianas;

Implementar, mantener y mejorar continuamente un sistema de gestión en salud y seguridad ocupacional;

Asegurar la conformidad de su política de seguridad y salud ocupacional establecida;  
Demostrar esta conformidad a otros;

Buscar certificación de sus sistemas de gestión de salud y seguridad ocupacional, otorgada por un organismo externo;

Hacer una autodeterminación y una declaración de su conformidad y cumplimiento con estas normas OHSAS.

Estas normas y sus requisitos pueden ser aplicados a cualquier sistema de salud y seguridad ocupacional. La extensión de la aplicación dependerá de los factores que considere la política de la empresa, la naturaleza de sus actividades y las condiciones en las cuales opera.

### Beneficios de la implementación de las normas OHSAS 18000

Algunos beneficios que se pueden obtener al aplicar estas normas OHSAS 18000 son:

Reducción del número de personal accidentado mediante la prevención y control de riesgos en el lugar de trabajo.

Reducir el riesgo de accidentes de gran envergadura.

Asegurar una fuerza de trabajo bien calificado y motivado a través de la satisfacción de sus expectativas de empleo.

Reducción de material perdido a causa de accidentes y por interrupciones de producción no deseados.

Posibilidad de integración de un sistema de gestión que incluye calidad, ambiente, salud y seguridad.

Asegurar que la legislación respectiva sea cumplida.

Adicionalmente a estos beneficios mencionados, existen otros relacionados que podemos clasificar en:

#### **Imagen**

Las empresas que adoptan estas normativas de mejoramiento continuo, tales como ISO 9000, ISO 14000 y las OHSAS 18000, se ven beneficiadas en el engrandecimiento de su imagen tanto interna, como externa. Se benefician y fortalecen las relaciones con sindicatos y gremios laborales y sociales.

#### **Negociación**

Un factor importante para toda empresa es asegurar a sus trabajadores, a sus procesos e instalaciones, para ello recurren a compañías de seguros o instituciones especializadas, que sin un respaldo confiable de los riesgos que

tomarán, difícilmente otorgarán primas preferenciales o flexibilidad en sus productos. Al adoptar estas normas, las empresas tienen mayor poder de negociación, debido a que sus riesgos estarán identificados y controlados por procedimientos claramente identificados.

#### **Competitividad**

Actualmente, y con mayor fuerza en el futuro, la globalización elimina las fronteras y las barreras de los diferentes productos y servicios que se ofrecen en los mercados mundiales. Esto nos obliga a mantener altos estándares de calidad y a cumplir rigurosamente con los estándares de los mercados en los cuales queremos competir. El hecho de asumir como propios estos estándares OHSAS 18000, hará que las empresas puedan competir de igual a igual en los mercados mundiales, sin temor a ser demandados por un efecto dumping en esta materia.

#### **Respaldo**

Otro beneficio que obtienen las empresas al adoptar estas normas OHSAS 18000, es obtener el respaldo necesario para aportar antecedentes de su gestión ante posibles demandas laborales por negligencia en algún siniestro del trabajo. El potencial de estos beneficios además, se ven incrementados si el sistema está certificado.

#### **Características de un sistema de gestión**

**Completo:** Debe abarcar la totalidad del proceso o actividad económica de la Empresa.

**Integrado:** Los principios preventivos deben formar parte de las funciones de todos los empleados de la Empresa.

**Comprensivo:** Todos los implicados deben conocer y comprender sus funciones, responsabilidades y la importancia de su actuación.

**Abierto:** Debe permitir cambios o modificaciones en base al principio de Mejora.

## Sistema de Salud Ocupacional y Administración de Riesgos

La gestión de estas actividades en forma sistemática y estructurada es la forma más adecuada para asegurar el mejoramiento continuo de la salud y la seguridad en el trabajo. El objetivo principal de un sistema de gestión de salud y seguridad ocupacional es prevenir y controlar los riesgos en el lugar de trabajo y asegurar que el proceso de mejoramiento continuo permita minimizarlos.

El éxito de este sistema de salud y seguridad ocupacional depende del compromiso de todos los niveles de la empresa y especialmente de la alta gerencia. Asimismo, el sistema debe incluir una gama importante de actividades de gestión, entre las que destacan:

Una política de salud y seguridad ocupacional.

Identificar los riesgos de salud y seguridad ocupacional y las normativas legales relacionadas.

Objetivos, metas y programas para asegurar el mejoramiento continuo de la salud y seguridad ocupacional.

Verificación del rendimiento del sistema de salud y seguridad ocupacional.

Revisión, evaluación y mejoramiento del sistema.

### Implementación de las normas OHSAS 18000

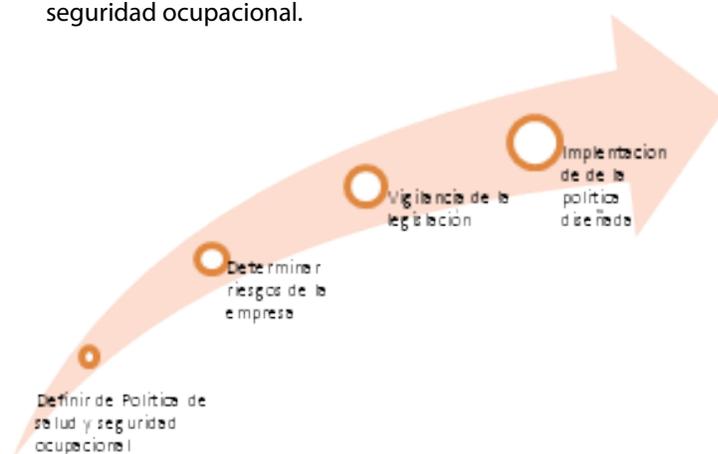
La normativa no establece un procedimiento oficial o único de implementación; dependiendo de las características y realidades de cada empresa este proceso tendrá sus propias variantes. De todas formas, presentamos un esquema en el cual se detallan los elementos de este sistema de gestión de salud y seguridad ocupacional.

Este proceso comienza con la definición de una

política de salud y seguridad ocupacional en la empresa, en la cual se establece un sentido general de orientación y los principios de acciones a tomar respecto de este tema. Así también establece las responsabilidades y la evaluación requerida por el proceso. Y demuestra además, el compromiso de la alta gerencia para el mejoramiento continuo de la salud y la seguridad en el trabajo.

Una vez definida la política, se deberán determinar íntegramente, los riesgos significativos de la empresa, utilizando procesos de identificación, análisis y control de riesgos. Permitiendo así poder planificar las acciones para controlar o reducir los efectos de estos.

Así también, la empresa deberá estar vigilante de la legislación relativa al tema, no con la finalidad de mantener una biblioteca legal, sino para promover el entrenamiento y entendimiento de las responsabilidades legales de todos los involucrados en la salud y la seguridad ocupacional.



En cuanto a la implementación de la planificación diseñada por la empresa, es necesario que para lograr la efectividad de la gestión, las responsabilidades y autoridades estén claramente definidas, documentadas y comunicadas. Respecto del proceso propiamente, este considera seis partes:

Capacitación.

Comunicación.

Documentación.  
Control de documentos y datos.

Control operacional.

Preparación y respuesta ante situaciones de emergencia.

Siguiendo con los elementos del proceso de mejoramiento continuo de la salud y seguridad ocupacional, tenemos la Verificación y las Acciones Correctivas. Para ello, la empresa deberá identificar parámetros claves del rendimiento para que se dé cumplimiento a la política establecida de salud y seguridad. Estos deben incluir, pero no limitar, parámetros que determinen:

El cumplimiento de los objetivos.

Si se han implementado y son efectivos los

controles de riesgo.

Si se aprende de los fracasos producidos en el programa.

Si son efectivos los procesos de capacitación, entrenamiento y comunicación.

Si la información que puede ser utilizada para mejorar o revisar los aspectos del programa están siendo producidos e implementados.

Finalizando con el ciclo nos encontramos con la revisión de la alta gerencia.

Esto, dado el compromiso asumido al elaborar la política de salud y seguridad ocupacional en la empresa, implica que la gerencia debe asumir un rol preponderando para cumplir los objetivos propuestos y modificar las políticas si fuese necesario.

*AUTOR:*

**Dr. Bárbaro J. Giraldo C.**

Post grado en Medicina Interna (UCV)

Gerencia Médica

Prof. Contr. UPEL-El Tigre. Anzoátegui. Venezuela

Correo: barbarog84@gmail.com

### BIBLIOGRAFÍA

Procedimientos basados en las normas OSHAS 18000 para su implantación en PYMES del subsector fabricación. Serie de normas OSHAS 18000:1999.

Ing. Hugo Gonzales. OHSAS 18000-Salud y Seguridad Ocupacional. LinkedIn

OHSAS 18001. European Quality Assurance. [www.eqa.es](http://www.eqa.es)

[www.osha-slc.gov/html/consultation.html](http://www.osha-slc.gov/html/consultation.html)



# 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.

# Visibilizando Su Programa De Inspección Predictiva

Los programas de inspección predictiva representan los “sentidos de la planta” ayudando a identificar una gran variedad de estados incipientes de fallas; pero a pesar de que los beneficios de este hecho son entendidos y valorados por la mayoría de las organizaciones donde se llevan a cabo iniciativas de confiabilidad, existe la debilidad para demostrar la capitalización de estos beneficios en términos económicos. Esto dificulta en muchos casos la justificación para mejorar estos programas, aumentar su cobertura o incorporar nuevas tecnologías. Estos programas aún siendo eficientes pero “invisibles”, limitan su uso potencial como elemento integrador dentro de la organización de mantenimiento y confiabilidad.

## INVOLUCRAR A TODOS EN EL PROCESO PREDICTIVO

El primer paso hacia el éxito de un programa de mantenimiento predictivo consiste en involucrar a la organización de mantenimiento y de producción en los hallazgos del programa y en la manera como el proceso que sigue a un reporte de inspección agrega valor a la condición del activo y a los mismos procesos. Aquí la clave está en no aislar el proceso predictivo de las actividades de mantenimiento, sino complementarlas al servir como factor de registro de las mejoras. Los reportes de inspección no sólo deben viajar hasta el departamento de planificación y programación, sino también a producción y mantenimiento. Un operador de planta, un electricista o un mecánico seguramente agradecerán el saber por qué se está ejecutando alguna actividad, cuál es el impacto de su labor y qué pueden hacer para mejorar la condición de un activo más allá de solventar una situación puntual. Sin duda esta dinámica creará mayor empatía de estos entes hacia la labor de inspección, lo cual es especialmente útil con aquellos técnicos experimentados que requieren entender que las nuevas tecnologías y métodos no son un misterio ni una amenaza para su trabajo.

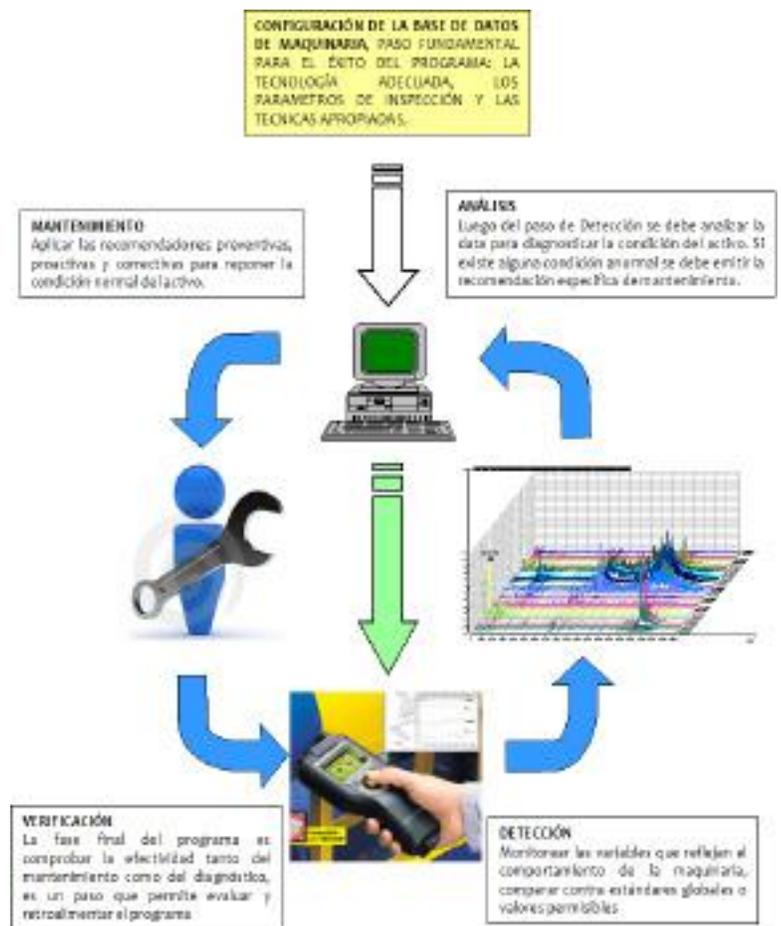


Figura 1.- El proceso predictivo involucra además las acciones correctivas y preventivas asociadas a las labores de inspección.

**CONVERTIR LOS DATOS EN INFORMACIÓN:  
GERENCIA DEL DATO**

El personal de inspección invierte una gran cantidad de tiempo colectando datos sobre la salud de los activos, generando reportes, analizando variables e interpretando patrones de fallas. Todos estos datos están orientados finalmente a evitar fallas y a intervenir oportunamente los equipos, pero dentro de una estrategia de confiabilidad hay mucha más información que puede desprenderse de estos datos y muy valiosa para el objetivo de visibilizar el programa predictivo a través de toda la organización.

¿Cuánto costó la reparación oportuna contra un posible mantenimiento de emergencia? Un importante nivel de ahorro lo representa la posibilidad de planificar y programar actividades específicas de mantenimiento en sintonía con la dinámica de producción. Estos ahorros deben ser asociados con el costo de los repuestos en uno y en otro caso (daño colateral), el costo de la logística o servicios externos, la mano de obra, y lo más impactante, las horas de producción ganadas ante la posibilidad de una falla inesperada o de actividades de mantenimiento innecesarias.

*“Si usted tortura suficientemente a sus datos, ellos confesarán”*

Anónimo

Desde que se implantó el programa, ¿cuántas horas de mantenimiento se han generado en función de la inspección (mantenimiento predictivo) y en cuánto se han reducido las horas de mantenimiento preventivo y correctivo? ¿Han disminuido las horas de mantenimiento que involucran paradas de producción? Es muy importante evaluar la efectividad del programa, uno de los objetivos de este tipo de iniciativas es optimizar la labor de mantenimiento, esto es ejecutar acciones preventivas, proactivas y correctivas que agreguen valor y orientadas no solo a restituir los niveles productivos sino a mejorar la eficiencia del proceso: aumentar la continuidad operacional en forma segura y confiable, disminuir el consumo de energía, disminuir los desperdicios, etc. La efectividad del programa estará ligada al incremento de las actividades predictivas (mantenimiento basado en condición) y a la disminución de las actividades preventivas (mantenimiento basado en horas).

Para visibilizar los beneficios es necesario el registro y seguimiento de indicadores de gestión.

$$\text{EFECTIVIDAD DEL MANTENIMIENTO} = \frac{\text{TIEMPO EN OPERACIÓN}}{\text{TIEMPO EN OPERACIÓN} + \text{TIEMPO DE PARADA}^*} \times 100\%$$

\*NO INCLUYE EL TIEMPO POR PARADAS DEBIDAS AL PROCESO O AJENAS A MANTENIMIENTO  
META DE CLASE MUNDIAL > 95%

$$\text{EFICIENCIA DE MANTENIMIENTO} = \frac{\text{HORAS HOMBRE DE MANTENIMIENTO}^{**}}{\text{TIEMPO DE OPERACIÓN}^*} \times 100\%$$

\*\* HORAS HOMBRE PREVENTIVAS, PREDICTIVAS Y CORRECTIVAS, PROPIAS Y CONTRATADAS  
\*SUMAR EL TIEMPO POR PARADAS DEBIDAS AL PROCESO O AJENAS A MANTENIMIENTO

$$\text{EFECTIVIDAD DE LAS INSPECCIONES} = \frac{\text{HORAS HOMBRE DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO}}{\text{HORAS HOMBRE DE INSPECCIÓN}} \times 100\%$$

Estos indicadores claves son una medida de la cantidad de mantenimiento requerido para mantener la planta en servicio. Todos estos indicadores ayudan a cuantificar el impacto del Programa de Inspección Predictiva en las actividades de mantenimiento general. Permiten evaluar la efectividad del programa en cuanto a identificar fallas potenciales, generar reportes de intervención y en disminuir las actividades de mantenimiento innecesarias. Sí las tareas preventivas son muy frecuentes la eficiencia del mantenimiento disminuirá. Una baja efectividad de las inspecciones puede estar asociada a falta de adiestramiento, tecnologías inadecuadas o una muy baja frecuencia de inspección.

Otro importante aporte de la Gerencia del Dato de Inspección lo representa el uso de estos datos en las tareas de Análisis de Causa Raíz, establecimiento de Línea Base de Desempeño, el diseño de Pruebas de Aceptación para recibir equipos reparados o nuevos y hacer valer las respectivas garantías de calidad.



### ¿CUÁNTO CUESTA UNA FALLA?

Las consecuencias de una falla inesperada suelen ser muy traumáticas, no solo por la producción perdida, las fallas no tienen horario, ¿Cuál ha sido el costo del sobretiempo por mantenimiento no programado en el último año? ¿Cuántas de estas fallas pudieron ser detectadas para programarse oportunamente? ¿Cuánto cuesta un repuesto en emergencia?

El costo de la disponibilidad de materiales y recursos humanos durante una emergencia se duplica en el escenario más optimista.

### HACER REPORTES QUE COMUNIQUEN

Los reportes son el producto final del proceso predictivo, ellos deben ser capaces de mostrar el esfuerzo de la labor de inspección traduciéndolo en información que agregue valor a las actividades de mantenimiento y operaciones. Los objetivos de un informe de inspección se pueden resumir en:

- Definir claramente el origen del problema y sus antecedentes.
- Determinar la severidad de este problema.
- Establecer el tiempo oportuno para intervenir el activo.
- Recomendar actividades de mantenimiento específicas.
- Recomendar acciones preventivas y proactivas para impedir la recurrencia de la falla.

Las tecnologías predictivas junto con una buena base de datos de condición de maquinarias son un excelente recurso que puede contribuir a optimizar los reportes sacándoles provecho como herramientas de difusión de la información y hasta de recurso didáctico. El uso de figuras, tendencias, termogramas y estadísticas harán los reportes más gráficos y fáciles de interpretar, sobretodo para aquellos que no están directamente relacionados con los parámetros de inspección.

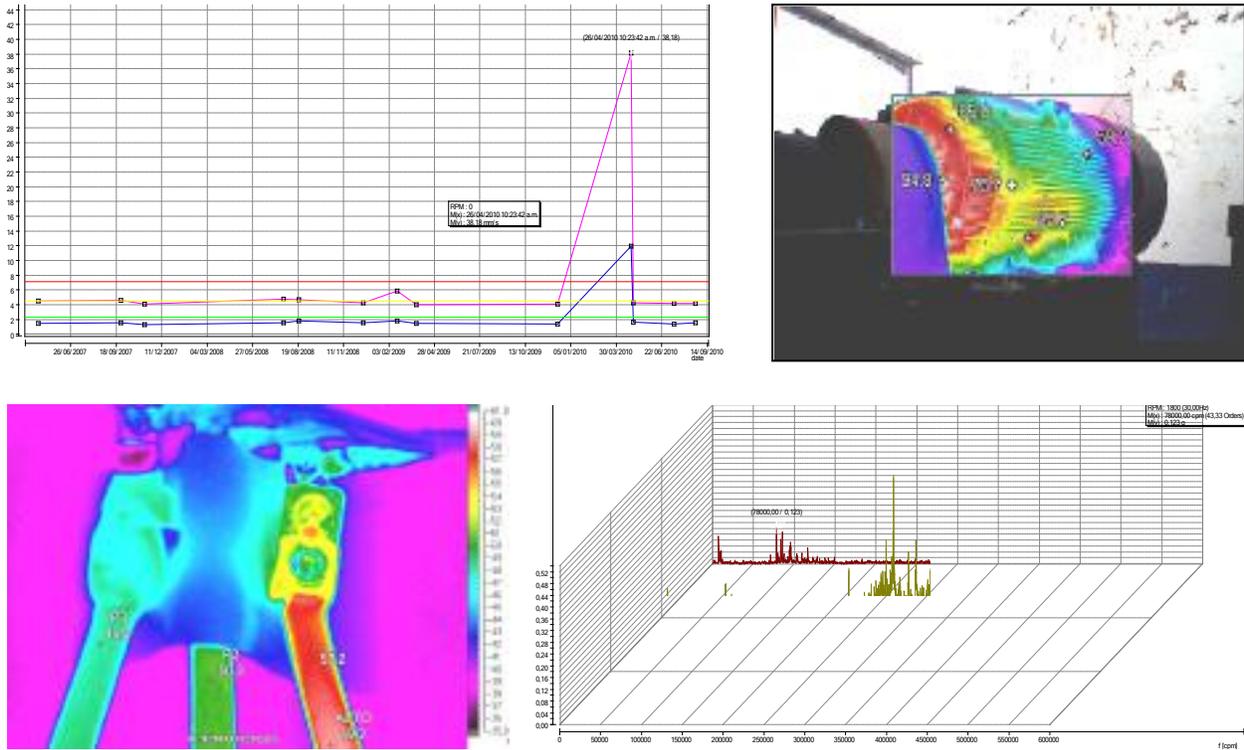


Figura 2.- los recursos gráficos aportan mayor claridad a los reportes y ayudan a identificar de forma visual la severidad de una falla, el avance del deterioro o la efectividad de las acciones correctivas y preventivas.

Recuerde que un reporte de inspección será distribuido a través de distintos departamentos, el experto en la técnica predictiva debe entender que los destinatarios del informe quizás no comprendan al 100% sobre estas

técnicas o procedimientos de inspección, por ello debe ser claro y conciso, no exagerar el lenguaje técnico, no extenderse más de lo necesario, concluya sobre acciones específicas.

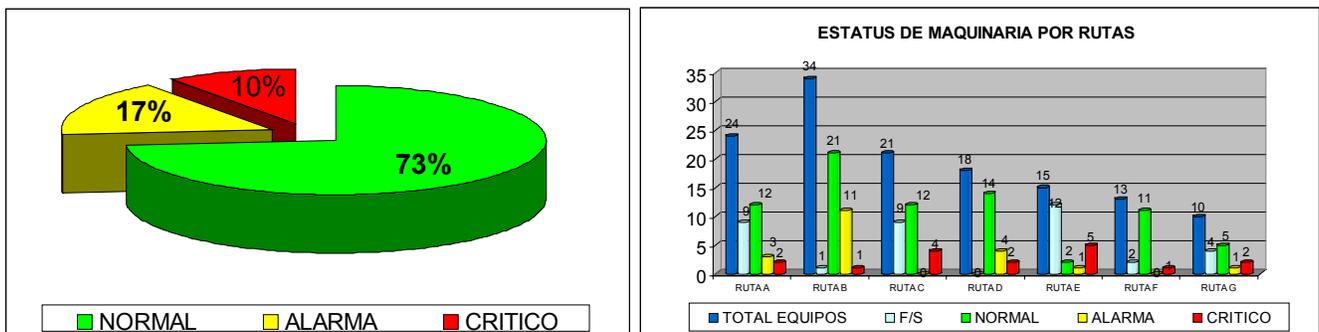


Figura 3.- los gráficos estadísticos deben ser utilizados para reflejar el estado de los activos, para identificar dónde están concentrados los problemas, cuáles son los principales problemas, cuáles son ese 20% de fallas que ocasionan el 80% de las pérdidas de producción, resumir la condición global de los activos y ayudar a orientar los recursos hacia las áreas de debilidad.

Un reporte de inspección muchas veces busca convencer a la organización sobre la necesidad de ejecutar una acción de mantenimiento proactivo o preventivo, entonces debe ser entendido no solo por los mantenedores, también por personal de producción, operaciones, compras, materiales, finanzas, entre otros. Además siempre intente consultar con otros técnicos antes de emitir las conclusiones finales.

### CONCLUSIONES

La mayoría de los ingenieros que trabajamos en mantenimiento estamos acostumbrados a manejar el aspecto técnico, sabemos identificar los problemas y tomar acciones para solucionarlos, sin embargo pocas veces estudiamos el impacto económico de nuestra labor, pero hoy en día es primordial conocer nuestra contribución en el nivel corporativo. Para ello debemos aprender el "Lenguaje de la Gerencia" y abordar temas como el Retorno

sobre la Inversión (ROI), máxima disponibilidad, cumplimiento con las regulaciones, cumplimiento con los compromisos de producción y entrega, índices de seguridad, activos en inventarios, índice de riesgos, costo de reposición, etc. Todos estos mecanismos de control financiero son impactados positiva o negativamente por la labor de inspección, mantenimiento y confiabilidad y son la base de las metas corporativas que los gerentes desean alcanzar.

Muchas organizaciones invierten importantes recursos en iniciar Programas de Mantenimiento Predictivo, adquieren instrumentos y equipos de alta tecnología e imparten adiestramiento a su personal. Pero después de este importante paso la inercia del duro comienzo tiende a vencer el impulso inicial debido a la incapacidad de correr el programa con datos de calidad, frecuencias de inspección adecuadas, falta de alineamiento con la producción, falta de seguimiento y continuidad y el aislamiento de la función de inspección del resto de las actividades de mantenimiento.

*AUTOR:*  
**David Trocel**

#### Referencias:

- 1) CARL SCHULTZ, CMRP. Management Resources Group, Inc. "Leveraging the Visibility of your IR/T PdM Program at the Corporate Level" [www.mrgsolutions.com](http://www.mrgsolutions.com)
- 2) SMRP Best Practice Metrics. [www.smrp.org](http://www.smrp.org)



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

# Mantenimiento en Latinoamérica

ISSN 2357-6840



La revista para la gestión confiable de los activos

Volumen 6 N° 3

Mayo - Junio 2014

Mantenimiento



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

La industria mundial se encuentra ante una disyuntiva:

- 1) Continuar aplicando sus ancestrales criterios de mantenimiento industrial, desarrollados desde la edad de piedra.
- 2) Empezar a implantar la naciente filosofía de la Conservación Industrial, con criterios desarrollados a través de la observación del funcionamiento del sistema de conservación terrestre. En ambos casos podemos pronosticar lo que sucederá dentro de algunas centurias.